**Mechanical behavior of rockfill dams with dry-stone pitching: A mixed FDM-DEM approach**

**Abstract:**

Rockfill dams with dry-stone pitching are specific hydraulic structures generally built in the early XXth century. Their specificity lies in the existence of upward and downward faces made of stones that were hand-placed without mortar in a way similar to what can be found in dry-stone retaining walls. Few studies have been carried out to quantify the specific and critical role of the pitching in the stability of such dams. The main objectives of this work are first to set up a numerical model able to retrieve the mechanical behavior of such type of dams with reasonable computational times and secondly to better understand the mechanisms that explain their resistance.

Gaining experience from past numerical studies on dry-stone retaining walls, a mixed FDM-DEM (continuum-discrete) approach for the modeling of rockfill dams with dry-stone pitching is herein proposed. Considering the overall isotropic nature of the dam body, constructed from dumped rockfill, this latter is modeled as a continuum medium. In contrast, the individual stones comprising the pitching are individually modeled to accurately reflect the discrete and anisotropic nature of these peculiar dry-stone structures.

A validation of the numerical tool is first proposed on the basis of results from the literature involving experiments on scaled-down rockfill dams with dry-stone pitching. The effect of the pitching characteristics (dimensions, weight, material, stone shape, among others) on their behavior is consequently studied.

Secondly, a case study is proposed on a specific rockfill dam with dry-stone pitching located in France that was studied in the past using different approaches than that proposed herein. First, the modeling of the construction and water-filling phases allowed us to confront the numerical results with available historical measures and to validate the chosen set of model parameters. Then, both the static and pseudo-static resistances of this dam are evaluated through the design of different safety factors. The quantification of the role of the different elements constituting the dam to its overall resistance is discussed in detail.

Finally, the seismic resistance of this specific dam is studied through true dynamic computations and different proposals to quantify it are proposed. The chosen set of model parameters was validated by comparing the obtained crest settlement at the end of the shaking with the post-earthquake crest settlements of several reviewed dams.

**Key words:** Rockfill, stone, hydraulic structure, seismic, FDM, DEM, continuum-discrete

**Comportement mécanique des barrages en enrochement avec perré en pierre sèche : une approche mixte FDM-DEM**

**Résumé:**

Les barrages en enrochement avec perré en pierre sèche sont des ouvrages hydrauliques bien particuliers, généralement construits au début du XXème siècle. Leur spécificité réside dans l'existence de faces amont et aval constituées d'une ou plusieurs rangées de pierres placées à la main sans mortier, à l'instar de ce que l'on peut trouver dans les murs de soutènement en pierre sèche. Peu d'études ont été menées pour quantifier le rôle spécifique du perré dans la stabilité de ces barrages. Les principaux objectifs de ce travail sont d'une part de mettre en place un modèle numérique capable de retrouver le comportement mécanique de ce type de barrages, en des temps de calcul raisonnable, et d'autre part de mieux comprendre les mécanismes qui expliquent leur capacité de résistance.

Grâce à l'expérience acquise lors d'études numériques précédentes sur les murs de soutènement en pierre sèche, une approche mixte FDM-DEM (continue-discrète) pour la modélisation des barrages en enrochement, avec perré en pierre sèche, est ainsi proposée. Compte tenu de la nature globalement isotrope du corps du barrage, construit à partir d'un enrochement déversé, ce dernier est modélisé comme un milieu continu. En revanche, les pierres composant le perré sont modélisées de manière individuelle pour refléter précisément la nature discrète et anisotrope de ces structures très particulières.

Une validation de l'outil numérique est d'abord proposée sur la base des résultats de la littérature, comprenant des expériences sur des barrages en enrochement à échelle réduite avec perré en pierre sèche. L'effet des caractéristiques du perré (dimensions, poids, matériau, forme de la pierre, entre autres) sur son comportement est ensuite étudié.

Puis, une étude de cas est proposée, en considérant un barrage en enrochement avec perré en pierre sèche, situé dans les Hautes-Pyrénées (France), et étudié par le passé en utilisant des approches différentes de celles proposées ici. Tout d'abord, la modélisation des phases de construction et de remplissage nous a permis de confronter les résultats numériques aux mesures historiquement disponibles puis de valider l'ensemble des paramètres du modèle. Les résistances statiques et pseudo-statiques de ce barrage sont évaluées selon différents concepts de mesure du facteur de sécurité. La quantification du rôle des différents éléments constituant le barrage dans sa résistance globale est également discutée en détail.

Pour finir, la résistance sismique de ce barrage spécifique est étudiée par des calculs dynamiques réels et différentes approches pour la quantifier sont proposées. Le jeu choisi de paramètres du modèle a été validé en comparant le tassement de la crête obtenu à la fin du tremblement avec les tassements de la crête après séisme de plusieurs barrages examinés.

**Mots clés:** Enrochement, pierres, structure hydraulique, sismique, FDM, DEM, discret-continu