

## Réponses des auteurs au relecteur – AUGC – Prix jeunes chercheurs Thématique : Méthodes et approches

Titre : Evaluation de la performance des ouvrages hydrauliques en remblai soumis à la présence de la végétation arborescente : proposition d'une approche modulaire

**Gisèle Bambara, Corinne Curt, Patrice Mériaux, Michel Vennetier, Pierre Vanloot**

- **Commentaire du relecteur**
  - Réponse des auteurs
  
- **P. 2, «La France compte un parc d'ouvrages hydrauliques en remblai très important. » : que signifie important, avez-vous des chiffres et une référence pour être plus précis ?**
  - Une modification a été apportée au texte. Des chiffres et références ont été ajoutés.
  
- **P. 2, « peuvent tenir plusieurs fonctions » : peuvent remplir plusieurs fonctions.**
  - Une modification a été apportée au texte.
  
- **P. 2, « Quatre mécanismes sont distingués : l'érosion interne de conduit, régressive, de contact et par suffusion » : ces quatre mécanismes me paraissent important pour la compréhension de votre travail, il serait préférable de les expliquer.**
  - Une modification a été apportée au texte. Ces quatre mécanismes sont importants à comprendre notamment parce que plus généralement dans ce travail de thèse, nous analysons l'influence de la végétation sur chaque mécanisme de détérioration par érosion interne. Nous émettons notamment des hypothèses qui attribuent une influence « initiatrice » ou « aggravante » de la végétation vis-à-vis des différents mécanismes. Cependant, au vue de la place dont nous disposons pour la rédaction de cet article, il ne nous est pas paru essentiel pour la compréhension générale des résultats méthodologiques et applicatifs présentés, d'expliquer ces mécanismes. Pour plus de compréhension, les lecteurs peuvent se rapporter à la référence mentionnée. De plus, il semble que ce besoin d'informations supplémentaires soit due également à la phrase « Nous détaillons ci-dessous ces indicateurs ... dans quel type de mécanisme d'érosion ils sont plus particulièrement impliqués » de la section 3. Nous proposons de supprimé la partie de la phrase en lien avec les types de mécanismes d'érosion qui interpelle plus que ce qu'elle est pertinente par la suite.
  
- **P. 3 « iii) la performance du composant (par exemple le remblai) vis-à-vis du mécanisme d'érosion interne calculée à partir d'une combinaison de la performance des fonctions. » : l'article n'explique pas comment sont combinés ces indicateurs, est-ce une fonction mathématique simple (min, max, moyenne), une fonction mathématique plus complexe ou un autre type de combinaison ?**

- Une modification a été apportée au texte. Les combinaisons des indicateurs d'état pour l'obtention de chacune des fonctions puis de la performance de chacune des fonctions pour l'obtention de la performance du composant est réalisé soit à l'aide d'une base de règles SI-ALORS résumée sous la forme de table de vérité experte, soit par l'opérateur mathématique MIN.
- P. 3 : le travail avec les experts a permis d'élaborer les indicateurs, leur mode d'évaluation, et leur mode de combinaison. D'après l'article, les experts sont « trois ingénieurs reconnus experts en génie civil des barrages... » ; mais il n'est pas précisé si le domaine de compétence inclut la biologie car visiblement de nombreux indicateurs sont liés aux végétaux (type d'espèce, développement racinaire, etc.) ?
- Une modification a été apportée au texte. En effet, l'un de ces trois experts est particulièrement impliqué dans les problématiques liées à la présence de végétation arborescente sur les ouvrages hydrauliques en remblai. Il est notamment à l'origine des premiers diagnostics et plans de gestion de la végétation mis en place sur les ouvrages hydrauliques à grand linéaire (digues de protection fluviale et digues de canaux).
- P. 3 indicateur « Etat visuel de l'environnement de l'exutoire du tapis drainant » : le mot « visuel » me semble assez flou, est-ce qu'il s'agit de l'état de surface ou bien est-ce qu'il s'agit uniquement de la densité de végétation ou d'arbres ?
- Une modification a été apportée au texte. Il s'agit bien uniquement de la densité d'arbres présents à l'exutoire du tapis drainant. Cette information est bien explicitée dans le texte en P3 section 3. La formalisation de cet indicateur est identique à l'indicateur d'état nommé « densité des individus ». Le nom de l'indicateur ainsi que le mot « visuel » a été choisi au cours d'une séance d'expertise.
- P. 3 « Quatre de ces indicateurs sont évalués visuellement : « densité », « volume racinaire » et « type de structure racinaire »... » : il me semble que quelques précisions sont nécessaires pour expliquer comment les deux indicateurs caractérisant le sous-sol, le « volume racinaire » et le « type de structure racinaire », peuvent être évalués visuellement ?
- Une modification a été apportée au texte. Le « volume racinaire par individu » est apprécié visuellement dans le sens où nous extrapolons simplement ce volume en fonction du diamètre des gros individus présent sur le profil qui est évalué. Par contre effectivement, parler d'indicateur visuel pour le « type de structure racinaire » est a priori faux. Nous pourrions vraisemblablement plutôt parler d'un **indicateur déduit** à partir de différentes mesures : mesures observés (position sur l'ouvrage, accès à l'eau) et mesures instrumentales ou calculés (position de la nappe phréatique, type de matériaux). L'identification de la structure racinaire est alors réalisée à l'aide d'une clé d'identification proposé dans les travaux de Zanetti et al, 2014.
- P. 4 section 3.1 : la notion de linéaire d'ouvrage n'est pas discuté alors que cela semble est un point de difficulté. Est-ce que l'évaluation porte sur une partie l'ouvrage et vaut pour l'ensemble de celui (la portion la plus défavorable étant considérée) ou bien est-ce qu'il y a plusieurs évaluations pour l'ouvrage (évaluation

de tronçons d'ouvrages). Si l'évaluation porte sur la partie de l'ouvrage, il convient d'expliquer comment elle se traduit en évaluation pour l'ensemble de l'ouvrage, en précisant les limites de la méthode. Si l'évaluation porte sur des tronçons d'ouvrages, il convient de définir un tronçon et expliquer comment se fait la synthèse des évaluations des tronçons.

- Une modification a été apportée au texte. La phrase correspondant à cette remarque n'a pas lieu d'être dans cette section 3.1 sachant que l'explication du choix du profil est discutée en section 5.2 lors de l'exemple d'application. Cependant dans le champ « caractéristiques de lieu » nous spécifions le choix du profil vis-à-vis de la densité de végétation. Une modification de ce champ a été réalisée dans l'article pour une meilleure compréhension.

Plus généralement, notre méthodologie d'évaluation d'un barrage est réalisée sur un profil qui est représentatif de l'ensemble de l'ouvrage vis-à-vis de la végétation arborescente. Cependant, s'il y a lieu d'être, d'autres profils à priori plus défavorable au vue de la densité de végétation ou présentant un point singulier du barrage par exemple une géométrie plus défavorable, un ouvrage traversant, sont également évalués. Nous ne combinons pas ces résultats mais ce diagnostic rapide permettra d'orienter le gestionnaire vers un diagnostic plus détaillé qui pourra être sectorisé sur les profils les plus défavorables. Les actions à mener en priorité (diagnostic plus détaillé, actions de correction) pour assurer la sécurité de l'ouvrage pourront être envisagée.

Conventionnellement, nous préférons parler d'évaluation de « profil » lorsque nous nous attachons à travailler sur les barrages qui ne sont pas considérés comme des ouvrages à grand linéaire. Nous employons le terme de « tronçon » lorsque nous travaillons sur l'évaluation de la performance des ouvrages à grand linéaire tels que les digues de protection fluviale ou les digues de canaux. Pour ces ouvrages nous définissons des tronçons homogènes vis-à-vis des variations liées aux indicateurs d'état de l'ouvrage. A chaque variation significative un nouveau tronçon est défini. Au final pour ce type d'ouvrage, une représentation des valeurs obtenues pour la performance vis-à-vis d'un mécanisme de détérioration de chaque tronçon peut être effectuée sur un système d'information géographique. Cette représentation permettrait au gestionnaire de sélectionner rapidement les tronçons nécessitant un diagnostic plus approfondie et d'éventuelles actions de correction.

- P. 4 section 3.2 : il semble que le volume racinaire soit estimé uniquement sur la base du diamètre de l'arbre. Ne faut-il pas prendre en compte l'espèce d'arbre considéré ou le type de sol ? Une référence pourrait étayer les choix fait par les auteurs.
- Effectivement le volume racinaire est estimé uniquement sur la base du diamètre de l'arbre. Nous n'avons pas cherché à avoir une estimation précise du volume de racinaire mais simplement à souligner le lien entre le diamètre au collet d'un arbre et le volume racinaire pressenti en sous-sol. Ainsi, les références de cet indicateur sont établit en fonction du diamètre au collet de l'arbre en parcourant l'échelle de notation de 8 (bon) pour un arbre ayant un diamètre inférieur à 10 cm jusqu'à 1 (mauvais) pour un arbre ayant un diamètre au collet supérieur à 30 cm. Ce choix et les références établies pour cet indicateur ont été faits au cours d'une séance d'expertise et non avec l'appui de la littérature.

- P. 4 section 3.3 : même remarque précédemment concernant le « type de structure racinaire » et le lien avec le type d'espèce.
- Comme explicité précédemment l'indicateur « type de structure racinaire » est évalué en identifiant préalablement le « type » de structure à l'aide d'une clé d'identification prenant en compte différents paramètres tels que l'accès à l'eau et aux nutriments, le type de sol... Nous nous appuyons pour cet indicateur sur des travaux de recherche menés par Zanetti & al, 2014. Ces travaux montrent entre autre (sur la base de nombreux dessouchages d'arbre) que le type d'espèce n'a que peu de rôle dans la structure racinaire d'un arbre mature par rapport aux autres paramètres impliqués.
- P. 4 section 3.4 : le texte « L'évolution de leur densité (estimation par déplacement d'eau) ... d'affiner et de compléter cette échelle. » apporte un niveau de précision supérieur à celui des indicateurs précédents mais ne donne pas non plus suffisamment d'information sur la méthode opérationnelle d'évaluation de l'indicateur. Ce texte peut être supprimé pour libérer de la place pour agrandir les figures 2 et 3.
- Une modification a été apportée au texte. Cette partie du texte a été supprimée.
- P. 4 titre de la section 4 : il faut éviter de laisser un titre orphelin (sans texte d'accompagnement) en bas de page.
- La modification a été effectuée.
- P. 5 : la figure 2 est trop petite et difficilement lisible.
- Une modification a été apportée, la taille du texte de la figure a été agrandie.
- P. 5 : la figure 3 est trop petite et difficilement lisible.
- Une modification a été apportée, nous avons augmenté la taille de la figure de 14 à 16 cm de largeur.
- P. 6 section 5 : le texte laisse supposer qu'il faut trois experts pour analyser chaque barrage. En phase opérationnelle, quelles sont les connaissances nécessaires par l'homme d'étude (est-ce nécessairement un expert) ?
- Une modification a été apportée au texte. Le fait que trois ingénieurs experts est participés à l'évaluation du barrage présenté en section 5 est une coïncidence. Pour le calage du modèle, nous avons volontairement pris plusieurs ingénieurs experts afin de pouvoir notamment valider les formalisations des indicateurs d'état qui se veulent compréhensibles et d'une utilisation répétable et reproductible. En phase opérationnelle, un seul ingénieur peut réaliser l'évaluation. Il n'est pas nécessairement expert. Un ingénieur d'étude ayant des connaissances générales sur les ouvrages hydrauliques peut réaliser une évaluation à l'aide de notre outil. C'est le but de cet outil qui est notamment destiné à aux gestionnaires et bureaux d'étude.

- P. 6 section 5.2 « un profil, à la fois représentatif de l'ensemble de l'ouvrage et intéressant vis-à-vis du diagnostic de la végétation arborescente, a été choisi par le groupe d'experts » : pourquoi et comment a été choisi ce profil, est-ce le plus défavorable ?
  - Le barrage présenté et évalué dans cet article ne présente pas de profil particulièrement défavorable vis-à-vis du mécanisme de détérioration par érosion interne. La végétation ligneuse a été plantée volontairement il y a plusieurs années et est homogène sur l'ensemble du barrage. Le profil a donc été choisi par les ingénieurs experts comme étant le plus représentatif à la fois vis-à-vis de l'ouvrage en lui-même (géométrie) et vis-à-vis du diagnostic de la végétation (espèce d'arbre présente sur le profil, présence de souche morte).
- P. 6 section 5.2 « 2 individus morts et 1 ayant rejeté » : « été rejeté »
  - Lorsque l'on parle d'un arbre coupé et qui présente des rejets à la base de sa souche, on parle bien d'un arbre « ayant rejeté ».
- P. 6 figure 5 : la meilleure performance est-elle en périphérie du diagramme (10 = non perméable, pas de racine, densité nulle d'individus, etc.) ? A préciser dans la légende.
  - Une modification a été apportée. Nous rappelons dans le texte, le fait que cette notation est réalisée à l'aide des références établis lors des formalisations des indicateurs d'état et que ces notations sont faites sur l'échelle de notation choisie et présenté en Figure 1.
- P. 7 « a nécessité une extrapolation par les experts a été faite car » : « a été faite » à supprimer ? Il semble y avoir un problème avec cette phrase.
  - Une modification a été apportée au texte.
- P. 7 section 5.3 « Elle découle également de la performance de la fonction « étanchéité » s'est avéré médiocre : « qui » s'est avéré«e» médiocre...
  - Une modification a été apportée au texte.
- P. 7 section 5.3 : il serait pertinent de proposer une discussion en fin de section pour valoriser le travail mené sur le cas d'étude : résultats obtenus vis-à-vis de l'historique du barrage, solutions possibles d'amélioration, signification de la note (fig. 6, est-ce qu'une action immédiate est requise ? est-ce que la note permet d'estimer un montant de travaux ?), etc.
  - Une modification a été apportée au texte. Une discussion plus détaillé n'est pas envisageable au regard des 8 pages imposés dans cet article.