

# La surveillance adaptée aux risques

## *Surveillance adapted to risks*

**Philippe BOURGEY**

62 bis rue Raymond IV 31685 TOULOUSE  
philippe.bourgey@edf.fr

**Jérôme SAUSSE**

21 avenue de l'Europe 38040 GRENOBLE  
jerome.sausse@edf.fr

## MOTS CLÉS

Auscultation, examen visuel, sûreté, analyse de risque, modes de défaillance.

## RÉSUMÉ

*La surveillance adaptée aux risques*

*L'expérience d'EDF, qui exploite plusieurs centaines de barrages, a conduit à définir une organisation, une méthodologie et des moyens destinés à former, responsabiliser et motiver les personnes chargées de réaliser les mesures d'auscultation et les examens visuels tout en donnant aux responsables et aux experts chargés d'en interpréter les résultats une information rapide, fiable et disponible. La surveillance d'un ouvrage a pour but de connaître et de prévenir si possible toute dégradation de celui-ci afin de le maintenir en bon état et apte à sa fonction sans risques. L'objectif est la détection la plus précoce des anomalies, l'évaluation de leur évolution et de leurs conséquences probables, de façon à permettre à l'exploitant de juger dans les meilleures conditions de l'urgence et de la nature d'une éventuelle intervention pour ramener les risques à un niveau résiduel le plus bas possible. Aussi la définition de la surveillance sur un barrage est une étape déterminante mais qui est loin d'être triviale. Une approche faisant intervenir les modes de défaillances des barrages a été mise en œuvre pour porter un jugement de façon objective sur la sûreté des ouvrages et proposer des parades lorsque cela se justifie. A ce jour, la mise en œuvre de cette démarche pragmatique qui considère les ouvrages selon leur sûreté intrinsèque, contribue pour EDF à améliorer la connaissance de son parc.*

## ABSTRACT

*Surveillance adapted to risks*

*The aim of this paper is to explain the methodology applied by EDF to define the surveillance of dams. EDF operates lot of dams and is organized to ensure their control and their surveillance, where visual inspection and monitoring are playing a dominating role. The goal of the surveillance is to detect, very early, signs of a behavior evolution. Nevertheless, its detailed definition is a determining but difficult step.*

*Reminding that a pertinent surveillance permits to implement adapted maintenance programs to keep dams safe, in order to keep level of risks as low as possible, its definition necessarily has to be defined in regards of risks. An approach based on modes of failures was implemented to give objective diagnoses of dams and to propose surveillance adapted to risks.*

## 1. PRINCIPES DE LA SURVEILLANCE A EDF

Le niveau de sûreté d'un ouvrage est le résultat de la qualité de l'ensemble des activités qui commencent à la conception et à la construction et se poursuivent ensuite par la surveillance tout au long de la vie de l'ouvrage. Une fois la première mise en eau achevée la sûreté de l'ouvrage est assurée par :

- la surveillance, incluant les examens visuels et l'auscultation,
- les tests et contrôles périodiques de matériel (vannes, capteurs d'auscultation ou de contrôle-commande,...),
- les plans de maintenance courante,
- la prévision d'évènements extérieurs (crues, ....)

... qui sont sous la responsabilité de l'exploitant. Le maître d'ouvrage est quant à lui responsable des décisions à prendre en matière de sûreté, d'exploitation et d'actions correctives éventuelles.

Pour prendre ces décisions le plus efficacement possible, le maître d'ouvrage doit pouvoir disposer, très rapidement, d'un maximum d'informations diverses et complémentaires tant qualitatives que quantitatives. C'est précisément dans cette perspective qu'a été organisé le système de surveillance des barrages en exploitation à EDF. Ce système repose essentiellement sur :

- les examens visuels (aspect qualitatif de la surveillance),
- l'auscultation (aspect quantitatif de la surveillance), elle recouvre tout ce qui concerne les dispositifs de mesures, la réalisation, la transmission, le traitement, l'interprétation de ces mesures et le stockage de ces informations qui doivent être disponible sur la durée de vie de l'ouvrage.

Par ailleurs, le maître d'ouvrage peut compléter son diagnostic en prenant l'avis de spécialistes d'organismes internes ou externes à EDF et éventuellement en décidant la réalisation d'études, d'essais ou de contrôles complémentaires.

En ce qui concerne l'interprétation des mesures d'auscultation, la doctrine d'EDF s'appuie sur l'expérience acquise en France (65 années de surveillance continue) et dans le monde. Elle repose sur le constat général suivant : en dehors des cas de chargement exceptionnel (crue, séisme, ...) la rupture d'un ouvrage en exploitation est toujours précédée de signes avant-coureurs qui traduisent la détérioration de l'ouvrage et sont perceptibles des mois, voire des années à l'avance. Le principe de surveillance retenu alors est simple : déceler le plus tôt possible tout signe de changement de comportement de l'ouvrage et donc la mise en évidence des phénomènes évolutifs.

Cette mise en évidence suppose une connaissance très précise du comportement de l'ouvrage, ce qui implique :

- qu'il faut disposer de dispositifs d'auscultation qui soient bien adaptés, mais devant être évolutifs pour s'adapter aux problèmes pouvant apparaître au cours de la longue vie de l'ouvrage,
- qu'il est indispensable d'examiner régulièrement l'ouvrage et d'effectuer des mesures même quand il est sain,
- qu'il faut avoir des données fiables sur son passé et sa conception,
- qu'il faut pouvoir interpréter rapidement ces données, en particulier faire la part entre ce qui est un signe d'évolution du comportement de l'ouvrage et ce qui ne constitue qu'une anomalie de mesure.

L'originalité d'EDF en matière de surveillance des ouvrages, et contribue sûrement à l'efficacité de son système, est d'avoir mis en place, en parallèle, trois niveaux d'action de surveillance qui se complètent en s'appuyant sur les regards croisés de l'exploitant local et un service spécialisé.

### 1.1 Surveillance par l'exploitant

L'exploitant local, extrêmement décentralisé au plus près des ouvrages, a un rôle primordial qui consiste à :

- Effectuer des examens visuels : c'est lors de ces examens que sont détectés la majorité des anomalies ayant conduit à des interventions sur les barrages. Ils ont un aspect qualitatif qui fait appel au bon sens et à la compétence de l'agent chargé de les assurer. Leur objectif principal est la détection de toute nouveauté, sans restriction, comme l'apparition d'une nouvelle fuite, de la turbidité dans une fuite ou un drain, des taches d'humidité sur un parement aval, une nouvelle fissure, etc..... Pour aider l'exploitant, l'ingénierie d'EDF a mis au point une fiche d'inspection visuelle adaptée à chaque barrage détaillant les points et phénomènes particuliers à observer.

- Réaliser les mesures d'auscultation : toutes les mesures, en dehors de celles nécessitant un appareillage spécifique ou une technicité particulière (topographie, inclinomètre, ...) sont effectuées par l'exploitant sur les dispositifs en place à une périodicité adaptée à la classe de l'ouvrage. La saisie des mesures s'effectue sur un terminal portable qui permet de comparer les valeurs entrées aux précédentes mesures et d'enregistrer des commentaires. La lecture sur les appareils reste dans la plupart des cas manuelle, seuls quelques ouvrages disposent d'une télémessure (notamment les ouvrages d'altitude présentant des difficultés d'accès en hiver).
- Examiner le résultat de ces mesures et effectuer un premier diagnostic : cette opération s'effectue à l'aide du logiciel KOALA. Le diagnostic se fait à l'aide de graphiques des phénomènes physiques directement issus des formules de dépouillement, comme le montre la figure ci-dessous.

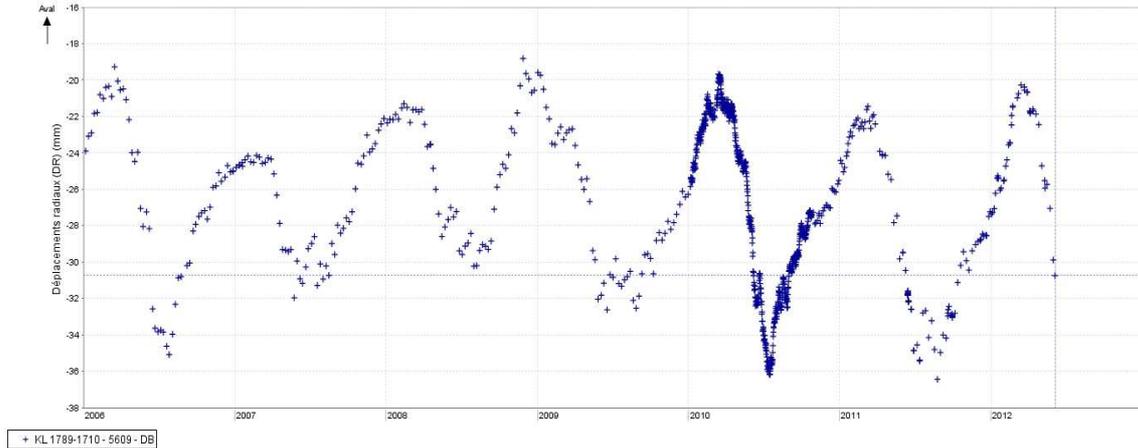


Figure 1 : exemple de graphique pour validation de la mesure par l'exploitant.

- Transmettre les mesures sur les appareils au service spécialisé (EDF-DTG).

## 1.2. Surveillance par un service spécialisé

EDF-DTG, est une Unité indépendante de celles chargées de l'exploitation qui est missionnée pour :

- Recueillir toutes les données collectées sur tous les ouvrages auscultés dont EDF a la charge et assurer la maintenance en conditions opérationnelles de la base de données qui contient plus de 90 millions de données, concernant plus de 350 ouvrages,
- Effectuer les mesures spéciales comme les mesures de topographie ou d'inclinométrie,
- Qualifier, maintenir et contrôler la fiabilité métrologique et fonctionnelle des dispositifs d'auscultation,
- Traiter l'ensemble des mesures dans les 48 heures suivant leur réalisation. Ce traitement constitue un diagnostic de niveau 2, plus fin, et une détection au plus près d'une éventuelle anomalie grâce à l'utilisation d'outils statistiques (HST, HST Thermique, effets retard, calage de bandes MDV, seuils,...) permettant de ramener à conditions identiques de cote et de saison. Ce second niveau de diagnostic permet d'alerter au plus tôt en cas d'anomalie et d'archiver des données qui auront été critiquées au plus près de la réalisation de la mesure (recherche de causes en cas d'anomalie et consignation des événements dans un journal de bord).

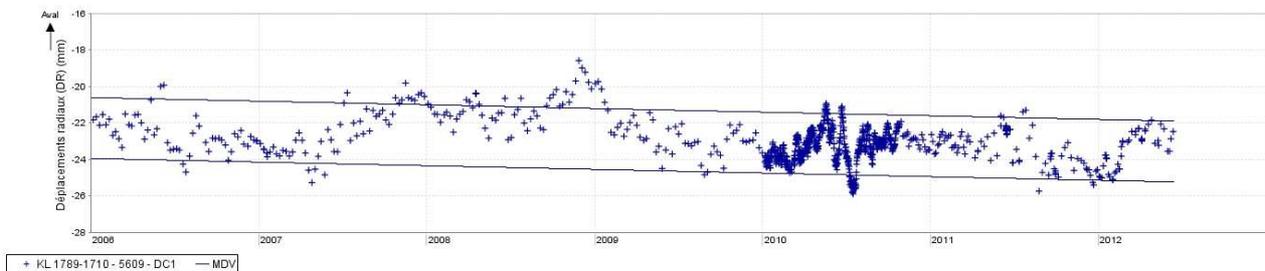


Figure 2 : exemple de graphique pour validation par EDF-DTG (même phénomène que graphique 1 avec correction HST et bande de « normalité »)

- Rédiger les rapports d'auscultation selon la réglementation en cours.

L'ensemble de ces opérations et des échanges qui en découlent peut être synthétisé sur le schéma ci-dessous :

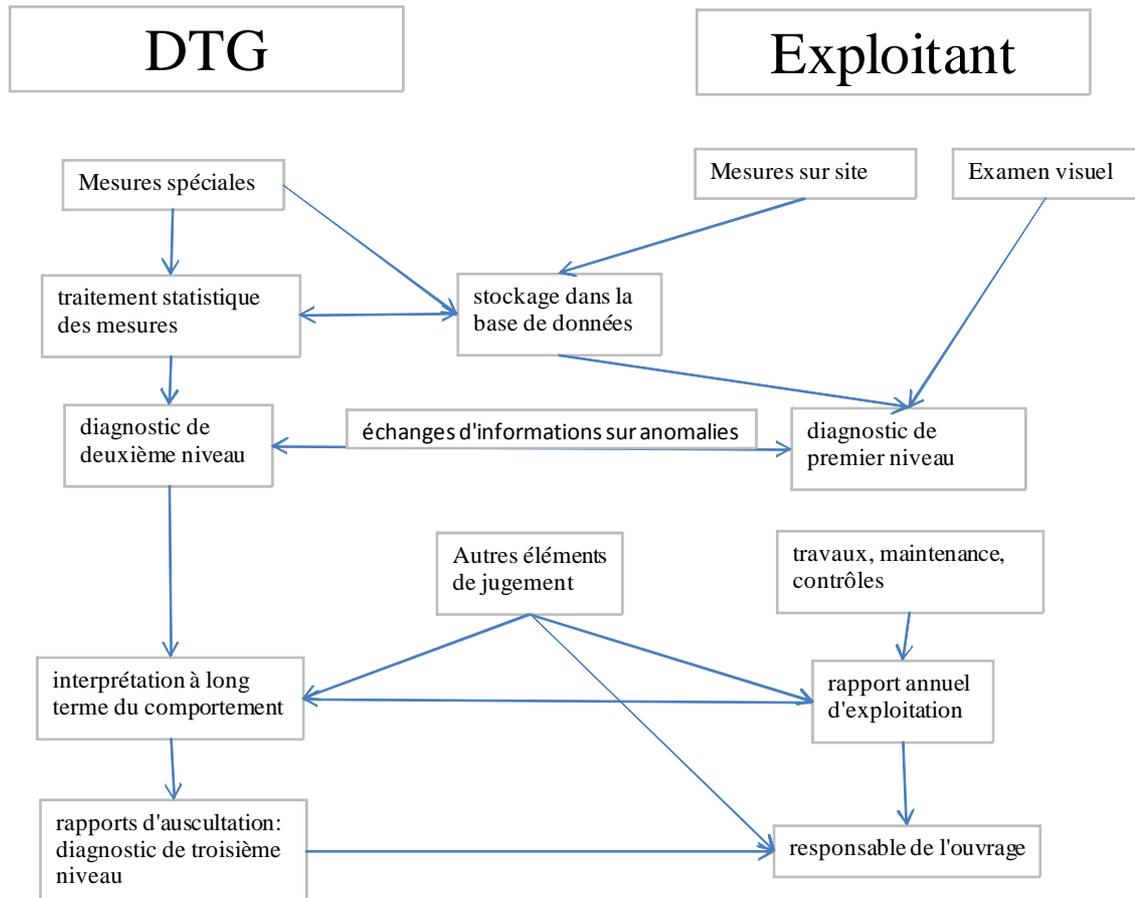


Figure 3 : organisation de la surveillance à EDF

### 1.3. Formation

Pour garantir une surveillance optimale, il faut du personnel motivé et formé. Pour cela EDF a mis au point un ensemble de stages proposés aux agents chargés de la surveillance.

Ces stages permettent de maîtriser le logiciel KOALA et la réalisation des mesures pour l'auscultation et de faire des inspections visuelles pertinentes.

## 2. PARADES EN CAS D'ANOMALIES

Lors de détection d'anomalies et après les vérifications d'usage qui auront mis hors de cause les erreurs de mesure ou une défaillance du capteur de mesure, une surveillance renforcée (parfois quotidienne) pourra être mise en place en se poursuivant parfois sur plusieurs mois voire plusieurs années, dans l'attente de l'analyse du problème et de la mise en œuvre de sa solution.

L'exploitant doit rester maître de la sûreté des ouvrages. Le pas de temps des opérations de surveillance doit être adapté à la vitesse de variation des phénomènes surveillés, mais ne doit pas être beaucoup plus court que le temps nécessaire à la prise de décision et aux opérations d'exploitation visant à mettre l'ouvrage en sécurité (pouvant aller jusqu'à la baisse du plan d'eau). La recherche de la cause ou l'origine de l'anomalie peut également amener à mettre en œuvre des investigations complémentaires (e.g. inspection de tubes piézométriques par camera, injection de traceurs fluo, mesures de paramètres physiques particuliers tels que la conductivité de l'eau d'une résurgence ou sa turbidité,...).

Lorsque la cinétique d'évolution des phénomènes est plus lente et que les causes des évolutions nécessitent une meilleure connaissance des phénomènes en jeu, un complément au dispositif d'auscultation pourra être mis en place.

### 3. JUSTIFICATION DE LA SURVEILLANCE AU REGARD DES RISQUES

#### 3.1. Contexte

La justification d'un dispositif d'auscultation n'est pas un exercice trivial mais il constitue un réel enjeu vis à vis de la sûreté des ouvrages. C'est d'ailleurs un sujet qui est particulièrement évoqué dans le cadre des dernières exigences réglementaires (i.e. auscultation des petits barrages, évaluation de la performance de la surveillance dans les revues de sûreté des grands barrages).

La plus-value apportée à la surveillance d'un barrage par le suivi et l'analyse des mesures de phénomènes physiques est d'autant plus évidente que son comportement est sensible. C'est d'ailleurs pour cela que l'auscultation est systématique pour vérifier le comportement d'un barrage neuf lors de sa première mise en eau (période particulièrement critique) et l'adéquation du comportement de l'ouvrage aux hypothèses prises à sa conception. L'auscultation s'impose également lorsque des phénomènes précurseurs de défaillance sont apparus. En outre, l'appréciation du comportement d'un ouvrage pour lequel on ne dispose pas de données d'auscultation est très difficile.

Pour justifier la pertinence et la performance de la surveillance des barrages, EDF fait le choix d'adopter une approche pragmatique basée sur une démarche d'analyse de risques de défaillance. Cette méthodologie basée sur l'identification des modes de défaillance, permet de mettre en regard des parades de surveillance en adéquation avec les risques encourus par l'ouvrage.

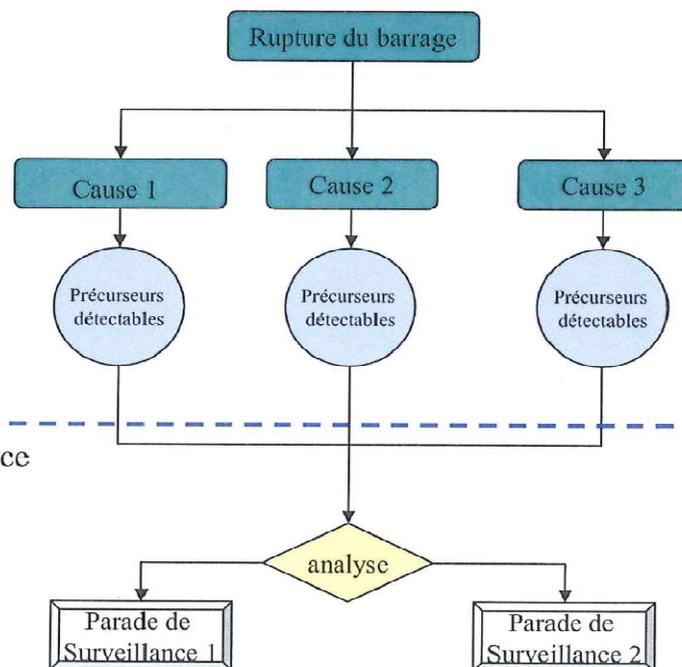
#### 3.2. La méthode

##### 3.2.1. Le principe

Le principe de détermination de la surveillance s'appuie sur l'identification des modes et des causes possibles de défaillance d'un ouvrage afin de définir les précurseurs détectables. Ces précurseurs sont ensuite analysés selon un raisonnement de type logique, faisant intervenir des critères de jugement qui permettront d'évaluer la sévérité de ces précurseurs et de définir les parades de surveillances à mettre en œuvre.

- Analyse de risque :

→ Arbre des causes (modes de défaillance)



- Détermination d'une surveillance adaptée :

→ Synoptique de surveillance (analyse)

**Figure 4 : Principe de détermination de la surveillance**

Ainsi, pour chaque ouvrage, la démarche de détermination de la surveillance va permettre d'identifier, après analyse des données disponibles (éléments de conception, données d'historique ou de comportement, examens visuels...), les éventuels précurseurs se manifestant par :

- Des écarts par rapport à une situation attendue,
- Un niveau de gravité d'une situation constatée.

Il est raisonnable de penser que lorsque ces précurseurs ne sont manifestement pas détectés, c'est que les risques de défaillance sont encore globalement maîtrisés et que la surveillance telle qu'elle est organisée peut ne pas être complétée. Pour les petits barrages n'étant surveillés qu'en examen visuel, il est envisageable de déroger à l'installation d'un dispositif d'auscultation. Ce principe peut être appliqué quelle que soit la classe de l'ouvrage. Toutefois, le critère « enjeu » est à prendre en compte pour traiter des barrages de classe A voire certains B. La démarche est malgré tout la même : c'est le niveau de sûreté recherché qui doit être plus élevé au regard des risques que ces ouvrages font courir aux populations. Cela conduit à rechercher une plus grande certitude quant à l'absence de ou des précurseur(s).

Il est bien entendu que la finesse et la validité de l'analyse de risque dépendra de la qualité et la complétude des données mises à disposition pour sa réalisation. En cas d'absence de données ou lorsqu'il existe un doute sur la présence effective d'un ou de précurseur(s), il peut s'avérer nécessaire de procéder à des investigations complémentaires qui permettront de statuer plus précisément sur le niveau de sûreté.

### 3.2.2. Le guide d'élaboration d'un dispositif de surveillance

Depuis de nombreuses années, EDF a établi et fait évoluer un référentiel technique sur la conception, la surveillance et la maintenance des barrages en lien avec les pratiques nationales et internationales du domaine. Ce référentiel, à usage des exploitants et de l'ingénierie d'EDF, est principalement ciblé sur la maintenance des ouvrages. Comme cela se pratique dans d'autres organismes, le développement ces dernières années des démarches de maîtrise des risques a conduit EDF à compléter ce référentiel.

Il a été ainsi constitué un guide d'élaboration des dispositifs d'auscultation et de surveillance des barrages, qui traite séparément chaque type de barrage : poids, voûtes, remblais à masque, remblais homogènes ou zonés, multi-voûtes, à contreforts. Il a été conçu en deux étapes. Ainsi, pour chaque type de barrage, les modes et les causes de défaillance ont été définis en synthétisant les connaissances acquises au travers des publications scientifiques sur le sujet et notamment la traduction des modes de ruptures. Cette démarche se veut la plus universelle possible en ce sens où les modes de défaillances définis doivent être partagés par l'ensemble des acteurs de la sûreté des barrages, et en particulier ceux contribuant à l'élaboration des études de dangers (EDD) et des revues de sûreté (RS).

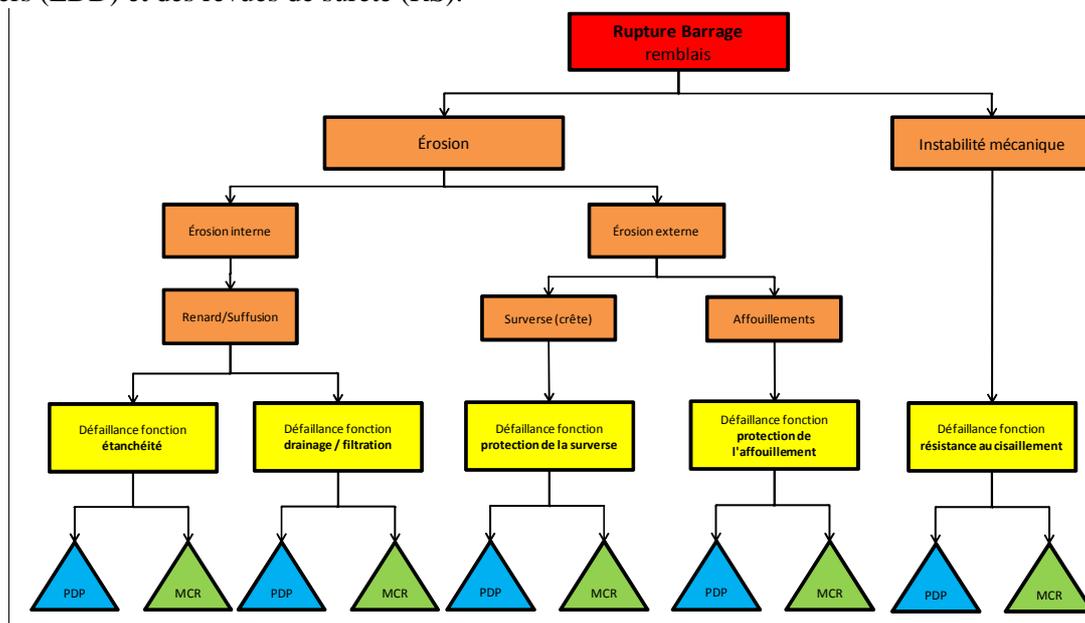


Figure 5 : Extrait d'un arbre des causes générique d'un barrage en remblai (PDP et MCR renvoyant respectivement à des arbres secondaires relatives à des Pertes De Performance et Mauvaise Conception Réalisation des fonctions techniques défaillantes)

Les précurseurs détectables ont ensuite été définis en regard de chaque cause relative aux modes de défaillances. La nature de ces précurseurs se résume à des indicateurs sur la conception, sur le comportement et l'état de l'ouvrage. Ces précurseurs sont spécifiques à chaque mode de défaillance, pour chaque type de barrage en distinguant les aspects d'ordres mécanique et hydraulique.

L'étape suivante est la détermination des actions de surveillance à mettre en œuvre. Elles sont définies comme des réponses à la présence ou à l'importance de critères contribuant à l'apparition du précurseur. Ces critères sont par nature qualitatifs et font l'objet d'une définition la plus objective possible.

## 4. CONCLUSIONS

Riche d'une expérience de plusieurs milliers d'années-barrages, EDF s'appuie sur une organisation rigoureuse du contrôle des barrages, dans laquelle l'observation qualitative (examen visuel) et quantitative (auscultation) joue un rôle prépondérant. Souvent l'auscultation attire l'attention sur des amorces d'évolution avant qu'elles ne soient perceptibles lors des inspections. Aussi la définition de la surveillance sur un barrage est une étape déterminante mais qui est loin d'être triviale. Une approche faisant intervenir les modes de défaillances des barrages a été mise en œuvre pour porter un jugement de façon objective sur la sûreté des ouvrages et proposer des parades lorsque cela se justifie. A ce jour, la mise en œuvre de cette démarche pragmatique qui considère les ouvrages selon leur sûreté intrinsèque, contribue pour EDF à améliorer la connaissance de son parc. Elle requiert toutefois des principes fondamentaux, applicables à tout maître d'ouvrage :

- Nécessité de disposer de données technico-historiques de qualité sur la conception et l'évolution de l'état des ouvrages par la traçabilité des actions mises en œuvre,
- Mise en œuvre de la surveillance par des exploitants sensibilisés aux risques et informés des particularités de leur ouvrage. Les spécialistes de la surveillance sont en appui aux exploitants pour les guider dans cette mise en application et veiller à la pertinence de celle-ci.

## RÉFÉRENCES

Poupart, M. (1993). *Structure et pratique de la surveillance des grands ouvrages de génie civil*. Colloque technique de l'Université de SHERBROOKE

Sausse, J., Bourgey P., Perez M. (2011). *Surveillance of dams adapted to risks*. 3<sup>rd</sup> International Forum on risks analysis, dam safety & dam security, Valencia, 17-18 octobre 2011.