

**BOGOSSIAN F. et LIMA S.A.**

Geomecanica, Bresil

**RODRIGUES L.F.V.**

Terra Armada, Bresil

## **Un exemple brésilien d'application de la terre armée sur sols compressibles à faible résistance**

### **A Brazilian example of the application of reinforced earth founded on low strength compressible soils**

This paper reports a quite recent instance of the application of reinforced earth founded on soft soils.

The structures involved were the abutments to a viaduct on the outskirts of the city of Curitiba in the State of Parana, south Brasil.

The subsoil in that area may be described as consisting of a layer of silty and/or sandy clay of soft to medium consistency with an interpolated layer of dark grey or black soft clay with a varying thickness of up to 6 metres.

The case of the loam rests on a layer of silty clay medium to hard in consistency or sandy silt of medium to strong compactness. The water table was encountered at a depth of 2,5 metres. There were structures near the abutments that might be damaged by the erection of the reinforced earth embankments.

In addition to the above, it should be noted that the project had to consider the economic feasibility of the work itself and the protection measures so the total cost and erection time would prove satisfactory to the hiring authority.

The solution found consists basically of a partial rational replacement of the low-strength compressible material with compacted fill, in addition to protection work consisting initially of juxtaposed wood piles and braced ditches refilled with crushed rock.

In addition to the theoretical approach to the project, the authors ascribe special importance to the simplicity of the execution procedures.

## 1. INTRODUCTION

Dans ce travail, les auteurs présentent un exemple brésilien des conditions de viabilité technique et économique d'implantation d'un massif Terre Armée, non portant, aux culées d'un viaduc urbain traversant la route BR.116, dans la ville de Curitiba-Etat du Paraná, région méridionale du Brésil, qui fait partie d'une voie express urbaine nommée Avenida das Torres.

Les facteurs conditionnants d'ordre topographique et géométrique de la zone, dont la bande utile est presque aussi large que l'Avenida, avec les aspects économiques de conceptions de culées pour le viaduc, avaient déjà recommandé l'implantation de Terre Armée comme la solution indiquée pour le site et limitée uniquement par sa compatibilité avec les conditions du sol de fondation.

L'étude de la viabilité technique et économique a été, donc, réalisée du point de vue des conditions du sol de fondation.

Le travail consiste dans la présentation de l'analyse des éléments techniques disponibles, des projets spécifiques et de la surveillance de l'exécution de l'ouvrage d'infrastructure.

## 2. PRESENTATION DU PROBLEME

### 2.1.-Conditions géométriques

L'annexe 1 montre le schéma géométrique de l'ouvrage consistant en deux culées nommées Curitiba et São José dos Pinhais, de 36m de large au total et de 9m de haut au maximum, les conditions de voisinage les plus délicates affectant la culée Curitiba du fait d'un dépôt en maçonnerie, propriété du Ministère Public, d'un côté, et du terrain de sports d'un club local, y compris des jardins de 15m de haut.

Des bâtiments voisins, le dépôt est assis sur des fondations directes, superficielles et, partant, exposé aux effets indésirables de déformation dus au mouvement de la terre au-dessous du niveau des fondations et à proximité de celles-ci; par ailleurs, les gradins posés sur des pieux relativement courts augmentent la préoccupation du fait que le déséquilibre déterminé par l'excavation unilatérale à exécuter, pourrait soumettre ces pieux à des efforts horizontaux de cisaillement.

### 2.2.-Conditions géotechniques

Le programme de sondages exécuté dans le site révèle le sous-sol local comme constitué d'une couche superficielle d'argile de silt et/ou sableuse grise, de consistance molle à moyenne et parfois rigide au-dessus de la couche d'argile molle et noire avec de la matière organique, de consistance molle. Cette composition continue jusqu'à peu près 6m de profondeur et les épaisseurs des argiles grise et noire alternent de manière que, du côté du bâtiment public l'argile molle et noire atteignait presque toute l'épaisseur de 6m, tandis que, de côté du club, les conditions étaient inverses.

L'annexe 2 présente brièvement le profil géotechnique de la zone.

La surveillance des travaux d'exécution de

l'ouvrage, au moyen de l'observation directe du sous-sol partiellement excavé, a confirmé l'information des sondages.

On a aussi exécuté un programme d'essais de laboratoire consistant en essais de caractérisation et de cisaillement des argiles du sous-sol en obtenant les paramètres moyens: Argile de silt et/ou sableuse grise :

- angle de frottement interne = 20°

- cohésion C = 2,0 t/m<sup>2</sup>

Argile sableuse avec de la matière organique noire:

- angle de frottement interne = 7°

- cohésion C = 1,8 t/m<sup>2</sup>

Etant donné les sollicitations de charge prévues dans le projet, on a conclu que le problème critique serait limité à la couche d'argile sableuse noire.

Il convient de souligner que, dans des ouvrages de cette nature, les solutions courantes de culées de viaducs et des ponts, au Brésil, sont évaluées à partir du programme de sondages qui sont communément exécutés pour des études de fondations des ouvrages d'art; le procédé d'analyse et de définition des projets est, donc, dynamique.

Même dans ce cas, on a pris le soin de développer le travail à cette cadence en admettant un programme minimum de recherches géotechniques sans avoir préalablement programmé un travail théorique ou envisagé des solutions amenant à des procédés exécutifs non conventionnels.

## 3. ANALYSE DU PROBLEME

L'aspect principal, qui a demandé une étude plus profonde de la question, a été comment poser un massif de terre de dimensions réduites (36m de large et 9m de haut au maximum) avec des parements latéraux nécessairement disposés verticalement sur sol de fondation de faible résistance au cisaillement et à la compressibilité élevée.

Le phénomène de la compressibilité a été retenu comme secondaire vis-à-vis du problème de la rupture du sol de fondation, notamment du fait de la possibilité d'absorption des déformations lentes par le massif Terre Armée si elles ne sont pas trop différenciées.

Dans ce cas, l'option de pose directe du massif sur le sol de fondation a été écartée après avoir constaté la condition limite inférieure de sécurité de la couche d'argile molle. D'autres options techniques se présenteraient telles que :

1°) projet de fondations profondes (du type pieux d'allègement) pour le massif : non prise en considération pour des raisons naturelles d'ordre économique;

2°) projet d'amélioration du sol de fondation au moyen du drainage profond et de la surcharge : écartée pour des raisons économiques et du temps d'exécution;

3°) substitution du sol jusqu'à la limite inférieure de la couche d'argile molle.

Dans l'hypothèse d'amélioration des conditions de fondation par substitution du sol, deux problèmes se posaient :

a) si l'on effectuait la substitution dans

toute la zone d'implantation de l'ouvrage, on pourrait écarter économiquement l'ouvrage;

b) les bâtiments voisins ne pourraient subir aucun dommage structural.

La conclusion de la mise au point ci-dessus a imposé l'étude d'une solution dans le site résolvant le problème a) et l'adoption des mesures complémentaires de sécurité demandées par le problème b).

#### 4. SOLUTION ET SON DEVELOPPEMENT

L'objet de la solution proposée a été d'intercepter l'horizon de faible résistance au cisaillement avec du matériau adéquat dans le but d'augmenter le coefficient de sécurité correspondant au cercle critique de rupture, jusqu'à une valeur acceptable.

On a opté pour recommander l'exécution de tranchées de substitution du sol en bordure du massif le long de l'alignement des écaillles, à savoir dans les zones critiques en ce qui concerne la rupture générale du massif. Le noyau de la bande d'implantation du massif, malgré les problèmes localisés au début de l'exécution du remblai, aurait un sol de fondation latéralement confiné par du matériau de bonne qualité (provenant de la substitution aux bords), qui lui conférerait une résistance passive élevée aux éventuelles sollicitations de la région centrale.

La tranchée de substitution, du côté du dépôt, a été projetée avec ses parois en talus et on a recommandé l'immédiat placement, après l'exécution, d'enrochement en pierres bien calibrées composant un lest de base (1m d'épais en moyenne), et de revêtement de la paroi de la tranchée adjacente au bâtiment jusqu'à 2m au-dessous de la surface libre du sol.

Comme mesure complémentaire de sécurité contre le comportement indésirable du sol pendant la phase d'exécution de la tranchée et du placement du nouveau remblai, a été projeté une palissade en bois encastrée dans le sol à partir de la crête de la tranchée, du côté du dépôt, reposant au-dessous du niveau inférieur de la couche d'argile molle en constituant ainsi un dispositif provisoire contre la rupture.

La disponibilité d'espace, du côté du club, était très réduite pour permettre une opération de remblaiement à ciel ouvert avec les parois de la tranchée en pente. L'hypothèse de démolir une paroi du mur de façade et d'envahir la propriété privée pour faciliter les travaux, avec reconstruction et restauration postérieure, a été objetée. D'où l'idée d'une tranchée à parois verticales avec éventuel étaielement et substitution totale du sol par des pierres calibrées (il n'y avait aucun espace pour le compactage adéquat du sol). Compte tenu que la responsabilité du projeteur comprend aussi la surveillance de l'ouvrage afin de superviser le projet et de comparer les conditions du sol de fondation avec les informations préliminaires, on a pu ratifier tempestivement, par les tests d'exécution, les conditions plus favorables du sol superficiel d'argile en cette zone, outre que la couche d'argile

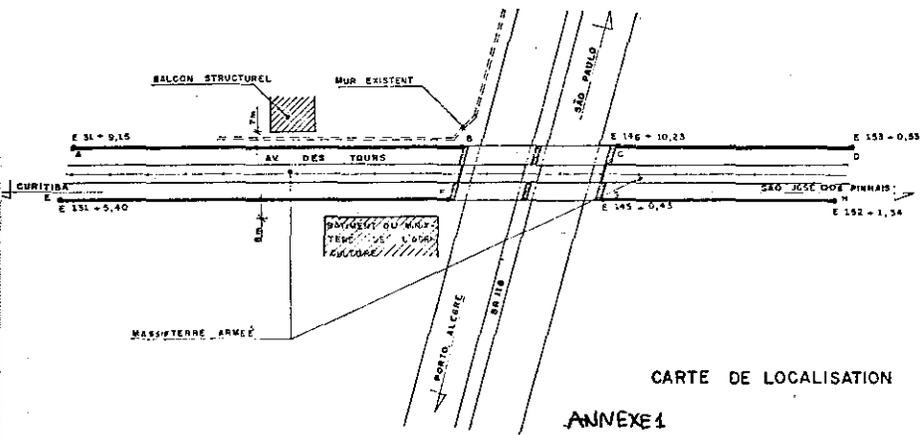
avec de la matière organique représentait une fraction moins significative vu qu'elle se présentait à peu près 4m de profondeur avec 1 mètre d'épais.

Dans ces conditions, on a suggéré un plan de travail dynamique de remblaiement avec des fronts limités de service ininterrompu, où l'on a exécuté l'exécution jusqu'à 5m de profondeur, avec la largeur minimum exigée par le calcul théorique (1,6m), la substitution par des pierres bien calibrées jusqu'à 2m de haut et le complément postérieur de la substitution dans une bande de dimensions compatibles avec l'opération de l'équipement de remblayage jusqu'au niveau d'implantation de la semelle du massif Terre Armée.

L'annexe 3 présente les solutions proposées et leur développement.

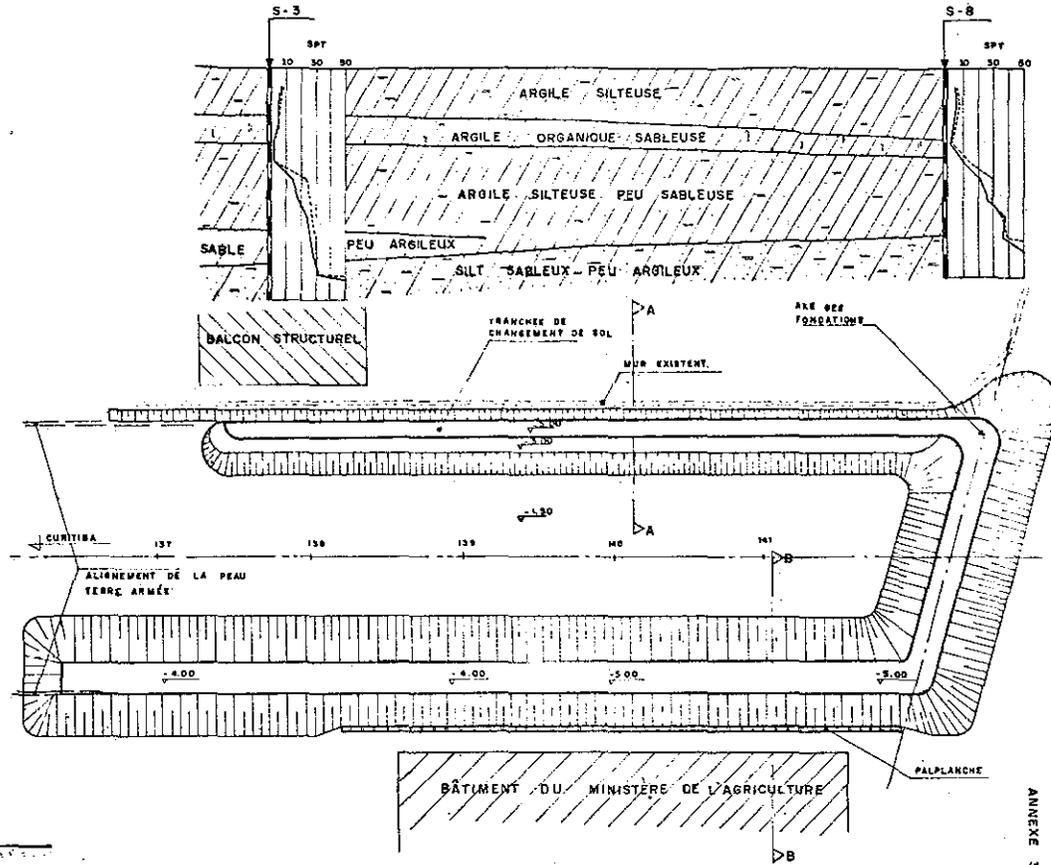
#### 5. COMPORTEMENT FINAL

Tout le travail de récupération de l'infrastructure a été conclu en octobre 1978 et l'on n'a observé dans les bâtiments voisins aucun indice de comportement irrégulier. La structure du massif est en phase finale de construction (décembre 1978) et les étapes de construction n'ont exigé aucune mesure corrective.

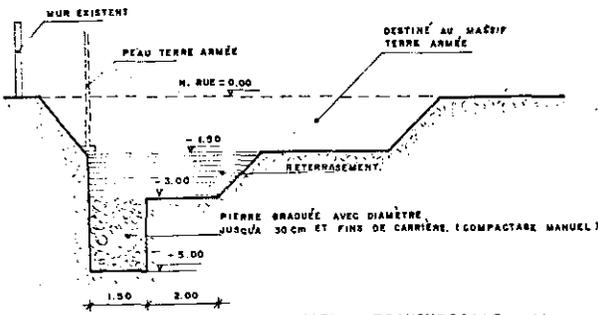


ANNEXE 2  
CARTE DE LOCALISATION SECTION GÉOTECHNIQUE TRANSVERSALE

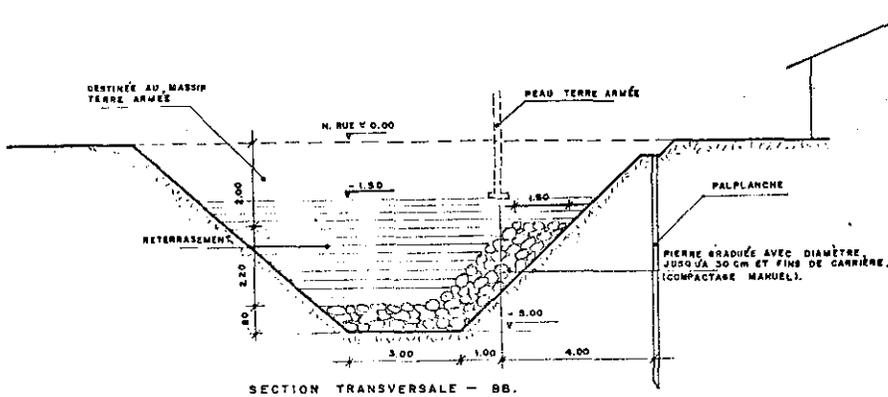
ANNEXE 1



EAU TERRE ARMÉE



SECTION TRANSVERSALE - AA.



SECTION TRANSVERSALE - BB.

CARTE DE LOCALISATION.  
ESC. 1:500

ANNEXE 3A

ANNEXE 3B