

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes

Spécialité : « Génie Civil »

Par

« Bikram OLI »

« Internal erosion in soil hydraulic structures and behavior of eroded soils under complex hydro-mechanical stresses »

Thèse présentée et soutenue à « Saint Nazaire », le « 19 décembre 2023 »

Unité de recherche : GeM-Institut de recherche en génie civil et mécanique- UMR CNRS 6183, F-44600

Rapporteurs avant soutenance :

Jean CÔTÉ Professeur, Université Laval
Eric VINCENS Professeur, École Centrale de Lyon

Composition du Jury :

Président :	Prénom Nom	Fonction et établissement d'exercice
Examineurs :	Nadia BENAHMED	Chargée de Recherche, INRAE
	Philippe REIFFSTECK	Directeur de Recherche, Université Gustave Eiffel
Directeur de thèse :	Didier MAROT	Professeur, Nantes Université
Co-encadrants :	Rachel GELET	Maître de Conférences, Nantes Université
	Fateh BENDAHDANE	Maître de Conférences, Nantes Université

Invité

Jean-Robert COURIVAUD Ingénieur Expert, EDF CIH

Titre : Érosion interne dans les ouvrages hydrauliques en terre et comportement des sols sous chargements hydro-mécaniques complexes

Mots clés : suffusion, état mécanique, chargement hydraulique cyclique, approche énergétique

Résumé : La suffusion est un mécanisme d'érosion interne, impliquant le détachement, le transport et la filtration partielle des particules fines dans un sol granulaire. Il génère d'importants problèmes de maintenance pour les structures hydrauliques en terre. Cette étude analyse le phénomène de suffusion grâce à un nouveau perméamètre triaxial, permettant le contrôle précis des chargements mécaniques et hydrauliques. L'influence sur la suffusion de deux facteurs importants est étudiée : l'état mécanique, et les chargements hydrauliques cycliques. En ce qui concerne la première étude, quatre sols lacunaires sont soumis à différents états mécaniques : œdométrique, isotrope triaxial, compression triaxiale et extension triaxiale. L'état œdométrique est historiquement l'état de référence. Une approche systématique est utilisée pour caractériser chaque étape du

processus de suffusion : l'initiation, l'auto-filtration, le débouillage et l'état permanent ; à partir des évolutions temporelles : de la conductivité hydraulique, du taux d'érosion, de la masse érodée cumulée et de l'énergie cumulée dissipée par l'écoulement. Finalement, l'impact de l'état mécanique sur l'état permanent de la suffusion apparaît limité, devant l'impact de la microstructure. Toutefois l'état œdométrique accélère l'apparition du débouillage, grâce à des chemins d'écoulements préférentiels.

Pour la seconde étude, plusieurs chargements hydrauliques cycliques sont étudiés et comparés au chargement hydraulique croissant par palier, couramment utilisé. Le point d'initiation du cycle influence significativement l'initiation du débouillage.

Title: Internal erosion in soil hydraulic structures and behavior of eroded soils under complex hydro-mechanical stresses

Keywords: suffusion, stress state, cyclic hydraulic loading, energy-based approach

Abstract: Suffusion is a complex internal erosion mechanism involving the dislodgment, transport, and partial filtration of fine particles within granular soils. It poses significant challenges in the maintenance of hydraulic earth-structures. This study analysis the suffusion behavior utilizing a newly developed triaxial permeameter capable of precise control over hydraulic and mechanical conditions. The influence of two important factors on the suffusion behavior is studied: the mechanical stress state and cyclic hydraulic loadings. Regarding the first study, four gap-graded cohesionless soils were subjected to various stress states: oedometric, triaxial isotropic, triaxial compressive and triaxial tensile conditions. The oedometric stress state is historically the reference stress state.

A systematic approach was employed to characterize each suffusion phases: initiation, self-filtration, blow-out and steady state, from the temporal evolution of: the hydraulic conductivity, the erosion rate, the cumulative eroded mass and the cumulative expended energy. Notably, the impact of the stress state on the steady state proved limited compared to microstructural effects, although oedometric stress conditions accelerated the blow-out phase through circumferential preferential flow paths.

For the second study, complex cyclic hydraulic loadings are studied with respect to piecewise increasing multi-stage hydraulic loadings that are commonly used. Notably, the influence of initiation point of the cyclic loading was found significant.