



Fateh BENDAHMANE

Maître de Conférences (Enseignant-Chercheur)

Cursus universitaire

- 2002-2005 Doctorat de l'Université de Nantes, spécialité Génie Civil (Ecole doctorale Mécanique, Thermique et Génie Civil, M.T.G.C.), Sujet : Influence des interactions mécaniques eau-sol sur l'érosion interne.
- 2002-2005 Moniteur (CIES Grand Ouest) à l'Institut Universitaire de Technologie de Saint-Nazaire, Département Génie Civil, Université de Nantes.
- 2001-2002 D.E.A. de Génie Civil de l'Ecole Centrale de Nantes, Option « Calcul des ouvrages et des structures », Sujet : Influence de l'écoulement sur la résistance des sols : étude expérimentale préliminaire.
- 1992-1998 Ingénieur d'état en Génie Civil, Option « Construction civile et industrielle » Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algérie).

Discipline(s) enseignée(s)

Les disciplines enseignées sont très variées et concernent aussi bien des matières généralistes (Informatique appliquée, Mathématiques et Mathématiques appliquées) que des matières plus spécifiques au Génie Civil (Béton Armé, Béton Précontraint, Construction Bois, Géotechnique, Matériaux de construction, Matériaux Liants et Béton, Matériaux Sols, Résistance des matériaux, Stabilité des structures, Topographie et Transferts Thermiques).

Thèmes de recherche

Erosion interne sur des sols sablo-argileux ;
Valorisation des sédiments et sols.

Activités de recherche sur l'érosion interne

Sur la période 2002/2007, j'ai mené des travaux de recherche au sein de l'Institut de Recherche en Génie civil et Mécanique (GeM, UMR CNRS 6183) sur l'étude de l'érosion interne des sols sablo-argileux qui composent la plupart des ouvrages hydrauliques en terre. Ces ouvrages sont nombreux et essentiels, car ils ont pour objectif la protection des personnes et des biens (digues et levées), la production d'électricité ou la constitution de réserves d'eau (barrages).

L'interaction entre l'eau et ces ouvrages peut générer des dommages très importants voire irréversibles. Sur 20 ans, 136 barrages en terre dans le monde ont subi des désordres dont 6% par glissement, 46% par érosion interne et 48% par surverse qui elle-même peut être due à l'érosion interne (Foster et al. 2000). L'érosion interne est donc l'une des principales causes des instabilités d'ouvrages hydrauliques en terre. Ce phénomène est défini comme une migration de particules engendrée par un écoulement hydraulique souterrain dans un sol ou dans un ouvrage en terre. Cette migration engendre une modification des caractéristiques mécaniques et hydrauliques du matériau constituant l'ouvrage, et notamment la perméabilité. La perturbation de cette caractéristique intrinsèque essentielle peut créer une perte d'étanchéité ou une surpression interstitielle. Une telle modification de ce milieu poreux peut être le facteur déclenchant d'une rupture d'ouvrage (figure 1).



Figure1. Rupture par érosion interne d'un barrage expérimental en terre (Höeg et al, 2004).

Au cours de mon stage de DEA (2001-2002), j'ai mené une campagne d'essais préliminaires afin de mettre au point une méthodologie d'essais et un montage expérimental adapté à l'étude de l'érosion interne. Durant ma thèse (2002-2005), j'ai réalisé un prototype expérimental (figure 2) puis des essais paramétriques sur des échantillons sablo-argileux, en contrôlant notamment le confinement, paramètre important mais très souvent négligé.



Figure2. Prototype expérimental (GeM, UMR CNRS 6183)

En étant attaché temporaire d'enseignement et de recherche (ATER, 2005-2007), j'ai poursuivi mes recherches dans le cadre du projet national de l'ANR intitulé ERINOH (ERosion Interne des Ouvrages Hydrauliques) en collaboration avec les laboratoires participants au projet (CEMAGREF, LCPC, LMPG, LIRIGM).

A) Activités de recherche en tant qu' ATER (2005-2007) :

L'équipe de recherche du laboratoire GeM participe au projet ERINOH financé par l'Agence Nationale de la Recherche. Dans le cadre de ce projet, qui a débuté durant ma première année d'ATER, j'ai participé à la réalisation d'une étude expérimentale paramétrique sur l'un des phénomènes d'érosion interne : la suffusion. Les échantillons testés sont de deux types : naturels et reconstitués à partir de mélanges de sables et d'argiles. Cette étude est menée en collaboration avec les laboratoires partenaires du projet (CEMAGREF, LCPC, LMPG, LIRIGM) et permet notamment une confrontation des résultats obtenus avec les différents appareillages pour les différents phénomènes mis en jeu. L'objectif de ces études est la proposition de lois d'érosion, étape préalable à la modélisation de ces phénomènes.

Avec l'équipe du GeM, nous avons réalisé des essais à l'aide du prototype conçu durant ma thèse, sur des échantillons (5 cm de diamètre et 5 à 10 cm de hauteur) sous un confinement triaxial. Au cours de l'écoulement, la mesure des variations volumiques induites des échantillons et celle de la quantité de particules (argile et sable) érodées sont réalisées continûment et de manière automatique.

Nous avons également développé un autre prototype de plus grande dimension qui permet de tester des échantillons de 30 cm de diamètre et de 60 cm de hauteur, en ayant la possibilité de suivre l'évolution de la densité des échantillons à l'aide d'un banc gamma densimétrique asservi

B) Doctorat de Génie Civil (2002-2005) « Influence des interactions mécaniques eau-sol sur l'érosion interne »

L'érosion interne est l'une des principales causes des instabilités d'ouvrages hydrauliques en terre (digue, levée, barrage ...). Les désordres constatés sur des ouvrages récents soulignent la nécessité d'une meilleure compréhension et quantification des phénomènes qui régissent l'érosion interne. L'entraînement et le transport de grains par les écoulements internes affectent la distribution granulométrique, modifient la porosité ainsi que les caractéristiques mécaniques et hydrauliques. L'actuelle méconnaissance de ces phénomènes dans les sols sablo-argileux, très fréquents dans les ouvrages, nous a conduit à privilégier l'étude du comportement de ces milieux.

Une étude préliminaire de visualisation et de quantification de l'influence de quatre paramètres (poids volumique, gradient hydraulique, pourcentage d'argile et ouverture des pores du filtre) nous a permis d'une part de valider leur choix et d'autre part de définir un protocole et un prototype expérimentaux adaptés. Le banc expérimental ainsi réalisé, permet de consolider et de confiner les échantillons en évitant tout écoulement parasite.

Les échantillons ont été soumis à un écoulement descendant sous gradient hydraulique constant. L'acquisition des données est automatisée afin de suivre continûment le débit d'eau injecté, les variations volumiques des échantillons, la masse et la concentration d'argile de l'effluent. Après validation de l'expérimentation par reproduction puis confrontation avec une étude présente dans la littérature, nous avons réalisés des essais paramétriques. Ces expérimentations ont mis en évidence l'existence d'un seuil de gradient hydraulique pour la suffusion d'une fraction de l'argile, qui s'accroît avec le pourcentage d'argile et la pression de confinement.

Nous avons constatés l'existence d'un second seuil au delà duquel la migration d'argile s'accompagne de l'érosion régressive de sable, ce qui induit un renard et finalement l'effondrement de l'échantillon. Ce seuil augmente avec le pourcentage d'argile mais décroît avec la pression de confinement. L'influence des caractéristiques du sable sur le renard a également été mise en évidence.

Nous avons proposé une première modélisation numérique 1D de la suffusion qui permet de représenter l'évolution de la concentration en argile de l'effluent et de la masse érodée.

Ce travail a également permis d'ouvrir d'intéressantes perspectives de recherche théorique et expérimentale sur l'érosion interne.

C) DEA de Génie Civil (2001-2002) « Influence de l'écoulement sur la résistance des sols : étude expérimentale préliminaire »

Les objectifs de cette étude ont été multiples : identifier une méthodologie d'essais et des montages expérimentaux adaptés à notre problématique, mieux comprendre l'érosion interne et la variation de résistance au cisaillement induite par cette érosion.

L'étude préliminaire a permis tout d'abord d'établir un protocole d'essais adapté à notre problématique. Les mesures réalisées conduisent à une meilleure compréhension du phénomène d'érosion régressive localisée, fréquemment appelé renard, et soulignent la diminution de la résistance au cisaillement induite par cette érosion interne.

Grâce à l'étude paramétrique réalisée sur des sols sablo-argileux avec un filtre permettant uniquement la migration de la partie argileuse, nous avons montré que l'augmentation du gradient hydraulique tend à accélérer l'érosion des particules fines et qu'au contraire l'augmentation de la pression de confinement tend à ralentir cette migration. Lorsque l'échantillon est sollicité par un écoulement dirigé de haut en bas, nous pouvons distinguer trois phases d'évolution du coefficient de perméabilité :

- * La première est une phase durant laquelle la proportion de fines évolue peu avec une proportion plus faible de fines à la base de l'échantillon qu'à sa tête ;
- * Au cours de la deuxième phase, il y a apparition d'hétérogénéités granulométriques localisées qui sont le siège d'écoulement(s) préférentiel(s) ;
- * La dernière phase est caractérisée par une stabilisation du coefficient de perméabilité qui tend vers une valeur proche de celle du sable fin.

Ce travail nous a permis également d'initier la réalisation d'un prototype et la définition d'un protocole expérimental, utilisés au cours de ma thèse.

ATER : Allocataire Temporaire d'Enseignement et de Recherches

DEA : Diplôme d'Etude Approfondie

CEMAGREF : Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural et des Eaux et Forêts

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

LMPG : Laboratoire de Mécanique, Physique et Géosciences

LIRIGM : Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche Impliquant la Géologie et la Mécanique

Mots-clés : géotechnique ; sols sablo-argileux saturés ; écoulement ; confinement ; système expérimental ; expérimentation ; érosion interne ; suffusion ; renard.

Liste des travaux de recherche

A. Articles dans des revues internationales et chapitre d'ouvrage:

- 1) Didier Marot, Fateh Bendahmane & Jean-Marie Konrad. 2011, "A multichannel optical sensor to quantify particle stability under seepage flow". Canadian Geotechnical Journal, V.48, p. 1772–1787.
- 2) Marot Didier, Bendahmane Fateh, Rosquoët Frédéric & Alexis Alain. 2009, "Internal Flow Effects on Isotropic Confined Sand-Clay Mixtures". International Soil & Sediment Contamination, V.18, n°3, p.294-306.
- 3) Bendahmane Fateh, Marot Didier & Alexis Alain. 2008, "Experimental Parametric Study of Suffusion and Backward Erosion", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, (ASCE), V 134, p.57-67.
- 4) Marot Didier, Alexis Alain & Bendahmane Fateh. 2007, "A specific triaxial device for the study of internal erosion in cohesive soils". Internal erosion of dams and their foundations, Editeurs Fell R. and Fry J.J, p.159-166.
- 5) Bendahmane Fateh, Marot Didier, Rosquoët Frédéric & Alexis Alain. 2006, "Characterization of internal erosion in sand kaolin soils", European Journal of Environmental and Civil Engineering, V.10, n°4, p. 505-520.

B. Communications à des congrès internationaux et nationaux avec actes publiés :

- 1) Bendahmane Fateh, Marot Didier, Nguyen Hong Hai. 2011, "Etude expérimentale de l'influence de la forme des grains sur l'érosion interne des sols sablo-argileux", 29^{èmes} Rencontres universitaires de Génie Civil, Tlemcen, 10 p.
- 2) Nguyen Hong Hai, Marot Didier, Bendahmane Fateh. 2011, "Phénomène de suffusion : analyse et caractérisation", 29^{èmes} Rencontres universitaires de Génie Civil, Tlemcen, 10 p.
- 3) Bendahmane Fateh, Marot Didier, Alexis Alain & Rosquoët Frédéric. 01-03 juin 2005, "Characterization of internal erosion disturbances on sand/kaolinite samples", McMat 2005, (ASCE), Baton Rouge, USA, 7 p.
- 4) Bendahmane Fateh, Marot Didier, Alexis Alain & Rosquoët Frédéric. 24-27 mai 2005, "Experimental study of internal erosion on cohesive soils", Poromechanics III - Biot Centennial (1905-2005), 3rd Biot Conference, (ASCE), Oklahoma, USA, p.607-613
- 5) Bendahmane Fateh, 1-2 juin 2006, "Influence du confinement et du gradient hydraulique sur l'érosion interne des sols sablo-argileux", 24^{èmes} Rencontres de l'Association Universitaire de Génie Civil, prix « René Houpert », Montpellier, 8 p.

- 6) Rosquoët Frédéric, Bendahmane Fateh, Marot Didier & Alexis Alain. 26-27 mai 2005, “Caractérisation expérimentale des phénomènes d’érosion interne sur des échantillons sablo-argileux”, 23^{èmes} Rencontres universitaires de Génie Civil, Grenoble, 8 p.
- 7) Bendahmane Fateh, Marot Didier, Alexis Alain & Thomas Pierre. 3-4 juin 2004, “Etude expérimentale de l’évolution par érosion interne des matériaux d’ouvrage hydraulique en terre”, 22^{èmes} Rencontres universitaires de Génie Civil, Marne-la-Vallée, 8 p.

C. Communications à des congrès internationaux sans actes :

- 1) Marot Didier, Bendahmane Fateh & Alexis Alain. 11-12 Septembre 2006, “Experiments on backward erosion and suffusion”, Annual Meeting of the European Working Group on Internal Erosion in Embankment Dams, Stockholm, Suède.
- 2) Marot Didier, Bendahmane Fateh & Alexis Alain. 10-12 octobre 2005, “Parametric study of internal erosion on sand-clay sample”, Alert Geomaterials Workshop, Aussois.
- 3) Marot Didier, Bendahmane Fateh & Alexis Alain. 13-14 juin 2005, “Initiation of piping on sand clay samples”, Annual Meeting of the European Working Group on Internal Erosion in Embankment Dams, Munich, Allemagne
- 4) Bendahmane Fateh, Marot Didier, Alexis Alain & Thomas Pierre. 2004, “Evolution des matériaux de digues sous chargement hydraulique” Journée des Doctorants du Pôle Mer Littoral, Saint-Nazaire.

D. Rapports et documents universitaires :

- 1) Bendahmane Fateh. 2005, “Influence des interactions mécaniques eau-sol sur l’érosion interne ” Thèse de Doctorat de l’Université de Nantes, 160 p.
- 2) Bendahmane Fateh. 2003, “Rapport de synthèse bibliographique : expérimentations en laboratoire caractérisant la migration de particules fines par écoulement“. Rapport soumis à IREX, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, Université de Nantes, 16 p.
- 3) Bendahmane Fateh. 2003, “Migration de particules fines sous écoulement, caractérisation et impact sur la résistance au cisaillement” Rapport interne, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, Université de Nantes, 95 p.
- 4) Bendahmane Fateh. 2002, “Influence de l’écoulement sur la résistance des sols : étude expérimentale préliminaire” Mémoire de DEA de l’Université de Nantes, 62 p.