

METHODE DU POTENTIEL SPONTANE POUR LA DETECTION DE FUITES DANS LES DIGUES

SOUEID AHMED A.¹, REVIL A.¹, STECK B.², VERGNIAULT C.³

¹ Université Savoie Mont Blanc, CNRS, ISTerre, 73000 Chambéry, France, abdellahi.soueid-ahmed@univ-smb.fr, andre.revil@univ-smb.fr

² EDF R&D, 6 Quai Watier, 78400 Chatou, France, barthelemy.steck@edf.fr

³ EDF DI-TEGG, 905 Avenue du camp de menthe, 13097 Aix-en-Provence, France, christophe.vergniault@edf.fr

RÉSUMÉ

La méthode du potentiel spontané est de par sa facilité de mise en œuvre et sa sensibilité aux écoulements d'eau, une méthode qui à première vue est avantageuse et prometteuse pour l'auscultation digues, l'identification et le suivi des zones de fuite dans les barrages hydrauliques. Ces fuites peuvent constituer un réel danger sur l'intégrité de la structure des barrages et des digues en activant un phénomène d'érosion interne, fortement préjudiciable aux ouvrages en remblai car il constitue une des principales sources d'incidents sur ces ouvrages hydrauliques. La méthode du potentiel spontané permet de localiser ces fuites à travers leurs signatures électriques. Cependant, ce type de signal géophysique dépend de plusieurs facteurs tels que la conductivité électrique du milieu, la salinité du fluide, et la nature du régime d'écoulement (visqueux laminaire versus inertiel laminaire). De plus, la présence d'installations anthropiques peut biaiser la qualité du signal. Tous ces facteurs doivent être pris en compte afin de pouvoir interpréter correctement les distributions de potentiel électrique acquises lors d'une campagne de mesures de potentiel spontané. Nous avons développé un outil numérique dédié à la simulation des signatures de potentiel spontané générées par les écoulements d'eau dans les digues. Nous utilisons cet outil pour réaliser une analyse de sensibilité sur les paramètres géotechniques d'une digue expérimentale afin de mieux interpréter les signaux de potentiel spontané mesurés sur celle-ci et de définir la sensibilité de la méthode du potentiel spontané.

Mots clés : potentiel spontané, modélisation numérique, nombre de Reynolds.

ABSTRACT

SELF-POTENTIAL METHOD FOR LEAKS DETECTION IN EARTH DAMS

Due to its simplicity and high sensitivity to groundwater flow, the self-potential method is particularly appealing for leak detection in embankments and earth dams. Seepage flows may represent a serious threat to the integrity of the embankment or dam structure and their localization is therefore an important task. The self-potential method can be employed on dams to detect the presence of leaks and monitor their evolution through their electrical signatures. That said, the self-potential signal depends on several factors, such as the electrical conductivity of

the medium, the salinity of the fluid, and the nature of the flow regime. In addition, the presence of anthropic facilities may bias the signal. Therefore, any reliable self-potential data interpretation will need to properly take into account these factors. We implemented a numerical tool for simulating the self-potential signatures generated by water flow in dams. We use this tool to perform a sensitivity analysis, which aims to better understand this type of non-intrusive signature of groundwater flow.

Key words: *self-potential, numerical modelling, Reynolds number.*

.1 INTRODUCTION

Les fuites peuvent constituer un réel danger sur l'intégrité des barrages et des digues en remblai, en activant un phénomène d'érosion interne, fortement préjudiciable, car il constitue une des principales sources d'incidents sur ces ouvrages hydrauliques (CFBR, 1997). La facilité de mise en œuvre de la méthode du Potentiel Spontané (PS) et sa sensibilité aux écoulements souterrains la rendent très attractive pour la détection et le suivi des fuites dans les digues et barrages hydrauliques (PANTHULU et al. (2001); SHEFFER et OLDENBURG, 2007; BOLEVE et al. (2007), SOUEID AHMED et al. (2013)). D'un point de vue pratique, il est assez simple de réaliser une campagne de mesures PS, car il suffit de disposer d'électrodes impolarisables (e.g., PETIAU, 1980) et de les connecter à un voltmètre. Une digue expérimentale, a été conçue conjointement par EDF et le CER de Rouen et réalisée par le CER dans le cadre du projet de R&D SurHycate. Sur cette maquette, un monitoring PS avec 16 électrodes en crête confirme qu'un bruit environnemental important est présent. Ce bruit rend impossible la détection du moindre signal PS en lien avec l'écoulement dans les fuites. Afin de définir les modifications à apporter à la maquette pour rendre le signal détectable, une modélisation numérique de cet ouvrage a été mise en œuvre. Une multitude de scénarios de modélisation ont permis de mieux comprendre le fonctionnement de la digue expérimentale et de montrer ainsi l'intérêt qui devrait être porté à la modélisation numérique dans le suivi et la maintenance des ouvrages hydrauliques.

.2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Digue expérimentale

Une digue expérimentale a été réalisée par EDF en collaboration avec le CEREMA. Les dimensions de la digue sont de 3 m de hauteur, 22 m de long et 14 m de large. Un voile de béton fibré synthétique d'une épaisseur de 15 cm d'épaisseur est posé sur le talus de la digue afin de le rendre étanche. La digue est connectée à un bassin d'eau qui est fermé par des murs en béton préfabriqués. Trois conduits traversent l'encaissant de la digue. Ces conduits qui sont connectés au bassin sont utilisés pour simuler la présence de zones d'infiltration qui constituent des chemins préférentiels pour les écoulements de l'eau du réservoir à travers la structure de la digue. Ces chemins préférentiels sont créés en rendant les conduits beaucoup plus perméables que l'encaissant. Ainsi, ces conduits sont remplis de gravier de 4-6 mm. Deux de ces conduits sont cylindriques de diamètre 10 cm et

le troisième conduit est parallépipédique de base. La géométrie de la digue est représentée sur la **Fig. 1a**.

2.2. Modèle numérique

Le modèle numérique est implémenté sous Comsol Multiphysics, il effectue le couplage entre l'équation de Richards et celle du potentiel électrique. Ce couplage est nécessaire étant donné que les signaux PS sur lesquels nous travaillons sont d'origine électrocinétique. Nos calculs ont montré que la valeur du nombre de Reynolds dans les conduits avoisinait 2.6, ce qui suggère que nous sommes en régime inertiel, ce qui aurait pour effet de diminuer les amplitudes des anomalies PS au niveau de la zone de fuite (**Fig. 1b**). La modélisation numérique a permis de valider un scénario dans lequel un sac de sable placé autour de la zone de fuite permet de réduire la valeur du nombre de Reynolds et de planter les électrodes dans une zone de meilleure sensibilité afin de mesurer des anomalies PS de plus grande amplitude (**Fig. 1c**).

La **Fig. 1c** montre que l'amplitude de l'anomalie de potentiel spontané mesurée sur la digue est maximale au niveau de la zone de fuite.

Cette expérience numérique a permis de valider le scénario selon lequel, placer un tas de sable au niveau de l'entrée des conduits permettrait de réduire le nombre de Reynolds et ainsi de renforcer le signal PS mesuré. En effet, cette modification une fois apportée à la digue a permis d'améliorer la qualité des données et de mesurer ainsi une anomalie PS avoisinant les -8 mV alors que celle-ci était en deçà de la sensibilité de l'appareil de mesure.

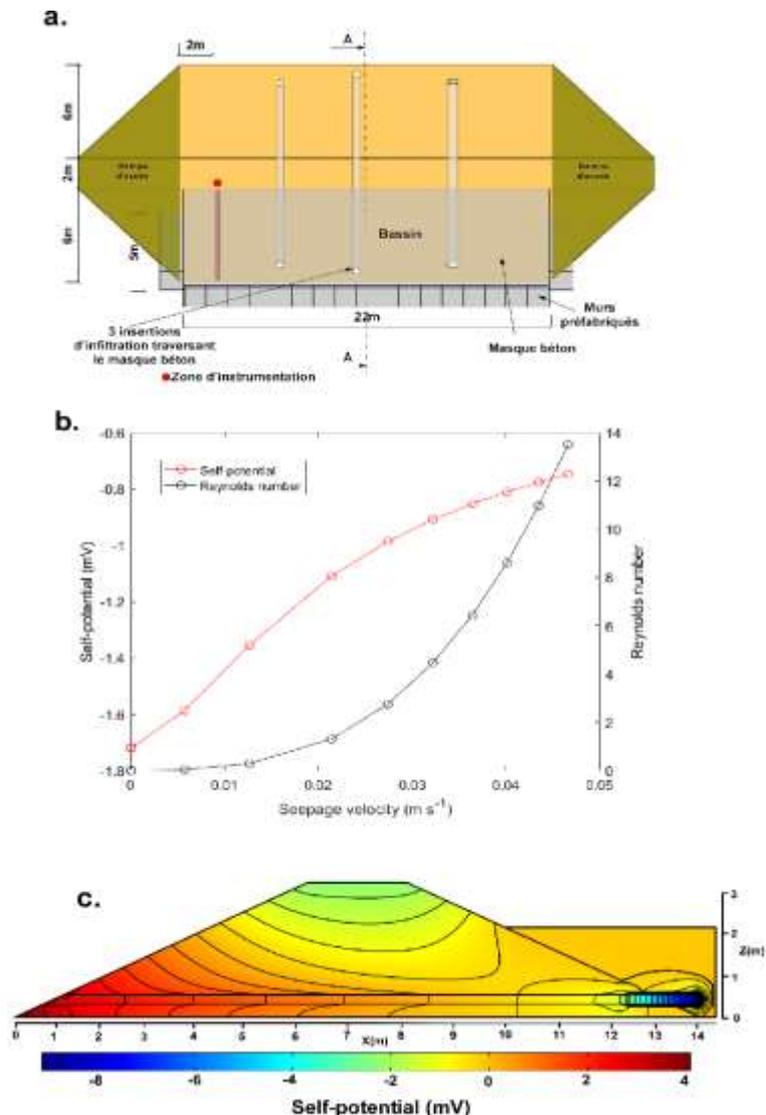


Fig. 1. - Géométrie de la digue et simulations. **a.** Vue XY de la digue expérimentale. **b.** Evolution du signal de PS avec la vitesse d'écoulement au niveau de la fuite. **c.** Distribution de PS sur un plan vertical traversant le conduit central.

.3 Conclusion

Nous avons développé un modèle numérique de modélisation des signaux PS mesurés sur les digues. Ce modèle fut initialement mis en place afin de comprendre le fonctionnement d'une digue expérimentale construite pour tester diverses expérimentations géophysiques. Au début de l'expérience, il était impossible de détecter le moindre signal PS en lien avec l'écoulement dans la digue. Une étude de sensibilité effectuée grâce au modèle numérique a permis d'expliquer la faiblesse du signal mesuré, notamment par les hautes valeurs du nombre de Reynolds. A la lumière de ces simulations, une modification de la digue fut proposée afin de disposer d'une configuration de la digue qui permet de réduire les valeurs du nombre de Reynolds et de déterminer la sensibilité des mesures PS aux fuites contrôlées de la digue. A ce jour, l'outil de modélisation numérique couplée hydraulique – électrique est validé par comparaison avec les mesures sur un modèle analogique (maquette de digue). Il apparaît maintenant nécessaire d'utiliser ce nouvel outil, afin de confirmer la sensibilité de la méthode dans un contexte donné, préalablement aux mesures sur le terrain, afin de définir le domaine d'application, car l'anomalie PS liée à un écoulement est fonction de la vitesse de celui-ci, des matériaux constituant la digue, de la résistivité électrique du milieu et du bruit électromagnétique dans l'environnement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bolève, A., Crespy, A., Revil, A., Janod, F., Mattiuzzo, J. L., 2007** – Streaming potentials of granular media: Influence of the Dukhin and Reynolds numbers. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B8).
- CFGB (Comité Français des Grands Barrages), 1997** – Internal erosion: typology, detection, repair. *Comité Français des Grands Barrages*. 126 pages.
- Petiau, G., 2000** – Second generation of lead-lead chloride electrodes for geophysical applications, *Pure Appl. Geophys.*, 3, 357–382.
- Sheffer, M. R., Oldenburg, D. W., 2007** – Three-dimensional modelling of streaming potential. *Geophysical Journal International*, 169(3), 839-848.
- Soueid Ahmed, A., Jardani, A., Revil, A., Dupont, J. P., 2013** – SP2DINV: A 2D forward and inverse code for streaming potential problems. *Computers & Geosciences*, 59, 9-16.