

Diagnostic et analyse de risques liés au vieillissement des barrages : développement de méthodes d'aide à l'expertise

Laurent Peyras^a, Paul Royet^a, Daniel Boissier^b et Alain Vergne^b

Le diagnostic des barrages et l'analyse des risques font appel à de puissantes méthodes de modélisation et de calcul, mais l'efficacité de ces moyens peut encore être accrue grâce à l'intégration des connaissances des experts et du retour de connaissances des nombreuses expériences vécues. Dans cet article, les auteurs présentent ces nouveaux outils qui se fondent sur des bases de connaissances relatives à la pathologie générale des barrages, aux mécanismes de vieillissement, mais aussi sur le développement d'outils informatiques d'aide à l'expertise et de méthodes d'organisation de la sûreté.

Évaluer la sécurité d'un ouvrage de génie civil en service, détecter les comportements anormaux, déterminer les origines de désordres, prévoir les évolutions futures et les risques potentiels, décider des mesures appropriées... telles sont les missions de diagnostic et d'analyse de risques accomplies par les ingénieurs spécialisés du génie civil. Pour réaliser ces tâches, des méthodes puissantes existent et apportent une aide précieuse : modèles physiques, calculs numériques, statistiques, fiabilité...

Toutefois, face à des ouvrages complexes et uniques, dans des contextes présentant des données insuffisantes, lors de diagnostics préliminaires, en situation d'urgence... ou encore en synthèse d'analyses approfondies, il est nécessaire de recourir au jugement des experts. À partir de leurs connaissances et de leur expérience, ces derniers vont fournir alors une interprétation, un avis ou une recommandation à la question posée.

Dans le domaine du génie civil, les barrages ont toujours été considérés comme des ouvrages d'art spécifiques. Les raisons se trouvent dans le caractère unique de chaque barrage, la complexité des comportements et des mécanismes en jeu et dans les effets majeurs des actions de l'eau. À ce titre, les règlements du génie civil excluent les barrages de leur champ d'application, comme l'ensemble des fascicules du CCTG¹ et, plus récemment, les

Eurocodes. De fait, là encore plus que dans le reste du génie civil, l'expert joue un rôle incontournable pour le diagnostic et l'analyse de risques des ouvrages en service.

Disposer d'une capacité d'expertise de haut niveau apparaît donc comme un objectif essentiel des exploitants de barrages, des bureaux spécialisés qui les assistent et des services de l'État qui les contrôlent. Dans ce contexte, l'objectif de notre recherche est de développer des méthodes d'aide à l'expertise. Notre démarche cherche à tirer profit de l'abondante expérience accumulée par les ingénieurs lors de leurs missions, et nos travaux visent à développer des méthodes pour capitaliser la connaissance et le retour d'expérience des experts sous forme de bases de données. D'autres objectifs sont sous-jacents : sauvegarder l'expérience des experts seniors, aider les jeunes ingénieurs, accéder rapidement aux informations...

En France comme à l'étranger, il n'existe pas de bases de données structurées d'incidents de barrages, permettant l'accès aux historiques de vieillissement. À ce titre, les données statistiques de la Commission internationale des grands barrages relatives aux détériorations des barrages offrent peu de détails dans la description des ouvrages et des mécanismes qu'ils subissent (Icold, 95). Par ailleurs, les initiatives de constitution de bases de données permettant le recueil précis

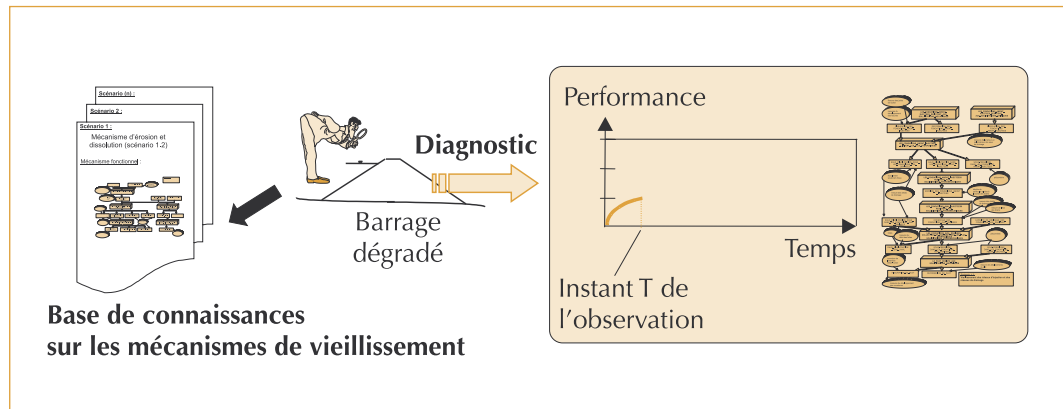
1. Cahier des clauses techniques générales.

Les contacts

^a Cemagref,
UR Ouvrages hydrauliques et équipements pour l'irrigation,
BP 31, Le Tholonet,
13612 Aix-en-Provence
Cedex 1

^b Université Blaise Pascal - Clermont II,
CUST/LGC,
24, avenue des Landais, BP 206,
63174 Aubière Cedex

► Figure 1 – Modèle de vieillissement.



et complet des informations sur les ouvrages et leurs mécanismes, n'ont pas donné de résultats exploitables, à l'instar du programme américain (McCann, 97). Outre la réticence générale des exploitants à communiquer les informations relatives aux détériorations de leurs barrages, les difficultés principales constatées sont d'ordre méthodologique : quelles informations faut-il conserver, à quelle précision et à quelle échelle de temps ? Notre travail s'inscrit dans ce cadre et nous cherchons à développer des méthodes pour constituer une base de connaissances sur la pathologie des barrages et une base de données d'historiques de vieillissement.

Ce travail, réalisé au Cemagref d'Aix-en-Provence, s'inscrit clairement dans un environnement professionnel à vocation de contrôle et de diagnostic des ouvrages hydrauliques de génie civil et plus particulièrement des barrages. Il a été conduit dans le cadre d'une thèse dirigée par l'université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand (Peyras, 2003b). Cette recherche a bénéficié du soutien du ministère chargé de l'environnement.

Notre objectif est de présenter ici la démarche de nos travaux et les principaux résultats obtenus, en recherche et en développement. Dans une première partie, nous développons un modèle fonctionnel de vieillissement destiné à capitaliser la connaissance experte. Nous présentons en seconde partie la méthode proposée pour écrire des historiques de vieillissement de barrages et capitaliser ainsi le retour d'expérience. Enfin, nous exposons notre démarche pour évaluer les risques liés au vieillissement des ouvrages en service.

Modèle de vieillissement pour capitaliser la connaissance experte relative à la pathologie des barrages

Construction d'un modèle fonctionnel de vieillissement des barrages

Le principe de notre démarche est le suivant : un expert confronté à un ouvrage présentant des désordres, s'il dispose d'une base de connaissances sur la pathologie des barrages, disposera alors d'une aide précieuse pour établir son diagnostic, à savoir déterminer les mécanismes de vieillissement à l'origine des détériorations observées et la performance du barrage et de ses composants à l'instant de l'expertise (figure 1).

Nous cherchons donc à produire une base de connaissances relative aux mécanismes de vieillissement. Le support de ce travail est la connaissance experte, c'est-à-dire une connaissance générale sur la pathologie des barrages. Nous souhaitons organiser ce savoir en une information synthétique, sous forme de base de données de mécanismes de vieillissement. Pour cela, il nous faut un modèle présentant un niveau d'abstraction élevé, pouvant prendre en compte tous les mécanismes de vieillissement et tous les types de barrages.

Nous nous sommes tournés vers les outils destinés à modéliser les systèmes à fonctionnement complexe (les techniques de la sûreté de fonctionnement [Zwingelstein, 1995]) et des outils permettant d'intégrer des connaissances hétérogènes et relevant de différentes disciplines (les modèles du raisonnement qualitatif [Trave *et al.*, 1997]). Nous construisons le modèle fonc-

tionnel de vieillissement en trois étapes, dont les détails méthodologiques sont développés en détail dans Peyras (2003b) :

– à partir de *l'analyse fonctionnelle*, nous réalisons une description précise des barrages et de leurs composants, des fonctions accomplies et des liens avec l'environnement ;

– la *méthode AMDE* (analyse des modes de défaillance et de leurs effets), utilisée classiquement dans les études industrielles de sûreté de fonctionnement (Villemeur, 1988), a été adaptée à notre domaine et aboutit aux modes de défaillance des composants, leurs causes et effets et leurs symptômes ;

– nous utilisons une représentation sous forme de *graphes causaux*, qui nous affranchit des limites imposées par les logiques binaires et chronologiques des méthodes de la sûreté de fonctionnement.

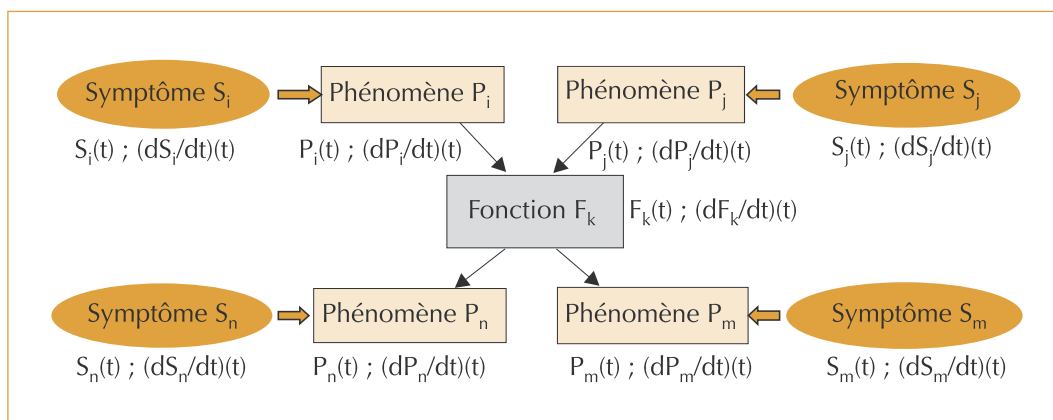
Au final, le modèle de vieillissement va consister à enchaîner des séquences fonctionnelles de défaillance, constituées de trois catégories de variables : les *fonctions* (F_i), les *phénomènes* (P_i), les *symptômes* (S_i). Un mécanisme de vieillissement est alors représenté sous forme d'un *scénario* constitué d'un ensemble de triplets $\{\Sigma_i, F_i, \Sigma_i, P_i, \Sigma_i, S_i\}$ (figure 2). Chaque variable du scénario de vieillissement est caractérisée par un attribut de premier ordre renseignant l'état (*performance des fonctions* : $F_i(t)$; *ampleur des phénomènes* : $P_i(t)$; *normalité des symptômes* : $S_i(t)$) et par un attribut de deuxième ordre renseignant l'évolution (*perte de performance* : $(dF_i/dt)(t)$; *amplification des phénomènes* : $(dP_i/dt)(t)$; *déviations des symptômes* : $(dS_i/dt)(t)$).

Un tel modèle présente de nombreux avantages : d'une part, il structure la connaissance experte sous forme de scénarios fonctionnels et organise l'information liée au vieillissement autour de trois catégories de variable (symptôme, phénomène et fonction), d'autre part, il permet de prendre en compte les dégradations partielles et progressives des variables et les mécanismes non chronologiques.

Renseignant de la base de connaissances sur la pathologie des barrages

Nous disposons d'un modèle de vieillissement destiné à représenter la connaissance experte sous forme de scénarios fonctionnels et nous cherchons maintenant à renseigner la base de connaissances. Ce travail est réalisé à partir des recueils d'expertise et des manuels techniques, qui contiennent des connaissances générales sur la pathologie des barrages. Nous renvoyons le lecteur intéressé vers Icold (1993) qui est l'une des références les plus remarquables sur le sujet. Ces références bibliographiques se caractérisent par une écriture propre à la rédaction des experts, à savoir une terminologie riche, une sémantique variée des termes, des descriptions des mécanismes à différentes échelles (spatiales et temporelles).

Nous analysons donc les recueils d'expertise afin d'en déduire, pour chaque mécanisme, les *modes de défaillance* en jeu, les *phénomènes* conduisant et résultant de ces modes de défaillance et les *symptômes* permettant de détecter les phénomènes. Nous classons ces informations et nous procédons à des regroupements et à des choix terminologiques afin d'obtenir des informations structurées et homogènes (notamment en terme



◀ Figure 2 – Principe du modèle de vieillissement.

de description spatiale), pouvant être intégrées dans des bases de données. Ensuite, nous pouvons construire le scénario sous forme de graphe causal correspondant à chaque mécanisme de vieillissement.

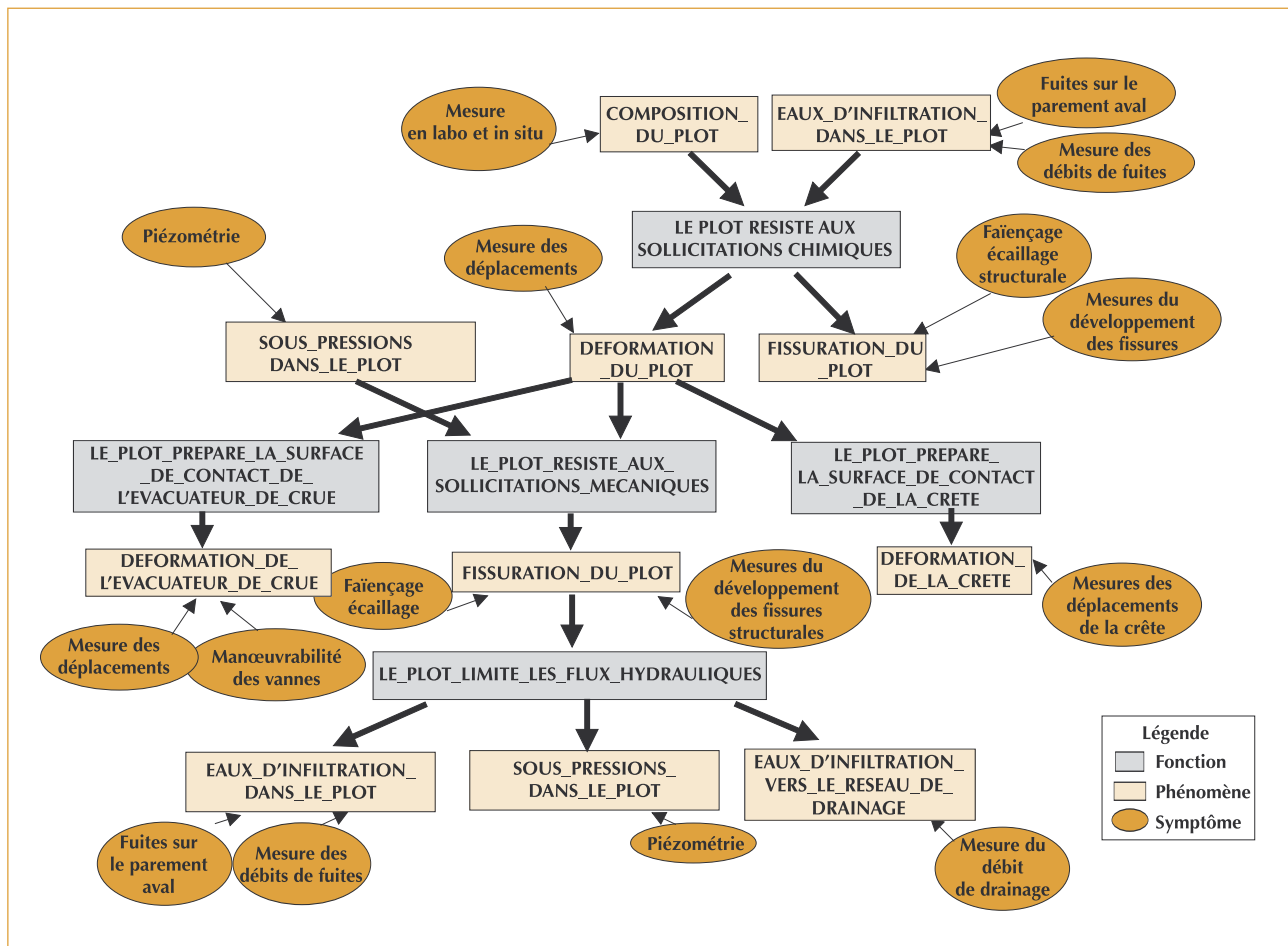
En terme de résultats, nous avons modélisé les principaux mécanismes des barrages poids et des barrages en remblai, couvrant l'essentiel du parc d'ouvrages relevant du contrôle du ministère chargé de l'environnement. Ce sont ainsi une vingtaine de scénarios de vieillissement qui ont été introduits dans la base de connaissances. À titre d'illustration, nous indiquons à la figure 3 le scénario d'alcali-réaction dans les barrages en béton représenté à l'aide du modèle de vieillissement, sous forme de succession de *phénomènes* (détectés par des *symptômes*) conduisant à des dégradations de *fonctions* et entraînant de nouveaux *phénomènes*.

▼ Figure 3 – Scénario d'alcali-réaction dans les barrages poids en béton.

Méthode d'écriture des historiques pour capitaliser le retour d'expérience des experts

Nous cherchons ici à produire une base de données d'historiques de vieillissement. Le support de ce travail est le retour d'expérience des experts, c'est-à-dire une connaissance liée aux études de cas auxquels les ingénieurs spécialisés ont été confrontés durant leur vécu professionnel, contenues dans les rapports d'expertise. Nous souhaitons traiter ce retour d'expérience en une information synthétique, sous forme d'historiques de vieillissement indiquant la chronologie de pertes de performance des ouvrages.

Les données manipulées ici sont dynamiques, évoluant en fonction du temps. Contrairement à la connaissance experte, les informations relatives au retour d'expérience sont peu abondantes, souvent incomplètes et imprécises.



Cela s'explique par le faible nombre de cas de barrages connaissant des incidents significatifs et à la réticence générale des exploitants à communiquer ces informations, mais aussi à un manque de méthodes pour structurer les données liées à la vie d'un ouvrage. Par conséquent, nous choisissons de produire des méthodes *qualitatives* d'analyse des dégradations. Par référence aux pratiques de la profession, nous adoptons une échelle à quatre états qualitatifs pour renseigner les fonctions, phénomènes et symptômes. Nous donnons à la figure 4 un exemple d'analyse qualitative d'un symptôme visuel.

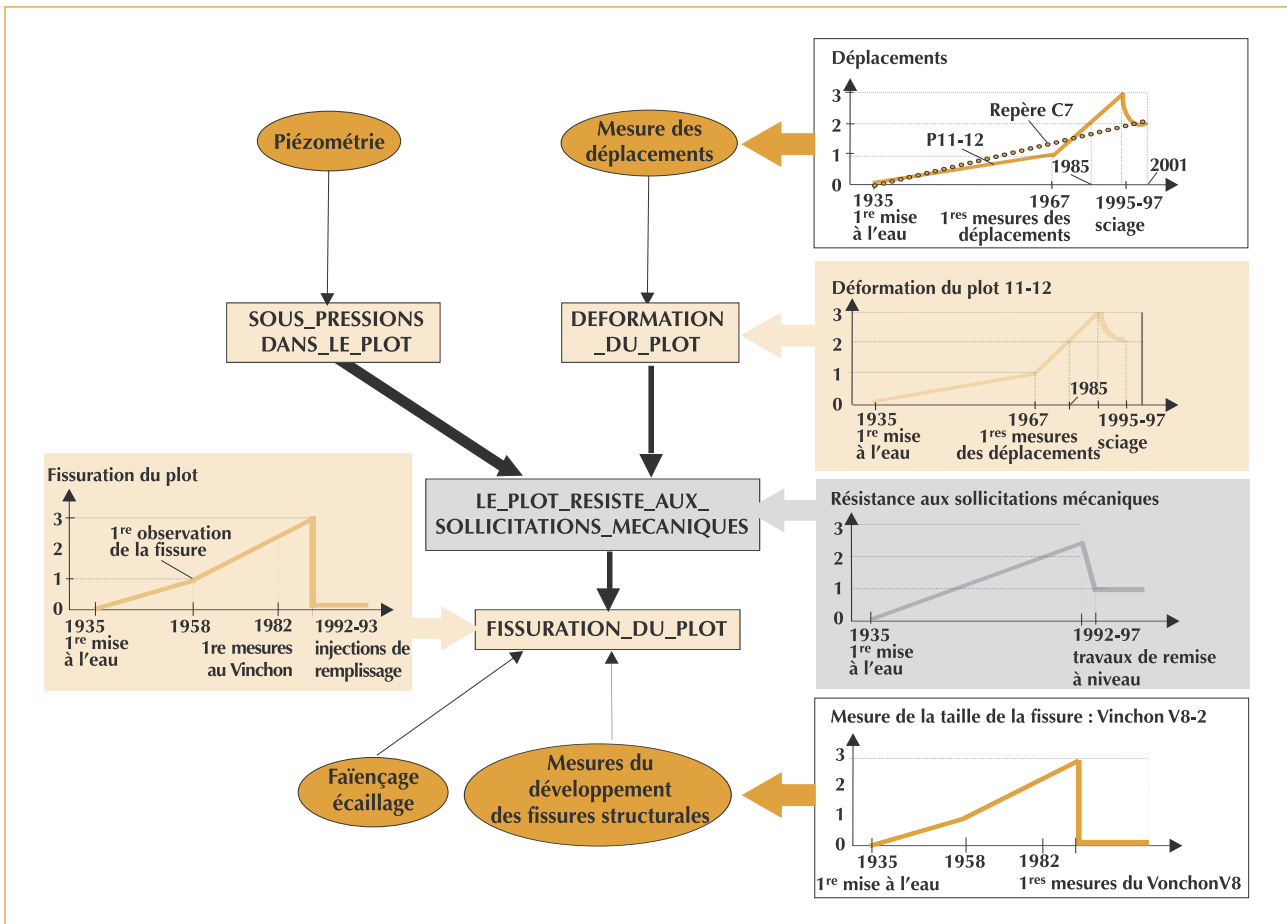


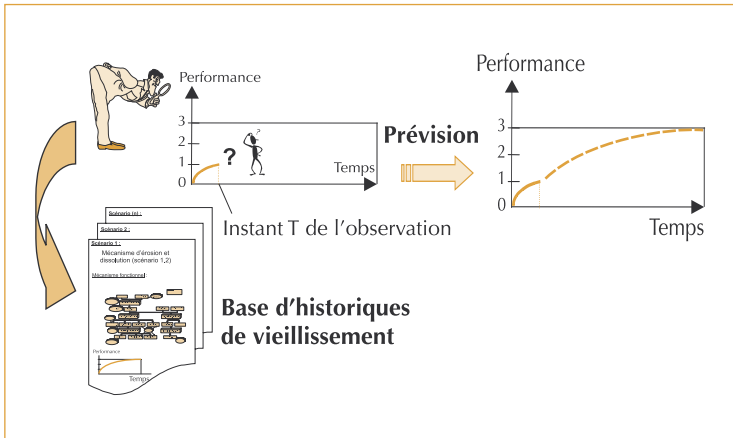
Figure 4 – Échelle à 4 états qualitatifs pour l'analyse des symptômes visuels : 0 = symptôme normal ; 1 = symptôme en écart léger avec l'état normal ; 2 = symptôme en écart sensible avec l'état normal ; 3 = symptôme alarmant.

À ce stade, nous disposons de tous les outils pour constituer l'historique de vieillissement d'un barrage présentant des désordres : tout d'abord, l'étape de diagnostic permet d'identifier le mécanisme en jeu ; ensuite, l'analyse des rapports d'expertise (observations visuelles, données d'auscultation, essais...) permet de construire les lois d'évolution des *symptômes*, des *phénomènes*, puis les lois l'évolution des

performances des *fonctions* accomplies par le barrage et ses composants. De façon analogue à l'ingénierie traditionnelle, les lois d'évolution des différentes variables (symptômes, phénomènes et fonctions) sont établies par jugement expert, à partir de l'analyse des différents symptômes.

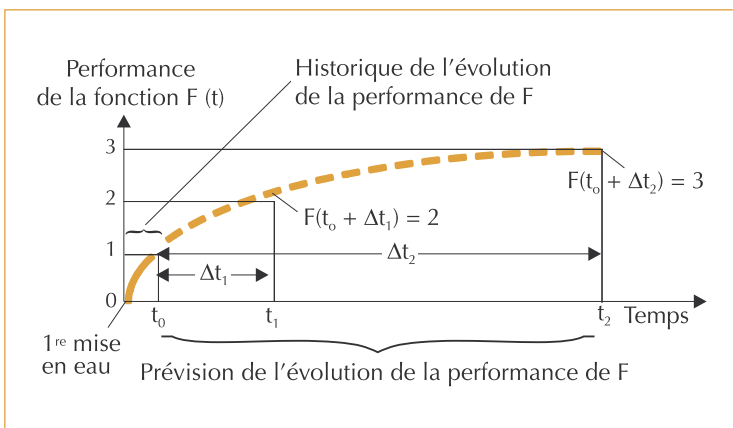
Figure 5 – Historique de vieillissement d'un barrage poids en béton.





▲ **Figure 6 – Démarche de prévision des évolutions et des conséquences.** À terme, l'objectif est de disposer d'une collection d'historiques de barrages, avec pour chacun d'eux une description fonctionnelle et dynamique des dégradations au cours du temps. La base de données des historiques est renseignée à partir du retour d'expérience des experts : au fil des missions réalisées par ces derniers, des exemples de mécanismes de vieillissement sont rencontrés et les historiques peuvent être progressivement constitués. Il est également possible de mettre à profit certaines publications bien documentées relatives à des études de cas. À titre d'illustration, nous indiquons à la figure 5 (p. 7) l'évolution de la performance de la résistance d'un grand barrage hydroélectrique français. Le lecteur intéressé pourra se référer à Peyras *et al.* (2003) pour l'analyse de détail de cette étude de cas.

▼ **Figure 7 – Démarche de prévision des évolutions et des conséquences.** **Méthodes d'analyse de la criticité** À partir d'une étude de cas de barrage connaissant des désordres, pour lequel nous avons établi le diagnostic (détermination du mécanisme en



jeu) et son historique de vieillissement (lois d'évolution des différentes variables et de la performance), nous souhaitons produire des méthodes pour prévoir l'évolution future des performances des fonctions accomplies par l'ouvrage et ses composants et pour analyser les risques. Le principe de notre démarche est le suivant (figure 6) : aidé d'une base de données d'historiques de vieillissement, un expert est à même de prévoir, par un raisonnement par analogie, l'évolution future de la performance d'une fonction donnée. Pour cela, il examine, dans la collection des historiques, les barrages du même type ayant subi le même mécanisme, il détermine comment se positionne le barrage étudié dans la dynamique du mécanisme et extrapole alors les évolutions et conséquences futures.

À partir des prévisions expertes de l'évolution des performances d'un barrage, nous cherchons à évaluer le risque lié à la dégradation des fonctions accomplies par cet ouvrage et ses composants. Ce risque lié à la perte de performance, appelé dans le domaine industriel la *criticité* (Modarres, 93), est obtenu classiquement en croisant, d'une part, une mesure de l'occurrence de la dégradation de la fonction, d'autre part, une mesure des conséquences de cette dégradation.

Tout d'abord, nous choisissons d'évaluer les mesures de l'occurrence des dégradations des fonctions à partir d'intervalles de temps (Δt_1 et Δt_2) déduits de la prévision experte (figure 7) : une mesure de l'occurrence d'une dégradation d'une unité Δt_1 , correspondant au temps estimé par l'expert pour que une fonction étudiée se dégrade d'une unité qualitative, et une mesure de l'occurrence de la défaillance Δt_2 , correspondant au temps estimé par l'expert pour qu'une fonction étudiée soit défaillante.

Évaluer l'occurrence des dégradations par des intervalles de temps présente un double intérêt : d'une part, cette démarche est d'une utilisation naturelle pour l'expert qui est souvent amené à établir ce type de prévision ; d'autre part, elle nous permet d'associer les mesures d'occurrence aux fréquences des opérations d'inspection, maintenance et réparation des barrages et d'en proposer alors une analyse qualitative (tableau 1).

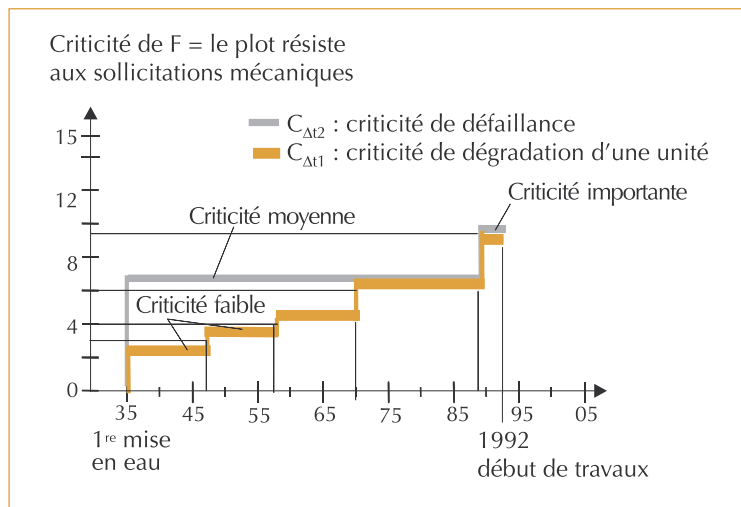
Ensuite, nous choisissons de quantifier les mesures de conséquence en évaluant directement la performance de la fonction pour les mesures de l'occurrence Δt_1 et Δt_2 , ce qui revient à retenir pour l'évaluation du risque les effets de la dégradation de la fonction.

| Mesure de l'occurrence $\Delta t_{1 \text{ ou } 2}$ | Opération d'inspection maintenance réparation associée | Attribut qualitatif |
|--|---|---------------------|
| $\Delta t_{1 \text{ ou } 2} > 100$ ans | Période de retour des événements extérieurs exceptionnels (crues, séismes) | 1 |
| $10 \text{ ans} < \Delta t_{1 \text{ ou } 2} \leq 100$ ans | Révision spéciale de l'ouvrage/période de retour des événements extérieurs exceptionnels (crues, séismes) | 2 |
| $1 \text{ an} < \Delta t_{1 \text{ ou } 2} \leq 10$ ans | Revue de la sécurité, grosse maintenance, inspection décennale | 3 |
| $1 \text{ mois} < \Delta t_{1 \text{ ou } 2} \leq 1$ an | Auscultation complexe, réparations courantes, inspection annuelle | 4 |
| $\Delta t_{1 \text{ ou } 2} \leq 1$ mois | Surveillance, auscultation et maintenance courantes | 5 |

◀ Tableau 1 – Analyse qualitative des mesures de l'occurrence.

Enfin, nous proposons une mesure du risque lié aux pertes de performance d'une fonction (la criticité) en multipliant la mesure de l'occurrence et celle des conséquences. Sur ces bases, nous définissons cinq classes qualitatives de criticité corrélées aux fréquences des opérations d'inspection, maintenance et réparation sur les barrages. Chaque classe de criticité indique les délais d'intervention dont dispose l'exploitant pour remettre à niveau le composant dégradé, avant que sa fonction étudiée ne se dégrade suffisamment pour déplacer la criticité dans une classe supérieure (tableau 2).

L'application de telles méthodes durant la vie d'un barrage va permettre de rendre compte de l'évolution des risques en fonction du temps. En reprenant l'exemple de la figure 5 (p. 7), on peut alors représenter l'évolution des mesures de criticité inhérentes à cet ouvrage (figure 8).



▲ Figure 8 – Augmentation des mesures de criticité au cours de la vie d'un barrage (Peyras et al., 2003).

| $0 < C < 4$ | $4 \leq C < 8$ | $8 \leq C < 12$ | $12 \leq C < 12$ | $C = 15$ |
|--|---|---|--|---|
| Faible | Moyenne | Importante | Alarmante | Extrême |
| <i>Rien à prévoir d'ici la prochaine évaluation de la sécurité</i> | <i>Travaux avant ou à l'occasion de la prochaine visite décennale</i> | <i>Travaux à prévoir dans l'année à venir</i> | <i>Mesures et interventions dans les jours après le diagnostic</i> | <i>Mesures et interventions dans les heures qui suivent le diagnostic</i> |

◀ Tableau 2 – Analyse qualitative de la criticité en 5 classes.

En synthèse, ces mesures de criticité permettent deux niveaux d'analyse du risque : la criticité de dégradation d'une unité rend compte finement des risques faibles à moyens et de leur augmentation durant la vie d'un barrage ; *a contrario*, la criticité de défaillance met en évidence le risque global vis-à-vis de la sécurité de l'ouvrage.

Conclusions et perspectives

Notre recherche a consisté à produire des méthodes pour aider les experts dans leur mission de diagnostic et d'analyse de risques des barrages en service. Pour le *diagnostic*, notre démarche est basée sur la capitalisation de la connaissance experte. Les résultats de notre travail comportent :

- en recherche, un modèle fonctionnel de vieillissement, construit à partir de méthodes de la sûreté de fonctionnement et du raisonnement qualitatif et l'organisation rationnelle de l'information relative au vieillissement autour de trois variables ;
- en développement, une base de connaissances complète sur la pathologie des barrages.

Pour *l'analyse de risques*, notre démarche est basée sur la capitalisation et le retour d'expérience. Les résultats comportent :

- en recherche, des méthodes pour écrire des historiques de vieillissement et pour l'analyse des risques des pertes de performance des barrages et de leurs composants ;
- en développement, le renseignement progressif d'une base de données d'historiques de vieillissement par la saisie, au fil des missions des experts, d'études de cas de barrages ayant subi des mécanismes.

Au final, nous disposons de méthodes d'aide au diagnostic et à l'analyse de risques dans le cadre d'une approche par expertise, mais aussi

d'aide à la stratégie d'inspection maintenance et réparation. Ces méthodes sont destinées à assister les ingénieurs spécialisés lors d'analyses préliminaires et rapides ou lors de synthèses d'études approfondies. Sur ces bases, il sera possible d'engager le cas échéant des investigations plus approfondies : modélisation physique, analyse statistique, étude de fiabilité...

Différentes perspectives de ce travail sont prévues. Dans un axe développement, nous travaillons sur la réalisation d'outils informatiques intégrant les différentes méthodes et bases de données, pour l'aide au diagnostic et à l'analyse de risques. Les premiers développements de ce travail sont décrits dans Peyras (2002). Dans un axe recherche, nous poursuivons nos travaux dans le domaine de l'évaluation de la sûreté de fonctionnement.

Notre objectif est de développer des méthodes pour aider les experts à évaluer la sécurité des barrages en service, en prenant en compte l'ensemble des paramètres intrinsèques aux ouvrages (les paramètres liés à la conception, la réalisation et l'exploitation) et les événements extérieurs (les différents aléas susceptibles d'affecter l'ouvrage : les séismes, les crues, etc.). Ces travaux sont destinés à aider les experts lors des diagnostics approfondis et des revues de sécurité des barrages, tels qu'ils peuvent être menés en particulier à l'occasion des visites décennales.

Enfin, les méthodes proposées (le modèle de vieillissement, les méthodes d'écriture des historiques de vieillissement et d'analyse de risques) ont été développées indépendamment du domaine d'application. Ainsi, leur transposition vers d'autres ouvrages du génie civil peuvent être envisagées, et à ce titre, des applications dans le domaine de l'analyse de risques des digues de protection fluviale sont en cours de développement (Serre *et al.*, 2003). □

Alain VERGNE, professeur de génie civil à l'université Blaise Pascal et directeur régional de la Recherche et de la Technologie de la région Auvergne, nous a quitté subitement au cours du mois de décembre 2003. Malgré ces hautes fonctions, Alain avait dirigé sans faille les travaux de recherche présentés ici. Nous en garderons le souvenir d'un homme dont la grande compétence n'avait en rien entamé la modestie et la simplicité. Nous lui dédions cet article.

Résumé

Le diagnostic et l'analyse de risques sont des missions essentielles pour la sécurité des barrages en service. Pour ces tâches, des méthodes puissantes existent : modèles physiques, calculs numériques, statistiques, fiabilité... Toutefois, face à des ouvrages complexes et uniques, dans des contextes présentant des données insuffisantes, lors de diagnostics préliminaires ou en synthèse d'analyses approfondies, il est nécessaire de recourir au jugement des experts. À partir de leurs connaissances et de leur expérience, ils vont fournir alors un avis ou une recommandation au problème posé.

Les auteurs proposent des méthodes d'aide à l'expertise pour le diagnostic et à l'analyse de risques des barrages. L'objectif est de capitaliser la connaissance et le retour d'expérience des experts sous forme de base de données relatives, d'une part, à la pathologie générale des barrages, d'autre part, aux études de cas de barrages ayant connu des détériorations sous l'effet de mécanismes de vieillissement. La recherche met en œuvre des méthodes de la sûreté de fonctionnement issues de l'industrie et des méthodes du raisonnement qualitatif. Dans un cadre plus applicatif, une base de connaissances sur les mécanismes de vieillissement des barrages a été constituée et une base de données de barrages ayant connu des incidents est progressivement renseignée au fil des missions des experts. Par ailleurs, des outils informatiques d'aide à l'expertise sont en cours de développement.

Abstract

Diagnosis and risk analysis are essential to insure safety of dams in operation. In this field, powerful methods have been produced and provide useful aids in modelling, simulation, statistical analysis, reliability, etc. However it is necessary to use the expert's judgement when the works are complex and unique, when data is imprecise or insufficient, and when a preliminary diagnosis or detailed analysis is being made. Using their experience and knowledge, experts are able to provide answers and recommendations to a specific problem.

The authors propose methods to support expert diagnosis and risk analysis. The main goal is to capitalise on the expert's knowledge and feedback and to build up database of dam pathologies and database of ageing case histories. This work uses reliability techniques and qualitative reasoning models. In terms of practical applications, the research produced a knowledge database on dam pathologies, and an ageing history database was compiled from dams having experienced deterioration. Computer aids to assist experts in the diagnostic and risk analysis tasks are under development.

Bibliographie

- ICOLD, 2003, *Risk Assessment in Dam Safety Management – A reconnaissance of Benefits, Methods and Current Applications*, Draft circ 1656, 113 p.
- ICOLD, 1995, *Bulletin 99: Dam failures – Statistical Analysis*, Paris, 73 p.
- ICOLD, 1993, *Bulletin 93: Ageing of dams and appurtenant works – Review and recommendations*, Paris, 235 p.
- MC CANN, M.-W.Jr. *et al.*, 1997, National Performance of Dams Program Report, in *Hydropower and Dams*, Issue 4.
- MODARRES, M., 1993, *What every engineer should know about Reliability and Risk Analysis*, New-York, Marcel Dekker, Inc. 349 p.
- PEYRAS, L. ; ROYET, P ; DE LALEU, V., 2003a, Modélisation fonctionnelle des pertes de performance des barrages : application au mécanisme de l'alcali-réaction – Exemple du barrage du Chambon, in *ICOLD – 21st International Congress On Large Dams, Montreal*, Q.82.-R.46., 20 p.
- PEYRAS, L., 2003b, *Diagnostic et analyse de risques des barrages – Développement de méthodes d'aide à l'expertise*, thèse de doctorat spécialité génie civil, université Blaise Pascal – Clermont II, 199 p.
- PEYRAS, L ; ROYET, P. ; BOISSIER, D. ; VERGNE, A., 2002, Development of a Scenario-based Decision Support System for Dam Ageing Diagnosis, *Journal of Decision Systems*, vol. 11, n° 3-4. p. 445-458.
- SERRE, D. ; PEYRAS, L. ; DIAB, Y., 2003, *Modéliser le fonctionnement et les modes de défaillance des digues fluviales pour évaluer leur performance : méthodologie et perspectives*, Séminaire REGLIS, Montpellier 13-14 novembre 2003.
- TRAVE-MASSUYES, L. ; DAGUE, P. ; GUERRIN, F., 1997, *Le raisonnement qualitatif pour les sciences de l'ingénieur*, Paris, Hermès, 505 p.
- VILLEMEUR, A., 1988, *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*, Paris, Eyrolles, 798 p.
- ZWINGELSTEIN, G., 1995, *Diagnostic des défaillances*, Paris, Hermès, 601 p.