
Pathologie des barrages : développement d'une base de connaissances et application aux ouvrages en remblai

Corinne Curt* — Daniel Boissier **

* Cemagref - Unité Ouvrages Hydrauliques et Hydrologie
3275 Route de Cézanne - CS 40061- 13182 Aix-en-Provence Cedex 5 – France
corinne.curt@cemagref.fr

** Laboratoire Génie Civil – Polytech'Clermont - Université Blaise Pascal
24, avenue des Landais - BP 206 - 63174 Aubière cedex – France
daniel.boissier@cust.univ-bpclermont.fr

RÉSUMÉ. Les barrages en remblai peuvent être affectés par un ensemble de désordres qui influencent la performance de l'ouvrage et de ses composants. Nous proposons, en appui à une méthode et un outil d'évaluation de la performance, une base de connaissances sur les phénomènes et leurs effets sur les barrages en remblai. La méthodologie s'inspire des principes de l'ontologie développée dans le champ informatique. La base de connaissances repose sur sept champs clés : nom du phénomène, composant touché, définition et origines du phénomène, indicateurs permettant l'évaluation des phénomènes, actions correctives, cas de barrages ayant connu ce type de désordre, fonction concernée. Un outil informatique a été développé pour faciliter l'exploitation de la base de connaissances.

ABSTRACT. Embankment dams can be concerned by various damages that influence the performance of works and their components. In this paper we propose, as a complement to a method for the assessment of the performance, a knowledge base related to phenomena that lead to damages in embankment dams. The methodology comes from principles of ontology. The knowledge base is based on seven key fields: name of the phenomenon, concerned component, definition and origins of the phenomenon, indicators allowing the assessment of the phenomenon, corrective actions, examples of dams that were concerned with the pathology and implied function. A computer-based tool was developed to facilitate the use of the knowledge base.

MOTS-CLÉS : base de connaissances – ontologie – barrage en remblai – pathologie.

KEYWORDS: knowledge system – ontology – embankment dam - pathology

1. Introduction

Les barrages en remblai peuvent être affectés par un ensemble de désordres, colmatage, perte d'étanchéité, glissement, érosion..., qui influencent la performance de l'ouvrage et de ses composants. La performance est définie comme l'aptitude d'un composant à remplir les fonctions pour lesquelles il a été conçu. Son évaluation représente par conséquent un enjeu fort à la fois pour les propriétaires, les exploitants, les bureaux d'études et les ingénieurs chargés du contrôle de ces ouvrages. Actuellement, l'évaluation de la performance est principalement menée lors de revues détaillées conduites par des ingénieurs expérimentés, sans que toutefois la démarche mise en œuvre soit entièrement formalisée. Ceci pose des problèmes dans le cas de départ à la retraite ou de mutation par exemple. Il est donc important de valoriser ces connaissances en les capitalisant et en les transmettant à des ingénieurs débutants amenés à réaliser des expertises, ces connaissances arrivant en complément de leurs connaissances théoriques.

Nous nous proposons de fournir des outils permettant de faciliter la capitalisation et la transmission de ces connaissances. Ces connaissances portent sur deux champs : la connaissance de résolution du problème c'est-à-dire l'évaluation de la performance proprement dite et la connaissance du domaine c'est-à-dire les connaissances qui concernent les désordres qui peuvent affecter les barrages. Cette double proposition s'inscrit dans la lignée de ce que l'on attend des systèmes à base de connaissances (Jones *et al.*, 2002, Studer *et al.*, 1998). Dans ce papier, nous présentons très rapidement le système de calcul de la performance du barrage avant de détailler la méthode et l'outil de formalisation des connaissances sur les désordres. Nous montrons enfin l'utilisation conjointe de ces deux outils.

2. Méthode et outil d'évaluation de la performance d'un barrage

Nous proposons une réponse au premier volet « résolution des problèmes » au travers de la formalisation et de l'intégration de différentes sources de connaissances permettant d'obtenir un modèle de quantification de la performance de ces ouvrages. Nous présentons rapidement cette démarche, le lecteur intéressé pourra trouver plus de détails sur la méthode et les résultats dans (Curt *et al.*, 2006).

La construction du modèle repose sur la formalisation de l'expertise recueillie au cours de séances menées selon des interviews guidées. Un groupe de cinq experts du Cemagref a été constitué : ces experts conduisent, chaque année, plusieurs expertises décennales et ceci depuis au moins une dizaine d'années.

Les variables d'entrée du modèle sont toutes les sources d'information que l'expert utilise pour réaliser l'évaluation de la performance : il s'agit d'indicateurs visuels, d'indicateurs instrumentaux issus de l'auscultation ou d'essais, de données

issues de modèles numériques tels que le gradient hydraulique ou le coefficient de sécurité au glissement, et d'indicateurs provenant du dossier du barrage (éléments de conception, réalisation, confortement...). Tous ces indicateurs permettent de quantifier les pertes de performance des fonctions de l'ouvrage (étanchéité, drainage...). Nous avons mis en place une grille autorisant la description de chacun d'eux de manière à les rendre répétables et reproductibles. Les champs renseignés sont : nom, définition, échelle avec références (photos, schémas, descriptions linguistiques), caractéristiques d'espace (échantillonnage, lieu de la mesure). Les indicateurs sont évalués sur une échelle allant de 0 à 10. Les performances sont exprimées également sur une échelle de 0 à 10.

La Figure 1 décrit le modèle d'évaluation de la performance. La combinaison des différents indicateurs par l'opérateur maximum permet d'établir la performance de chaque fonction. La performance vis-à-vis du mode de rupture considéré (ici l'érosion interne) est obtenue soit par la combinaison par l'opérateur maximum d'indicateurs directs, soit en agrégeant les performances des fonctions par des équations logiques (cf. Figure 1). Un outil basé sur une interface de dialogue avec l'utilisateur et de traçabilité des données a été développé.

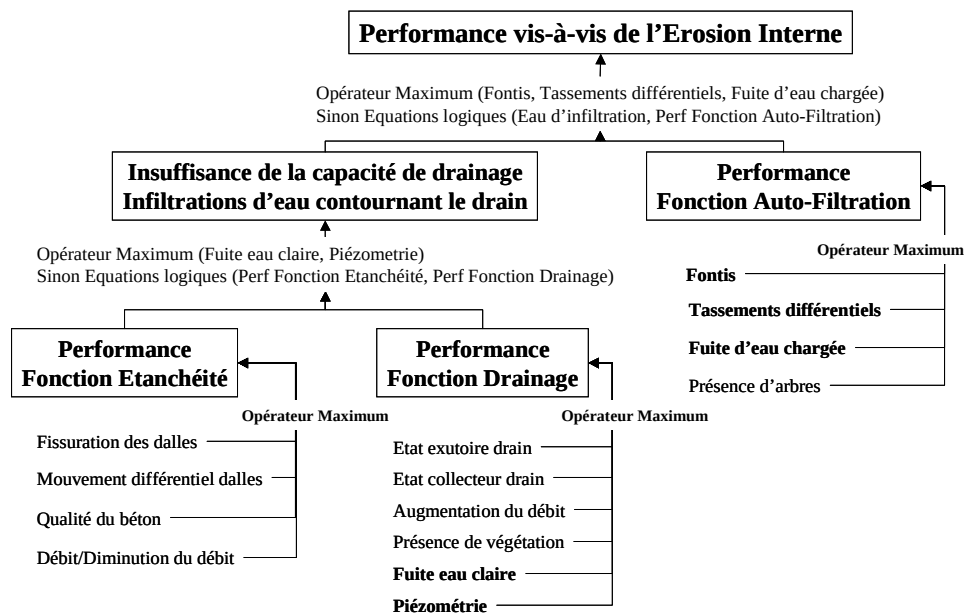


Figure 1. Modèle d'évaluation de la performance par rapport à l'érosion interne

3. Objectif de la base de connaissances sur les désordres

Nous pensons que la méthode et l'outil présentés ci-dessus peuvent être complétés avec profit par un outil dédié à la connaissance du domaine, ici les désordres des barrages. L'existence d'une telle base de connaissances a plusieurs intérêts et permet de :

- faciliter la communication entre les utilisateurs notamment par la définition d'un vocabulaire commun. Cet outil de communication peut être à usage interne d'un panel d'experts dialoguant sur un même problème mais aussi à usage externe entre un animateur non expert et un groupe d'experts ; un tel outil aurait pu par exemple être utilisé lors de la construction du modèle quantitatif d'évaluation de la performance ;

- capitaliser les connaissances et les rassembler en un seul outil, dans un objectif double de formation – elle permet par exemple à un utilisateur de trouver la définition d'un phénomène, elle aide à la formation d'un jeune expert – et de documentation – elle permet alors à un utilisateur de se référer à un barrage qui aurait subi un même désordre ou d'accéder à une préconisation d'action corrective, de réutiliser ces données comme base de traitement statistiques...

4. Méthodologie de mise en œuvre de la base de connaissances

Nous avons retenu, comme méthode d'appui à la construction de la base de connaissances, le concept d'ontologie développé dans les sciences informatiques ; celui-ci est défini par « une collection de descriptions explicites, complètes et consensuelles de l'ensemble des concepts d'un domaine » (Pierra, 2002). En effet, une ontologie fournit le vocabulaire commun d'un domaine et définit de façon plus ou moins formelle, le sens des termes et les relations entre ces derniers. L'ontologie est construite pour une tâche précise et à une granularité donnée (système barrage, sous-système de drainage, composant drain vertical...).

La méthode que nous avons suivie s'inspire de différents travaux et notamment ceux de (Jones, Bench-Capon and Visser, 2002, Noy and McGuinness, 2001). Elle s'articule selon cinq grandes étapes :

- détermination de la granularité de travail établie sur la base des questions auxquelles la base devrait répondre ;
- identification des champs clés (« phénomènes », « indicateurs », « actions correctives »...) et des liaisons entre ces champs (indicateurs « permet d'évaluer » phénomène, actions correctives « permet de corriger » phénomène...) ;
- renseignement des champs : instanciation ;
- validation de la base par les experts pour obtenir une base consensuelle ;
- développement d'un outil informatique ;
- établissement d'un glossaire.

L'acquisition des connaissances est faite à partir de la littérature scientifique et technique et est complétée par des interviews avec des experts.

5. Résultats

Les résultats sont présentés ici en reprenant les différentes étapes de la méthode.

5.1. Détermination de la granularité

Trois niveaux de granularité peuvent être pris en compte pour l'analyse d'un barrage (Peyras, 2003) :

- une granularité de rang inférieur qui se situe à l'échelle des grains de matériaux entrant dans la structure géométrique du composant ;
- une granularité de rang supérieur qui correspond au système dans sa totalité : le barrage, les différents ouvrages annexes, les versants des montagnes avoisinantes... ;
- une granularité de rang intermédiaire qui correspond au découpage du système en sous-systèmes (système de drainage, d'étanchéité) puis en différents composants (pour le sous-système de drainage : drain vertical, drain horizontal)...

Les objets de notre étude sont les désordres qui affectent le barrage au niveau de ses différents sous-systèmes et composants. Nous travaillerons ainsi principalement à une granularité de rang intermédiaire et à une granularité de rang inférieur : par exemple, pour la description du phénomène d'érosion interne du remblai (rang intermédiaire), il sera précisé que ce phénomène dépend notamment du transport des grains de matériau (rang inférieur) du remblai.

5.2. Champs proposés

Les champs que nous avons définis pour chacun des désordres sont les suivants (cf. Figure 2a) :

- nom du phénomène : érosion interne, érosion externe, dissolution... ;
- composant concerné : crête, fondation amont, drain horizontal... ;
- définition et origines du phénomène ;
- indicateurs associés à un moyen de mesure : par exemple, piézométrie évaluée par cellules de pression, indicateur « fissuration des dalles » évalué par inspection visuelle... ;
- actions correctives : mise en place d'une recharge sur le remblai aval, entretien des exutoires de drain... ;
- cas de barrages ayant connu ce type de désordre ;
- fonction concernée : étanchéité, drainage, auto-filtration (cf. Figure 2b).

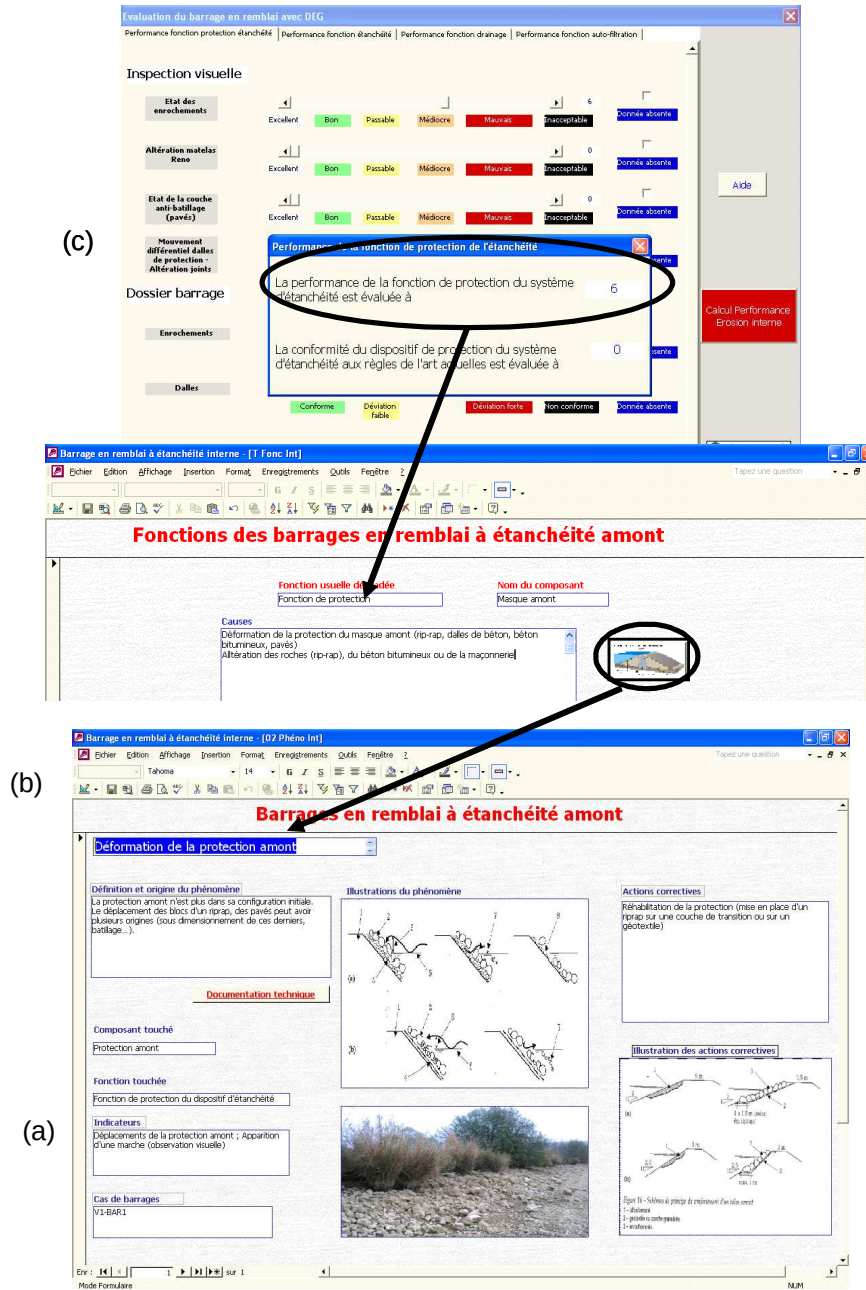


Figure 2. Exemple d'utilisation des outils

Les phénomènes et les actions correctives sont en général illustrés par des schémas, des photos... Les termes employés dans cette base de connaissance sont les mêmes que ceux employés dans l'outil de quantification de la performance des barrages afin de rendre naturel le lien entre ces deux outils.

5.3. Renseignement des champs et validation de la base

Les champs ont été renseignés pour les ouvrages en remblai à étanchéité interne et à masque amont :

- neuf phénomènes ont été identifiés et validés par un groupe de quatre experts : déformation, insuffisance de la capacité de drainage, dissolution, infiltrations d'eau excessives, érosion externe, érosion interne, fissuration, sous pression excessives, glissement. Ces phénomènes ainsi que leurs origines ont été décrits : les textes correspondant sont accessibles par l'utilisateur. Chacun des phénomènes se rapporte à un ou plusieurs composants du barrage ;

- onze composants ont été définis pour un barrage à étanchéité interne : protection amont, remblai amont, remblai aval, noyau étanche, crête, dispositif de drainage vertical, dispositif de drainage horizontal, fondation amont, voile d'étanchéité, fondation aval, galerie ou conduite. Huit composants ont été retenus pour les barrages à étanchéité amont : masque amont et sa protection, dispositif de drainage vertical, remblai, voile d'étanchéité, fondation, crête, dispositif de drainage horizontal, galerie ou conduite.

Sont ensuite décrits pour chaque couple (phénomène, composant) pertinent, la fonction concernée, les indicateurs permettant l'évaluation du phénomène, les actions correctives, des cas de barrages ayant subi ce phénomène.

5.4. Développement d'un outil informatique

Afin de faciliter son exploitation, la base de connaissances a été implémentée. Nous avons utilisé le logiciel Access. Comme nous l'avons vu plus haut, l'outil d'évaluation de la performance (Figure 2c) et la base de connaissances (Figures 2a et 2b) sont des systèmes complémentaires, pouvant être utilisés en liaison. Il est donc important de les rendre compatibles. Pour ce faire, nous avons notamment utilisé une sémantique commune. Le passage d'un outil à l'autre se fait via les fonctions. Pour un barrage donné, supposons que la fonction de protection du dispositif d'étanchéité amont soit dégradée (performance notée à 6 ce qui correspond au qualificatif « médiocre »). L'utilisateur peut vouloir se renseigner sur les phénomènes qui entraînent la dégradation de cette fonction. L'outil présente (cf. Figure 2) :

- une première page qui permet le choix de la fonction concernée : dans l'exemple, la fonction de protection ;

- une deuxième page qui permet d'obtenir la description du phénomène « déformation de la protection amont » selon l'ensemble des champs présentés plus haut.

Chaque page est dédiée à un phénomène de dégradation d'un des composants du barrage (« déformation du masque amont », « fissuration du masque amont »...). Au total, soixante trois pages correspondant chacune à un couple (phénomène, composant) sont consultables pour les remblais à étanchéité amont et quarante trois pour les remblais à étanchéité interne (Antoine, 2006). Des mises à jour et compléments sont possibles afin d'enrichir la base de connaissances.

6. Conclusion

Une base de connaissances sur les désordres des barrages en remblai a été proposée en lien avec un outil d'évaluation de la performance de ces ouvrages. La structure de cet outil est généralisable à d'autres ouvrages du génie civil. La suite des travaux porte sur le développement d'une base de connaissances sur les données de conception et de réalisation des barrages, selon le même principe méthodologique.

7. Bibliographie

- Antoine A., Développement d'une base de connaissances des pathologies des barrages, 2006, Rapport CUST-Cemagref Aix-en-Provence.
- Curt C., Peyras L., Degoutte G., Mériaux P., Royet P., Tourment R., Felix H. and Boissier D., *Méthode d'évaluation de la performance des barrages basée sur la formalisation de l'expertise.*, Actes de XXIVèmes Rencontres Universitaires de Génie Civil, La Grande Motte, France, 01-02/06/2006.
- Jones D., Bench-Capon T. and Visser P., Methodologies for ontology development, 2002, Midterm Rapid Knowledge Formation evaluation project.
- Noy N. F. and McGuinness D. L., A Guide to Creating Your First Ontology 2001, Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880.
- Peyras L., Diagnostic et analyse de risques liés au vieillissement des barrages - Développement de méthodes d'aide à l'expertise, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont II, 2003.
- Pierra G., *Un modèle formel d'ontologie pour l'ingénierie, le commerce électronique et le Web sémantique : le modèle de dictionnaire sémantique PLIB*, Actes de Journées scientifiques WEB SEMANTIQUE, Paris, France, 10-11/10/2002.
- Studer R., Benjamins V. R. and Fensel D., "Knowledge engineering: principles and methods", Data and Knowledge Engineering, vol 25, 1998, p.161-197.