

**Base de données internationale sur les glissements
de terrain**

Application du projet WASSS aux mouvements de versants

International data-base on landslides

*Application of the WASSS project to the movements
of slopes*

R.-M. FAURE

Centre d'études des tunnels

25, avenue F.-Mitterrand

69500 Bron, France

rene-michel.faure@equipement.gouv.fr

J. LOCAT

Université de Laval

G1K 7P4

Québec, Canada

locat@ggl.ulaval.ca

J.-F. THIMUS

Université catholique

de Louvain, Génie Civil

1, place du Levant

1348 Louvain-la-Neuve

Belgique

thimus@gc.ucl.ac.be

L. PICARELLI

Deuxième université

de Naples

29, via Roma

81031 Aversa CE, Italie

picarelli@cds.unina.it

Résumé

La version 6 du projet WASSS (Wide Area Slope Stability Server) est décrite dans ses fonctionnalités et ses ambitions. Il propose un système international pour la mise en forme, la collecte et l'échange de tout type de données se rapportant aux mouvements de terrain. Cette mise en forme est basée sur le partage des données entre méta-données et données. Les premières stockées dans une base de données classique permettent les interrogations et les secondes stockées sans format autorisent toutes formes de description, en particulier les données numériques. Le projet propose une structure d'échange, à travers trois sites miroirs, permettant le contrôle de la diffusion des informations, la semi-confidentialité. Les outils de WASSS peuvent aussi être utilisés pour la sauvegarde de la mémoire d'un service.

Mots-clés : glissements de terrain, base de données, réseaux télématiques, classifications, mémoire.

Abstract

The 6th release of the WASSS project (Wide Area Slope Stability Server) is described here, showing its functions and its ambitions. It provides an international system for setting, collecting and exchanging all kind of data about landslides. Data is shared into meta data and data. The first kind is stored in an usual data-base that allows queries, the second kind is stored in free form, giving the possibility of storing any kind of data, as numerical one for example. The project is developed in three mirror-sites, and the exchange system allows the control of diffusion of data, that is called half confidentiality. The tools provided by WASSS can be also used for the storage of the memory of a service.

Key words : landslides, data base, networks, classifications, memory.

1. Introduction

Le Comité technique n° 11 de l'Association internationale de mécanique des sols et des fondations (TC 11 of ISSMFE) a pour objet les glissements de terrain et les instabilités de sol et de roche. Son activité pendant la décennie des risques naturels (1990-2000) a été importante et une de ses productions majeures a été un glossaire multilingue relatif aux termes utilisés en stabilité des pentes. La réalisation de ce glossaire a été aussi l'occasion de revenir sur les différentes classifications des mouvements de terrain et de les préciser en fonction de l'usage que l'on veut en faire. Ces résultats permettent une communication plus efficace entre chercheurs et vont être utilisés dans des travaux pour la mise en commun de données sur les glissements de terrain, comme ce qui est fait actuellement dans la revue Landslides (voir aussi, en bibliographie, les publications WP/WLI, IAEG et TRB).

Les conclusions du projet XPENT, étude et réalisation d'un système expert en stabilité des pentes, projet développé en collaboration entre l'ENTPE (École nationale des travaux publics de l'État) à Lyon et l'université Laval à Québec, montraient la nécessité du raisonnement par analogie pour l'obtention des règles expertes et de ce fait, la demande d'une grande base de données de glissements de terrain, présentant des cas variés et bien documentés (Faure *et al.*, 1992).

Le projet WASSS (World Area Slope Stability Server) est la réponse à cette demande. Son internationalisation est naturelle du fait d'un vocabulaire commun et des réseaux télématiques. Nous présentons ici ce projet.

2. Nécessité d'une base de données sur les mouvements de terrain

Dès l'origine le projet XPENT (Faure *et al.*, 1988) comportait une base de cas réels pour permettre l'extraction de règles expertes. Cette base de cas est devenue, au fil des ans, encore plus nécessaire pour supporter le raisonnement par analogie qui est le principe fondamental du fonctionnement de l'expert.

Les glissements de terrain sont des objets complexes et même parfois très complexes et passionnent de ce fait certains spécialistes et de nombreux étudiants. La description de tels objets n'est pas simple, car chacun peut « voir » cet objet avec des approches différentes. Le géologue ne perçoit pas un glissement de terrain comme le perçoit un géotechnicien. Au congrès de Cardiff en juin 2000 (International Symposium on Landslides), les participants étaient des géologues, des géomorphologues, ou des géotechniciens en proportions égales, un tiers chaque. Cela laisse à penser qu'il y a plusieurs classifications correspondant aux trois métiers qui s'occupent du même objet. La littérature fournit aussi bon nombre de classifications, une classification étant une façon de « voir » un objet. Pour les glissements de terrain nous retiendrons principalement trois classifications :

- celle de Varnes (Varnes, 1978), que complète Hutchinson (Hutchinson, 1988) et qui a été reprise et détaillée par le TC 11. C'est essentiellement une approche géomorphologique ;
- celle de Sassa (Sassa, 1985) qui est d'approche géotechnique ;
- celle de Vaunat (Vaunat *et al.*, 1994) qui est orientée risque.

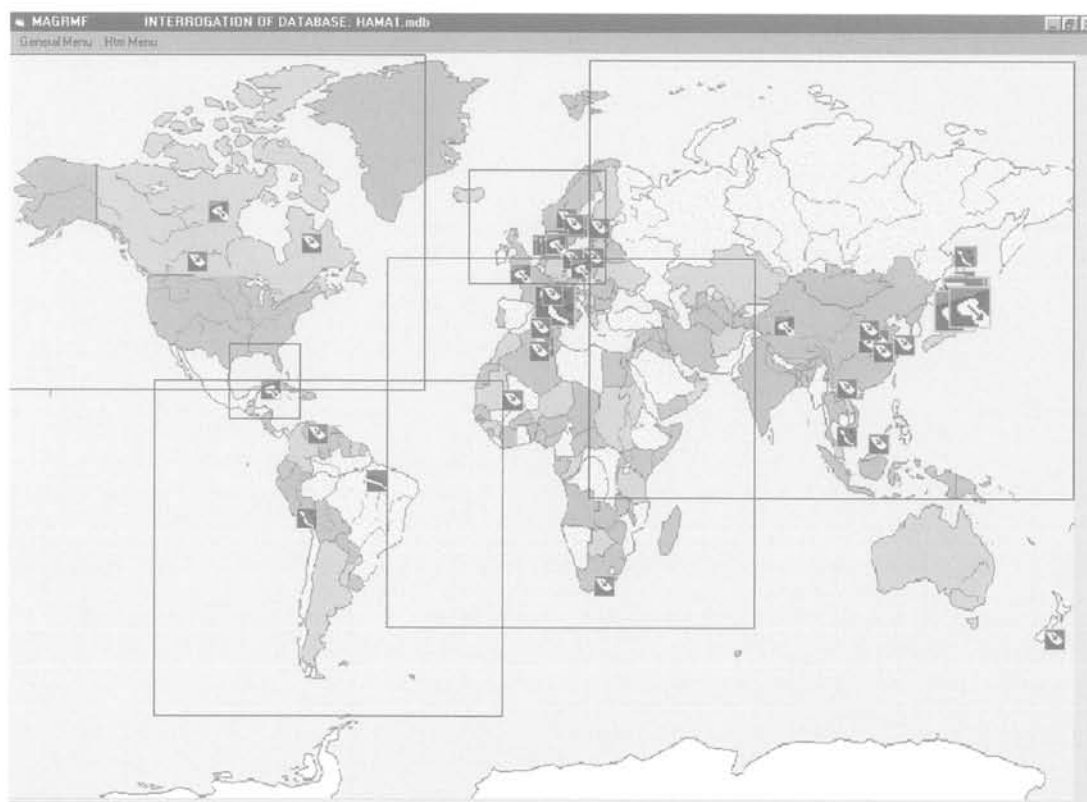


FIG. 1 Carte des glissements représentés par une icône.
Map with icons corresponding to landslides.

DISPLAY OF LANDSLIDE

Landslide		Classifications			
Name	Kaminiamau Landslide	Geomorphological	Flow		
N° element	3	Geotechnical	Residual rupture=reactived slide		
Update	27/10/99	Risk	Post failure with possible reactivation		
Image	c:\magmi2\mag2ma\Kaminiamau2.gif	Main vulnerability	River		
HTML Reference	c:\magmi2\mag2htm\Kaminiamau Landslide.htm	Activity of landslide	Reactived		
Wgs Coord d.m.s	E 15° 19' Y: N 36° 55' Z:	Distribution of this activity			
Icon n° 1	c:\magmi2\mag2icones\113.bmp	Main Cause	Rainfall		
Icon n° 2	c:\magmi2\mag2icones\123.bmp	Shape of the failure surface			
Icon n° 3	c:\magmi2\mag2icones\152.bmp	Water causes			
		Manager			
		Knowledge element			
		Length	1100	Width (m)	600
		Depth (m)	0	Volumes (m3)	0
		Average		Max speed	
		☒ Geological investigation ☒ Remedial works ☐ Hydrological investigation ☐ Surveillance ☐ Géotechnical investigation ☐ Back analysis			
		Quit			

FIG. 2 Écran de saisie des méta-données.
Screen for input of meta-data.

Cependant, utiliser seulement une classification ne suffit pas pour décrire un glissement de terrain, il y a des paramètres dimensionnels à fournir et aussi, à l'ère du tout numérique, des photographies, des coupes, des schémas (Leroueil, Locat, 1998) (Leroueil, 1999).

Le problème devient informatique par l'importance et la disparité des données, et aussi humain par l'interface conviviale nécessaire entre l'homme et la machine.

Ajoutons encore le comportement du chercheur, du propriétaire ou fournisseur des données et nous avons des problèmes de confidentialité, de propriété, qui s'opposent à une diffusion totalement libre et incontrôlée. Plusieurs étapes ont donc été nécessaires pour résoudre ces difficultés, ainsi il y a eu WASSS-1 à 6 (Faure *et al.*, 1998 et 1999), (Hama, 2001). Nous présentons ci-après WASSS-6.

3. Principes employés

- Trois concepts supportent le projet :

1) La référence spatiale

Chaque glissement est quelque part sur le globe terrestre et possède ainsi des coordonnées. Il peut être placé sur une carte et représenté par une icône, ce qui permet d'avoir une vision géographique de la collection de glissements dans la base de données. Comme trois icônes sont attachées à un objet, une classification visuelle immédiate est possible, suivant les critères représentés par chaque icône.

2) Données et méta-données

Utilisé dans les techniques de l'intelligence artificielle le mot méta indique un niveau d'abstraction supplémentaire. Méta règle correspond à une règle pour le maniement des autres règles, ici méta-donnée signifie donnée sur les données. Savoir qu'une donnée

existe est une méta-donnée, de même que savoir où elle se trouve (voir l'observatoire de Séchilienne : Faure *et al.*, 1998).

3) Semi-confidentialité

Les hommes sont ainsi, ils aiment montrer ce qu'ils possèdent, mais aiment moins le donner à des inconnus. Ils veulent légitimement garder un certain contrôle sur la diffusion de leurs données (Faure *et al.*, 1999). Dans WASSS, données et méta-données seront traitées différemment. Les méta-données seront rangées dans une base de données classique et les données seront en format libre, dans des pages HTML, attachées aux méta-données.

La semi-confidentialité est alors aisée, il suffit de ne diffuser que les méta-données, les données restant chez leur propriétaire qui sera libre de les donner ou de les refuser à un demandeur. Techniquement cela conduit à une architecture à trois niveaux.

- L'architecture à trois niveaux :

1) Le premier niveau est celui de l'ingénieur ou du géologue. Il est face à son ordinateur dans lequel quelques petites interfaces ont été chargées depuis son serveur, et un mot de passe lui permet, par Intranet de rejoindre ce même serveur. Il a aussi accès à l'Internet.

2) Le deuxième niveau est celui de la société, du bureau d'étude ou du département universitaire. Il correspond à un serveur sur l'Intranet du service. Dans celui-ci, une base de données locale comprend tous les cas gérés par ce service, qu'ils soient complets ou non, ce qui permet des travaux différés. Le réseau Intranet est relié à l'Internet. Pour des services peu structurés, ou de faible taille, niveaux 1 et 2 peuvent être confondus. Chaque utilisateur possède alors « sa » base de données dans « son » ordinateur ;

3) Le troisième niveau est le niveau international représenté par des sites serveurs en miroir, c'est-à-dire

type: Document Title: base Microsoft Internet Explorer

WASSS Collection 5

Reference	
Name of the event	LISHAN LANDSLIDE
Date	1985
WGS coordinate	X= E114°19'13" Y= N28°54'54"
ReferenceImage	 Voir d'autres images
ReferenceHTML	LISHAN LANDSLIDE
Classification	
Geomorphology	Soil slide
Geotechnical	Creep
Risk	Pre-failure with high risk
Activity	
Distribution of the activity	
Main hazard	Good
Main cause	Soil weathering
Shape of the failure surface	
Manager	Government
Knowledge	
Length	
WIDTH	
DEPTH	
VOLUME	
Max speed	
Average speed	
Survey (Yes-No)	YES
Remedial work (Yes-No)	YES
Geological investigations (Yes-No)	YES
Geotechnical investigations (Yes-No)	NO
Hydrological investigations (Yes-No)	YES
Back analysis (Yes-No)	YES
Paper reference	- Xian Lishan Landslide Prevention and Management Office, China - Landslide News, N°10. Extensometer Monitoring in the Lishan Landslide, China
Author	- Yang Qing-jin Song Bao-er - H Fukusaka, K. Sarra, Yang Q J., Song B E

FIG. 3 Exemple de page HTML générée automatiquement à partir des méta-données, à laquelle sont attachées par des liens les pages de données en format libre.

Example of HTML page, automatically generated from meta-data, linked with other HTML page in free format, with data.

possédant une information absolument identique. C'est sur un de ces sites que l'utilisateur dépose le ou les cas qu'il a personnellement choisis, soit de façon complète soit par les seules méta-données. C'est aussi sur ces sites qu'il trouvera des cas qu'il pourra rapatrier dans sa propre base de données locale (niveau 2) à fin de tri et autre maniement d'information. Cet usage de sites miroirs s'impose pour des raisons de sécurité, tous ne peuvent pas être arrêtés au même moment et pour une non-appropriation des données par un utilisateur.

4. Niveau deux ou base de données

C'est le niveau du service ou d'une équipe de recherche. L'outil, qui a été téléchargé depuis un des sites internationaux, est appropriable, c'est-à-dire qu'un certain nombre d'éléments peut être défini localement. Il s'agit de l'image de fond d'écran, des cartes de localisation des glissements et des icônes les représentant. Ces éléments ne sont pas transmis lors de l'envoi d'un cas vers la collection mondiale.

Saisir un cas consiste à placer ce cas sur une carte, à l'échelle que l'on veut, grâce à une arborescence de cartes permettant des changements d'échelle (zoom), les trois icônes choisies chaque fois parmi quinze et qui représentent le cas, puis à valider ce premier travail. Cette validation entraîne l'apparition d'un masque de saisie sur lequel il conviendra de remplir un certain nombre de champs à l'aide de listes déroulantes (les noms sont prédéfinis), des champs libres, quelques valeurs numériques et un certain nombre de cases à

cocher. Il ne faut pas oublier de fournir ensuite au système les pages HTML correspondant aux cases cochées. Les photos et autres documents graphiques nécessaires ont été préalablement placés dans un répertoire. Un dispositif permet la saisie en différé des documents attachés non préparés à l'avance.

Les possibilités d'interrogation de cette base, sont celles classiques des bases de données, soit par un langage de type SQL pour la base de données, soit par un butineur, type Altavista, pour les pages de données au format HTML.

La sécurité de cette base est celle du réseau Intranet du service, il n'y a pas de communication permanente ou automatique avec le niveau trois, donc avec l'extérieur. Quand un cas est jugé diffusable par l'utilisateur, il se connecte, par Internet, à un des sites internationaux, indique le nom des fichiers à transférer et il se déconnecte dès la transaction finie.

5. Niveau trois ou serveurs internationaux

Les serveurs internationaux sont pour l'instant, au nombre de trois. Ils sont en miroir, c'est-à-dire que toute information est automatiquement et immédiatement dupliquée. Ces trois sites identiques garantissent un accès au système facile (débits assurés) et permanent. Le CFMS (Comité français de la mécanique des sols) héberge sur son site un des serveurs, le second est à l'USGS (United States Geological Survey) à Den-

ver et le troisième au DPRI (Disaster Prevention Research Institute) à Kyoto au Japon. Ces sites contiennent la liste des cas proposés par les utilisateurs du niveau deux et le contenu de ces cas. Le contenu est complet ou non suivant la volonté de celui qui l'a bâti.

La sécurité est assurée en écriture par la reconnaissance de l'adresse de la machine qui envoie les données, machine qui a été préalablement déclarée. En lecture, vu le rôle de diffusion du système, il n'y a pas de contrôle. L'information est sous la responsabilité de celui qui la propose et dont l'adresse appartient aux données. Il n'est pas prévu de système de validation, seulement un contrôle pour vérifier que celui qui envoie l'information est bien celui dont le nom est attaché aux données.

6. Application aux mouvements de versants

Pour celui qui ne s'intéresse qu'aux mouvements de versants, il est facile de se construire une base de données de ce type de glissement de terrain. Toutes les classifications ne seront pas pertinentes puisqu'il s'agit déjà d'une classe bien définie. En revanche, les possibi-

lités offertes par les liens entre fichiers lui permettront de stocker, sous forme de tableau par exemple la relation pluie-vitesse ou encore bien d'autres données. Un ensemble de telles données, en provenance du monde entier, facilitera la recherche des modélisations du comportement des pentes instables.

7. Conclusion

Cet outil est une tentative de mettre en commun des connaissances sur les mouvements de terrain. Sa réussite dépend de la volonté de tous. Si chaque géotechnicien ou géologue produit un cas par an, ce serait alors une formidable sauvegarde de cette mémoire collective que nous avons en commun, mais dont nous nous servons très mal.

Pour plus d'informations sur WASSS, voir le site www.solem.ch.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier leurs collègues du TC11, particulièrement D. Cruden, K. Sassa, L. Highland, ainsi que les nombreux élèves qui ont participé à ce projet.

Bibliographie

- Faure R.M., Leroueil S., Rajot J.P., Laroche P., Seve G., Tavenas F. – « XPENT, système expert en stabilité des pentes ». *Proceedings 5th International Symposium on Landslides*. Lausanne, Bonnard ed., 1988, p. 625-630.
- Faure R.-M. – « Some ideas and a tool for exchanging complex ground data ». *21st Urban Data Management Symposium*. Venice, Cdrom (8 p.), 1999.
- Faure R.M., Mascarelli D., Vaunat J., Leroueil S., Tavenas F. « Present state and development of XPENT, expert system for slopes stability problems ». *Proceedings 6th International Symposium on Landslides*. Christchurch, Bell ed., 1992, p. 1671-1678.
- Faure R.M., Tailhan J., Cligniez V., Gandon B. – « Présentation de l'observatoire de Séchillienne ». *Revue Internationale Géomatique*, Hermès vol. 8, n° 3, 1998, p. 47-57.
- Faure R.M., Pairault T., Hama M., Turcott-Rios E. – « The 4th release of WASSS ». *8th International Symposium of Geology Engineering*. Vancouver, 1998, p. 1501-1508.
- Faure R.-M. – « Data-bases and the management of landslides ». *Proceedings International Symposium on landslides*. Shikoku (Japan), 1999, p. 1317-1330.
- Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook*, Chapter 14, K. Rowe Ed., Kluwer Academic Publisher, 2001, 1999, p. 397-428.
- Hama Meriem – « Glissements de terrain : base de données et méthode des perturbations en 3D ». Thèse INSA Lyon, 2001, 189 p.
- Hutchinson J.N. – « Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology ». *Proc 5th Int. Symposium on Landslides*. Lausanne, vol. 1, 1988, p. 3-35.
- IAEG commission on Landslides – « Suggested Nomenclature for Landslides ». *Bull. I.A.E.G.* n° 41, p. 13-16.
- Leroueil S., Locat J. – « Slopes movements : geotechnical characterisation, risk assessment and mitigation ». *Proceedings 8th IAEG congress*. Vancouver, vol. 2, 1998, p. 933-944.
- Leroueil S. – « Rankine lecture ». *Geotechnique* (in print), 1999.
- Sassa K. – « The geotechnical classification of landslides ». *Proceedings of 4th International Conference and Field Workshop on landslides*. Tokyo, vol. 1, 1985, p. 31-40.
- TRB report 247 – *Landslides, investigation and mitigation*. K. Turner and R. Schuster Editors ISBN 0-309-06151-2, 657 p.
- Varnes D.J. – « Slope movements, types and processes ». *TRB special report n° 176, Landslides analysis and control* 1978, p. 11-33.
- Vaunat J., Leroueil S., Faure R.M. – « Slopes movement : a geotechnical perspective ». *Proceedings 7th IAEG congress*, Lisboa, 1994, p. 1637-1646.
- WP/WLI – « A suggested method for reporting a landslide ». *Bull. I.A.E.G.* n° 41, 1990, p. 5-12.
- WP/WLI – « A suggested method for a landslide summary ». *Bull. I.A.E.G.* n° 43, 1991, p. 101-110.
- WP/WLI – « A suggested method for describing the activity of a landslide ». *Bull. I.A.E.G.* n° 47, 1993, p. 53-57.
- WP/WLI – *Multilingual landslide glossary*. Richmond BC, Canada, Bitech publishers, 1993, 59 p.

Modélisation du comportement non linéaire des fondations superficielles sous séisme. Macro-élément d'interaction sol-structure

CÉCILE CREMER

Thèse de doctorat de l'École normale supérieure de Cachan, soutenue le 24 janvier 2001 avec Mention très honorable et Félicitations du jury, sous la direction de J. Mazars et A. Pecker

Les travaux effectués dans le cadre de cette thèse portent sur la modélisation du comportement non linéaire des fondations superficielles sous séisme. Par non-linéarités, sont considérés la plastification du massif de sol sous la fondation, ainsi que le décollement susceptible de se développer à l'interface sol-fondation.

L'approche choisie est une modélisation simplifiée basée sur le concept de macro-élément d'interaction sol-structure. Le comportement du sol sous la fondation et à l'interface est concentré au niveau de la fondation dans un élément souple de liaison à trois degrés de liberté. Exprimé en contraintes généralisées, ce modèle reproduit les actions couplées des deux mécanismes, plasticité et décollement. Le couplage entre les degrés de liberté est assuré par le diagramme de capacité portante, qui délimite dans l'espace des efforts appliqués à

la fondation les combinaisons de chargement admissibles.

Ce modèle a été implanté dans le code de structure aux éléments finis Feap. Il peut maintenant être introduit sous n'importe quel type de structure.

Son utilisation, extrêmement simple et efficace, permet de restaurer le couplage entre le comportement dynamique de la structure et son interaction non linéaire avec le milieu environnant. L'essai expérimental Camus IV (maquette de bâtiment à échelle 1/3, posée sur un bac de sable), réalisé sur la table sismique du CEA Saclay, nous a permis d'appréhender le comportement dynamique en décollement de la structure. Des applications, réalisées notamment sur une pile de pont, ont montré la capacité du modèle à reproduire les principaux effets dynamiques de l'interaction sol-structure non linéaire.

Étude expérimentale et théorique de l'endommagement des roches anisotropes

Experimental and theoretical study of damage in anisotropic rocks

NICOLAS GATELIER

Laboratoire 3S, Domaine universitaire
38041 Grenoble Cedex 09

Thèse soutenue le 26 janvier 2001 à l'université Joseph-Fourier, sous la direction de Benjamin Loret et Frédéric Pellet (Benjamin.Loret@hmg.inpg.fr et Frederic.Pellet@hmg.inpg.fr)

L'objet de ce travail est l'analyse expérimentale et théorique de l'endommagement des roches anisotropes.

L'étude expérimentale est réalisée au moyen d'essais cycliques de compression sous pressions de confinement sur un grès des Vosges présentant une structure initiale à symétrie orthotrope de révolution. L'évolution de l'endommagement est analysée par une mesure fine de toutes les composantes du tenseur des déformations totales et irréversibles. L'influence de l'anisotropie sur l'évolution des propriétés mécaniques est étudiée. L'analyse des résultats met en évidence les mécanismes de déformation du matériau. Une étude de lames minces effectuées sur des échantillons imprégnés après essais est présentée.

Un intérêt particulier a été donné à l'étude des propriétés effectives d'un matériau constitué d'une matrice homogène linéaire et élas-

tique contenant des cavités. Un modèle micromécanique bidimensionnel pour matériaux fragiles contenant initialement une distribution de fissures planes non-interagissantes a été développé. Les principales caractéristiques de déformation des roches, en particulier, les phénomènes de dilatance, d'hystérésis et d'anisotropie induite sont reproduites par le modèle. L'influence d'un fluide linéairement compressible sur l'évolution des variables d'endommagement est analysée en condition non drainée. Une étude paramétrique est effectuée et les limites d'applicabilité du modèle sont soulignées.

Mots-clés : endommagement, anisotropie, roche poreuse, fissures, chargement cyclique, propriétés effectives, facteur d'intensité des contraintes, modèle micromécanique, condition non drainée.

Recherche des zones d'écoulement dans un milieu granulaire ensilé et modélisation des actions exercées sur les parois déformables du silo

BRAHIM KEROUR

INSA de Rennes

Laboratoire de Mécanique appliquée,
Automatique et Géomécanique (Ma²g) EA-3218
20, avenue des Buttes-de-Coësmes
35043 Rennes Cedex

*Thèse soutenue le 20 avril 2001,
sous la direction d'Éric Ragneau
(eric.ragneau@insa-rennes.fr)*

La modélisation des interactions mécaniques qui se développent dans un silo au cours des différentes phases d'utilisation (remplissage, stockage, vidange...) se heurte à des difficultés liées à la fois à la complexité du comportement du matériau ensilé (matériau peu homogène et très déformable), à son interaction à la paroi, donc à la déformabilité de celle-ci ainsi qu'au comportement global de la structure du silo. La résolution de l'ensemble de ces difficultés ne peut s'envisager à l'heure actuelle que par des modélisations tridimensionnelles aux éléments finis. Le modèle numérique présenté dans ce mémoire a été défini dans l'environnement du logiciel CASTEM 2000. Il intègre une loi de comportement élastoplastique pour la matière ensilée (loi de Hujeux), une loi de frottement de type Mohr-Coulomb à l'interface paroi-matière ainsi que les déformations de la paroi et de l'ensemble de la structure de la cellule. Basée sur une approche quasi-statique, la phase de remplissage est simulée par incrémentation du poids volumique total. Lors de la phase de vidange, apparaît une ligne de glissement au sein de la matière ensilée

entre la matière qui s'écoule et une « zone morte ». Les résultats de nombreuses investigations menées par simulation à partir du modèle EF développé pour la phase de remplissage, complété par les conditions aux limites adéquates permettant de simuler l'ouverture de la trappe, ont permis de préciser la forme de cette surface d'écoulement. Pour terminer, nous proposons une étude comparative réalisée pour les phases de remplissage et de vidange de cellules de la base expérimentale de Chartres. Cette modélisation prend donc en considération les aspects structuraux liés à la géométrie réelle de la cellule. Les résultats présentés mettent en évidence l'importance de l'effet des rigidités locales de la structure et de la flexibilité de la cellule sur la redistribution des contraintes à la paroi.

Mots-clés : silo métallique, géométrie 3D, parois déformables, raidisseurs, tirants, éléments finis, remplissage, vidange, régime permanent, régime transitoire, zone morte, non-linéaire, élastoplasticité, grandes déformations, grands déplacements, interface, élément coque, flambage.

N° 91, article de M. Cassan (p. 37 à 56)

– p. 40, formule (9) :

lire $k_h = \frac{Q_i}{\pi \lambda_i h_i B} \operatorname{Argsh}(\lambda_i \sqrt{\alpha})$ au lieu de $k_h = \frac{Q_i}{2\pi \lambda_i h_i B} \operatorname{Argsh}(\lambda_i \sqrt{\alpha})$

– p. 42, fin du 6^e alinéa :

lire $\frac{r}{H} = \sqrt{1 - \left(\frac{D}{H}\right)^2}$ au lieu de $\frac{r}{H} \sqrt{1 - \left(\frac{D}{H}\right)^2}$

– p. 44, formule 21 :

lire $k_h = \frac{Q}{2\pi h_i D} [2\pi\mu + \operatorname{Argsh}(\lambda_i \sqrt{\alpha})]$ au lieu de

$k_h = \frac{Q}{2\pi \lambda_i D} [2\pi\mu + \operatorname{Argsh}(\lambda_i \sqrt{\alpha})]$

– p. 46, 1^{re} colonne, 2^e et 3^e formules :

lire $\ln x = \frac{q}{1-q} \left[\left(n - \frac{1}{q} \right) \delta_1 + \ln(n) \right]$ au lieu de $\ln x = \frac{q}{1-q} [(n-1)\delta_1 + \ln(n)]$

et $\beta = \frac{q}{1-q} \left[\left(n - \frac{1}{q} \right) \delta_1 + \ln(n) \right]$ au lieu de $\beta = \frac{q}{1-q} [(n-1)\delta_1 + \ln(n)]$

– p. 49, tableau I, dernière formule de la colonne « Puits isolé sans piézomètres » :

lire $k_h = \frac{Q_i}{\pi \lambda_i h_i B} \operatorname{Argsh}(\lambda_i \sqrt{\alpha})$ au lieu de $k_h = \frac{Q_i}{2\pi \lambda_i h_i B} \operatorname{Argsh}(\lambda_i \sqrt{\alpha})$

N° 94, article de G. Sanglerat (p. 17 à 24)

Le tableau qui se trouve au bas de la page 26, devrait être en fin de conclusion, avant les deux dernières lignes.

N° 94, article de H. Kharkhour et A. Jabbouri (p. 41 à 48)

– p. 43, après la formule (6) :

lire « où $\delta\sigma_m^{\text{eff}} = \sigma_m^{\text{eff}} - \sigma_m^{\text{eff}0}$ » est la variation de la contrainte moyenne effective et $\sigma_m^{\text{eff}0}$ est la contrainte moyenne effective initiale. » au lieu de « où $\delta\sigma_m^{\text{eff}} = \sigma_m^{\text{eff}}$ – est la variation de la contrainte moyenne effective et $\sigma_m^{\text{eff}0}$ – est la contrainte moyenne effective initiale. »

– p. 44, 1^{re} colonne, après la formule (7) :

lire « L'hypothèse $\sigma_m^{\text{eff}0} = 0$ dans les échantillons... » au lieu de « L'hypothèse $\sigma_m^{\text{eff}0}$ dans les échantillons... ».

– p. 46, formule (15)

lire $\sigma_m^{\text{eff}0} = -bS$ au lieu de $\sigma_m^{\text{eff}0} - bS$

– p. 46, formule (16)

lire $F = Q^2 + \alpha'(J_m)\sigma_m^{\text{eff}} + \alpha'(J_m)bS$ au lieu de $F = Q^2 + \alpha'(J_m)\sigma_m^{\text{eff}} + \alpha'(J_m)bS$

