



ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES  
Résumé Projet Fin d'Études

## Étude du Comportement des Limons Loessiques Soumis aux Vibrations Ferroviaires

Centre d'Enseignement et de Recherche  
en Mécanique des Sols (CERMES)

*Auteur : Jesús Gotor Olabarría*

*Directeurs du Projet : Eduardo Alonso Pérez de Ágreda, Pierre Delage*

À partir des enregistrements de paramètres de forage sur le tracé TGV Nord, on a montré la présence des limons décomprimés caractérisés soit par la forte porosité soit par la présence de fontis. Ces limons, non saturés en général, sont susceptibles de s'effondrer sous des sollicitations mécaniques (contrainte statique), hydrique (humidité) et dynamique.

Le problème d'effondrement lié à l'augmentation de la teneur en eau sous des contraintes mécaniques a fait l'objet de nombreuses investigations, en particulier dans les pays où les sols loessiques sont répandus. Il est maintenant bien connu que l'effondrabilité d'un sol dépend de sa minéralogie, sa fraction argileuse, la forme de ses grains et sa granulométrie, sa teneur en eau naturelle, son indice des vides, la dimension et la forme de ses pores, son niveau de cimentation, la nature et la concentration des ions dans son eau interstitielle. En somme, pour qu'un sol s'effondre, il faut vérifier deux conditions : premièrement il doit exister des vides macroscopiques (indices des vides élevé) qui représente la potentialité d'effondrement, et deuxièmement il faut vérifier à l'échelle microscopique (au niveau des contacts entre grains ou agrégats) le critère de rupture de Mohr-Coulomb généralisé (Cui et Magnan 2 000) :

$$\tau_{\max} = c(S, CaCO_3) + \sigma_n (\sigma, S) \tan \varphi(I_d)$$

où

$\tau_{\max}$  est la résistance au cisaillement locale (agrégat – agrégat ou grain – grain),  
c est la cohésion dépendant de la succion et de la cimentation  $CaCO_3$ ,

$\sigma_n$  est la contrainte normale dépendant de la contrainte  $\sigma$  et de la succion  $S$ ,  
 $\varphi$  est l'angle de frottement dépendant principalement de l'indice de densité  $I_d$ .

Sur le plan expérimental, l'effondrement du sol peut être déterminé soit à l'oedomètre soit au triaxial. Deux méthodes peuvent être appliquées avec chaque appareil :

1. saturer l'éprouvette de sol sous une contrainte donnée, et
2. considérer la différence d'indice de vides entre la courbe de compression saturée et celle non saturée (à teneur en eau constante).

Avec l'oedomètre, la première méthode est connue sous le nom du simple oedomètre et la seconde du double oedomètre. L'avantage du double oedomètre est qu'on balaye avec deux essais toute la gamme de contraintes. Les deux sont donc complémentaires.

Contrairement au cas statique, l'effet dynamique sur l'effondrement est très peu abordé, aussi bien sur le plan théorique qu'expérimental. Cui et al. (1995) ont montré que cet effet dynamique est loin d'être négligeable. Effectivement, pour un sol loessique sous 200 kPa de contrainte à l'oedomètre, ils n'ont obtenu que 2 % environ d'effondrement sous l'effet de la saturation, alors que avec vibration, l'effondrement a atteint 10 %. Vue la complexité du problème, l'idée est d'étudier dans un premier temps l'effondrabilité à différents états hydriques sous sollicitations cycliques, afin de comprendre le phénomène au niveau microscopique.

Un autre phénomène qui semble important concerne l'endommagement des limons par le passage de trains. Effectivement, avec l'augmentation du nombre de passages des trains, les limons à proximité sont endommagés progressivement, et leur effondrabilité peut changer.

Dans le cadre du stage qui concerne ce rapport, et donnant suite à une première étape d'identification complète du sol déjà terminée, on a organisé trois types d'étude : l'effondrabilité à l'oedomètre, l'étude de l'effondrabilité au triaxial cyclique, et l'identification de l'effet de l'endommagement sur l'effondrabilité.

### **1. Effondrabilité à l'oedomètre.**

À partir des essais d'identification, on a défini le sol le plus effondrable pour étudier son effondrabilité. On s'est intéressé particulièrement à l'effet de l'état hydrique initial en considérant 5 teneurs en eau différentes. Avec le sol intact fourni, 15 échantillons ont été préparés par carottage à l'aide d'un carottier spécial. Ils ont été séparés en 5 groupes de trois échantillons. Chaque groupe a été amené à une teneur en eau préalablement définie en les mettant dans un dessiccateur d'humidité contrôlée.

À chaque teneur en eau, on a réalisé des essais du simple (un échantillon) et double oedomètre (deux échantillons), pour déterminer l'effondrabilité du sol.

## **2. Effondrabilité et liquéfaction au triaxial cyclique.**

On a considéré également 5 états initiaux différents avec 5 différentes valeurs de degré de saturation. La valeur minimale considérée fut de 55 %, et les 4 autres valeurs ont été définies en se basant sur les résultats obtenus à l'oedomètre. Le principe a été de cadrer le degré de saturation avec lequel l'effondrement était maximal sous sollicitations cycliques.

Les échantillons ont été préparés soit par carottage soit par découpage suivant l'état du sol, et ils ont été ensuite mis en contact avec différentes humidités pour atteindre différentes valeurs de degré de saturation.

La fréquence à appliquer fut de 0,05 Hz, et l'amplitude de contrainte cyclique fut estimée à partir de l'accélération moyenne du TGV nord en suivant la norme parasismique AFPS 92. La contrainte de confinement a été faible, correspondant à la profondeur du prélèvement du sol.

Ensuite, des essais triaxiaux monotones non drainés ont été lancés pour avoir une première idée sur le risque de liquéfaction. La couche à 2,2 m a montré un comportement critique et trois essais triaxiaux cycliques de plus (aussi à l'état saturé), avec des différentes contraintes déviatoriques appliquées, ont servi pour déterminer le nombre de cycles nécessaires avant d'arriver à liquéfier le sol.

## **3. Effet de l'endommagement sur l'effondrabilité.**

La fréquence considérée au triaxial cyclique est très basse en comparaison avec celle du passage de TGV (20 Hz environ). C'est ainsi que pour cet essai d'endommagement, les échantillons ont été vibrés de façon cyclique à l'aide d'un système MTS (Material Testing System). Après un certain nombre de cycles, les échantillons ont été aussi soumis aux essais oedométriques pour déterminer leurs nouvelles effondrabilités.

## **Bibliographie.**

CUI Y. J., DELAGE P., DURAND F., SCHLOSSER F. & WOKNAROWICZ M. 1995. Comportement mécanique des loess sur le tracé du TGV Nord. Proceedings of the 11th ECSMFE, Copenhague, Vol. 7, pp. 45-50.

CUI Y. J., MAGNAN J-P. 2000. Affaissement locaux dus à l'infiltration d'eau. Chapitre 6 in « Géomécanique environnementale, risques naturels et patrimoine ». Edition HERMES, pp. 139-164.