

Editorial

En 2007, GeoMod a bénéficié de la bonne conjoncture actuelle et a travaillé sur une trentaine de projets. A côté de projets « classiques », dont trois sont décrits dans ce fascicule - vérification au séisme d'un barrage, fondations sur pieux, fouille étayée - l'année a été marquée par des réalisations plus originales, dont :

- l'implémentation d'une loi constitutive spécifique aux roches argileuses dans Z_Soil
- une vérification à la fatigue d'une conduite
- une modélisation hydro-géologique de l'influence de puits de pompage sur une nappe phréatique avec le logiciel FEFLOW

L'an prochain, la poursuite de nos activités ainsi que leur diversification va nous permettre d'étoffer notre équipe d'ingénieurs à votre service !



Vérification au séisme du barrage voûte-poids du Vieux-Emosson

Maître d'ouvrage : CFF Infrastructures-Energie SA, Zollikofen

Le barrage vérifié au séisme - d'une hauteur de 45 m et d'un volume de retenue de 13 mio m³ (Figure 1), est fondé sur du rocher de bonne qualité. Selon les directives édictées par la section « Barrages » de l'Office Fédéral de l'Energie, il est nécessaire d'effectuer une analyse dynamique complète.



Figure 1. Vue du barrage

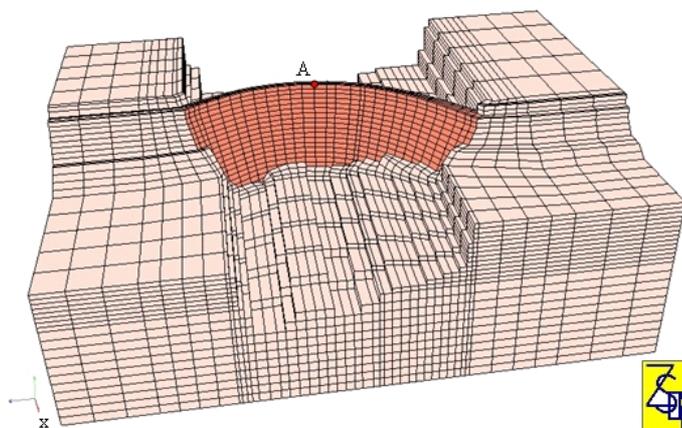


Figure 2. Maillage 3D

Le maillage utilisé est illustré en Figure 2.

Le modèle numérique est d'abord calé sur un cas de charge statique (poids propre, charge hydrostatique et température). Ainsi, l'histoire des déplacements du point A au couronnement du barrage pour les années 2004-2006 a été reproduite par un calcul thermo-mécanique, puis comparée avec les mesures existantes (Figure 3). La concordance entre les mesures des trois étés et les déplacements prédits par le modèle numérique est bonne, et ledit modèle est ainsi validé.

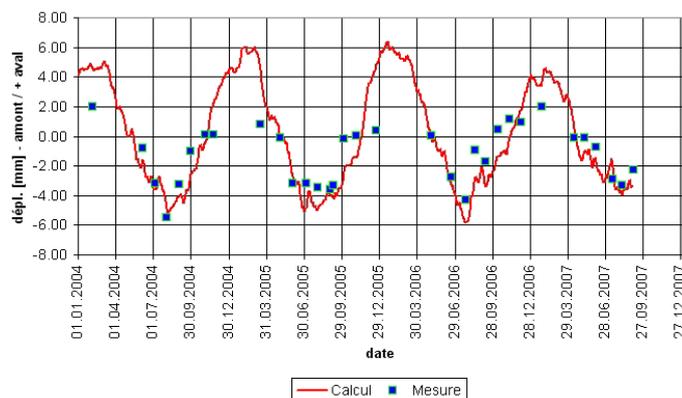


Figure 3. Calage du modèle sur cas de charge statique

Pour la vérification de la sécurité de l'ouvrage au séisme proprement dite, on applique au domaine modélisé trois

séries de 3 accélérogrammes (un dans chaque direction de l'espace), en fonction de la carte d'occurrence sismique suisse, selon la classe de l'ouvrage et le sol de fondation. Leur durée est de 20 secondes, et l'accélération horizontale de pointe correspond à environ 30% de la gravité terrestre (Figures 4 et 5).

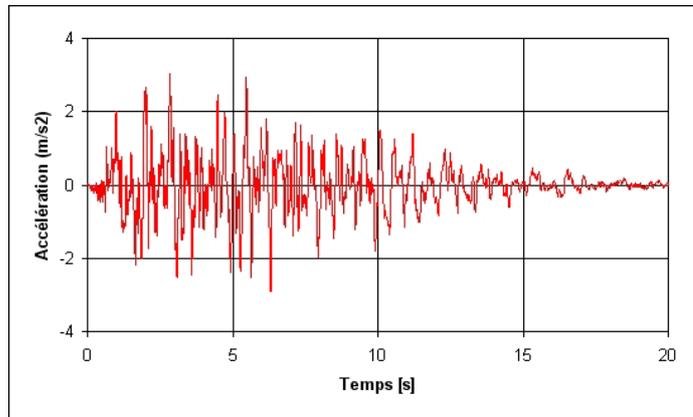


Figure 4. Trace temporelle de l'un des 9 accélérogrammes

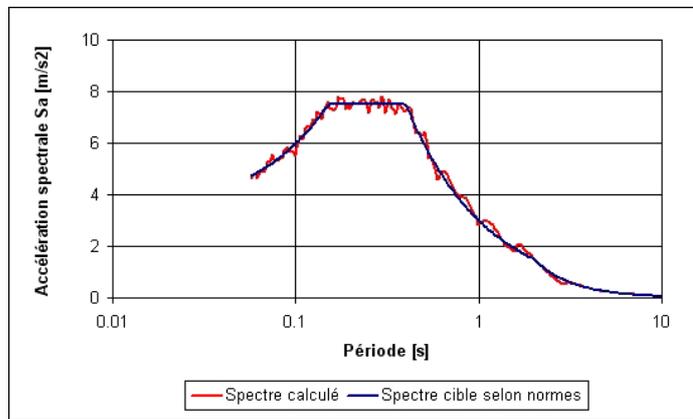


Figure 5. Spectre de réponse de l'un des 9 accélérogrammes

La retenue d'eau est admise incompressible. Son influence est introduite dans le modèle au travers de masses oscillantes au niveau de la paroi amont du barrage (Figure 6).

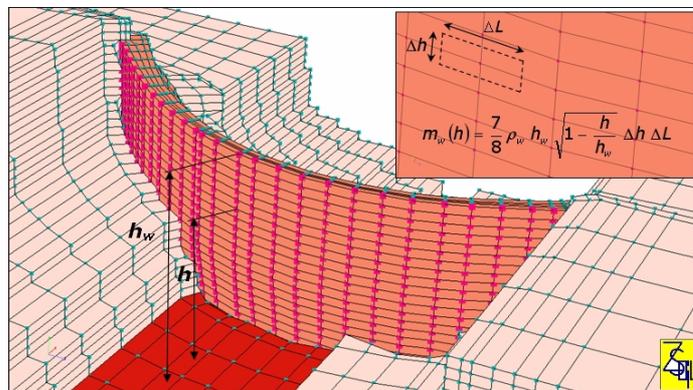


Figure 6. Modélisation de la masse d'eau entraînée

Le comportement des matériaux utilisés pour le béton et le rocher (sol de fondation) est considéré élastique linéaire. Les modules d'élasticité dynamiques sont déterminés à partir des modules d'élasticité statique, et un amortissement est introduit dans le modèle

conformément aux directives de l'OFEN. En outre, La masse du rocher est considérée comme nulle. Cette hypothèse permet de simplifier la résolution du problème d'interaction dynamique entre la fondation et la structure, et d'éviter une réflexion du signal contre les bords du modèle, qui conduirait à une surestimation de l'action sismique.

La sollicitation sismique est superposée aux charges d'exploitation du barrage (poids propre, poussée hydrostatique, variation de température). Le modèle réagit dans le temps à cette « secousse » et l'on vérifie d'une part que l'évolution des contraintes à l'intérieur du barrage ne dépasse pas les valeurs limites déterminées par des essais sur les matériaux et fixées par des directives (risque de fissuration) et d'autre part que le barrage ne va pas glisser sur sa base ou basculer (stabilité générale). A titre d'exemple, l'évolution du déplacement absolu du point A au couronnement du barrage est fournie en Figure 7. Le déplacement initial d'environ 1.2 cm correspond au déplacement causé par la variation saisonnière de la température (en admettant que le barrage a été clavé au printemps, et que le séisme survient en hiver).

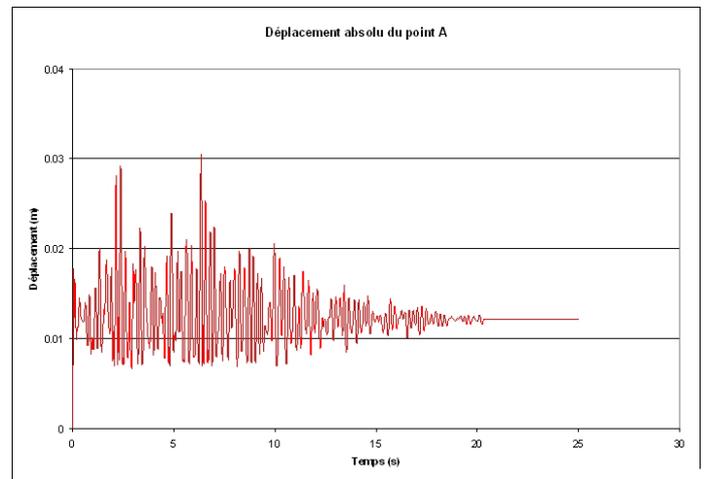


Figure 7. Evolution du déplacement absolu du point A

La Figure 8 illustre la distribution des contraintes principales σ_{11} à l'instant où celle-ci est la plus défavorable pour le barrage. L'examen des zones de traction permet ainsi de déterminer le risque de fissuration du barrage soumis à une secousse sismique donnée.

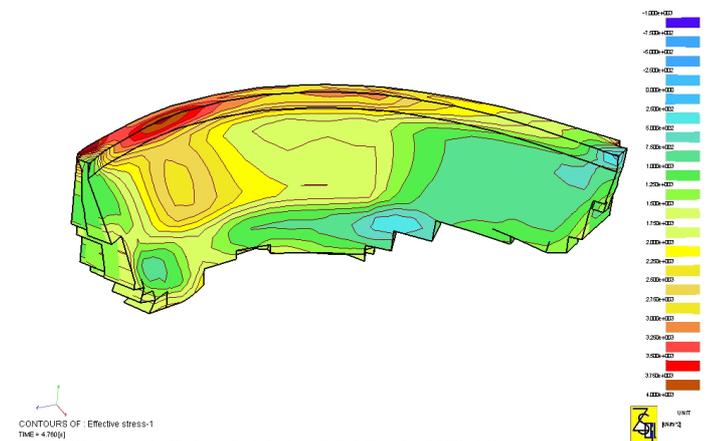


Figure 8. Contraintes principales σ_{11}

CONTOURS OF: Effective stress-1
TIME=4.76691
Z SOIL_3D v.6.96 Project: 'VieuxEm DTSau2-3accetSerie1 qRock0 damp05 dtte-2 0Pcen Date: 6. 8.2007 h.11:11

Modélisation des fondations sur pieux d'une unité de production industrielle

Ingénieur civil : Perret-Gentil Rey et Associés SA, Lausanne
Géotechnicien : De Cérenville Géotechnique SA, Ecublens

Lors du choix du système de fondation d'une usine dont la structure reprend des charges importantes avec des critères de déformations extrêmement sévères (1/1000), plusieurs modélisations numériques ont été effectuées. L'influence de la présence, du diamètre, du type, de l'espacement et de la longueur de pieux sous différentes parties de l'usine a été évaluée, ainsi que celle du préchargement sur les tassements absolus et différentiels sous charges de service.

La validité des hypothèses concernant les paramètres des sols en présence a pu être vérifiée en comparant la courbes charge-tassement mesurée lors d'un essai statique à celle fournie par le modèle après calage (Figure 10).

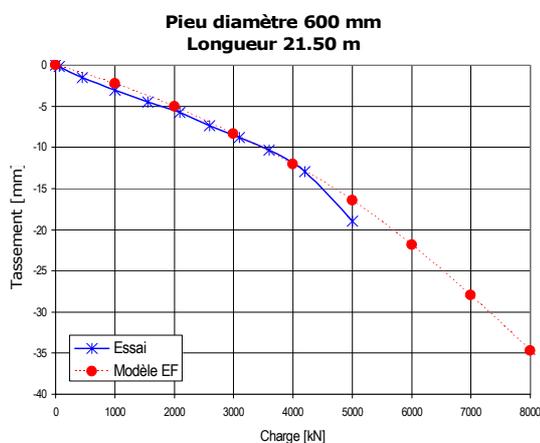


Figure 10. Courbe charge-tassement

Le maillage d'une bande caractéristique passant à travers trois zones distinctes de l'usine est illustré en Figure 11. Les structures sont modélisées soit à l'aide d'éléments volumiques (pieux), soit par des éléments de coque mince (radiers). La présence de l'eau dans les sables est également prise en compte.

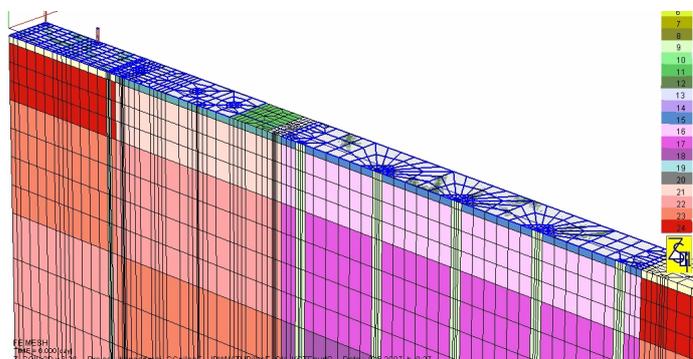


Figure 11. Maillage 3D d'une bande représentative

A titre d'exemple, les Figures 12 et 13 représentent l'allure des déplacements verticaux prédits dans une des zones de stockage de l'usine, pour un cas de charge donné, à l'état de service. L'influence de la présence de pieux y est visible et peut s'avérer nécessaire afin de limiter les tassements différentiels.

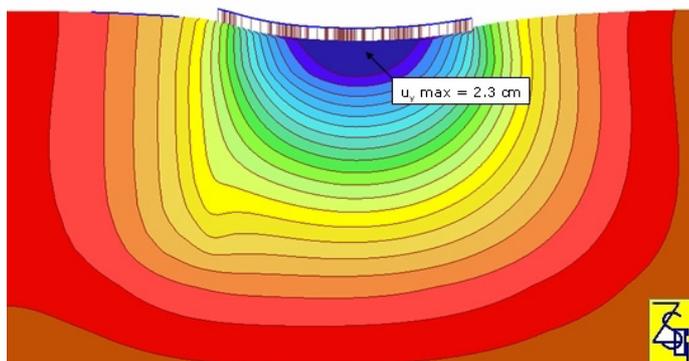


Figure 12. Déplacements verticaux sans pieux

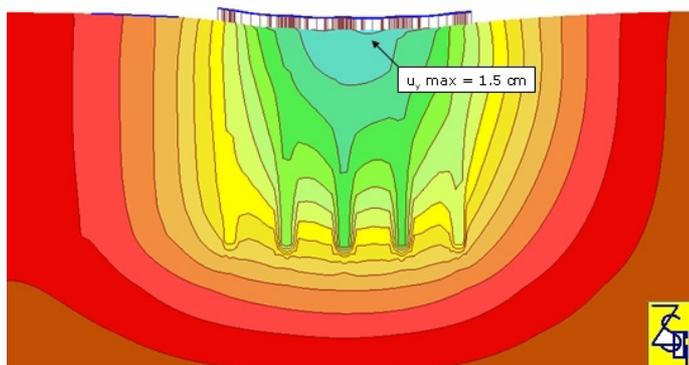


Figure 13. Déplacements verticaux avec pieux

Modélisation du comportement de la fouille Plan-Léman à Renens

Entreprise générale (travaux spéciaux et terrassements) :
Marti AG, Bern

Ingénieur civil (travaux spéciaux et terrassements) :
De Cérenville Géotechnique SA, Ecublens

Dans le cadre d'un projet immobilier en milieu urbain, le comportement d'une fouille (Figure 14) a été prédit par le biais d'une modélisation 3D couplée hydro-mécaniquement.

Le projet prévoyait la réalisation d'une enceinte en paroi moulée étayée sur un niveau.

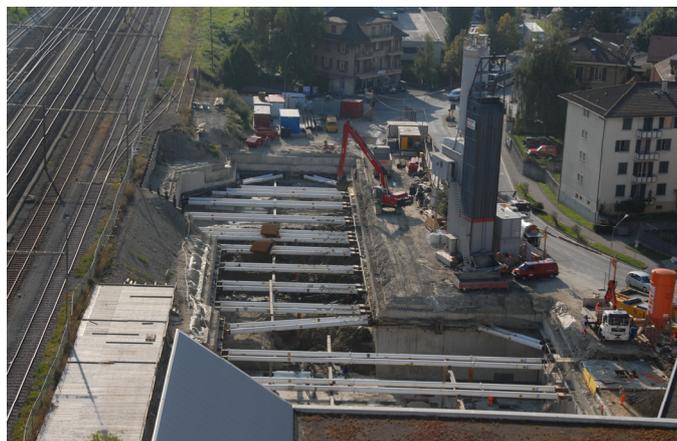


Figure 14. Vue de l'ouvrage (photo MP ingénieurs conseils SA)

Le but de la modélisation était :

- de prédire le comportement en service, avec en particulier les risques de tassements associés au niveau de la voie CFF située à l'amont de la fouille
- d'évaluer les efforts dans la paroi moulée
- de vérifier les fiches
- de préciser le comportement hydro-géologique de la fouille, à l'aide de modèles auxiliaires

Le modèle 3D permet de tenir compte de l'étape complexe des travaux, avec en particulier la réalisation par tranches d'un sous-radier bloquant, ce qui est un avantage non négligeable par rapport à des approches plus classiques (du type modules de réaction). Par exemple, le plan de terrassement de la grande fouille est représenté à la Figure 15 avec son correspondant au niveau de la modélisation (Figure 16).



Figure 15. Extrait du plan de terrassement, étapes de réalisation du sous-radier (DCG SA)

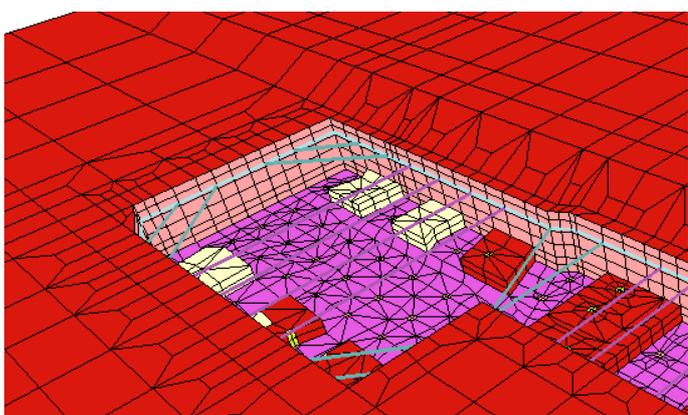


Figure 16. Illustration d'une étape de réalisation du sous-radier

Les moments dans la paroi moulée et les déplacements horizontaux prédits une fois le fond de fouille atteint sont représentés en Figures 17 et 18.

Un système de surveillance complet a été mis en place pour cet ouvrage et a permis entre autres de valider les hypothèses du modèle. La Figure 19 compare les prédictions avec les résultats des mesures inclinométriques au droit de la grande fouille à l'amont puis à l'aval (l'emplacement des inclinomètres I1 et I7 est indiqué sur la Figure 18).

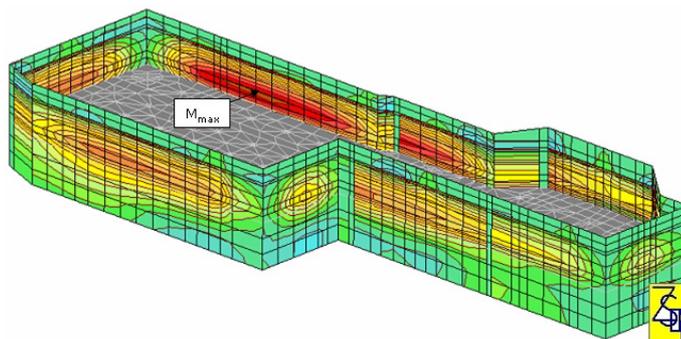


Figure 17. Moments principaux dans la paroi moulée

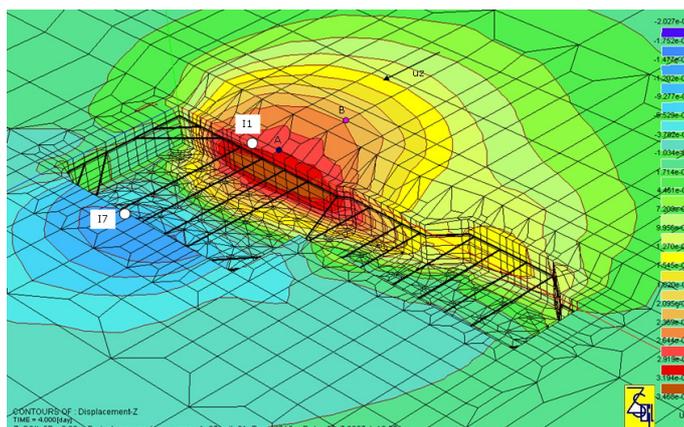


Figure 18. Déplacements horizontaux prédits selon l'axe z

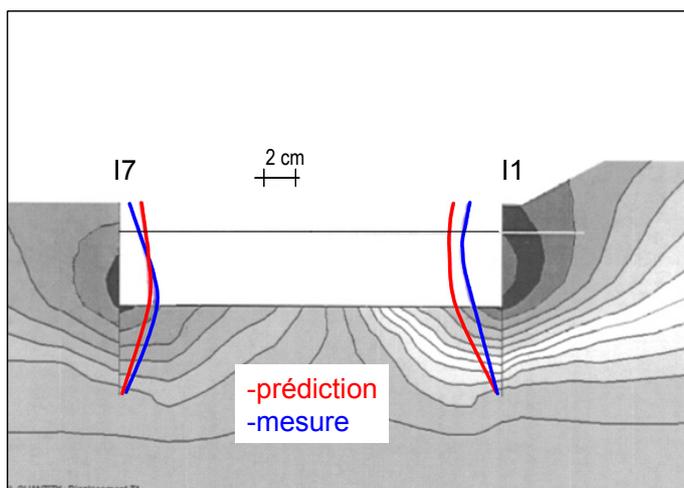


Figure 19. Déplacements horizontaux prédits selon l'axe z

En conclusion, l'approche complète 3D de la modélisation a permis de prédire de façon satisfaisante les déplacements au niveau de la fouille et des ouvrages avoisinants ainsi que d'optimiser les armatures au niveau de la paroi moulée.



GeoMod ingénieurs conseils SA
 Av. des Jordils 5
 CH-1006 Lausanne
 T : +41 21 311 34 30
 F : +41 21 311 34 29
 www.geomod.ch
info@geomod.ch