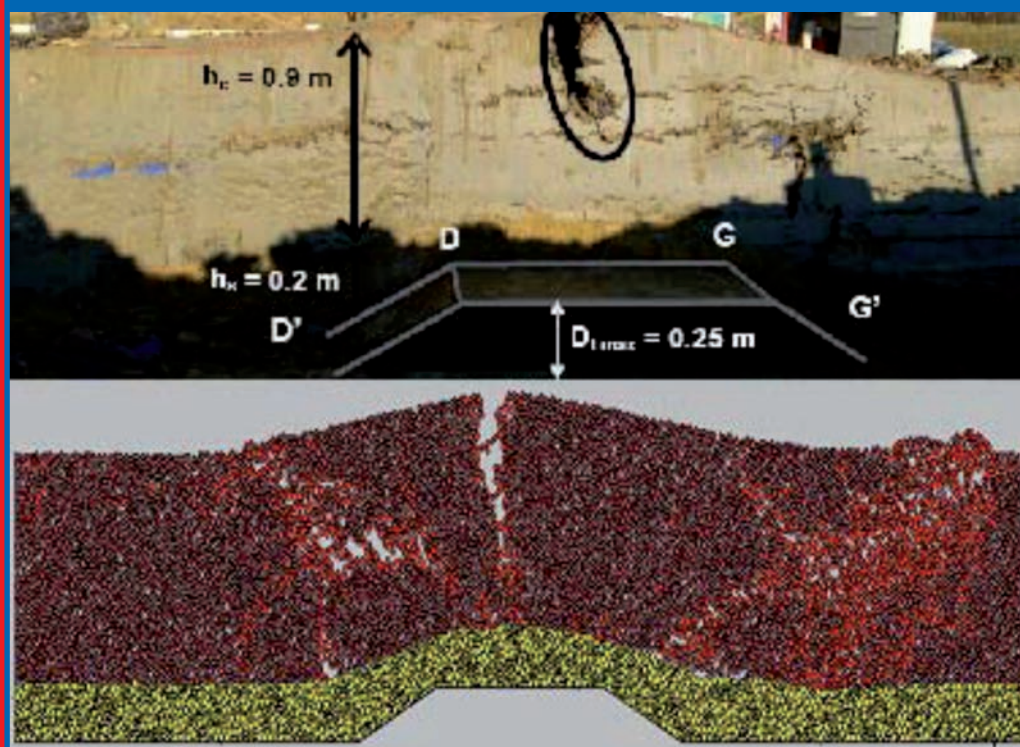


RENCONTRES AUGC 2009 RENNES – SAINT-MALO (2^E PARTIE)

MODÉLISATION DISCRÈTE DE LA RÉSISTANCE À LA TRACTION D'UNE COUCHE D'ARGILE



SUIVI *IN SITU* DE LA VARIABILITÉ DES PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES DE SOLS ARGILEUX PAR INSTRUMENTATION GÉOTECHNIQUE-GÉOPHYSIQUE

ÉTUDE DE L'ALTÉRATION DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE RENNES

PRÉSERVATION DES OUVRAGES D'ART EN BÉTON PRÉCONTRAIT : APPLICATION DE L'ÉMISSION ACOUSTIQUE À LA DÉTECTION DE LA CORROSION

ISSN : 1270-9840
CPPAP : 1002T77866

ISBN 978-2-7472-1681-4



9 782747 216814

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

recherches débats actions

SOMMAIRE

LES MATIÈRES PREMIÈRES

Éditorial – *Bruno SAUVALLÉ*

Général

Équité et efficacité dans l'usage des ressources naturelles –
Pierre-Noël GIRAUD

Seule certitude pour 2010 : l'instabilité – *Philippe CHALMIN*

Énergie

Les perspectives de l'offre mondiale de pétrole – *Bruno WEYMULLER*

Les évolutions du prix du pétrole – *Denis BABUSIAUX et Axel PIERRU*

Le gaz naturel : une énergie d'avenir – *Jean-Marie DAUGER*

La nouvelle géopolitique charbonnière – *Sylvie CORNOT-GANDOLPHE*

Les matières premières nucléaires – *Bernard BIGOT*

Biocarburants : quel potentiel de développement ? –
Nathalie ALAZARD-TOUX

Agriculture

Comment nourrir neuf milliards de personnes sans détruire l'environnement ? – *Michel GRIFFON*

Donner la priorité à une approche économique du développement de l'agriculture africaine – *Bernard BACHELIER*

Métaux

La gestion stratégique des ressources minérales par les Etats et les compagnies minières : vers un développement des oligopoles ? –
Patrice CHRISTMANN et Bruno MARTEL-JANTIN

L'initiative européenne sur les matières premières –
Abraão de CARVALHO

Les ressources minérales : un atout pour le développement de l'Afrique subsaharienne ? – *Paulo de SA et Gary McMAHON*

Le lithium : un métal stratégique – *Antoine GOUZE*

Les terres rares, des matières premières minérales stratégiques –
Jean-Pierre CLAMADIEU et Emmanuel BUTSTRAEN

Dossier coordonné par Pierre-Noël GIRAUD et Pierre COUVEINHES



AVRIL 2010

ISSN 1268-4783

ISBN 978-2-7472-1672-2

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

☐ Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Responsabilité & Environnement avril 2010 - numéro 58** (ISBN 978-2-7472-1672-2) au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins ☐ un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

☐ un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Serge KEBABTCHIEFF

RÉDACTION

Rédacteur en chef

François BUYLE-BODIN,
université de Lille

Représentant

**l'Association Française
de Génie Civil AFGC**

Jean-Marc TANIS (EGIS), président du CA
Bruno GODART (LCPC), président du Comité
des Affaires Générales
Patrick GUIRAUD (Cimbéton),
vice-président du CAG
Thierry KRETZ (SETRA),
Président du Comité Scientifique et Technique

**Représentant l'Association
Universitaire de Génie
Civil AUGC**

Denys BREYSSE
(université de Bordeaux),
président du CA
Anne PANTET (université de Poitiers),
membre du CA, chargée des publications
des rencontres de Saint-Malo
Olivier PLÉ (université de Grenoble),
membre du CA, chargé du prix jeunes
chercheurs « René Houpert »
Ahmed LOUKILI,
membre du conseil scientifique

Représentant le LCPC

Jean-Luc CLÉMENT, direction scientifique

Représentant la SMA-BTP et le GIS MRGenCi
(maîtrise des risques en génie civil)

Vincent MELACCA

ABONNEMENT :

Editions ESKA <http://www.eska.fr>

12, rue du Quatre-Septembre - 75002 PARIS
Tél. : 01 42 86 55 65 - Fax : 01 42 60 45 35

FABRICATION : AGPA EDITIONS

4, rue Camélinat - 42000 Saint-Etienne
Tél. : 04 77 43 26 70 - Fax : 04 77 41 85 04
E-mail : agpaedit@yahoo.com

PUBLICITÉ - À la rédaction

IMPRESSION

sommaire

RENCONTRES AUGC 2009 Rennes – Saint-Malo (2^e partie)

sols et fondations

*Modélisation discrète de la résistance à la traction d'une couche d'argile –
T.-N.-H. LÊ, O. PLÉ, P. VILLARD, J.P. GOURC* 5

*Suivi in situ de la variabilité des paramètres géotechniques de sols
argileux par instrumentation géotechnique-géophysique – M. CHRÉTIEN,
J.-F. LATASTE, R. FABRE* 11

génie urbain

*Étude de l'altération du réseau d'assainissement de la ville de Rennes –
Y. MÉLINGE, R. JAUBERTHIE, C. DAIGUEBONNE, O. GUILLOU,
R. LAHOGUE, B. GUEGUEN* 19

diagnostic, maintenance, réparation

*Préservation des ouvrages d'art en béton précontraint : application
de l'émission acoustique à la détection de la corrosion – M. PERRIN,
L. GAILLET, C. TESSIER, H. IDRISSE* 28

résumés — abstracts	3
annonces de colloques	33
recommandations aux auteurs	40
bulletin d'abonnement	2



BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner aux Éditions ESKA

12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. 01 42 86 55 65 – Fax 01 42 60 45 35

Nom

Raison sociale.....

Adresse

Code postal Ville Pays

Je m'abonne pour l'année 2010 (6 numéros/an) à la revue « *Annales du BTP* » :

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE individuel (TTC) : 222 € | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER individuel (HT) : 269 € |
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE institution (TTC) : 279 € | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER institution (HT) : 321 € |

À partir du 2^e abonnement :

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE individuel (TTC) : 179 € | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER individuel (HT) : 215 € |
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE institution (TTC) : 224 € | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER institution (HT) : 257 € |

Surtaxe aérienne 2,90 € par volume (2,90 x 6) soit 17,40 €

Je joins :

- | |
|---|
| <input type="checkbox"/> Un chèque bancaire à l'ordre des Editions ESKA |
| <input type="checkbox"/> Un virement bancaire aux Editions ESKA -
BNP Paris - Champs Elysées - 30004-00804 - Compte 000101399.56 |

* 1/2010

LISTE DES ANNONCEURS

ÉDITIONS ESKA : 2^e - 3^e et 4^e de couv

résumés — abstracts

MODÉLISATION DISCRÈTE DE LA RÉSISTANCE À LA TRACTION D'UNE COUCHE D'ARGILE

Thi-Ngoc-Hà LÊ, O. PLÉ, P. VILLARD, J.P. GOURC

La méthode des éléments discrets est utilisée pour simuler la résistance à la traction et l'endommagement d'une couche d'argile soumise à des sollicitations de flexion. C'est notamment le cas des barrières argileuses passives des centres de stockage de déchets. Comme le sol étudié est plastique, la méthode des éléments discrets a d'abord été calibrée sur des résultats préliminaires qui prennent en compte les propriétés cohésives du matériau. Différentes lois de contact et d'interaction ont été testées et montrent que la modélisation est capable de reproduire les mécanismes d'endommagement observés. Ces résultats numériques prometteurs ont été étendus à la simulation d'une barrière étanche d'un centre de stockage de déchets et comparés à des résultats expérimentaux en vraie grandeur réalisés sur une installation de stockage de déchets

DISCRETE ANALYSIS OF CLAY LAYER TENSILE STRENGTH

The Discrete Element Method is used to investigate the tensile behaviour and cracks mechanisms of a clay material submitted to bending loading. It is the case of compacted clay liners in landfill cap cover application. Such as the soil tested in this study is plastic clay, the distinct elements model was calibrated with previous data results by taking into account cohesive properties. Various contact and cohesion laws are tested to show that the numerical model is able to reproduce the failure mechanism. Numerical results are extending to simulate a landfill cap cover and comparing to experimental large scale field bending tests achieved in a real site of storage.

SUIVI IN SITU DE LA VARIABILITÉ DES PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES DE SOLS ARGILEUX PAR INSTRUMENTATION GÉOTECHNIQUE-GÉOPHYSIQUE

Marie CHRÉTIEN, Jean-François LATASTE,
Richard FABRE

L'intérêt de cette étude est d'appréhender la variabilité géotechnique des sols à l'aide d'une méthode associant les données géophysiques aux valeurs des paramètres géotechniques obtenus in situ et en laboratoire. Ce couplage repose sur une instrumentation géotechnique et géophysique continue sur un site expérimental de la commune de Pessac (Gironde). Ce dispositif cherche à établir des corrélations entre les sollicitations mécaniques enregistrées par le sol (déplacements verticaux) en fonction de l'évolution de la teneur en eau volumique des sols jusqu'à 3 m de profondeur,

reliée aux variations de résistivités électriques. Les travaux présentent les premiers résultats comparés entre les données géotechniques et les données géophysiques issues d'un dispositif de tomographie de résistivité électrique installé à demeure, aboutissant à l'obtention de gammes de résistivité électriques variables corrélées aux faciès rencontrés et à la teneur en eau des sols. Cette nouvelle démarche cherche à donner des outils afin d'améliorer la prévention constructive face au risque de retrait-gonflement des sols argileux après des épisodes de sécheresse. Le but est d'établir des critères géotechniques pour optimiser les profondeurs d'ancrage des fondations superficielles d'un bâtiment.

AN IN-SITU GEOTECHNICAL AND GEOPHYSICAL SURVEY OF CLAYEY SOILS BEHAVIOUR.

The aim of this study is to identify the soil variability using a new method integrating geophysical and geotechnical data obtained in situ and in laboratory. This research is based on the setting of an experimental site on Pessac town (Gironde) in order to monitor clayey behavior, to establish correlations between geotechnical properties, water content variations and electrical resistivity on soils during long term. The purpose is to survey and evaluate kinetics of soil water content evolution, temperature and vertical displacements up to 3 m depth. This paper presents the first results which compare geotechnical, volumetric and electrical resistivity data by combining the field and laboratory measurements. This new response attempts to give geotechnical tools to prevent the swelling-shrinkage hazard on constructions. This research aims to optimize foundations into clayey soils sensitive to moisture variations.

ÉTUDE DE L'ALTÉRATION DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE RENNES

Y. MÉLINGE, R. JAUBERTHIE, C. DAIGUEBONNE,
O. GUILLOU, R. LAHOGUE, B. GUEGUEN

En collaboration avec la ville de Rennes, nous avons entrepris une étude de l'état du réseau d'assainissement de la ville. Celui-ci est composé quasi exclusivement de conduites en béton. Différents protocoles expérimentaux ont été développés afin de mettre en évidence les pathologies majeures des matériaux à base cimentaire placés dans un tel contexte d'agression, mais également pour mettre en évidence certains des facteurs responsables de l'altération des ouvrages. Dans cet article, nous présentons quelques unes des pathologies détectées sur un prélèvement réalisé sur le réseau par analyses physico-chimique et nous présentons également les premiers résultats de résistances mécaniques obtenus sur une population de 25 prélèvements.

EVALUATION OF PARTIALLY DEGRADED EXISTING SEWER SYSTEM: INSPECTION OF CEMENT CONCRETE PIPE

The laboratory of Materials at INSA Rennes, France, has performed several studies on the durability of cement mortar in several environments. The objective of the study is to examine the effective state of concrete of Rennes sewage system. The actual structured sewage system began in 1880 and is developed during the twenties century. The maximum of development appears around 1960. During this time, the aggressive environment has evolved: often public buildings have replaced industrial zone, permeability of soils decrease... Such mechanicals and chemicals solicitations induce internal and external damage of concrete pipe. The final objective of the project is to determine the parameters to predict the breakage and help for a better management of the Rennes sewage.

PRÉSERVATION DES OUVRAGES D'ART EN BÉTON PRÉCONTRAINT : APPLICATION DE L'ÉMISSION ACOUSTIQUE À LA DÉTECTION DE LA CORROSION

Marianne PERRIN, Laurent GAILLET,
Christian TESSIER, Hassane IDRISSE

La technique d'émission acoustique (EA) est étudiée dans le cadre de l'auscultation de la corrosion sous contrainte des câbles de précontrainte. Cette méthode de contrôle non destructive semble particulièrement adaptée puisqu'elle permet de détecter des défauts actifs en temps réel. Dans cette étude, les mécanismes

de corrosion sont reproduits de manière accélérée en utilisant une solution de thiocyanate d'ammonium.

Ce travail propose dans un premier temps de caractériser les différentes phases d'endommagement des armatures par des paramètres d'EA. La seconde partie de cette étude consiste à appliquer la méthode d'EA sur une structure proche des configurations in-situ. Le choix et le positionnement des capteurs ont été particulièrement examinés. Ces premiers résultats montrent la difficulté de détecter des ondes propageant dans le câble enrobé de coulis de ciment. Néanmoins certains capteurs apportent des résultats prometteurs.

PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES PRESERVATION: USE OF ACOUSTIC EMISSION FOR CORROSION DETECTION

Acoustic emission technique (AE) is studied to monitor stress corrosion cracking of prestressing strands. This non-destructive method seems particularly suitable due to its capacity to realize a real-time detection of active defects. In this study, corrosion mechanisms are reproduced in an accelerated way by using ammonium thiocyanate solution.

Firstly this work proposes to characterize the different strands damage stages with AE parameters. The second part of this study consists in applying AE method in a real-like prestressed structure. A special focus has been made on sensors choice and location. These first results highlight difficulties to detect waves propagating inside a strand coated with a cement grout. Nevertheless some sensors provide promising results.

MODÉLISATION DISCRÈTE DE LA RÉSISTANCE À LA TRACTION D'UNE COUCHE D'ARGILE

Thi-Ngoc-Hà LÊ*, O. PLÉ*, P. VILLARD*, J.P. GOURC**

*Université Joseph Fourier, Laboratoire 3S-R, Domaine Universitaire, BP 53, F-38041 Grenoble Cedex 98, France, olivier.ple@ujf-grenoble.fr

**Université Joseph Fourier, Laboratoire THE, Domaine Universitaire, BP 53, F-38041 Grenoble Cedex 98, France, jp.gourc@ujf-grenoble.fr

1. INTRODUCTION

Les centres de stockage de déchets (ISD) ont une barrière sommitale composée d'une couche d'argile compactée. Cette barrière pose de nombreux problèmes en particulier ceux relatifs à sa mise en œuvre et à sa durabilité. En effet, de nombreuses sollicitations (tassements, surcharge, dessiccation, gel) peuvent induire des dommages par flexion-cisaillement dans la couche d'argile et ainsi mettre en défaut son étanchéité. Dans ces conditions, la sécurité du site de stockage ne pourrait plus être garantie.

De nombreuses lois de comportement existent dans la littérature sur la résistance à la compression sous faible et fort confinement et sur la résistance au cisaillement des argiles plastiques non saturées. Malheureusement, la résistance à la traction de ce genre de matériau n'est pas très souvent étudiée et les références bibliographiques associées sont parfois contradictoires. Les expériences de traction directe sur ce matériau étant difficiles à réaliser, une méthode utilisant une modélisation discrète est proposée comme solution alternative. Déjà très largement développée sur les matériaux granulaires (Cundall et Strack, 1979), cette technique n'est habituellement pas utilisée pour reproduire le comportement de matériaux cohérents.

Comme le sol testé dans cette étude est une argile non saturée très plastique, la méthode discrète a d'abord été calibrée sur les lois de référence du code de calcul PFC^{2D} et appliquée à la simulation d'expériences biaxiales. Différentes lois de contact ont ensuite été testées pour comprendre comment les interactions entre les particules rendent compte d'un comportement macroscopique élasto-plastique. Une extension de ces résultats à la résistance à la traction d'une argile plastique montre que la simulation numérique est capable de reproduire les mécanismes d'endommagement observés en laboratoire. Une application de cette approche à la modélisation du comportement en flexion d'une couverture d'un centre de stockage de déchets est réalisée. Une étude comparative avec des essais en vraie grandeur sur site montre l'intérêt de ce genre de modélisation dans le dimensionnement des ouvrages géotechniques.

2. PRINCIPE DE L'ESSAI EN VRAIE GRANDEUR

La majorité des pathologies observées sur les couvertures des centres de stockage proviennent du tassement différen-

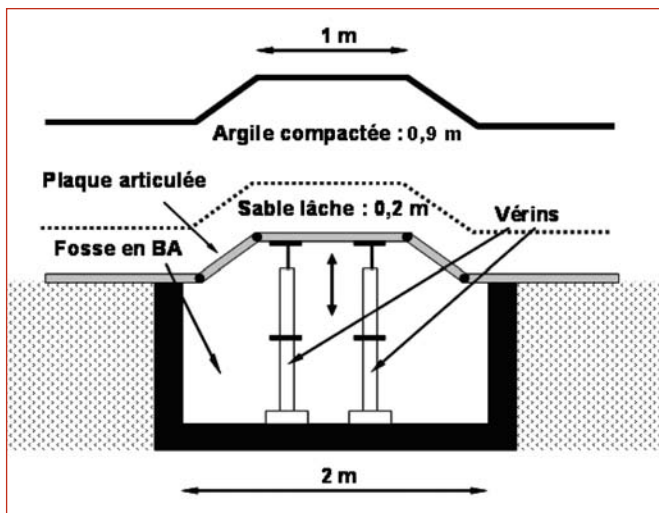


Figure 1. Essai de soulèvement d'une couverture d'une ISD.

tiel des déchets sous-jacents. La conséquence est un endommagement par flexion-cisaillement de la couche d'argile (barrière passive). Ce phénomène peut être mis expérimentalement en évidence en soumettant la couverture, composée d'une barrière active (géotextile + géomembrane) et d'une barrière passive, à des sollicitations de flexion. Deux types de tests en vraie grandeur sont alors réalisés pour cela, des tests de tassement et des tests de soulèvement. Afin d'observer au cours de la déformation l'évolution de l'endommagement de la couche d'argile compactée des essais de soulèvements ont été réalisés (Figure 1). Pour cela, une fosse en béton armé de 2 mètres

de profondeur a été réalisée (Figure 2). Une plaque métallique articulée a été placée sur la fosse (Figure 3). Un ensemble de 4 vérins hydrauliques permet le déplacement de la plaque et de produire un soulèvement localisé de la couverture passive composée d'une couche de sable lâche et d'une couche d'argile compactée. Les 4 vérins ont été synchronisés pour assurer le même déplacement aux 4 coins de la plaque sous le même effort. Ils sont équipés de capteurs d'effort et de déplacement. Cette instrumentation permet un contrôle en continu et une régulation des vérins. A la fin de l'essai le déplacement de la plaque et l'effort de soulèvement sont relevés. Le déplacement maximum de la plaque est de 25 cm, il est limité par la course des vérins. Un géotextile et une géomembrane (barrière active) sont positionnés sur la plaque métallique. Sur cette barrière, est positionné une couche de sable lâche de 20 cm. Cette couche, existante in-situ, préserve la géomembrane d'un endommagement possible et consécutif du compactage de la couche d'argile sus-jacente. Enfin la couche d'argile, majoritairement constitutive de la barrière passive, est compactée en deux couches équivalentes de 45 cm. Les résultats provenant des essais in situ montrent clairement que la résistance à la traction de l'argile est très sensible à la déflexion de la couverture (Camp, 2008). La première fissure apparaît dans la partie centrale pour un déplacement vertical de la plaque de 2 cm. A la fin des essais (déplacement de 25 cm pour un effort résultant de 43 kN/m²) une coupe transversale est réalisée (Figure 4) et une caractérisation des matériaux constitutifs de la barrière est faite en laboratoire sur des échantillons cylindriques.



Figure 2. Fosse en béton armé (7 m × 4 m × 2 m).

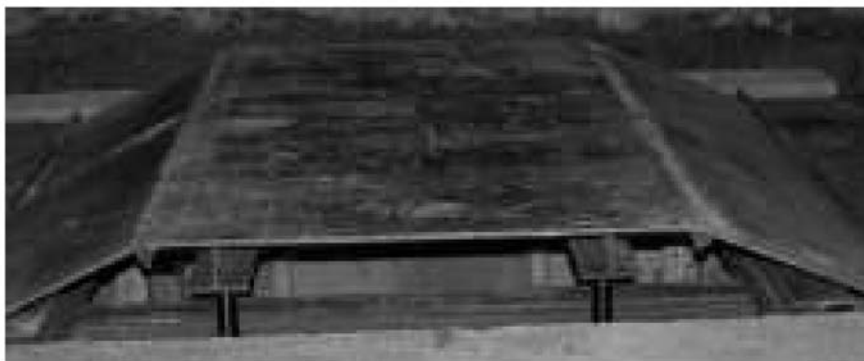


Figure 3. Plaque métallique articulée (2 m × 2 m).

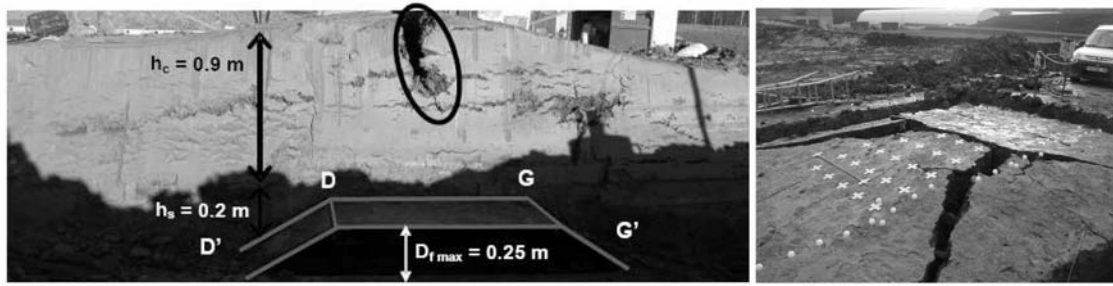


Figure 4. Coupe transversale et vue de dessus d'un essai de soulèvement (déplacement de 25 cm).

Ces essais, situés entre des essais U.U. et C.U., sont effectués sur des matériaux non saturés (tel qu'in situ) et interprétés en terme de contraintes totales (Plé *et al.*, 2009 ; Camp *et al.*, 2009). Le tableau ci-dessous donne les résultats des essais de laboratoire de l'argile et du sable (Tableau 1).

	f_c (kPa)	f_t (kPa)	E_{app} (MPa)	ϕ_{app} (°)	C_{app} (kPa)
Argile	175	-15	3	3	84
Sable	/	0	13	31	0

Tableau 1. Caractéristiques mécaniques des matériaux de la couverture.

Dans ce tableau, f_c représente la résistance à la compression, f_t représente la résistance à la traction, E_{app} le module d'Young apparent, ϕ_{app} l'angle de frottement apparent et C_{app} la cohésion non drainée apparente. La convention adoptée est celle de la mécanique des sols ($f_t < 0$).

3. PROCÉDURE NUMÉRIQUE

Dans une première étape, des échantillons numériques sont réalisés sur la base des échantillons expérimentaux. Les essais axisymétriques de laboratoire sont modélisés par des essais numériques biaxiaux. Les échantillons numériques sont fabriqués par la méthode ERDF (Expansion de Rayon de Diminution de Frottement) développée par Chareyre et Villard (Chareyre et Villard, 2003). Les échantillons sont limités à un volume donné. Les particules ou disques sont générés aléatoirement à l'intérieur du volume avec un rayon réduit et aucun frottement n'est pris en compte entre les disques et les frontières du volume. A l'issue du remplissage, le rayon des particules est augmenté jusqu'à ce que la porosité désirée pour l'échantillon, noté n , soit atteinte. Par suite, les paramètres microscopiques du modèle sont sélectionnés pour tester différentes conditions de chargement et différentes conditions limites. 6 paramètres sont sélectionnés pour la modélisation : k_n et k_s représentant la raideur normale et tangentielle, a_n et a_s représentant l'adhérence normale et tangentielle, n représentant la porosité et μ représentant le frottement entre les disques.

L'interaction entre les particules, noté F (Figure 5), est rendue, au niveau local, par l'association d'une force normale F_i^n et d'une force tangentielle F_i^s à chaque pas de calcul de la façon suivante :

$$F_i = F_i^n + F_i^s \text{ et } F_i^n = k_n \times U_n \text{ et } \Delta F_i^s = k_s \times \Delta U_s \quad (1)$$

Avec U_n et ΔU_s les déplacements relatifs entre les particules.

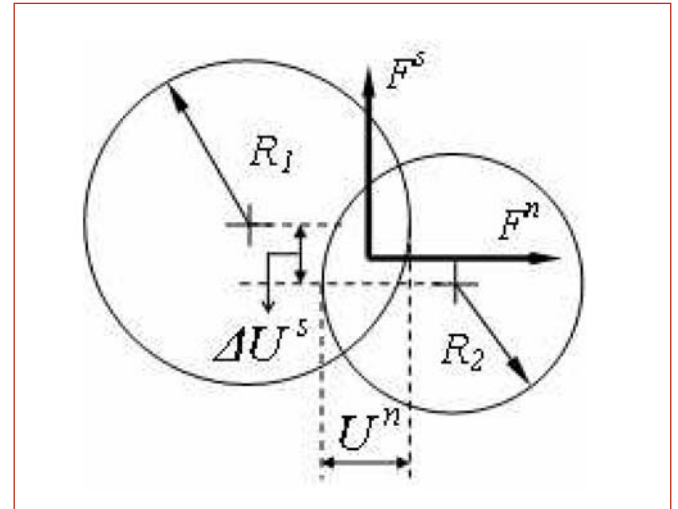


Figure 5. Interaction entre particules, R_1 et R_2 rayons des disques.

3.1. Modélisation du sable

Afin de reproduire le comportement mécanique du sable lâche, l'assemblage granulaire est réalisé à partir de clusters. Le milieu présente une faible densité et chacun des clusters est le résultat de l'association de deux disques inséparables de diamètre D et $0,9 \times D$. L'échantillon numérique est réalisé avec deux tailles de clusters dont le rapport est égal à 2 et la proportion équivalente (50 %). Le comportement macroscopique de l'échantillon est obtenu en utilisant 5 000 clusters soumis à différents cas de chargement. Les valeurs des microparamètres qui rendent compte du comportement macroscopique du sable le plus proche de la réalité sont données dans le Tableau 2.

k_n (kN/m)	k_s (kN/m)	a_n (kN/m)	a_s (kN/m)	n (%)	μ
$52,8 \cdot 10^3$	$26,4 \cdot 10^3$	0	0	20,15	0,455

Tableau 2. Paramètres microscopiques pour le sable lâche.

Le comportement macroscopique, caractéristique du sable lâche, est donné sur la Figure 6 avec σ la contrainte normale totale et P la pression de confinement. Une interprétation des résultats dans le plan de Mohr permet de déduire l'angle de frottement apparent et la cohésion non drainée apparente du sable (Figure 7).

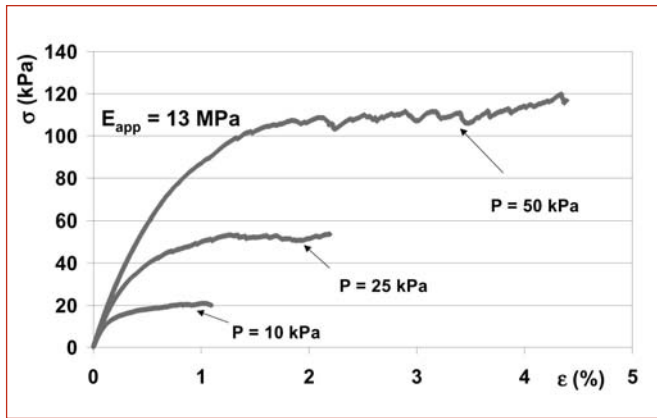


Figure 6. Simulation d'essais biaxiaux sur sable lâche.

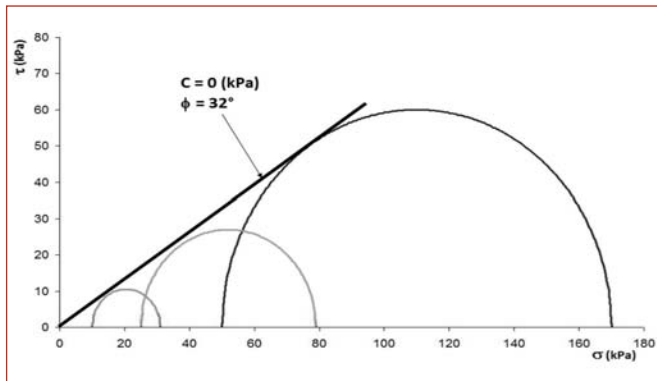


Figure 7. Plan de Mohr et courbe intrinsèque pour le sable lâche.

3.2. Lois de contact et critère de rupture pour l'argile

Pour l'argile, ce sont la résistance à la traction et la rigidité du matériau qui contrôlent les mécanismes d'endommagement par flexion (Ammeri *et al.*, 2009). La difficulté numérique principale réside dans la détermination des paramètres microscopiques qui sont capables de simuler en même temps les essais de traction directe et les essais de compression simple. C'est pourquoi, la loi de contact de référence du code de calcul PFC²D a du être améliorée. Dans sa configuration initiale, PFC²D propose un critère d'endommagement fonction de la rupture par traction et par cisaillement. Pour la composante normale, le critère peut-être écrit sous la forme suivante :

$$F^n > C^n \quad (2)$$

Dans cette expression, $C^n = a_n \times D_{\min}/2$ représente la cohésion normale limite. Le critère de rupture par cisaillement peut être écrit sous la forme suivante :

$$F^s < \text{Max} \{C^s; F^n \times \mu\} \quad (3)$$

Dans cette expression, $C^s = a_s \times D_{\min}/2$ représente la cohésion tangentielle limite. Quand les contacts sont rompus, la cohésion est perdue. Cette simple loi de contact est généralement réservée aux matériaux granulaires.

Pour prendre en compte la nature des matériaux testés (argile plastique), le critère de rupture par cisaillement a du être amélioré de trois façons différentes. La première expression est écrite sous la forme suivante :

$$F^s < C^s + F^n \times \mu \quad (4)$$

Comme pour la loi de référence, la cohésion est perdue lorsque le contact est rompu. A ce moment là, le frottement

entre les particules est toujours conservé et $F^s = F^n \times \mu$. Cette expression sera notée loi N°1. La seconde expression peut-être écrite sous la forme suivante :

$$F^s < \text{Max} (C^s; F^n \times \mu) \quad (5)$$

Lorsque le critère de rupture est atteint, la cohésion est conservée. Le matériau présente alors un comportement cohésif et frottant. Cette expression sera notée loi N°2. Finalement, la troisième expression peut-être écrite sous la forme suivante :

$$F^s < (C^s + F^n \times \mu) \quad (6)$$

Lorsque le critère de rupture est atteint, la cohésion est conservée. Le matériau présente alors un comportement cohésif et frottant. Cette expression sera notée loi N°3.

Dans toute la suite de l'étude, les échantillons numériques sont réalisés à partir d'un ensemble de 5 000 disques testés sous différents cas de chargement. Chaque assemblage granulaire est réalisé à partir d'une granulométrie donnée, variant entre D_{\min} et D_{\max} avec $D_{\max}/D_{\min} = 3$, pour une porosité désirée n . Afin de comparer les différentes lois de contact des nouvelles simulations ont été faites avec les paramètres du Tableau 3. La Figure 8 montre l'évolution de la contrainte normale en fonction de la déformation pour les différentes lois de contact. La contrainte maximale de compression est située entre 195 kPa et 368 kPa, c'est-à-dire dans un rapport de 1,88. Les déformations correspondantes sont situées entre 2,48 % et 4,72 % relevant ainsi de l'influence des différentes lois de contact.

k_n (kN/m)	k_s (kN/m)	a_n (kN/m)	a_s (kN/m)	n (%)	μ
$20 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	400	400	15,9	0,2

Tableau 3. Paramètres microscopiques préliminaires pour l'argile.

Une étude numérique complète a été entreprise afin de déterminer les micro-paramètres qui reproduisent le comportement macroscopique de l'argile. Une attention particulière a été portée à la détermination du module d'Young, de la résistance à la traction et du rapport f_c/f_t . Il est à noter que la rigidité de l'échantillon est directement liée aux paramètres microscopiques k_n et k_s . La relation entre les deux est linéaire. Des raideurs microscopiques faibles donnent un matériau moins rigide. D'autre part, la résistance à la traction n'est pas influencée par l'adhérence tangentielle (a_s). Par contre, la résistance à la traction diminue lorsque l'adhérence normale (a_n) diminue.

Finalement, les paramètres microscopiques retenus pour l'argile plastique sont rassemblés dans le Tableau 4.

k_n (kN/m)	k_s (kN/m)	a_n (kN/m)	a_s (kN/m)	n (%)	μ
$10 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	100	400	15,93	0,2

Tableau 4. Paramètres microscopiques définitifs pour l'argile plastique.

4. APPLICATION À UN CAS RÉEL

Pour le sable lâche, le modèle numérique est réalisé à partir d'un ensemble de 2 000 clusters et des paramètres microscopique du Tableau 2. Pour l'argile, l'assemblage granulaire comporte 8 000 grains. Les paramètres microscopiques définitifs retenus pour l'argile proviennent du

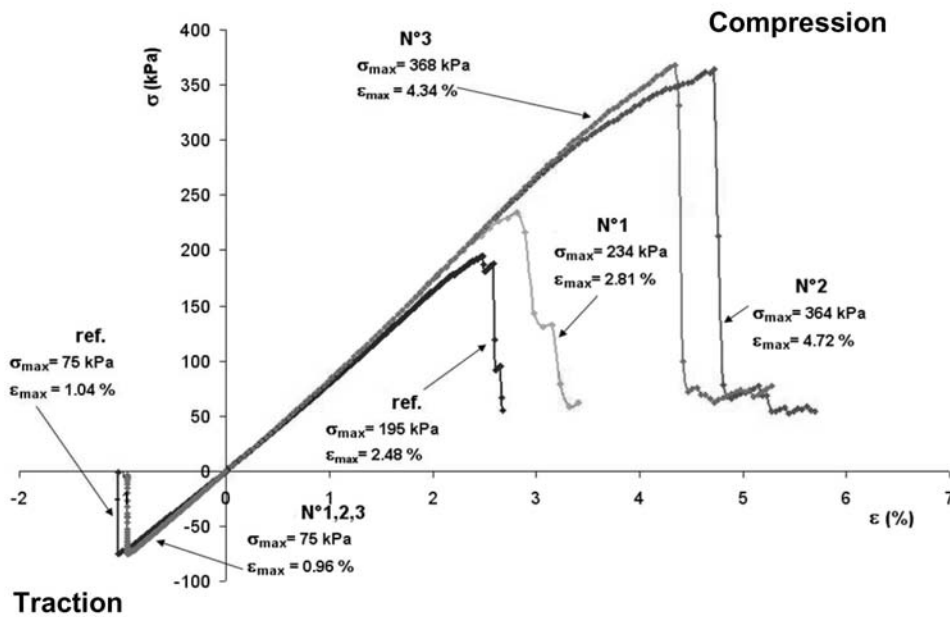


Figure 8. Simulation d'essais de traction et de compression sur l'argile.

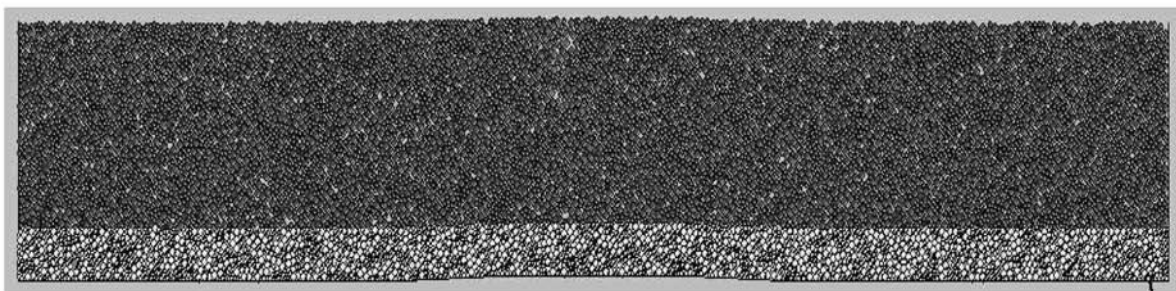


Figure 9. Modélisation du soulèvement, initialisation de la fissure dans la couche d'argile (points rouges).

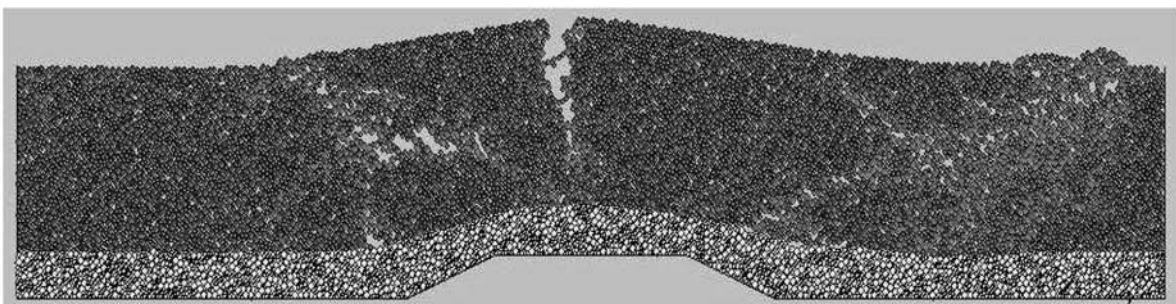


Figure 10. Modélisation du soulèvement, fin de la simulation (déplacement de 19 cm).

Tableau 4. De plus, la loi de contact retenue est la loi N°3 car elle donne un rapport f_c/f_t important et rend compte d'un comportement cohérent et frottant (Figure 8).

La géométrie du modèle est proche de la réalité de l'essai en vraie grandeur. L'échantillon numérique est réalisé par la méthode ERDF sous gravité. Les conditions limites du problème sont imposées par l'intermédiaire de murs mobiles. L'essai de soulèvement est obtenu par le déplacement à vitesse constante d'un mur horizontal. L'effort résultant sur le mur est mesuré en continu et des images de

la simulation sont prises au cours du processus d'endommagement (Figure 9 et Figure 10).

La courbe représentant l'évolution de l'effort en fonction du déplacement du mur horizontal est donnée sur la Figure 11. La première partie verticale de cette courbe (Figure 11) correspond au poids des matériaux. La partie linéaire de la courbe correspond au comportement élastique de l'ouvrage. La fin de la droite correspond au début de la propagation de la fissure dans la couche d'argile. La charge maximale est atteinte lorsque la fissure forme des blocs

distincts. La propagation est alors représentée sur la Figure 10. Les résultats numériques sont tout à fait comparables avec les résultats et les observations relevés in situ. L'initialisation de la fissure apparaît, pour le modèle numérique (Figure 9), pour un déplacement du mur horizontal de 1,7 cm contre 2 cm dans l'essai in situ. A la fin de l'essai l'effort résultant est du même ordre de grandeur de 40 kN/m² contre 43 kN/m² pour l'essai in situ. De plus les mécanismes d'endommagement sont très comparables avec une large fissure de traction dans la partie centrale de la couverture et du cisaillement de part et d'autre. Aucune fissure n'a été observée dans la couche de sable lâche (Figure 4 et Figure 10).

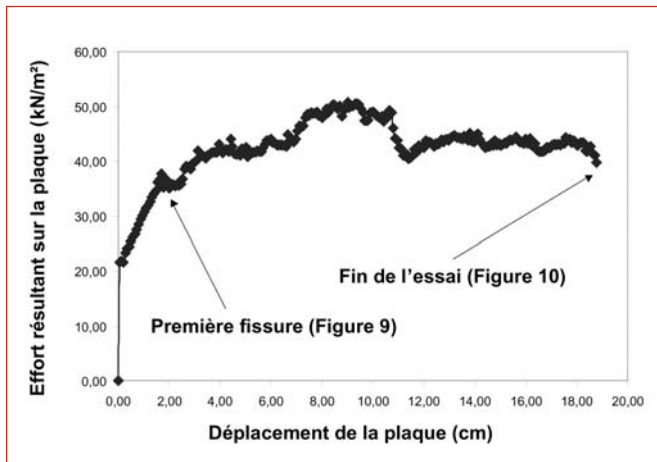


Figure 11. Effort résultant sur le mur horizontal.

5. CONCLUSIONS

Les études expérimentales à grandes échelles en géotechnique demeurent indispensables et préalables à toutes réalisations d'ouvrages prototypes. Malheureusement elles sont coûteuses et souvent difficiles à mener en particulier sur des matériaux fins non saturés comme c'est le cas ici. En conséquence, une approche numérique est proposée comme une solution alternative. Différentes lois de contact sont utilisées pour décrire le comportement macroscopique

du matériau cohérent. Cette première approche prometteuse permet la modélisation discrète d'un matériau plastique cohérent sous des sollicitations de traction. Les résultats numériques sont très comparables aux résultats expérimentaux et permettent d'envisager l'extension de la modélisation à la flexion de la couverture étanche d'un centre de stockage de déchets.

6. REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration scientifique entre les laboratoires sols solides structures risques (L3S-R) et étude des transferts en hydrologie et environnement (LTHE) de Grenoble puis avec des partenaires industriels (Andra, Egis-Géotechnique et Benedetti) qui ont mis à disposition de l'équipe de recherche leurs matériels et leurs savoirs faire. Merci à tous.

7. RÉFÉRENCES

- Ammeri A., Jamei M., Bouassida M., Plé O., Villard P., Gourc J.P., Numerical study of bending test on compacted clay by DEM: tensile strength determination, International Journal of Computer Applications in Technology, Inderscience Publishers, Vol. 34, N°1, 2009, pp13-22.
- Camp-Devernay S., Comportement sous flexion d'une argile: application à la couverture d'une ISD TFA, Thèse de 3^e cycle de l'Université Joseph Fourier, 2008, 350 p.
- Camp S., Plé O., Gourc J.P., Proposed protocol for characterizing a clay layer subjected to bending, Geotechnical Testing Journal, ASTM Publishers, Vol. 32, N°3, 2009, pp273-279.
- Chareyre B., Villard P., Discret element modeling of curved geosynthetic anchorages with known macro-properties, 1^{er} Inter. PFC Symp. (Gelsenkirchen, Germany, 6/7-11-2002), Konietzky (ed), 2003, p. 197-203.

SUIVI *IN SITU* DE LA VARIABILITÉ DES PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES DE SOLS ARGILEUX PAR INSTRUMENTATION GÉOTECHNIQUE- GÉOPHYSIQUE

Marie CHRÉTIEN*, **, Jean-François LATASTE*, Richard FABRE*

*Laboratoire GHYMAC – Université Bordeaux 1
Bâtiment B18, avenue des Facultés
33405 TALENCE

**Bureau d'études géotechniques AIS GRAND SUD
28 avenue de Grange Noire
33708 MERIGNAC

1. INTRODUCTION

La reconnaissance géotechnique reste un outil indispensable lors d'aménagements afin de prendre en compte la variabilité spatiale des sols et les aléas géotechniques d'un projet. Toutefois elle implique souvent une multiplication des sondages, induisant un coût financier non négligeable. L'intérêt de l'étude est de pouvoir mieux appréhender la variabilité lithologique et ses mécanismes, afin d'optimiser le choix et les profondeurs d'ancrage des fondations. Une des solutions consisterait à utiliser les méthodes géophysiques associées à des données géotechniques obtenues *in situ* et en laboratoire. Jusqu'à présent, ce couplage était limité par la difficulté à relier les paramètres géotechniques aux propriétés électriques des sols (résistivité électrique et permittivité diélectrique), ainsi qu'à l'existence de peu

d'approches dans la bibliographie visant à les relier. Les développements récents en matière d'acquisition et traitement des données électriques (imagerie 2D et 3D) permettent de relancer cette problématique. L'étude proposée ici repose sur le couplage de mesures géotechniques et physiques *in situ* à différentes profondeurs (déplacements verticaux, teneurs en eau, température du sol, analyses en laboratoire, lithologie) associées à de la tomographie de résistivité électrique. Plusieurs auteurs cherchent à caractériser le phénomène de retrait dans les sols argileux naturels ou dans des remblais argileux par un suivi continu de l'évolution hydrique (Plat *et al.*, 2008, Kurdyka *et al.*, 2007). Le travail présenté dans cette étude est le résultat d'une instrumentation en continue sur un site expérimental situé sur la commune de Pessac (Gironde), dont le but est le suivi annuel du comportement mécanique et hydrique

d'une formation argileuse sensible aux tassements différentiels liés au phénomène de retrait-gonflement. Les résistivités obtenues à partir d'un dispositif géophysique à demeure permettront à moyen terme d'analyser le comportement d'un sol en fonction de la variation naturelle de la teneur en eau et de la température des sols.

Une première partie expose l'instrumentation mise en place sur le site expérimental de Pessac, ainsi que les spécificités des capteurs de mesure. Une seconde partie présente les premiers résultats obtenus en terme d'amplitude de déplacements verticaux des sols et de variations de teneurs en eau jusqu'à 3 m de profondeur, reliés aux variations de résistivités électriques mesurées.

2. PRÉSENTATION DU SITE ET DE L'INSTRUMENTATION

2.1. Caractérisation du site

Le site d'étude est localisé au sud-ouest de la commune de Pessac, à proximité de Bordeaux dans le département de la Gironde (33). Le climat y est océanique avec une pluviométrie moyenne de 984 mm/an pour la période 1971-2000 (source Météo-France). Ce terrain est un pré herbacé sub-horizontale, recouvert par des arbustes et buissons plus ou moins denses avec la présence de quelques arbres en bordure du terrain. La parcelle instrumentée correspond à la formation géologique des *Argiles de Brach* (Thierry *et al.*, 2006), constituée d'argiles bariolées gris-bleu à marbrures oranges plus ou moins oxydées et datant du Pléistocène supérieur (Platel et Astruc, 2000). Les nombreuses campagnes de reconnaissance de sol réalisées entre décembre 2006 et août 2008 ont montré une importante variabilité lithologique des sols sur la même parcelle et la présence de passées silteuses à sableuses au sein des argiles bariolées présentant des fissures (anciennes fissures de dessiccation remplies par du sable ou des racines de végétaux) (Chrétien *et al.*, 2008). Ces lentilles sableuses peuvent être le siège de venues d'eau temporaires entre 2 m et 5 m de profondeur.

Les données géotechniques collectées sur l'ensemble de la parcelle au sein de cette formation indiquent la présence de sols limono-argileux très sensibles aux variations hydriques sur les deux premiers mètres à des sols devenant argileux en profondeur. Ces sols présentent des valeurs de bleu élevées avec des VBS allant de 6 à 12 et des indices de plasticité de l'ordre de 35 à 57 %, traduisant une certaine hétérogénéité sur l'ensemble de la parcelle. Les potentiels de retrait et de gonflement ont été réalisés sur des échantillons intacts prélevés entre 0,50 m et 3 m de profondeur. Les limites de retrait varient globalement entre 11 et 13 % pour des densités sèches γ_d/γ_w de l'ordre de 1,60 et un indice des vides e moyen de 0,60. Le coefficient de gonflement indique la présence de sols moyennement gonflants (C_g compris entre 0,05 et 0,07) à localement très gonflants ($C_g > 0,11$) pour les argiles à faciès gris-vert à noirâtre.

2.2. Description du dispositif expérimental

Le dispositif de suivi en continu a été mis en place par le GHYMAC entre mars et décembre 2008, il a pour but :

- le suivi géotechnique grâce à des capteurs extensométriques de forage, ancrés à différentes profondeurs (0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m, 10 m à 15 m de profondeur) ;
- le suivi hydrique à l'aide d'une station météorologique, d'une chaîne de cinq sondes de température disposées à 0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m et 5 m de profondeur dans le sol, et de dix sondes de mesure de teneurs en eau volumique à 0,50 m, 1 m, 2 m et 3 m ;
- le suivi géophysique en implantant deux panneaux : l'un de 72 électrodes, l'autre de 48 électrodes, installés à demeure sur le site.

La station météorologique, un des deux extensomètres et la plupart des sondes de teneur en eau sont reliés à des centrales d'acquisition automatique de données autonomes, avec des pas d'enregistrement des mesures choisis entre 1 h et 3 h. Les résultats sont téléchargeables soit en se connectant avec un ordinateur portable directement sur la centrale, soit par transmission quotidienne via un modem GPRS sur un serveur Internet. Les caractéristiques des différents systèmes de mesure sont décrites dans les paragraphes suivants.

2.3. Les déplacements du sol : capteurs extensométriques

Le suivi en continu *in situ* des déplacements du sol est assuré par la mise en place de deux systèmes extensométriques placés dans des forages verticaux, l'un à enregistrement automatique avec un ancrage fixe à 15 m et l'autre à lecture manuelle ancré en profondeur à 10 m. Des capteurs intermédiaires sont placés et ancrés (pour les deux systèmes) à 0,50 m, 1 m, 2 m et 3 m de profondeur au sein de l'argile en place (Fig. 1) afin de déterminer l'amplitude des déplacements des couches de sol.

Le principe de ces capteurs est de mesurer les déplacements verticaux cumulés (Δh en mm) entre la base de l'extensomètre (point d'ancrage) et la tête du capteur (surface de référence) pour les différentes profondeurs. Afin de garantir la validité des mesures de déplacements, nous avons choisi d'ancrer les extensomètres à 10 m et 15 m, soit suffisamment en profondeur au sein de l'argile pour s'assurer qu'ils sont ancrés dans une couche pas sollicitée et donc que l'on peut considérer comme le « point fixe de référence ». Les données sont enregistrées automatiquement toutes les 3 h pour l'extensomètre relié à une centrale d'acquisition, et elles sont collectées une fois par semaine manuellement pour l'autre système. Ces systèmes ont été choisis pour leur fiabilité dans le temps en fonction de l'environnement, pour leur précision sur la mesure de l'ordre de 0,001 mm et pour leur capacité de mesurer des déplacements en allongement et/ou raccourcissement (dans la gamme +/- 250 mm).

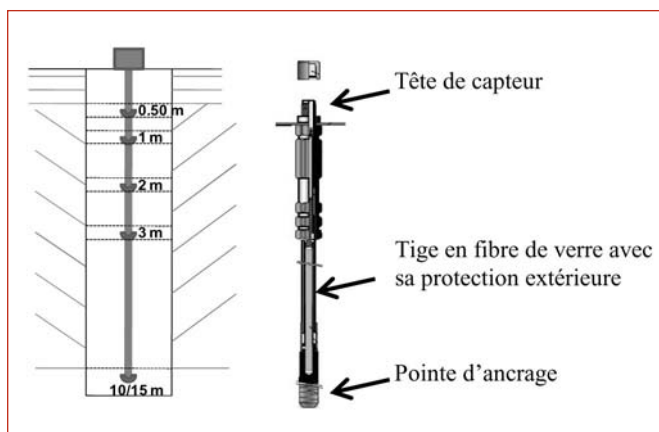


Figure 1. Schéma de principe des mesures de déplacements par système extensométrique et de leur disposition en forage.

2.4. Les mesures *in situ* de teneur en eau

Trois différentes méthodes sont implantées sur le site afin de suivre et mesurer les variations de teneurs en eau volumique, par la caractérisation de la constante diélectrique des sols argileux en place :

- des sondes capacitatives type ECH_2O ,
- des sondes TDR (Time Domain Reflectometry) type TRIME-FM3,
- des sondes FDR (Frequency Domain Reflectometry) type ThetaProbe ML2x.

Le principe de la méthode capacitive consiste à mesurer la capacité d'un sol assimilé à un condensateur, quand deux électrodes sont introduites dans les sols et qu'un champ électrique sinusoïdal y est appliqué. Les méthodes TDR et FDR sont basées sur la mesure du temps de parcours et de l'atténuation d'une impulsion électromagnétique lancée le long d'une ligne de transmission d'une longueur connue jusqu'au capteur placé dans le sol. Il est alors possible de mesurer le teneur en eau volumique θ_v (en %) en utilisant la réflectométrie dans le domaine temporel et fréquentiel reliée par des relations établies avec la constante diélectrique des sols. Avant l'installation de l'ensemble de ces sondes, des prélèvements d'échantillons de sols ont été effectués à intervalles réguliers en profondeur afin de déterminer en laboratoire les teneurs en eau gravimétriques des sols en place et leur poids volumique sec ($\gamma_d = 1,55 \text{ kN/m}^3$). Cette procédure permet de réaliser une calibration spécifique pour chaque type de sondes installées sur le site expérimental, améliorant ainsi la précision des mesures avec une fourchette de ± 3 à 5% pour les méthodes TDR, et FDR à ± 5 à 10% pour les capacitatives (dépendantes de la température du sol). Le suivi hydrique des sols argileux est donc assuré de façon automatique par quatre sondes type ECH_2O (disposées à 0,50 m, 1 m, 2 m et 3 m, avec enregistrement toutes les heures depuis décembre 2008) et trois sondes type ThetaProbe, placées à 1 m, 2 m et 3 m de profondeur avec un relevé toutes les 3 h depuis fin février 2009. La méthode TDR utilisée sur site est de type TRIME-FM3, impliquant la mise en place de trois tubes-sondes de 3 m de longueur ; la mesure est réalisée

chaque semaine depuis juin 2008 avec un pas de mesure vertical de 0,10 m.

2.5. La tomographie de résistivité électrique à demeure

L'intérêt de cette méthode est de préciser le comportement des sols argileux entre périodes humides et sèches et la cinétique des tassements différentiels des sols au cours du temps, en suivant leur évolution hydrique plus ou moins développée en fonction de la variabilité spatiale des sols rencontrés. La méthode retenue est l'utilisation de la tomographie de résistivité électrique qui permet de mesurer les variations de résistivité électrique des sols ρ (en $\Omega \cdot m$). Elle est fonction de la nature des sols, de leur teneur en eau, de la conductivité de l'eau dans le sol et de la température du sol. Préalablement à l'installation du dispositif à demeure, deux prospections électromagnétiques utilisant l'EM-31 ont été menées courant septembre et novembre 2007 afin de définir les variations de résistivités électriques en surface (les 5 premiers mètres) sur la globalité du terrain et identifier les zones de transitions lithologiques. Un premier panneau électrique a été également réalisé en octobre 2008, avec un espacement entre électrodes de 1 m à proximité de la zone instrumentée. Ces premières mesures nous ont permis d'identifier la géométrie globale du site, qui présente de larges variations dans les propriétés électriques des sols, avec une nette transition entre sols argileux et sols granulaires de types sablo-graveleux. Afin d'observer le comportement hydrique au sein des sols argileux, nous avons mis en place le dispositif décrit ci-après pratiquement au droit du premier panneau réalisé. Ce dispositif permettra également d'observer la cinétique de comportement entre sols argileux au contact de sols plus compacts, cas à l'origine d'importants tassements différentiels sur fondations.

Les résistivités électriques sont obtenues à l'aide de deux dispositifs perpendiculaires (un de 72 électrodes, l'autre de 48 électrodes) (Fig. 2) avec des électrodes espacées 0,50 m. Ils sont installés à demeure et les mesures sont effectuées à intervalles de temps réguliers (mensuellement) depuis décembre 2008. Pour chacun des panneaux, trois configurations sont utilisées afin d'obtenir des cartes de résistivités optimisant une bonne résolution à la profondeur d'investigation souhaitée : les configurations Wenner-Schlumberger, Dipôle-dipôle, Pôle-dipôle. L'inversion des données brutes est réalisée à l'aide du logiciel RES2DINV (Loke et Barker, 1996) afin de fournir mensuellement des cartes en 2D des résistivités inversées issues des résistivités apparentes mesurées. La variation relative entre deux dates est un outil qui permettra, à partir de résistivités inversées, d'analyser les variations temporelles de résistivité en chaque point de la zone investiguée. Les résistivités électriques sont comparées avec celles obtenues expérimentalement en laboratoire sur des échantillons intacts. L'intérêt est de tenter de relier les résistivités ρ à la variation de teneur en eau pour un même type de sol, et dans le temps.



Figure 2. Dispositif de tomographie de résistivité électrique installé à demeure sur le site expérimental de Pessac.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

La figure 3 présente les mesures de température du sol à 0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m et 5 m de profondeur depuis l'installation des sondes en avril 2008, superposées au cumul journalier des précipitations mesurées par la station météorologique sur site. Ces courbes montrent qu'après chaque période pluvieuse hivernale importante ($P > 20$ mm à partir de novembre 2008), on constate une augmentation de la température des sols jusqu'à 2 m de profondeur et par conséquent une certaine diffusion dans le sol. De plus, on retrouve un décalage identique dans le temps entre les pluies et l'augmentation de température jusqu'à 2 m de profondeur.

La figure 4 traduit d'importantes variations mensuellement de teneur en eau des sols mesurées par les sondes TDR entre août 2008 et mars 2009. De plus, on peut distinguer, en ne tenant pas compte des premiers 0,80 m de sol sableux humifère, que les teneurs en eau forment deux populations bien distinctes suivant les saisons : sols secs entre août et début novembre 2008, sols humides entre novembre 2008 et mars 2009. En effet, on peut noter une augmentation

significative de la teneur en eau volumique à partir de décembre 2008 de l'ordre de 10 % vers 1,30 m de profondeur et environ 5 % entre 2 m et 3 m. En période hivernale, les teneurs en eau sont de l'ordre de 36 à 38 % et diminuent en période estivale à des valeurs de l'ordre de 22 à 25 %. Ces augmentations de teneur en eau font suite à des mois de novembre 2008 et janvier 2009 très pluvieux par rapport aux moyennes statistiques. Ce constat met en évidence un comportement non imperméable des argiles et une importante infiltration de l'eau à la faveur de fissures et de passées plus silteuses au sein de la formation argileuse. Ces fortes variations d'humidité des sols entre 1 m et 2 m, constatées pour une année pluvieuse, peuvent être ainsi suffisantes pour entraîner des tassements sous fondations superficielles. Ces observations confirment également la pertinence de travailler avec des teneurs en eau moyennées sur des périodes mensuelles.

Avant tout, nous précisons que les premiers résultats fournis par les capteurs capacitifs sont uniquement comparés aux données des sondes TDR, sachant le peu de recul à ce jour sur ces premières mesures (sondes capacitives en place depuis décembre 2008). Les résultats des sondes FDR ne sont pas présentés compte tenu de leur installation que depuis fin février 2009.

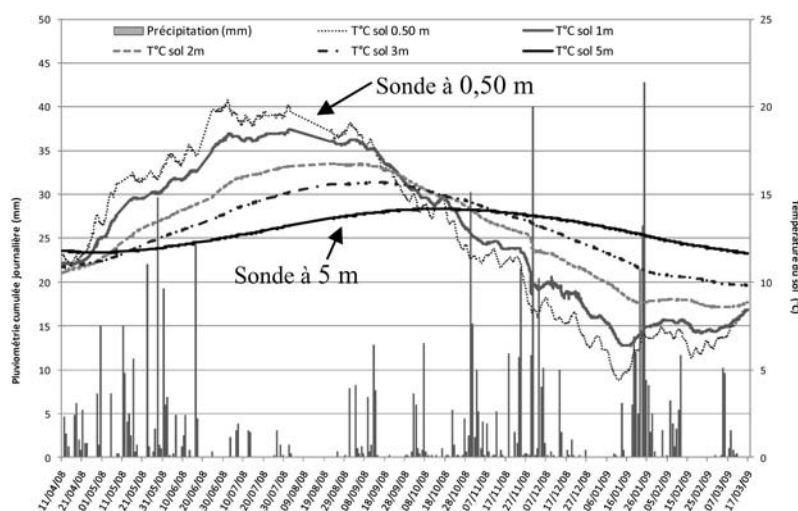


Figure 3. Suivi de la température du sol à différentes profondeurs en fonction de la pluviométrie du site sur Pessac (période du 11/04/08 au 17/03/09).

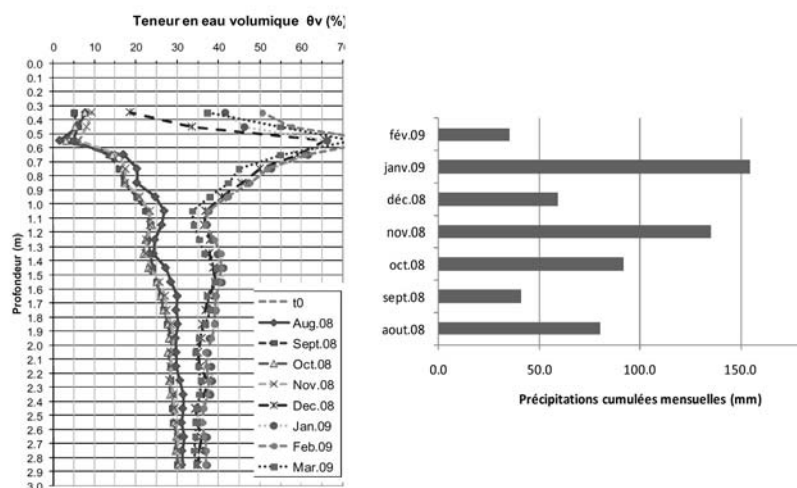


Figure 4. Suivi de l'évolution mensuelle de la teneur en eau du sol (sondes TDR) depuis août 2008 jusqu'à 3 m de profondeur en fonction de la pluviométrie.

Si on compare les résultats des sondes TDR avec ceux des capteurs capacitifs illustrés à la figure 5, on note de petites variations des teneurs en eau volumique à 0,50 m et 1 m de profondeur, alors que celui implanté à 3 m montre une nette diminution de la teneur en eau de l'ordre de 2 % entre décembre 2008 et mars 2009. Compte tenu du principe de la mesure capacitive, ces résultats sont très dépendants des variations de température dans le sol si on les superpose aux courbes de la figure 3. En comparant l'allure de la courbe des teneurs en eau à 3 m de profondeur à celle de température à la même profondeur (Fig. 3), on note que les deux montrent la même tendance à la baisse. Il semblerait pour le moment (à vérifier l'influence de la température à la suite d'une période d'observation plus longue) que ces sondes ne permettront que de donner une tendance générale de l'évolution de la teneur en eau volumique avec une précision médiocre dans les sols argileux.

Concernant les mesures de déplacements verticaux du sol par les deux systèmes extensométriques, la figure 6 pré-

sente leur évolution dans le temps (entre mars 2008 et mars 2009). Il s'agit des déplacements relatifs mesurés à 0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m, 10 m et 15 m de profondeur en fonction de la pluviométrie. La figure 6-a illustre les relevés manuels hebdomadaires des mouvements verticaux entre 0,50 m et 10 m de profondeur depuis fin mars 2008 et jusqu'à ce jour (dernier relevé du 18/03/09).

La figure 6-b présente les déplacements verticaux enregistrés automatiquement toutes les 3 h entre 1 m et 15 m de profondeur depuis fin août 2008 à aujourd'hui.

Ces figures montrent que les déplacements verticaux sont bien corrélés aux précipitations jusqu'en décembre 2008, les mouvements se font ressentir jusqu'à 3 m de profondeur et les courbes peuvent être décomposées en différentes phases. En effet, suite à la mise en place des extensomètres ancrés en profondeur, une période de latence avec de très légers gonflements et retraits est observée. Cette phase de déplacements restreints, à relier avec un état hydrique antérieur du sol relativement constant, est suivie par une phase de retrait à partir de début juin 2008 d'abord de quelques dixièmes de millimètre en surface puis se propageant en profondeur avec un retrait maximum de 2,50 mm au 25/10/2008 sur la tranche de sol comprise entre 0,50 m et 10 m de profondeur. On s'aperçoit également que les mouvements les plus importants sont observés entre les capteurs placés à 1 m et 2 m de profondeur. Les sols situés à 3 m de profondeur peuvent subir des mouvements de l'ordre du millimètre (noté sur les deux systèmes de mesures) en période estivale pour des années 2007 et 2008 relativement pluvieuses par rapport à la moyenne statistique de référence locale. Les premières pluies intenses de novembre 2008 provoquent un important et rapide phénomène de gonflement sur toute la hauteur de sol instrumentée avec une amplitude de 2 à 4 mm. En observant la figure 6-b, on constate que les phases de gonflement sont suivies immédiatement par de petites phases de retrait entre 1 m et 2 m, et par des phases de stabilisation pour le capteur à 3 m. À partir du 03/01/09, il semblerait que les couches de sol présentent un comportement différent et déphasé par rapport à la pluviométrie (par

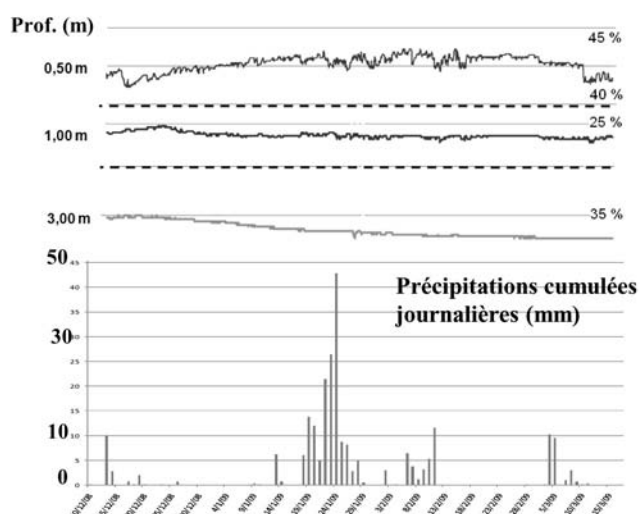


Figure 5. Suivi de l'évolution de la teneur en eau du sol par sondes capacitives jusqu'à 3 m de profondeur en fonction de la pluviométrie du site depuis le 11/12/08 au 18/03/09.

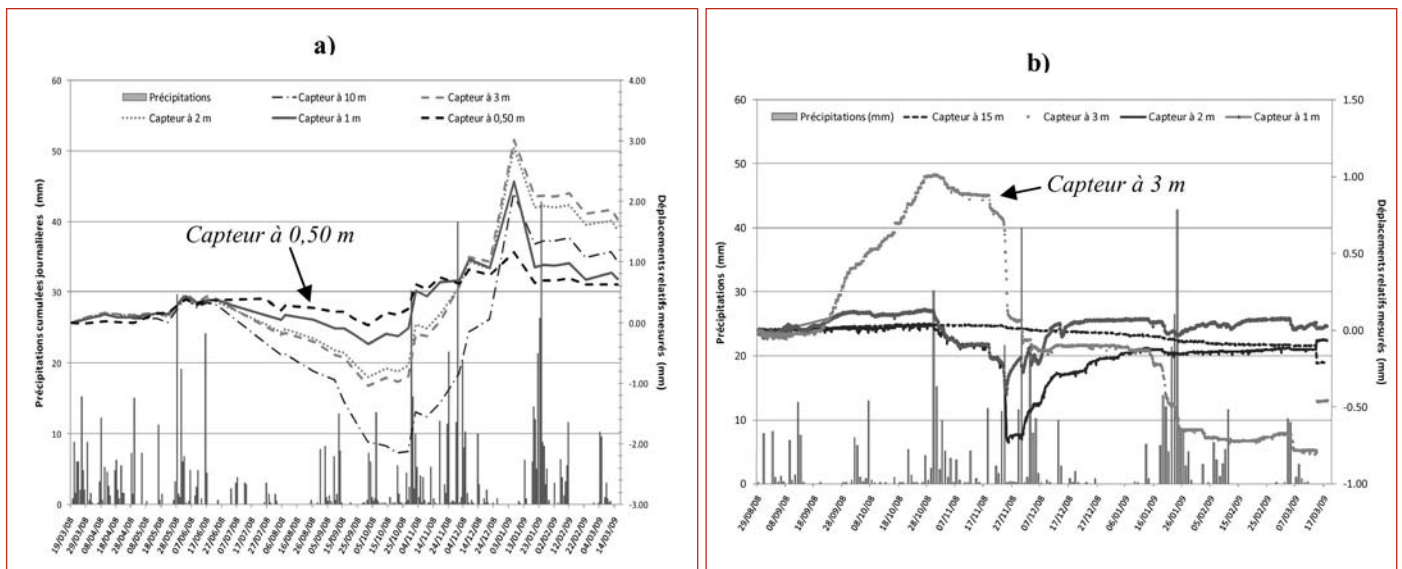


Figure 6 a et b. Evolution comparée des déplacements mesurés de façon hebdomadaire (a) et automatique (b) à 0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m et 10/15 m de profondeur et de la pluviométrie enregistrée sur site entre mars 2008 et mars 2009.

exemple le pic de gonflement du 03/01/09 à la figure 6-a). Il est intéressant de noter qu'après les fortes pluies de la tempête du 24/01/09 (70 mm de pluie en 48 h), seule la tranche superficielle de sol a été légèrement affectée par cet important épisode pluvieux, excepté le capteur situé à 3 m de profondeur sur la figure 6-b qui mesure un gonflement cumulé de 0,50 mm sur trois jours. Ce comportement observé semble atypique, mais ne peut être lié à un dysfonctionnement des appareils de mesures étant donné qu'il est observé à la même période pour les deux systèmes. Ils témoignent donc d'un comportement plus complexe du massif instrumenté. Une période plus longue d'observation permettra de voir si cette différence de comportement noté entre décembre 2008 à mars 2009 à différentes profondeurs peut être due à une hétérogénéité du sol ou à tout autre paramètre mécanique influant. Après cet épisode de janvier, le gonflement s'est stabilisé et depuis, les figures montrent que jusqu'à mi-mars 2009 le sol n'a pas retrouvé son état initial de mars 2008. Le gonflement a été jusqu'à présent pratiquement aussi important que le retrait et le sol semblerait avoir atteint son « potentiel de gonflement » maximal (cohérent avec une minéralogie des argiles pauvres en smectites).

Avant de chercher à relier les variations de résistivité électrique avec les variations saisonnières de teneur en eau des sols, une tomographie électrique initiale a été réalisée en septembre 2008 pratiquement sur l'emplacement actuel du panneau électrique à 72 électrodes, orienté ouest-est, et couplée à une fosse pédologique réalisée parallèlement au profil afin de caler les mesures de résistivités électriques avec la lithologie du site (Fig. 7). La figure 7 illustre bien le passage d'un milieu argileux compact à l'ouest vers un milieu sablo-graveleux et aliotisé vers l'est. Cette configuration correspond à des conditions propices aux tassements différentiels soit au sein de l'argile, soit à l'interaction argile-sol granulaire compact que l'on souhaite dans les deux cas tester dans le temps. Les variations de résistivités électriques obser-

vées à la figure 8 semblent bien corrélées avec la géométrie des terrains rencontrés à la figure 7, (avec un indicateur de la qualité de l'inversion numérique, la valeur de RMS, de 8,8 %). Les mesures électriques montrent des gammes variables de résistivités pour les argiles, avec des valeurs comprises entre 10 et 93 ohm.m confirmant ainsi l'hétérogénéité lithologique au sein des argiles. Ces hétérogénéités (liées à des passées plus silteuses) peuvent jouer le rôle de drain au cours des variations saisonnières, tantôt asséchant le sol et tantôt favorisant l'infiltration de l'eau en profondeur. On constate un bon contraste des résultats (Fig. 8) entre les argiles, les sables indurés aliotisés et les graves, avec des valeurs qui tendent vers 1800 ohm.m dans l'aliot. Lors de la mise en place du dispositif à demeure, un léger décapage a été réalisé pour araser le sol, éliminer les mottes d'herbes et assurer un bon contact des électrodes avec le sol. Ces dispositions ont permis de réduire les

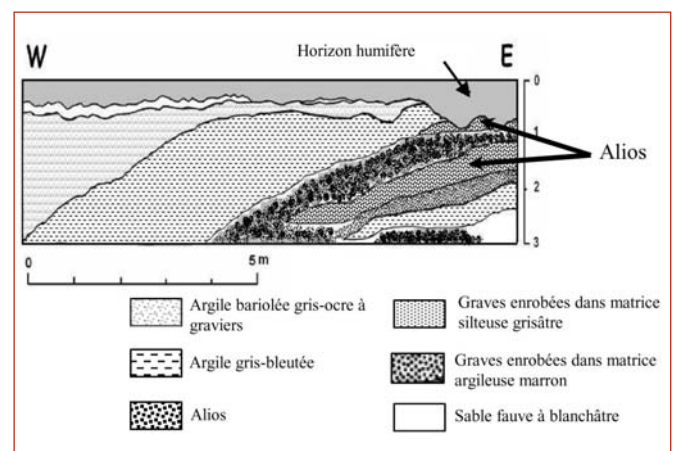


Figure 7. Profil d'une fosse pédologique (repositionnée en distance par rapport à la figure 8) parallèle au dispositif de tomographie placé à demeure et servant au calage des mesures géophysiques. Fosse réalisée fin août 2008 sur site.

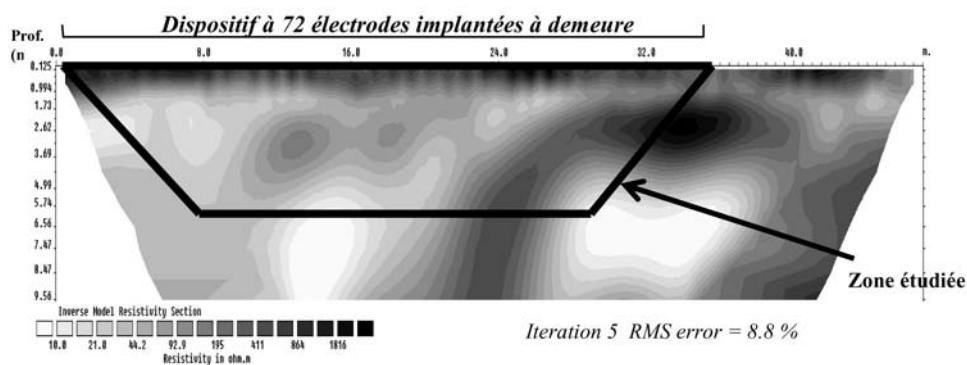


Figure 8. Tomographie électrique initiale test (Pôle-Dipôle avec espacement d'1 m entre électrodes) effectuée en septembre 2008, avec la délimitation de la zone étudiée par le dispositif de mesure à 72 électrodes à demeure.

bruits de surface que l'on pouvait observer sur les panneaux initiaux (Fig. 8).

4. PERSPECTIVES

Ces résultats de tomographie électrique ont permis de valider la mise en place d'un dispositif de suivi par tomographie de résistivité électrique à demeure, au vu des contrastes électriques qui ont été corrélés, par l'intermédiaire d'excavations et de sondages, avec la variabilité lithologique observée sur le site. Depuis janvier 2009, des mesures sont réalisées à intervalles réguliers de façon à effectuer une mesure mensuelle en suivant le même protocole de mesure. Jusqu'à présent, nos mesures de résistivités présentent peu de variations compte tenu d'une pluviométrie importante depuis novembre 2008. Les variations relatives des résistivités entre deux dates corrélées par rapport aux données climatiques, devraient permettre d'établir des corrélations entre des variations de la teneur en eau des sols en place, leur dynamique, et leur géométrie.

5. CONCLUSION

Afin de caractériser les variations saisonnières de teneur en eau des sols, les déplacements qu'elles engendrent et d'éventuelles différences de comportement des sols entre la surface et en profondeur, un site expérimental a été instrumenté fin mars 2008 sur la commune de Pessac (Gironde). Les extensomètres de forages permettent de conclure que les sols subissent des mouvements autant en retrait qu'en gonflement, et d'amplitude quasi-identique pour une année 2008 particulièrement pluvieuse. La phase de gonflement est trois fois plus rapide que celle du retrait avec des déplacements maximums de l'ordre de 4 mm sur les dix premiers mètres et de 1,50 mm à 3 m de profondeur. Les mesures de teneur en eau acquises depuis juin 2008 permettent de mettre en évidence des variations nettes de l'état hydrique des argiles entre les saisons jusqu'à 3 m de profondeur. En effet, un

gain en teneur en eau de 10 % a été constaté à 1 m de profondeur entre la période sèche et la période très humide. Leur couplage avec les mesures de déplacements verticaux des sols permet d'identifier les comportements physiques des sols à différentes profondeurs et des cinétiques de déplacements, plus importantes entre 1 m et 2 m de profondeur.

L'acquisition des mesures se poursuit ainsi que le suivi géophysique des variations saisonnières des résistivités électriques des sols. Ce qui devrait à moyen terme permettre de préciser les premières observations de relations entre conditions météorologiques locales et mouvements différentiels du site. L'instrumentation particulière et unique de ce site permettra avec le recul :

- de comparer entre elles et valider plusieurs techniques de mesures des déplacements verticaux et des teneurs en eau dans un sol argileux,
- de comprendre précisément les mécanismes de tassements et gonflements au sein des argiles moyennement sensibles de la région, mais également à l'interaction entre ces argiles et des sols granulaires compacts.

6. BIBLIOGRAPHIE

- Chrétien M, Marache A, Fabre R, « Shrinkage-swelling behaviour and spatial variability of clayey soils of Plio-quaternary geological formations in suburbs of Bordeaux (France) », *Symposium International Sécheresse et construction SEC2008*, Marne-La-Vallée, 1-3 septembre 2008, p. 63-73.
- Kurdyka M., Beck Y., Palma-Lopez S., Ferber V., Desmortiers A.L., « Suivi de l'état hydrique d'un remblai expérimental par tomographie de résistivité électrique », 6^e Colloque GEOFCAN, Bondy, 25-26 septembre 2007, p.63-66.
- Loke M. et Barker R., « Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method », *Geophysical Prospecting*, vol. 44, 1996, p. 131-152

- Plat E., Vincent M., Fleureau J.-M., Le Roy S., « Couplage des mesures in situ de déformations et de teneurs en eau dans un sol argileux sujet au retrait-gonflement », *Revue Européenne de Génie Civil*. Volume x (sous presse), 2008.
- Platel J.P. et Astruc J.G., « Cartographie des principales formations argileuses et marneuses affleurantes dans la région Aquitaine », Rapport BRGM/RP-50181, 2000.
- Thierry P., Breysse D. avec la collaboration de Vanoudheusden E., Marache A., Dominique S., Rodière B., Bourguine B., Régaldo-Saint Blancard P., Piette Ch., Rivet F., Fabre R., « Le projet RIVIERA : Risques en ville : Equipements, Réseaux, Archéologie », Rapport final BRGM/RP-55085-FR, 2006.

7. REMERCIEMENTS

Ce travail a pu aboutir grâce au financement de la thèse par l'ANRT (Association Nationale de la Recherche et la Technologie) et par une subvention financée par le Conseil Régional d'Aquitaine.

Il participe également au programme de recherche ARGIC (Analyse du Retrait-Gonflement et Incidences aux Constructions), co-financé par l'Agence National de Recherche (ANR), débuté en 2006 et terminé en 2009, et réalisé sous la direction du BRGM en collaboration avec le LCPC, INRA, Météo-France, LMSSMat, LAEGO, CERMES, Armines, GHYMAC, Insavalor, INERIS, HydrASA et Fondasol.

ÉTUDE DE L'ALTÉRATION DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE RENNES

**Y. MÉLINGE(1), R. JAUBERTHIE(1), C. DAIGUEBONNE(2),
O. GUILLOU(2), R. LAHOGUE(3), B. GUEGUEN(3)**

(1) LGCGM – INSA & IUT de Rennes – 20 Av des buttes de coesmes – CS 14315 – 35043 Rennes Cedex

(2) Université européenne de Bretagne, UMR CNRS-INSA 6226 « Sciences Chimiques de Rennes » – INSA,
20 Avenue des buttes de Coësmes – 35043 Rennes

(3) Direction des rues – D.R.A. Assainissement – Ville de Rennes

1. INTRODUCTION

L'objectif de l'étude en cours est de mettre en évidence l'état d'altération du réseau d'assainissement de la ville de Rennes, de manière à pouvoir envisager les opérations de maintenance dans une logique de prévention et non consécutive à un accident.

La ville de Rennes avec une surface de 5022 ha, ses 209922 habitants, représente la dixième ville de France. La structuration contemporaine du schéma d'assainissement date de 1880 avec une accélération dans son développement à partir des années 1960. Par ailleurs, le réseau est composé presque exclusivement de conduites à base cimentaire. Une vue de l'occupation du réseau est donnée sur la figure 1.

La partie unitaire représente une longueur totale de 155 km, la partie eaux usées du système séparatif représente une longueur totale de 269 km, tandis que la partie eaux pluviales représente une longueur totale de 206 km.

Dans un contexte actuel de protection de l'environnement, le patrimoine assainissement occupe une place non négligeable, compte tenu des volumes fluides pollués qui sont

véhiculés au quotidien et à l'heure actuelle toujours croissants. A des fins de santé publique et de gestion des ressources en eaux, la qualité des effluents traités fait l'objet de contrôles de plus en plus sévères et il convient d'entreprendre les opérations de maintenance nécessaires pour éviter les entrées d'eaux dans les systèmes de transport, mais également les fuites vers l'extérieur.

Au cours du temps, les évolutions morphologiques de la ville contribue à une meilleure gestion du fonctionnement du réseau en déplaçant notamment les activités industrielles en périphérie de la ville. En correspondance, le trafic routier a également évolué par une modification des conditions de chargement de la voirie et de ses équipements.

Technologiquement, le réseau d'assainissement, même à base cimentaire, est de constitution diverse et la mise en œuvre de matériaux de plus en plus performants contribue à une meilleure durabilité. Or, si aujourd'hui il est aisé d'identifier des états de référence, quant aux propriétés des matériaux et des ouvrages tant sur le plan physique, chimique, mécanique..., la mise en évidence de ces états de références s'avère délicate pour les

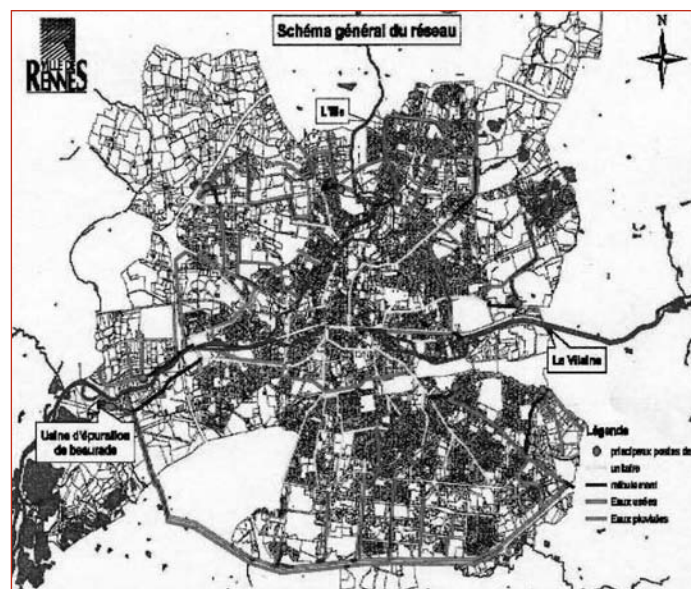


Figure 1. Vue du réseau d'assainissement de la ville de Rennes.

ouvrages et formulations anciennes. Ainsi, décrire les cinétiques d'endommagement de tels systèmes impose des points de vue multicritères et l'élaboration de protocoles particuliers pour accéder à des indicateurs pertinents.

Dans cet article, nous faisons état du projet de recherche en cours entre les deux équipes de recherche et la ville de Rennes sur la protection du patrimoine en présentant tout d'abord la démarche retenue pour étudier son état et les moyens mis en œuvre. Ce protocole est ensuite illustré par la présentation de quelques propriétés de prélèvements dans une rue particulière et nous concluons le propos par l'analyse des propriétés mécaniques de rupture en compression et en traction équivalente d'une population de prélèvements localisée dans la ville.

2. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL ET MOYENS EXPÉRIMENTAUX

Au cours d'une intervention des services de la direction des rues de la ville de Rennes sur le réseau (cas de la connexion d'un particulier par exemple) et qui peut intéresser le projet, la conduite est mise à jour par excavation et un échantillon est obtenu par carottage. La zone de prélèvement est repérée par l'angle θ , figure 2. Par ailleurs, l'échantillon est localisé dans la ville, dans la rue et le linéaire est décrit par ses données principales (longueur, pente, diamètre, épaisseur, présence de refoulement en amont, type de réseau...). Une inspection télévisuelle est réalisée, ce qui permet de décrire qualitativement l'état général de la face interne du conduit :

- Détection de fissures,
- Problème des eaux parasites,
- Niveau moyen probable dans le conduit (salissures),
- Altération générale de la face interne.

L'échantillon et une fiche de reconnaissance sont ensuite acheminés au laboratoire où il subit tout d'abord une décomposition selon le schéma de la figure 2.

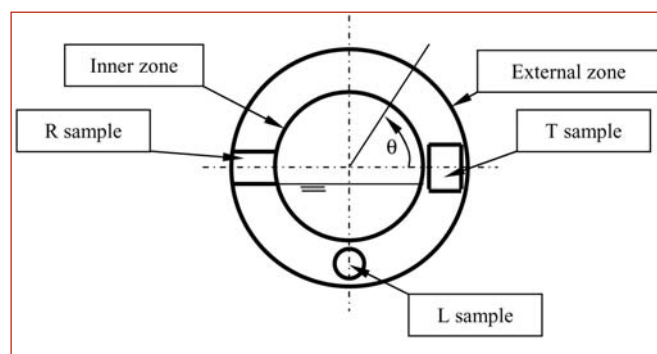


Figure 2. Localisation du prélèvement sur la conduite. Mise en évidence des trois directions d'étude des propriétés des matériaux.

En vue d'établir les propriétés du matériau et de la conduite, nous distinguons trois directions privilégiées pour la mise en œuvre des échantillons :

- Direction longitudinale, L (dans le sens de l'écoulement en excluant les faces interne et externe du conduit),
- Direction transversale, T (perpendiculaire au sens de l'écoulement en excluant les faces interne et externe du conduit),
- Direction radiale, R (l'épaisseur de la conduite).

Ce choix vise à détecter une éventuelle anisotropie liée à la mise en œuvre des conduits et à l'altération. Dans le cas d'absence d'anisotropie, les échantillons L et T étant pris en cœur de l'épaisseur, cela permet de vérifier le caractère répétable des mesures. Selon la taille du prélèvement, nous préparons pour chaque direction deux échantillons destinés à la mesure de la résistance à la rupture en compression et en traction (par le biais d'un test brésilien). La rupture de l'échantillon R au cours du test brésilien permet ensuite de procéder à des analyses physico chimiques en distinguant trois zones :

- à proximité de la face interne,
- à proximité de la face externe,
- au centre de l'épaisseur du conduit.

Un test de réaction à l'application d'une solution de phénol phtaléine permet de délimiter chaque prélèvement. Ceux-ci sont analysés systématiquement par diffraction aux rayons X (analyses globales après réduction en poudre des prélèvements) et au MEB. Pour cette dernière analyse, outre l'imagerie, une analyse EDS est également réalisée.

Des essais de remontée capillaire sont entrepris sur des échantillons R et T (ou L) ou l'on distingue une cinétique depuis la face interne, depuis la face externe et au centre. Le protocole expérimental de ces essais est conduit pour effectuer les mesures de porosité connectée et de densité du squelette solide (qui complète la densité apparente des éprouvettes après une période de séchage en salle sèche ($T = 20^{\circ}\text{C}$, $\text{HR} = 50\%$)). La dimension des échantillons est imposée par l'épaisseur des conduites la plus courante et nous avons opté pour des échantillons cylindriques de 28mm de diamètre et de 1,5D de hauteur. Seule la hauteur de l'échantillon R est conditionnée par l'épaisseur de la conduite. Ces échantillons sont carottés et placés ensuite en salle sèche pour éliminer l'excédent en eau et stabiliser leur masse avant les essais de caractérisation.

Après calibration de la presse utilisée pour les tests mécaniques de rupture, un module d'Young statique est estimé et qui vient compléter un module d'Young dynamique.

A ce stade, une banque de données est tout d'abord construite et aux données déjà énoncées, chaque prélèvement se voit adjoindre des données environnantes et on distingue :

- pour les conduits unitaires, la taille du bassin versant et une estimation de l'équivalent habitant,
- pour les conduits des eaux pluviales, la taille du bassin versant,
- pour les conduits des eaux usées, une estimation de l'équivalent habitant et/ou une estimation de la qualité des rejets des industries présentes dans la zone d'étude,
- une description codifiée de la voirie, de son trafic routier et l'orientation de la conduite par rapport à la voirie,
- la date d'implantation du linéaire,
- éventuellement la composition du béton et son mode de fabrication,
- une description des modifications majeures dans le quartier,
- une description géotechnique du sous sol,
- dans la mesure du possible, des données sur les pluies, les débits, hauteurs de remplissage et propriétés des effluents via les chroniques disponibles,
- une description des opérations de nettoyage des conduits,
- ...

Cette opération d'archivage est très couteuse en temps et subit au cours du déroulement du projet des évolutions pour la rendre cohérente, ergonomique et lisible par l'obtention de toutes les données. Un bilan exhaustif ne sera vraiment possible qu'après un prélèvement suffisant d'échantillons, compte tenu de la taille de la ville. Dans cet article, nous limitons l'exposé au cas de l'analyse de certaines données pour une rue et tentons de discerner des tendances en s'appuyant sur les données de résistances mécaniques jusqu'ici acquises.

3. MISE EN ÉVIDENCE DE PATHOLOGIES DANS UN CAS PARTICULIER – CAS DU BD VOLNAY

La conduite étudiée est actuellement uniquement utilisée pour les eaux usées. Elle a un diamètre $\phi=200$ mm et une épaisseur de 4 cm, le béton est armé avec des armatures lisses de $\phi=2$ mm sans traces apparentes de rouille. L'échantillon cylindrique découpé au trépan diamanté dans la direction radiale du tuyau d'assainissement est présenté sur la figure 3 pour illustration.

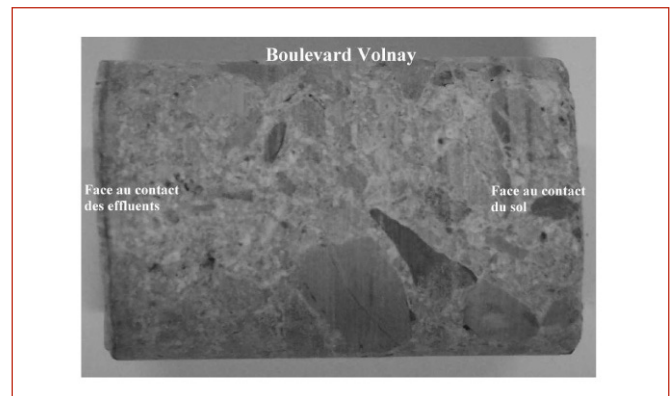


Figure 3. Illustration de la fabrication de l'échantillon R.

Après rupture par fendage, la solution alcoolique de phénol phtaléine est pulvérisée sur la section. La matrice cimentaire dont le pH est supérieure à 12 est de couleur mauve, la partie incolore est une zone à pH réduit. Dans le cas de l'échantillon prélevé au Boulevard Volnay, les zones de pH réduit au contact des effluents et au contact du sol sont d'épaisseurs très réduites, figure 4. Du côté du sol, elle est de l'ordre de 1 mm et du côté de l'effluent, de 0,5 mm. Il en découle que les armatures en acier sont toujours protégées de la corrosion dans cet environnement de pH élevé. Sur cette section, 3 éclats sont prélevés pour les observations au MEB et les analyses EDS.

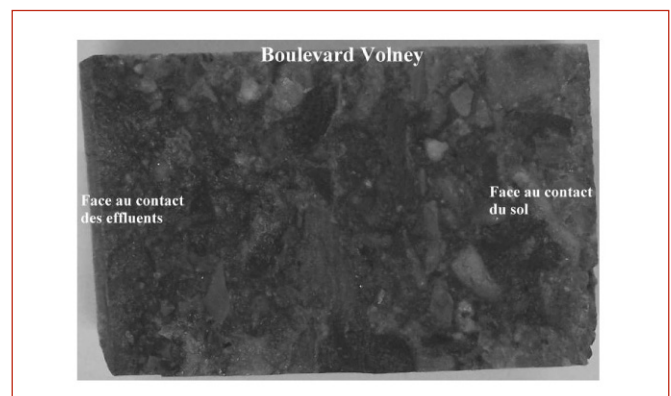


Figure 4. Détermination du pH du béton à la phénol phtaléine.

3.1. Eclat au contact du sol

La figure 5 montre l'aspect général de cette partie avec un grossissement 25.

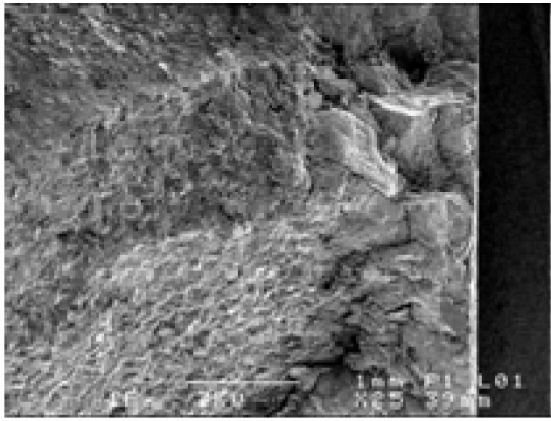


Figure 5. Observation au MEB du matériau en contact avec le sol (*25).

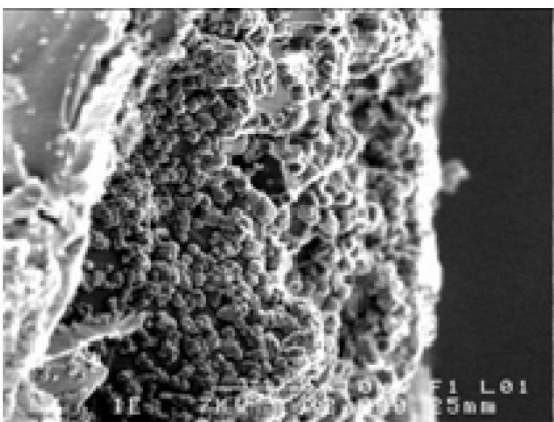


Figure 6. Observation au MEB du matériau en contact avec le sol (*2000).

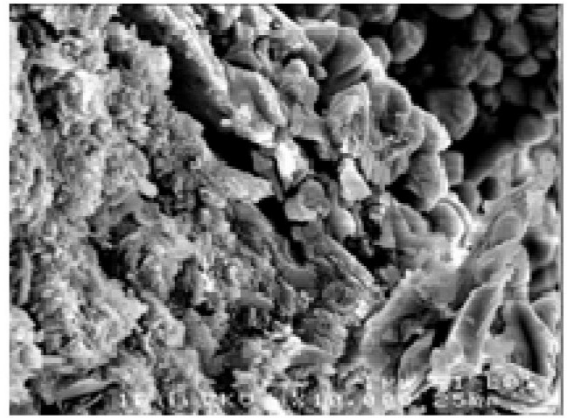


Figure 8. Observation au MEB de la limite de carbonatation (*10 000).

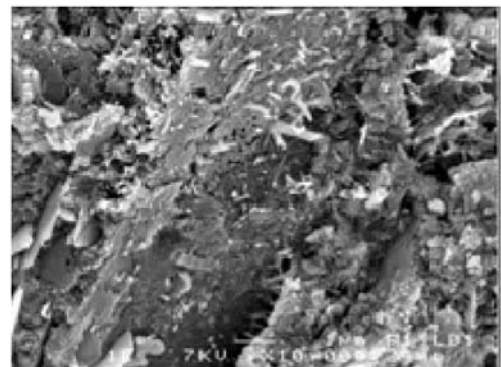


Figure 9. Observations au MEB de biotite altérée (*10 000).

Sur la photographie de la figure 6, le carbonate de calcium (calcite CaCO_3) s'est développé sous forme de rhomboèdres facilement identifiables (et confirmé par microanalyse EDS). Cette zone carbonatée présente une épaisseur voisine de $50\mu\text{m}$.

La taille de ces minéraux est présentée sur la figure 7. L'ordre de grandeur est de $1\mu\text{m}$.

La photographie de la figure 8 est prise à une distance de $50\mu\text{m}$ de la surface : elle est en limite de la carbonatation. Nous observons les phases cimentaires dégradées mais non carbo-

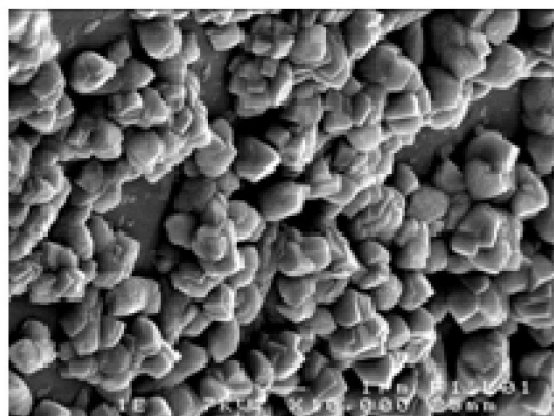


Figure 7. Observation au MEB de la calcite (*10 000).

natées. En profondeur, environ 1 mm, nous avons des minéraux phylliteux altérés, l'analyse EDS semble montrer des micas biotite provenant des sables utilisés, figure 9.

En compléments des clichés MEB, les tableaux 1, 2 et 3 correspondent à des analyses ponctuelles sur des points voisins de la surface externe de la canalisation. La matrice cimentaire n'est, en apparence pas dégradée. Seul le contact avec l'air libre présente la carbonatation de la portlandite. La présence de quelques micas de type muscovite est à relier soit à des cristaux présents dans le sol au contact de la canalisation soit dans le sable utilisé pour la confection du béton.

3.2. Eclat au contact des effluents

Les observations à partir de la face en contact avec les effluents montrent une première zone plus pale à l'œil nu mais aussi visible au MEB, figure 10.

Elément	%Masse	%Atomique
C K	8.94	16.54
O K	39.37	54.65
Si K	0.73	0.58
Ca K	50.95	28.23
Totaux	100.00	

Tableau 1. Microanalyse sur une calcite.

Elément	%Masse	%Atomique
C K	7.69	13.07
O K	49.46	63.10
Al K	0.73	0.55
Si K	9.66	7.02
Ca K	30.51	15.54
Fe K	1.96	0.72
Totaux	100.00	

Tableau 2. Microanalyse sur la matrice cimentaire.

Elément	%Masse	%Atomique
C K	6.73	11.19
O K	45.59	56.93
Mg K	0.42	0.35
Al K	15.12	11.19
Si K	20.56	14.62
K K	7.26	3.71
Ca K	2.98	1.49
Ti K	0.83	0.35
Fe K	0.51	0.18
Totaux	100.00	

Tableau 3. Microanalyse sur un mica muscovite.

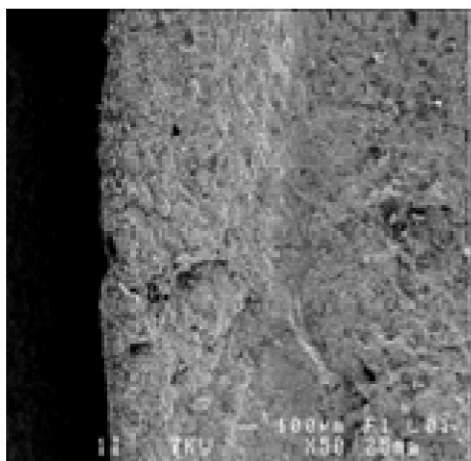


Figure 10. Observation au MEB : face en contact avec les effluents (*50).

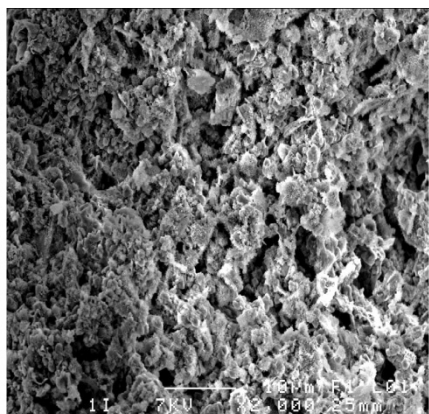


Figure 11. Observation au MEB : face en contact avec les effluents, zone claire (*2000).

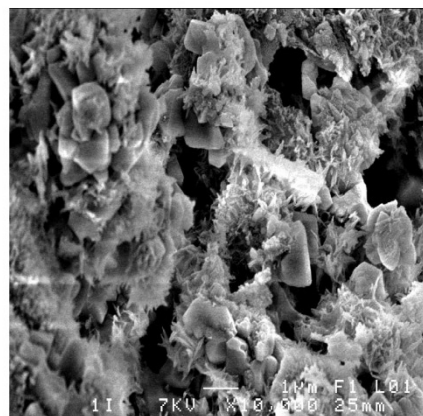


Figure 12. Observation au MEB : face en contact avec les effluents, zone claire (*10 000).

Cette zone présente une épaisseur entre 0,5 et 1 mm. Elle est fortement dégradée comme l'indique la figure 11.

Le détail de cette zone est représenté figure 12 avec un plus fort grossissement. Cette figure indique clairement les altérations en carbonate de calcium (calcite) et en sulfate de calcium (gypse). La calcite se développe en formes globuleuses rhomboédriques et le gypse en aiguilles : les cristaux des figures 13 et 14 mettent en évidence ces faces cristallines.

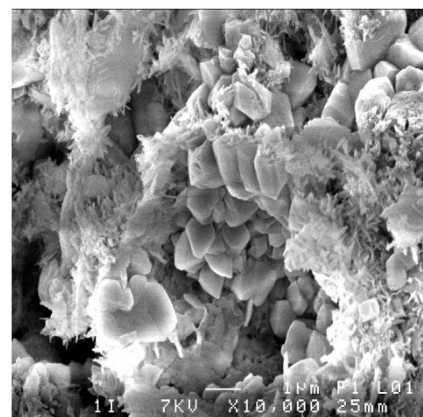


Figure 13. Observation au MEB : face en contact avec les effluents, zone claire (*10 000).

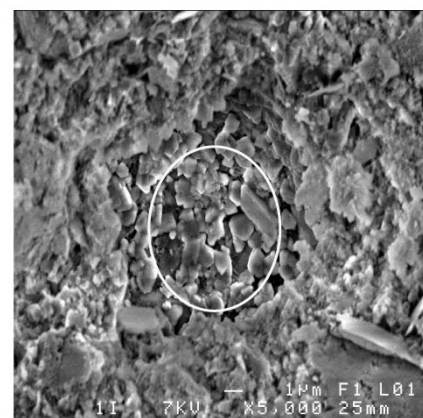


Figure 14. Observation au MEB : zone sombre à 1 mm de profondeur, géode de carbonates (*10 000).

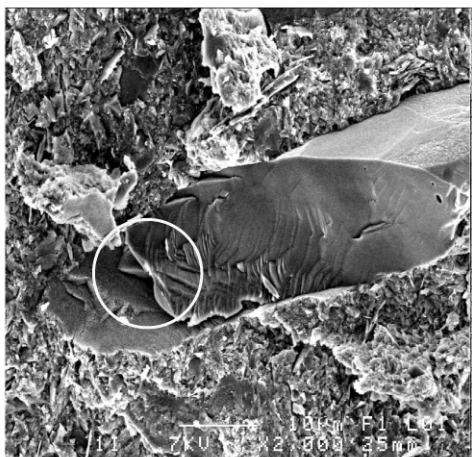


Figure 15. Observation au MEB : zone sombre à 1 mm de profondeur, silex (*2 000).

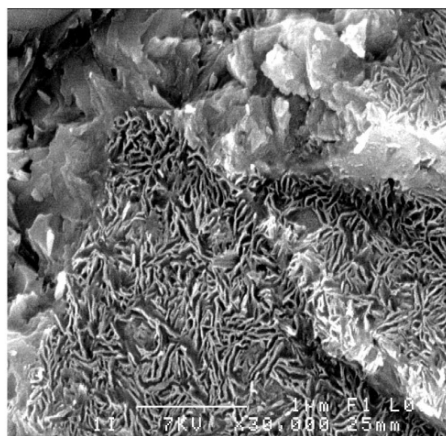


Figure 17. Observation au MEB : contact du silex et de la matrice cimentaire (*30 000).

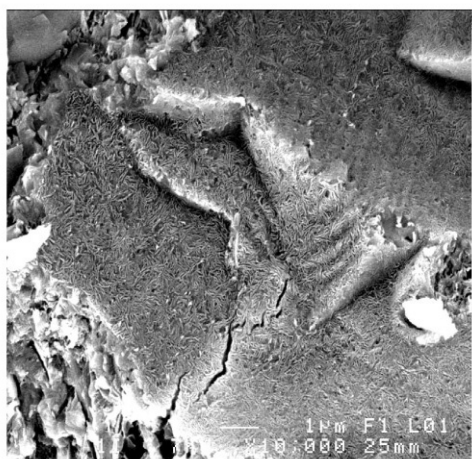


Figure 16. Observation au MEB : contact du silex et de la matrice cimentaire (*10 000).

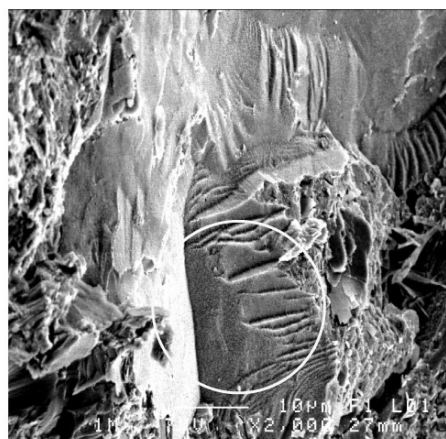


Figure 18. Observation au MEB : contact du silex et de la matrice cimentaire (*2 000).

Lorsque les observations sont faites dans la zone sombre, la matrice cimentaire n'est pas dégradée, seuls les pores sont parfois occupés par ces altérations comme le montre la géode de carbonates, figure 14. Outre les cas particuliers et exceptionnels de pores avec des sulfates ou des carbonates, il n'y a pas d'altérations liées à la pénétration d'agents extérieurs. En revanche, certains granulats ont réagi au contact de la matrice cimentaire. La figure 15 montre ce contact avec un gravier vraisemblablement de silex et dont la cassure conchoïdale est caractéristique et de nature chimique vérifiée par micro analyse.

Le détail de la partie encadrée est représenté sur la figure 16. Dans cette zone le silex est arraché et il reste l'empreinte laissée sur la matrice. Il y a donc un phénomène d'alcali réaction sur ce silex retrouvé sur l'empreinte figure 17. Au contraire, les granulats quartzueux ne présentent pas ce problème, figure 18.

En complément de ces analyses par visualisation, nous avons noté que la partie interne de la canalisation présente sur une très faible épaisseur des minéraux exogènes dont les analyses EDS sont reportées dans les tableaux 4, 5, 6 et

7. L'analyse sur un quartz déchaussé de cette surface met en évidence des atomes de Brome.

La présence sur un point d'analyse d'atomes de brome est exceptionnelle, tableau 4, quartz enrobé de Brome ; par contre, les chlores, tableau 6, et les sulfates, tableau 7, apparaissent en grande quantité. Ces éléments présents sur la partie interne de la canalisation peuvent s'expliquer par la présence, autrefois et dans cette rue, d'une clinique qui a pu rejeter ces composés dans les effluents. Mais des rejets « sauvages » peuvent aussi être la cause de la forte teneur en chlore, par exemple des rejets d'eau de javel pour

Elément	%Masse	%Atomique
O K	56.10	71.25
Si K	35.03	25.34
K K	2.15	1.12
Ca K	2.30	1.17
Br L	4.42	1.12
Totaux	100.00	

Tableau 4. Microanalyse sur un quartz.

Elément	%Masse	%Atomique
C K	16.47	25.98
O K	46.38	54.92
Al K	1.76	1.23
Si K	5.57	3.76
K K	0.64	0.31
Ca K	29.19	13.80
Totaux	100.00	

Tableau 5. Microanalyse sur une calcite.

Elément	%Masse	%Atomique
C K	64.03	77.41
O K	14.55	13.21
Si K	6.27	3.24
Cl K	13.67	5.60
Ca K	1.49	0.54
Totaux	100.00	

Tableau 6. Microanalyse sur des chlores.

Elément	%Masse	%Atomique
C K	9.90	20.76
O K	22.43	35.29
Al K	0.59	0.55
Si K	2.25	2.02
S K	33.28	26.13
Ca Ka	5.73	3.60
Fe K	25.82	11.64
Totaux	100.00	

Tableau 7. Microanalyse sur du sulfate de fer.

le chlore et de sulfate de fer par l'intermédiaire de produits de jardinage par exemple anti mousse.

3.3. Partie médiane de la canalisation

Dans la partie médiane du tuyau, l'absence de muscovite permet d'attribuer ce minéral au sol et non au sable du béton. Outre les phases habituelles, l'ettringite, tableau 8, est une ettringite primaire, disséminée dans la matrice.

Elément	%Masse	%Atomique
C K	13.51	21.56
O K	48.36	57.94
Al K	3.65	2.60
Si K	6.51	4.44
S K	2.46	1.47
K K	0.41	0.20
Ca K	23.55	11.26
Fe K	1.55	0.53
Totaux	100.00	

Tableau 8. Microanalyse sur une ettringite.

3.4. Essais mécaniques

Les caractéristiques mécaniques de ce prélèvement sont mesurées sur des échantillons de $\phi=28\text{mm}$. Seules les mesures sur les éprouvettes longitudinale et transversale

	σ_c (MPa)	E (MPa)	σ_t (MPa)
Longitudinal L	51.64	13 169	3.57
Transversal T	58.51	18 100	3.48
Radial R	19.15	7 156	

Tableau 9. Résistances en compression, en traction et modules d'Young des échantillons.

sont véritablement significatives au regard des standards (faces de l'échantillon R parfois non parallèles et parfois non planes). Ces résistances mécaniques reportées tableau 9, mettent clairement en évidence la qualité du matériau et confirment la faible dégradation (observations au MEB et réduction du pH sur une très faible épaisseur).

4. ANALYSES PRÉLIMINAIRES D'ENDOMMAGEMENT PAR LES INDICATEURS MÉCANIQUES

Après avoir dressé un bilan des pathologies identifiables sur un prélèvement, nous proposons ensuite une vue plus élargie en considérant une présentation des quelques propriétés mécaniques disponibles à partir des prélèvements déjà réalisés. La figure 19 montre schématiquement la localisation des zones analysées. A titre d'indication, le quartier 1, correspond à la partie la plus ancienne de la ville, où la solution unitaire est la plus fréquente et où les ouvrages maçonnés (non abordés dans le cadre du projet) sont nombreux. Le quartier 9 est plutôt industrialisé, tandis que les quartiers 5 et 6 sont bien occupés par un site universitaire. Le quartier 10 comprend une large activité hospitalière et universitaire.

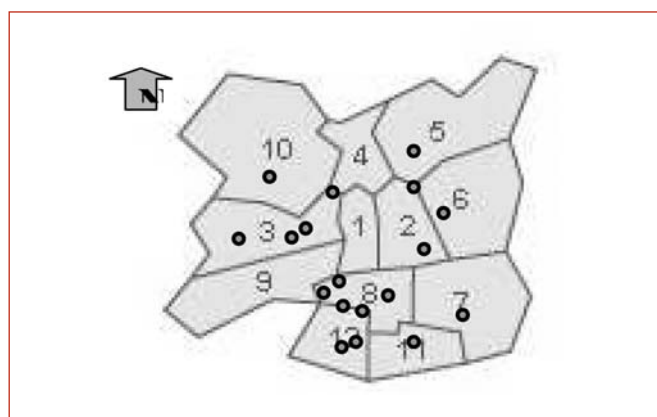


Figure 19. Localisation des échantillons déjà prélevés par quartier.

4.1. Analyses de la contrainte limite de rupture en compression

Les valeurs de contraintes limites de rupture en compression sont présentées sur la figure 20 pour les trois directions, R, T, L. Sur cette figure, l'axe des abscisses symbolise un prélèvement dans une rue. La dispersion des résultats est imputable à la nature des matériaux formulés

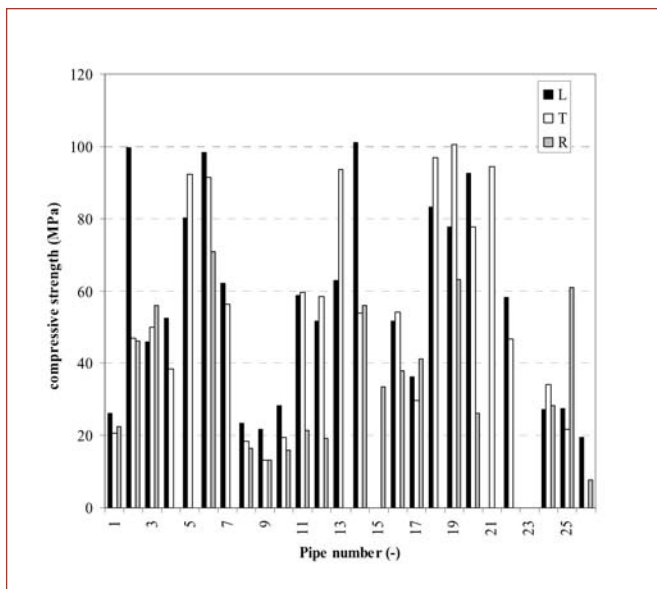


Figure 20. Histogramme des valeurs de la contrainte limite de rupture en compression dans les directions R, T, L.

au cours du temps et aux altérations. L'âge maximum de la population présentée est de 120 ans et le minimum est de l'ordre de 20 ans. La masse volumique apparente de la population est comprise entre 1945 kg.m^{-3} à 2438 kg.m^{-3} . La recherche d'information sur d'éventuels degrés d'anisotropie est proposée par l'intermédiaire de la relation existant entre les contraintes de compression des direction T et L, figure 21. Les résultats présentés montrent logiquement une bonne similitude et indiquent probablement que ces essais représentent bien la résistance à la compression de la partie centrale de l'épaisseur des conduites. Ces résultats ne présentent pas de comportement anisotrope particulier, même si la population reste à l'heure actuelle faible. En complément, l'analyse du lien existant entre les contraintes limites de compression R et T (ou L) est significatif de l'endommagement majeur dans la direction radiale. Très logiquement les niveaux de contraintes dans la direction R restent inférieurs aux contraintes des autres directions. Une anisotropie apparaît entre la direction R et les directions T et L.

4.2. Analyse de la contrainte limite équivalente de rupture en traction (essai brésilien)

Pour la même population d'échantillons, l'analyse de la contrainte limite équivalente à la rupture en traction est présentée sur la figure 22. On remarque que l'essai brésilien est moins discriminant que le test de compression car les contraintes sont assez identiques pour les trois directions étudiées et pour cette population de prélèvements. Un comportement moyen à la rupture est mis en évidence entre les trois directions sans qu'un comportement anisotrope soit détecté entre les directions R et T (ou L). La différence de comportement observée entre les essais de compression et de traction peut s'expliquer par le fait que les épaisseurs endommagées dans la direction R sont assez faibles. Le test de compression apparaît beaucoup plus sen-

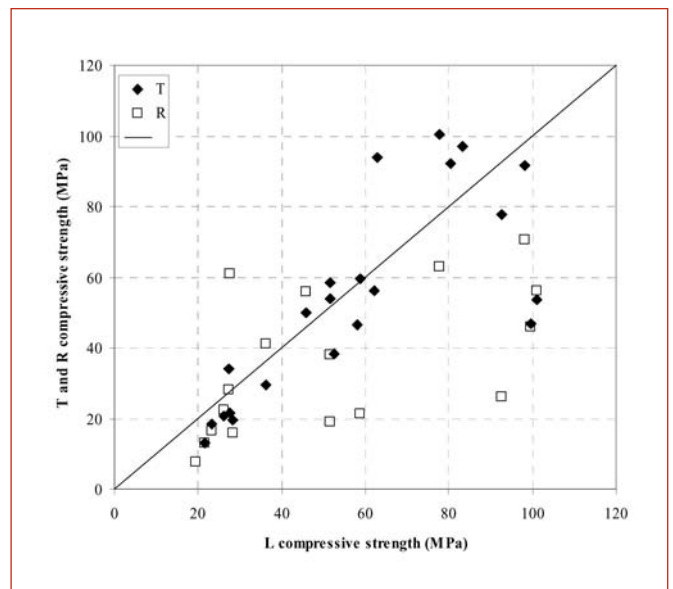


Figure 21. Evolution de la contrainte limite de rupture en compression dans les directions T et R en fonction de la contrainte dans la direction L.

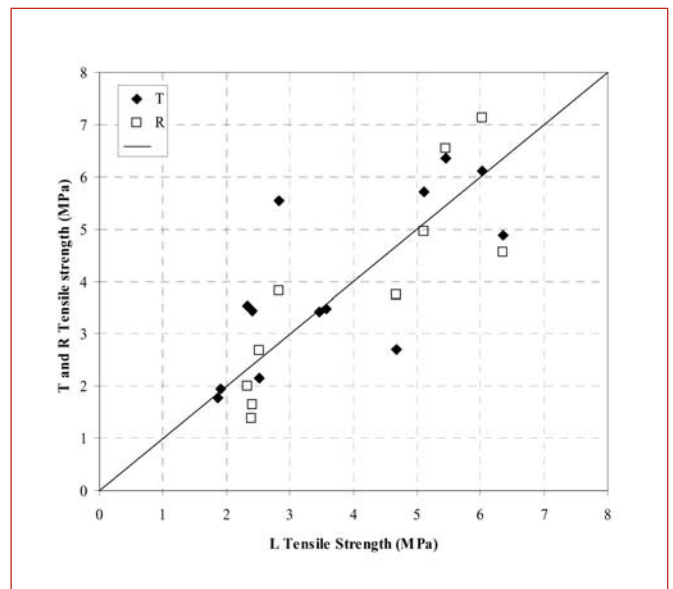


Figure 22. Evolution de la contrainte limite de rupture en traction (essai brésilien) dans les directions T et R en fonction de la contrainte dans la direction L.

sible à l'endommagement dans cette direction d'autant plus que l'endommagement est localisé, pour la grande majorité de la population étudiée, aux extrémités (face interne et face externe).

5. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présentés une étude en cours pour mettre en évidence l'état du réseau d'assainissement de la ville de Rennes. Un protocole expérimental a été mis en œuvre dans le but de construire une banque de données. La construction d'un échantillon statistiquement représentatif nous permettra alors d'exprimer des conclusions majeures. Les analyses réalisées sur les prélèvements de la canalisation du Boulevard Volnay mettent en évidence :

- Une basicité de la matrice cimentaire élevée qui induit la passivation des armatures en acier qui s'avèrent intactes.
- Les résistances mécaniques en flexion et en compression sont élevées avec un module d'Young élevé : ces éléments et les observations en microscopie électronique permettent de dire que la matrice est dense et peu poreuse.
- Les deux faces en contact avec les effluents et en contact avec le sol support sont carbonatées sur une très faible épaisseur : le pH est réduit sur quelques dixièmes de millimètre.
- Les carbonates observés au microscope électronique sont très finement cristallisés et semblent réduire la microporosité de surface.
- Certains granulats siliceux (silex) du béton présentent des figures d'alcali réaction mais ce phénomène doit être freiné du fait de la faible porosité et de l'apport d'eau qui ne peut que pénétrer très lentement : ce phénomène mérite d'être précisé par la mesure de la porosité et de la capillarité.

Certains éléments exogènes sont présents : Brome, Chlore ou chlorures, Sulfates de fer notamment. Ces derniers éléments pourraient être liés à la présence ancienne d'une clinique qui, à l'époque, devait rejeter nombre d'éléments dans la canalisation.

La présentation des premiers résultats obtenus sur les propriétés de rupture mécanique montre logiquement la pertinence du test de compression pour distinguer un niveau d'endommagement. Cependant, le niveau d'endommagement est pour le moment comparé aux propriétés mécaniques de la zone centrale des conduites supposée moins endommagée que les extrémités. Il convient, pour la suite de ce travail, de mettre en évidence les états de références adéquates pour traduire l'évolution de l'endommagement.

6. BIBLIOGRAPHIE

De Belie N., Montanya J., Beeldensb A., Vinckec E., Van Gemertb D. and Verstraete W., Experimental

research and prediction of the effect of chemical and biogenic sulfuric acid on different types of commercially produced concrete sewer pipes, *Cement and Concrete Research*, Volume 34, Issue 12, December 2004, Pages 2223-2236.

Grantham M. G., Jauberthie R., Lanos C., *Concrete solutions : proceedings of the second international conference on concrete repair*, St Malo, France, 27-29 June 2006

Jauberthie, R., Rendell, F. ; « Physicochemical study of the alteration of concrete exposed to ammonium salts. »; *Cement and Concrete Research*, v 33, n 1, 2003, pp. 85-91.

Le Bellego C., Pijaudier-Cabot G., Gérard B., Dubé J.F., Molez L., *Coupled Chemical and Mechanical Damage in Calcium Leached Cementitious Structures*, *J. Engrg. Mech. ASCE*, Vol. 129, pp. 333-341, 2003.

Le Gauffre P., Joannis C., Breysse D., Gibello C., Desmulliez J.J., *Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains: guide méthodologique (RÉRAU)*, Lavoisier éditeur, 2004.

Molez, 2003, *Comportement des réparations structurales en béton : couplages des effets hydriques et mécaniques*, thèse de doctorat de l'ENS-Cachan et Ph.D thesis de l'Université Laval, Québec, Canada.

Rendell F., *Waste and wastewater project development*, 1999, Thomas Telford Publishing.

Rendell F., Jauberthie R., Grantham M., *Deteriorated concrete: inspection and physicochemical analysis*, 2002, Thomas Telford Publishing.

Rendell F. Jauberthie R., *The deterioration of mortar in sulphate environments. Construction and Building Materials*, 1999, 13, pp. 321 – 327.

Vollertsen J, Nielsen AH, Jensen HS, Wium-Andersen T, Hvitved-Jacobsen T, *Corrosion of concrete sewers—The kinetics of hydrogen sulfide oxidation*, *Science of The Total Environment*, Volume 394, Issue 1, 1 May 2008, Pages 162-170.

PRÉSERVATION DES OUVRAGES D'ART EN BÉTON PRÉCONTRAIT : APPLICATION DE L'ÉMISSION ACOUSTIQUE À LA DÉTECTION DE LA CORROSION

Marianne PERRIN*, **, Laurent GAILLET*, Christian TESSIER*, Hassane IDRISSE**

*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Route de Bouaye BP4129, 44341 Bouguenais Cedex

**Laboratoire MATEIS/RI₂S-CNRS UMR-5510 INSA Lyon, Bâtiment Léonard de Vinci,
21 avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne Cedex

1. INTRODUCTION

L'objectif principal des gestionnaires d'ouvrages est de garantir la fiabilité de leurs structures. Dans cette optique, la mise en place d'une maintenance efficace nécessite le développement et l'application de méthodes de contrôle innovantes. Il est évident que la détection précoce des pathologies peut permettre de réduire le coût et la difficulté des actions correctives à mettre en place. Outre la gêne aux usagers provoquée par l'immobilisation des infrastructures, son impact environnemental est également non négligeable.

Une des familles d'ouvrages d'art couramment employée lorsque les franchissements deviennent importants est les ouvrages d'art en béton précontraint. Cette technique de construction a été imaginée et brevetée par Eugène Freyssinet en 1928. Son principe est de mettre en compression le béton afin qu'il résiste mieux aux efforts de

traction imposés par le trafic routier à la structure. Dans le cas de la précontrainte intérieure par post-tension, des armatures de précontrainte sont insérées dans des gaines pré installées dans les parois de l'ouvrage. De part et d'autre des éléments en béton, des systèmes d'ancrage permettent de maintenir les câbles en tension et de transférer des efforts de compression au béton. Un coulis de ciment est également injecté à l'intérieur des gaines afin de protéger les armatures.

Malheureusement ces armatures peuvent être sujettes à une forme particulière de corrosion : la corrosion sous contrainte. La présence d'espèces ioniques agressives comme les ions chlorures ou les ions sulfates dans le liquide interstitiel engendre des phénomènes de corrosion localisée. Le développement de ces réactions crée des cellules occluses où la présence d'oxygène est limitée et où les réactions d'hydrolyse produisent de l'hydrogène. L'absorption de l'hydrogène au sein de la matrice métal-

lique a pour conséquence sa fragilisation (Nürnberg, 2002 ; Schroeder *et al.*, 2003). De plus, ces attaques de corrosion localisée provoquent une concentration de contraintes importante accélérant la rupture de l'armature. Les dispositions constructives de ce type d'ouvrage limitent l'emploi des méthodes de contrôle non destructives (CND). En effet les zones d'auscultation sont limitées aux systèmes d'ancrage. Aujourd'hui peu de techniques permettent de suivre à distance et en temps réel l'évolution de telles structures. Une méthode CND pouvant répondre à ces impératifs est l'émission acoustique (EA). Par l'intermédiaire de capteurs, les émissions acoustiques provoquées par des défauts actifs se propageant dans la structure peuvent être recueillies puis caractérisées par des paramètres de forme et/ou des paramètres fréquentiels. De nombreuses études ont montré la capacité de l'EA à détecter la corrosion (Ramadan *et al.*, 2008 ; Jomdecha *et al.*, 2007). Il s'agit également d'une technique utilisée sur ouvrages pour détecter notamment les ruptures d'armatures (Zejli, 2007).

Cet article présente la démarche utilisée et les résultats obtenus dans le cadre de la détection de la fragilisation par l'hydrogène, un des mécanismes présent lors de la corrosion sous contrainte assistée par l'hydrogène des armatures de précontrainte. Les mécanismes de fragilisation par l'hydrogène ont été recréés par un essai accéléré au thiocyanate d'ammonium. Une première série de tests sur des bâtis d'essais a permis de détecter plusieurs phases d'endommagement distinctes pouvant être caractérisées par différents paramètres issus de l'analyse des salves d'EA. L'application de cette méthode à de plus grands corps d'épreuve a fait l'objet d'une seconde série d'essais. L'optimisation du choix du type de capteur et de sa position est une étape primordiale à une auscultation efficace. La configuration de l'essai a permis de comparer l'activité acoustique en fonction du milieu dans lequel l'armature est placée. Les résultats montrent certaines difficultés de détectabilité de l'activité acoustique dans des milieux enrobés de coulis de ciment. Néanmoins l'emplacement judicieux de certains capteurs sur le corps d'épreuve apporte des résultats encourageants.

2. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

2.1. Matériau et milieu

Les armatures de précontrainte utilisées sont constituées d'acier faiblement allié. Elles sont composées d'un fil central droit entouré par six fils hélicoïdaux (Figure 1). Les fils d'acier sont obtenus par tréfilage à froid ce qui leur confère une microstructure particulière. Elle est composée majoritairement de grains de perlite orientés dans le sens de tréfilage et qui offrent au matériau des caractéristiques mécaniques importantes (Tableau 1).

Le milieu corrosif choisit est composé de 250 g.L⁻¹ de thiocyanate d'ammonium (NH₄SCN). Il est utilisé lors d'essais normalisés afin de caractériser le comportement des arma-

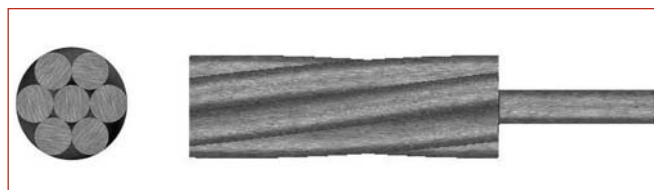


Figure 1. Armature de précontrainte.

Composition Chimique (éléments principaux)				
C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
0,8	0,25	0,5	0,02	0,02
Propriétés mécaniques				
F _{0,1} [kN]	F _m [kN]	Alongement [%]	Section [mm ²]	Pas [mm]
274	295	5,3	151,2	240

Tableau 1. Composition chimique et propriétés mécaniques de l'acier de précontrainte.

tures de précontrainte vis-à-vis de la fragilisation par l'hydrogène. La source d'hydrogène provient du groupement NH₄⁺. Le rôle du thiocyanate (SCN⁻) est de favoriser l'absorption de l'hydrogène par l'acier en empêchant sa recombinaison en gaz dihydrogène. La solution corrosive est maintenue à une température moyenne de 50°C ± 2°C.

2.2. Essais sur bâtis statiques

Le câble est maintenu tendu par un système de coincement conique (clavetage). Le câble est tendu à 75 % de sa force de rupture garantie. La cellule de corrosion étanche est placée sur le câble et remplie de thiocyanate d'ammonium. Deux capteurs d'EA résonnants (micro 80) sont collés de part et d'autre de la cellule de corrosion, de manière équidistante (Figure 2). Chaque capteur est relié à un préamplificateur de gain 40 dB, lui-même relié au système d'EA (chaîne PCI2). L'auscultation est stoppée lorsqu'un des fils du câble rompt.

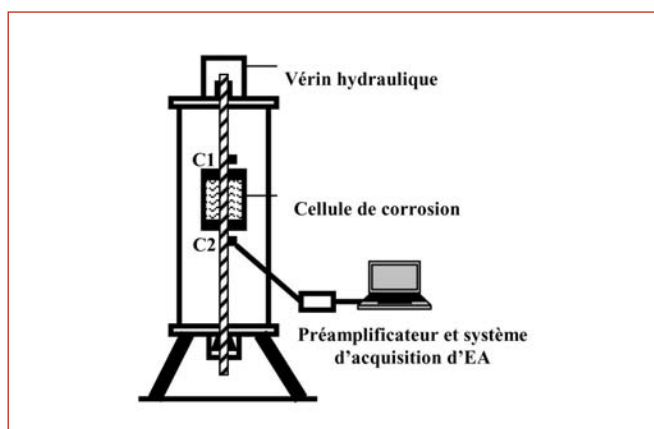


Figure 2. Essais sur bâtis statiques.

2.3. Essais sur corps d'épreuve réalistes

Les corps d'épreuve ont été développés afin de simuler les conditions d'utilisation des câbles de précontrainte. Un bâti rigide de 3 mètres permet de maintenir de chaque côté des blocs d'about (Figure 3). Les blocs d'about sont des parallélépipèdes en béton armé, à l'intérieur desquels ont été placés une tromplaque et une gaine. L'armature est ten-

due à 70 % de sa force de rupture garantie de part et d'autre des blocs d'about et son allongement est maintenu grâce à une tête d'ancrage et à des clavettes. Une gaine en PEHD est mise en place sur la moitié de l'armature. L'ancrage B et la gaine sont injectés avec un coulis de ciment. Une cellule de corrosion est positionnée au milieu de l'armature. Une première étape d'optimisation de l'instrumentation a permis de mettre en évidence l'intérêt d'utiliser des capteurs basse fréquence (capteurs R6) pour recueillir les EA propageant dans des milieux cimentaires. L'instrumentation des deux ancrages est présentée sur la figure 4. Un capteur micro 80 et un capteur R6 ont également été installés à côté de la cellule de corrosion afin de recueillir des signaux de référence (figure 3). Trois systèmes d'EA ont été utilisés : une chaîne DISP avec 4 voies d'acquisition, une chaîne PCI2 4 voies et une chaîne PCI2 2voies.

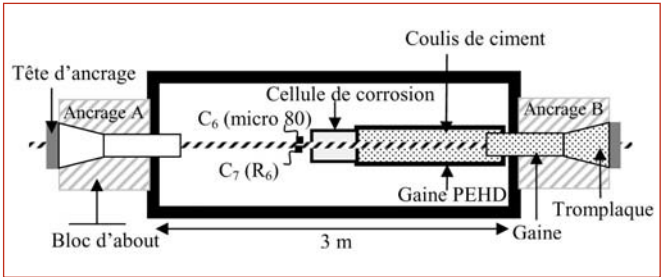


Figure 3. Essais corps d'épreuve réalistes.

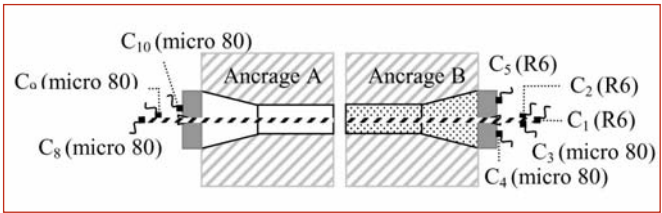


Figure 4. Instrumentation des ancrages.

3. RÉSULTATS

3.1. Résultats obtenus sur bâtis statiques

La rupture d'un des fils de l'armature a été obtenue après 300 heures et a engendré le décollement des capteurs. Par analyse post-mortem, trois ruptures sont décelées. Elles sont positionnées à 137, 139 et 142 mm du capteur 1. La localisation des EA entre les deux capteurs montre un pic énergétique à 136 mm du capteur 1 correspondant à la première rupture de fil (Figure 5). L'erreur de localisation est donc comprise entre 0,7 et 4,5 %. Cette localisation permet également d'analyser uniquement les EA ayant conduit à la rupture du fil. La figure 6 montre les différentes phases d'émission, les signaux de rupture ont été filtrés afin de faciliter l'analyse des mécanismes précurseurs. Trois phases d'activité sont alors isolées. Une première phase d'activité importante jusqu'à 125 heures où l'on détecte la formation et l'évolution des bulles d'hydrogène sur la surface du matériau. Ces mécanismes sont associés à la disso-

lution de la couche pseudo-passive présente sur l'armature (produits de tréfilage) ainsi qu'au début de la pénétration de l'hydrogène dans l'acier. La seconde phase d'endommagement identifiée par EA est relativement peu émissive. Il s'agit d'une phase où la concentration d'hydrogène dans le matériau augmente, entraînant ainsi sa fragilisation et l'amorce de microfissures. La dernière phase beaucoup plus émissive provient de la propagation rapide de fissures à l'intérieur du fil conduisant à sa rupture brutale. Afin de caractériser ces trois phases, trois paramètres d'EA ont été mis en évidence (Tableau 2). La première phase est identifiée par des amplitudes faibles ainsi que par des durées et des nombres d'alternances de salves faibles. Plusieurs études montrent que les mécanismes de formation et d'évolution des bulles d'hydrogène sont très émissifs (Idrissi *et al.*, 2001) mais moins énergétiques que la propagation de fissures (Yuyama *et al.*, 1983). La deuxième phase d'endommagement est caractérisée par un très faible nombre d'EA. Plusieurs auteurs (Ramadan *et al.*, 2007; Sung *et al.*, 1997) ont montré que les phénomènes d'amorçage et de propagation sub-critique de fissures sont peu émissifs. En ce qui concerne la propagation rapide de fissures, elle a été à plusieurs reprises spécifiée comme étant énergétique et entraînant de fortes amplitudes (Jomdecha *et al.*, 2007; Ramadan *et al.*, 2008; Sung *et al.*, 1997; Yuyama *et al.*, 1983).

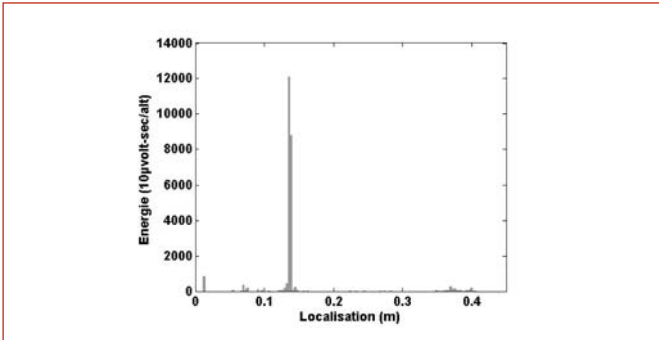


Figure 5. Localisation des EA.

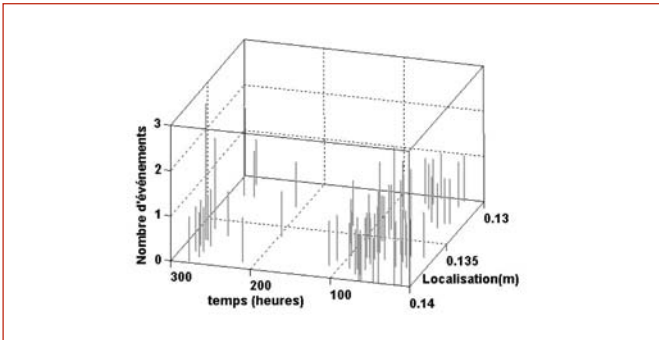


Figure 6. Localisation des EA en fonction du temps.

Paramètres d'EA	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Amplitude	< 40 dB	Faible nombre d'EA	40-100 dB
Durée	< 500 μs		400-25000 μs
Nombre d'alternances	< 60		6-2200

Tableau 2. Paramètres caractéristiques de chaque phase d'endommagement.

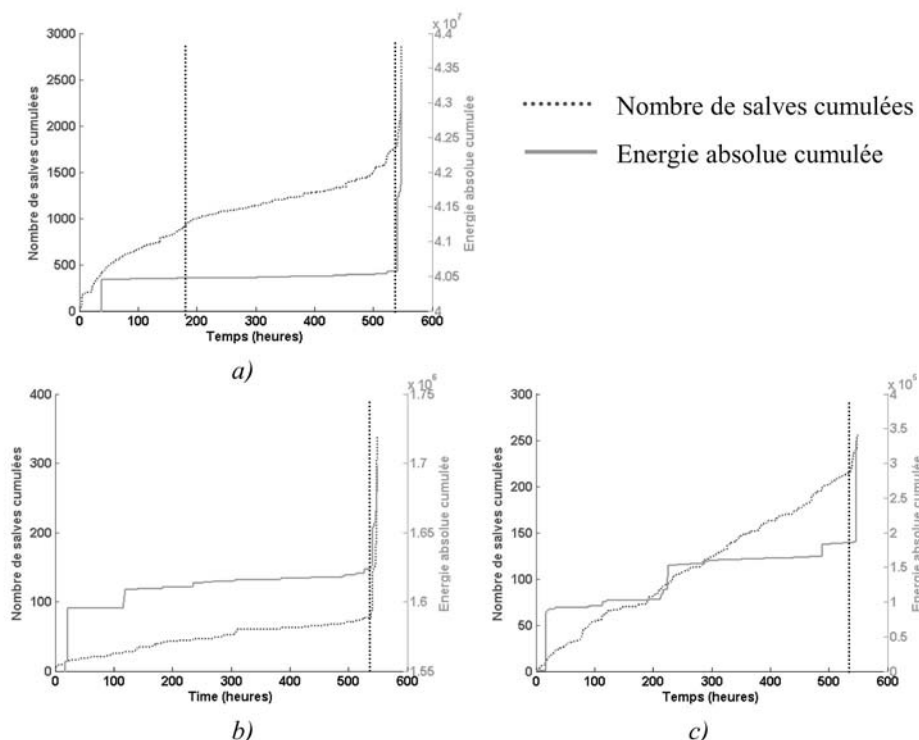


Figure 7. EA recueillies sur corps d'épreuve réalistes : a) capteur 7, b) capteur 10, c) capteur 4.

3.2. Résultats obtenus sur corps d'épreuve réalistes

L'activité acoustique recueillie par les capteurs 6 et 7 est prise comme référence puis comparée à l'activité recueillie sur les ancrages. Les trois phases d'endommagement observées sur structures simplifiées sont également détectées par le capteur 7 (Figure 7a). La phase de propagation de fissures (phase 3) est caractérisée par un net accroissement de l'activité acoustique et par une augmentation de l'énergie.

En ce qui concerne l'auscultation sur la tête d'ancrage A, l'activité acoustique met très clairement en valeur la troisième phase d'endommagement avec une densité importante d'EA et des amplitudes allant jusqu'à 65 dB (Figure 7b). Concernant les EA recueillies sur la tête d'ancrage B, la présence de coulis favorise la propagation des basses fréquences et les capteurs R6 se révèlent plus efficaces que les capteurs micro 80. La plupart des capteurs ont une activité particulière en phase 3 avec une augmentation de la densité d'EA (Figure 7c).

4. CONCLUSION

La technique d'EA se révèle être une méthode efficace pour la détection de la corrosion sous contrainte assistée par l'hydrogène. Sur les structures simplifiées de laboratoire, trois phases du cycle d'endommagement ont pu être caractérisées grâce aux paramètres amplitude, durée et nombre d'alternances des salves d'EA. En revanche, la confrontation de cette technique à des conditions d'utilisa-

tion in-situ montre certaines pertes d'informations liées à l'atténuation et à la distorsion des ondes dans ces structures. Néanmoins, les capteurs placés sur l'ancrage injecté ont montré leur capacité à détecter la phase de propagation de fissures jusqu'à la rupture d'un des fils. De nouveaux essais doivent maintenant être réalisés dans des milieux proches de la solution interstitielle afin de déterminer si cette phase d'endommagement peut être un bon critère d'alarme dans le cadre d'une auscultation in situ.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet national ACTENA. Les auteurs tiennent à remercier l'ANR et EDF pour leur participation financière.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Idrissi H., Limam A., « Characterization of damage growth by acoustic emission measurement in reinforced concrete », *NDT & E international*, vol. 36, 2003, p. 563-569.
- Jomdecha C., Prateepasen A., Kaewtrakulpong P., « Study on source location using acoustic emission system for various corrosion types », *NDT & E international*, vol. 40, 2007, p. 584-593.
- Nürnberger U., « Corrosion induced failures of prestressing steel », *Otto Graf journal*, vol. 13, 2002, p. 9-25.
- Ramadan S., Gaillet L., Tessier C., Idrissi H., « Detection of stress corrosion cracking of high-strength steel used in prestressed concrete structures by acoustic emission technique », *Applied surface science*, vol. 254, 2008, p. 2255-2261.

- Schroeder RM., Müller IL., « Stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement susceptibility of an eutectoid steel employed in prestressed concrete », *Corrosion science*, vol. 45, 2003, p. 1969-1983.
- Sung KY., Kim IS., Yoon YK., « Characteristics of acoustic emission during stress corrosion cracking of Inconel 600 alloy », *Scripta materialia*, vol. 37, 1997, p. 1255-1262.
- Yuyama S., Kishi T., Hisamatsu Y., « AE analysis during corrosion, stress corrosion cracking and corrosion fatigue processes », *Journal of acoustic emission*, vol. 2, 1983, p. 71-93.
- Zepli H., Détection et localisation par émission acoustique de fils rompus dans les ancrages d'ouvrages d'art, Thèse de doctorat, UTC, 2007.

CALENDRIER

15 JANVIER 2010

Limite de soumission des résumés.

30 JANVIER 2010

Notification aux auteurs (acceptation résumés).

05 MARS 2010

Limite de réception des communications.

15 AVRIL 2010

Retour des remarques du Comité Scientifique.

30 AVRIL 2010

Limite de retour des versions corrigées (article + résumé 2 pages).

Information

<http://cust.univ-bpclermont.fr/~augc>

Soumission

augc2010@unilim.fr

Des papiers sélectionnés seront proposés pour publication dans l'EJCE.

INSCRIPTION

Les inscriptions aux 28èmes rencontres du Génie Civil se font sur le site de l'AUGC : www.augc.asso.fr

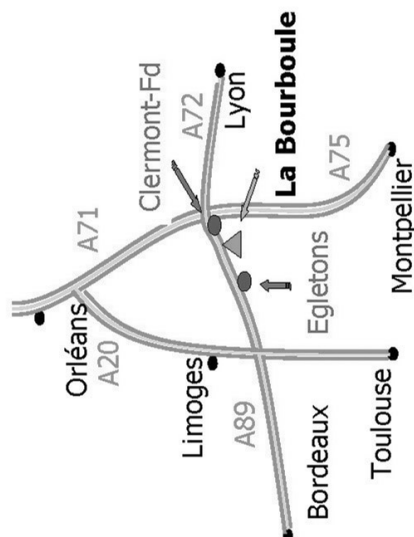
Les droits d'inscription comprennent l'accès à toutes les sessions, les actes du congrès, les pauses-café, les repas de midi et le repas de gala. Pour les membres de l'AUGC, les frais d'adhésion sont compris dans l'inscription.

LOCALISATION

Les rencontres se tiendront au Centre des Congrès de La Bourboule, située à 850 m d'altitude, au cœur du Massif du Sancy et du Parc naturel régional des volcans d'Auvergne.

A 1h DE CLERMONT-FERRAND

- En navette AUGC (gare et aéroport)
- En voiture (accès par autoroute)
- En train (5/jour)



COMITE D'ORGANISATION

A. Bouchair, N. Sauvat

F. Allou, N. Angellier, C. Bacconnet, A. Millien,
R. Moutou-Pitti, M. Takarli, A. Talon.

Contact/Information

augc2010@polytech.univ-bpclermont.fr



28^e Rencontres Universitaires
de Génie Civil

Ouvrages en Service & Développement Durable



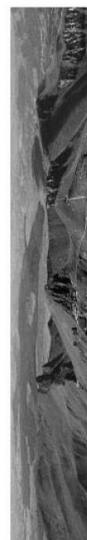
Du 2 au 4 juin 2010
La Bourboule



Université Blaise Pascal



Université
de Limoges



Les 28^{èmes} rencontres universitaires de génie civil, organisées par le Département Génie Civil de Polytech/Clermont-Ferrand (Université Blaise Pascal) et le Centre Universitaire Génie Civil d'Egletons (Université de Limoges), se tiendront à La Bourboule en juin 2010.

Chaque année, ces journées permettent de réunir les différents acteurs du Génie Civil : enseignants, chercheurs et professionnels. Elles donnent lieu à des échanges sur la formation, la recherche et le développement en Génie Civil et font état des avancées dans ces domaines.

THEMES SCIENTIFIQUES

Ces rencontres couvriront, sous forme de sessions orales ou posters, les thématiques suivantes :

- ENVIRONNEMENT: eau, énergie, HQE, éco-construction, éco-matériaux, recyclage ...
- MATERIAUX: acier, béton, bois, polymères, sols et roches ...
- STRUCTURES: éléments, assemblages, incendie, instabilités, fatigue, séisme ...
- OUVRAGES: bâtiments et habitat, infrastructures et ouvrages ...
- METHODES/APPROCHES: CND, IMR, conception, réalisation, expérimentation, simulation, mesures, approches probabilistes et possibilités, analyse de risques, analyse multi-échelles ...

COMITE SCIENTIFIQUE

C. Petit (Président)	.....IUT, Univ. de Limoges
D. Boissier (Vice-Pdt)	.....Polytech, Univ. Clermont 2
S. Amziane	.....Polytech, Univ. Clermont 2
G. Arliguie	.....INSA Toulouse, Univ. P. Sabatier
S. Barraud	.....INSA Lyon, Université Lyon 1
A. Bekkouch	.....Univ. de Tlemcen, Algérie
D. Breyse	.....Univ. Bordeaux 1
N. Burlon	.....Polytech, Univ. Lille 1
F. Bos	.....IUT, Univ. Bordeaux 1
A. Chateaufort	.....Polytech, Univ. Clermont 2
B. Chocat	.....INSA, Univ. Lyon 1
T. Chotard	.....IUT, Univ. de Limoges
J. L. Clément	.....LCPC, Paris
L. Daudeville	.....Univ. J. Fourier, Grenoble
H. Di Benedetto	.....ENTPE, Lyon
M. Djafour	.....Univ. de Tlemcen, Algérie
J. F. Dubé	.....IUT, Univ. Montpellier 2
F. Dubois	.....Univ. de Limoges
P. Dubujet	.....ENI, St Etienne
F. Emerault	.....INSA, Univ. Lyon 1
J.L. Gallias	.....Univ. de Cergy Pontoise
P. Gegoud	.....Bouygues, Paris
F. Ghomari	.....Univ. de Tlemcen, Algérie
M. Guerin	.....Eiffage, Paris
C. Inard	.....Univ. La Rochelle
A. Khelidj	.....IUT, Univ. de Nantes
T. Kretz	.....LCPC, Paris
C. Laborde	.....ISA BTP, Univ. De Pau
C. Lanos	.....IUT, Univ. Rennes 1
F. Larrarte	.....LCPC, Nantes
J. Mazars	.....INPG, Grenoble
J. Monnet	.....Univ. Grenoble 1
F. Masroui	.....INPL, Univ. de Nancy
J. P. Muzeau	.....Polytech, Univ. Clermont 2
A. Pantet	.....Univ. Le Havre
P. Perronin	.....Polytech, Univ. de Savoie
G. Pijaudier-Cabot	.....ISA BTP, Univ. De Pau
A. Sellier	.....INSA, Univ. Toulouse 3
S. Staquet	.....Univ. Libre de Bruxelles
F. Scokzylas	.....Ecole Centrale de Lille
J. M. Torrenti	.....LCPC, Paris

ATELIERS THEMATIQUES

Des ateliers thématiques seront proposés afin de mener une réflexion collective sur la formation, la recherche et le développement en Génie Civil (exemples ci-après). D'autres thèmes peuvent être proposés par les acteurs du Génie Civil (entreprises, universités, institutions).

- Relations entreprise-université
- Enseignement des Eurocodes
- Génie parasismique

EXPOSANTS

Des espaces expositifs (entreprises, institutions, ...) seront ouverts pour faire découvrir de nouveaux produits ou techniques constructives, des services ou matériels (essais, constructions, laboratoires, entreprises, formations, ...)

CONCOURS JEUNES CHERCHEURS

Le prix jeunes chercheurs « René Houpert » récompense les travaux de recherche présentés par des doctorants en fin de thèse.

Calendrier PJC

Déclaration de candidature : 01/02/2010

Soumission communication : 30/03/2010

Contact

gatuingt@lmt.ens-cachan.fr

PRESENTATION

Les **X^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil** ont pour objet :

- d'actualiser les connaissances dans le domaine du génie côtier et du génie civil associé ;
- de permettre des échanges d'idées entre spécialistes des domaines concernés ;
- de favoriser la confrontation d'analyses et d'expériences entre chercheurs et entrepreneurs ;
- de mettre en relation donneurs d'ordre, entreprises et chercheurs ;
- de présenter des techniques et des matériels nouveaux, ainsi que la documentation disponible auprès des stands d'exposition ;
- de diffuser l'information sur les activités pédagogiques, de recherche et de formation concernant le génie côtier et le génie civil (récentes habilitations).

THEMES

- 1- **HYDRODYNAMIQUE CÔTIÈRE** : vagues, vents, marées, surcotes, modélisation des phénomènes, approches numériques, statistiques.
- 2- **DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET TRANSPORTS DES PARTICULES** : transport littoral, apports des bassins versants, turbidité, bilans sédimentaires, envasements, évolution morphodynamique, modélisations.
- 3- **INSTRUMENTATION, MESURES, IMAGERIE ET TÉLÉDETECTION** : innovations dans les techniques de mesures et de modélisation physique, évaluation des paramètres hydrodynamiques, sédimentaires et géotechniques.
- 4- **VULNÉRABILITÉ DU LITTORAL** : innovations dans le domaine de la protection des côtes, de l'aménagement et de la réhabilitation des zones littorales et estuariennes, ouvrages et techniques spécifiques, exemples de réalisation d'aménagements, études de cas, impacts environnementaux.
- 5- **OUVRAGES PORTUAIRES, CÔTIERS ET OFFSHORE** : innovations dans le domaine de la conception, du calcul, de la réalisation et de la rénovation d'ouvrages ou d'aménagements, modélisation physique en centrifugeuse, autres modélisations.
- 6- **ÉNERGIES MARINES** : éoliennes, hydroliennes, énergies des vagues (prospectives, ouvrages et impacts physiques).
- 7- **GESTION ET VALORISATION DES SÉDIMENTS MARINS** : granulats marins, traitement et valorisation des sédiments marins, management pour un développement durable, études de cas.
- 8- **GESTION DURABLE DES PORTS DE PLAISANCE** : entretien, maintenance, aménagements, nouveaux concepts pour un développement durable, ports à sec, ports fluviaux, grands projets.

Conférenciers invités : **Prof. Tsujimoto (Université de Nagoya).**

ORGANISATEURS

Ces journées sont organisées par le **CFL** (Centre Français du Littoral), **Jean CREPEY** (Président) et **Daniel LEVACHER** (Université de Caen) ;

conjointement avec :

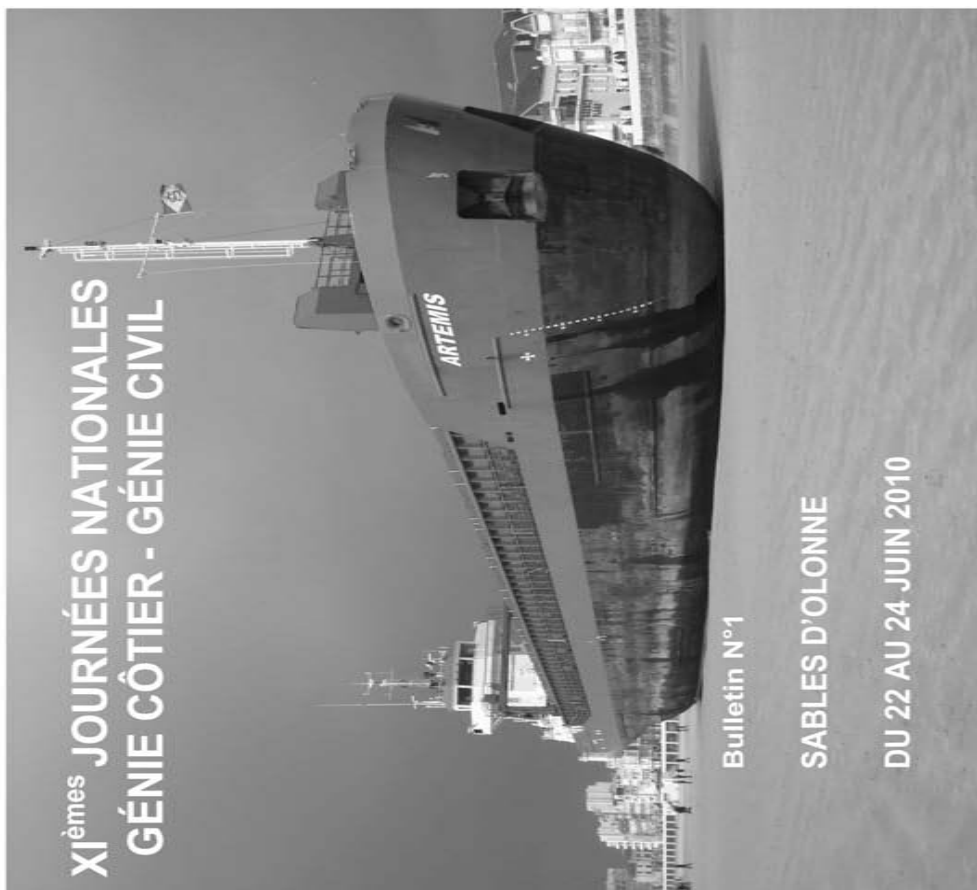
- la société **ACRI**, prix scientifique "**Pierre GUÉVEL**",
- le **BRGM** (Bureau de Recherches en Géologie Minière),
- le **CETMEF** Centre d'Études Techniques Maritimes Et Fluviales,
- la société **LA VISION** France,
- l'**Université d'Angers**,
- l'**Université de Nantes**.

en partenariat avec :

- le **Conseil Général de Vendée**,
- le **Pôle de Compétitivité "Mer" PACA**,
- le **Pôle de Compétitivité "Génie Civil Écoconstruction"**,
- la **Région Pays de Loire**,
- la **Ville des Sables d'Olonne**.



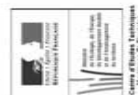
X^{èmes} JOURNÉES NATIONALES GÉNIE CÔTIER - GÉNIE CIVIL



Bulletin N°1

SABLES D'OLONNE

DU 22 AU 24 JUIN 2010



UNIVERSITÉ DE NANTES



LA VISION
WE EIGHTH DAY PHOTOGRAPHY



APPEL À COMMUNICATIONS

La langue officielle est le français ; l'anglais est accepté.
Les communications, impérativement originales, seront sélectionnées au préalable par le comité scientifique restreint et la présidente du comité de lecture (résumés), puis par le comité de lecture sous le contrôle du comité scientifique (acceptation de l'article, corrections et choix de la présentation orale ou poster).
Les communications se dérouleront, soit sous forme d'exposé oral d'une durée de 20 minutes au maximum discussion incluse, soit sous forme d'affiche après présentation de 5 minutes.
Les communications non présentées oralement ou sous forme d'affiches ne seront pas publiées, l'inscription de l'orateur devra être effectuée au plus tard le 1^{er} juin 2010.
Les auteurs sont invités à indiquer leur préférence pour une présentation orale ou sous forme d'affiche.

ENREGISTREMENT DU RÉSUMÉ

L'enregistrement du résumé devra être effectué prioritairement en ligne, pour le 31 décembre 2009, sur le site :

http://www.paralia.fr/sables_d_olonne_2010_825.htm

Le résumé ne devra pas excéder une page A4, dans un cadre 18x25cm, frappe simple interligne. Il doit contenir : le thème en en-tête de page, le titre, le(s) nom(s) de l'(des) auteur(s), ainsi que le texte.

SOUSSION DE LA COMMUNICATION

Les communications de 8 pages sont à soumettre impérativement pour le 30 janvier 2010 à l'adresse électronique suivante : redaction@paralia.fr. Pour la rédaction de celles-ci, il est demandé de suivre les instructions aux auteurs de la revue Paralia disponible en ligne sur le site <http://www.paralia.fr>.

Les réponses sur l'évaluation des communications par les experts des comités scientifique et de lecture seront communiquées pour le 15 mars 2010.
Les auteurs doivent renvoyer la version définitive des manuscrits acceptés pour le 15 avril 2010.

Secrétariat scientifique des X^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil

Adresse courrier :

Secrétariat scientifique des X^{èmes} JNGCGC

M. Martin Sanchez,

Faculté des Sciences, 2, rue de la Houssinière – BP 92208

44322 Nantes cedex 03 – France

Autres coordonnées du secrétariat :
Téléphone : 00 33 (0)2 51 12 55 51
Fax : 00 33 (0)2 51 12 52 68

Courriel : redaction@paralia.fr

Site web : <http://www.paralia.fr>

STANDS D'EXPOSITION

Réservation dès à présent, selon le nombre de places disponibles, auprès du Président du comité d'organisation LEVACHER Daniel soit à l'adresse du secrétariat scientifique des JNGCGC soit par mail : daniel.levacher@univcaen.fr

DATES IMPORTANTES À RETENIR ① *modifiées !*

- Date limite d'envoi des résumés : 31 décembre 2009.
- Envoi de l'avis d'acceptation des résumés : jusqu'au 31 décembre 2009.
- Date limite d'envoi des communications : 30 janvier 2010.
- Acceptation des articles : 15 mars 2010.
- Envoi du bulletin n° 2 et début des inscriptions : 15 février 2010.
- Envoi par les auteurs des articles corrigés : le 15 avril 2010
- Envoi du bulletin n° 3 et programme préliminaire : 15 mai 2010.



CENTRE DE CONGRÈS LES ATLANTES
LES SABLES D'OLONNE
Bâtiment 10000 - 85300 Sables d'Olonne

LIEU DU COLLOQUE

Centre de Congrès "Les Atlantes" - LES SABLES D'OLONNE (Vendée)

TARIFS

380 Euros avant le 1^{er} mai 2010, (tarif 2006 inchangé), 450 Euros à partir du 1^{er} mai 2010. ① *corrigé !*
Demi-tarif étudiant non communicant : jusqu'au Master ou équivalent.
Les inscriptions et règlements sont à faire auprès du Trésorier du CFL – MAILLIARD Jean (adresse en page 3).

COMITE SCIENTIFIQUE

Président: SANCHEZ Martin – Université de Nantes

Membres :

BARDEY Philippe	ACRI	Sophia Antipolis	CONIL Pierre	BRGM	Nantes
BARUSSEAU Jean Paul	Université	Perpignan	GARNIER Jacques	LPC	Nantes
BELORGEY Michel	Poséidon	Rouen	GROVEL Alain	CFL	Nantes
BONNET-RENE René	Ing Conseil	Vence	KOVARIK Jean-Bernard	MEEDAT	Paris
BONNOT-COURTOIS Chantal	CNRS	Dinard	LEVACHER Daniel	Université	Caen
CAUDE Geoffroy	CETMEF	Complègne	SERGET Philippe	CETMEF	Complègne
CLEMENT Alain	ECN	Nantes	THERET Bernard	ETPO	Nantes

COMITE DE LECTURE

Président : HOWA Hélène - Université d'Angers

Membres :

ABADIE Stéphane	ISA-BTP	Anglet	HASSANE Mohamed	ENSH	Bida
ABRIAK Noredine	ENSM	Douai	HERVOUET Jean-Michel	LNHE	Chatou
ALLENBACH Michel	Université	Nouméa	HISSEL François	CETMEF	Complègne
ARDHUIN Fabrice	SHOM	Brest	IDIER Deborah	BRGM	Orléans
ASTRUC Dominique	IMFT	Toulouse	LAJOIE David	ACRI	Sophia-Antipolis
BALTZER Agnès	Université	Caen	LARRARTE Frédérique	LPC	Nantes
BARTHELEMY Eric	Université	Grenoble	LE HIR Pierre	IFREMER	Brest
BERNOIT Michel	LNHE	Chatou	L'HER Joël	CETMEF	Brest
BOIS Pierre-Antoine	Université	Lille	MARIN François	Université	Le Havre
BONNETON Philippe	DGO	Bordeaux	MARON Philippe	ISA-BTP	Anglet
BOUGIS Jean	Ing Conseil	Oplo	MIGNIOT Claude	Ing Conseil	Charente-le-Pont
BOUTIN Roland	DTMA	Brest	OUAHINE Abdelatif	Université	Complègne
BRØKER Ida	DHI	Copenhague	OUERACI Hocine	FZK	Braunschweig
CHAGDALI Mohamed	Université	Casablanca	PAQUIER André	CEMAGREF	Lyon
CISNEROS AGUIRRE Jesus	Université	Las Palmas	PIOLINE Michel	CETE	Rouen
CLOZEL Blandine	BRGM	Orléans	REIFFSTECK Philippe	LPC	Paris
COLMARD Christophe	SAIPEN SA	Guyancourt	REY Vincent	ISITV	Toulon
DELOUIS Bertrand	PANSN	Nantes	ROPERT François	SNS	Paris
DENIS Jacques	IFREMER	Toulon	RUBAN Véronique	LPC	Nantes
DUCROTOY Jean-Paul	Université	Hull	SABATIER François	Université	Aix-en-Provence
EZERSKY Alexander	Université	Caen	SAVARD Jean-Pierre	Ouranos	Montréal
FARNOLE Pierre	ERAMM	Sophia-Antipolis	SEVIN Jean-Michel	PNA	Caen
FATTAL Paul	Université	Nantes	SILVA JACINTO Ricardo	IFREMER	Brest
FRANUIN Philippe	ISITV	Toulon	SUANEZ Serge	UBO	Brest
GAUCHON Pascal	PAH	Le Havre	THOREL Luc	LPC	Nantes
GAUFRES Pierre	CETMEF	Aix	TRICHET Jean-Jacques	CETMEF	Complègne
GEORGE Ken	Université	Portsmouth	TZIMPOPOULOS Christos	Université	Thessalonique
GOASGUEN Gerard	CETMEF	Brest	VASSELIN Eric	Université	Le Havre
GUILLLOU Sylvain	EIC	Cherbourg	VIDAL Cesar	Université	Santander
HAMM Luc	SOGREAH	Grenoble	VILLARET Catherine	EDF	Chatou

COMITE D'ORGANISATION

Président :
LEVACHER Daniel – Université de Caen

Trésorier :

MAILLIARD Jean – Administrateur, Trésorier du Centre Français du Littoral
59 rue des noisetiers, 44430 Le Leroux-Boffereau
Email : cfl.mail444@orange.fr

Helsinki metropolitan area

The cities in the metropolitan area - Helsinki, Espoo, Vantaa and Kauniainen - form an area with over one million inhabitants.

The head offices of the most prominent Finnish enterprises, the most famous museums and eight of the twenty universities in Finland are located in the metropolitan area. The most well-known sights are also to be found in the region. In fact, the majority of domestic and foreign tourism is concentrated in the metropolitan area.

The cities in the metropolitan area co-operate closely on, for example, services, traffic solutions and housing policy.

The conference venue Dipoli is located in the Otaniemi campus area in the south east corner of Espoo, approximately 10 kilometers from Helsinki and 25 kilometers from the Helsinki airport.

Conference venue Dipoli is green

The greenest congress centre in Finland, Dipoli received the Green Office certificate four years ago - the rocks quarried at the site saved building materials already in the founding stage. Today, the environmental impact is diminished by reconditioning furniture, keeping a close watch of paper and electricity consumption, and ensuring meticulous waste management.

Organizers

VTT Technical Research Centre of Finland
www.vtt.fi



Finnish Association of Civil Engineers RIL
www.ril.fi



Co-Sponsors



UNEP SBCI
Sustainable Buildings &
Construction Initiative



buildingSMART
International Alliance for Interoperability



Takes
Sustainable community



FINNISH SOCIETY
FOR AIR QUALITY AND CLIMATE



SB10 Finland Sustainable Community - buildingSMART™

Paul Williams



Call for Papers

September 22-24, 2010
Espoo, Finland

Pekka Huovila

Juhani Seppovaara

www.sb10.fi

13.11.2009

Sustainable development is continuous and controlled social change that is sought after worldwide. Its ultimate objective is to secure the opportunities for a good life for present and future generations. The real estate and construction cluster plays a key role in promoting the sustainable development objectives. Where and how communities are built, affects consumption, environmental loading and social impacts. Sustainable Community is an opportunity to improve quality of life and mitigate climate change. In addition, it's fast growing business!

Urban planning – the location of jobs, housing and services as well as the systemic choices made in transport, energy, water, waste and telecommunication infrastructure – has a major effect on eco-efficiency of the built environment as a whole. Similarly, the performance of construction has a major impact on the use of energy during both the construction process and the lifetime of buildings.

Information has become a precious asset complementing the real estate (building) and Building Information Modelling (BIM) an invaluable tool for its management. BuildingSMART™ is a concept to make available all the information one needs about a built facility before it is built and throughout its entire life cycle. BuildingSMART™ aims at coordinated change for the improvement of productivity, efficiency and sustainability in the construction and



facilities management industry. It is doing this by promoting, adapting and improving open standards for interoperability, such as IFC for open BIM.

Providing a healthy and productive indoor environment in an environmentally sustainable manner is the key target of buildings. This topic has been integrated in all the conference themes reflecting the necessity to consider indoor environment issues at all levels of the building process.

The Sustainable Community Conference aims at sustainable neighbourhood solutions with global optimisation and local design, differentiation and branding, active end-user involvement, paradigm shift and new business opportunities. The Conference topics are grouped into six principal themes

1) Sustainability Assessment of Buildings and Cities

Environmental, economic and social assessment emphasizing

- **the use of Building Information Models - buildingSMART™**
- assessment methods and tools towards LCA based Carbon Footprint calculation
- indicators and rating tools
- case studies

2) Managing Life Cycle Performance

The focus is at facilities including immediate neighbourhood with the following priority areas

- **indoor environment**
- usability, adaptability, accessibility, safety and security
- positive stimulation and value creation
- benchmarking systems and schemes

3) Sustainable Processes

Life cycle processes in the built environment covering

- **sustainable renovation/retrofit/refurbishment**
- requirements management, sustainable business models, risk management
- process models, new tasks and actor roles, integrated methods and tools
- incentives, barriers; process innovation, systemic innovation

4) Sustainable Solutions

Products, services and product-services on

- **passive houses, zero energy and energy positive buildings**
- zero-emission and zero-carbon solutions; optimal match of energy demand and production
- low-exergy systems at different scale and scope
- components, systems and infra; product and service innovation

5) Well-Being

Quality of life aspects related to

- **sustainable lifestyles**
- sustainable architecture
- user behaviour and social innovation
- future trends and prospects

6) Urban Planning

Sustainable land use, traffic and infrastructure systems

- **urban-nature interaction, urban metabolism**
- densities and polynuclearity, functional segregation
- collaborative planning, public participation, e/m-governance
- education, legislation.

SB10 Finland is one of the Sustainable Building (SB) Conferences in 2010.



Eduskuntatalo – Tietoa Finland Oy –
picture: Tietoa Visualsori

Abstract submission begins in October 2009

- Deadline for Abstracts February 15, 2010
- Notification of Abstracts March 15, 2010
- Deadline for Full papers April 30, 2010
- Notification of Full papers June 30, 2010

For more information visit
www.sb10.fi

Information for Abstract submission

The length of abstracts should be between 100 and 200 words. The preferred format is pdf but Word documents will be also accepted. No specified template is given but the abstract should have a title and contact information of the authors. No figures, tables or pictures are accepted. Please note that the organizers reserve the right to limit the number of papers per presenting author.

Abstracts will be reviewed by the Scientific committee and notification will be sent to authors by email (see timetable below). Authors whose abstract has been accepted will be asked to deliver an extended abstract and a full paper. These papers will then be reviewed again by the Scientific committee. Please note that the final acceptance for oral and poster presentations will be made based on full paper / extended abstract.

Extended abstracts will be included in the printed version of the proceedings and full papers will be included in the digital publication.

Submission can be done only via internet. When submitting please select the preferred theme. For all updated information please keep visiting the webpage sb10.fi for further information.

Important dates and deadlines

Abstract submission begins on October 2009

Deadline for Abstracts 15th February 2010

Notification of Abstracts 15th March 2010

Deadline for Full papers 30th April 2010

Notification of Full papers 30th June 2010



Programme at a glance

Day 1 - Wed 22.9				Day 2 - Thu 23.9				Day 3 - Fri 24.9			
Opening Coffee + registration				Keynote Industry Theme 4 keynote Theme 5 keynote Coffee				SB Regionals New Zealand, Brazil, Malaysia Portugal, Madrid, Prague			
Theme 1 keynote				Theme 6 keynote				Coffee			
Session 1	Session 2	Session 3		Session 10	Industry Day	Satellite Meetings Poster Session		Session 12	Session 13	Session 14	
Lunch				Lunch				Lunch			
Theme 2 keynote				Session 11		Industry Day	Satellite Meetings Poster Session	Panel Best Paper awards SB10 Finland Statement SB11 Welcome Closing ceremony			
Session 4	Session 5	Session 6		Coffee							
Theme 3 keynote				Workshop							
Session 7	Session 8	Session 9									
Reception								Banquet			

2.10.2009

Committees

Scientific committee

**Mr. Pekka Huovila, Finland, Chair of Scientific Committee,
Chair theme 2: Managing Life Cycle Performance**

Dr. Inger Andresen, Norway

Prof. Carmen Antuña, Spain

Prof. Luis Bragança, Portugal

Dr. David Crowhurst, UK

Mr. Jan Desmyter, Belgium

Prof. Michael Eden, Sweden

Dr. Christer Finne, Finland, Chair sub theme: buildingSMART™

Dr. Greg Foliente, Australia, SB08 Melbourne

Ms. Lisa French, New Zealand, SB10 NZ

Mr. Jeremy Gibberd, South Africa

Ms. Vanessa Gomes, Brazil, SB10 Brazil

Dr. Gudni Gudnason, Iceland

Prof. Petr Hájek, Czech Republic, CESB10

Dr. Kim Haugbolle, Denmark

Mr. Per Heiselberg, Denmark

Dr. Tarja Häkkinen, Finland, Chair theme 3: Sustainable Processes

Prof. Seppo Junnila, Finland, Chair theme 1: Sustainable Assessment

Prof. Arturas Kaklauskas, Lithuania

Dr. Guri Kringsvoll, Norway

Mr. Pekka Lahti, Finland, Chair theme 6: Urban Planning

Prof. Roode Lias, Estonia

Prof. Patrizia Lombardi, Italy

Dr. Marcel Loomans, the Netherlands

Prof. Thomas Lützkendorf, Germany

Dr. Björn Marinsson, Iceland

Dr. Tõnu Mauring, Estonia

Dr. Shuzo Murakami, Japan

Mr. Jyri Nieminen, Finland, Chair theme 4: Sustainable Solutions

Mr. Veli-Pekka Nittamo, Finland

Dr. Darren Robinson, Switzerland

Dr. Faridat Shafii, Malaysia, SB10 SEA

Dr. Aija Staffans, Finland, Chair theme 5: Well Being

Dr. Minna Sunikka, UK

Mr. Jorma Säteri, Finland, Chair sub theme: Indoor Environment

Dr. Kaarin Taipale, Finland

Dr. Jean-Christophe Visier, France

Organizing committee

Ms. Helena Soimakallio, Chair

Mr. Pekka Huovila

Mr. Mikko Nousiainen

Ms. Anu Karvonen

Mr. Jorma Säteri

Mr. Ville Raasakka, secretary

Conference secretary

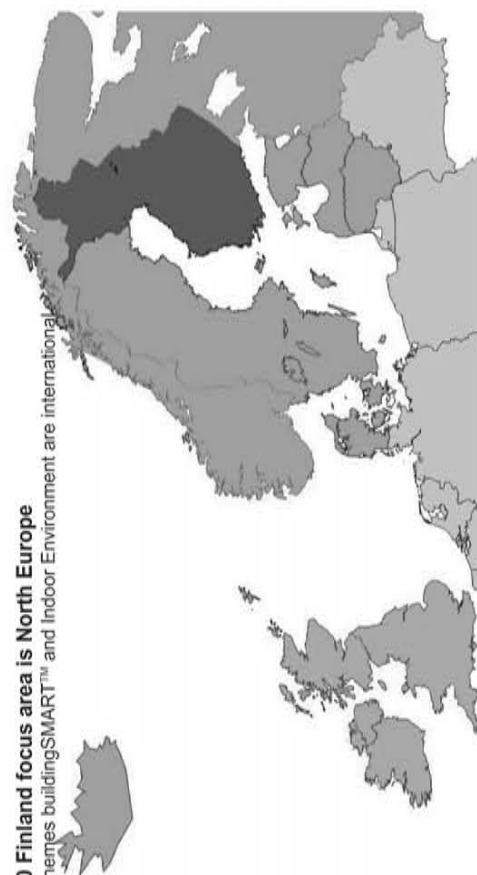
Ville Raasakka

Finnish Association of Civil Engineers RIL

Töölönkatu 4, 00100 Helsinki, Finland

ville.raasakka@ril.fi

www.sb10.fi



SB10 Finland focus area is North Europe

Sub themes buildingSMART™ and Indoor Environment are international

CONTEXTE GÉNÉRAL

Les Annales du BTP sont avant tout une revue technique francophone s'adressant à un public d'ingénieurs et de décideurs œuvrant dans les multiples secteurs du BTP au sens le plus large du terme, à savoir la construction, le bâtiment, les travaux publics, l'ingénierie, les infrastructures urbaines et territoriales.

Les grands enjeux sous-tendus dans tout article pouvant paraître dans la revue sont à mettre en regard avec les problématiques d'aujourd'hui, progrès et innovation technologiques, développement économique dans le respect de l'environnement, valorisation des produits de la recherche dans le monde professionnel, défense du secteur de la construction dans l'économie mondiale...

Les auteurs sont invités à prendre en considération ces aspects dans toute leur diversité. Beaucoup d'articles en effet ne manqueront pas de se baser sur une présentation de travaux de recherche, qu'elle soit fondamentale ou appliquée. Néanmoins, à la différence d'une revue scientifique, les Annales attendent de ses contributeurs plus une description exhaustive de l'intérêt que leurs travaux pourraient présenter à la communauté professionnelle qu'une description précise de leur cheminement intellectuel.

Quand un article est le prolongement d'un colloque ou d'une rencontre scientifique, l'auteur devra donc veiller dans la réécriture à ne pas trop détailler sa démarche, mais à montrer l'intérêt de sa recherche pour le lectorat de la revue, en montrant en particulier dans l'introduction et la conclusion quels étaient ses grands objectifs. Il ne s'approfondira pas plus que nécessaire sur l'aspect scientifique, sachant que le lecteur ne sera pas forcément un spécialiste de sa discipline. En un mot l'auteur doit chercher à vulgariser son discours.

PRÉSENTATION DU MANUSCRIT

Le texte doit être soumis sous format électronique .doc ou .odt envoyé au rédacteur en chef François BUYLE-BODIN à l'adresse annaesbtp@gmail.com

En cas de refus de transmission pour cause de lourdeur des fichiers, l'auteur pourra envoyer un cédérom à **M. BUYLE-BODIN, rédacteur en chef de la revue Annales du BTP, Polytech'Lille – Université Lille 1, Cité Scientifique, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex.**

Afin de faciliter la diffusion du savoir, l'éditeur n'exige pas des auteurs une mise en forme particulière de leur article. Aucune contrainte de longueur n'est posée, mais l'idéal est aux alentours de 15 pages en arial 10 interligne simple.

Les unités de mesures et les symboles doivent respecter les règles typographiques internationales.

Il est nécessaire de préciser :

- le titre en français et en anglais ;
- le ou les auteurs : nom, prénom, titres, coordonnées ;
- un résumé de 15 lignes maximum en français et en anglais ;
- les figures et photographies originales peuvent être fournies à part en .eps, .tif ou .jpg. Elles seront publiées en noir et blanc et doivent donc être d'un bon niveau de gris, au moins 400 dpi ;
- une illustration caractéristique de l'article pourra figurer en couleur sur la une de couverture et devra donc être d'une résolution maximale. Ne pas oublier de mentionner les crédits photographiques.

FONCTIONNEMENT DE LA RELECTURE

Le rédacteur en chef accuse réception du manuscrit et lance la phase d'approbation. Il s'appuie pour la relecture et la sélection finale des articles sur un comité comprenant des experts reconnus de la profession, ainsi que des membres des conseils scientifiques des principales associations du BTP partenaires des Annales.

Le rédacteur en chef de la revue fait part à l'auteur de la décision de publier ou non le texte, il précise éventuellement les corrections à apporter.

Le rédacteur en chef se charge de la transmission du manuscrit à l'éditeur.

AGPA Editions, 4, rue Camélinat, 42000 Saint-Etienne.

L'auteur recevra gratuitement 10 exemplaires du numéro de la revue dans lequel est publié son article.

G É R & E R COMPRENDRE

SOMMAIRE



MARS 2010
ISSN 0295.4397
ISBN 978-2-7472-1662-3

- L'ULTRALIBÉRALISME ENNEMI DU MANAGEMENT MODERNE ?
Entretien avec Henri VACQUIN – Mené par Bernard COLASSE et Francis PAVÉ
- COMMENT CONCILIER MORALE PROTESTANTE ET FINANCE ?
Par Christophe INARD, Fanny VERRAX et Grégory SCHNEIDER-MAUNOURY
- SOLIDARITÉ ET RIVALITÉ DANS L'ENTREPRISE
Par Jérôme SAULIÈRE
- TERRITORIALITÉ ET BUREAUX VIRTUELS : UN OXYMORE ?
Par Emmanuelle LÉON
- LA RESPONSABILITÉ SOCIALE DE L'ENTREPRISE À L'HEURE DE LA FLEXIBILITÉ DES RESSOURCES HUMAINES : L'EMPLOYABILITÉ EST-ELLE UN ARGUMENT VIABLE ?
Par Moez BEN YEDDER et Lotfi SLIMANE
- L'INCARNATION LOCALE D'UN OUTIL GLOBAL DE GESTION DES COMPÉTENCES
Par Sophie BRETESCHÉ et Michel DEVIGNE
- LA RÉPUTATION : UN OUTIL POUR GÉRER DES CARRIÈRES
Par Sébastien DUBOIS
- LA HAUTE COUTURE AUJOURD'HUI : COMMENT CONCILIER LE LUXE ET LA MODE ?
Par Marine AGOGUÉ et Guillaume NAINVILLE
- Christophe VIGNON
CAISSIÈRE... ET APRÈS ?
À propos du livre de Mathias Waelli, *Caissière... et après ?*, Paris, PUF, 2009
- Michel VILLETTE
MARIAGE, CAPITALISME ET... PETITS POTS POUR BÉBÉS
À propos du livre de Elizabeth C. Dunn : *Privatizing Poland, Baby Food, Big Business and the Remaking of Labor*, Cornell University Press, 2004

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions AGPA-ESKA, Muriel DUBOSQUET, 4, rue Camélinat, 42000 SAINT-ÉTIENNE
Tél. : 04 77 43 26 73 - Fax : 04 77 41 85 04 - muriel.dubosquet@eska.fr <http://www.eska.fr>

☐ Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Gérer & Comprendre mars 2010 - numéro 99 (ISBN 978-2-7472-1662-3)** au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins ☐ un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

☐ un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville



COMMENCEZ DÈS MAINTENANT À APPRENDRE



22 AU 26 MARS
LAS VEGAS ÉTATS-UNIS

Posez ce magazine et allumez votre ordinateur pour visionner des webcasts gratuits de l'industrie. Ils fournissent d'informations pratiques que vous pourrez utiliser immédiatement. L'attente de l'ouverture du salon CONEXPO-CON/AGG 2011 vous paraîtra ainsi moins longue.

Webcasts gratuits d'une valeur de 70 \$ chacun !

Le béton se fissure toujours

Évitez les appels de vos clients en éliminant ce problème récurrent.

Notions de base sur la gestion des projets

Gérez mieux vos projets en améliorant vos compétences de gestion de projets.

Payant : solutions de terrassement général pour des bénéfices importants

Choisissez le bon équipement pour augmenter vos bénéfices.

Meilleures pratiques pour la gestion du parc machines

Avec ces améliorations, économisez de 2 à 5 % sur le budget de maintenance de votre parc machines.

Inscrivez-vous pour les visionner à tout moment sur le site :

<http://www.conexpoconagg.com/intlv>

© 2010 Association of Equipment Manufacturers

