

# Développement d'une base de données sur les scénarios de vieillissement des barrages (projet CASCAD\*)

Fabienne Cathala, Patrice Mériaux, Paul Royet

Les services du ministère français de l'Environnement assurent le contrôle de quelque 250 barrages classés comme « intéressant la sécurité publique » (Royet *et al.* 1995) : en application de la réglementation française, il s'agit d'ouvrages de plus de 20 mètres de hauteur ou dont la rupture aurait des conséquences graves pour les populations installées en aval. Environ la moitié de ces barrages – en terre, béton ou maçonnerie pour la plupart – a plus de 30 ans et est donc sujette à des phénomènes de vieillissement.

À l'occasion des visites annuelles et des inspections décennales réglementaires auxquelles participe le Cemagref, en soutien aux services de contrôle, sont accumulées d'abondantes informations concernant les pathologies et le comportement de ces barrages. Dans ce contexte, les travaux de recherche<sup>1</sup>, exposés dans le présent article, visent à aboutir à la création d'une base de données informatique capable de stocker et de manipuler de telles informations dans l'objectif de comprendre et d'anticiper l'évolution des barrages en service (Cathala *et al.* 1998).

Dans une première partie, sont exposés les besoins qui s'expriment dans le domaine de l'appréciation des risques liés aux barrages et les approches qui prévalent aujourd'hui pour tenter d'y répondre. La deuxième partie de l'article présente les différentes dimensions introduites par l'approche « base de données ». Enfin, en dernier lieu, on explique comment, par la démarche informatique proposée dans le cadre du projet CASCAD, la notion de scénario de vieillissement est modéli-

sée, implémentée puis exploitée dans la perspective de pouvoir assister, dans leurs analyses et décisions, les ingénieurs spécialistes des barrages (de la représentation des connaissances à l'aide à l'expert).

## Gestion des informations concernant le vieillissement des barrages : les besoins et les approches existantes

### ■ Les besoins des spécialistes des barrages

Au cours de leur mission de surveillance ou de contrôle des barrages, les ingénieurs spécialisés recueillent et doivent assimiler une multitude d'informations relatives aux ouvrages dont ils ont la charge.

À côté des informations administratives et descriptives, en principe connues dès la construction du barrage et peu sujettes à variations par la suite, on trouve des informations se rapportant aux évolutions constatées depuis sa mise en service et liées à l'inévitable vieillissement des structures : il s'agit d'anomalies, de désordres, d'incidents, d'événements (ex : crues, séismes, etc.) ou encore de travaux subis par l'ouvrage à des dates ou périodes successives.

De telles informations peuvent émaner des agents chargés de la surveillance de routine et sont, dans ce cas, consignées dans le registre du barrage ou le rapport d'exploitation. Celles-ci peuvent également être relevées, par l'ingénieur spécialiste lui-

\* CASCAD :  
Computer Aided  
SCenarios for  
Ageing of Dams.

**Fabienne Cathala,  
Patrice Mériaux  
et Paul Royet**  
Cemagref  
Division Ouvrages  
hydrauliques et  
équipements pour  
l'irrigation  
Le Tholonet  
BP 31  
13612 Aix-en-  
Provence Cedex 1

1. Cette recherche bénéficie d'un soutien financier du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

même, lors d'une visite technique particulière ou au cours de l'analyse des mesures d'auscultation : elles sont alors reportées et commentées dans un rapport d'expertise. En définitive, les informations sur l'évolution d'un même barrage se présentent généralement sous des formes diverses (mesures d'auscultation, photographies, observations ou analyses écrites, etc.) et sont enregistrées sur des supports différents (fichiers, rapports, cahiers, procès-verbaux, bandes magnétiques ou vidéos, etc.), non nécessairement archivés au même lieu.

La mission fondamentale de l'ingénieur spécialiste – qu'il relève du propriétaire, du gestionnaire ou du service de contrôle – est d'évaluer, à un moment donné et d'après une vision aussi globale que possible des informations dont il dispose, la « sécurité du barrage » – ce que l'on pourrait traduire schématiquement, par la « distance qui sépare l'état actuel de l'ouvrage d'une défaillance grave ou, pire, d'une rupture » – et de recommander les mesures correctives appropriées. C'est dans un tel cadre que l'ingénieur est demandeur d'outils capables de l'assister dans la phase de diagnostic (constat et appréciation de l'état de l'ouvrage) comme dans celle de proposition d'interventions (définition des remèdes possibles).

#### ■ *Les approches existantes*

Dans ce contexte, trois approches, de niveau de complexité croissant, prévalent aujourd'hui :

- la constitution de bases exhaustives d'incidents ;
- l'identification, à partir de séquences d'incidents, de scénarios de vieillissement ;
- l'analyse de risques.

#### **La constitution de bases exhaustives d'incidents**

La première approche est la plus immédiate, au moins dans son principe : elle consiste à structurer et à intensifier le recueil d'informations sur les pathologies des barrages en service.

Un exemple tout à fait intéressant existe aux États-Unis sous la forme du programme intitulé « National Performance of Dams Program » (NPDP) et animé par le Département Génie civil de l'université de Stanford. L'objectif est de regrouper, d'archiver, puis de mettre à disposition de la collectivité scientifique et de l'ingénierie, les informations sur le comportement des barrages nord-

américains. À cette fin, un modèle de « rapport d'incident » (DIR : Dam Incident Report) a été mis au point puis largement diffusé dans le milieu de l'ingénierie des barrages, accompagné d'un guide d'utilisation (McCann *et al.* 1994), complet et convivial. La déclaration d'un incident s'effectue en 3 étapes successives : notification rapide (dans les 10 jours qui suivent l'événement), rapport plus détaillé (dans les 3 mois) et, enfin, compte rendu des interventions réalisées ultérieurement. Depuis le démarrage du projet en 1994, quelque 1800 incidents ont ainsi été répertoriés dont environ 350 peuvent être qualifiés de défaillances (McCann *et al.* 1997).

En France, les bases de données informatiques relatives aux barrages qui sont opérationnelles à ce jour, au sein du ministère de l'Industrie comme de celui de l'Environnement (logiciel BAR du Cemagref), ne répertorient pas les incidents et ne concernent que les informations administratives et descriptives.

#### **L'identification, à partir de séquences d'incidents, de scénarios de vieillissement**

La seconde approche fait l'objet du présent article et est largement détaillée par la suite : son principe est de reprendre le raisonnement par analogie de l'expert qui cherche à identifier, à partir d'une séquence de faits observée sur un barrage, un ou plusieurs « scénarios » de comportement déjà vus par lui sur d'autres ouvrages du même type.

Une fois le ou les scénarios probables identifiés, il devient alors possible d'anticiper l'évolution du barrage et de définir les dispositions correctives pertinentes : mesures d'auscultation supplémentaires pour confirmer ou affiner le diagnostic, travaux de confortement s'attaquant aux causes premières des pathologies, mesures d'urgence destinées à prévenir une défaillance immédiate probable, etc.

Du fait que cette approche s'appuie avant tout sur l'exploitation d'un ensemble d'observations répertoriées sur un parc de barrages, elle est à l'évidence complémentaire de la première (base de données d'incidents).

#### **L'analyse de risques**

La troisième approche, enfin, dite de l'analyse de risques, s'avère encore plus ambitieuse. Son objectif est, en effet, de calculer la probabilité de

défaillance d'un système ou d'un ouvrage puis de la croiser avec l'évaluation des conséquences de cette défaillance. L'étape ultime vise à définir une stratégie d'intervention et de gestion adaptée, en tenant compte des résultats de la comparaison du « risque calculé » avec le « risque acceptable ». La méthode repose sur l'inventaire des principales défaillances redoutées pour le système analysé et l'élaboration, pour chacune d'elles, des arbres de défauts (causes-conséquences) qui peuvent y conduire.

Appliquée d'abord dans le domaine de la sûreté des installations industrielles (centrales nucléaires, en particulier), la méthode commence à être étendue au domaine des barrages, sous l'impulsion d'experts anglo-saxons notamment (Fell, 1997). Certes, l'analyse de risques conduite jusqu'au terme de la « gestion du risque » manque à ce jour de références pour les applications aux barrages et la quantification des probabilités y est encore assortie d'évidentes réserves qui résultent des nombreuses incertitudes ou absences de données et, aussi, du fait que chaque ouvrage est unique (ce qui rend délicat l'établissement de statistiques). La méthode présente, toutefois, l'intérêt de pouvoir guider l'expertise technique d'une structure et mettre en évidence les points-clés du diagnostic.

À la lumière de la brève analyse qui précède, l'approche « scénarios » développée dans la suite de l'article se place résolument à mi-chemin entre l'ancrage « base de données » de l'approche traditionnelle (historique des incidents) et la tendance « probabiliste » de l'analyse de risques.

### Les différentes composantes informatiques

L'approche que nous avons élaborée se déroule en deux phases bien distinctes : une phase d'analyse et de représentation des données (modélisation et création des bases de données) et une phase d'exploitation de ces données. Dans cet article, nous mettons l'accent sur la première phase et indiquons aussi les directions de recherche supportant la deuxième.

Une étude approfondie des informations concernant les barrages nous a permis de mettre en évidence trois dimensions différentes : structurelle, historique et comportementale. Examinons de

manière détaillée ces trois dimensions et les solutions de modélisation adaptées à chacune d'elles.

#### ■ La dimension structurelle

Elle regroupe des données variées décrivant les barrages eux-mêmes (nom, type de l'ouvrage, données administratives) ou leur environnement (données climatiques, géologiques,...).

Dans cette dimension, on représente aussi les divers éléments physiques constituant les barrages. On décrit un barrage comme étant une structure composée d'une fondation, d'un corps, et d'ouvrages annexes (évacuateurs de surface, organes hydrauliques, ...), chaque élément étant lui-même, à son tour, composé d'un sous-ensemble d'éléments, etc. Ce processus de représentation conduit à une description physique assez précise des barrages (voir liens avec la composante historique, cf. *La dimension historique*).

Au niveau informatique, cette composante n'a pas posé de problèmes spécifiques : une approche de modélisation traditionnelle s'avère très bien adaptée, car il s'agit simplement de décrire des entités conceptuelles et les associations les reliant (Chen, 1996). Seule la description physique a nécessité des capacités d'abstraction plus étendues, intégrant la spécification d'objets complexes. Nous avons ainsi choisi le modèle conceptuel<sup>2</sup> orienté objet OMT (Rumbaugh *et al.* 1991), qui nous a paru le plus adapté pour représenter cette dimension structurelle.

#### ■ La dimension historique

La dimension historique permet, quant à elle, de répertorier tous les faits (ou événements) survenus au barrage au cours de sa vie. On souhaite prendre en compte, dans l'approche, le plus grand nombre d'événements observables à l'inspection visuelle ou détectables par les moyens classiques d'auscultation.

Les données manipulées dans cette dimension sont particulièrement importantes : elles constituent la matière première à partir de laquelle les experts vont extraire des informations sur le comportement des barrages au cours du temps. Mais généralement (cf. *Les approches existantes*) les données historiques détaillées ne sont pas facilement accessibles et de toute façon, pas directement exploitables. Seuls des rapports datés, en fournissant une synthèse, sont disponibles.

2. Un modèle conceptuel est un schéma graphique permettant de représenter et de structurer les informations ; c'est à partir de ce modèle que les données sont informatisées dans la base de données (Chen, 1976 ; Booch, 1991).

3. Définition issue du bulletin 93 du CIGB « Vieillissement des barrages et des ouvrages annexes » (ICOLD, 1993).

À partir de ces rapports de visite, les faits considérés comme pertinents peuvent être isolés (par ex. apparition d'un suintement sur le parement aval en telle année ; augmentation brutale de la piézométrie à telle date, ...). Ces événements constituent en fait la dimension historique du Système d'information élaboré.

Ainsi, l'historique d'un barrage est vue comme une séquence de faits, estampillés, et véhiculant une certaine information. Nous raffinons la description historique en distinguant deux catégories de faits : les incidents et les interventions. Les données saisies dépendent donc partiellement de la catégorie du fait (par ex. on saisit le type pour les incidents ; on définit la nature et le coût pour les interventions).

La principale difficulté dans l'appréhension de cette dimension historique est liée à la granularité de la description des faits nous a notamment conduits à intégrer des éléments de décomposition et de repérage dans la dimension structurelle de l'application (ex : partie gauche de la fondation pour décrire l'appui rive gauche).

La description des dimensions structurelle et historique aboutit à un modèle conceptuel, validé par les experts, du domaine des barrages mais aussi du domaine des systèmes d'information. En intégrant ces deux dimensions, la base de données étend les possibilités des bases traditionnellement utilisées : en particulier, les données historiques peuvent être manipulées par les utilisateurs. Un utilisateur pourra par exemple demander la liste de tous les incidents survenus à un barrage donné ou bien à tel composant de barrage, avec la possibilité d'intégrer des contraintes temporelles (ex : dans une période déterminée).

#### ■ **La dimension comportementale**

Cette dimension « capture » la connaissance des experts sur le comportement des barrages. Cette connaissance est basée sur les scénarios de vieillissement. D'une manière générale, un scénario de vieillissement est défini comme étant « un enchaînement de causes et d'effets qui conduisent à la dégradation des caractéristiques et propriétés des barrages et ouvrages annexes »<sup>3</sup>.

Ces scénarios représentent des modèles de comportement : ils décrivent « ce qu'il pourrait se passer » pour des barrages de tel ou tel type si une

situation particulière se produisait. Ces scénarios sont élaborés par des experts à partir d'histoires de barrages ayant subi des dommages.

Ainsi, un scénario est représenté comme un ensemble de phénomènes, intervenant au cours de la vie des barrages et reliés les uns aux autres. Fondamentalement, ces liens revêtent deux sémantiques différentes. Ils peuvent exprimer des relations de cause à effet entre phénomènes mais aussi des contraintes de synchronisation, organisant des combinaisons de « phénomènes causes » mais aussi « effets ». Quant aux phénomènes, ils peuvent être externes au barrage considéré, i.e. provenir de son environnement (par exemple : les crues et les séismes) ou internes. Ils peuvent, dans ce dernier cas, correspondre à des réactions du système à son environnement, mais aussi au temps (vieillessement).

La difficulté de modélisation des scénarios est complétée par les liens étroits existant avec les deux autres dimensions (structurelle et historique). En effet, un scénario est élaboré pour un (ou des) type(s) de barrages particulier(s). Son champ d'application peut être contraint en fonction de divers critères (le matériau de construction utilisé, la forme du barrage, la nature des fondations, ...). Ainsi, la description des scénarios peut inclure un ensemble de conditions qui s'appliquent à une ou plusieurs caractéristiques de la dimension structurelle. Enfin, les liens entre dimensions historique et comportementale sont essentiels puisqu'ils sont la base d'une approche de suivi et de compréhension du comportement (*cf. Exploitation des données en vue d'une aide à l'expert*).

Les problèmes de la représentation des scénarios nous ont conduits à développer une méthode générique permettant de stocker des informations comportementales. Nous ne détaillons pas ici le modèle formel utilisé pour représenter ces scénarios (se reporter à Cathala et Poncet, 1997 ; Teisseire *et al.*, 1994) ; seule la version graphique descriptive du modèle est présentée dans le paragraphe suivant.

#### **Outil graphique d'aide à la description de scénarios**

La faisabilité de notre approche a été démontrée par le développement du logiciel « Scenario De-

signer », qui est conçu comme un outil d'aide à la description des scénarios (de l'élaboration au stockage automatique des scénarios dans la base de données).

■ **Description des scénarios**

Il importait tout d'abord de proposer une représentation des scénarios naturelle pour l'utilisateur. En collaboration avec des experts du domaine des barrages, nous avons créé un formalisme graphique représentant les différents types de phénomènes et les différents types de liens constituant un scénario (figure 1).

Parmi ces types de phénomènes, nous avons distingué les phénomènes observables (à l'inspection visuelle), les phénomènes auscultables (mesurables grâce à des appareils d'auscultation) et les phénomènes déduits (i.e. ceux qui ne sont ni observables, ni auscultables). Les liens de synchronisation sont exprimés à l'aide du constructeur « ET », qui permet ainsi d'exprimer des types de phénomènes plus complexes. Les liens de causalité peuvent être partiels ou totaux, dépendant de la probabilité du phénomène source du lien à entraîner le phénomène cible.

Le choix de ne pas introduire de probabilités plus précises sur les liens, contrastant avec de nombreuses approches traitant d'analyse de risques (cf. *Les approches existantes*), est motivé par le constat suivant : chaque barrage possède sa propre histoire et relève donc d'un cas particulier. Le risque est donc de créer des scénarios pas suffisamment génériques, si bien qu'aucun d'eux ne pourra « parler » avec l'histoire du barrage considéré.

■ **Illustration**

La figure 2 présente un exemple de scénario décrivant l'augmentation de perméabilité du corps d'un barrage en béton, réalisé avec le logiciel « Scenario Designer ».

Le phénomène de départ du scénario est la circulation d'eau à l'intérieur du corps du barrage (qui peut elle-même trouver son origine dans la mauvaise qualité de fabrication ou de mise en œuvre du béton). Le déroulement du scénario conduit, par des chemins plus ou moins directs, à l'augmentation des débits de fuite, à une diminution de la stabilité externe (par perte de poids) et/ou à une diminution de la résistance interne. Ces



deux derniers phénomènes peuvent (sous certaines conditions) entraîner la rupture du barrage.

Quelques liens particuliers sont mis en évidence : il faut la conjonction (constructeur « ET ») de la circulation interne d'eau et des cycles gel-dégel pour causer la dégradation du parement aval ; la circulation d'eau entraîne presque à coup sûr la dissolution du liant du béton qui, en retour (lien à double sens), peut favoriser les circulations d'eau par augmentation de la porosité ; etc.

Dans ce scénario, enfin, quatre phénomènes sont observables au titre de la prévention (le phénomène « rupture du barrage » étant logiquement mis à part) et deux phénomènes (augmentation des débits de fuite et celle des pressions interstitielles) sont détectables par des moyens d'auscultation adaptés.

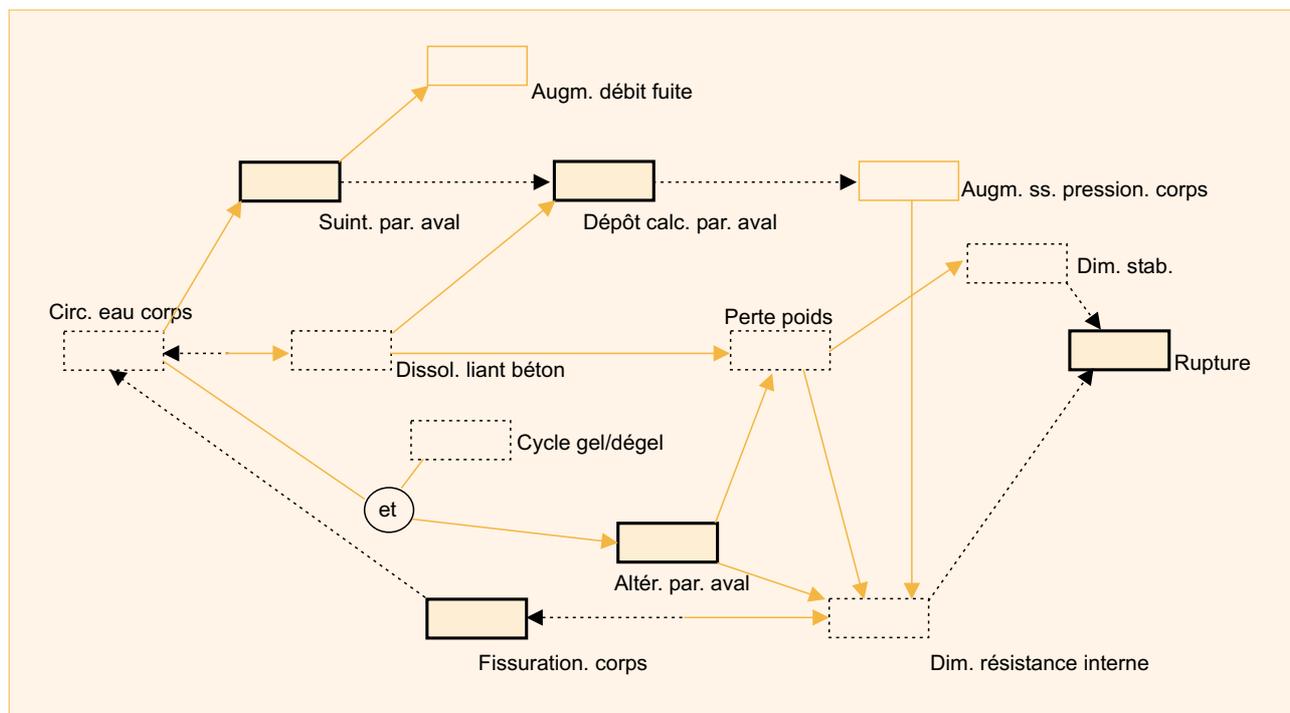
■ **Principales fonctionnalités du logiciel**

Le prototype, actuellement en phase de test, intègre toutes les caractéristiques nécessaires à la création, à la sauvegarde et à la manipulation des scénarios : fonctions usuelles de gestion de fichier, boîte d'outils (« palette graphique ») proposant tous les composants utiles dans la construction d'un scénario), gestionnaire de phénomènes...

**Exploitation des données en vue d'une aide à l'expert**

Au terme de la première phase du projet, nous avons défini un système d'information, supporté par une base de données stockant des informations de nature variée. La seconde étape consiste à tirer les avantages de l'information saisie, autrement dit de rechercher et d'identifier quel(s) scénario(s) pourrai(en)t se produire sur tel barrage.

▲ Figure 1. – Formalisme graphique des composants des scénarios.



▲ Figure 2. – Exemple de scénario relatif à un barrage poids en béton représenté selon le formalisme graphique de la figure 1.

Il s'agit maintenant de fournir à l'expert un outil lui permettant d'interroger et d'extraire le ou les scénarios les plus fidèles au barrage considéré, afin d'en prévoir son comportement.

Pour activer une telle recherche, la première étape consiste à sélectionner, parmi les scénarios, ceux qui peuvent s'appliquer au cas considéré. Ceci peut être fait simplement en évaluant les conditions d'application stockées dans chaque scénario : on obtient ainsi un sous-ensemble de scénarios à partir desquels les meilleurs « candidats » vont être extraits. Une deuxième étape doit alors être déclenchée ; celle-ci est basée sur la comparaison entre les faits historiques connus d'un barrage et les phénomènes constitutifs des scénarios, et renvoie les « meilleurs » scénarios candidats. De plus, les scénarios sélectionnés peuvent être classés, selon le nombre de phénomènes en commun avec l'historique concerné : du plus probable au moins probable.

Pour améliorer l'aide fournie à l'expert, il est aussi important de prendre en compte dans les scénarios, les actions d'interventions ou de réparations. En fait, lors de la définition d'un scénario de vieillissement, l'expert peut aussi élaborer un ou

plusieurs scénarios d'intervention, prévus pour éviter les situations critiques prédites par le scénario de vieillissement en question.

Le dernier objectif de notre projet concerne la possibilité de création automatique de scénarios : l'idée consiste à utiliser les histoires connues de barrages existants, pour élaborer à partir de ces cas particuliers, des comportements-type. C'est dans ce but que le travail porte actuellement sur des approches de type « extraction de données » (data-mining), et notamment sur les techniques d'extraction de règles d'association (Agrawal *et al.* 1993).

## Conclusion

L'approche présentée dans cet article se situe dans le contexte général de la prévention du vieillissement des barrages. Le but est de fournir aux experts une aide dans l'analyse des comportements passés des barrages ainsi que dans la prévision de comportements futurs.

Cette approche est basée sur des scénarios de vieillissement, élaborés par des experts, et sur la connaissance des barrages sous surveillance (pro-

priétés structurelles et historiques du barrage). Les informations à saisir sont particulièrement hétérogènes : elles sont intégrées et organisées à l'intérieur d'un Système d'information, implémenté grâce à un SGBD (système de gestion de base de données).

La principale difficulté, lors de la définition de ce système d'information, est venue de la modélisa-

tion de la représentation des scénarios. Afin de décrire ces scénarios, nous avons proposé un modèle spécifique, facilement compréhensible par les utilisateurs. Ce modèle est secondé par un outil d'aide informatique, muni d'une interface graphique conviviale, qui cache complètement les aspects techniques du stockage dans la base de données sous-jacente. □

### Résumé

La moitié des quelque 250 barrages autorisés classés comme « intéressant la sécurité publique » a plus de 30 ans et est donc exposée à des phénomènes de vieillissement.

À l'occasion des inspections réglementaires de contrôle dont font l'objet ces ouvrages, sont accumulées d'abondantes informations concernant leurs pathologies. Dans ce contexte, la recherche en cours (projet CASCAD) vise à aboutir à la création d'une base de données capable de stocker et de manipuler de telles informations dans l'objectif de comprendre et d'anticiper le comportement des barrages en service.

L'originalité de l'approche repose sur l'élaboration d'un système d'informations avancé qui, à partir du comportement réel d'un barrage (base de données historique) et de comportements-types connus a priori (base de données de scénarios de vieillissement), permettra d'extraire le ou les scénarios les plus fidèles à l'ouvrage analysé. Une étape ultérieure consiste à étendre l'outil en vue de la prise en compte de scénarios d'interventions ou de réparations.

### Abstract

Roughly half of the 250 or so french dams classified as «regarding the safety of the public» are more than 30 years old and are therefore ageing. The regulation annual and ten-year inspections of these dams have produced a rich body of data on dam deterioration and behaviour. The research project CASCAD\* described here aims at creating a data base in order to better understand and predict the future performance of operational dams.

For meeting these requirements, a Data Base Management System for managing both historical data and ageing scenarios is proposed. The main idea behind our approach is to provide civil engineering specialists with an aid for retrieving the most representative scenarios matching with the known history of the dam under examination. The next step of the research aims at taking into account within scenarios, remedial or repairing actions.

\*CASCAD : Computer Aided SCenarios for Ageing of Dams

### Bibliographie

AGRAWAL, R., IMIELINSKI, T., SWAMI, A., 1993. Mining association rules between sets of items in large databases, ACM-SIGMOD, Washington D.C. : 207-216.

BOOCH, G., 1991. Object-Oriented Design with Applications, Benjamin/Cumming Comp,

CATHALA, F, MERIAUX, P, ROYET, P, 1998. A Database Modelling Approach for Dam Ageing Scenarios, Proceedings of International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety, Spanish Committee on Large Dams, Barcelona 1998.

CATHALA, F, PONCELET, P, 1997. Preserving Behaviour : Why and How, Proc. 9<sup>th</sup> Int. Conf. On CAiSE, Spain : 333-346.

CHEN, P.P., 1976. The Entity-Relationship Model : Towards a Unified View of Data, ACM-TODS, vol. 1 n.1 : 9-36.

FELL, R., 1997. Essential components of risk assessment for dams, Workshop on Risk-Based Dam Safety Evaluations, Trondheim (Norway).

Collectif, International Committee On Large Dam (ICOLD), 1993. Ageing of Dams and Appurtenant Works. France : ICOLD.

MAC CANN, M.W. Jr *et al.*, 1994. Guidelines for Reporting the Performance of Dams. Torrance : K&M Company.

MAC CANN, M.W. Jr *et al.*, 1997. National Performance of Dams Program. Hydropowers & Dams. Issue Four, 1997 : 14.

ROYET, P, MERIAUX, P, POULAIN, D., PARDEDES, F, 1995. Évaluation de la sécurité des barrages autorisés, *Ingénieries-EAT*, n° 3, p. 37-44.

RUMBAUGH, J., BLAHA, M., PREMERLANI, W., EDDY, F, LORENSEN, W., 1991. Object-Oriented Modeling and Design. Prentice-Hall.

TEISSEIRE, M., PONCELET, P, CICHETTI, R., 1994. Towards Event-Driven Modelling for Database Design, Proc. 20<sup>th</sup> Int. Conf. On VLDB, Chile.