

Calculs statique et dynamique sur une digue en terre.

Application de la loi de Hujeux

M. Kham, A. Foucault, V. Guyonvarh, L. Idoux, G. Devesa (EDF / R&D / AMA),
P. Kolmayer (EDF / DPIH / CIH)

Contexte et objectifs

En tant qu'exploitant et maître d'ouvrage de centrales hydrauliques, EDF est tenue de garantir la sûreté et la disponibilité de ses sites de production. Dans ce contexte, le Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH) d'EDF développe des méthodes pour la qualification des ouvrages hydrauliques en terre, en maçonnerie ou en béton (barrages, digues).

Le projet CODHYBAR2, élabore et capitalise des outils et des méthodologies de simulation numérique pour l'étude de barrages et de digues sous Assurance Qualité dans Code_Aster.

L'objet de cette présentation est la simulation numérique des barrages en terre face au risque sismique. Cette action se décline en 3 étapes :

- développement dans Code_Aster de la loi de comportement de Hujeux, adaptée au comportement des matériaux des barrages en terre ;

- mise au point et validation des méthodologies numériques de construction par couches, de mise en eau et de mise sous chargement sismique du barrage ;

- validation et qualifications des outils sur un cas industriel.

Loi de comportement de Hujeux

La loi de comportement de Hujeux permet de représenter le comportement d'une argile ou d'un sable sous chargement cyclique. C'est une loi délicate à mettre en œuvre car elle possède 8 mécanismes différents (4 monotones et 4 cycliques) dont 4 peuvent être activés simultanément. De plus cette loi, non associée, possède un domaine de validité dans l'espace des contraintes réduit aux états de compression (cf. Cam-Clay) qui engendre des difficultés d'intégration numérique.

L'introduction de la loi de Hujeux dans Code_Aster s'est donc fait conjointement au développement d'outils permettant une utilisation plus robuste de celle-ci :

- mécanisme de gestion automatique des états de contraintes interdits (traction) ;

- méthode de régularisation (modèle du second gradient local) pour traiter les difficultés numériques liées aux phénomènes de localisation des déformations (apparition de bande de rupture en cisaillement) ;

- méthodologie d'identification des paramètres de la loi (au nombre de 20).

Méthodologie de simulation d'une digue en terre sous chargement sismique

La méthodologie a été établie à partir d'un modèle simplifié représentatif d'une digue en terre. Ce modèle est constitué d'une digue d'une hauteur de 16m et d'une fondation d'une épaisseur de 20m. Digue et fondation sont constituées chacune d'un matériau homogène (argile) modélisé par la loi de Hujeux. La méthodologie prend en charge les étapes de construction de la digue (par couche de 1m), de sa mise en eau et de sa mise sous chargement sismique.

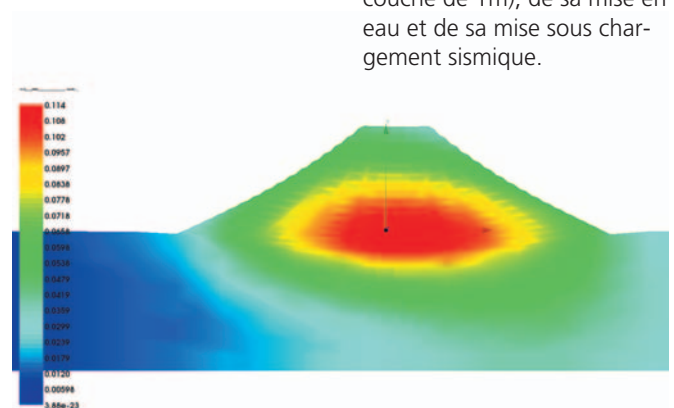


Figure 1 : Déformée de la digue simplifiée en fin de mise en eau par couches.

Calculs statique et dynamique sur une digue en terre. Application de la loi de Hujeux

M. Kham, A. Foucault, V. Guyonvarh, L. Idoux, G. Devesa (EDF / R&D / AMA), P. Kolmayer (EDF / DPIH / CIH)

Le problème est bidimensionnel en hydromécanique couplée (D_PLAN_HMS).

La construction par couches a fait apparaître quelques points déterminants pour la bonne convergence de la simulation :

- un champ de contraintes initiales à imposer dans la nouvelle couche à poser ;
- une application progressive du chargement en pesanteur sur la nouvelle couche posée.

La mise en eau consiste à appliquer à la fois une force mécanique et une pression fluide réparties sur le parement amont du barrage (montée progressive d'une nappe d'eau).

Enfin, le calcul dynamique (séisme) peut être réalisé en utilisant une méthode soit explicite soit implicite et la résolution peut se faire sur base physique ou sur base modale.

La méthodologie est aujourd'hui validée jusqu'à la mise en eau par rapport au code de calcul GEFDYN de l'École Centrale de Paris (utilisé aujourd'hui par le CIH pour ce genre de modélisation).

Validation industrielle : cas de la digue d'El Infiernillo

Dans le cadre de la validation, la méthodologie est en cours d'application au cas du barrage d'El Infiernillo (Mexique) qui a fait l'objet d'un benchmark (ICOLD, 1994). Le barrage mesure 180m de hauteur environ et présente 4 zones hétérogènes (parements, transitions, filtres enrobant un noyau central). On tente de reproduire les phases de construction par couches et de mise en eau du barrage à partir d'un modèle fourni par l'un des participants au benchmark.

Par ailleurs, les calculs sont conjointement réalisés par le CIH avec GEFDYN pour un surcroît de validation. Les résultats donnés par la méthodologie développée dans *Code_Aster* sont proches de ceux de GEFDYN et conformes aux données du benchmark.

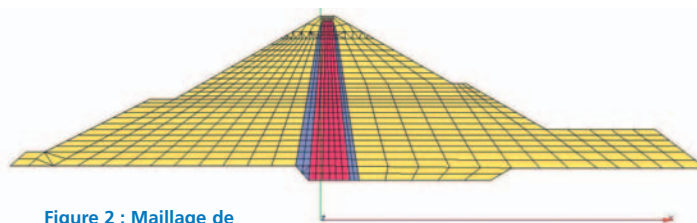


Figure 2 : Maillage de la digue d'El Infiernillo.

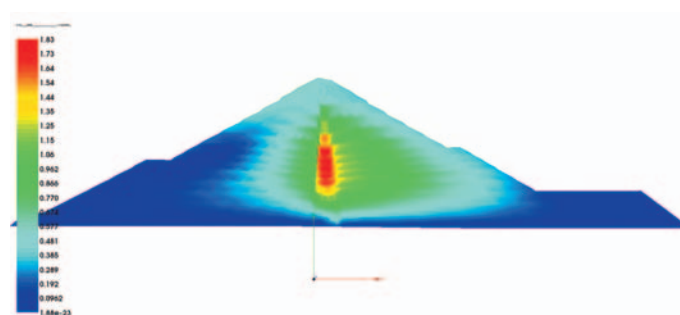


Figure 3 : Isovaleurs des déplacements en fin de mise en eau de la digue d'El Infiernillo.

Perspectives

La méthodologie développée dans *Code_Aster* apparaît aujourd'hui tout à fait valide jusqu'à l'étape de mise en eau. Suivant la même démarche, on souhaite valider la méthodologie de mise sous chargement sismique pour le cas du barrage d'El Infiernillo pour lequel on dispose de données abondantes.

Parallèlement, on souhaite faciliter l'utilisation de la loi de Hujeux suivant les axes suivants :

- aide au paramétrage de la loi avec la création d'une macro-commande d'identification des paramètres à partir d'une batterie d'essais OD ;
- gain de robustesse dans l'intégration de la loi (méthode de régularisation notamment) ;
- ergonomie dans la mise en œuvre de la simulation d'un barrage, en encapsulant l'ensemble de la méthodologie de la construction jusqu'à la mise sous séisme dans une macro-commande *Code_Aster*.