
Etude comparée de deux méthodes d'amélioration de la qualité des données utilisées lors de l'expertise de barrages

Corinne Curt ^{1*} – Richard Gervais ²

¹ Cemagref – Groupe de Recherche Ouvrages Hydrauliques – 3275 Route de Cézanne – CS 40061 – 13182 Aix-en-Provence Cedex 5 – France

² Hydro-Québec – 75 René-Lévesque ouest, Montréal, QC – Canada H2Z 1A4

* corinne.curt@cemagref.fr

RÉSUMÉ. L'évaluation de la sécurité d'un ouvrage de génie civil repose sur l'utilisation d'une grande quantité de données. Ces données sont fréquemment « imparfaites » : elles contiennent incertitude, imprécision, incomplétude. Il est important de développer des systèmes d'évaluation et de maîtrise de ces imperfections afin d'une part, de quantifier la qualité des données utilisées pour évaluer la condition des ouvrages et d'autre part, de déclencher des actions correctives pour réduire ces imperfections. Deux méthodes ont été développées de manière indépendante afin de répondre à cette problématique. Cet article propose une étude comparée de ces deux méthodes. Cette analyse permet d'une part, de tirer une démarche générale d'amélioration de la qualité des données utilisées lors de l'expertise d'un ouvrage de génie civil et d'autre part, de fournir des méthodologies et outils pour les différentes étapes de cette démarche générale.

ABSTRACT. The safety assessment of civil works relies on the use of a large amount of data. These data are frequently "imperfect": they contain uncertainty, imprecision, incompleteness. It is important to develop systems allowing the assessment and the control of imperfections related to data used during dams' reviews. These systems should allow on the one hand, the quantification of the data quality and on the other hand, the lowering of imperfections thanks to corrective actions. Two methods were developed independently from one another. This paper proposes a comparative study concerning these two methods. This analysis permits drawing a general approach for the quality improvement of data used during dams reviews and providing methodologies and tools for the different steps of the global approach.

MOTS-CLÉS : imprécision – incertitude – incomplétude – qualité – évaluation – contrôle – barrage

KEYWORDS: imprecision – uncertainty – incompleteness – quality – assessment – control - dam

1. Introduction

Le maintien de la sécurité des ouvrages de génie civil rend important le développement de méthodes et d'outils d'aide à la décision permettant d'évaluer leur fiabilité et leur condition. C'est notamment le cas des barrages qui peuvent être sources de dangers pour les biens et les personnes situés à leur aval. Différentes méthodes sont disponibles pour évaluer la sécurité des barrages : modèles physiques, historiques des défaillances et des accidents (Foster *et al.*, 2000; Foster *et al.*, 2000), méthodes systémiques (Peyras *et al.*, 2006 ; Serre *et al.*, 2007), méthodes à base de connaissances (Andersen *et al.*, 2001 ; Curt *et al.*, 2010 ; Hydro-Québec, 2005). Les méthodes à base de connaissances reposent sur un ensemble de données analysées au cours de l'expertise des barrages : données issues de l'auscultation, inspection visuelle, données provenant de modèles mathématiques et données de conception et réalisation. Ces données sont ensuite combinées afin de déterminer la condition ou la fiabilité du barrage. Elles présentent plus ou moins d'imperfections qui relèvent de trois grands types (Bouchon-Meunier, 1999) : imprécision, incertitude et incomplétude. Il est important d'avoir un système de maîtrise des imperfections qui entachent ces données afin de quantifier la qualité des données utilisées pour évaluer la condition des ouvrages et déclencher des actions correctives sur les systèmes d'évaluation de ces données pour réduire ces imperfections. Des travaux ont été développés pour améliorer la qualité des données utilisées pendant les expertises de barrages. La méthode des Indices de condition déployée par Hydro-Québec vise à déterminer à un instant donné, la condition d'un barrage et notamment celle de son système de surveillance et à proposer des actions correctives (Hydro-Québec, 2005). Dans cet article, nous nous intéressons uniquement à la méthode sous l'angle du système de surveillance. La méthode d'analyse de la qualité des données développée par le Cemagref vise également à évaluer la qualité des différentes données utilisées pendant une expertise de barrages et à fournir des actions correctives le cas échéant (Curt et Talon, 2010). Nous montrons dans cet article que ces méthodes, bien qu'ayant été développées de manière totalement indépendante, répondent à une démarche générale.

2. Analyse des données utilisées lors de l'expertise des barrages

La première question qui se pose lors du développement de méthodes d'amélioration de la qualité des données concerne la définition du système étudié. Dans le cas des données utilisées pour réaliser des expertises de barrages, le système est constitué d'une part, par le système de mesure (SM) défini par « ensemble complet d'instruments de mesure et autres équipements assemblés pour exécuter des mesurages spécifiés » (AFNOR, 1994) et d'autre part, par le système de traitement des données (ST). En effet, certaines données subissent des traitements avant d'être utilisées (cf. Figure 1) : il s'agit d'une part, de traitements statistiques pour les données d'auscultation afin d'éliminer les perturbations telles que les variations de la cote du plan d'eau et de se ramener à conditions constantes, et d'autre part, de

l'utilisation de données d'auscultation et de données de conception-réalisation comme entrées de modèles mathématiques pour la définition de valeurs calculées telles que le gradient hydraulique (cf. Figure 1). Ainsi, la qualité d'une donnée provient du système d'évaluation composé du SM et le cas échéant du ST.

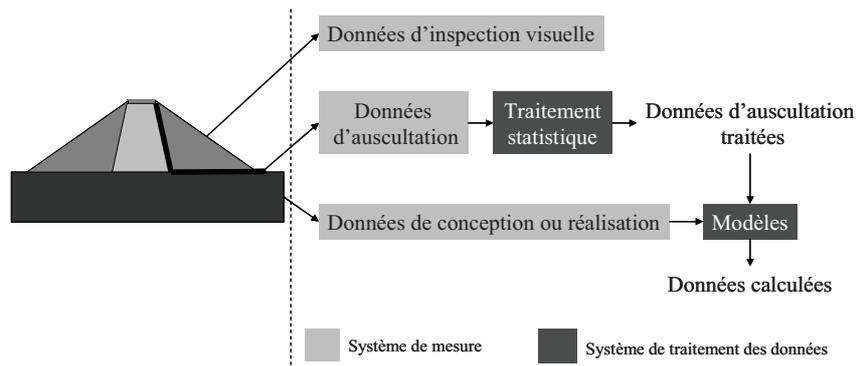


Figure 1. Données utilisées lors d'une expertise de barrage et traitements associés

Le SM est constitué de composants particuliers à chaque type de données. Le SM-données d'auscultation est composé des instruments de mesure tels que piézomètres, capteurs de débit... Le SM-données de conception ou de réalisation est constitué par des équipements permettant des essais in situ ou en laboratoire. Le SM-observations visuelles est l'expert qui réalise l'observation visuelle. Le SM-données calculées est constitué par les deux systèmes de mesure rattachés aux données de conception ou de réalisation et données d'auscultation. Le ST des données concerne les données d'auscultation traitées et les données calculées à l'aide de modèles mécaniques.

Pour tout système physique, il est possible de définir un cycle de vie. Celui-ci est composé des étapes de conception, réalisation, exploitation et démantèlement. Dans notre cas, les trois premières étapes sont susceptibles d'introduire une perte de la qualité des données produites (cf. Tableau 1). La phase de conception du SM et du ST est importante au travers du choix du SM (type d'instruments, d'essais...), de son implantation (position de l'instrument sur le talus aval...), du ST (logiciel)... Elle concerne pour le SM, les instruments d'auscultation et les essais géotechniques et pour le ST, les logiciels de traitement des données d'auscultation et les logiciels de calcul de modèles mécaniques. La phase de réalisation intéresse seulement les instruments d'auscultation au travers de leur installation dans le barrage ou les fondations. La phase d'exploitation concerne majoritairement deux types de SM –le système de mesure visuelle et le système de mesure par auscultation– et le ST pour l'analyse des mesures d'auscultation.

Type de système	Phase du cycle de vie		
	Conception	Réalisation	Exploitation
SM – Observation visuelle			X
SM – Donnée d’auscultation	X	X	X
SM – Donnée conception/réalisation	X		
ST – Donnée d’auscultation	X		X
ST – Donnée conception/réalisation	X		

Tableau 1. Analyses en fonction des phases du cycle de vie et du système étudié

Le Tableau 1 récapitule les analyses pertinentes en fonction de la nature du système considéré. Ce tableau permet de définir les analyses à conduire en fonction de la phase explorée ou du système ou du type de donnée visés. C’est ainsi qu’une méthode orientée vers la maintenance du système de surveillance du barrage, qui concerne uniquement la phase d’exploitation et les systèmes de mesure, ne va s’intéresser qu’aux SM visuel et SM ausculté. Inversement, si l’on souhaite mener une étude sur la qualité de la conception et de la réalisation du système d’évaluation de l’ouvrage, les observations visuelles ne seront pas prises en considération ; par contre, une analyse des SM d’auscultation, du SM des données de conception et réalisation et du ST devra être faite. Enfin, si l’on souhaite faire un focus sur un type de données, les données d’auscultation, il faudra considérer toutes les phases du cycle de vie pour le SM d’auscultation et le ST. Cette étude permet de mettre en évidence qu’en fonction de l’objectif à atteindre (maintenance, analyse...), le système à étudier diffère. Ce Tableau qui a été ici décrit pour les barrages devrait pouvoir s’appliquer à différents ouvrages de génie civil car les quatre types de données identifiées sont communs aux différents ouvrages.

3. Démarches d’amélioration de la qualité des données

Le principe général des démarches d’amélioration de la qualité des données, développées respectivement par Hydro-Québec et par le Cemagref est le même : ces deux méthodes fonctionnent de manière similaire en 2 phases (cf. Figure 2) : évaluation de la qualité des données considérées et maîtrise de la qualité par détermination des actions correctives à appliquer sur le système considéré.

La phase d’évaluation de la qualité des données est composée de 3 étapes : définition de l’objectif (maintenance, analyse...), sélection des données pertinentes (pour une nouvelle étude, il est possible d’utiliser le Tableau 1), définition des critères et de leur échelle de notation, agrégation des critères pour obtenir une note globale de qualité pour la donnée considérée. La phase d’amélioration de la qualité des données comprend quant à elle une seule étape de définition des actions correctives qui fournit d’une part, la nature et d’autre part, l’échéance ou une hiérarchisation de ces actions à partir de la note globale de qualité (cf. Figure 2).

Les paragraphes suivants proposent une comparaison des deux approches.

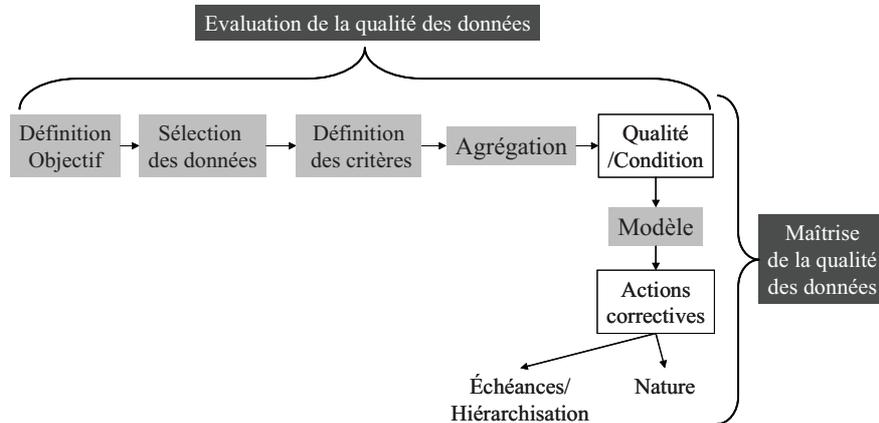


Figure 2. Principe de l'évaluation et de la maîtrise de la qualité

3.1. Evaluation de la qualité des données

3.1.1. Objectif des méthodes

Les objectifs des deux démarches sont différents. La méthode des Indices de Condition vise à définir des priorités dans la programmation des actions de maintenance de l'année d'exploitation considérée pour le système de surveillance (inspection visuelle et dispositifs d'auscultation). La méthode développée par le Cemagref a pour objectif de proposer des actions correctives pour l'ensemble de la chaîne de mesure. Une échéance de réalisation est affectée à chacune des actions correctives proposée (action d'urgence, action à court terme, action à moyen terme).

3.1.2. Sélection des données pertinentes

La sélection des données pertinentes découle de l'objectif de la méthode. Pour Hydro-Québec, sont sélectionnés les SM liés à la phase exploitation donc uniquement les SM-Observations visuelles et SM-Données d'auscultation (cf. Tableau 1). Pour la méthode Cemagref, on s'intéresse à la qualité de l'information sur toute la vie de l'ouvrage, donc tous les SM et ST listés dans le Tableau 1 sont étudiés à toutes les phases de la vie du système d'évaluation.

3.1.3. Définition des critères

Les critères sont obtenus dans le cas de la méthode des IC à la suite de séances de recueil d'expertise. Dans le cas de la méthode du Cemagref, les critères sont issus

d'une analyse du système et de ses défaillances conduite selon la méthode AMDE (Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets) qui permet de lister un ensemble de critères ensuite confortés par un panel d'experts. Dans les deux méthodes, un groupe d'experts joue un rôle essentiel dans la définition des critères et notamment pour ce qui concerne le nombre de critères à conserver et le choix des termes pour les nommer. Dans les deux méthodes, les critères sont spécifiques du type de données : observations visuelles, données d'auscultation, données de conception ou réalisation, donnée calculée. Les critères définis dans les deux approches pour les données d'auscultation sont explicités dans le Tableau 2.

Catégories de critères	Critères utilisés par le Cemagref	Critères utilisés par Hydro- Québec
SM – Phase de conception	2 critères	
SM – Phase d'exploitation – Critères liés à l'appareil	Précision - fidélité	Données pas exactes
	Représentativité	Absence de données
	Etat	Appareil ne fonctionnant pas
	Fréquence des mesures	Fréquences incorrectes
SM – Phase d'exploitation – Critères liés à l'inspecteur	3 critères	
ST	3 critères	

Tableau 2. Comparaison des critères utilisés par le Cemagref et Hydro-Québec pour les données issues de l'auscultation

Le nombre de critères pour évaluer un type de donné est différent dans les deux approches : 3 critères sont définis pour la méthode des IC et 12 pour la méthode Cemagref. Ces différences peuvent s'expliquer de manière suivante : les critères définis pour les mesures d'auscultation peuvent être classés en 4 catégories (cf. Tableau 2), à savoir, les critères liés au SM en phase de conception, les critères liés au SM en cours d'exploitation et les critères liés au ST. Les critères liés au SM en cours d'exploitation peuvent être subdivisés en critères liés à l'appareil et critères liés à la personne en charge du recueil des données d'auscultation. La méthode des IC s'intéressant aux actions de maintenance, seule la catégorie SM – Phase d'exploitation – Critères liés à l'appareil est pertinente. Une comparaison effectuée sur cette catégories entre la méthode Cemagref et la méthode Hydro-Québec montre que les critères sont alors les mêmes. Seuls les critères relevant de cette catégorie sont présentés dans le Tableau 2. De la même manière lorsqu'on réalise une analyse comparée pour ce qui est des observations visuelles, des points communs sont relevés. Ces comparaisons montrent que les critères définis dans les deux méthodes sont adaptés à l'objectif mais que des constantes existent. Une fois les critères définis, une échelle autorisant leur évaluation doit être fournie (cf. Figure 3).

Dans les deux méthodes, ces échelles ont été définies par un groupe d'experts. Dans la méthode développée par le Cemagref, les critères sont évalués sur une échelle de 0 (excellent) à 3 (très mauvais) (cf. Figure 3). Dans la méthode développée par Hydro-Québec, les critères d'évaluation varient de 0 (condition inacceptable) à 100 (condition excellente) ce qui permet de raisonner sur des pourcentages comme le pourcentage de surface ne pouvant être inspectée.

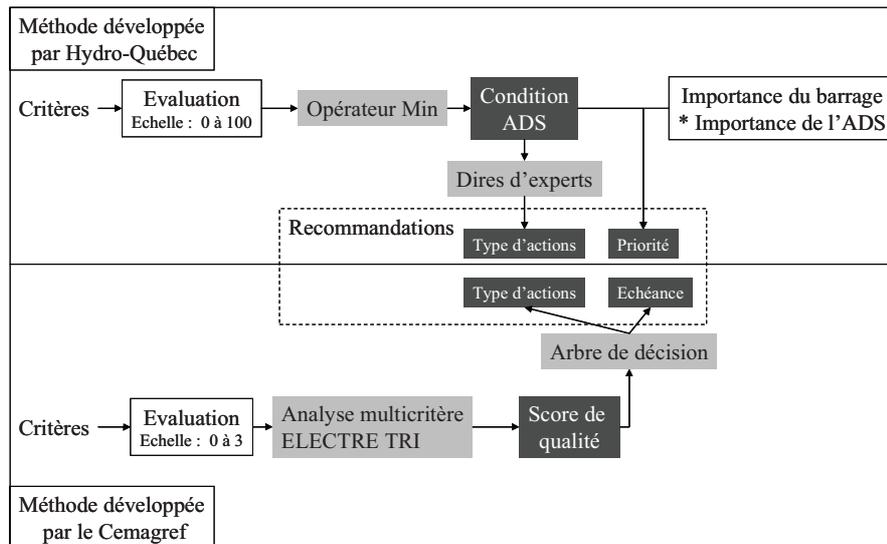


Figure 3. Détail de la Méthode développée par Hydro-Québec et de la méthode développée par le Cemagref - ADS : Activité ou Dispositif de Surveillance

3.1.4. Agrégation

L'objectif de la phase d'agrégation est d'obtenir une note globale de qualité ou de condition pour chacune des données considérées (cf. Figure 3). Les notes affectées aux différents critères pertinents pour la donnée étudiée (cf. Tableau 2) peuvent être agrégées selon différentes approches. Le choix de l'approche est notamment lié au nombre de critères à agréger : il est en effet difficile pour l'esprit humain de gérer simultanément plus de 7 concepts (Miller, 1994). Ainsi, pour la méthode des IC, le nombre de critères étant inférieur à 7, l'agrégation est faite directement par l'expert (opération Minimum) et permet d'obtenir l'indice de condition d'une activité ou d'un dispositif de surveillance pour un barrage. Pour la méthode développée par le Cemagref, dans laquelle le nombre de critères est supérieur à 7, nous avons fait appel à la méthode d'agrégation multicritères ELECTRE TRI qui permet d'obtenir un score de qualité QS exprimé sur une échelle de 1 (« Excellent ») à 5 (« Inacceptable ») (Curt et Talon, 2010).

3.2. Maîtrise de la qualité des données

Cette étape vise à déterminer des actions correctives à appliquer sur le système d'évaluation pour améliorer la qualité des données. Deux éléments sont importants : la nature des actions et l'échéance ou la priorité à leur accorder.

Différents types d'actions correctives peuvent être envisagées : maintenance, réparations, inspections supplémentaires, actions d'urgence... Le type d'actions provient dans les 2 méthodes d'un groupe d'experts et montre de fortes similitudes. La différence entre les deux méthodes réside dans la présence ou non d'une liste d'actions prédéfinies. Dans la méthode Cemagref, les actions sont prédéfinies pour chacun des critères. Par exemple, l'activation du critère « Conditions de visibilité – Accessibilité » pour les données issues de l'observation visuelle déclenche des actions de maintenance (nettoyage de l'exutoire du drain, fauchage du parement aval...). La liste des actions possibles est finie et relativement courte. Elles correspondent aux actions d'inspection, maintenance et réparation communément pratiquées dans le domaine du génie civil. Ceci explique que dans la méthode des IC, il n'existe pas de liste prédéfinie d'actions. Ce sont les experts qui définissent dans chaque cas les actions à conduire.

Le deuxième élément essentiel dans la détermination des actions correctives est soit de fixer une échéance de réalisation, soit de les prioriser. Les deux méthodes étudiées offrent chacune un exemple de ces deux objectifs. Pour la méthode des IC, il s'agit de hiérarchiser les actions correctives. Cette hiérarchisation est déterminée en prenant en compte l'importance du barrage dans le parc, l'importance relative de l'activité ou du dispositif de surveillance (ADS) et l'indice de condition de l'ADS. Il est alors possible de réaliser un classement et une comparaison directe de tous les ADS et d'établir des priorités pour des actions de maintenance sur ceux-ci. Le classement prioritaire va privilégier les ASD les plus significatifs sur les barrages les plus importants qui sont dans la plus mauvaise condition. Dans la méthode Cemagref, on établit une échéance : les actions correctives sont classées dans quatre catégories : « pas d'action », « action à long terme », « action à moyen terme » et « action d'urgence ». L'affectation d'une échéance est réalisée en prenant en compte la valeur de QS d'une part et d'autre part, du poids de chacun de ces critères (essentiel ou important) défini pour la méthode ELECTRE TRI.

5. Conclusion

Cet article présente une étude comparée de deux méthodologies développées de manière indépendante visant à améliorer la qualité des données utilisées lors des expertises de barrages. Nous avons pu dégager des constantes entre les 2 méthodes qui fonctionnent en deux phases, évaluation puis maîtrise de la qualité. Par ailleurs, à l'intérieur de ces phases, les différentes étapes sont les mêmes. Les différences relevées proviennent de l'objectif des démarches : évaluation de la chaîne complète de mesures dans le cas du Cemagref et priorisation des actions de

maintenance/réparation du système de surveillance du barrage dans le cas de la méthode Hydro-Québec. De ceci découlent des choix méthodologiques différents mais adaptés au cas traité. Ainsi, le choix de la méthode d'agrégation va dépendre du nombre de critères étudiés, lui-même dépendant du système étudié (SM ou SM et ST) et de la phase de vie considérée (conception, réalisation, exploitation).

Nous avons récapitulé dans le Tableau 3 les différents choix méthodologiques pris dans les deux méthodes supports de notre analyse. Ce tableau peut servir de trame à une étude portant sur la qualité des données pour d'autres ouvrages du génie civil. Les méthodologies proposées dans la colonne de droite ne sont bien sûr pas les seules possibles mais d'autres peuvent être proposées en fonction du cas traité : par exemple, l'agrégation des critères C_i pourrait être effectuée par le développement de règles SI-ALORS : SI $C_1 = a$ et SI $C_2 = b$ et SI $C_3 = c$ et SI $C_4 = d$ ALORS QS = e. Ce type d'approche peut être intéressant dans le cas où le nombre de critères est inférieur à 7.

Phases	Étapes	Méthodologies
Evaluation de la qualité des données	Sélection des données	Utilisation du Tableau 1
	Détermination des critères	Approche type sûreté de fonctionnement couplée à recueil et validation auprès d'un groupe d'experts Définition par un panel d'experts
	Définition de l'échelle de notation	Définition par un panel d'experts
	Agrégation des critères	Approches multicritères Opérateurs mathématiques (somme, produit...) Règles SI-ALORS
Maîtrise de la qualité des données	Types d'actions	Définition par un panel d'experts Liste pré-établie par un panel d'experts
	Définition de priorités ou d'échéances	Priorité calculée par opérateur mathématique à partir de données fournies par des tables pré-établies et adaptées au cas traité par les experts Arbre de décision défini par un panel d'experts Utilisation d'algorithmes d'optimisation

Tableau 3. Méthodes possibles pour l'évaluation et la maîtrise de la qualité des données utilisées lors de l'expertise de barrages

6. Bibliographie

AFNOR, Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie, NF X 07-001, 59 pages, 1994.

Andersen G. R., Chouinard L. E., Hover W. H., Cox C. W., « Risk indexing tool to assist in prioritizing improvements embankment dam inventories », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 127, 2001, 325-334.

Bouchon-Meunier B., La logique floue, Presses Universitaires de France, 1999.

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, 171-183.

Curt C., Talon A., « Analyse et contrôle de la qualité des données utilisées lors des expertises de barrages », *Fiabilité des Matériaux et des Structures 2010*, 2010, Toulouse, France.

Foster M., Fell R., Spannagle M., « A method for assessing the relative likelihood of failure of embankment dams by piping », *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 37, 2000, 1025-1061.

Foster M., Fell R., Spannagle M., « The statistics of embankment dam failures and accidents », *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 37, 2000, 1000-1024.

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

Miller G., « The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information », *Psychological Review*, vol. 101, 1994, 343-352.

Peyras L., Royet P., Boissier D., « Dam ageing diagnosis and risk analysis: Development of methods to support expert judgement », *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 43, 2006, 169-186.

Serre D., Peyras L., Curt C., Boissier D., Diab Y., « Evaluation des ouvrages hydrauliques de génie civil », *Canadian Geotechnical Review*, vol. 44, 2007, 1298-1313.