

Conclusion générale

On a présenté dans ce mémoire, les travaux réalisés dans le cadre des recherches menées conjointement avec le Réseau Ferré de France et la SNCF, afin de mieux comprendre les mécanismes principaux d'instabilité des sols loessiques rencontrés sur la ligne du TGV nord.

Marcial et Cui (2003) ont montré que les problèmes d'instabilité observés in situ sont principalement liés aux trois mécanismes : effondrement dû à l'infiltration d'eau, endommagement dû aux chargement cyclique lié à la circulation des trains et liquéfaction quand le sol est soumis à la vibration à l'état saturé. Le mécanisme d'effondrement a été étudié sur tous les quatre sols et les résultats ont montré que ce mécanisme seul ne peut pas expliquer les problèmes observés in-situ ; le mécanisme d'endommagement et surtout le mécanisme de liquéfaction sont considérés comme les deux principaux mécanismes d'instabilité. Vu que les essais d'endommagement et de liquéfaction ont été réalisés sur le sol à 2,20 m, dans le cadre de la thèse, on a dû compléter les essais sur les trois autres sols.

L'analyse des premiers résultats obtenus a montré le caractère liquéfiable des quatre sols étudiés ; c'est ainsi que le phénomène de liquéfaction est devenu rapidement un point d'intérêt. On a d'abord élargi les essais de liquéfaction sur sols saturés aux sols initialement non saturés mais devenant saturés après la phase d'endommagement (phase d'écrasement de pores). Sur le plan théorique, il s'est avéré aussi intéressant de développer une méthode d'évaluation du risque de liquéfaction en utilisant des essais géotechniques courants tels que le SPT, le CPT, le DMT et la mesure de V_s . Ceci a nécessité un développement expérimental lié à la mesure de V_s à l'aide de la technique des bender elements. Si le modèle élastoplastique avec endommagement développé est une bonne synthèse du comportement des sols loessiques étudiés, la méthode d'évaluation du risque de liquéfaction peut être considérée comme un bon outil pratique, facile à employer par les ingénieurs.

Partie expérimentale

Des essais de liquéfaction ont été réalisés sur la presse triaxiale cyclique. Quatre profondeurs (1,20m ; 2,20m ; 3,50m et 4,90m) du même site (Beugnâtre) ont été considérées. Les courbes de résistance à la liquéfaction ont montré que le sol à 2,20m a un taux de résistance à la liquéfaction le plus faible, de l'ordre de 0,3 qui est inférieur au taux de

chargement cyclique appliqué par le train, qui est de 0,4, ce qui signifie que si le sol à 2,20 m se trouve dans un état saturé, la fréquence de circulation normale du TGV nord suffit pour le liquéfier.

Dans le cas où le sol se trouve dans un état proche de la saturation, l'endommagement dû au passage répété de trains pourrait l'amener d'abord à la saturation puis à la liquéfaction. Ceci a été mis en évidence par une procédure expérimentale un peu particulière. En première phase, les pores sont écrasés par un faible chargement cyclique jusqu'à l'obtention d'une variation de volume nécessaire à la saturation de l'échantillon. En deuxième phase, un essai de liquéfaction classique était réalisé. Des essais à différentes teneurs en eau initiales ont été considérés et les courbes de résistance à la liquéfaction ont montré que la résistance du sol diminue avec l'augmentation de la teneur en eau.

L'effet de l'endommagement a été étudié par l'application d'une charge cyclique à l'aide de la presse MTS. Les effets de la teneur en eau et de la fréquence ont été étudiés. Les résultats ont montré que la déformation est d'autant plus importante que la teneur en eau est élevée. L'effet de la fréquence semble être négligeable. L'observation au porosimètre a montré que c'est principalement les macropores qui sont éliminés par l'endommagement.

Les essais réalisés sur bender elements sur des sols intacts et reconstitués ont montré que la vitesse de cisaillement, V_s , dépend des paramètres suivants : la porosité (densité), la teneur en eau, la fraction argileuse, la teneur en carbonates et la charge appliquée. Ces essais ont permis de développer une relation entre V_s et ces différents paramètres.

Partie Modélisation

Grâce aux essais réalisés au laboratoire, une nouvelle méthode d'évaluation du risque de liquéfaction a pu être développée. Elle permet à la fois, à partir des mesures in situ, de déterminer l'état initial du sol et de prévoir la variation de cet état avec le passage du sol à l'état saturé. L'évaluation est donnée sous forme d'un facteur de sécurité qui varie avec la profondeur. Une application directe de cette méthode sur 4 sites différents a été réalisée et les résultats obtenus étaient assez cohérents avec les sondages in situ. Mais comme ils dépendent largement des mesures de V_s in situ qui, quelque soit la technique appliquée, deviennent imprécises avec la profondeur, on doute sur la précision des calculs. Enfin, la forme de la fonction de densité représentée par $f(e)$ reste encore à être validée.

Le développement d'un modèle élastoplastique avec endommagement a été réalisé en plusieurs étapes. On a commencé par adapter le modèle de Cam_clay au phénomène d'endommagement ; on a ensuite introduit l'aspect d'endommagement dans le modèle de surface de frontière de Pastor et al. (1985) pour décrire le comportement cyclique, on a finalement étendu le modèle à l'effet de la succion. Le modèle développé est donc capable de décrire les principaux phénomènes observés tels que l'effondrement dû à la diminution de la succion, l'endommagement et la liquéfaction dus au chargement cyclique.