

TITRE DE LA THESE

Analyses numériques de la problématique multi-physique des fontis au voisinage d'une digue ou d'un ouvrage linéaire

Résumé

Les géo-structures telles que les barrages et les digues sont soumises à des écoulements hydrauliques variant dans le temps et dans l'espace. L'eau qui traverse ces milieux poreux peut entraîner le détachement et le transport de certaines particules des sols constituant les structures et leurs fondations. Ce problème est généralement appelé "érosion interne". Le terme suffusion, un type d'érosion interne, se réfère au détachement et au transport de particules les plus fines à travers une matrice de sol poreuse plus grossière en raison d'un écoulement hydraulique. L'évolution temporelle de la suffusion peut modifier les propriétés hydrauliques et mécaniques des sols et peut entraîner des changements importants dans le comportement de telles structures pouvant aller jusqu'à leur effondrement.

Ce travail de thèse tente de contribuer à la conception et à la durabilité des ouvrages en ingénierie géotechnique et hydraulique en mettant un accent particulier sur les barrages, les levées et les digues. Il a été consacré à développer un modèle numérique de suffusion en introduisant d'une part le couplage des phénomènes hydrauliques et mécaniques et d'autre part le couplage des phénomènes d'érosion et de filtration. Pour atteindre cet objectif, ce travail a été divisé en deux parties principales : l'une à l'échelle du laboratoire et l'autre à l'échelle des problèmes aux limites concernant les géo-structures.

Basé sur la théorie des milieux poreux, un nouveau modèle numérique a été formulé pour prendre en compte à la fois l'érosion et la filtration lors de la suffusion. Le modèle a été validé en reproduisant les principales caractéristiques observées lors des tests d'érosion en laboratoire. Étant donné que l'hétérogénéité initiale des échantillons de sol ont été soupçonnés d'avoir un effet significatif dans le processus d'érosion-filtration, des analyses en différence finie aléatoire en 1D et 2D ont été effectuées en appliquant la théorie du champ aléatoire au modèle numérique de suffusion. Des simulations de Monte Carlo ont été réalisées pour étudier l'influence de la variabilité, la longueur de la corrélation spatiale et la corrélation croisée de la porosité initiale et de la teneur initiale en fines sur le taux de masse érodée et la conductivité hydraulique minimale au cours de l'essai. Par la suite, le modèle numérique de suffusion a été amélioré en incluant un modèle constitutif incrémental non linéaire afin de prendre en compte les effets des fines. Une approche numérique a ensuite été développée pour simuler à l'échelle du laboratoire les tests d'érosion sous charge mécanique triaxiale en insistant sur l'évolution de la masse érodée, de la conductivité hydraulique et de la déformation du spécimen pendant et après l'érosion, en conditions triaxiales. Les influences de l'état de contrainte et des états initiaux du sol (densité relative et teneur en fines) sur le processus de suffusion ont été discutées d'un point de vue numérique.

Afin de réaliser des analyses à l'échelle d'une structure, un modèle élastoplastique pour les mélanges sable-silt a été couplé au modèle de suffusion. Le modèle hydromécanique a d'abord été implémenté dans le code commercial aux éléments finis ABAQUS et utilisé pour évaluer l'impact de l'érosion interne sur la stabilité des structures en terre. Après avoir simulé des cas numériques issus de la littérature à des fins de validation, le modèle développé a été appliqué pour simuler la suffusion induite par des fuites en fond d'une digue sur fondation sous l'hypothèse de déformation plane. L'évolution de la suffusion au sein de la digue a été analysée, ainsi que les effets de l'emplacement de la cavité de fuite, du taux d'érosion et de la teneur en fines. Par la suite, une condition d'écoulement non saturé a été prise en compte et intégrée dans le modèle hydromécanique d'érosion interne afin de décrire plus précisément les infiltrations dans la digue et la fondation induit par la différence de pression d'eau entre les côtés amont et aval de la digue. Le modèle amélioré a été appliqué pour simuler en 3D les conséquences mécaniques de l'érosion interne provoquée par les infiltrations dans la digue et les fuites en fond de fondation. Les influences de la taille de la cavité de fuite et de l'élévation de la hauteur d'eau en amont et en aval de la digue ont été discutées. Les résultats ont montré que deux mécanismes d'endommagement sont possibles : un glissement de la partie aval de la digue et un fontis se développant en partie supérieure de la digue à l'aplomb de la fuite.

Mots-clés : érosion interne, suffusion, méthode des éléments finis, teneur en particules fines, couplage hydromécanique, couplage érosion-filtration