HAL
open science

Analyse et contrôle de la qualité des données utilisées lors des expertises de barrages

C. Curt, Aurélie Talon

To cite this version:

C. Curt, Aurélie Talon. Analyse et contrôle de la qualité des données utilisées lors des expertises de barrages. Fiabilité des Matériaux et des Structures - 6èmes Journées Nationales de Fiabilité, Mar 2010, Toulouse, France. p. - p. hal-00586170

HAL Id: hal-00586170

https://hal.science/hal-00586170v1

Submitted on 15 Apr 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse et contrôle de la qualité des données utilisées lors des expertises de barrages

Corinne Curt * – Aurélie Talon **

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

*** Clermont Université, Polytech'Clermont-Ferrand, Laboratoire de Mécanique et Ingénieries*
24, Avenue des Landais – BP 206 – 63174 Aubière Cedex
aurelie.talon@polytech.univ-bpclermont.fr

RÉSUMÉ. *Les données utilisées lors de l'expertise de barrages ont été structurées sous la forme d'indicateurs. Ces indicateurs sont fréquemment « imparfaits » car ils contiennent incertitude, imprécision ou incomplétude. Nous proposons une voie d'analyse et de contrôle de ces imperfections basée sur (i) l'identification et l'explicitation des sources d'imperfections sous forme de critères, (ii) la quantification des critères sur une échelle de notation, (iii) l'agrégation de ces notes par la méthode d'analyse multicritère ELECTRE TRI. Au final est obtenu un score de qualité associé à chaque indicateur. Cette représentation des imperfections a notamment pour objectif la définition d'actions correctives pour le système d'évaluation afin d'améliorer la qualité des indicateurs en réduisant les imperfections qui leur sont associées. La démarche est appliquée à un cas réel au cours d'une revue décennale.*

ABSTRACT. *Data used during dam review were structured as indicators. These indicators are frequently "imperfect" as they contain uncertainty, imprecision, incompleteness. In this paper, we propose an analysis and control of these imperfections based on (i) the identification of the various sources of imperfection and their definition as criteria, (ii) the providing of a reliable way to assess these criteria and (iii) the aggregation of the values resulting from the assessment of the criteria using the multi-criteria analysis ELECTRE TRI. A quality score associated to each data is obtained at the end of the process. This imperfection representation notably aims at proposing corrective actions to improve the quality of indicators by lowering the linked imperfections. This approach was applied to a real-case study.*

MOTS-CLÉS : *barrage – incertitude – imprécision – incomplétude – analyse multicritère.*

KEYWORDS: *dam – uncertainty – imprecision – incompleteness – multicriteria analysis.*

1. Introduction

Les barrages représentent des enjeux économiques importants liés à leurs nombreux rôles (réserve d'eau pour l'irrigation, production d'hydro-électricité, alimentation en eau, maîtrise des crues…) tout en pouvant être des sources de danger pour leur environnement et les populations. Le maintien à un niveau acceptable de la fiabilité et de la sécurité des barrages est ainsi une préoccupation majeure des concepteurs, des propriétaires et des exploitants mais également des états qui prévoient, dans leur réglementation, un contrôle et des missions de suivi des barrages. Actuellement, au niveau mondial, l'évaluation de la fiabilité et de la sécurité des barrages est menée lors de revues conduites par des ingénieurs experts, sur la base de données de natures différentes :

– observations visuelles (détection de fuites, de fissures…) ;

– données issues de modèles mathématiques (gradient hydraulique, coefficient de glissement...) ;

– données provenant des appareils d'auscultation (mesures de débit, de piézométrie…) ;

– données de conception ou réalisation de l'ouvrage (dimensions, pentes des talus, présence ou absence de filtre…).

Nous avons développé une méthode afin de structurer l'ensemble de ces données sous la forme d'« indicateurs » décrits par une grille unique (Curt et al. 2010). Au total, pour les barrages en remblai, plus de 230 indicateurs ont été formalisés. Les indicateurs sont les entrées de modèles permettant la détermination de la fiabilité et de la sécurité des barrages.

Les différents indicateurs sont fréquemment entachés d'imperfections (incertitude, imprécision, incomplétude). Ces imperfections entraînent une perte de « qualité » des indicateurs. Or, la qualité de l'évaluation de la fiabilité et de la sécurité d'un ouvrage dépend pour grande partie de la qualité des indicateurs. Il est donc nécessaire de maintenir la qualité des données dans des bornes préalablement définies. Nous proposons dans cette communication une méthode d'évaluation et de contrôle de la qualité des données utilisées lors des expertises de barrage. Elle s'inscrit dans la lignée des travaux menés depuis quelques années sur l'évaluation de la qualité des données pour les produits du bâtiment. Initiés dans la thèse de Jérôme Lair (Lair 2000), ils ont été complétés dans la thèse d'Aurélie Talon (Talon 2006). Ils s'inspirent de la méthode NUSAP (Numerical Unit Spread Assessment Pedigree) développée par (Funtowicz et Ravetz 1990). Cette méthode est une voie de modélisation des imperfections basée sur l'explicitation des sources d'imperfections. Elle mène à définir un score de qualité. L'objectif final est la définition d'actions correctives pour le système d'évaluation afin d'améliorer la qualité des indicateurs en réduisant les imperfections qui leur sont associées : remplacer un instrument de mesure défaillant, faucher le talus aval d'un barrage afin

de réaliser les mesures visuelles dans les conditions optimales, nettoyer l'exutoire d'un drain…

Cette communication s'intéresse donc au système de mesure du barrage et non à l'ouvrage lui-même.

2. Données de base, données brutes et données élaborées

Les différentes données manipulées au cours d'une expertise de barrage sont organisées selon la classification proposée par (Talon 2006) : données de base, données brutes et données élaborées. Les indicateurs (visuels, auscultés, calculés et de conception ou réalisation) considérés comme des données élaborées proviennent de données de base ayant éventuellement subi un traitement les transformant en données brutes (cf. Figure 1). Nous considérons :

– les mesures issues des capteurs d'auscultation, les mesures visuelles et les données issues du dossier du barrage (contrôles, essais, caractéristiques géométriques…) comme étant des données de base ;

– les mesures d'auscultation traitées et les données issues de modèles mécaniques comme étant des données brutes ;

– l'ensemble des indicateurs comme étant des données élaborées.

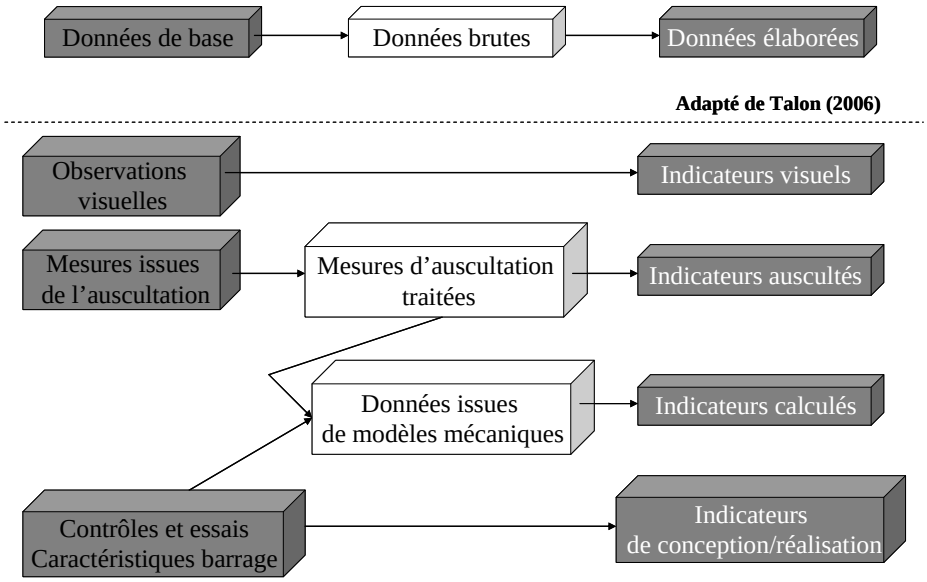

Figure 1. *Données de base, données brutes et données élaborées dans le cas de l'expertise des barrages*

Les imperfections attachées aux indicateurs sont issues des données de base ainsi que des modèles de traitement permettant de transformer les données de base en données brutes. Pour tous les types d'indicateurs, la qualité des données élaborées ne dépend que de la « qualité » de l'expert puisqu'il s'agit d'une « traduction » réalisée par l'expert des imperfections des données de base ou de données brutes en données élaborées c'est-à-dire les indicateurs (cf. Figure 1). Nous faisons l'hypothèse que les imperfections apportées par cette étape sont négligeables par rapport aux autres imperfections. Cette étape de la transformation des données est donc considérée comme « transparente » et n'intervient pas pour la détermination du score de qualité. Cette hypothèse est sous-tendue par trois points principaux concernant les experts qui participent au projet :

- l'expérience acquise par les experts qui conduisent des analyses depuis 10 à 30 ans ;
- l'appartenance au PATOUH (Pôle d'Appui Technique aux OUvrages Hydrauliques) des experts : la qualification des experts du pôle se fait sous le contrôle du Comité technique du PATOUH qui propose une liste d'experts pour validation au comité de suivi. Tous les ans, le maintien d'un expert dans la liste est examiné par le Comité technique sur la base d'un rapport d'activité indiquant les missions réalisées au titre du pôle, la participation aux activités collectives du pôle et la formation continue dans le domaine d'activité du pôle ;
- des analyses ont montré la répétabilité et la reproductibilité des évaluations fournies par les experts amenés à renseigner les grilles de qualité.

3. Démarche

La méthodologie développée pour l'analyse de la qualité des indicateurs se déroule en 4 grandes étapes : analyse du système et de ses modes de défaillance, définition des grilles d'analyse de la qualité, quantification de la qualité des données, contrôle de la qualité des données. La Figure 2 présente ces 4 étapes pour les phases de développement et d'utilisation.

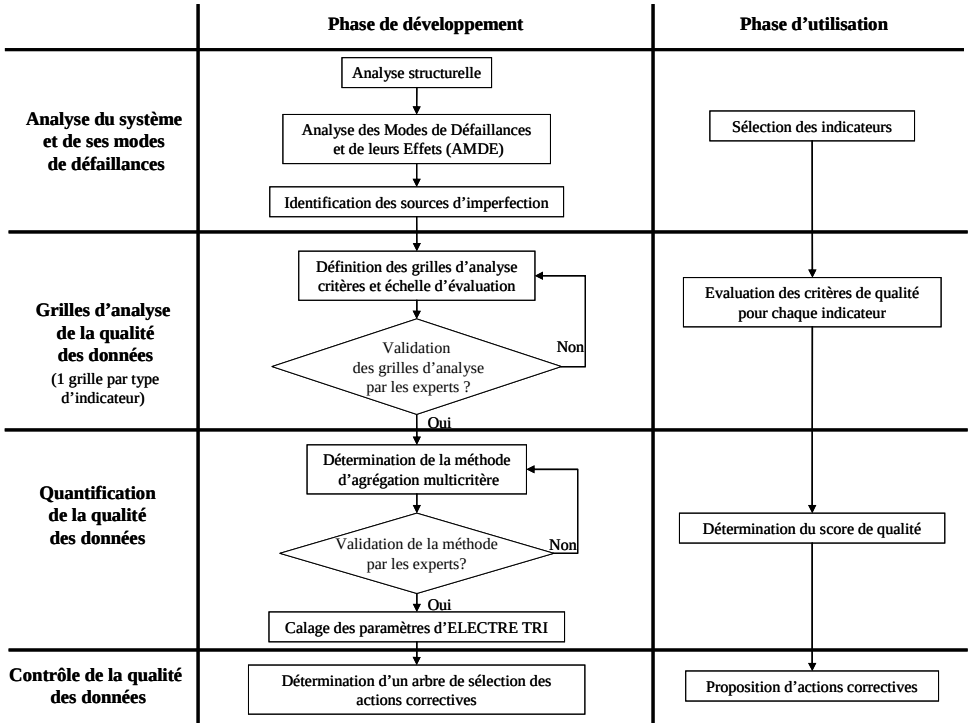

Figure 2. *Méthode d'analyse et de contrôle de la qualité des données*

L'analyse du système et de ses modes de défaillance, basée sur une analyse structurelle et une analyse des modes de défaillances selon la méthode AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets) permet d'identifier les sources d'imperfection. Cette analyse est conduite pour deux sous-systèmes : le sous-système physique c'est-à-dire les instruments et dispositifs de mesure et le sous-système de traitement c'est-à-dire les méthodes et logiciels qui permettent le traitement des données de base en données brutes. Pour les quatre systèmes étudiés (indicateurs visuels, indicateurs auscultés, indicateurs calculés et indicateurs de conception ou réalisation), deux phases sont considérées : la phase de conception et réalisation (installation des instruments d'auscultation sur l'ouvrage) et la phase d'utilisation. Le Tableau 1 présente un exemple de table issue de l'AMDE pour les indicateurs d'auscultation.

Phases	**Sous-systèmes**	**Modes de défaillance**	**Critères associés**
Phase de conception	Sous-système physique	Nombre d'instruments insuffisant	Nombre d'instruments
		Localisation des instruments non pertinentes	Localisation des instruments
		Sensiblité insuffisante des instruments	Sensibilité des instruments
	Sous-système de traitement des données	Type de logiciel inapproprié	Type de logiciel
Phase d'installation	Sous-système physique	Installation des instruments inappropriée	Installation des instruments
	Sous-système de traitement des données	Nombre de données insuffisant	Nombre de données
Phase d'utilisation	Sous-système physique	Sensibilité à des perturbations de l'environnement	Conditions opératoires Répétabilité

Tableau 1. *Exemple de table issue de l'AMDE. Cas des indicateurs auscultés*

La définition des grilles d'analyse de la qualité des données consiste à établir les critères d'analyse à partir des tables d'AMDE (cf. Tableau 1), puis une échelle permettant de quantifier chacun de ces critères. Une grille d'analyse de la qualité a été développée pour chacun des types d'indicateurs. Le nombre de critères diffère d'une grille à l'autre et est compris entre 7 et 12 critères. Ils prennent en compte : les défauts des systèmes de mesure, les défauts des modèles de traitement et les défauts des données. Le Tableau 2 présente les critères d'analyse pour le cas des indicateurs visuels. Quatre grandes catégories de critères ont été identifiées : la qualité de la mesure, la capacité à mener le processus d'observation, le traitement des données et la capacité à évaluer les changements au cours du temps. Certaines de ces catégories sont communes à plusieurs types d'indicateurs.

La notation des critères s'effectue sur une échelle allant de 0 à 3 avec les jalons : 0 (« excellent »), 1 (« bon »), 2 (« médiocre ») et 3 (« mauvais »). Cette échelle a été définie par les experts. Lorsque l'information n'est pas disponible (aucun renseignement sur les conditions météo pendant la visite par exemple), la note « NA » est affectée au critère.

Catégorie	Critère
Qualité de la mesure	Capacité d'analyse/Réactivité de l'observateur (CV-1)
	Visibilité et conditions d'accessibilité (CV-2)
	Conditions climatiques (CV-3)
Capacité à réaliser le processus d'observation	Fiabilité des moyens matériels mis en œuvre pour l'observation (CV-4)
	Cheminement – temps mis pour faire la visite (CV-5)
Traitement des données	Qualité du rapport (CV-6)
Capacité à évaluer les changements au cours du temps	Changement d'observateur (CV-7)
	Conditions (saison, niveau de la retenue) (CV-8)

Tableau 2. *Grille d'analyse pour les indicateurs visuels*

La quantification de la qualité des données repose sur une agrégation multicritère et permet le calcul d'un score de qualité pour chaque indicateur considéré. Le score agrégé s'exprime sur une échelle de 1 à 5 avec 5 jalons : 1 (« excellent »), 2 (« bon »), 3 (« médiocre »), 4 (« mauvais ») et 5 (« inacceptable »). L'agrégation des critères pour obtenir un score unique a été menée en utilisant la méthode ELECTRE TRI qui a été montrée comme la méthode d'agrégation multicritère la plus pertinente pour notre application (Talon et al. 2009). La première étape a consisté à hiérarchiser les critères en critères essentiels et critères importants. Cette hiérarchisation a été réalisée à dire d'expert. Les paramètres de la méthode ont ensuite été calés à partir d'un premier jeu de données : un groupe d'experts a déclaré un score de qualité à partir de l'évaluation des critères fournis pour 22 indicateurs. La méthode a ensuite été validée sur un autre jeu de données comportant 43 indicateurs. Les résultats montrent l'accord entre le score global fourni par les experts et celui fourni par ELECTRE TRI.

L'obtention du score de qualité (SQ) et l'évaluation des critères permettent de mettre en œuvre des actions correctives décrites par un arbre présenté sur la Figure 3. Le premier niveau de décision repose sur la valeur de l'agrégation multicritère : si SQ est inférieur ou égal à 2 c'est-à-dire est jugé comme « excellent » ou « bon », aucune action corrective n'est entreprise. Dans le cas où SQ est strictement supérieur à 2, un deuxième niveau de l'arbre est activé. Ce niveau raisonne sur les évaluations des critères (gj). Si gj est inférieur ou égal à 1, aucune action n'est entreprise car le critère est jugé comme « « excellent » ou « bon ». A contrario, si gj est supérieur ou égal à 2, des actions spécifiques à chaque indicateur sont entreprises : certaines d'entre elles sont présentées sur le Tableau 4. Par ailleurs, un délai de mise en œuvre est associé à ces actions : en fonction de la valeur de gj et de la hiérarchisation des critères en « importants » et « essentiels ». Ainsi, un critère essentiel évalué à 3 devra être corrigé de manière urgente, tandis qu'un critère important évalué à 2 pourra être corrigé à moyen terme. Cet arbre de décision permet d'améliorer la qualité des indicateurs en arbitrant le délai de mise en œuvre

des actions correctives par rapport au niveau de dégradation de l'indicateur et à l'importance du critère. Ceci permet de réaliser une planification des actions correctives sur le système de mesure et de raisonner dans un cadre de ressources limitées. L'arbre de décision de la Figure 3 a été recueilli auprès des experts et décrit leur mode de fonctionnement en situation réelle d'analyse.

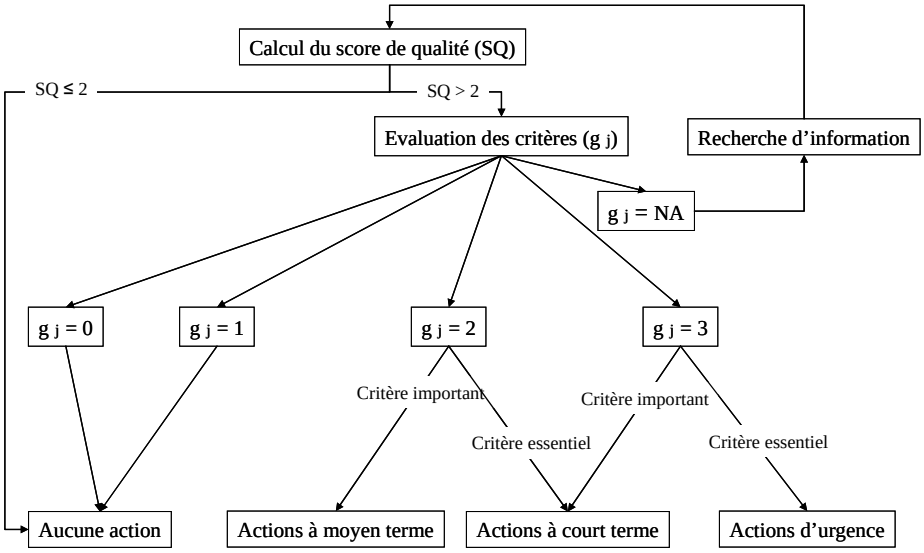

Figure 3. *Arbre de décision pour les actions correctives sur les systèmes de mesure*

D'autres organismes ont développé des méthodes d'analyse et de contrôle du système de mesure de leurs ouvrages. C'est par exemple le cas d'Hydro-Québec qui hiérarchise les actions de maintenance sur le « système de surveillance » de son parc d'ouvrages à partir de l'état des dispositifs, de leur implication dans la détection des mécanismes de dégradation et de l'importance du barrage ((Hydro-Québec 2005).

4. Application

4.1 *Description de l'ouvrage*

L'ouvrage considéré est un barrage en remblai homogène constitué d'arènes de 13 m de haut et de 230 m de long. La retenue a une superficie de 27 ha à la cote normale. Le parement amont est recouvert d'une protection anti-batillage par enrochement sur géotextile, entre les cotes 408 et 412. L'ouvrage possède un drain cheminée localisé à 10 m à l'aval de l'axe et 3 drains horizontaux utilisés comme exutoires du drain vertical. La fondation est caractérisée par plusieurs couches

d'alluvions (grave, argile et sable) reposant sur un substratum de grès compact. L'étanchéité de la fondation est assurée par une tranchée en terre traversant les couches superficielles et ancrée dans le grès. 3 puits de décompression dans les alluvions assurent le drainage de la fondation. Le barrage est équipé d'un évacuateur de crues latéral à seuil libre. Le système d'auscultation est composé au jour de la visite de :

– 8 plots en béton encastrés en extrémité aval de crête qui permettent un suivi des déplacements altimétriques et planimétriques (campagne annuelle) ;

– 15 piézomètres répartis selon 6 profils amont-aval (mesure tous les 15 jours) ;

– 3 drains (mesure des débits tous les 15 jours).

4.2. *Résultats*

A l'issue de la visite, 21 indicateurs ont été évalués par un expert selon les grilles de qualité dont ils relèvent. Les notes affectées aux critères ont été agrégées par ELECTRE TRI. 7 indicateurs présentent un score de qualité calculé comme étant « Bon ». Ces indicateurs ne nécessitent pas d'action spécifique. Pour les 14 autres, les scores ont été établis à 3 (« médiocre ») ou 4 (« mauvais ») (cf. Tableau 3) et nécessitent la mise en œuvre d'actions correctives. Elles correspondent à celles préconisées par l'expert à l'issue de sa visite (cf. Tableau 4).

SQ	Indicateurs
3	I1 – Fuite d'eau claire dans le coursier en aval du système d'étanchéité I2 – Fuite d'eau claire dans la galerie I3 – Fuite d'eau claire sur le remblai aval dans l'environnement de l'évacuateur I4 – Fuites localisées et chargées en exutoire de drainage ou en pied aval et au-delà I5 – Glissement du talus amont I6 – Glissement du talus aval
4	I7 – Zone humide au pied aval I8 – Zone humide loin du pied aval I9 – Saturation du remblai I10 – Augmentation du débit de drainage (remblai) I11 – Augmentation du débit de drainage (fondation) I12 – Piézometrie (remblai) I13 – Piézometrie (pied aval) I14 – Tassements (mesure instrumentale)

Tableau 3. *Liste des indicateurs de qualité médiocre ou mauvaise pour le barrage étudié*

Actions correctives proposées par l'algorithme	**Indicateurs**
Prendre en compte les éventuelles variations de condition (saison, niveau de la retenue) dans l'évaluation de l'indicateur	I1 – I2 – I3 – I4 – I5 – I6 – I7 – I8 – I9
La visite doit être menée par l'observateur qui a réalisé la visite précédent ou des éléments tels que des photographies doivent être fournis	I1 – I2 – I3 – I4 – I5 – I6 – I7 – I8 – I9
Refaire la visite lorsque les conditions climatiques sont adéquates	I7 – I8 – I9
Remplacer l'instrument par un instrument plus précis	I10 – I11
Améliorer la représentativité des données	I10 – I11 – I12 – I13
Remplacer le dispositif	I12 – I13
Changer la localisation de l'instrument	I12 – I13
Changer de logiciel de traitement des données	I10 – I11 – I12 – I13
Améliorer le rapport d'auscultation	I10 – I11 – I12 – I13 – I14
Augmenter le nombre de données et la durée d'observation	I10 – I11 – I12 – I13 – I14

Tableau 4. *Actions correctives proposées pour le barrage étudié*

Ces actions correctives sont affectées d'un délai de réalisation (cf. Figure 3). Par exemple :

– « refaire la visite lorsque les conditions climatiques sont adéquates » est une action à mener à court terme pour les différents indicateurs visuels sensibles aux conditions climatiques (I7, I8 et I9) ;

– « augmenter le nombre de données et la durée d'observation » pour l'ensemble des mesures instrumentales (I10 à I14) et « remplacer l'instrument par un instrument plus précis » pour les mesures de débit (il s'agit de changer le dispositif de mesure des débits par empotement qui ne permet pas d'atteindre une précision suffisante pour les valeurs élevées de débit) sont des actions à mener d'urgence.

5. Conclusion

Une méthode pour l'évaluation et le contrôle de la qualité des données utilisées pendant les inspections de barrage a été conçue et testée sur des cas simplifiés puis appliquée sur un cas réel : elle fournit une voie de modélisation des imperfections de ces données basée sur l'explicitation et la quantification des sources de ces imperfections. Les grilles d'analyse ont été développées pour les 4 types de données utilisées lors des expertises. Ces grilles sont génériques et devraient pouvoir être utilisées pour d'autres ouvrages de génie civil. Nous avons présenté dans cette communication l'un des objectifs de cette évaluation : la production d'un outil de

contrôle afin de réduire les imperfections et donc améliorer la qualité des données. La méthode appliquée à un cas réel de barrage à l'issue d'une visite décennale a montré que les actions proposées par l'algorithme et celles proposées par l'expert étaient similaires.

6. Bibliographie

Curt C., Peyras L., Boissier D., « A knowledge formalization and aggregation-based method for the assessment of dam performance », *Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol 25, 2010, p. 171-183.

Funtowicz S. O., Ravetz J. R., *Uncertainty and quality in science for policy*, Kluwer Academic Publishers, 1990.

Hydro-Québec, *Guide d'implantation des indices de condition - Barrages en remblai (document interne)*, 2005

Lair J., Evaluation de la durabilité des systèmes constructifs du bâtiment, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal Clermont II, 2000.

Talon A., Evaluation des scénarii de dégradation des produits de construction. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont II, 2006.

Talon A., Heyman S., Curt C., Félix H., « Estimation de la qualité des données d'expertise des barrages », *Actes des XXVIIe Rencontres Universitaires de Génie Civil*, St Malo, France, 03-05/06/2009.