



**HAL**  
open science

## Evaluation de l'auscultation des barrages pour sa valorisation dans les études de dangers

François Masse, Thibault Balouin

► **To cite this version:**

François Masse, Thibault Balouin. Evaluation de l'auscultation des barrages pour sa valorisation dans les études de dangers. Colloque CFBR "Sûreté des barrages et enjeux", Nov 2016, Chambéry, France. pp.65-77. ineris-01863122

**HAL Id: ineris-01863122**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01863122>**

Submitted on 28 Aug 2018

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

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

# EVALUATION DE L'AUSCULTATION DES BARRAGES POUR SA VALORISATION DANS LES ETUDES DE DANGERS

## *Evaluate Dam Monitoring Performances for its Integration in Safety Reports*

François Massé<sup>1</sup>, Thibault Balouin  
INERIS - Parc Technologique Alata, BP n°2, 60550 Verneuil-en-Halatte (France)  
[francois.masse@ineris.fr](mailto:francois.masse@ineris.fr), [thibault.balouin@ineris.fr](mailto:thibault.balouin@ineris.fr)

### MOTS CLÉS

Systèmes de sécurité, fréquence, vieillissement, barrages, barrières de sécurité

### RÉSUMÉ

*Evaluation de l'auscultation des barrages pour sa valorisation dans les Etudes de Dangers. Cet article présente une étude réalisée par l'INERIS en 2013[2] dont l'objectif est de proposer des critères d'évaluation des systèmes d'auscultation et des moyens de les valoriser dans les Etudes De Dangers. L'auscultation, et plus largement la surveillance, sont des processus continus qui ont pour objectif d'apprécier l'évolution du risque pendant la vie de l'ouvrage. Elles doivent permettre de maintenir un niveau de risque acceptable par la mise en œuvre d'actions appropriées si des dérives sont constatées. Il s'agit donc d'un système technique et organisationnel qui participe à la maîtrise des risques. Cela pourrait être perçu comme une barrière de sécurité ; pour autant, il semble difficile de l'évaluer comme une barrière au sens de la réglementation des Installations Classées et de la valoriser directement dans une EDD par une probabilité moyenne de défaillance à la demande. L'étude s'attache donc à répondre à différentes questions : comment évaluer les performances des systèmes d'auscultation ? Les systèmes d'auscultation peuvent-ils être considérés comme des barrières de sécurité au sens de la réglementation ? Comment intégrer les systèmes d'auscultation dans les scénarios d'accident ? Après une présentation de l'auscultation des ouvrages hydrauliques de manière générale et de ses objectifs, l'auscultation est placée dans le cadre de l'étude de dangers. Différents moyens de la prendre en compte sont présentés et discutés. Des critères d'évaluation sont proposés. L'étude de l'INERIS traite de l'auscultation pour la surveillance à long terme et court terme des ouvrages. Dans cet article, nous présentons les principales propositions sur l'évaluation de l'auscultation pour la surveillance à long terme dans le cadre d'études de danger.*

### ABSTRACT

*Evaluate Dam Monitoring Performances for its Integration in Safety Reports. This paper presents a study carried out by INERIS in 2013 [2] which aims to provide assessment criteria for monitoring systems and means of enhancing them in safety reports. Dam monitoring is a continuous process that aims to assess the evolution of risk during the life of the structure. It allows to maintain an acceptable level of risk by implementing appropriate actions if deviations are detected. It is a technical and organizational system involved in risk management. It could be perceived as a safety barrier; so far, it seems difficult to assess it as a barrier as defined by regulation related to Hazardous Installations and to integrate it in the safety study as an average probability of failure on demand. This paper aims to answer various questions: how to evaluate the performance of monitoring systems? Can monitoring systems be considered safety barriers within the meaning of the regulation? How to integrate monitoring systems in accident scenarios? After a global presentation of monitoring of hydraulic structures and its objectives, monitoring is placed in the context of the risk assessment. Various means of evaluation are presented and discussed. Evaluation criteria are proposed. The study deals with monitoring for long-term and short-term surveillance. In this paper, we present the main proposition on the evaluation of the monitoring systems for long-term surveillance within the framework of hazard studies*

---

<sup>1</sup>Auteur correspondant

## 1. INTRODUCTION

Le Code de l'Environnement définit des études et actions à mettre en place suivant les classes des ouvrages. Parmi celles-ci on trouve les études de dangers (EDD) (articles R214-115 à R214-117), les rapports d'auscultation et les revues de sûreté.

Les études de dangers correspondent à une évaluation à un instant donné du niveau de risque que l'ouvrage fait peser sur son environnement. Les systèmes d'auscultation et leur suivi donnent lieu à un rapport d'auscultation indépendant de l'EDD mais peuvent également être valorisés dans les études de dangers comme éléments contribuant à la maîtrise des risques.

L'arrêté du 12 juin 2008 [1] définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu, revient dans son chapitre 8 sur l'identification et caractérisation des risques en termes de probabilité d'occurrence, d'intensité et de cinétique des effets, et de gravité des conséquences : « *L'étude de dangers s'appuie sur une analyse de risques permettant d'identifier les causes, les combinaisons d'événements et les scénarios susceptibles d'être, directement ou par effet domino, à l'origine d'un accident important. Chaque accident potentiel est caractérisé par sa probabilité d'occurrence, l'intensité et la cinétique de ses effets et la gravité des conséquences pour la zone touchée. En synthèse, les différents scénarios d'accident sont positionnés les uns par rapport aux autres en fonction de leur probabilité d'occurrence et de la gravité des conséquences, évaluée en termes de victimes humaines potentielles et de dégâts aux biens, en mettant en évidence les scénarios les plus critiques* ».

Les accidents potentiels sont sélectionnés sur la base d'une analyse de risques, spécifique au barrage étudié. Les risques peuvent avoir pour origine des défaillances intrinsèques (vieillessement du corps de l'ouvrage, défaillance d'un organe de contrôle par exemple, pathologie du béton), des agressions externes (séisme, incendie ou crue par exemple) ou des erreurs opératoires.

La surveillance d'un barrage vise à détecter les dérives et les évolutions de l'ouvrage susceptibles d'être à l'origine d'un phénomène dangereux. Elle vise donc à réduire le risque d'accidents potentiels liés à des défaillances intrinsèques. Elle diffère de différentes activités : les inspections visuelles, le contrôle des organes d'évacuation et de sécurité et l'auscultation. Le système d'auscultation est donc une composante de la surveillance de l'ouvrage. Il s'agit d'un système technique et organisationnel visant à obtenir des mesures précises de paramètres physiques représentatifs de l'état de l'ouvrage et de son évolution. Ces mesures sont exploitées pour évaluer périodiquement la sûreté de l'ouvrage et mettre en œuvre le cas échéant des opérations de confortement.

Cet article porte sur l'utilisation de l'auscultation pour maîtriser les risques que font peser les **phénomènes de dégradation à cinétique lente (vieillessement, pathologies, ...)** pendant la vie d'un ouvrage. Il est issu d'une étude réalisée dans le cadre d'un programme d'appui ministériel piloté par l'INERIS. Un rapport [2] donne des éléments sur la valorisation des systèmes d'auscultation pour la surveillance sur le court terme et le long terme dans les études de dangers. Cet article présente les résultats de cette étude sur l'auscultation pour la surveillance à long terme pour la détection de phénomènes à cinétique lente.

## 2. GENERALITES SUR L'AUSCULTATION

### 2.1 Les différents types d'auscultation

Les données générales sur l'auscultation sont issues de visites de l'INERIS sur des ouvrages de la SHEM, d'EDF et de l'EPTB Seine Grands lacs ainsi que sur les différents documents du CIGB traitant de l'auscultation cités en référence ([3], [4], [5]).

L'auscultation des ouvrages hydrauliques est une activité de surveillance basée sur la mesure de paramètres physiques et le suivi de leur évolution. Les mesures physiques sont réalisées sur l'ouvrage, ses fondations, ou son environnement (bassin versant par exemple).

L'auscultation permet de mesurer :

- le comportement hydraulique (mesures de débits ou pressions dans l'ouvrage et ses fondations) ;
- le comportement mécanique (mesures de déplacements et déformations de l'ouvrage et de ses fondations).

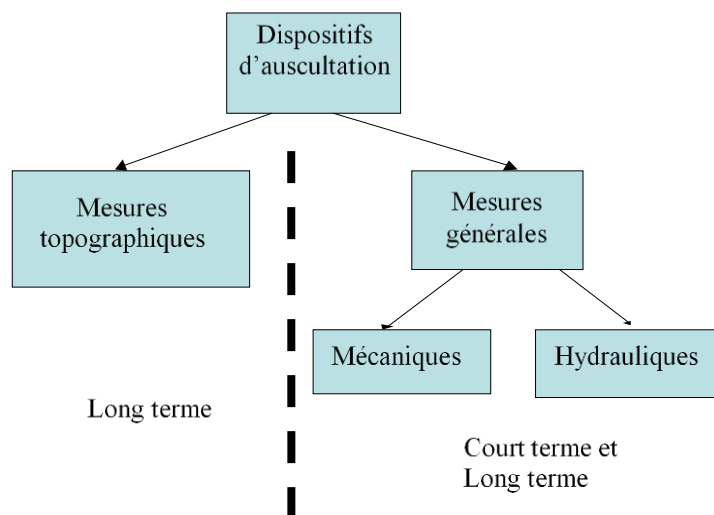
On distingue deux types d'auscultation, qui peuvent être réalisés à des fréquences et par des intervenants différents :

- l'auscultation générale au moyen d'équipements fixes installés dans le barrage ou mobiles ;
- l'auscultation topographique (topométrie, nivellement, etc.) nécessitant des points de repères fixes.

L'auscultation générale est la plupart du temps réalisée à des fréquences plus élevée que l'auscultation topographique.

L'auscultation vise deux objectifs différents et complémentaires :

- l'auscultation pour la surveillance à court-terme permet de détecter des évolutions rapides du comportement ou de l'état de l'ouvrage et de mettre en œuvre des mesures appropriées en cas de détection d'une situation dangereuse. Ce type d'auscultation peut se matérialiser par la surveillance du franchissement d'un seuil prédéfini sur un paramètre mesuré (par exemple la détection de turbidité dans les drains d'un barrage remblais ou un débit de fuite important) ou par les traitements de 1er ou de 2nd niveau de l'auscultation générale. Le franchissement du seuil doit être signalé dans des délais suffisamment brefs par l'intermédiaire d'une alarme ou par une fréquence de mesure et de traitement de premier niveau élevée ;
- l'auscultation pour la surveillance à long-terme, objet du présent article, vise à détecter les évolutions lentes de l'état de l'ouvrage en vue de maintenir la sécurité dans le temps et éventuellement d'initier des analyses approfondies et des travaux de confortement.



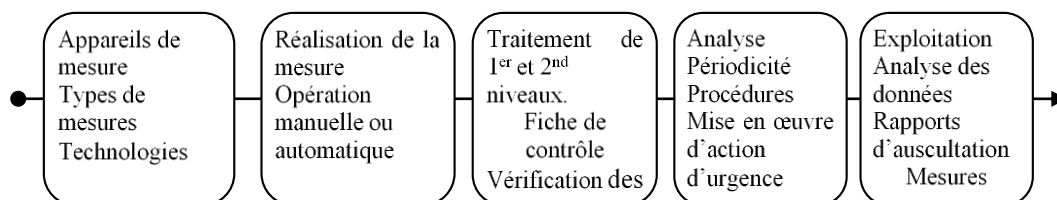
**Graphique 1 :** *Typologie des dispositifs d'auscultation*

Un même dispositif d'auscultation peut être utilisé pour des objectifs de surveillance à court-terme et long-terme. Cependant, les critères d'évaluation de la performance de l'auscultation ne seront pas les mêmes. Les dispositifs doivent donc être évalués en fonction du ou des usage(s) prévu(s). La suite de cet article présente des critères d'évaluation et les moyens de valoriser l'auscultation dans une Etude de Dangers (EDD) applicables à l'auscultation pour une surveillance sur le long-terme.

## 2.2 Décomposition fonctionnelle d'un système d'auscultation

Un dispositif d'auscultation nécessite pour être efficace la mise en place d'une organisation adéquate et un personnel compétent pour effectuer les mesures et analyser les résultats. L'auscultation est un système **technique** et **organisationnel**. Il ne se limite pas à un appareil de mesure mais intègre la réalisation des mesures (manuelles ou automatiques), la qualification, l'installation et la maintenance des appareils de mesure, l'enregistrement et les traitements de premier et de second niveau <sup>1</sup> des données, l'analyse des résultats et la prise de décision. Les dispositifs techniques et humains sont interdépendants et impliqués dans chacun des éléments constituant le système d'auscultation.

<sup>1</sup> Le traitement de premier niveau est réalisé immédiatement après la tournée afin de détecter les mesures anormales et de valider les mesures avant transmission au bureau d'étude agréé. Celui-ci réalise un traitement de second niveau dans un délai de quelques jours pour juger de la normalité des mesures. En cas de mesure anormale, des vérifications peuvent être faites sur site.



**Graphique 2 : Diagramme d'un système d'auscultation**

Dans cet article, le terme « système d'auscultation » désigne donc les appareils de mesure et leur qualification, mais également :

- la procédure de réalisation des mesures ;
- la collecte et la vérification des données ;
- l'enregistrement des données ;
- l'analyse des données ;
- les décisions et mesures appliquées sur le système d'auscultation suite à l'analyse des données.

Les paramètres mesurés dans le corps du barrage et ses fondations doivent être représentatifs et adaptés aux particularités de l'ouvrage (type, matériaux, hauteur, fondations, environnement) afin de pouvoir juger de son évolution dans le temps. Les paramètres mesurés et les points de mesures doivent être définis en fonction des phénomènes évolutifs mesurables susceptibles d'être à l'origine d'un scénario d'accident. Les mesures doivent prendre en compte l'historique de l'ouvrage.

### 2.3 L'auscultation dans la maîtrise des risques liés au vieillissement et aux pathologies des ouvrages

Le vieillissement est une catégorie de détérioration associée aux altérations au cours du temps des propriétés des matériaux et des structures. Dans des conditions normales d'exploitation, le vieillissement pourra affecter l'exploitation de l'ouvrage, puis se répercuter sur la sécurité si des mesures correctives ne sont pas prises.

Le processus de surveillance est un maillon essentiel de la maîtrise des risques liés au vieillissement. Il vise à réduire les probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux en mettant en œuvre des moyens permettant de détecter de manière précoce des dérives susceptibles d'engendrer une éventuelle défaillance ou rupture de l'ouvrage.

Des actions de surveillance et donc d'auscultation sont réalisées dans les différentes phases du cycle de vie d'un ouvrage :

- lors de la construction ou de travaux ;
- lors du premier remplissage ;
- en phase de jeunesse de l'ouvrage ;
- en phase d'exploitation en régime normal de l'ouvrage. Au cours de cette phase, des phénomènes de vieillissement peuvent dégrader l'ouvrage ou ses appuis ;
- suite à un événement externe particulier ou au cours de cet événement (séisme, crue, gel important) ;
- lors de travaux ou de vidanges.

Cet article portant sur la maîtrise des risques liés au vieillissement ou aux pathologies provoquant des dégradations lentes de l'ouvrage, il traite de l'auscultation en phase normale d'exploitation : on considère en général que les détériorations survenant après les 5 à 10 premières années de l'ouvrage sont liées au vieillissement. Les détériorations qui se produisent avant cette période sont jugées comme étant des phénomènes de jeunesse dus à des insuffisances dans les études de conception, la construction ou la mise en service de l'ouvrage. Il est admis qu'un délai de l'ordre de 5 ans [3]<sup>3</sup> est nécessaire pour obtenir une quantité de données suffisante à l'analyse statistique de l'évolution du comportement d'un ouvrage.

<sup>3</sup> Le bulletin CIGB n°87 donne comme ordre de grandeur une période de 5 à 10 ans pour connaître le comportement d'un ouvrage.

### 3. EVALUATION DES SYSTEMES D'AUSCULTATION POUR LA SURVEILLANCE A LONG-TERME

#### 3.1 Comparaison des systèmes d'auscultation et des barrières de sécurité

On cherche à définir suivant quels principes et quels critères les systèmes d'auscultation peuvent être valorisés dans les études de dangers. Le principe initialement retenu était de les valoriser comme barrières de sécurité comprenant des éléments techniques et humains et de leur attribuer un niveau de confiance selon des critères d'évaluation des barrières techniques et humaines. Les méthodes  $\Omega 10$  [6] et  $\Omega 20$  [7] traitent de l'évaluation des barrières techniques et humaines. On a cherché à adapter les principes et critères d'évaluation proposés par ces méthodes aux spécificités des systèmes d'auscultation.

D'une manière générale, une barrière de sécurité est conçue et mise en œuvre pour répondre à un objectif précis de sécurité en fonction d'un scénario dont la cinétique et le dimensionnement sont connus. Les critères d'évaluation des barrières de sécurité définis par les documents de référence [6] et [7] sont les suivants :

- l'indépendance avec la cause de l'événement redouté ;
- l'efficacité liée à la conception, au dimensionnement et aux technologies utilisées ;
- le temps de réponse (de la détection jusqu'à l'action associée) adapté à la cinétique du scénario ;
- le niveau de confiance (NC) qui est un niveau discret (de 1 à 4) caractérisant le facteur de réduction de risque apporté par la barrière (de 10 à 10 000). Pour les éléments techniques, il est lié à la tolérance aux défaillances, au comportement sur défaut, au taux de diagnostic des défaillances, à la complexité technologique, à la qualification pour les contraintes environnementales pour les barrières techniques. Pour les éléments humains, le NC est lié à la complexité, la difficulté et aux conditions de réalisation de la tâche à effectuer ;
- le maintien des performances de la barrière dans le temps.

Différents types de barrières techniques de sécurité sont définies par la méthode  $\Omega 10$ . Des critères d'évaluation sont adaptés à chaque type de barrière. Parmi ces types, les Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS) reposent sur l'acquisition de mesures et leur traitement via des instrumentations (capteurs, automates, actionneurs). La démarche et les critères d'évaluation des Systèmes Instrumentés de Sécurité sont présentés dans le document de référence [8]. Les propriétés et contraintes de fonctionnement des systèmes d'auscultation et des barrières de sécurité sont différentes. Néanmoins, la décomposition fonctionnelle des systèmes d'auscultation présentée au graphique 2 est similaire à celle d'un Système Instrumenté de Sécurité (SIS), intégrant ou non des tâches humaines. Il s'agit, pour les deux types de système, de réaliser des mesures, de traiter ces mesures et de réaliser une action en conséquence. Le tableau ci-après présente les principales différences entre les propriétés et contraintes de fonctionnement de ces deux types de systèmes dans leur ensemble :

Système instrumenté de Sécurité	Système d'auscultation
Temps réel	Non Temps réel
Temps de réponse critique	Délai de réponse accepté
Mesures fréquentes ou continues (fréquence d'acquisition <1s)	Mesures peu fréquentes
Fonctionnement permanent (solicitations aléatoires)	Fonctionnement planifié
Déclenchement généralement à un seuil intégrant une marge de sécurité (systèmes de détection)	Précision de mesure critique (systèmes de mesure) Analyse des mesures a posteriori
Arrêt interdit	Défauts occasionnels acceptables
Action automatique	Action sur demande de l'exploitant
Doit être conçu de manière à assurer la sécurité des personnes et des biens, y compris en cas de défaillance du système	Doit être conçu de manière à assurer l'intégrité et la précision des données

**Tableau 1 :** Comparaison entre Systèmes Instrumentés de Sécurité et Système d'Auscultation

Selon l'étude de l'INERIS sur l'auscultation [2], les critères de performance des barrières techniques de sécurité ne sont pas adaptés aux systèmes d'auscultation pour la surveillance à long-terme, les technologies mises en jeu, les temps de traitement, les modes de traitements et les objectifs étant différents.

En effet :

- il n'est pas aisé d'analyser si les accidents dus au vieillissement connus se sont produits alors qu'un système d'auscultation était en place et dans ce cas, quelle était la qualité de ce système. Dans ces conditions, il est difficile de déterminer une fréquence d'occurrence de phénomènes de vieillissement qui sera diminuée par l'application d'une probabilité de défaillance du système d'auscultation ;
- les défaillances d'un appareil de mesure ou les erreurs dans la réalisation de la mesure sont détectables par traitement des premiers et seconds niveaux, ce qui offre une possibilité de rattrapage ;
- les cinétiques des défaillances permettent, pour les mécanismes à cinétiques lentes, de confirmer la mesure, de remplacer les matériels ou de mettre en place des mesures complémentaires ;
- le temps de réponse – attendu et réalisé – ne peut pas être défini de manière précise lors de la conception du système mais des plans d'actions et leur délai seront définis en fonction des observations réalisées ;
- les systèmes d'auscultation ne fonctionnent pas à la demande mais doivent permettre de collecter des données de manière régulière et sur le long terme.

En revanche, la démarche générale appliquée pour les barrières de sécurité est quant à elle transposable et applicable au travers de la définition de critères permettant de répondre aux enjeux de l'auscultation et d'objectiver l'évaluation de chaque élément du système d'auscultation afin de valoriser celle-ci dans une EDD. Des critères d'évaluation adaptés aux objectifs et au fonctionnement de l'auscultation long-terme ont donc été définis.

### **3.2 Critères d'évaluation des systèmes d'auscultation pour la surveillance à long-terme**

Un système d'auscultation est conçu pour suivre dans le temps l'évolution de grandeurs physiques représentatives de l'état du barrage et détecter tout événement anormal. L'enjeu de l'évaluation du dispositif d'auscultation est de s'assurer :

- que le système est apte à répondre à son objectif de suivi des paramètres physiques ;
- que le suivi de ces paramètres physiques contribue à la réduction des risques liés à l'ouvrage.

A partir des méthodes d'évaluation des barrières [6][7] et des différents bulletins CIGB, l'étude de l'INERIS [2] a retenu quatre critères d'évaluation pour l'auscultation pour la surveillance à long-terme :

- critère de définition ;
- critère d'efficacité ;
- critère de temps de réponse ;
- critère de pérennité des mesures.

Ces critères sont applicables à l'ensemble des composants du système d'auscultation.

Le respect de ces 4 critères permet de considérer que le système d'auscultation atteint le niveau de performance acceptable pour contribuer à la réduction du risque. Différents moyens de valoriser cette contribution à la réduction du risque dans les EDD sont présentés au paragraphe 4 de cet article. Selon notre étude [2], ces critères sont applicables au système d'auscultation de manière générale et doivent être déclinés à chacun de ses composants. Nous proposons de les examiner dans le détail ci-après.

#### *3.2.1 Critère de définition*

Pour être pertinent, un système d'auscultation doit être correctement défini, c'est-à-dire que ces objectifs doivent être connus et servir de base à la spécification technique et à l'exploitation du système. Ainsi, sa conception doit suivre le processus suivant :

**1°/ Définition des objectifs de l'auscultation :** les objectifs sont définis en fonction des phénomènes dangereux identifiés (en général la rupture, mais aussi le blocage d'une vanne...) ayant pour origine une évolution irréversible de l'ouvrage. La cinétique des événements initiateurs associés doit être évaluée ;

**2°/ Définition des paramètres mesurés :** les paramètres représentatifs des phénomènes de vieillissement et le type de mesure correspondant sont établis ;

**3°/ Définition des moyens mis en œuvre :** les dispositifs de mesure adaptés doivent être spécifiés, ainsi que leur implantation. Ils doivent être conçus et qualifiés en suivant les bonnes pratiques d'ingénierie. La fréquence, l'organisation mise en place et les responsabilités pour les différentes tâches doivent être définies ;

4°/ Possibilité de mettre en œuvre des mesures compensatoires : la possibilité de pallier les dérives par la réalisation de travaux de confortement, la mise en œuvre de dispositifs supplémentaires ou la vidange de la retenue doit être confirmée pour le phénomène surveillé ;

5°/ Évaluation de la cinétique du phénomène de vieillissement surveillé : la pertinence du système d'auscultation en tant que barrière de sécurité est liée à la cinétique des phénomènes surveillés. En effet, lorsqu'une anomalie est détectée, un temps suffisant doit être disponible pour effectuer des analyses complémentaires pour interpréter, échanger avec l'autorité de contrôle et le cas échéant mettre en œuvre des mesures compensatoires.

### 3.2.2 Critère d'efficacité

L'efficacité doit être évaluée pour la réalisation des mesures et leur exploitation.

Dans un premier temps, les phénomènes de vieillissement à l'origine des scénarios d'accident définis dans l'étude de dangers doivent être identifiés. L'existence de système d'auscultation permettant de les surveiller doit être confirmée. Cela implique que le phénomène de vieillissement considéré comme événement initiateur doit avoir une manifestation physique apparaissant progressivement, observable et mesurable. On définit ainsi des mesures d'auscultation valorisables dans l'EDD.

Ces mesures sont efficaces si :

- elles sont intégratrices, c'est-à-dire qu'elles permettent de détecter un phénomène sur l'ensemble de l'ouvrage ou sur une zone de l'ouvrage ;
- ou le phénomène surveillé est très localisé, rendant alors l'auscultation réalisable par une mesure ponctuelle.

Le nombre et la localisation des points de mesure sont déterminés en fonction de l'ouvrage et des phénomènes surveillés. L'ensemble doit être suffisamment complet pour mesurer les effets des phénomènes surveillés, quelle que soit leur localisation et leur importance. S'il n'est pas possible d'instrumenter suffisamment de points de mesures ou si les points de mesures ne sont pas assez représentatifs, l'inspection visuelle régulière de l'ouvrage doit s'attacher à détecter plus particulièrement le phénomène de vieillissement en jeu.

L'efficacité des appareils de mesure est caractérisée par leur précision et de leur fiabilité. Les appareils doivent être qualifiés pour l'usage prévu et leur précision doit être adaptée à l'application. Il convient néanmoins de remarquer qu'au vu de la cinétique lente des phénomènes auscultés, les défaillances ponctuelles des systèmes d'auscultation ou les erreurs de mesures peuvent être compensées.

L'exploitation des résultats d'auscultation est un facteur important de l'efficacité. Il est primordial que les traitements de 1<sup>er</sup> niveau soient réalisés lors de la saisie des données afin de s'assurer de la cohérence des valeurs obtenues et si nécessaire de les vérifier puis les valider.

L'interprétation doit être réalisée peu de temps après l'exécution des mesures afin de détecter au plus tôt une anomalie de comportement de l'ouvrage. Elle doit tenir compte de paramètres d'exploitation qui ont un effet sur les mesures (charge hydrostatique) et des conditions extérieures (température, phénomènes météorologiques exceptionnels).

### 3.2.3 Critère de temps de réponse

L'auscultation est un système de prévention des risques intervenant en amont du phénomène dangereux. Son temps de réponse doit être évalué au regard de la cinétique du phénomène de vieillissement ou de la pathologie qui sont à l'origine du scénario accidentel considéré.

*Dans le cas de l'auscultation à long-terme, le temps de réalisation de la mesure et du traitement de premier niveau est peu critique car ces systèmes interviennent sur des précurseurs en amont du phénomène dangereux. Le temps de détection d'une dérive est dépendant de la fréquence d'analyse des données plutôt que de la fréquence de réalisation des mesures. Une dérive peut être détectée lors des traitements de 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> niveaux, si des seuils sont définis ou lors de l'analyse des données pour des dérives peu importantes. Le temps de réponse doit prendre en compte les fréquences de mesures, les fréquences d'analyses, le temps pour obtenir une série de données suffisante et du temps nécessaire pour mettre en œuvre des mesures compensatoires.*



### 3.2.4 Critère de pérennité

Ce critère est un point essentiel de la performance d'un système d'auscultation à long-terme. En effet, les analyses sont faites sur des séries de données importantes dont l'acquisition est coûteuse en temps. La perte d'un point de mesure entraîne souvent la perte de l'historique des données pour cette mesure : si un appareil est remplacé, il y aura un décalage entre la nouvelle mesure et les mesures précédentes. Les méthodes actuelles, en particulier statistiques permettent le plus souvent d'exploiter les deux séries de données, sauf cas particulier. L'obtention d'un historique de données suffisant pour calibrer les modèles nécessite un temps important de plusieurs mois voire années. Le remplacement de ces appareils demandera une nouvelle calibration du modèle.

La pérennité des mesures doit être assurée afin de permettre un traitement pertinent le long de la vie de l'ouvrage. Pour cela les appareils doivent avoir une durée de vie suffisamment longue. Leur maintenabilité, la possibilité de les remplacer et les contraintes d'étalonnage doivent être étudiées. L'intervalle maximal de perte de série de données doit être déterminé de façon à connaître les intervalles de tests périodiques des appareils de mesure. Cette évaluation doit prendre en compte le temps de remplacement de l'appareil ou de mise en place d'un nouveau point de mesure.

Pour évaluer un dispositif de mesure, il convient de déterminer :

- si l'appareil est étalonnable et si les dérives sont détectables ;
- si l'appareil est remplaçable en conservant un ensemble de données exploitables incluant les mesures réalisées avant et après le remplacement.

Les éléments susceptibles d'être endommagés par des chocs doivent être protégés ou situés dans des zones non passantes. Il s'agit notamment des points de visée pour la topométrie ou des scellements pour les pendules.

L'archivage des données est également un point clé de la pérennité. Afin de garantir la conservation des données, l'archivage doit au minimum être réalisé dans deux lieux différents ou avec des moyens de sauvegardes informatiques adaptées.

## 4. VALORISATION DES SYSTEMES D'AUSCULTATION POUR LA SURVEILLANCE A LONG-TERME DANS LES EDD

Deux approches pour la prise en compte des systèmes d'auscultation long-terme dans les études de dangers ont été proposées et discutées dans l'étude de l'INERIS [2] :

- la décote des fréquences des événements par une approche quantitative ou semi-quantitative : cette méthode suppose que la fréquence d'occurrence des événements initiateurs est connue, ou bien que le retour d'expérience sans auscultation est suffisant ;
- la prise en compte de l'auscultation comme un moyen de vérifier que les hypothèses de base de l'évaluation des risques sont maintenues dans le temps ; ces hypothèses étant le pré requis à une caractérisation générique et consensuelle des probabilités d'occurrence des événements redoutés liés au vieillissement des ouvrages.

### 4.1 Sensibilité de la fréquence d'évènements initiateurs à l'auscultation

Il existe peu de données sur les fréquences d'évènements initiateurs dus à des phénomènes de vieillissement. Lorsqu'elles existent, il n'est pas possible de déterminer si ces données ont été estimées en absence ou en présence de dispositifs d'auscultation. Il est donc, a priori, peu évident d'évaluer l'impact d'un dispositif d'auscultation sur une fréquence d'évènement initiateur. Cependant, l'apport d'une auscultation adéquate en matière de réduction du risque à la source est indéniable : en précisant la compréhension du phénomène de vieillissement, l'auscultation permet un affichage plus précis et donc moins majorant de la fréquence d'occurrence d'un évènement. L'impact de l'auscultation sur la fréquence d'évènement initiateur sera donc évalué en fonction de la qualité du système d'auscultation. Celle-ci devra être évaluée pour les dispositifs techniques (appareils de mesure, télémessures), et l'organisation (réalisation des mesures, traitement et analyse des données). Selon que les fréquences d'évènements initiateurs sont connues ou pas, cette approche sera appliquée de manière différente.

#### 4.1.1 Cas 1 : Fréquence de l'évènement initiateur connue

Cette approche consiste à évaluer de manière qualitative la fiabilité du dispositif d'auscultation afin d'intégrer une surcote ou une décote à la fréquence d'un évènement initiateur par rapport à un état de référence, en général le plus fréquemment rencontré dans le retour d'expérience. On évalue la qualité du système d'auscultation a priori en fonction des technologies, de l'architecture et de l'organisation mises en œuvre.

La fréquence de l'EI dû au phénomène de vieillissement ausculté est réalisée sans prendre en compte l'auscultation mise en place. Il peut s'agir d'une valeur générique de base de données ou issue d'un état de l'art / retour d'expérience (REx). Il est possible de faire alors correspondre à cette fréquence d'occurrence connue une classe de fréquence définie par exemple dans le tableau 2.

Fréquence annuelle d'occurrence de l'évènement initiateur (issue base de données ou REx)	Classe de fréquence correspondante retenue de l'EI sans considération du système d'auscultation
$10^0 \leq F < 10^1$	<b>F-1</b>
$10^{-1} \leq F < 10^0$	<b>F0</b>
$10^{-2} \leq F < 10^{-1}$	<b>F1</b>
$10^{-3} \leq F < 10^{-2}$	<b>F2</b>
$10^{-4} \leq F < 10^{-3}$	<b>F3</b>
...	...

**Tableau 2 : Exemple d'échelle de fréquence**

La performance d'un système d'auscultation sera évaluée par rapport à un état de référence des appareils de mesure, de l'organisation et des moyens pour des applications similaires : on cotera les critères de performance par comparaison avec l'état de l'art sur le même type de mesure. Cette évaluation doit donc être faite par rapport à la surveillance de phénomènes semblables sur des ouvrages similaires et non par rapport à la technologie de mesure. Pour chaque critère, on cotera la performance comme « faible », « moyenne » ou « élevée ».

Le tableau ci-dessous donne un exemple des critères adaptés à un appareil de mesure :

Atteinte du critère	Concept éprouvé	Redondance des mesures	Détection des erreurs et défauts	Simplicité d'utilisation	Maintenabilité	Tests et étalonnage	Qualification du matériel
Faible							
Moyenne							
Elevée							

**Tableau 3 : Exemple de grille d'évaluation d'un sous-système « mesure »**

Puis dans notre étude [2], on propose d'appliquer des décotes ou surcotes à la fréquence de l'évènement initiateur. Ainsi :

- si le dispositif est évalué comme faible pour au moins un critère, la fréquence d'occurrence de l'évènement initiateur (intégrant le dispositif d'auscultation) sera augmentée d'un facteur 10 (ou la classe de fréquence diminuée d'une unité : par exemple F2 à F1) ;
- si le dispositif n'est évalué comme faible pour aucun des critères et est évalué comme élevé pour la majorité des critères, la fréquence d'occurrence de l'évènement initiateur (intégrant le dispositif d'auscultation) sera diminuée d'un facteur 10 (ou la classe de fréquence augmentée d'une unité : par exemple F2 à F3).

Le facteur 10 correspond au facteur de réduction apporté par une barrière technique de sécurité conçue, exploitée et maintenue selon les règles de l'art mais ne disposant pas de moyens de fiabilisation particulier (autodiagnostic approfondis, redondance).

Note : Pour les niveaux considérés comme moyens, des décotes et surcotes appliquées pourront être définies en fonction du retour d'expérience, des bonnes pratiques et d'avis d'experts sur le sujet. Ce travail pourrait être réalisé par exemple un groupe de travail multipartite ad hoc. Cette analyse doit être menée pour l'ensemble des éléments techniques et humains du système d'auscultation.

#### 4.1.2 Cas 2 : Fréquence de l'événement initiateur inconnue

Cette approche visera à remplacer la fréquence de l'événement initiateur par une évaluation qualitative de la fréquence de non-fonctionnement de l'auscultation pour le scénario évalué, autrement dit de la non-détection d'une dérive de comportement de l'ouvrage.

On ne considérera pas la concomitance des événements « Présence d'un phénomène de vieillissement » et « non-fonctionnement du système d'auscultation » mais seulement l'occurrence du second événement. Cela revient donc à établir une hypothèse d'occurrence de l'EI.

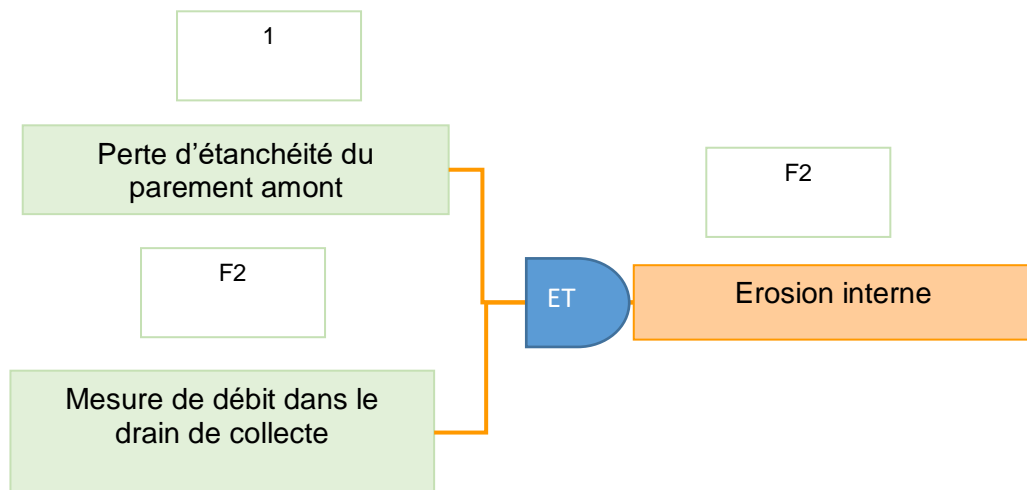
L'évaluation qualitative de l'occurrence de non-fonctionnement de l'auscultation pourra reprendre, par exemple, l'échelle de fréquence présentée au tableau 4. Il s'agira de classer la fréquence de défaut de l'auscultation sur la base d'avis d'experts ou d'un groupe de travail.

Plage de valeur retenue d'occurrence du non-fonctionnement du système d'auscultation	Classe de fréquence correspondante retenue pour l'ensemble {EI ; Système d'auscultation}
1 à 10 fois / an	<b>F-1</b>
1 fois tous les 1 à 10 ans	<b>F0</b>
1 fois tous les 10 à 100 ans	<b>F1</b>
1 fois tous les 100 à 1 000 ans	<b>F2</b>
1 fois tous les 1 000 à 10 000 ans	<b>F3</b>

Tableau 4 : Exemple d'échelle de fréquence

Un évènement courant (s'étant déjà produit sur le site ou pouvant se produire plusieurs fois sur sa durée de vie sera classé entre F1 et F-1), un évènement improbable sera classé en F3.

Cette approche revient à estimer l'occurrence du phénomène de dégradation identifié comme évènement initiateur comme certaine (probabilité d'occurrence égale à 1) et à évaluer la probabilité qu'il soit détecté par l'auscultation. Cette approche majorante équivaut à prendre la probabilité de non fonctionnement de l'auscultation comme probabilité d'occurrence de l'évènement intermédiaire. Elle suppose un retour d'expérience suffisant sur les systèmes d'auscultation. A titre d'exemple, les phénomènes d'érosion interne dans un barrage en remblai peuvent parfois être détectés par l'auscultation, notamment par l'augmentation du débit mesuré par les dispositifs de collecte en aval de l'ouvrage.



#### 4.2 Contrôle des hypothèses d'évaluation des risques

Cette approche consiste à intégrer les résultats d'auscultation a posteriori. Elle est donc valable sur un ouvrage pour lequel un historique de données analysées est disponible. Il ne s'agit pas d'évaluer la probabilité d'occurrence d'un événement initiateur en fonction de la qualité de l'auscultation mais en fonction des résultats de l'auscultation. Ceci suppose de réaliser une interprétation des résultats orientée en fonction de cet objectif.

Lors de l'étude de dangers d'un ouvrage, les phénomènes de vieillissement susceptibles de provoquer un phénomène dangereux sont dans un premier temps identifiés. Si ces phénomènes sont effectivement auscultés par des systèmes répondant à des critères minimaux, les résultats de l'auscultation seront analysés afin de déterminer la présence ou non du phénomène, son avancement et sa cinétique. L'objectif sera de déterminer si ce phénomène est :

- possible car déjà rencontré sur ce type d'ouvrage, mais non observé sur l'ouvrage étudié ;
- probable car des variations faibles des paramètres le mesurant sont observées ;
- avéré car le début du phénomène de dégradation est mesurable sans ambiguïté sur l'ouvrage.

Les rapports d'auscultation et la revue de sûreté d'un ouvrage fournissent alors des données d'entrée de l'étude de dangers, au même titre qu'une étude de stabilité ou une étude hydrologique : l'étude de dangers n'a pas à faire doublon avec ces études mais les utilise dans le but d'en dégager une vision globale de la maîtrise du risque. A son tour, l'étude de dangers sera alors en mesure de nourrir la réflexion lors de l'élaboration d'autres documents clés de l'ouvrage, et notamment de la revue de sûreté.

La cotation de la fréquence de l'événement initiateur sera donc réalisée en fonction de l'état du barrage lors de la réalisation de l'étude de dangers, en intégrant l'auscultation et ses conséquences dans cette cotation. Le barrage et son auscultation forment un élément indistinct auquel sont attribuées des fréquences d'occurrence de dérives susceptibles de mener à un accident majeur. Les recommandations sur l'auscultation qui doivent alors logiquement avoir été formulées dans le rapport d'auscultation ou la revue de sûreté pourront également être reprises dans l'EDD afin de regrouper toutes les recommandations liées à l'ouvrage étudié.

Par ailleurs, les paramètres utilisés pour évaluer l'évolution du phénomène devront être surveillés et analysés régulièrement afin de vérifier que les conditions restent valables. Ceci nécessite en particulier d'orienter les analyses des données dans le sens de la surveillance de phénomènes de vieillissement particulier susceptibles d'être des événements initiateurs. Si les analyses montrent que le phénomène de vieillissement sont avérés, une surcote devra être appliquée à la fréquence de l'événement initiateur pour mettre à jour l'évaluation du risque.

Comme pour l'approche précédente, cette méthodologie nécessite au préalable de dégager un consensus sur un dispositif minimal permettant le suivi d'une potentielle dérive, dans l'idéal par un groupe de travail comprenant au moins le maître d'ouvrage et son bureau d'ingénieur agréé.

### **4.3 Discussion sur les deux approches**

La première approche, basée sur l'état de l'art de l'auscultation et son fonctionnement réel, cherche à identifier la sensibilité des fréquences d'événements initiateurs à l'auscultation mise en place. Ces données d'entrée ne sont toutefois pas toujours disponibles. De plus, la pondération des critères d'évaluation doit être établie et cette hiérarchisation générique des modes de défaillance de barrages de même type est loin d'être triviale.

La seconde approche, basée sur les résultats de l'auscultation, est plus conforme à la philosophie de l'auscultation, qui a pour but d'améliorer la connaissance du comportement de l'ouvrage et de son évolution.

Cette approche est également adaptée à l'étude de dangers, qui constitue une démonstration de la maîtrise du risque global lié à un ouvrage par l'exploitant en faisant appel à des données d'entrée d'expertises diverses. Pour autant, cette approche nécessite un cadre de critères minimaux à définir. Ce cadre doit permettre de fournir des éléments d'évaluation d'un dispositif donné, associé à une dérive donnée, et ne peut être défini que par un groupe de travail rassemblant les compétences nécessaires.

Ces deux approches ont pour objectif de quantifier les fréquences d'occurrence des scénarios. A l'exception du cas particulier présenté au paragraphe 4.1.2, elles ne sont utilisables que si des données de fréquences d'événement initiateur sont disponibles. Néanmoins, en l'absence de fréquences d'événements initiateurs ou hors du cadre des EDD, les critères de définition, efficacité, temps de réponse et maintien des performances dans le temps sont toujours applicables. Ces critères peuvent servir de base pour valider les systèmes d'auscultation mis en place et garantir la pertinence des rapports d'auscultation.

## 5. CONCLUSION

L'auscultation, et plus largement la surveillance, sont des processus continus qui ont pour objectif d'apprécier l'évolution des risques d'accidents majeurs dus à des phénomènes de vieillissement pendant la vie de l'ouvrage.

La surveillance doit permettre de maintenir un niveau de risque acceptable par la mise en œuvre d'actions appropriées si des dérives sont constatées. Les principales difficultés dans l'évaluation des systèmes d'auscultation en tant que barrières de sécurité sont :

- les objectifs recherchés lors de la conception du système d'auscultation : l'auscultation n'a pas été spécifiée et conçue comme une barrière de sécurité telles qu'elles sont définies dans les études de dangers. C'est un système évolutif dans le temps qui a pour but de collecter un nombre important de données pour en faire l'analyse et améliorer la connaissance de l'ouvrage et détecter tout événement anormal ;
- la difficulté à justifier si les fréquences d'évènements initiateurs ou intermédiaires disponibles prennent en compte la mise en œuvre ou non d'un système d'auscultation ;
- l'évaluation de l'efficacité du système : on cherche à évaluer l'efficacité d'une organisation à maîtriser le risque. Les moyens à mettre en œuvre et les réponses qui seront apportées à des dérives de comportement ne sont pas tous connues au moment de l'évaluation. On cherche donc à caractériser à la fois une efficacité de mesures et une maturité de l'organisation.

Les points critiques d'un système d'auscultation à analyser sont :

- l'efficacité de la mesure : mesure pertinente couvrant l'ensemble du phénomène. Le phénomène de vieillissement doit donc être connu et analysé et les paramètres physiques mesurables correspondant déterminés ;
- la pérennité de la mesure dans le temps : qualification, maintenance et étalonnage des appareils, redondance ou recoupement des mesures, traitement de premier niveau, remplacement possible, archivage des données ;
- l'analyse et le traitement des données : fréquence, compétence, possibilité d'études approfondies ou de mesures compensatoires.

Dans ces conditions, il semble plus judicieux de considérer l'auscultation comme un élément d'entrée de l'évaluation des fréquences d'évènements initiateurs (EI) de type vieillissement ou dégradation. Cette approche est renforcée par le fait que le retour d'expérience disponible en matière de vieillissement des ouvrages ne dissocie pas l'ouvrage de son auscultation.

Les fréquences d'EI et leur sensibilité à la qualité de l'auscultation sont des points dont l'évaluation n'est évidemment pas aisée en l'absence de données suffisamment précises. Ces points pourraient être traités par des groupes de travail multipartites et des études approfondies du retour d'expérience disponible.

La prise en compte de l'auscultation dans la cotation des fréquences d'EI ne peut bien évidemment pas se faire sans une vérification que le système mis en place est adapté à cet usage. Les EI de type vieillissement doivent donc être listés pour chaque ouvrage ou type d'ouvrage si pertinent, l'existence ou non de dispositifs d'auscultation permettant de les surveiller doit être vérifiée, les analyses des résultats d'auscultation doivent faire explicitement référence aux évolutions de ces phénomènes.

Il est également recommandé de fixer des plages d'alerte sur les différentes mesures recueillies, afin de permettre un diagnostic plus fiable. Si aujourd'hui la définition de seuils ne peut être envisagée, le retour d'expérience sur les cas où des mesures compensatoires ont été décidées peut éventuellement permettre de définir des plages où une attention particulière doit être portée à un phénomène.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions Éric Brandon du BETCGB, Claire Bernard de la SHEM, Jérôme Sausse d'EDF et Denis Le Moullec de l'EPTB Seine Grands Lac pour leur disponibilité et leurs réponses à nos questions.

## RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] Arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu
- [2] Rapport INERIS DRA-13-126129-01017C - Valorisation des dispositifs d'auscultation dans les études de dangers de barrages, 63 pages, 2013
- [3] Bulletin CIGB B087, Amélioration de l'auscultation des barrages – Recommandation et exemples, 332 pages, 1992
- [4] Bulletin CIGB B138, La surveillance: Elément de base d'un processus:» sécurité des barrages", 52 pages, 2005
- [5] Bulletin CIGB B158, Guide de la surveillance des barrages, 102 pages, 2009
- [6] Évaluation des Barrières Techniques de Sécurité -  $\Omega$  10, INERIS, septembre 2008
- [7] Évaluation des Barrières Humaines de Sécurité -  $\Omega$  20, INERIS, mars 2009
- [8] Masse F. Lahoz A. & Balouin T. *De la performance des évacuateurs de crues dans les Etudes de Dangers à la probabilité d'occurrence d'une rupture de barrage en crue*, Colloque CFBR "Vantellerie, contrôle-commande, télécom et alimentations électriques pour des barrages plus sûrs", 2-3 Décembre 2015, Chambéry