

RAPPORT D'ÉTUDE

26 / 01 / 2012

N° DRA-11-117382-10720B

**EAT-DRA 91 : Maîtrise des Risques Accidentels
sur les ouvrages hydrauliques**

**Etat des lieux des mesures de sécurité les plus
rencontrées sur les barrages français**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

EAT-DRA 91 : Maîtrise des Risques Accidentels sur les ouvrages hydrauliques

Etat des lieux des mesures de sécurité les plus rencontrées sur les barrages français

Direction des Risques Accidentels

Liste des contributeurs INERIS : Anabel LAHOZ, Emmanuel PLOT

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Relecture	Vérification		Approbation
NOM	Anabel LAHOZ Ingénieur Unité DIAG Direction des Risques Accidentels	Thibault BALOUIN Ingénieur Unité DIAG Direction des Risques Accidentels	Frédéric MERLIER Responsable de l'Unité DIAG Direction des Risques Accidentels	Guillaume CHANTELAUVE Délégué Appui à l'Administration Direction des Risques Accidentels	Sylvain CHAUMETTE Responsable du Pôle AGIR Direction des Risques Accidentels
Visa					

TABLE DES MATIERES

1. GLOSSAIRE	5
2. INTRODUCTION	7
2.1 Contexte.....	7
2.2 Présentation de l'opération B du DRA91	7
2.3 Objet et structure du présent document	7
2.3.1 Objet du présent rapport.....	7
2.3.2 Organisation du présent rapport	8
3. RAPPELS REGLEMENTAIRES	9
3.1 Législation & réglementation françaises encadrant les EDD des ouvrages hydrauliques.....	9
3.2 Autres textes réglementaires.....	9
3.3 Barrières de sécurité	9
4. GENERALITES SUR LES BARRIERES DE SECURITE	11
4.1 Rôle des barrières dans l'évaluation des classes de probabilité des phénomènes dangereux.....	11
4.2 Typologie des barrières de sécurité	11
4.2.1 Barrières techniques.....	12
4.2.2 Barrières humaines ou mixtes	13
5. SEQUENCES ACCIDENTELLES ATTENDUES SUR UN BARRAGE TYPE 15	
5.1 Analyse fonctionnelle et phénomènes dangereux attendus	15
5.2 Rupture de barrage	16
5.2.1 Rupture en conditions normales d'exploitation	17
5.2.2 Rupture par montée des eaux à une cote supérieure à la cote de dangers	19
5.3 Autres phénomènes dangereux	21
6. FONCTIONS DE SECURITE ET BARRIERES ASSOCIEES A UN ACCIDENT DE RUPTURE DE BARRAGE	25
6.1 Prévention d'une dérive survenant suite à une agression externe	25
6.1.1 Le séisme	25
6.1.2 L'avalanche	27
6.2 Prévention d'une dérive suite à une défaillance intrinsèque.....	27
6.3 Evacuation des crues.....	29
6.3.1 Seuil déversant.....	29
6.3.2 Clapet évacuateur.....	30
6.3.3 Siphon	30
6.3.4 Hausses fusibles.....	31
6.3.5 Vannes de surface.....	31

6.4	Vidange de la retenue	32
6.5	Prise d'eau	32
6.6	Consigne de crue	33
7.	SEQUENCE ACCIDENTELLE DE RUPTURE D'UN ELEMENT DE FOND PROVOQUANT LA VIDANGE DE LA RETENUE.....	35
7.1	Prévention d'une dérive suite à une agression externe.....	35
7.2	Prévention d'une dérive suite à une défaillance intrinsèque de la vanne ...	36
7.3	Prévention d'une dérive due au vieillissement ou à la corrosion de la vanne	36
7.4	Prévention de la vidange de la retenue suite à une rupture de vanne.....	37
8.	CONCLUSION	39
9.	BIBLIOGRAPHIE.....	41

1. GLOSSAIRE

AM	Accident Majeur
BETCGB	Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages
DRA	Direction des Risques Accidentels
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EDD	Etude de dangers
EI	Evénement Initiateur
ERC	Evénement Redouté Central
ERP	Etablissement Recevant du Public
EVC	Evacuateurs de Crues
GT	Groupe de Travail
IC	Installations Classées
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
MEDDTL	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
NP	Nœud Papillon
PAR	<i>Population At Risk</i> (nombre de personnes potentiellement impactées – Population Assujettie au Risque)
PhD	Phénomène Dangereux
PHE	Plus Hautes Eaux (Cote des)
PPI	Plan Particulier d'Intervention
PPRI	Plan de Prévention des Risques d'Inondation
RN	Retenue Normale (Cote de)

2. INTRODUCTION

2.1 CONTEXTE

Le décret n° 2007-1735 du 11/12/2007 codifié, relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques, est entré en vigueur le 01/01/2008. A l'instar des installations classées (IC), il introduit l'obligation d'une étude de dangers (EDD) pour certains barrages et digues. L'EDD « (...) *explicite les niveaux des risques pris en compte, détaille les mesures aptes à les réduire et en précise les niveaux résiduels une fois mises en œuvre les mesures précitées* » (art. R. 214-116, extrait). Un « guide de lecture » des EDD barrages, à destination des services instructeurs en charge du contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques, a été diffusé par une circulaire du MEDDTL (ex MEEDDM) datée du 31 octobre 2008.

2.2 PRESENTATION DE L'OPERATION B DU DRA91

L'étude de dangers doit, de façon générale, constituer de la part de l'exploitant un engagement et une démonstration de la maîtrise des risques d'accidents majeurs. Le programme, qui a débuté en 2009, s'intéresse, dans l'une des opérations le constituant, à la thématique des barrages et des EDD.

L'objectif premier de l'opération B est de fournir à l'administration des références ainsi que des orientations techniques facilitant l'instruction des EDD relatives aux barrages de classes A et B pour lesquels une EDD est obligatoire. Ces EDD doivent notamment présenter la cotation en probabilité d'occurrence des accidents majeurs.

Le présent rapport propose un état des lieux de dispositifs de sécurité fréquemment rencontrés dans les études de dangers relatifs aux barrages français. Il s'attache ainsi à déterminer les fonctions de sécurité attendues sur différentes séquences accidentelles génériques, pour décliner les mesures pouvant correspondre à ces fonctions.

2.3 OBJET ET STRUCTURE DU PRESENT DOCUMENT

2.3.1 OBJET DU PRESENT RAPPORT

L'objet de ce rapport est de présenter les principaux dispositifs de sécurité rencontrés sur les ouvrages hydrauliques français, au vu des EDD étudiées dans le cadre du Groupe de Travail sectoriel portant sur les EDD de barrages. Dans ce cadre, 8 EDD avaient été sélectionnées sur différents critères (types d'ouvrages différents, différentes combinaisons responsable d'ouvrage – bureau d'études rédacteur, différentes régions). Ce travail constitue une étape préliminaire à des études plus détaillées de certains de ces dispositifs, dans le but de constituer des « fiches barrières » et de définir des critères minima à remplir pour qu'une barrière de sécurité puisse être considérée comme telle dans le déroulement d'un scénario accidentel.

Ce rapport n'a donc pas vocation à une étude poussée de chacun des dispositifs identifiés, ni à justifier leur pertinence en tant que facteur de réduction du risque sur la séquence accidentelle : il s'attache cependant à en donner une description succincte et à les replacer dans le contexte de la séquence accidentelle sur laquelle ils interviennent.

2.3.2 ORGANISATION DU PRESENT RAPPORT

Le présent rapport est organisé en 6 parties :

1. Rappel réglementaire : cette partie référence les différents textes réglementaires français applicables aux ouvrages hydrauliques et plus particulièrement aux barrages dans le cadre de la réalisation d'une étude de dangers ;
2. Généralités sur les barrières de sécurité : cette partie définit une barrière de sécurité et en présente les différents types ;
3. Séquences accidentelles identifiées sur un barrage-type : cette partie présente plusieurs séquences accidentelles attendues sur un ouvrage hydraulique, sur lesquelles on trouve les dispositifs de sécurité identifiés dans la suite du rapport ;
4. Fonctions de sécurité associées à une rupture de barrage : cette partie présente les dispositifs identifiés sur cette séquence accidentelle ;
5. Fonctions de sécurité associées à une rupture de vanne de prise ou de vidange : cette partie présente les dispositifs identifiés sur cette séquence accidentelle ;
6. Conclusions.

3. RAPPELS REGLEMENTAIRES

3.1 LEGISLATION & REGLEMENTATION FRANÇAISES ENCADRANT LES EDD DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

La loi n° 2006-1172 du 30 décembre 2006 sur l'eau codifiée et les milieux aquatiques et le décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 également codifié rénovent en profondeur les règles de sécurité et de sûreté des ouvrages hydrauliques (barrages de retenue et digues de protection des populations). En particulier, cette évolution prévoit (selon l'article R214-115 du code de l'environnement) la réalisation d'une étude de dangers pour les barrages de classe A ou B (et les digues de classe A, B ou C).

Le contenu de l'étude de dangers pour de tels ouvrages est précisé dans l'Arrêté Ministériel du 12 juin 2008 *définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu*. Un « guide de lecture » des EDD barrages a été diffusé par une circulaire du MEDDTL datée du 31 octobre 2008.

3.2 AUTRES TEXTES REGLEMENTAIRES

La démarche adoptée pour définir la méthodologie s'appuie également sur d'autres textes réglementaires applicables aux ouvrages hydrauliques.

Les textes réglementaires étudiés comme données d'entrée sont notamment :

- le Décret n°92-997 du 15 septembre 1992 modifié relatif aux Plans Particuliers d'Intervention (PPI) concernant certains aménagements hydrauliques,
- l'Arrêté du 22 février 2002 pris en application du Décret n°92-997 du 15 septembre 1992 modifié relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques,
- le Décret n°2005-1158 du 13 septembre 2005 relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains ouvrages hydrauliques ou installations fixes et pris en application de l'article 15 de la loi n°2004-811 du 13 août 2004 relative à la modernisation de la sécurité civile,
- l'Arrêté du 29 février 2008 fixant des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques.

3.3 BARRIERES DE SECURITE

Le « Guide de lecture des études de dangers des barrages » annexé à la Circulaire du 31 octobre 2008 relative aux études de dangers des barrages définit dans son glossaire la notion de barrière de sécurité.

« **Barrière de sécurité ou Mesure de maîtrise des risques** : ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. On peut distinguer :

- les mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux ;
- les mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux ;
- les mesures (ou barrières) de protection : mesure visant à limiter les conséquences sur les cibles potentielles par diminution de la vulnérabilité. »

La détermination d'une probabilité d'occurrence d'un accident majeur sur un ouvrage hydraulique nécessite une prise en compte des différentes barrières de sécurité de prévention présentes le long de la séquence accidentelle.

Pour rappel, le « Guide de lecture des études de dangers de barrages » définit également la notion de scénario d'accident majeur :

« **Scénario d'accident (majeur)** : enchaînement d'événements conduisant d'un événement initiateur à un accident (majeur), dont la séquence et les liens logiques découlent de l'analyse des risques. En général, plusieurs scénarios peuvent mener à un même phénomène dangereux pouvant conduire à un accident (majeur) : on dénombre autant de scénarios qu'il existe de combinaisons possibles d'événements y aboutissant. Les scénarios d'accident obtenus dépendent du choix des méthodes d'analyse des risques utilisées et des éléments disponibles. »

Ce guide ne donne pas de définition de la probabilité d'occurrence. Cependant, à titre indicatif, la définition de la probabilité utilisée dans le domaine des Installations Classées (Circulaire du 10 mai 2010) est la suivante :

« **Probabilité d'occurrence** : Au sens de l'article L. 512-1 du Code de l'Environnement, la probabilité d'occurrence d'un accident est assimilée à sa fréquence d'occurrence future estimée sur l'installation considérée. Elle est en général différente de la fréquence historique et peut s'écarter, pour une installation donnée, de la probabilité d'occurrence moyenne évaluée sur un ensemble d'installations similaires. »

4. GENERALITES SUR LES BARRIERES DE SECURITE

4.1 ROLE DES BARRIERES DANS L'EVALUATION DES CLASSES DE PROBABILITE DES PHENOMENES DANGEREUX

La maîtrise des risques repose en partie sur l'identification et l'évaluation des barrières de sécurité qui sont les composantes des fonctions de sécurité. Une fonction de sécurité est une fonction ayant pour but la prévention et la protection d'événements redoutés. Elle peut se décomposer en sous-fonctions de sécurité liées.

A ces fonctions de sécurité sont attribuées des prescriptions en termes d'efficacité, de temps de réponse, de fiabilité qui sont déterminées par les objectifs de réduction de risques. Pour pouvoir parler de barrière de sécurité, il faut donc que le dispositif concerné soit de dimensionnement adapté, qu'il puisse être mis en œuvre dans une cinétique adaptée à la séquence accidentelle sur laquelle il intervient, et qu'il soit correctement suivi et maintenu. Par ailleurs, une barrière de sécurité doit être indépendante des causes à l'origine de la séquence accidentelle.

Sur un scénario pouvant conduire à un phénomène dangereux, les fonctions de sécurité interviennent :

- soit en prévention / détection,
- soit en protection.

Les barrières de sécurité, qu'elles soient techniques ou humaines/organisationnelles, contribuent donc à la maîtrise des risques selon deux axes principaux :

- en interrompant ou ralentissant, lorsqu'elles fonctionnent, la propagation des séquences accidentelles sur lesquels elles agissent ou en limitant quantitativement la portée de certaines dérives techniques ou organisationnelles,
- en réduisant la fréquence d'occurrence des défaillances, dysfonctionnements, dérives ou autres facteurs contributifs des séquences accidentelles.

4.2 TYPOLOGIE DES BARRIERES DE SECURITE

Les barrières de sécurité sont de trois types :

- les barrières techniques,
- les barrières humaines,
- les barrières qui font intervenir les barrières techniques et humaines.

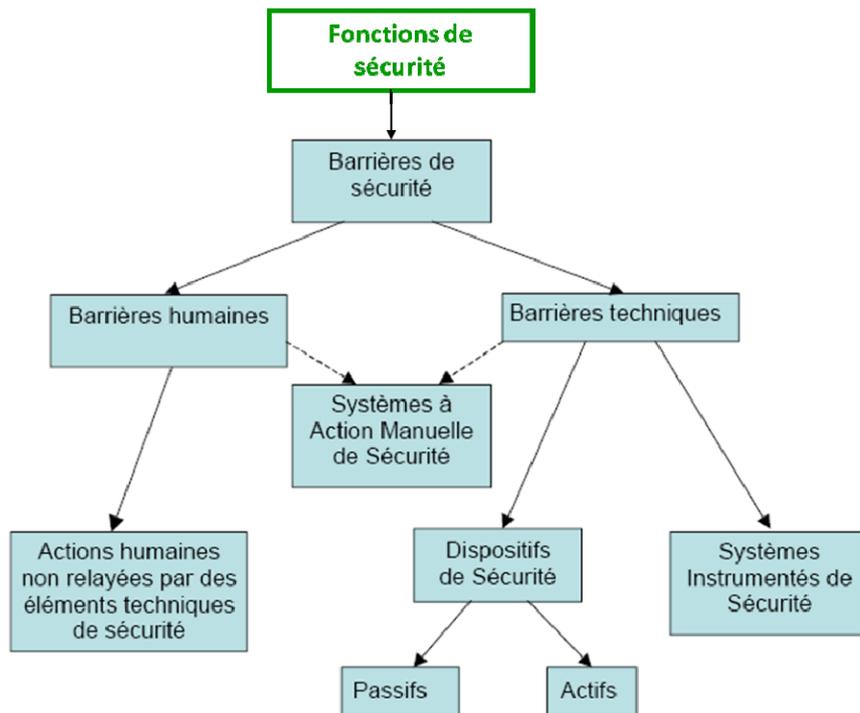


Figure 1 : Typologie des barrières de sécurité

4.2.1 BARRIERES TECHNIQUES

4.2.1.1 DISPOSITIFS PASSIFS

Les dispositifs passifs sont des barrières techniques qui ne mettent en jeu aucun système mécanique pour remplir leur fonction et ne nécessitent ni action humaine (hors intervention de type maintenance), ni action d'une mesure technique, ni source d'énergie externe pour remplir leur fonction.

On retrouve par exemple dans cette catégorie les seuils déversoirs, les siphons et les hausses fusibles.

4.2.1.2 DISPOSITIFS ACTIFS

Les dispositifs actifs sont des barrières techniques qui mettent en jeu des éléments mécaniques (ressort, levier...) pour remplir leur fonction.

On retrouve par exemple dans cette catégorie les vannes secteur à flotteur.

4.2.1.3 SYSTEMES INSTRUMENTES DE SECURITE (SIS)

Les SIS sont des combinaisons de capteurs, d'unités de traitement et d'actionneurs, ayant pour objectif de remplir une fonction de sécurité. Un SIS nécessite une énergie extérieure pour initier ses composants et mener à bien sa fonction de sécurité.

Une représentation schématique générique d'un SIS est présentée par la figure ci-dessous :

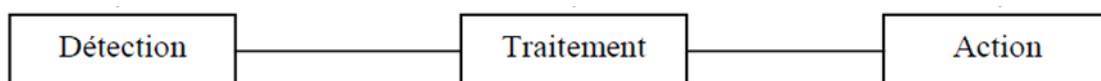


Figure 2 : Schéma générique d'un SIS

La détection est généralement constituée d'un capteur, élément sensible responsable de la transformation d'une information physique (pression, débit...) en grandeur électrique adaptée au traitement, associé à un transmetteur, qui assure le conditionnement du signal émis par le capteur.

Le traitement du signal peut s'effectuer par des relais, ou par des automates programmables de sécurité.

Enfin, les actionneurs transforment un signal en phénomène physique, permettant de commander un élément terminal. Cet élément terminal peut notamment être une vanne, une alarme sonore et/ou visuelle...

Dans les SIS, on retrouve par exemple les évacuateurs asservis à des détections de niveau.

4.2.2 BARRIERES HUMAINES OU MIXTES

4.2.2.1 BARRIERES HUMAINES

Les barrières humaines de sécurité sont constituées d'une activité humaine (une ou plusieurs opérations) qui s'oppose à l'enchaînement d'événements susceptibles d'aboutir à un accident.

Il peut s'agir par exemple de la vérification du bon état d'un parement.

4.2.2.2 SYSTEMES A ACTION MANUELLE DE SECURITE (SAMS)

Les SAMS sont des barrières mixtes à composantes techniques et humaines : l'opérateur est en interaction avec les éléments techniques du système de sécurité qu'il surveille ou sur lesquels il agit.

Par exemple, l'ouverture d'un clapet par actionnement manuel par un agent de la commande hydraulique suite à une alarme de niveau haut de la retenue constitue un SAMS.

5. SEQUENCES ACCIDENTELLES ATTENDUES SUR UN BARRAGE TYPE

5.1 ANALYSE FONCTIONNELLE ET PHENOMENES DANGEREUX ATTENDUS

Les barrages français sont répartis en 4 classes, de A à D, fonction de leur hauteur et du volume d'eau qu'ils retiennent :

- Catégorie A : hauteur supérieure à 20 mètres,
- Catégorie B : hauteur supérieure à 10 mètres et rapport BMI ($H^2 \times V^{1/2}$) supérieur à 200,
- Catégorie C : hauteur supérieure à 5 mètres et rapport BMI supérieur à 20,
- Catégorie D : hauteur supérieure à 2 mètres.

A titre indicatif, les catégories A et B comptent respectivement 310 et 315 barrages.

Ces barrages sont de différents types : barrages poids en béton, barrages voutes, barrages à contreforts, barrages en remblais... Malgré ces différences, on retrouve sur la grande majorité des barrages les mêmes systèmes fonctionnels. Il peut s'agir :

- du corps du barrage ;
- d'un dispositif d'évacuation des crues ;
- d'un dispositif de vidange ;
- d'un dispositif de prise d'eau, acheminant l'eau jusqu'à des groupes hydroélectriques ;
- d'un dispositif de débit réservé ;
- du local de contrôle/vigie ;
- d'une équipe d'intervention...

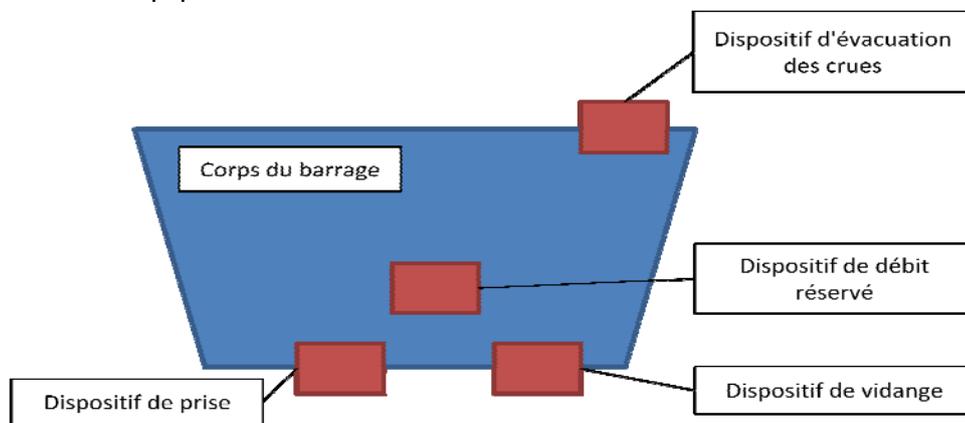


Figure 3 : Schéma d'un barrage-type

Le barrage retient en général une grande quantité d'eau appelée « retenue ».

Les phénomènes dangereux liés aux barrages sont sauf cas particulier liés à des libérations d'eau non maîtrisées. Ainsi, parmi les ERC représentatifs susceptibles de survenir sur un barrage, on s'attend à retrouver :

- une brèche ou rupture totale du corps de l'ouvrage ;
- une rupture du dispositif de prise ;
- une rupture du dispositif de vidange ;

- une rupture du dispositif d'évacuation des crues ;
- une vague passant au-dessus de la crête du barrage générée par un glissement de terrain ou une avalanche dans la retenue...

Parmi ces phénomènes, c'est celui de rupture du corps du barrage qui donnera lieu aux effets attendus les plus importants. Le volume d'eau de la retenue sera en effet potentiellement libéré suivant une cinétique rapide à l'aval de l'ouvrage, de manière quasi-instantanée par effacement du barrage ou bien par ouverture progressive d'une brèche dans un barrage en remblais.

5.2 RUPTURE DE BARRAGE

La rupture du corps du barrage constitue le phénomène libérant brutalement le plus important volume d'eau parmi les PhD pouvant survenir sur un ouvrage hydraulique. L'onde de submersion engendrée peut atteindre des débits supérieurs de plusieurs ordres de grandeurs à la crue millennale et l'onde peut dévaler la vallée sur plus d'une centaine de kilomètres.

Bien que rares, les ruptures de barrages font partie des accidents industriels les plus meurtriers. A titre d'exemple, on peut citer en France la rupture du barrage de Malpasset en 1959. La voute du barrage, construite sur des mauvais appuis, n'a pas résisté à la pression de l'eau : l'onde de submersion générée a fait 423 victimes.

Dans le monde, la plus grande catastrophe liée à la rupture d'un barrage est certainement la rupture du barrage de Banqiao, en 1975 en Chine. Une forte crue provoquée par un typhon a rempli le réservoir au-delà du volume pour lequel le barrage était dimensionné. L'onde de submersion engendrée a fait plus de 25 000 victimes, auxquelles s'ajoutent celles touchées par la famine et conditions de vie insalubres ayant suivi sur le parcours de l'onde.

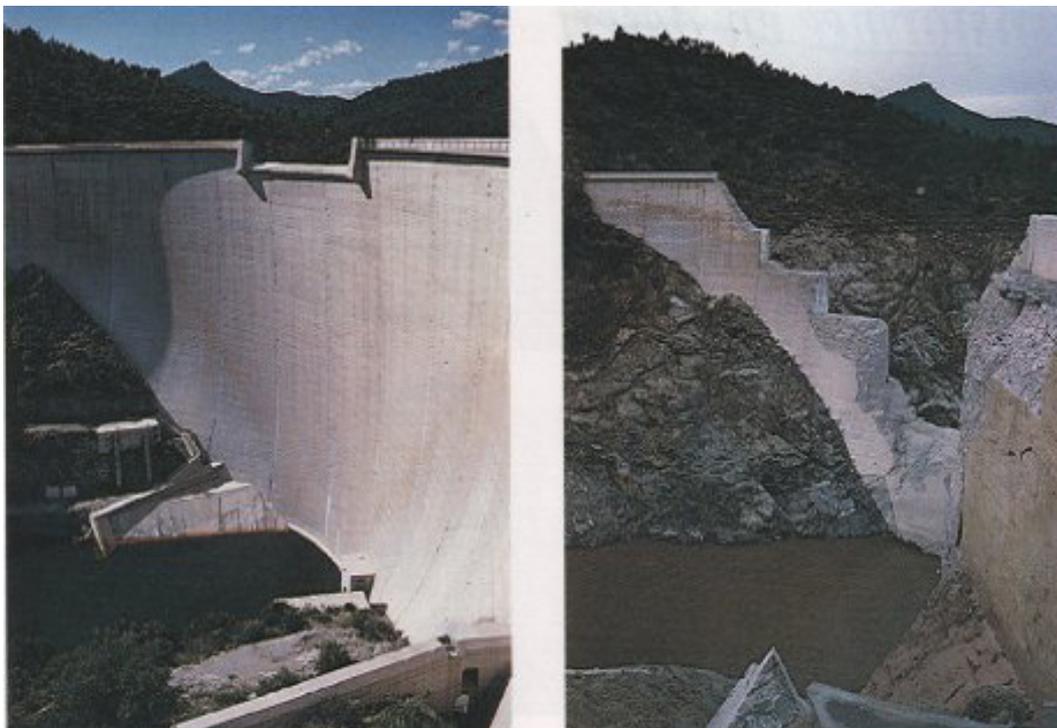


Figure 4 : Voûte du barrage de Malpasset, avant et après sa rupture

On distingue ainsi deux types de ruptures de barrage : la rupture en conditions normales d'exploitation, due à une défaillance intrinsèque du corps du barrage ou bien à une agression externe, et la rupture en crue, due à une montée des eaux amenant la retenue du barrage à dépasser la cote de dangers de l'ouvrage, cote au-delà de laquelle l'intégrité de l'ouvrage ne peut plus être garantie par l'exploitant.

Si les débits des ondes de submersion libérées par ces deux phénomènes sont différents, étant sensiblement du même ordre de grandeur ils peuvent être en général assimilés. La principale différence repose sur les débits de la rivière en aval, plus importants en cas de crue.

A noter qu'une cause de rupture d'ouvrage hydraulique peut également être un effet domino, sous forme d'une onde de submersion provoquée par la rupture d'un barrage amont. Il s'agit d'un cas particulier d'agression externe.

5.2.1 RUPTURE EN CONDITIONS NORMALES D'EXPLOITATION

Une telle rupture peut principalement survenir suite à deux types d'événements initiateurs (EI) :

- des EI de type « défaillances intrinsèques », liés à une mauvaise conception ou construction de l'ouvrage ou encore à un vieillissement de l'ouvrage entraînant une baisse de ses performances (dégradation des bétons...) ou à de l'érosion/corrosion (trou de renard pour les barrages en remblais...) ;
- des EI de type « agression externe » (séisme, avalanche, mouvement de terrain...).

Par ailleurs, une rupture de barrage par effet domino d'une rupture d'un ouvrage situé en amont peut être une autre cause de rupture en conditions normales d'exploitation.

Un nœud-papillon générique de rupture de barrage en conditions normales d'exploitation est présenté ci-après.

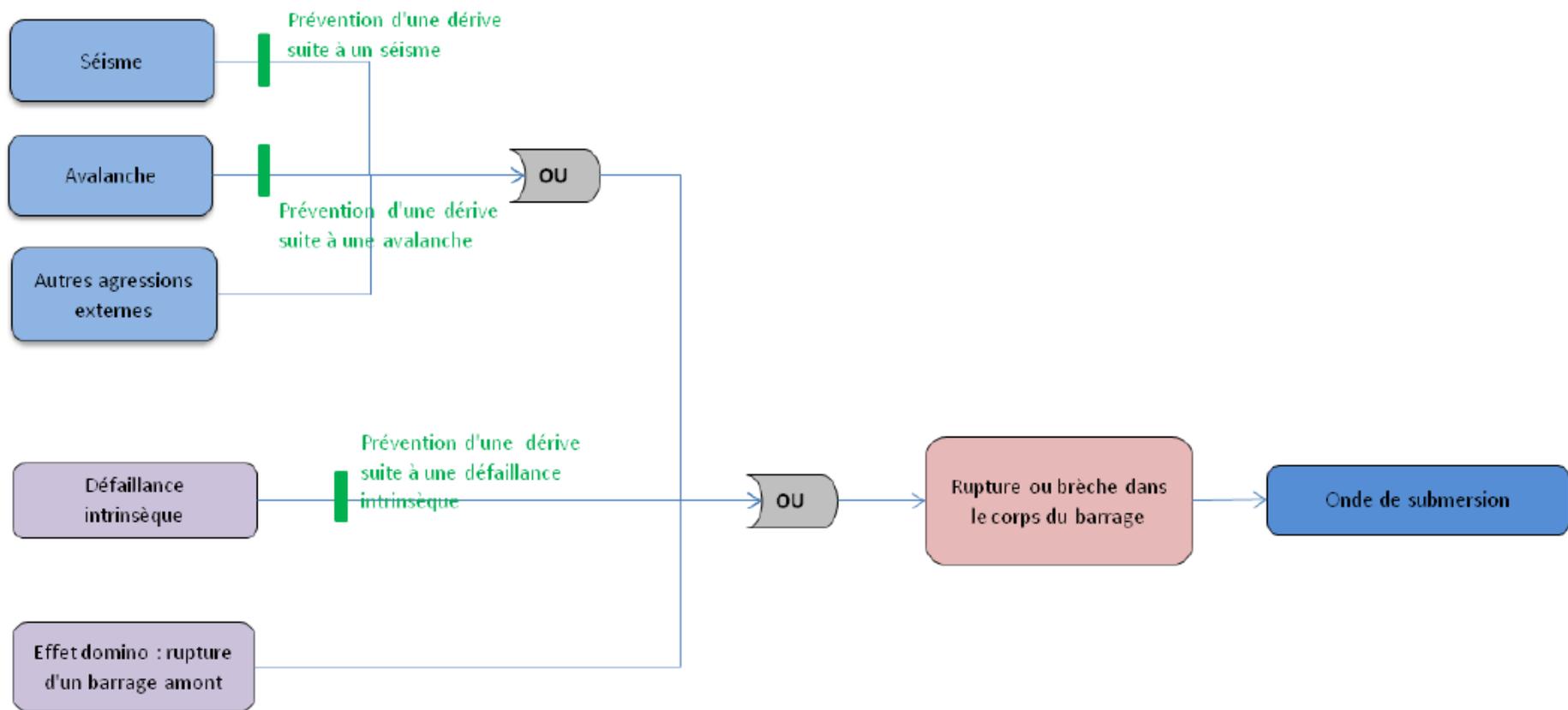


Figure 5 : Nœud papillon générique de rupture ou brèche dans le corps du barrage en conditions normales d'exploitation

Plusieurs barrières correspondant à des fonctions de sécurité apparaissent dans ce nœud papillon, en prévention des agressions externes et prévention des défaillances intrinsèques. Ces fonctions et barrières associées seront détaillées dans la partie 6.

5.2.2 RUPTURE PAR MONTEE DES EAUX A UNE COTE SUPERIEURE A LA COTE DE DANGERS

La cote de dangers d'un ouvrage est la cote de hauteur d'eau à partir de laquelle l'exploitant ne peut plus garantir l'intégrité de son ouvrage. Une montée des eaux à une telle cote doit donc être considérée comme aboutissant à la rupture, totale ou partielle, de l'ouvrage.

Cette cote de montée des eaux peut être atteinte dans le cas d'une crue exceptionnelle. Une crue de débit plus important que le débit pour lequel l'ouvrage a été dimensionné, si elle dure assez longtemps, est susceptible de donner lieu à une telle montée des eaux. Cependant, une crue de moindre importance est également susceptible d'y aboutir, dans le cas de non fonctionnement de dispositifs de sécurité du barrage, par exemple, ou en cas de présence d'embâcles.

Deux séquences ont pu être identifiées et sont présentées dans les nœuds-papillon ci-après :

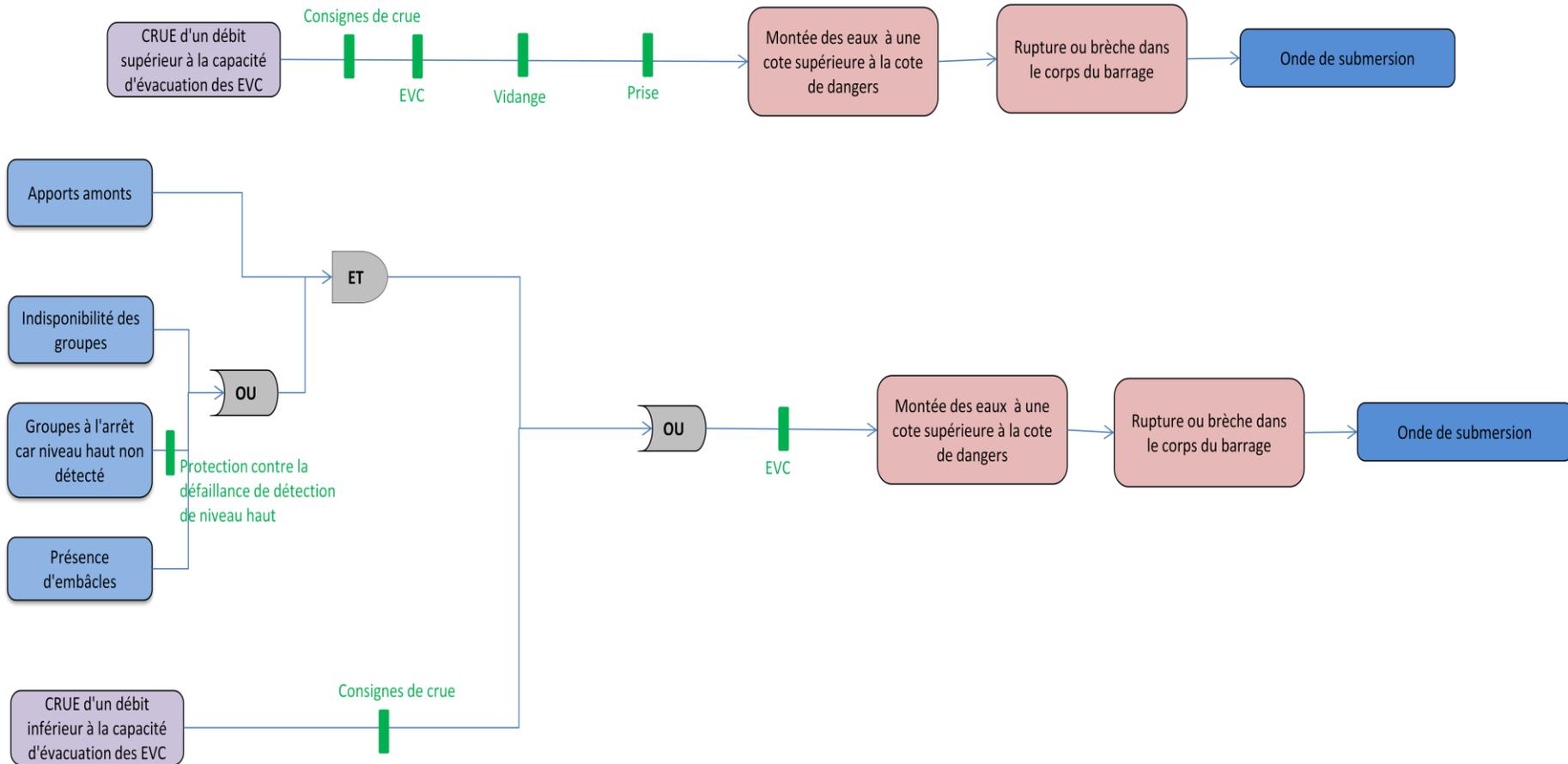


Figure 6 : Nœuds papillons génériques de rupture ou brèche dans le corps du barrage suite à une montée des eaux

Plusieurs fonctions de sécurité sont identifiées sur ces nœuds papillons. On voit notamment apparaître la fonction d'évacuation des crues, mais aussi des mesures pouvant permettre en situation d'urgence de baisser le niveau de la retenue : vidange, prise d'eau. Par ailleurs, les consignes de crue qui détaillent le fonctionnement du barrage en période de crue avérée peuvent être vues comme participant à la sécurité globale de l'ouvrage et donc être étudiées. Il faudra cependant veiller à ce que cette étude ne soit pas redondante, dans le cas où le fonctionnement de la vidange et de la prise d'eau dépendent de cette consigne de crue.

5.3 AUTRES PHENOMENES DANGEREUX

La rupture de barrage n'est pas le seul phénomène dangereux devant être envisagé sur un barrage. On peut ainsi retenir comme ERC pouvant être à l'origine d'un accident majeur la rupture d'un organe hydraulique tel qu'un évacuateur de crue, un organe de vidange ou un organe de prise. Une telle rupture serait à l'origine d'une vague subite incontrôlée en aval du barrage.

Si dans le cas d'une rupture d'un organe de surface on peut s'attendre à ce que le volume relâché soit relativement faible, c'est la soudaineté de la vague qui constitue un danger majeur. En France, l'accident du DRAC en est la preuve : un lâcher d'eau selon une procédure de crue a fait 6 morts.

En revanche, une rupture d'un organe de vidange, en fonction de la cote de positionnement du dispositif, peut mener à la libération d'un volume plus important et même à la vidange de la retenue. Les causes pouvant mener à une telle rupture sont principalement des défaillances intrinsèques ou des agressions externes. On peut également distinguer les événements initiateurs liés au vieillissement ou à la corrosion des organes, pouvant entraîner grippage, vibrations ou perte d'étanchéité menant potentiellement à une rupture.

Un nœud papillon générique de rupture d'un organe hydraulique est présenté ci-après.

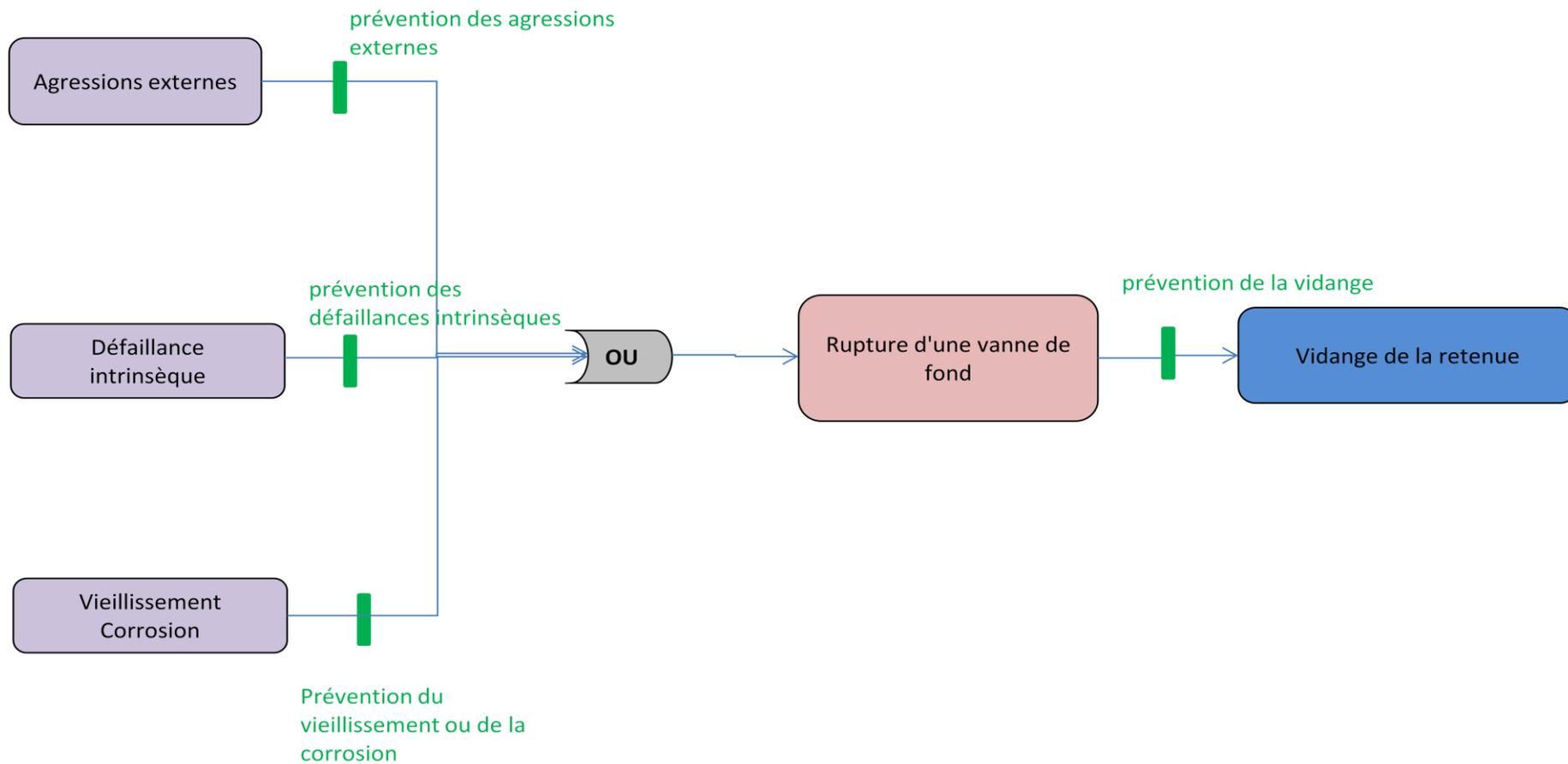


Figure 7 : Nœud papillon générique de rupture d'une vanne de fond sur un ouvrage hydraulique

Les fonctions de sécurité identifiées sur ces séquences accidentelles sont cette fois :

- Prévention d'une agression externe sur la vanne ;
- Prévention d'une dérive due à une défaillance intrinsèque sur la vanne ;
- Prévention d'une dérive due au vieillissement ou à la corrosion de la vanne ;
- Prévention d'une vidange de la retenue suite à la rupture de la vanne.

Ces fonctions et les barrières de sécurité associées sont décrites dans la partie 7 du présent rapport.

6. FONCTIONS DE SECURITE ET BARRIERES ASSOCIEES A UN ACCIDENT DE RUPTURE DE BARRAGE

Les nœuds-papillon représentant les différents scénarios de rupture d'un barrage font apparaître des fonctions de sécurité, en général assurées par des dispositifs appelés barrières. Pour rappel, ces fonctions sont les suivantes :

- Prévention d'une dérive suite à un séisme ;
- Prévention d'une dérive suite à une avalanche ;
- Prévention d'une dérive suite à une défaillance intrinsèque ;
- Evacuation des crues ;
- Vidange de la retenue ;
- Turbinage par le dispositif de prise ;
- Consignes de crue.

L'étude des EDD présentées en GT nous permet de donner plusieurs exemples de ces barrières, elles sont détaillées dans cette partie.

Les listes des fonctions et de barrières de sécurité identifiées ne sont bien entendu pas exhaustives.

6.1 PREVENTION D'UNE DERIVE SURVENANT SUITE A UNE AGRESSION EXTERNE

Les agressions externes sont en général dans le cas d'un barrage dues aux éléments naturels : séisme, avalanche, mouvement de terrain.

Dans les études de dangers étudiées, des dispositifs de sécurité apparaissent pour se protéger ou limiter les effets de deux agressions naturelles : le séisme, et l'avalanche.

6.1.1 LE SEISME

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
<ul style="list-style-type: none">- Visite post-séisme lorsqu'il est d'une magnitude > 4 (système d'alarme par les services compétents)- Bon comportement de l'ouvrage face au séisme (étude de stabilité)	Prévenir une dérive de comportement suite aux effets d'un séisme sur le barrage

Tableau 1 : Fonction de sécurité de prévention des effets d'un séisme et mesures associées identifiées

Remarque : La réglementation relative au risque sismique sur les ouvrages hydrauliques est en cours de mise à jour.

Le décret du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques précise que l'étude de dangers doit prendre en considération les risques liés au séisme. La principale mesure mise en place pour contrer ou limiter les effets d'un séisme est une visite dans les 24 heures suivant un séisme de magnitude supérieure à la valeur seuil.

Cette mesure vise à anticiper une défaillance de la structure du barrage suite à un séisme de manière à y faire face le plus rapidement possible. Il s'agit d'effectuer une série de tests et/ou d'inspections visuelles, permettant de vérifier que le séisme n'a causé aucun dommage. Associée à un diagnostic rapide suivi d'actions éventuelles, par exemple pour réduire le volume d'eau de la retenue si une dérive a été identifiée, cette mesure peut permettre de diminuer les conséquences d'une séquence accidentelle initiée par un séisme, dans le cas où les cinétiques de la séquence et de la mesure sont compatibles.

Cependant, cette mesure ne permet pas d'éviter des dégâts directs causés par le séisme. On peut imaginer la visite post-séisme, associée à une procédure strictement définie et à des actions en découlant le cas échéant, considérée comme une barrière de sécurité dans le cas où les cinétiques de conséquences d'un séisme sur l'ouvrage sont différenciées, comme le présente la séquence suivante :

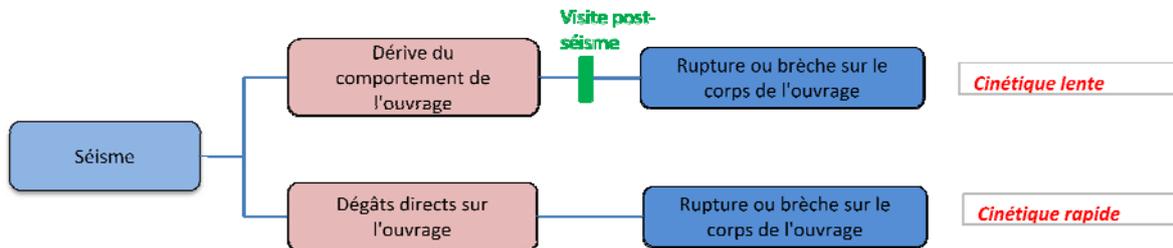


Figure 8 : Séquences accidentelles initiées par un séisme

En pratique, dans les études, au vu de la difficulté de cotation de la fréquence de l'événement initiateur « séisme », cette distinction est rarement faite.

C'est pourquoi, en général, ce dispositif de sécurité n'est pas directement valorisé dans le calcul de la probabilité de l'accident majeur associé. On choisira plutôt d'intégrer ce contrôle post-séisme, permettant de prévenir une défaillance pouvant mener à une rupture ou une brèche sur le corps du barrage selon une cinétique lente, dans la détermination de la fréquence d'occurrence de l'événement initiateur séisme.

Par ailleurs, certaines études identifient comme dispositif de sécurité le bon comportement de l'ouvrage objet de l'étude face au séisme. Ce bon comportement est particulièrement difficile à évaluer. Si les conclusions de l'étude de stabilité désignant l'ouvrage comme particulièrement résistant ou si l'ouvrage a déjà démontré sa résistance face à des séismes de magnitude importante, il est cependant légitime que ce fait soit pris en compte dans la fréquence d'occurrence d'un événement initiateur de type « séisme affectant l'intégrité de l'ouvrage ». Sans constituer un dispositif de sécurité au sens strict, un tel comportement pourrait donc être pris en compte dans le calcul de la probabilité d'occurrence d'un accident majeur.

On pourrait alors imaginer des séquences accidentelles différenciées suivant l'ampleur du séisme :

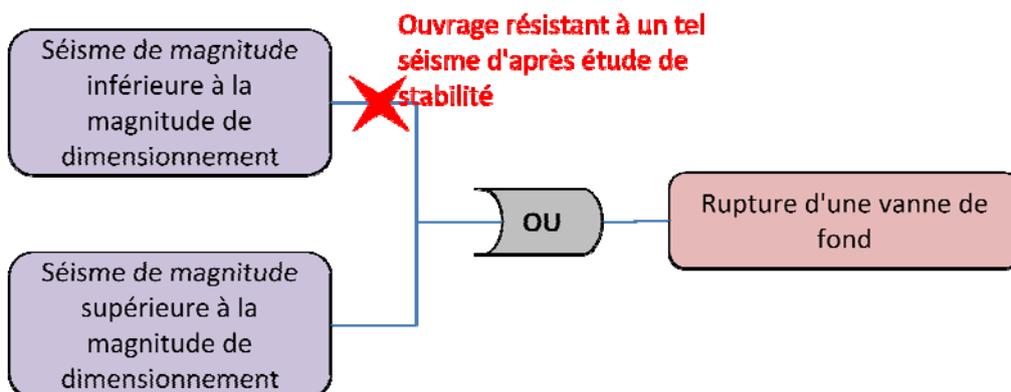


Figure 9 : Séquences accidentelles initiées par des séismes de différentes amplitudes

6.1.2 L'AVALANCHE

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
<ul style="list-style-type: none">- Mise en place de consignes spécifiques (exemple : ouverture du clapet évacuateur de crues)- Déclencheurs d'avalanches	Prévenir les effets d'une avalanche sur le barrage

Tableau 2 : Fonction de sécurité de prévention des effets d'une avalanche et mesures associées identifiées

Certains barrages, situés en tête de vallée, se trouvent en zone montagneuse où le risque d'avalanche est avéré. Une avalanche dans la retenue peut être à l'origine d'un effet de vague mettant en péril l'intégrité de l'ouvrage. Aussi, sur les barrages concernés, des dispositifs sont mis en place pour se prémunir contre un tel risque.

Les dispositifs appliqués sont de deux types. Il peut s'agir :

- de consignes spécifiques pendant les périodes où le risque d'avalanche est avéré. A titre d'exemple, on peut noter un clapet évacuateur de crue laissé ouvert pour permettre d'évacuer une vague le cas échéant ;
- de mesures préventives, comme des déclencheurs d'avalanches, des pare-avalanches... Ils permettent d'éviter une vague non anticipée, le maître d'ouvrage maîtrise ainsi l'avalanche et son intensité.

Pour constituer une barrière de sécurité au sens strict, de type « détection – diagnostic – action », de tels dispositifs peuvent amener à revoir la pertinence d'une séquence accidentelle initiée par une avalanche, si toutefois il est démontré que ces dispositifs sont efficaces et de cinétique appropriée.

Des déclencheurs d'avalanches amènent en effet à remettre en cause la probabilité d'un risque d'avalanche incontrôlée de forte intensité dans la retenue ou à en réduire la fréquence d'occurrence.

Une étape préalable et nécessaire est bien entendu la réalisation ou l'existence d'une étude sur le risque d'avalanche dans la retenue, avec identification des couloirs à avalanches. Si ce n'est pas le cas, une telle étude pourra faire l'objet de recommandations dans l'EDD. A noter qu'une base de données des zones d'avalanches recensées existe en accès libre sur géoportail (CLPA). Une telle base peut aider à justifier la nécessité d'une étude relative aux risques liés aux avalanches.

6.2 PREVENTION D'UNE DERIVE SUITE A UNE DEFAILLANCE INTRINSEQUE

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
<ul style="list-style-type: none">- Dispositif d'auscultation et de surveillance de l'ouvrage- Inspections visuelles périodiques- Bon comportement intrinsèque du barrage	Prévenir une dérive de comportement de l'ouvrage suite à une défaillance intrinsèque

Tableau 3 : Fonction de sécurité de prévention des effets d'une défaillance intrinsèque et mesures associées identifiées

La défaillance intrinsèque d'un barrage peut prendre différentes formes. Dans le cas d'un barrage en remblais, il s'agit principalement de phénomènes d'érosion. Pour un barrage béton, il peut s'agir d'une dégradation de l'état du béton.

La dégradation de l'état mécanique d'un barrage peut également s'expliquer par des mises en pression ou des surpressions, notamment dans ses fondations : le barrage peut alors perdre ses appuis.

Enfin, l'éventualité d'un défaut de conception ou d'une réparation défailante n'est pas à exclure.

Les dispositifs de sécurité mis en place pour prévenir de ces défaillances sont en général regroupés sous le nom de « dispositif d'auscultation et de surveillance du barrage ». L'article R. 214-124 du Code de l'Environnement indique que « *tout barrage [doit être] doté d'un dispositif d'auscultation permettant d'en assurer une surveillance efficace* ». Toutefois, il est précisé que sauf décision préfectorale contraire, cette disposition ne s'applique pas aux barrages de classe D.

Les consignes relatives au dispositif d'auscultation et de surveillance d'un barrage regroupent :

- le suivi du comportement mécanique de l'ouvrage, faisant en général intervenir des mesures au pendule, des mesures de nivellement ou encore des fissuromètres ;
- le suivi du comportement hydraulique de l'ouvrage, faisant en général intervenir des mesures de débit de fuites et drainages ou encore des mesures piézométriques ;
- un ensemble d'inspections visuelles périodiques : il peut s'agir de l'Examen Technique Complet (ETC), la Visite Technique Approfondie (VTA), d'inspections visuelles ou encore de visites suite à un événement exceptionnel.

Le dispositif d'auscultation et de surveillance d'un barrage peut constituer une barrière de sécurité humaine ou mixte sur une séquence accidentelle relative à un ouvrage hydraulique dans le sens où il s'agit de mettre en œuvre des moyens permettant de vérifier la non-dérive du barrage vis-à-vis de son comportement hydraulique et mécanique normal. Si cette auscultation est de fréquence justifiée comme appropriée, et est directement suivie d'un dépouillement des mesures menant à un diagnostic, suivi d'actions spécifiques en cas de dérives identifiées, alors elle constitue une barrière de sécurité. Un travail spécifique sur cette mesure de maîtrise des risques peut être mené pour définir selon quels critères une telle barrière peut être valorisée dans le calcul de la probabilité d'une séquence accidentelle menant à une rupture de barrage par défaillances intrinsèques.

En ce qui concerne les autres mesures de sécurité identifiées, l'inspection visuelle régulière fait partie intégrante d'un dispositif d'auscultation et de surveillance. Par ailleurs, le bon comportement face aux contraintes intrinsèques d'un barrage ne peut être considéré comme une mesure de maîtrise des risques. Si ce bon comportement est justifié, il sera plutôt pris en compte en adaptant le dispositif d'auscultation et de surveillance à cette caractéristique.

6.3 EVACUATION DES CRUES

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
<ul style="list-style-type: none">- Seuil déversant- Clapet évacuateur de crue- Siphon évacuateur de crue- Hausses fusibles- Vannes de surface	Prévenir une montée des eaux excessive dans la retenue en évacuant une crue entrante

Tableau 4 : Fonction de sécurité d'évacuation des crues et mesures associées identifiées

Le dispositif d'évacuation des crues est un composant crucial d'un barrage. Il est en généralement dimensionné pour permettre l'évacuation d'une crue de période de retour millénaire. La plupart des barrages disposent d'un dispositif d'évacuation des crues, en crête de barrage. Pour quelques uns, ce dispositif est confondu avec celui de vidange, dimensionné pour remplir cette fonction : c'est le cas notamment de deux des plus grands barrages français, Roselend et Tignes.

Un évacuateur de crue est en général suivi d'un chenal d'évacuation, guidant l'eau relâchée et limitant les phénomènes d'érosion de la paroi aval de l'ouvrage à cet endroit.

A titre indicatif, l'article « Les évacuateurs de crues des barrages relevant de la loi sur l'eau ; vue synthétique du parc » de Paul Royet et al. indique la répartition suivante sur le parc français :

- 68% des barrages français de classe A à C sont équipés d'un seuil libre déversant ;
- 10% disposent d'une évacuateur de surface équipés de vannes (clapets, vannes secteurs, vannes segments), avec pour la moitié d'entre eux la présence d'un deuxième évacuateur de type différent ;
- 13% disposent d'évacuateurs en charge (siphons).

6.3.1 SEUIL DEVERSANT



Figure 10 : Seuil déversant sur le lac Victoria (Australie)

Le seuil déversant est un dispositif d'évacuation des crues passif. Il s'agit d'un simple seuil arasé à une cote choisie, à partir de laquelle l'eau s'écoulera jusqu'à ce que la cote de la retenue soit redevenue inférieure à ce seuil.

Un seuil déversant, correctement dimensionné et entretenu, est une barrière de sécurité de type « dispositif passif ». Ces dispositifs sont en général considérés comme fiables.

6.3.2 CLAPET EVACUATEUR

Un clapet évacuateur de crue est un dispositif permettant de libérer progressivement un seuil dans un intervalle choisi, suivant son degré d'ouverture. Son action peut-être mécanique ou hydraulique, et son déclenchement manuel ou automatique.

Il s'agit en général d'un SIS ou d'un SAMS : l'action du clapet est précédée d'une détection d'un niveau haut dans la retenue, suivie par une phase de traitement, par automate ou opérateur, déclenchant l'utilisation du clapet. La fonction de sécurité « évacuation d'une crue » est ainsi assurée.

La détection de niveau haut peut être assurée par une poire à basculement, ou par un indicateur de niveau de type Rittmeyer. Cette détection doit être indépendante du capteur de suivi de niveau de la retenue pour que le dispositif soit considéré comme une barrière de sécurité.

6.3.3 SIPHON



Figure 11 : Siphon évacuateur du lac Berryessa (Californie)

Un siphon est un dispositif passif d'évacuation des crues, situé non pas sur le corps du barrage mais dans la retenue, en amont de l'ouvrage. Il s'agit d'une galerie d'évacuation située dans la retenue, dans laquelle l'eau ne peut pénétrer qu'à partir d'un certain seuil arasé à une cote choisie, sur le même principe qu'un simple seuil déversant. La galerie amène alors l'eau directement en aval du barrage.

Correctement dimensionné et entretenu, un siphon évacuateur constitue comme le seuil déversant une barrière de sécurité du type « dispositif passif ».

6.3.4 HAUSSES FUSIBLES



Figure 12 : Déversoir à hausses fusibles du barrage de Puylaurent (France)

Les hausses fusibles sont des modules indépendants, juxtaposés sur un seuil déversoir d'un barrage. En conditions normales, elles se comportent comme un rideau étanche, qui permet de stocker l'eau jusqu'à la crête des modules.

Chaque module est équipé d'un puits, calé pour coïncider avec un niveau de la retenue choisi. Lorsque ce niveau est atteint, l'eau pénètre dans le puits et s'accumule dans une chambre située sous le module, ce qui crée une surpression et le fait basculer. Cela crée une brèche par laquelle peut se déverser l'eau, jusqu'à ce que le niveau de la retenue redescende en dessous de la cote de pied de module.

Les puits de chaque hausse sont parfois regroupés dans une seule et même tour de prise, cette tour constituant alors un mode commun de défaillance aux différents modules.

Un dispositif de hausses fusibles, correctement dimensionné et entretenu, constitue également une barrière de sécurité de type « dispositif passif ». Il est à usage unique : la hausse basculée est emportée par l'eau s'écoulant dans le chenal d'évacuation.

6.3.5 VANNES WAGON



Figure 13 : Vannes wagon du barrage de Marèges (France)

Les vannes de surface sont des organes que l'on trouve sur les barrages les plus anciens. Il s'agit en général de vannes dites « vannes secteurs », de forme arrondies qui pivotent sous le radier sur déclenchement par un bras à flotteur. Les « vannes segment » et les « vannes wagon » sont elles soulevées et abaissées par un bras.

Associées à la détection d'un niveau de déclenchement, ces vannes de surface forment une barrière de sécurité. Cette barrière peut être de type « dispositif actif » si le levage de la vanne s'effectue directement par soulèvement du flotteur, sans traitement. Dans le cas contraire, il s'agit de barrières de type SIS si le déclenchement est automatique ou SAMS s'il s'effectue par le biais d'un opérateur.

6.4 VIDANGE DE LA RETENUE

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
- Dispositif d'ouverture des vannes de vidange	Vidange d'urgence de la retenue

Tableau 5 : Fonction de sécurité de vidange d'urgence et mesures associées identifiées

La vidange de la retenue est rendue possible par la présence de vannes dédiées. Cette vidange s'effectue en général tous les 10 ans, pour l'Examen Technique Complet de l'ouvrage, qui demande l'inspection des parties immergées. Bien que cette inspection puisse également s'effectuer par des visites subaquatiques, une vidange rend plus facile la maintenance le cas échéant.

Dans les situations d'urgence, par exemple l'arrivée d'une crue de débit supérieur au débit évacuable par les organes d'évacuation des crues du barrage, il peut être envisagé d'utiliser le dispositif de vidange pour abaisser le niveau de la retenue et ainsi limiter les risques d'atteinte de la cote de dangers.

Cependant, une telle action doit faire partie de procédures strictes intégrées à la consigne de crue. En effet, ouvrir les vannes de vidange implique un débit relâché à l'aval, ce qui doit être encadré. Par ailleurs, la vidange d'une retenue entraîne vers l'aval des sédiments qui sont déposés au fond de celle-ci, ce qui peut avoir un impact significatif sur l'environnement aval, ainsi que sur les installations de l'ouvrage en lui-même.

Considérer une vidange d'urgence comme une barrière de sécurité nécessite donc une maîtrise précise du dispositif. Une procédure strictement encadrée permettant d'abaisser le niveau de la retenue dans des situations d'urgence clairement définies et dans des conditions permettant d'assurer la sécurité des enjeux à l'aval pourrait permettre de valoriser cette mesure dans le calcul de la probabilité des séquences accidentelles indépendantes associées.

6.5 PRISE D'EAU

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
- Turbinage à l'usine hydroélectrique en aval via la prise d'eau	Abaissement du niveau de la retenue par la prise d'eau

Tableau 6 : Fonction de sécurité de mise en œuvre de la prise d'eau et mesures associées identifiées

Le dispositif de prise d'eau n'a pas pour destination première d'assurer une fonction de sécurité. Il s'agit du dispositif permettant le prélèvement d'eau pour l'acheminer jusqu'au turbinage d'une usine hydroélectrique.

Cependant, turbiner de l'eau permet de baisser le niveau de la retenue et peut donc être considéré comme un des moyens d'urgence permettant d'abaisser la cote plan d'eau.

Dans le cas où une montée des eaux avérée pourrait mettre en péril l'intégrité du barrage, et où un débit entrant serait supérieur à la capacité d'évacuation des crues du barrage, le turbinage via le dispositif de prise constitue un moyen supplémentaire d'augmenter la capacité d'évacuation du barrage et de limiter la montée des eaux.

Pour constituer une barrière de sécurité, ce dispositif s'il est applicable doit cependant être scrupuleusement encadré. Il doit être précisé dans quelles conditions ce turbinage doit être déclenché, ainsi que sous quelle procédure.

6.6 CONSIGNE DE CRUE

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
- Consignes de veille - Consignes de crue	Assurer la gestion des épisodes de crue

Tableau 7 : Fonction de sécurité de gestion des épisodes de crue et mesures associées identifiées

En cas de conditions climatiques exceptionnelles, et de menace d'une ou plusieurs crues successives, des consignes d'exploitation spécifiques existent.

Différents modes d'exploitations d'un barrage sont définis, en fonction notamment de la cote de la retenue. Il existe en général un état dit « de routine », qui s'oppose à un état dit « de crue ». Sur certains barrages peut également être définie un état intermédiaire, souvent dit « de veille ».

L'exploitation en crue implique en général un suivi plus strict des caractéristiques du barrage, ainsi que souvent la présence permanente d'agents en vigie ou sur l'ouvrage lui-même.

La consigne de crue est obligatoire pour les barrages de classe A à D, comme réglementé dans l'arrêté du 29 février 2008. La consigne fait l'objet d'une approbation préalable par le préfet, excepté dans le cas d'un ouvrage de classe D.

« Les consignes écrites [...] portent sur : [...] les dispositions spécifiques à la surveillance de l'ouvrage en période de crue et, dans le cas d'un barrage, à son exploitation en période de crue. Celles-ci indiquent les contraintes et les objectifs à respecter au regard de la sûreté de l'ouvrage et de la sécurité des personnes et des biens. Elles indiquent également :

a) les moyens dont dispose le propriétaire ou l'exploitant pour anticiper l'arrivée et le déroulement des crues ;

b) les différents états de vigilance et de mobilisation du propriétaire ou de l'exploitant pour la surveillance de son ouvrage, les conditions de passage d'un état à l'autre et les règles particulières de surveillance de l'ouvrage par le propriétaire ou l'exploitant pendant chacun de ces états ;

- c) les règles de gestion des organes hydrauliques, notamment les vannes, pendant la crue et la décrue et pendant les chasses de sédiments ;*
- d) les conditions entraînant la réalisation d'un rapport consécutif à un épisode de crue important ou un incident pendant la crue ;*
- e) les règles de transmission d'informations vers les autorités compétentes : services et coordonnées du propriétaire ou de l'exploitant chargé de transmettre les informations, nature, périodicité et moyens de transmission des informations transmises, services et coordonnées des destinataires des informations, en particulier du service de prévision des crues ».*

Le passage en consigne de crue se fait sur détection d'un niveau haut dans la retenue. Cette détection de niveau haut peut s'effectuer par un Rittmeyer, relié à une alarme. Cette mesure doit cependant être indépendante des mesures de déclenchement d'autres organes, tout comme la transmission du signal. Dans le cas contraire, le capteur, le relais ou l'automate commun constitue un mode commun de défaillance et les barrières ne sont plus indépendantes.

7. SEQUENCE ACCIDENTELLE DE RUPTURE D'UN ELEMENT DE FOND PROVOQUANT LA VIDANGE DE LA RETENUE

Le nœud papillon représentant les scénarios de rupture d'une vanne de fond (vidange ou prise) sur un ouvrage hydraulique font apparaître des fonctions de sécurité, en général assurées par des dispositifs appelés barrières. Pour rappel, ces fonctions sont les suivantes :

- Prévention d'une dérive suite à une agression externe ;
- Prévention d'une dérive suite à une défaillance intrinsèque ;
- Prévention d'une dérive due au vieillissement ou à la corrosion de l'organe ;
- Prévention de la vidange de la retenue suite à une rupture de vanne.

L'étude des EDD présentées en GT nous permet de donner plusieurs exemples de ces barrières, elles sont détaillées dans cette partie.

7.1 PREVENTION D'UNE DERIVE SUITE A UNE AGRESSION EXTERNE

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
<ul style="list-style-type: none">- Grille de protection dans la galerie d'amenée- Goulots d'étranglement dans la galerie d'amenée	Prévenir une dérive suite à une agression externe de la vanne

Tableau 8 : Fonction de sécurité de prévention d'une dérive suite à une agression externe et mesures associées identifiées

Les agressions externes pouvant affecter le barrage dans sa globalité (séisme, mouvement de terrain) sont susceptibles d'impacter les organes hydrauliques. Cependant, d'autres agressions externes sont envisageables à cette échelle, il s'agit notamment des chocs par embâcles ou par blocs de roche ou de béton.

Une grille de protection en amont de la vanne constitue un moyen efficace de limiter ce type d'agressions. Cependant, cette grille étant en général immergée et rarement accessible, son contrôle et son entretien sont difficiles. Par conséquent, sa présence est rarement valorisable directement dans le calcul d'une probabilité d'occurrence. En revanche, la présence d'une grille peut être intégrée dans le choix de la fréquence d'occurrence de l'événement initiateur.

En ce qui concerne les goulots d'étranglement pouvant être présents dans une galerie d'amenée, s'ils limitent le passage par cette galerie de corps étrangers de dimensions relativement importantes, ils ne peuvent pas limiter l'arrivée de blocs de béton dégradés éventuellement détachés des parois de la galerie en aval du goulot. Par conséquent, ils ne peuvent justifier d'écarter le phénomène et ne peuvent pas être valorisés en tant que mesure de maîtrise des risques.

7.2 PREVENTION D'UNE DERIVE SUITE A UNE DEFAILLANCE INTRINSEQUE DE LA VANNE

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
<ul style="list-style-type: none">- Essais à la réception de la vanne- Surveillance et vérification des travaux	Prévenir une dérive suite à une défaillance intrinsèque de la vanne

Tableau 9 : Fonction de sécurité de prévention d'une dérive suite à une agression externe et mesures associées identifiées

Dans le cas d'un organe hydraulique de type vanne, la distinction est souvent faite entre défaillance intrinsèque due à une mauvaise réparation, et défaillance due au vieillissement ou à la corrosion. Ce deuxième type de défaillance est l'objet du paragraphe suivant.

Dans le cas d'une défaillance intrinsèque telle qu'elle est définie ici, les barrières associées identifiées sont les essais de réception, ainsi que la surveillance et vérification des travaux menés.

Ces deux mesures, si elles sont indispensables, ne sont néanmoins valorisées que dans le choix de la fréquence d'occurrence d'une telle défaillance. Une étude quantitative de l'apport spécifique de telles mesures dans la décote d'une probabilité d'occurrence d'un accident majeur nécessiterait le développement d'une méthode spécifique.

S'il peut être justifié que le dispositif est particulièrement efficace, il sera plutôt envisagé d'écarter de l'étude l'événement initiateur.

7.3 PREVENTION D'UNE DERIVE DUE AU VIEILLISSEMENT OU A LA CORROSION DE LA VANNE

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
<ul style="list-style-type: none">- Essais annuels- Inspections visuelles périodiques- Dashpot	Prévenir une dérive suite au vieillissement ou à la corrosion de la vanne

Tableau 10 : Fonction de sécurité de prévention d'une dérive suite au vieillissement ou à la corrosion et mesures associées identifiées

Les dispositifs mis en place pour prévenir une dérive suite à un vieillissement ou à la corrosion de la vanne sont en grande partie des dispositifs de tests, contrôles et maintenance.

Si ces tests sont de fréquence appropriée et suivis de mesures précises à appliquer dans le cas de la détection d'une dérive (remplacement de la vanne), alors il est potentiellement possible de définir une barrière de sécurité assurant la fonction identifiée, directement valorisable dans le calcul de la probabilité d'occurrence de l'accident majeur associé à ce scénario.

Par ailleurs, il a été identifié un dispositif de dashpot. Ce dispositif permet de limiter les vibrations risquant à terme d'endommager prématurément la vanne. Si ce dispositif est relativement efficace, il ne peut protéger la vanne contre d'autres types de vieillissement, et notamment la corrosion. Par conséquent, ce dispositif ne peut constituer une barrière de sécurité assurant la fonction de sécurité identifiée. Néanmoins, dans le cas d'une étude détaillant les différentes causes de vieillissement d'une vanne, on peut envisager qu'il soit pris en compte comme barrière de sécurité assurant la fonction « prévention d'une dérive suite à un endommagement de la vanne par des vibrations trop importantes ». Ce niveau de détail est cependant rarement nécessaire, au vu des imprécisions portant sur d'autres scénarios menant au même accident majeur.

7.4 PREVENTION DE LA VIDANGE DE LA RETENUE SUITE A UNE RUPTURE DE VANNE

Le tableau suivant présente les différentes mesures identifiées :

<u>Mesures identifiées</u>	<u>Fonction de sécurité associée</u>
- Vanne de garde	Prévenir une vidange de la retenue suite à une rupture de la vanne de fond (vidange ou prise)

Tableau 11 : Fonction de sécurité de prévention d'une vidange de la retenue suite à une rupture de vanne et mesures associées identifiées

Dans le cas où la vanne, de vidange ou de prise, est effectivement endommagée et devient fuyarde, il est cependant possible de prévenir la vidange de la retenue par cette vanne, en cas de présence d'une vanne de garde.

La présence de cette vanne fermée en aval constitue une mesure de maîtrise du risque de vidange de la retenue et peut faire l'objet d'une étude dans l'EDD pour justifier la décote de l'accident majeur associé à cette fonction de sécurité.

8. CONCLUSION

Dans le cadre de la réglementation française relative aux Etudes de Dangers pour les barrages, des accidents sur des ouvrages hydrauliques sont susceptibles de survenir avec une libération d'un volume d'eau plus ou moins important. La réglementation française relative aux ouvrages hydrauliques prévoit la réalisation d'une étude de dangers pour les barrages de classes A et B (classe fonction de la hauteur du barrage et du volume de la retenue). Une des finalités de l'étude de dangers est le positionnement dans une matrice de criticité des accidents identifiés au cours de l'étude. Ces accidents sont qualifiés en termes de probabilité d'occurrence annuelle et de gravité des conséquences, cette cotation faisant intervenir l'étude des différentes barrières de sécurité mises en œuvre par l'exploitant d'un ouvrage.

L'objet de ce rapport était de présenter un état des lieux des dispositifs de sécurité les plus fréquemment rencontrés sur les ouvrages français.

La réflexion s'est déroulée de la manière suivante :

- Elaboration de nœuds-papillons et fonctions de sécurité génériques,
- Analyse de quelques EDD étudiées en GT afin d'associer des exemples de barrières de sécurité associées à ces fonctions ;
- Analyse de ces dispositifs afin de définir des barrières de sécurité au sens strict du terme, potentiellement valorisables dans les EDD.

Malgré la grande diversité des types de barrages présent en France, les fonctions de sécurité retrouvées sont sensiblement les mêmes. Souvent, des barrières de sécurité peuvent être associées à ces fonctions, et une étude détaillée peut alors être mise en œuvre dans le but d'identifier précisément l'apport de ces mesures dans la maîtrise du risque présenté par l'ouvrage.

Pour rappel, une barrière de sécurité s'identifie en termes d'indépendance, d'efficacité, de temps de réponse et de maintenance de ses performances dans le temps.

Bien souvent, au-delà de l'actionneur mettant effectivement en œuvre ce qui permettra d'assurer la fonction de sécurité, c'est le détecteur de déclenchement du dispositif qui constitue le maillon faible de ces barrières. Cet aspect ne doit pas être omis dans l'étude détaillée d'une barrière de sécurité, l'indépendance du dispositif devant avant tout être respectée.

Par ailleurs, la difficulté d'étude des barrières mettant en œuvre des composantes humaines (barrières humaines, barrières organisationnelles ou SAMS) en font des sujets privilégiés pour les études qui s'inscriront dans la continuité de ce rapport.

9. BIBLIOGRAPHIE

Réglementation française relative aux Ouvrages Hydrauliques

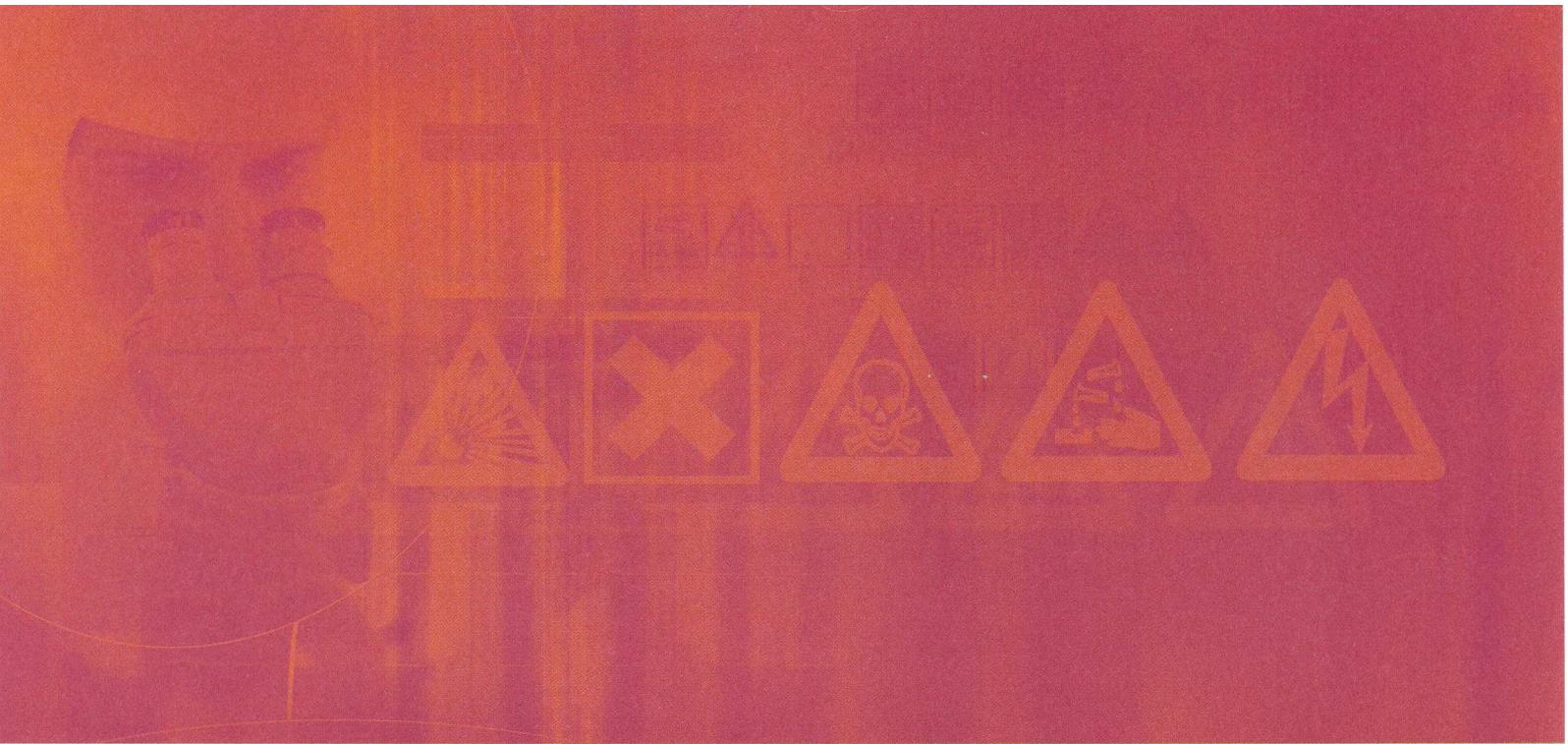
- Loi n° 2006-1172 du 30 décembre 2006 sur l'eau codifiée et les milieux aquatiques
- Décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 codifié (article R214-115 du code de l'environnement)
- Arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu.
- Circulaire du 31 octobre 2008 diffusant un « Guide de lecture » des EDD barrages.
- Décret n°92-997 du 15 septembre 1992 modifié relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques.
- Arrêté du 22 février 2002 pris en application du Décret n°92-997 du 15 septembre 1992 modifié relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques.
- Décret n°2005-1158 du 13 septembre 2005 relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains ouvrages hydrauliques ou installations fixes et pris en application de l'article 15 de la loi n°2004-811 du 13 août 2004 relative à la modernisation de la sécurité civile.
- Arrêté du 29 février 2008 fixant des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques.

Réglementation française relative aux Installations classées

- Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers à l'appréciation de la démarche de réduction du risques à la source et aux Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) dans les Installations Classées en application de la loi du 30 juillet 2003

Autres documents

- *Les évacuateurs de crue des barrages hydroélectriques concédés français, vue synthétique du parc*, Laurent Cottin (BETCGB), 2009
- *Performances des hausses fusibles dans des conditions particulières d'opération*, Sébastien Lacroix, Ugo Spinazzola (Hydroplus), 2009
- *Les évacuateurs de crues des barrages relevant de la Loi sur l'eau ; Vue synthétique du Parc*, Paul Royet, Rémy Tourment, Huguette Félix, Martine Wolff (Cémagref), 2009



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet** : <http://www.ineris.fr>