

PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON
UNSATURATED SOILS/UNSAT'95/PARIS/FRANCE/6-8 SEPTEMBER 1995

Unsaturated Soils

Sols Non Saturés

Editors/Rédacteurs

E. E. ALONSO

Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain

P. DELAGE

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France

VOLUME 2



A. A. BALKEMA/ROTTERDAM/BROOKFIELD/1995

Presses de l'école nationale des
Ponts et chaussées

PRESSES DE L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES
PARIS/1995



Table of contents

Table des Matières

4 *Experimental techniques*

Techniques expérimentales

Measurement of the interaction of soil mechanical properties and hydraulic processes with a modified triaxial test 433

Mesure de l'interaction entre les propriétés mécaniques du sol et les phénomènes hydrauliques avec une cellule triaxiale modifiée

Th. Baumgartl, P. Winkelmann, W. Graesle, B.G. Richards & R. Horn

Pore pressure dissipation features of an unsaturated compacted soil 439

Caractéristiques de la dissipation de la pression interstitielle d'un sol non saturé et compacté

Y.J. Chen & P.J. Yu

Geotechnical use of a mini tomography 447

L'usage du mini tomographe dans la géotechnique

W. Conciani, M.M. Soares & S. Crestana

Study of a new apparatus for swelling pressure measurement 453

Etude d'un nouvel appareillage de mesure de la pression de gonflement

G. Didier & M. Afes

A new approach to osmotically controlled oedometer testing 459

Une nouvelle approche pour les essais oedométriques contrôlés par un dispositif osmotique

K. Dineen & J.B. Burland

Capteur de mesure de teneur en eau embarqué en centrifugeuse 467

Moisture content measurement in centrifuge models

A. Dupas, L.M. Cottineau & J. Garnier

Effect of surface confinement on swelling behaviour of soils 473

Effet de la surface de confinement sur le comportement gonflant des sols

M.A. El-Sohby & M.M. Aboutaha

Water-air permeabilities of unsaturated soils 479

Perméabilités eau-air des sols non saturés

J.M. Fleureau & S. Taïbi

A technique for the rapid determination of the moisture retention relationship and hydraulic conductivity of unsaturated soils Une technique pour une détermination rapide de la rétention d'eau et de la conductivité hydraulique des sols non saturés <i>A.B. Fourie & G. Papageorgiou</i>	485
Air flow through partially saturated cohesionless soil Ecoulement d'air au travers d'un sol partiellement saturé et non cohérent <i>M. Fuchsberger & S. Semprich</i>	491
Effect of hysteresis on the shear strength of a residual soil Effet de l'hystérésis sur la résistance au cisaillement d'un sol résiduel <i>K.K. Han, H. Rahardjo & B.B. Broms</i>	499
Measurements of the coefficient of permeability of an unsaturated soil Mesures du coefficient de perméabilité d'un sol non saturé <i>S.-Y. Huang, D.G. Fredlund & S.L. Barbour</i>	505
Prediction of unsaturated hydraulic conductivity using micro-lysimeters Evaluation de la conductivité hydraulique en non saturé à l'aide de micro-lysimètres <i>J.A. Koupai, G.E. Swarbrick & R. Fell</i>	513
Typical soil-water characteristic curves for two residual soils from granitic and sedimentary formations Courbes typiques de rétention d'eau pour deux sols résiduels de formations granitiques et sédimentaires <i>E.C. Leong & H. Rahardjo</i>	519
In situ permeability testing of partially saturated soils using a sealed double ring infiltrometer Test de perméabilité in-situ de sols partiellement saturés en utilisant un double infiltromètre circulaire étanché <i>J.A. Little, R.K. Silver & J.B. Joseph</i>	525
Stiffness measurements on an unsaturated high plasticity clay using bender elements Mesures de rigidité dans une argile non saturée hautement plastique en utilisant des éléments fléchissant <i>F.A.M. Marinho, R.J. Chandler & M.S. Crilly</i>	535
Pore pressure development in compacted wet clayey soils; an approach using simple laboratory tests Pressions interstitielles dans les sols argileux humides compactés; approche par des essais de laboratoire simples <i>D. Poulain, E. Alonso & H. Girard</i>	541
Automated laboratory testing for soil/water characteristic curves Tests de laboratoire automatisés pour les courbes de rétention d'eau <i>R.P. Ray & K.B. Morris</i>	547
Development of a new suction and temperature controlled oedometer cell Développement d'une nouvelle cellule oedométrique avec contrôle de succion et de température <i>E. Romero, A. Lloret & A. Gens</i>	553

Adsorption and dispersion characteristics within unsaturated zone Caractéristiques d'adsorption et de dispersion dans la zone non saturée <i>T.Sato, H.Tanahashi, A.Yuasa & T.Uno</i>	561
Parameter estimation of unsaturated soil hydraulic properties from unsteady drainage experiments in the laboratory Estimation paramétrique des propriétés hydrauliques des sols non saturés à partir des essais en laboratoire en drainage transitoire <i>Y.Takeshita & I.Kohno</i>	567
Laboratory permeability measurement of partially saturated soil Mesure en laboratoire de la perméabilité des sols partiellement saturés <i>T.Uno, T.Sato & T.Sugii</i>	573
Laboratory determination of hydraulic conductivity for an initially unsaturated sand-bentonite barrier material Détermination en laboratoire de la conductivité hydraulique pour une barrière constituée d'un mélange de sable-bentonite initialement non saturé <i>R.N.Yong & A.R.Cabral</i>	579
Modification of triaxial apparatus for prediction of dam core behaviour Modification de l'appareil de triaxial pour prévoir le comportement des noyaux des barrages <i>S.Żakowicz & K.Garbulewski</i>	585
 <i>5 Experimental techniques: Suction measurements</i> <i>Techniques expérimentales: Mesures de succion</i>	
Suction as an indicator of soil expansive potential Rôle de la succion comme indicateur de gonflement d'un sol <i>K.Garbulewski & S.Żakowicz</i>	593
Field measurement of soil suction Mesure in-situ de la succion du sol <i>C.S.Gourley & H.D.Schreiner</i>	601
Soil suction in embankments of expansive clay Mesures de succion dans un remblai en argile gonflante <i>J.C.Holden & H.V.P.Truong</i>	609
Techniques to evaluate soil suction – A vital unsaturated soil water variable Techniques de mesure de la succion du sol – Une variable essentielle pour les sols non saturés <i>H.C.Lee & W.K.Wray</i>	615
Cavitation and the direct measurement of soil suction Cavitation et mesure directe de la succion du sol <i>F.A.M.Marinho & R.J.Chandler</i>	623
Matric suction monitoring in an expansive soil subgrade in Kenya La succion matricielle dans un sol gonflant au Kenya <i>S.Y.Oloo & D.G.Fredlund</i>	631

Shear strength and in-situ matric suction of a residual soil Résistance au cisaillement et succion matricielle d'un sol résiduel in-situ <i>H.Rahardjo H., M.F.Chang & T.T.Lim</i>	637
Strength-suction-moisture content relationships for kaolin under normal atmospheric conditions Relations résistance-succion-teneur en eau pour un kaolin sous conditions atmosphériques normales <i>A.M.Ridley</i>	645
Measurement of soil suction using the filter paper method Mesure de la succion du sol par la méthode du papier filtre <i>G.E.Swarbrick</i>	653
Soil suction measurement with transistor psychrometer Mesure de la succion des sols avec un psychromètre à transistors <i>H.V.P.Truong & J.C.Holden</i>	659
New approaches to the laboratory and field measurement of soil suction Nouvelles approches de la mesure de la succion du sol au laboratoire et in-situ <i>J.A.Woodburn & B.Lucas</i>	667
Essais triaxiaux utilisant des psychromètres Triaxial testing using psychrometers <i>M.I.Zerhouni</i>	673
6 Constitutive modelling Modèles de comportement	
Constitutive modelling of unsaturated soils using hyperelasticity theory Modèle de comportement pour les sols non saturés utilisant la théorie de l'hyperélasticité <i>S.R.Ali, I.C.Pyrah & W.F.Anderson</i>	681
Influence of deposition on deformation of unsaturated soils Influence du mode de dépôt sur la déformation de sols non saturés <i>T.Amirsoleymani</i>	687
Stress theory and axiomatics as well as consolidation theory of unsaturated soils Théorie de la consolidation des sols non saturés en utilisant l'état de contrainte <i>Z.H.Chen</i>	695
An elasto-plastic model for compacted soils Un modèle élasto-plastique pour les sols compactés <i>Y.J.Cui, P.Delage & N.Sultan</i>	703
Compression of unsaturated double-porosity clay Compression d'une argile non saturée de double porosité <i>J.Feda</i>	711

Interaction between soil mechanical properties of structured soils and hydraulic process: Theoretical fundamentals of a model Interaction entre les propriétés mécaniques du sol et les processus hydrauliques d'un sol structure: Fondements théoriques d'un modèle numérique <i>W.Grälsle, B.G.Richards, T.Baumgartl & R.Horn</i>	719
A comprehensive concept for non-saturated granular bodies Un concept unifié pour les sols granulaires non saturés <i>G.Gudehus</i>	725
A constitutive model for unsaturated soil based on extended SMP Un modèle constitutif pour les sols non saturés basé sur le 'SMP' étendu <i>S.Kato, H.Matsuoka & D.A.Sun</i>	739
On the theory of three-dimensional consolidation in unsaturated soils Sur la théorie de la consolidation tridimensionnelle des sols non saturés <i>N.Khalili & M.H.Khabbaz</i>	745
Comparison of Eulerian and Lagrangian approaches in soil deformation and water flow Comparaison des approches Euleriennes et Lagrangienne pour la déformation des sols et l'écoulement de l'eau <i>D.J.Kim, R.Angulo Jaramillo, M.Vauclin & J.Feyen</i>	751
An experimental analysis of the development of pore-water pressure in an unsaturated compacted soil Une analyse expérimentale du développement de la pression interstitielle dans un sol compacté non saturé <i>A.H.P.Lins, S.S.Sandroni & G.C.Sills</i>	759
Modèle de comportement pour sols compactés Constitutive equations for compacted soils <i>M.Olivier & A.Mesbah</i>	765
Basic mechanical modelisation of chalk/water interaction Modélisation élémentaire de l'interaction mécanique entre eau et craie <i>J.-M.Piau & V.Maury</i>	775
The role of stress on the behaviour of unsaturated soils Le rôle de la contrainte sur le comportement des sols non saturés <i>B.G.Richards, R.Horn, T.Baumgartl & W.Graesle</i>	785
Prediction of volume change in unsaturated clays Prévision du changement de volume des argiles non saturées <i>A.Sabbagh</i>	791
Large strain consolidation in unsaturated porous media Consolidation en grande déformation dans un milieu poreux non saturé <i>G.E.Swarbrick</i>	797
A conceptual model for the drying and wetting of soil Un modèle conceptuel pour le séchage et le mouillage du sol <i>D.G.Toll</i>	805

Nonlinear damage model for unsaturated compacted soils Modèle d'endommagement pour les sols compactés non saturés <i>D.Q.Yang</i>	811
<i>7 Field measurements and case records</i> <i>Mesures in-situ et études de cas</i>	
Field measurement of hydraulic conductivity in slowly permeable swelling soils under saturated-unsaturated conditions Mesure in-situ en condition saturée et non saturée de la conductivité hydraulique de sols gonflants très peu perméables <i>R.Angulo Jaramillo, P.Gérard-Marchant, J.P.Gaudet, J.L.Thony, M.Vauclin, R.Haverkamp & D.E.Elrck</i>	821
Throughflow information by electric prospecting Etude de l'écoulement par une méthode de prospection électrique <i>C.Aoyama, T.Nishigata & K.Nishida</i>	827
The water balance for an ash dump in a water-deficient climate Equilibre hydrique d'une décharge de cendres sèches en zone aride <i>G.E.Blight & K.Roussev</i>	833
Inadequate performance of light constructions due to expansive soils – Case records from Greece Dommages causés aux constructions légères dus aux sols gonflants – Cas de la Grèce <i>J.Christodoulis & H.Giannaros</i>	841
Volume change measurements in collapsible soil by laboratory and field tests Mesures des variations de volume dans les sols effondrables par des essais au laboratoire et sur site <i>S.R.M.Ferreira & W.A.Lacerda</i>	847
Matric suction and deformation monitoring at an expansive soil site in southern China Succion matricielle et mesure de déformation dans un site de sol gonflant au sud de la Chine <i>D.G.Fredlund, S.K.Huang, A.W.Clifton, Q.Wang, S.L.Barbour, Z.J.Ke & Q.Y.Fan</i>	855
The cause of a large number of houses damage La cause d'endommagement d'un grand nombre de maisons <i>D.Gao</i>	863
Infiltration studies for unsaturated soils Etudes d'infiltration pour les sols non saturés <i>W.N.Houston & S.L.Houston</i>	869
Laboratory and field tests on an unsaturated expansive clay Essais de laboratoire et in-situ réalisés avec des argiles gonflantes non saturées <i>J.F.T.Jucá, J.M.Justino da Silva, J.A.Gusmão Filho & E.G.Bastos</i>	877
Behavior of liquid phase hydrocarbons in fractured, unsaturated clay Comportement des hydrocarbures en phase liquide dans des argiles fracturées et non saturées <i>D.D.Kent & A.W.Clifton</i>	885

Simplified heave prediction for expansive soils Prévision simplifiée du gonflement des sols gonflants <i>D.J.Miller, D.B.Durkee, K.C.Chao & J.D.Nelson</i>	891
Movements of large retaining walls due to swelling of steel plant slag Déplacements de grands murs de soutènement dus au gonflement des scories d'une aciérie <i>W.J.Neely</i>	899
Negative pore pressures – Seasonal variation and importance in slope stability analysis Pressions interstitielles négatives – Variation saisonnière et importance dans l'analyse de la stabilité des pentes <i>A.-L.Öberg</i>	907
Risk map for swelling of soils in Spain: Results Cartographie des risques liés aux sols gonflants en Espagne: Résultats <i>C.S.Oteo, F.J.Ayala, J.L.Salinas & M.Ferrer</i>	915
Study of underground water contamination by flow leachate through unsaturated soils: Water sampling Etude de la contamination de l'eau souterraine par percolation des contaminants à travers des sols non saturés: Prélèvement de l'eau <i>P.C.Santos & P.M.Santos Neto</i>	921
Tracking in-situ moisture transients in heated clay Suivi de la propagation in-situ de l'humidité dans l'argile chauffée <i>A.W.L.Wan, M.N.Gray & N.A.Chandler</i>	925
 8 Foundations and pavements <i>Fondations et chaussées</i>	
Settlement of a 12 storey building due to dessication induced by trees: A case study Tassement d'une édifice de 12 étages provoqué par la dessication induite par des arbres: Etude de cas <i>E.E.Alonso & A.Lloret</i>	935
Moisture and volume changes in unsaturated soils Variations de teneur en eau et de volume des sols non saturés <i>S.Andrei & S.Manea</i>	945
Foundation design practices for collapsing soils in the Western United States Pratique de la conception des fondations sur sols effondrables dans l'Ouest des Etats-Unis <i>G.H.Beckwith</i>	953
The use of edge membranes in airport pavement rehabilitation Utilisation de membranes dans la réhabilitation d'une piste d'aéroport <i>V.A.Diyaljee, K.Li & B.Wiens</i>	959

Regulations to control rising ground water impacts on eastern Riyadh buildings and infrastructure Régulations pour le contrôle des impacts de la montée de la nappe phréatique sur les bâtiments et l'infrastructure de l'est Riyadh <i>A. El Nimr, S. Al Fayzi & M. Hamadto</i>	967
Settlement computation and practical confirmation of belled pier in loess Calcul des tassements et validation sur des pieux creusés dans un loess <i>G.-Y. Gao & S.-M. Wu</i>	973
Improvement of performance of strip foundations for low-cost low-rise buildings on expansive soils Amélioration des fondations sur semelles filantes pour la construction économique sur sols gonflants <i>M. E. M. Hamadto</i>	981
Reduction of swelling pressures by use of vertical compressible geosynthetic elements Réduction des pressions de gonflement par l'emploi d'éléments géosynthétiques verticaux compressibles <i>A. S. Nene, P. B. Daigavane & A. M. Shingarey</i>	987
Effects of vertical moisture barriers on roughness development of pavements on expansive soils Effets des barrières verticales d'humidité sur le développement de la rugosité des chaussées sur sols gonflants <i>F. N. Nyangaga, R. L. Lytton & D. A. Gay</i>	991
Load-settlement response of shallow foundations in structured unsaturated soils Réponse effort-tassement des fondations superficielles dans les sols structurés non saturés <i>F. Schnaid, N. C. Consoli, R. O. Cudmani & J. Milititsky</i>	999
Uneven subsidence of the soil due to collapse Tassement irrégulier d'un sol dû à l'effondrement <i>A. Shmuelyan</i>	1005
Unsaturated soil problems on the Itaparica dam reservoir area – Brazil Problèmes posés par des sols non saturés dans la région du réservoir du barrage de Itaparica – Brésil <i>R. J. B. Souza, A. J. C. T. Cavalcanti, A. A. Vasconcelos & C. J. G. Aragão</i>	1011
Shallow foundations on collapsible soil improved by compaction Fondations superficielles dans des sols effondrables améliorés par compactage <i>A. Souza, J. C. A. Cintra & O. M. Vilar</i>	1017
Development of principal distortion modes of slabs-on-ground on expansive soils solely as a function of climate Développement de modes principaux de distorsion de radiers sur des sols gonflants en fonction seulement du climat <i>W. K. Wray</i>	1023

9 *Numerical analysis and coupling*
Analyses numériques et couplages

- Illustration of a general T.H.M. model with phase change – A heat storage case in unsaturated soils 1033
Illustration d'un modèle général T.H.M. avec changement de phase – Cas d'un stockage de chaleur en sol non saturé
M.-A. Abellan & P. Jouanna
- Unsaturated flow and deformation pattern in tunnelling through swelling rock 1041
Ecoulement non saturé et déformation lors du creusement des tunnels dans des roches gonflantes
G. Anagnostou
- Nouvelle formulation de la surface d'état en indice des vides pour un modèle non linéaire élastique des sols non saturés – Code U-Dam 1049
A new void ratio state surface formulation for the non linear elastic constitutive modelling of unsaturated soil – Code U-Dam
B. Gatmiri & P. Delage
- Numerical approach of elastoplastic consolidation of unsaturated soils 1057
Approche numérique de la consolidation élastoplastique des sols non saturés
B. Gatmiri, S. Tavakoli, J. Moussavi & P. Delage
- Analysis of hydration of an engineered barrier in a radioactive waste repository scheme using an elastoplastic model 1065
Analyse par un modèle élastoplastique de l'hydratation d'une barrière ouvragée pour un projet de dépôt de déchets radioactifs
A. Gens, J. Vaunat & A. Ledesma
- Settlement of buildings resting on unsaturated compacted soils 1075
Tassement des bâtiments fondés sur les sols non saturés
G. Habibagahi
- The influence of soil variability on predictions of compaction by agricultural tyres 1079
Influence de la variabilité du sol sur les prévisions de compactage des engins agricoles
J. M. Kirby
- A consolidation analysis method for unsaturated soils coupled with an elastoplastic model 1085
Une méthode d'analyse de la consolidation pour sols non saturés couplée avec un modèle élasto-plastique
Y. Kohgo
- A finite analytic model for analysis of recharge through unsaturated soils 1095
Un modèle analytique fini pour l'analyse de la recharge à travers les sols non saturés
M. S. M. Kumar, K. S. H. Prasad & M. Sekhar
- Numerical simulation of La Ganne dam behaviour by a three phases approach 1101
Simulation numérique du barrage de La Ganne par une modélisation triphasique
F. Laigle, D. Poulain & P. Magnin

Finite element analysis of deep beams in expansive clays Analyse par éléments finis de poutres profondes dans des argiles gonflantes <i>J.Li & D.A.Cameron</i>	1109
UNSTRUCT – A finite element method program for unsaturated soils UNSTRUCT – Méthode des éléments finis appliquée aux sols non saturés <i>A.N.Miranda, R.A.Menescal & F.C.Silva Filho</i>	1117
Numerical simulation of deformation of soil pore structure Simulation numérique de la déformation de la structure poreuse d'un sol <i>C.J.Moran & J.M.Kirby</i>	1123
Comparison of two FEM models for unsaturated consolidation of embankment dams during construction Comparaison de deux modèles aux éléments finis de la consolidation en non saturé des barrages en terre en construction <i>A.Nanda, P.Delage & B.Gatmiri</i>	1129
Modelling thermo/hydraulic/mechanical processes in the containment of nuclear waste Modélisation thermo-hydro-mécanique des sols pour le stockage des déchets nucléaires <i>H.R.Thomas, E.E.Alonso & A.Gens</i>	1135
Author index Index des auteurs	1143