



GUIDE « PETITS BARRAGES EN REMBLAI ET SITUATIONS D'INCIDENT »



© Irstea

Novembre 2019



GUIDE « PETITS BARRAGES EN REMBLAI ET SITUATIONS D'INCIDENT »

Table des matières

Plan du guide.....	3
1. Domaines d'application et organisation du guide	4
1.1. Les petits barrages en remblai.....	4
1.2. Les intervenants	4
1.3. Objectifs du guide.....	5
2. Modes et mécanismes de rupture rencontrés sur les barrages en remblai	6
2.1. Erosion externe initiée par une surverse [8]	6
2.1.1. Le mécanisme.....	6
2.1.2. Les causes.....	6
2.1.3. Les symptômes.....	6
2.2. Erosion interne [5] [8] [9]	8
2.2.1. Le mécanisme.....	8
2.2.2. Les causes.....	9
2.2.3. Les symptômes.....	9
2.3. Glissement de parement	11
2.3.1. Le mécanisme de glissement du parement aval	11
2.3.2. Le mécanisme de glissement du parement amont	11
2.3.3. Les causes.....	11
2.3.4. Les symptômes.....	12
2.4. Modes de défaillance des organes hydromécaniques [4]	13
2.5. Désordres dus aux Séismes [8][15][21]	13
2.5.1. Le zonage du risque sismique en France	13
2.5.2. Les désordres	13
2.5.3. Le mécanisme de liquéfaction des sols	13
3. Retour d'expérience sur des événements gérés en situation d'incident.....	14
3.1. Introduction.....	14
3.2. Analyse des symptômes observés sur le terrain	14
3.2.1. Erosion interne.....	14
3.2.2. Erosion externe	15
3.2.3. Glissement de talus.....	15

3.2.4.	Rupture de vantellerie.....	15
3.3.	Analyse des actions mises en œuvre	15
4.	Gestion des situations d’incident sur les petits barrages en remblai	17
4.1.	Introduction.....	17
4.2.	Etape 1 : Evénement observé sur le terrain	17
4.3.	Etape 2 : Evaluation du niveau de gravité	18
4.4.	Etape 3 : Définition des actions à mener.....	20
4.4.1.	Vidange d’urgence hors cas de surverse	20
4.4.2.	Vidange d’urgence en cas de surverse	25
4.4.3.	Recensement des enjeux en aval [18] [20]	25
4.4.4.	Mise en sécurité des enjeux en aval [1] [16].....	26
4.4.5.	Vidange partielle	26
4.4.6.	Surveillance renforcée [17]	27
4.4.7.	Diagnostic par bureau d’études et travaux de confortement [7] [8]	29
4.5.	Synthèse de la démarche.....	30
	Références bibliographiques.....	31
	Ouvrages	31
	Sites internet	32
	ANNEXE 1 : Les Evénements Importants pour la Sécurité Hydraulique (EISH)	33
	ANNEXE 2 : Zonage sismique de la France (Source : www.planseisme.fr).....	35
	ANNEXE 3 : Base de données – Liste des barrages considérés dans l’analyse.....	36
	ANNEXE 4 : Retour d’expérience : Analyse de la base de données	39
	ANNEXE 5 : Fiche d’observations et fiche récapitulative de la démarche à appliquer en situation d’incident	42

GUIDE « PETITS BARRAGES EN REMBLAI ET SITUATIONS D'INCIDENT »

Groupe de travail Irstea : Corinne Curt, Simon Dieudonné, Anthony Mouyeaux, Laurent Peyras, Daniel Poulain

Coordination : Anthony Mouyeaux, Laurent Peyras

Relecture MTES : Marc Hoonakker, Lionel Berthet, Gilles Rat

Version 3 : datée du 05/11/2019

PLAN DU GUIDE

Le contenu du livrable suit le plan suivant :

1) Domaines d'application et organisation du guide :

Ce chapitre introduit le contexte, les objectifs et le périmètre d'application du livrable.

2) Modes et mécanismes de rupture rencontrés sur les barrages en remblai :

Ce chapitre fait un point succinct sur les principaux mécanismes de rupture (et leurs causes et symptômes) rencontrés sur les barrages en remblai.

3) Retour d'expérience d'événements gérés en situation d'incident :

Ce chapitre présente un retour d'expérience sur la gestion, en situation d'incident, d'événements survenus sur des ouvrages (principalement des petits barrages en remblai). Il s'agit d'un travail d'identification, de collecte, d'analyse et de traitement d'événements qui ont porté atteinte à la sécurité d'ouvrages, en se basant sur le retour d'expérience capitalisé par la profession.

4) Gestion des situations d'incident sur les petits barrages en remblai :

Ce chapitre propose une démarche pour l'analyse et la gestion des situations d'incident susceptibles de survenir sur les petits barrages en remblai. En fonction de l'événement observé sur le terrain, cette méthodologie évalue la gravité de la situation suivant trois classes et définit un nombre d'actions à mettre en œuvre pour réduire ou limiter le risque de défaillance du barrage. L'ensemble de la démarche est synthétisé dans un arbre d'aide à la décision.

Deux fiches opérationnelles sont disponibles en Annexe 5. Ces fiches synthétisent la démarche à suivre en cas d'incident.

1. DOMAINES D'APPLICATION ET ORGANISATION DU GUIDE

1.1. LES PETITS BARRAGES EN REMBLAI

Les recommandations de ce guide viennent s'appliquer aux barrages en remblai, de construction récente ou ancienne, de petite taille, et qui constituent des retenues d'eau à usages multiples (irrigation de terres agricoles, alimentation en eau potable, hydroélectricité, activités de loisirs, piscicultures, etc.).

On entend par barrage de taille petite, les petits barrages dans la classe C ou ceux plus modestes ne relevant pas d'une classe administrative (cf. Tableau 1). Ce sont souvent des ouvrages pour lesquels l'administration possède peu voire pas d'informations techniques sur leur fonctionnement, leur niveau de sûreté voire leur existence.

Le guide se concentre sur les petits barrages en remblai du fait de leur prédominance dans les situations d'incident, comme le montre l'analyse portée au chapitre 3 du guide. En effet, sur un échantillon de 59 ouvrages ayant connu des incidents, sont recensés 53 barrages en remblai dont 42 de classe C ou non classés. Néanmoins, le retour d'expérience intègre également quelques événements survenus sur des ouvrages qui relèvent des classes A ou B et de typologies différentes au remblai (cinq barrages poids béton ou maçonnerie et un barrage voûte).

Tableau 1 : Classes administratives des barrages en fonction des caractéristiques géométriques (Article 17 du décret n° 2015-526¹)

Classe de l'ouvrage	Caractéristiques géométriques
A	$H > 20 \text{ m}$ et $H^2 \times V^{1/2} > 1\,500$
B	Ouvrage classé en A et pour lequel $H > 10 \text{ m}$ et $H^2 \times V^{1/2} > 200$
C	a) Ouvrage non classé en A ou B pour lequel $H > 5 \text{ m}$ et $H^2 \times V^{1/2} > 20$ b) Ouvrage pour lequel les conditions prévues au a) ne sont pas satisfaites mais qui répond aux conditions cumulatives ci-après : a. $H > 2 \text{ m}$; b. $V > 0,5 \text{ hm}^3$; c. Il existe une ou plusieurs habitations à l'aval du barrage, jusqu'à une distance par rapport à celui-ci de 400 mètres.

1.2. LES INTERVENANTS

Ce guide est destiné à des acteurs qui possèdent des connaissances techniques sur les ouvrages hydrauliques mais non experts. Il concerne :

- En premier lieu, les gestionnaires d'ouvrages (propriétaires et exploitants) en particulier ceux qui ne sont pas accompagnés en permanence par des bureaux d'études (assistance à maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre) pour répondre aux obligations réglementaires leur incombant en termes de sécurité des ouvrages ;

¹ Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques - Article 17

- Les services de l'État chargés du contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques, afin d'évaluer la gravité de la situation d'incident de l'ouvrage dans le cadre de leur action de contrôle, et de viser à un retour à une situation normalisée ;
- Dans certaines situations particulières, les services de l'État (les services de contrôle représentés par les DREAL² et les services de police de l'eau représentés par les DDT³) pour ne pas être démunis face à une situation de crise, s'ils sont appelés à intervenir en appui aux services de gestion de crise ou, à la demande du préfet, en substitution sur un ouvrage dont le maître d'ouvrage est défaillant.

Ce guide peut également être utile aux bureaux d'études titulaires d'un agrément « Dignes et petits barrages »⁴ qui sont susceptibles d'intervenir auprès de gestionnaires d'ouvrages pour produire des diagnostics de sûreté de barrages lors de situations d'incident.

1.3. OBJECTIFS DU GUIDE

Les situations d'incident doivent être gérées dans un délai cohérent avec le risque d'imminence d'une défaillance afin de rétablir la sécurité de l'ouvrage. Cette gestion est généralement prise en charge par des experts des ouvrages hydrauliques qui mettent en œuvre un certain nombre d'actions. Or, ces actions ne sont actuellement pas formalisées, ce qui peut conduire à une situation critique si les gestionnaires d'ouvrages ne sont pas en mesure de mettre en œuvre des actions de réduction ou de maîtrise du risque lors d'une situation d'incident, en l'absence d'assistance experte.

L'objectif de ce guide est donc de formaliser les connaissances concernant la gestion des situations d'incident en s'appuyant sur le retour d'expérience capitalisé auprès des SCSoH⁵, de l'appui technique (Iristea⁶ ou le PoNSOH⁷) et de la base de données EISH⁸ (cf. Annexe 1) et en s'appuyant sur des pratiques d'ingénierie expérimentées pour ce type de situation. Sur ces bases, le guide proposera les conduites générales à tenir en situation d'incident lorsqu'il est impossible d'avoir recours à un diagnostic ou autre « état des lieux » détaillé.

² Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

³ Direction Départementale des Territoires

⁴ Cf. les catégories d'agrément prévues par l'arrêté du 15 novembre 2017 précisant les catégories et les critères des agréments des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que l'organisation administrative de leur délivrance [14].

⁵ Service de contrôle de la Sécurité des Ouvrages Hydrauliques

⁶ Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

⁷ Pôle national de la sécurité des ouvrages hydrauliques (anciennement le Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages)

⁸ Événements Importants pour la Sécurité Hydraulique

2. MODES ET MECANISMES DE RUPTURE RENCONTRES SUR LES BARRAGES EN REMBLAI

Ce chapitre expose de manière succincte et non exhaustive les principaux mécanismes de rupture rencontrés sur les barrages en remblai. Les processus de vieillissement et de dégradation des barrages en remblai sont essentiellement liés à des mécanismes d'infiltration et d'érosion ou d'instabilité mécanique qui peuvent aboutir aux mécanismes de rupture.

2.1. EROSION EXTERNE INITIEE PAR UNE SURVERSE [8]

2.1.1. LE MECANISME

Lorsque le débit dépasse les capacités d'évacuation des crues, la retenue déverse sur la crête et peut alors éroder le remblai jusqu'à une rupture totale du barrage. Dès le début d'une surverse sur un barrage, l'eau acquiert une forte vitesse sur le talus aval du barrage et l'érode par arrachement des grains qui sont transportés vers le bas. L'arrachement de ces grains supprime la force de butée qu'ils appliquaient aux grains situés à leur amont, qui peuvent à leur tour être arrachés. Le mécanisme est régressif.

2.1.2. LES CAUSES

Le mécanisme d'érosion externe induit par une surverse peut être dû à :

- un dimensionnement insuffisant ou un dysfonctionnement de l'évacuateur de crues résultant trop souvent d'un entretien inadapté ;
- la présence d'embâcles (arbres, branches, caravanes, etc.) bloquant tout ou partie du seuil déversant ;
- des tassements de la crête du remblai initiés par des déformations du remblai ou de la fondation.

2.1.3. LES SYMPTOMES

Les symptômes du mécanisme d'érosion externe observables sur le terrain sont :

- la surverse (cf. figure 1) ;
- le creusement de ravines (cf. figure 2).



Figure 1 : Brèche initiée par une surverse sur la digue du Vidourle (Source : SIAV)



Figure 2 : Ravine (Source : Irstea)

2.2. EROSION INTERNE [5] [8] [9]

2.2.1. LE MECANISME

L'érosion interne est un phénomène causé par un écoulement d'eau dans le remblai qui arrache et transporte les particules du sol. Ce mécanisme, qui désigne d'une façon générale dans les ouvrages en remblai les migrations de particules, couvre plusieurs phénomènes (cf. figure 3) :

- l'érosion de conduit : un défaut préexistant (par exemple : une fissure, un terrier, un conduit dû au pourrissement de racines) indépendant de l'érosion interne, traverse une partie du remblai ou de sa fondation. L'eau circulant dans ce conduit développe des contraintes de cisaillement suffisantes pour arracher et entraîner les particules en paroi du conduit ;
- l'érosion régressive : l'écoulement à travers l'ouvrage ou sa fondation entraîne des particules au débouché aval. Cela crée un conduit ou une perte de matière qui progresse vers l'amont. Si la perte de matière atteint la retenue en amont, une brèche peut alors s'initier ;
- l'érosion de contact : l'écoulement interne traversant une couche de sol grossier au contact d'une couche de sol fin peut entraîner les particules de sol fin le long du contact des deux couches (par exemple : entre un remblai constitué de matériaux fins et sa fondation grossière) ;
- la suffusion : l'écoulement traversant un matériau à granulométrie discontinue ou étalée entraîne les particules de la fraction fine libres de se mouvoir à travers les vides des particules grossières.

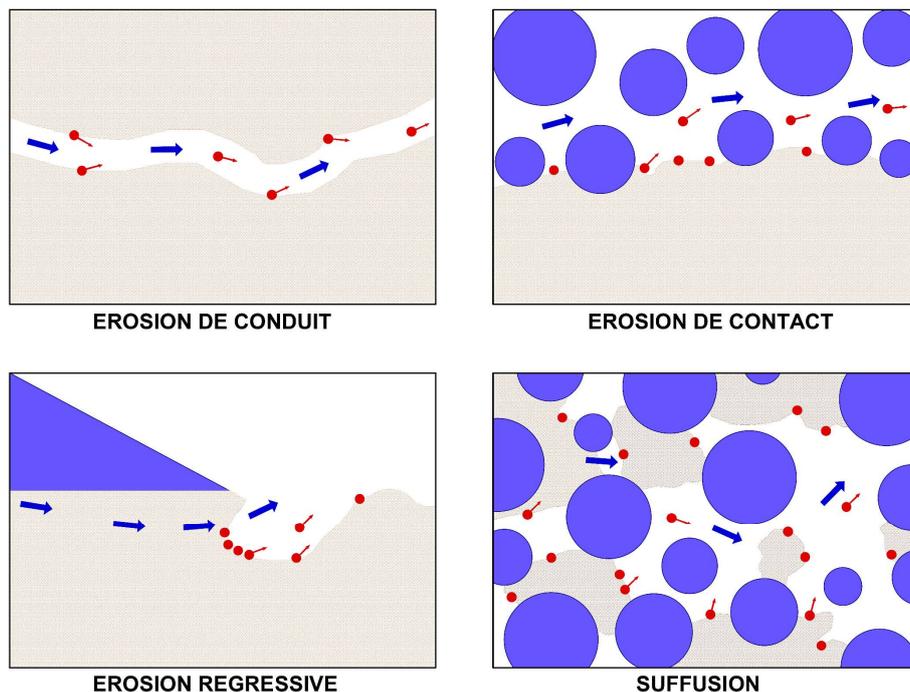


Figure 3 : Schémas des différents mécanismes d'érosion interne (d'après R. Béguin, 2011)

Le mécanisme d'érosion interne se produisant au cœur de l'ouvrage ou de sa fondation, il peut être décelé visuellement par la détection de fuites plus ou moins chargées en particules fines débouchant sur le parement aval ou au pied aval du remblai.



Figure 4 : Brèche initiée par le mécanisme d'érosion de contact sur le barrage des Ouches (Source : Irstea)

2.2.2. LES CAUSES

Le mécanisme d'érosion interne peut être dû à :

- la défaillance du système d'étanchéité ;
- l'absence de filtre ou des conditions de filtre non respectées entre un matériau grossier et un matériau fin ;
- la défaillance du système de drainage (colmatage, contournement, rupture) ;
- un sous-compactage des couches de matériaux constituant le remblai ;
- l'écoulement non contrôlé le long d'une conduite de vidange (ou autre) ou la défaillance de la conduite ;
- la présence de terriers (animaux fouisseurs) dans le corps du remblai ;
- la présence de végétation arborée sur le remblai dans lequel le système racinaire peut s'implanter et se développer.

2.2.3. LES SYMPTOMES

Les symptômes du mécanisme d'érosion interne observables sur le terrain sont :

- la formation d'un vortex dans la retenue ;
- le fontis (cf. figure 5) ;
- l'apparition d'une fuite avec éventuellement la présence de grains de sol (cf. figure 6) ;
- l'apparition d'une zone humide (cf. figure 7) ;
- la déformation en crête.



Figure 5 : Fontis (Source : Projet ERINOH⁹)



Figure 6 : Fuite (Source : Irstea)

⁹ ERINOH : ERosion INterne des Ouvrages Hydrauliques



Figure 7 : Zone humide en pied aval (Source : Irstea)

2.3. GLISSEMENT DE PAREMENT

2.3.1. LE MECANISME DE GLISSEMENT DU PAREMENT AVAL

L'équilibre du parement aval dépend de sa géométrie (pente), des caractéristiques mécaniques des matériaux le constituant et de la présence d'eau. L'infiltration d'eau dans le corps du barrage en remblai introduit des pressions interstitielles. Les forces motrices dues au poids des terres au-dessus de la surface potentielle de glissement peuvent l'emporter sur les forces résistantes dues au frottement le long de la surface de rupture. La stabilité au glissement du parement aval peut alors en être affectée. Le glissement du parement aval est dangereux car il se produit souvent retenue pleine ou lorsque le niveau d'eau est à la hausse, ce qui peut potentiellement aggraver le phénomène par occurrence d'une surverse sur la zone de glissement.

Il peut de plus se poursuivre par un mécanisme d'érosion interne due à l'augmentation du gradient hydraulique, d'autant plus si le cercle de glissement s'est rapproché du parement amont (il peut également dans ce cas se produire une érosion externe par surverse).

2.3.2. LE MECANISME DE GLISSEMENT DU PAREMENT AMONT

Pour le parement amont, l'eau apporte une poussée stabilisatrice et une force déstabilisatrice sous l'effet des pressions interstitielles. Lors d'une vidange de barrage, la stabilité dépend du niveau des pressions interstitielles de l'eau dans le parement amont avec la diminution du plan d'eau stabilisateur. La vidange constitue donc la circonstance la plus défavorable pour la tenue du parement amont.

La vidange partielle ou totale du plan d'eau est préconisée comme action pour traiter les situations d'incident au dernier chapitre du guide. C'est pourquoi le glissement du parement amont peut être une conséquence, mais sans pour autant constituer une situation d'incident.

2.3.3. LES CAUSES

Le mécanisme de glissement du parement peut être dû à :

- la défaillance du système d'étanchéité ;
- la défaillance du système de drainage (colmatage, contournement, rupture) ;
- l'augmentation des pressions interstitielles dans le remblai ;
- la déformation ou la fracturation du remblai.

2.3.4. LES SYMPTOMES

Les symptômes du mécanisme de glissement observables sur le terrain sont :

- le bourrelet au pied aval ;
- l'ondulation de peau sur le parement ;
- le glissement de peau sur le parement (cf. figure 8) ;
- la fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement) (cf. figure 9).



Figure 8 : Glissement de parement amont (Source : Irstea)



Figure 9 : Fissuration (Source : Irstea)

2.4. MODES DE DEFAILLANCE DES ORGANES HYDROMECHANIQUES [4]

Les principaux modes de défaillance mécanique et de pilotage automatique rencontrés sur les organes hydromécaniques présents sur les barrages (vidange, prise d'eau, évacuateur de crues) concernent :

- la perte de manœuvrabilité (par exemple : causée par l'absence de manœuvre régulière, l'absence de test, une panne du dispositif de contrôle-commande, le blocage de la chaîne cinématique, le gel, l'envasement) ;
- l'ouverture / fermeture intempestive (par exemple : causée par un défaut technique du contrôle-commande, une erreur de manipulation humaine ou la malveillance) ;
- la rupture du corps de la vanne, de la conduite, d'une pièce fixe ou d'un élément de la chaîne cinématique (par exemple : causée par une mise en charge hydrostatique ou hydraulique trop importante, des chocs de corps flottants, un vieillissement initié par le mécanisme de corrosion). La rupture d'une conduite dans le corps du remblai peut potentiellement engendrer l'initiation du mécanisme de rupture par érosion interne.

La synthèse des enseignements tirés dans l'analyse réalisée par le CFBR dans le groupe de travail « Accidentologie et incidentologie des barrages » montre que les modes de défaillance résultent de problèmes techniques (conception d'un système de vannage pas infallible) ou bien de manquements organisationnels (la surveillance et la maintenance préventive sont-elles correctement déclinées ? l'organisation en place concourt-elle réellement à la sûreté des dispositifs ?).

2.5. DESORDRES DUS AUX SEISMES [8][15][21]

2.5.1. LE ZONAGE DU RISQUE SISMIQUE EN FRANCE

La France dispose d'un zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante (cf. carte du zonage sismique en Annexe 2). Une grande partie du territoire français (métropole, Réunion, Mayotte, Guyane) est soumis à un niveau d'aléa sismique évalué de « très faible » (zone 1) à « moyen » (zone 4). Ce dernier niveau d'aléa concerne les massifs montagneux des Alpes et des Pyrénées. Par contre, les collectivités territoriales de la Guadeloupe et de la Martinique constituent des zones où le niveau d'aléa sismique est évalué comme « fort » (zone 5).

Les barrages situés en zones 1 et 2 sont peu susceptibles d'être impactés par un séisme. Cependant, pour les trois autres zones, le risque sismique n'est pas à négliger.

2.5.2. LES DESORDRES

Les désordres les plus fréquemment observés après un séisme sur des ouvrages en remblai sont généralement des fissurations et des tassements en crête, d'autant plus importants quand les remblais ont été mal compactés à la construction, des ruptures de conduites rigides, des dégradations sur les organes vannés et leur dispositif de manœuvre et des dégâts dus aux chutes de blocs de versants rocheux.

Consécutivement à un séisme survenu à proximité d'un ouvrage, il convient de réaliser une visite de surveillance visuelle et un relevé et une analyse des données d'auscultation, afin de vérifier l'état de sécurité de l'ouvrage.

2.5.3. LE MECANISME DE LIQUEFACTION DES SOLS

Les barrages en remblai et leur fondation meuble peuvent également être sensibles au mécanisme de liquéfaction des sols. Ce mécanisme concerne les sols saturés et peu cohésifs qui, sous l'effet d'un mouvement sismique, conduit à une diminution de la rigidité du sol et de sa résistance avec l'accumulation des pressions interstitielles et la réduction des contraintes effectives (les forces intergranulaires). Ce phénomène peut conduire à des déformations permanentes significatives, voire une quasi annulation de la contrainte effective dans le sol.

3. RETOUR D'EXPERIENCE SUR DES EVENEMENTS GERES EN SITUATION D'INCIDENT

3.1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente un retour d'expérience sur la gestion de situations d'incident survenues sur des barrages. Pour ce faire, un travail d'identification, de collecte, d'analyse et de traitement d'événements qui ont porté atteinte à la sécurité de barrages a été réalisé. Ce travail se base sur le retour d'expérience capitalisé par la profession :

- les cas vécus en direct ou bien en différé par l'appui technique lors de situations d'incident ;
- les EISH et PSH¹⁰ transmis par les gestionnaires d'ouvrages aux services de contrôle qui, pour la majorité, sont renseignés dans la base de données ARIA¹¹ du BARPI¹² ;

Une base de données collecte l'ensemble des événements observés et fait ressortir pour chaque événement :

- la date et le type de barrage concerné ;
- le type d'événement survenu en fonction du niveau de gravité ;
- le mécanisme de rupture initié ;
- les symptômes observés sur le terrain précurseurs au mécanisme de rupture ;
- les actions mises en œuvre pour traiter la situation d'incident ;
- la situation d'exploitation du barrage : « normale » ou « en crue ».

Cette base de données est présentée en Annexe 3. Elle liste un échantillon de 59 barrages, dont principalement des petits barrages en remblai, en classe C ou non classés. Une analyse statistique accompagnée de graphiques est présentée en Annexe 4. La section 3.2 suivante détaille plus finement l'analyse de la base de données.

3.2. ANALYSE DES SYMPTOMES OBSERVES SUR LE TERRAIN

3.2.1. EROSION INTERNE

Pour la majorité des cas analysés (18 cas), la surveillance visuelle a permis de détecter l'initiation du mécanisme d'érosion interne par :

- la détection de nouvelles fuites / résurgences sur le remblai (parement aval ou pied aval) chargées en fines ou non ;
- la mesure de débits de fuites anormalement élevés dans l'analyse des données de l'auscultation.

Les autres cas analysés (3 cas) concernent la rupture du remblai par le mécanisme d'érosion interne avec la formation d'une brèche qui a conduit à la vidange totale ou partielle du plan d'eau.

¹⁰ Événements Précurseurs pour la Sûreté Hydraulique

¹¹ La base ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) recense les incidents ou accidents qui ont, ou auraient, pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement. Pour l'essentiel, ces événements résultent de l'activité d'usines, ateliers, dépôts, carrières, élevages, etc. classés au titre de la législation relative aux Installations Classées, mais également des ouvrages hydrauliques. Site Web : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

¹² Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels

3.2.2. EROSION EXTERNE

Pour les deux tiers des cas analysés (16 cas), la surverse au-dessus de la crête du barrage a conduit à une dégradation majeure de l'ouvrage (griffes d'érosion, etc.) ou bien à la formation d'une brèche avec une vidange partielle ou totale du plan d'eau.

Pour un tiers des cas analysés (8 cas), la surverse n'a pas conduit à de dégradation majeure de la crête ou du parement aval. La surverse au-dessus de la crête a pu être observée pendant la crue ou bien par la détection d'indices post-crue (laisses de crues¹³, végétation renversée).

3.2.3. GLISSEMENT DE TALUS

Pour la majorité des cas analysés (8 cas), le mécanisme de glissement s'est produit sur le parement aval ou amont du barrage avec l'observation d'affaissements ou de fontis.

Pour les autres cas (3 cas), le mécanisme de glissement de talus a pu être identifié et ses conséquences amoindries grâce à la surveillance visuelle par l'observation de fissuration en crête et grâce à l'analyse des données de l'auscultation par l'observation de débits de fuites et d'une piézométrie élevés.

3.2.4. RUPTURE DE VANTELLERIE

Le premier cas analysé concerne le déboîtement d'une conduite de vidange dû à une surpression. L'incident a été constaté par l'augmentation brusque des débits de fuites et un ennoïement pour moitié de la galerie de visite.

Le second cas analysé concerne la fissuration d'une vanne de prise d'eau qui s'est produite lors d'une manœuvre d'essai suite à la pénétration d'un branchage sur le dessus de la prise d'eau.

Le dernier cas concerne le blocage d'une vanne lors d'une manœuvre initiée pour la refermer après qu'elle ait été maintenue ouverte pendant un mois pour évacuer un sur-débit dû à la fonte des neiges.

3.3. ANALYSE DES ACTIONS MISES EN ŒUVRE

Pour l'ensemble des cas analysés où il n'y a pas eu de rupture de l'ouvrage (49 cas), la **première action d'urgence** mise en œuvre a consisté à venir **abaisser partiellement ou bien complètement le niveau de la retenue** pour limiter ou stopper le déroulement du mécanisme de rupture déclenché, et ce afin de mettre en sécurité le barrage et les enjeux en aval.

Différents moyens techniques ont été employés¹⁴ :

- l'ouverture de l'organe de vidange (30 cas) ;
- l'utilisation d'un dispositif de pompage (4 cas) ;
- la création d'une brèche (8 cas) ;
- la pose d'un passage busé à l'abri d'un batardeau (1 cas).

Les trois dernières techniques ont été utilisées dans les cas de :

- impossibilité d'ouvrir la vanne (dysfonctionnement de la vidange, obstruction de la vidange, etc.) ;

¹³ Trace laissée par le niveau des eaux fluviales ou marines (cas des submersions marines) les plus hautes (marques sur les murs, déchets accrochés aux branches). Dans le cadre de l'élaboration d'un plan de prévention des risques inondation, on répertorie lors de l'enquête de terrain les laisses de crues pour permettre d'établir la carte des aléas historiques (source : www.georisques.gouv.fr).

¹⁴ A noter que pour certains événements, deux techniques ont été mises en œuvre pour abaisser le niveau de la retenue.

- possible mise en danger de la sécurité de l'ouvrage par utilisation de la vidange (sensibilité à l'érosion d'une galerie maçonnée, fissuration ou déboîtement d'une conduite dont la mise en charge, et donc le risque de fuites, pourrait initier le mécanisme d'érosion interne dans le remblai, etc.) ;
- absence d'organe de vidange.

Pour les cas de rupture de barrages avec une vidange partielle de la retenue, les principales actions mises en œuvre ont consisté à vidanger totalement la retenue et à agrandir la brèche (jusqu'au terrain naturel) et reprofiler les pentes latérales de la brèche pour éviter qu'il y ait un remplissage suite au passage d'une crue.

Pour les cas de rupture du barrage avec une vidange totale de la retenue, il n'a pas été mis en œuvre d'action en l'attente d'éventuels travaux de réparation ou bien il y a eu un agrandissement et un reprofilage de la brèche.

4. GESTION DES SITUATIONS D'INCIDENT SUR LES PETITS BARRAGES EN REMBLAI

4.1. INTRODUCTION

Le présent guide formalise les procédures à tenir dans l'analyse et la gestion des situations d'incident que peuvent connaître les petits barrages en remblai. Il s'appuie sur la connaissance des mécanismes de ruptures des barrages en remblai (cf. chapitre 2) et l'analyse du retour d'expérience d'événements gérés en situations d'incident (cf. chapitre 3).

La démarche proposée pour l'analyse et la gestion des situations d'incident se déroule suivant trois étapes qui sont présentées plus en détail dans les prochains paragraphes :

- étape 1 : quel est l'événement observé sur le terrain ?
- étape 2 : quel est le niveau de gravité associé à l'événement observé sur le terrain ?
- étape 3 : quelles sont les actions à mettre en œuvre en fonction du niveau de gravité évalué ?
-



4.2. ETAPE 1 : EVENEMENT OBSERVE SUR LE TERRAIN

La première étape de la démarche consiste à identifier le(s) symptôme(s) observé(s) sur l'ouvrage et de les associer à un (des) mécanisme(s) de rupture. Le tableau ci-dessous (cf. Tableau 2) rappelle les symptômes associés à chacun des mécanismes de rupture des barrages en remblai. Rappelons que ces symptômes sont présentés plus en détail et illustrés au chapitre 2 du guide.

A ce stade de l'analyse, il convient également de réunir la documentation disponible sur l'ouvrage. Celle-ci doit être en premier lieu détenue par le gestionnaire de l'ouvrage. À défaut, le service de contrôle et éventuellement l'appui-technique peuvent posséder certains documents (études de conception et d'exécution, plans, étude hydrologique, études géologique et géotechnique, rapports de VTA, rapports de surveillance, etc.).

Tableau 2 : Liste des symptômes associés aux mécanismes de rupture des barrages en remblai

Mécanisme de rupture	Symptôme
Erosion interne	Vortex
	Fontis
	Fuite chargée
	Fuite claire
	Déformation en crête
	Zone humide
Erosion externe	Surverse
	Retenue à plein bord
	Evacuateur de crues absent ou indisponible
Glissement de talus	Bourrelet au pied aval
	Ondulation de peau sur le parement
	Glissement de peau sur le parement
	Fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement)

4.3. ETAPE 2 : EVALUATION DU NIVEAU DE GRAVITE

La deuxième étape de la démarche consiste à évaluer le niveau de gravité associé à l'événement observé sur le barrage.

Pour ce faire, il est proposé une échelle de gravité de l'incident suivant trois classes qui permet au non-expert d'avoir une première évaluation de la gravité associée à un événement observé (cf. Tableau 3). Ce jugement ne se substitue pas à l'analyse d'un spécialiste/expert en génie civil qui devra se prononcer sur le degré de gravité de l'incident. Il s'agit d'évaluer le risque d'imminence d'une défaillance du barrage.

Tableau 3 : Echelle de gravité de l'incident

Gravité de l'incident	Imminence d'une défaillance
1	Rupture possible à très court terme
2	Rupture possible à court terme
3	Rupture possible à moyen terme

L'imminence d'une défaillance est proposée à partir d'une échelle temporelle, dans les ordres de grandeur sont les suivantes :

- « Rupture possible à très court terme » : quelques semaines ou jours avant la défaillance ;
 - « Rupture possible à court terme »
 - « Rupture possible à moyen terme »
- } Les niveaux de gravité 2 et 3 correspondent à une échelle de temps allant de quelques mois à une ou plusieurs années.

A partir de cette échelle de gravité, il est proposé d'associer une classe de gravité de l'incident à chaque symptôme initiateur d'un mécanisme de rupture (cf. Tableau 4). Notons que ce tableau est susceptible d'évoluer dans le temps avec les données du retour d'expérience de l'accidentologie.

Tableau 4 : Gravité de l'incident associés aux symptômes initiateurs des mécanismes de rupture

Mécanisme de rupture	Symptôme		Gravité de l'incident		
	Symptôme principal	Symptôme secondaire	1	2	3
Erosion interne	Vortex à l'amont		X		
	Fontis	Fontis + Fuite chargée	X		
		Fontis seul		X	
	Fuite chargée	Fuite chargée + Fontis	X		
		Fuite chargée seule*	X	X	
	Fuite claire*			X	X
	Déformation en crête**			X	X
	Zone humide/mouillère	Zone humide avec autre symptôme			X
Zone humide seule					X
Erosion externe	Surverse	Totale	X		
		Localisée	X		
	Retenue à plein bord	Pendant la crue	X		
		Après la crue		X	
	Evacuateur de crues absent ou indisponible	Pendant la crue	X		
		Prévision de crue	X	X	
Glissement de talus	Bourrelet au pied aval	Bourrelet seul		X	
		Saturation / fuite / venue d'eau visible	X	X	
	Ondulation de peau sur le parement	Ondulation seule		X	
		Saturation / fuite / venue d'eau visible	X	X	
	Glissement de peau sur le parement	Glissement seul			X
		Saturation / fuite / venue d'eau visible		X	
	Fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement)	Fissuration seule			X
		Saturation / fuite / venue d'eau visible		X	

* A évaluer en fonction de l'intensité du débit évacué et de son évolution (si elle est connue, par les observations antérieures, ou visible sur le terrain, par l'observation d'une augmentation continue).

** A évaluer en fonction de la taille de la déformation.

4.4. ETAPE 3 : DEFINITION DES ACTIONS A MENER

La troisième étape de la démarche consiste à définir un programme de mesures à mettre en œuvre sur le barrage afin de réduire ou limiter le risque de rupture.

Pour ce faire, il a été défini et hiérarchisé un nombre d'actions à mettre en œuvre en fonction de la gravité de l'incident évaluée (cf. Tableau 5).

Tableau 5 : Programme d'actions à mener en fonction de la gravité de l'incident

Gravité de l'incident	Phase 1 : actions à mettre en œuvre immédiatement				Phase 2 : actions à mettre en œuvre dès que possible		
	Vidange d'urgence		Actions à proposer aux autorités		Vidange partielle (cf. §4.4.5)	Surveillance renforcée (cf. §4.4.6)	Diagnostic par bureau d'études et travaux de confortement (cf. §4.4.7)
	Hors cas de surverse (cf. §4.4.1)	En cas de surverse (cf. §4.4.2)	Recensement des enjeux en aval (cf. §4.4.3)	Mise en sécurité des enjeux en aval (cf. §4.4.4)			
1	X	X	X	X	X	X	X
2			X		X	X	X
3						X	X

Ces actions ou leur commande sont réglementairement de la responsabilité du propriétaire et/ou du gestionnaire de l'ouvrage. Cependant, dans certains cas, notamment en l'absence ou en cas de la défaillance du propriétaire¹⁵, l'urgence rendra nécessaire l'action d'un représentant du préfet ou de la protection civile.

Ces actions et leurs conditions de mise en œuvre sont présentées plus en détail dans les paragraphes suivants.

4.4.1. VIDANGE D'URGENCE HORS CAS DE SURVERSE

Plusieurs procédés de vidange sont envisageables en fonction de la situation rencontrée sur le terrain. Ils sont présentés dans les paragraphes suivants selon un ordre hiérarchique de mise en œuvre. Les conditions de leur application sont récapitulées dans le paragraphe 4.4.1.7.

4.4.1.1. *Condition de vidange : complète ou partielle*

En condition d'exploitation normale ou bien en crue (mais hors condition de surverse), la vidange de la retenue peut être menée totalement ou partiellement en fonction de l'évolution des symptômes observés (par exemple : elle peut être partielle jusqu'en-dessous du niveau de la fuite observée). Les actions à mener pour vidanger la retenue (complètement ou partiellement) en urgence sont présentées dans les paragraphes suivants.

4.4.1.2. *Ouverture de l'organe de vidange*

Les petits barrages en remblai sont généralement équipés d'un dispositif de vidange qui permet de vider la retenue. Cet organe est soit constitué d'une conduite (en acier ou en béton) pour les ouvrages récents, soit d'un

¹⁵ la notion de responsabilité de l'action qui sera réalisée n'est pas abordée dans le présent document

conduit (en pierre ou en bois) pour les ouvrages plus anciens. Cet organe traverse l'ouvrage en fond de retenue et est contrôlé par une ou deux vannes.

Cet organe peut être utilisé pour vidanger (complètement ou partiellement) la retenue en situation d'incident. Il convient alors de répertorier le nombre de dispositifs de vidange et de vannes disponibles sur le barrage, leur positionnement, leur moyen de manoeuvrabilité et si elles sont opérationnelles.

Plusieurs dispositions sont à prendre en considération pour garantir une utilisation du dispositif de vidange vanné sans risque pour la structure du remblai et les personnes présentes sur le remblai ou à proximité :

- la conception : il convient de s'assurer qu'un dissipateur d'énergie est bien présent à l'exutoire aval de la vidange afin de se prémunir du risque d'affouillement au pied aval ;
- l'état structurel : des pathologies peuvent affecter les organes anciens. Ce sont, d'une part, la destruction superficielle et progressive des conduites en acier par le phénomène de corrosion et, d'autre part, la rupture au niveau d'un joint (mauvaise liaison entre deux tronçons) due à l'allongement de la conduite (acier, béton, maçonnerie) entraîné par une déformation importante du remblai ;
- la condition d'étanchéité : dans le cas d'un conduit ancien non jointif, il convient d'éviter sa mise en charge qui pourrait initier le mécanisme d'érosion interne de contact le long du conduit à son interface avec les matériaux du remblai ;
- l'effet du débit relâché en aval : il convient d'ouvrir progressivement la vanne de vidange (par paliers d'ouverture) afin de limiter le risque d'une montée trop rapide du cours d'eau en aval qui pourrait surprendre des personnes se trouvant aux abords.

Le temps de vidange de la retenue (en heures) peut être estimé avec la formule suivante (loi d'orifice) :

$$t = \frac{V}{0,6 \times S \times \sqrt{2 \times 9,81 \times H} \times 3\,600}$$

Avec :

- V : le volume de la retenue (m³).

Si le gestionnaire ne connaît pas le volume de la retenue, il peut être estimé par $V = \frac{A \times H}{3}$, avec A la surface du plan d'eau et H la différence de charge entre la retenue et le niveau aval ;

- S : la section de la vidange (m²) ;
- H : la différence de charge entre la retenue et le niveau aval (m).

4.4.1.3. Ouverture d'un autre organe

Les petits barrages en remblai sont parfois équipés de dispositifs de prise (par exemple : moulin, irrigation, etc.) et de restitution de l'eau (par exemple : soutien d'étiage) distincts du dispositif de vidange. Ces organes peuvent être utilisés en complément pour augmenter la capacité de vidange du barrage ou bien se substituer de l'organe de vidange si l'ouvrage n'est équipé d'aucun dispositif de vidange ou bien son utilisation est impossible ou dangereuse.

On peut retrouver trois types de dispositifs sur les petits barrages en remblai :

- une conduite traversant l'ouvrage en fond de retenue ou à un niveau intermédiaire contrôlée par vanne(s) ;
- un moine : il s'agit d'un dispositif constitué d'une colonne verticale en béton fermée par des planchettes, une vanne glissière ou autre, qui permettent de réguler le niveau de la retenue, et connecté à une conduite ou un conduit qui traverse le remblai en fond de retenue. A noter que la possibilité d'enlever les planchettes peut être rendue difficile lorsque le moine est en fonction ;

- un évacuateur de crues à surface libre : les évacuateurs de crues à surface libre (en béton ou maçonnerie) prolongés par un chenal sont parfois constitués d'un seuil amovible composé de planchettes qui permettent de réguler le niveau de la retenue sous la cote de RN.

4.4.1.4. Siphonage [6]

Si l'ouvrage n'est équipé d'aucun dispositif de vidange (ou d'autres organes hydrauliques) ou bien si son utilisation est impossible ou dangereuse, la retenue peut être vidangée totalement ou partiellement par la technique de siphonage (cf. figure 16).

Cette méthode consiste à faire transvaser l'eau de la retenue vers l'aval par gravité au moyen d'un tuyau souple (par exemple : caoutchouc, plastique) ou rigide (par exemple : métal, PVC) positionné sur le remblai. L'orifice d'entrée du tuyau est positionné dans la retenue et l'orifice de sortie en aval du remblai en-dessous du niveau où l'on prélève l'eau. La différence de cotes entre le point haut du siphon et la cote de la retenue ne peut excéder 6 à 7 mètres sous risque de cavitation (la hauteur d sur la figure 17).

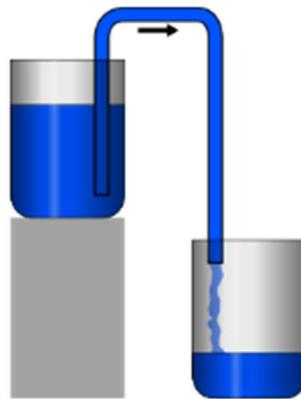


Figure 10 : Principe général de fonctionnement d'un siphon (Source : Wikipedia)

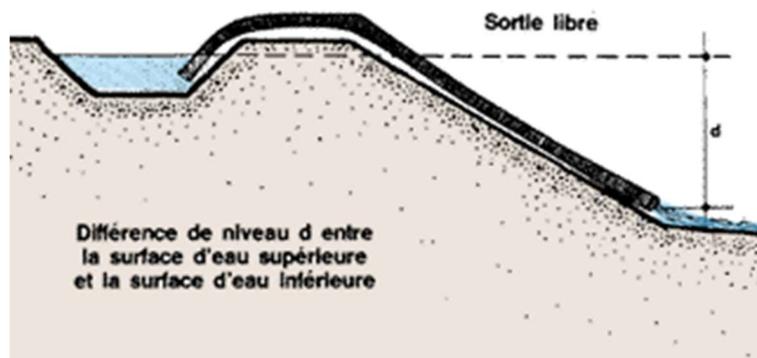


Figure 11 : Schéma de principe d'un siphon dans une retenue (Source : FAO)

Le principe d'amorçage du siphon peut être réalisé par deux techniques :

- par remplissage de l'orifice d'entrée du siphon dans la retenue avant sa mise en place :
 - o étape 1 : positionner l'extrémité de prise du siphon au-dessus de la crête en position verticale ;
 - o étape 2 : remplir d'eau le siphon par l'extrémité de prise et lorsque celui-ci est plein, le boucher ;

- étape 3 : abaisser lentement l'extrémité de prise du siphon dans l'eau de la retenue tout en la maintenant bouchée ;
 - étape 4 : déboucher l'extrémité de sortie du siphon ;
 - étape 5 : déboucher l'extrémité de prise du siphon dans l'eau. L'eau doit ainsi commencer à couler dans le siphon ;
 - étape 6 : pendant que l'eau continue à s'écouler en aval sans interruption et que le niveau baisse, veiller à ce que l'extrémité de prise du siphon plongée dans la retenue reste bien sous l'eau et que l'extrémité de sortie soit maintenue en-dessous du niveau de l'eau de la retenue ;
- par aspiration de l'eau depuis l'orifice de sortie du siphon en aval du barrage, au moyen d'un dispositif de pompage.

Une disposition technique est à prendre en considération pour garantir la sécurité du barrage. Il convient de positionner l'extrémité de sortie du siphon en aval du barrage si possible dans le lit du cours d'eau au pied aval pour éviter tout risque d'affouillement du pied aval.

Le débit (m³/s) d'un dispositif de siphon peut être estimé avec la formule suivante¹⁶ :

$$Q = S \times \sqrt{9,81 \times H}$$

Avec :

- S : la section du tuyau (m²) ;
- H : la différence de charge entre le niveau de la retenue et la sortie aval du tuyau (m).

4.4.1.5. *Pompage*

Si l'ouvrage n'est équipé d'aucun dispositif de vidange (ou d'autres organes hydrauliques) ou bien si son utilisation est impossible ou dangereuse, et si la technique de siphonage ne peut être mise en place ou est insuffisante, la retenue peut être vidangée totalement ou partiellement par la technique de pompage.

Cette méthode consiste à mettre en place une ou plusieurs pompe(s) (par exemple : motopompe, autopompe) en crête du barrage ou bien sur la retenue (pompe flottante) comprenant un tuyau avec un orifice de prise de l'eau de la retenue et un tuyau avec un orifice de sortie positionné en aval du barrage (vers le cours d'eau en aval). Les dispositifs de pompage sont disponibles auprès des acteurs de la Sécurité Civile et de la Protection Civile.

4.4.1.6. *Création d'un déversoir d'urgence*

Si l'ouvrage n'est équipé d'aucun dispositif de vidange (ou d'autres organes hydrauliques) ou bien si son utilisation est impossible ou dangereuse, et si les techniques de siphonage et de pompage ne peuvent être mises en place ou sont insuffisantes, une solution d'ultime recours consiste à créer un déversoir d'urgence.

Cette solution peut s'avérer très risquée dans le sens où elle peut potentiellement engendrer plus de dommages que la rupture d'un ouvrage en remblai de taille modeste, dont la cinétique est plutôt lente. Il est donc important de garder à l'esprit que cette option ne doit être envisagée que lorsqu'aucune autre option n'est possible pour empêcher la surverse et lorsque les conditions de sécurité sont réunies pour la réalisation du déversoir.

Ce déversoir d'urgence est généralement réalisé sur le barrage lui-même, mais il est parfois possible de faire une connexion plus en amont dans la retenue vers le cours d'eau (ou un fossé) qui dévie et longe le plan d'eau. Cette

¹⁶ Notons que cette formule donne une valeur par excès et ne reste valable que pour des vitesses faibles (de l'ordre de quelques mètres par seconde) sans prendre en compte les pertes de charges linéaires et le coefficient de débit.

solution variante diminue souvent le risque d'érosion externe et de non maîtrise de l'ouverture intempestive d'une brèche plus importante que prévue.

L'opération consistant à terrasser une brèche sur le remblai avec une pelle mécanique comprend les phases suivantes :

- vérifier qu'il n'y a pas de réseau (AEP, assainissement, gaz, EDF, téléphone, fibre, etc.) qui passe dans le remblai au droit de l'ouverture prévue ;
- terrasser le chenal d'évacuation sur le parement aval, depuis l'aval vers le seuil de la brèche (en s'assurant de sa résistance au mécanisme d'érosion externe) ;
- terrasser la brèche au niveau où l'on souhaite évacuer la retenue.

Toutefois, il s'agit d'une opération délicate et plusieurs dispositions sont à prendre en considération pour garantir la sécurité du barrage et des personnes présentes sur le barrage ou à proximité :

- dispositions géométriques : les parois latérales de la brèche doivent être talutées en pente douce (a minima un fruit de 2H/1V) ;
- la conception : il est préférable de créer la brèche à une extrémité du remblai ou bien à un point bas de la crête et d'aménager un chenal d'évacuation des eaux vers le lit du cours d'eau en aval ;
- protection contre l'érosion externe : le déversoir d'urgence (comprenant le seuil et le chenal d'évacuation) doit être protégé contre le mécanisme d'érosion externe provoqué par sa mise en charge (par exemple : mise en place d'une géomembrane ou d'un géotextile de protection contre l'érosion, renforcement avec des enrochements, etc.).

4.4.1.7. *Synthèse des actions à mener pour la vidange d'urgence*

Le logigramme présenté ci-dessous (cf. figure 18) synthétise la hiérarchisation des techniques à mettre en œuvre pour la vidange d'urgence (complète ou partielle) de la retenue. Les indications dans les cases blanches sont les conditions de passage à un autre procédé. Par exemple, si l'organe de vidange n'est pas opérationnel ou s'il est absent ou si son utilisation est dangereuse alors un ou plusieurs autres organes hydrauliques sont sollicités.

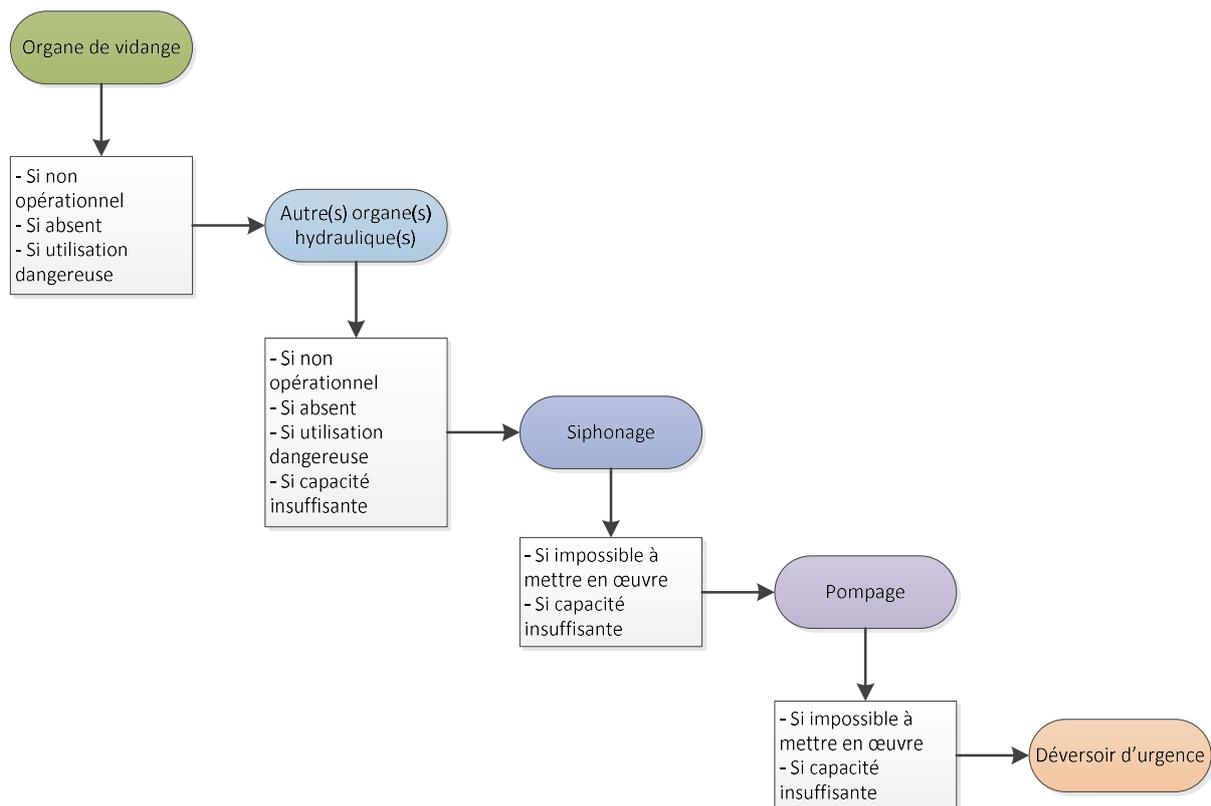


Figure 12 : Hiérarchisation des actions à mettre en œuvre pour la vidange de la retenue

4.4.2. VIDANGE D'URGENCE EN CAS DE SURVERSE

En condition d'exploitation en crue avec surverse ou risque de surverse imminent, des dispositions complémentaires sont à prendre en considération pour la mise en œuvre des actions de vidange présentées dans le paragraphe précédent afin de garantir la sécurité des personnes présentes sur l'ouvrage :

- ouverture de l'organe de vidange : l'utilisation de l'organe de vidange est à proscrire si son accès et son dispositif de manœuvre sont sous l'eau ;
- ouverture d'un autre organe (prise d'eau, restitution, moine, évacuateur de crues) : l'utilisation d'un autre organe est à proscrire si son accès et son dispositif de manœuvre sont sous l'eau ;
- siphon : la mise en place d'un siphon est à proscrire puisque les conditions de sécurité sont trop dangereuses pour les opérateurs et la capacité d'évacuation risque d'être trop faible face à la montée du plan d'eau ;
- pompage : l'utilisation d'un dispositif de pompage est à proscrire puisque les conditions de sécurité sont trop dangereuses pour les opérateurs et la capacité d'évacuation risque d'être trop faible face à la montée du plan d'eau ;
- déversoir d'urgence : la création d'un déversoir d'urgence par le terrassement d'une brèche dans le remblai est généralement impossible puisque les conditions de sécurité sont trop dangereuses pour les opérateurs et la structure du barrage (risque d'accélérer le mécanisme de rupture du barrage par érosion externe).

4.4.3. RECENSEMENT DES ENJEUX EN AVAL [18] [20]

4.4.3.1. Enjeux humains

Les enjeux humains en aval du barrage comprennent les zones d'habitation et d'activités humaines et les infrastructures de transport. Ces enjeux peuvent être recensés par approches sommaires :

- sur la base de la carte au 1/25 000^{ème} et des photos aériennes (par exemple : Géoportail¹⁷), on identifie les enjeux existant dans la vallée en aval. En l'absence d'enjeux impactés en aval jusqu'à une zone de confluence avec un cours d'eau plus important, synonyme d'élargissement de la vallée (ou bien si les enjeux se limitent à quelques constructions isolées), on peut considérer qu'il n'est pas nécessaire d'estimer plus précisément la zone submergée ;
- sur la base d'une enquête de terrain en aval du barrage à proximité du cours d'eau.

4.4.3.2. Installations classées

Les installations classées comprennent toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains. Les installations classées peuvent être recensées par :

- le site Georisques¹⁸ (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire) qui présente une carte interactive sur laquelle sont localisées les installations industrielles ;
- le site de l'Inspection des Installations Classées¹⁹ (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire) qui présente une base de données sur laquelle sont identifiées les installations soumises à autorisation ou à enregistrement (en construction, en fonctionnement ou en cessation d'activité).

4.4.3.3. Ouvrages en cascade

Le risque induit par la rupture d'un barrage est augmenté par la présence d'autres barrages en aval. Aussi, il convient de recenser les autres ouvrages présents sur le lit du cours d'eau en aval :

- par croisement du réseau hydrographique (par exemple : la base de données du réseau hydrographique français Carthage²⁰) avec la position géographique des plans d'eau qui interceptent le réseau (et qui sont probablement des barrages) ;
- sur la base de la carte au 1/25 000^{ème} et des photos aériennes (par exemple : Géoportail), on identifie les plans d'eau bordés sur au moins un côté par une construction linéaire. Si le niveau de gravité le permet, un travail complémentaire de terrain peut être envisagé de façon à effectuer une reconnaissance des ouvrages hydrauliques situés à l'aval afin d'apprécier leur sensibilité vis-à-vis d'une rupture potentielle du barrage amont.

Si d'autres ouvrages sont présents en aval du barrage et pourraient être affectés par la rupture de l'ouvrage, il convient de prendre les mesures nécessaires (ouverture de vannes) avant de procéder à la vidange du barrage en amont.

4.4.4. MISE EN SECURITE DES ENJEUX EN AVAL [1] [16]

Le gestionnaire doit prévenir les autorités locales (mairie, préfecture) pour les informer de l'événement observé sur le terrain, la condition d'exploitation du barrage (normale ou en crue) et les possibles évolutions.

Ces autorités locales dirigent et coordonnent les opérations de mise en sécurité de la population soumise à un risque de rupture de barrage. Si la commune dispose d'un Plan Communal de Sauvegarde (PCS), elle pourra alors s'appuyer sur la mise en place de cet outil.

4.4.5. VIDANGE PARTIELLE

La vidange partielle du barrage peut être réalisée au moyen de l'ensemble des techniques présentées dans le paragraphe 4.4.1 relatif à la vidange d'urgence, à l'exception de la « réalisation d'un déversoir d'urgence par

¹⁷ <https://www.geoportail.gouv.fr>

¹⁸ <http://www.georisques.gouv.fr>

¹⁹ <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr>

²⁰ <http://professionnels.ign.fr/bdcarthage>

création d'une brèche » qui relève de l'ultime urgence et vient déstructurer l'ouvrage. Ce sont pour rappel par ordre hiérarchique :

- ouverture de l'organe de vidange (conduite ou conduit contrôlé par vanne(s)) ;
- ouverture d'un autre organe (prise d'eau, restitution, moine, évacuateur de crues) ;
- siphonage ;
- pompage (autopompe, motopompe).

Les dispositions à prendre en considération pour la mise en œuvre de ces techniques sont les mêmes que celles présentées dans le paragraphe 4.4.1. Concernant l'usage d'un organe vanné, il convient de s'assurer que sa manœuvre est opérationnelle tant pour l'ouverture que pour la fermeture, et ce pour éviter tout risque de vidange complète de la retenue induite par un éventuel blocage d'une vanne lors de la fermeture. C'est pourquoi, avant toute opération de vidange par ouverture d'organe vanné, il est conseillé de réaliser un test de décollement de la vanne (légère ouverture) pour vérifier son bon fonctionnement (même si le risque de non fermeture en situation d'incident apparait comme étant un moindre mal).

4.4.6. SURVEILLANCE RENFORCEE [17]

En période de crise pouvant engendrer une situation d'incident, la surveillance d'un ouvrage est une action capitale qui va permettre d'orienter les choix quant aux interventions à mener afin de sécuriser l'ouvrage et les enjeux à son aval. Ces choix vont directement dépendre des observations visuelles et aux mesures réalisées sur le barrage.

4.4.6.1. Principes généraux de la surveillance

La surveillance d'un barrage a pour but de connaître, et si possible de prévenir, toute dégradation afin de le conserver en bon état de sécurité. C'est-à-dire détecter les anomalies et désordres dues à des mécanismes de vieillissement du barrage ou des phénomènes naturels (crue, séisme), et évaluer leurs éventuelles évolutions.

La surveillance d'un barrage doit être renforcée lorsque des anomalies ou désordres sont constatées ou bien lors de l'occurrence de crues ou de séismes. **Aussi, la périodicité de la surveillance est donnée à titre indicatif et reste à adapter en fonction du niveau de gravité évalué sur le terrain :**

- niveau de gravité 1 (rupture probable à très court terme) : présence quasi-continue sur le site ;
- niveau de gravité 2 (rupture possible à court terme et / ou probable à moyen terme) : fréquence bihebdomadaire à hebdomadaire (pour ce niveau de gravité « intermédiaire » la périodicité peut être très différente selon le cas d'espèce et l'évolution de la situation) ;
- niveau de gravité 3 (rupture possible à moyen terme) : fréquence hebdomadaire à bimensuelle.

La périodicité de la surveillance peut être revue en fonction de l'évolution des symptômes observés :

- plus fréquente, si l'on observe une évolution négative d'un symptôme (par exemple : augmentation d'un débit de fuite, extension d'une déformation, etc.) ;
- moins fréquente, si l'on observe une stagnation dans l'évolution d'un symptôme.

4.4.6.2. Points spécifiques à surveiller en cas de situation d'incident hors crue

Lors d'une situation d'incident hors période de crue, la surveillance visuelle sur les barrages en remblai concerne les points spécifiques suivants :

- 1) la surveillance de l'évolution des symptômes principaux observés en situation d'incident (cf. Tableau 4 au §4.3) :
 - fuite : évolution des débits de fuites, présence de dépôts solides ;
 - zone humide : évolution de la surface de la zone humide, évolution du débit de sortie ;

- fissuration, bourrelet, fontis, glissement : évolution de la zone, extension d'une fissuration ;
- niveau de la retenue : évolution du niveau (montée, descente).

2) la surveillance de l'apparition de symptômes secondaires (cf. Tableau 4 au §4.3).

Dans le cas des situations d'incident « moyennement critique » (classe B) et « faiblement critique » (classe C), il est recommandé de suivre l'évolution des symptômes (primaires et secondaires) avec la mise en place de :

- un piquetage de la zone pour la matérialiser ;
- un suivi photographique régulier ;
- si possible, la mesure des débits de fuites par l'installation d'un système de captage.

4.4.6.3. *Points spécifiques à surveiller en cas de situation d'incident en crue*

En condition d'exploitation en crue, la surveillance du barrage n'est pas toujours possible si la crue survient de nuit et/ou si le barrage surverse. Lorsqu'elle est possible, elle porte sur les points suivants :

- le niveau maximum atteint par la retenue ;
- la durée de la crue ;
- la présence de corps flottants et de vagues ;
- le fonctionnement du déversoir.

Après la survenance d'une crue, il est recommandé de mener une visite de surveillance sur le barrage. Elle porte sur les points suivants :

- les relevés d'indices permettant de connaître le niveau maximum atteint par l'eau (par exemple : dépôts de branchages et brindilles, etc.) ;
- la vérification s'il y a eu surverse (ou non) sur le couronnement du barrage (par exemple : présence de végétation couchée, d'affouillements, de poissons morts, etc.) ;
- l'état du déversoir et de la fosse de dissipation d'énergie (par exemple : érosion régressive, contournement de bajoyers, fondations sous-cavées, mouvements des structures) ;
- l'observation de l'état du parement amont et de sa protection dans la zone de batillage ;
- le creusement de ravines par ruissellement sur les talus (en particulier le talus aval) ;
- l'apparition de nouvelles zones de fuites, augmentation sensible ou extension des fuites préexistantes (en mesurer les débits si possible).

4.4.6.4. *Points spécifiques à surveiller après un séisme*

Après l'occurrence d'un séisme à proximité du barrage, il est recommandé de mener une visite de surveillance sur le barrage, elle porte sur les points suivants :

- surveiller l'apparition de l'un des symptômes présentés dans le Tableau 4 au §4.3 ;
- surveiller l'apparition de fissures sur les organes rigides en béton ou maçonnerie : évacuateur de crues, etc. ;
- vérifier que les organes vannés (vidange, prise d'eau, soutien d'étiage) fonctionnent correctement sur toute leur plage de manœuvre.

4.4.7. DIAGNOSTIC PAR BUREAU D'ETUDES ET TRAVAUX DE CONFORTEMENT [7] [8]

Le diagnostic du barrage doit conclure sur le niveau de sûreté du barrage et sur la nécessité (ou pas) de le conforter, et le cas échéant, décrire le type de confortement envisageable. Le diagnostic est produit par un bureau d'études titulaire d'un agrément, et comporte :

- une visite détaillée du barrage, à l'instar des visites techniques approfondies ;
- un diagnostic de la pathologie et des mécanismes en cours de développement, ainsi qu'une étude des mesures de remédiation à mettre en œuvre (travaux d'urgence, travaux de confortement, surveillance, études complémentaires, etc.) ;
- si nécessaire, des reconnaissances géophysiques, géotechniques et des essais de laboratoire, ainsi que la mise en place ou le renforcement du dispositif d'auscultation ;
- si nécessaire, une étude de vérification de la capacité d'évacuation des organes hydrauliques et de la stabilité du remblai, suivant les recommandations du CFBR [2][3] ;
- si nécessaire, le calcul de l'onde de rupture du barrage.

Ce diagnostic est transmis par le maître d'ouvrage au service de contrôle (DREAL), qui peut demander si besoin une analyse experte auprès du service d'appui scientifique et technique (Irstea, PoNSOH).

4.5. SYNTHESE DE LA DEMARCHE

L'arbre d'aide à la décision présenté ci-dessous (cf. figure 19) affiche une synthèse de la démarche à entreprendre pour l'analyse et la gestion des situations d'incident sur des petits barrages en remblai.

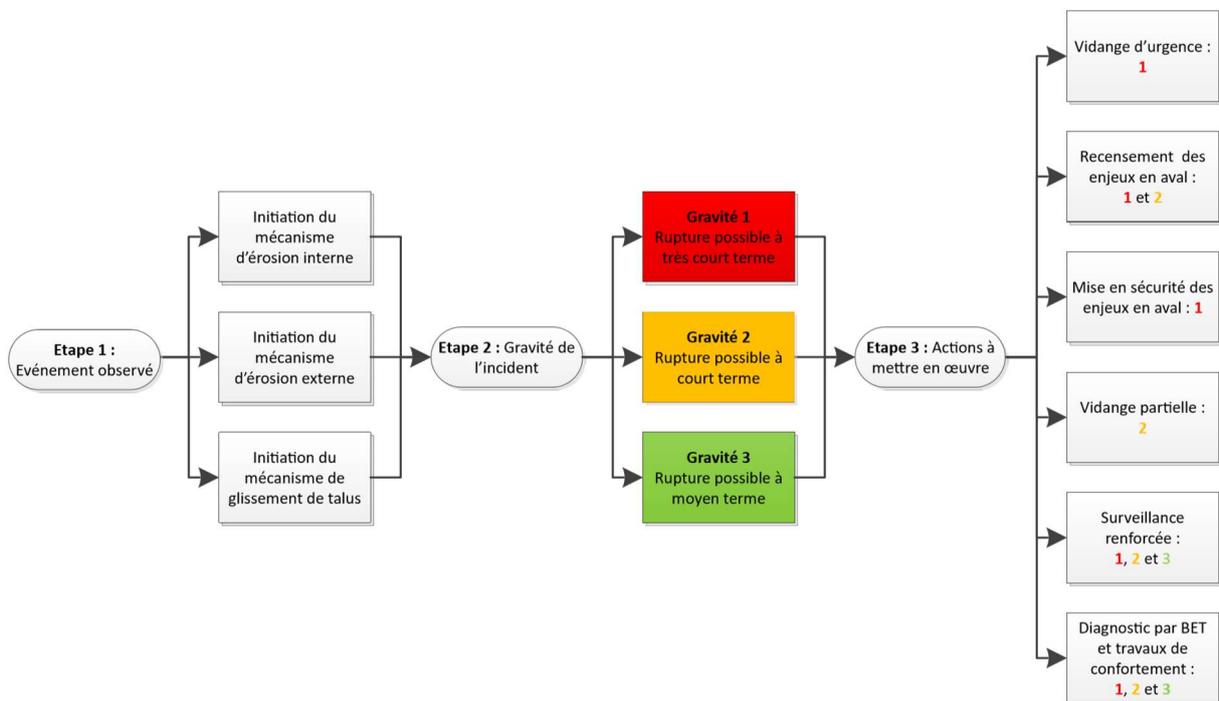


Figure 13 : Arbre d'aide à la décision conceptuel pour l'analyse et la gestion des situations d'incident sur les petits barrages en remblai

Deux fiches opérationnelles sont disponibles en Annexe 5. Ces fiches synthétisent la démarche à suivre en situations d'incident et font référence aux paragraphes spécifiques du présent chapitre, à consulter le cas échéant.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

OUVRAGES

- [1] Carol C. et Lancino G., 2013, Guide ORSEC – Alerte et information des populations – Tome G.4, Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises, 88 p.
- [2] CFBR, Juin 2013, Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages, 325 pages.
- [3] CFBR, Octobre 2015, Recommandations pour le dimensionnement des barrages et des digues en remblai, 260 pages.
- [4] CFBR, 2017, Bulletin n°2 : Les défaillances mécaniques des vannes de barrages, Groupe de travail « Accidentologie et incidentologie des barrages », 10 p.
- [5] Chevalier C. et Bonelli S., 2017, Guide ERINOH : volume 1 – Méthodologie de caractérisation expérimentale, IREX, 234 p.
- [6] Coche A.G et Muir J.F., 1994, Pisciculture continentale : les étangs et leurs ouvrages, ouvrages et agencement des fermes piscicoles, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 214 p.
- [7] Degoutte G., 1992, Guide pour le diagnostic rapide des barrages anciens – Etudes hydraulique agricole n°13, Cemagref, 99 p.
- [8] Degoutte G. et al., Cours conception des barrages, Irstea, 322 p.
- [9] Deroo L. et Fry J.J., 2013, Recommandations ERINOH (volume 3) : maîtrise de l'érosion interne, Colloque « Digue Maritimes et Fluviales de Protection contre les Submersions », Irstea et CFBR, Aix-en-Provence, 10 p.
- [10] Le Coze J.C., Lim S. et Dechy N., 2006, Gestion des presque accidents et accidents majeurs : premier bilan d'une enquête sur des sites SEVESO, INERIS, 9 p.
- [11] Le Delliou P. et al., 2013, Groupe de travail « Gestion de crise » - Proposition pour le rôle et l'organisation des SCSOH, BETCGB (nouvellement PoNSOH), 32 p.
- [12] Legifrance, 2010, Arrêté du 21 mai 2010 définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration
- [13] Legifrance, 2015, Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques
- [14] Legifrance, 2017, Arrêté du 15 novembre 2017 précisant les catégories et les critères des agréments des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que l'organisation administrative de leur délivrance
- [15] MEDDE-DGPR, Octobre 2014, Risque sismiques et sécurité des ouvrages hydrauliques, 316 p.
- [16] Philip E. et Belin P., 2008, Plan Communal de Sauvegarde – S'organiser pour être prêt – La démarche, IRMa et DSC, 39 p.
- [17] Royet P., 2006, La surveillance et l'entretien des petits barrages, Cemagref, 78 p.
- [18] Royet P., Degoutte P. et Mériaux P., 2009, Méthodologie pour le recensement d'un parc de nombreux petits barrages et d'établissement d'un ordre de priorité en vue de leur classement, Cemagref, 19 p.

SITES INTERNET

[19] Site internet de la base ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) :

<http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

[20] Site internet national de l'inspection des installations classées, Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire :

<http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/>

[21] Site internet de la prévention du risque sismique :

<http://www.planseisme.fr/Zonage-sismique-de-la-France.html>

ANNEXES

ANNEXE 1 : LES EVENEMENTS IMPORTANTS POUR LA SECURITE HYDRAULIQUE (EISH)

Les différents événements (incidents ou accidents) qui surviennent sur des ouvrages hydrauliques doivent être consignés auprès des SCSOH sous forme de fiches EISH (Événement Important pour la Sûreté Hydraulique). La déclaration des EISH présente une échelle de gravité à trois niveaux pour caractériser les conséquences de l'événement : accident majeur, incident avec gravité et incident sans gravité. Cette section présente les différentes caractéristiques de chacun des niveaux.

1. ACCIDENT MAJEUR – **EISH DE COULEUR ROUGE**

1.1 Définition [20]

Dans le domaine des barrages, un accident majeur peut se définir comme « un événement résultant d'une rupture partielle ou totale de l'ouvrage, d'un phénomène gravitaire rapide affectant la retenue, d'un dysfonctionnement d'un de ses organes ou d'une manœuvre d'exploitation, entraînant pour la santé humaine et l'environnement, à l'aval ou à l'amont de l'ouvrage, un danger grave, immédiat ou différé ».

1.2 Classification EISH [12]

Ce type d'événement peut être assimilé à un EISH de couleur rouge, défini également comme un « accident ». Il concerne les événements à caractère hydraulique ayant entraîné :

- soit des décès ou des blessures graves aux personnes ;
- soit des dégâts majeurs aux biens ou aux ouvrages hydrauliques.

2. INCIDENT AVEC GRAVITE – **EISH DE COULEUR ORANGE**

2.1 Définition [10]

Un incident peut se définir comme « un événement sans conséquence matérielle grave immédiate mais susceptible d'entraîner de graves conséquences ».

Malgré le contrôle de la sécurité des barrages, des incidents plus ou moins graves sont couramment recensés auprès des SCSOH. L'origine de ces incidents peut avoir des causes multiples :

- erreurs de conception ou de réalisation ;
- vieillissement naturel des ouvrages sous l'effet des contraintes extérieures ;
- maintenance inadéquate ou insuffisante de l'exploitant ;
- utilisation imprévue ;
- occurrence d'événements naturels extrêmes (crue, séisme) ;
- actions humaines inappropriées ou malveillantes.

Certains incidents revêtent une criticité importante, notamment en termes de gravité des conséquences : on peut les qualifier de « presque accidents » ou d'« incidents avec gravité » (nous retiendrons ce dernier terme dans la suite pour être cohérent avec l'échelle des EISH).

La littérature propose diverses définitions pour caractériser cette notion utilisée à l'origine dans le secteur de l'industrie. On peut retenir cette définition : « un presque accident est une séquence accidentelle qui n'a pas

abouti à un accident mais qui aurait pu très bien y aboutir dans d'autres circonstances ». Pour les barrages, il s'agit donc d'une situation où l'ouvrage est proche de la rupture et où la sécurité de la population en aval est mise en danger et donc de risque imminent.

2.2 Classification EISH [12]

Ce type d'événement peut être assimilé à un EISH de couleur orange, défini comme « incident grave ». Il concerne les événements à caractère hydraulique ayant entraîné :

- soit une mise en danger des personnes sans qu'elles aient subi de blessures graves ;
- soit des dégâts importants aux biens ou aux ouvrages hydrauliques.

3. INCIDENT SANS GRAVITE – EISH DE COULEUR JAUNE

3.1 Définition

La définition d'un « incident sans gravité » est la même que celle d'un « incident avec gravité » mais présente un niveau de criticité plus faible.

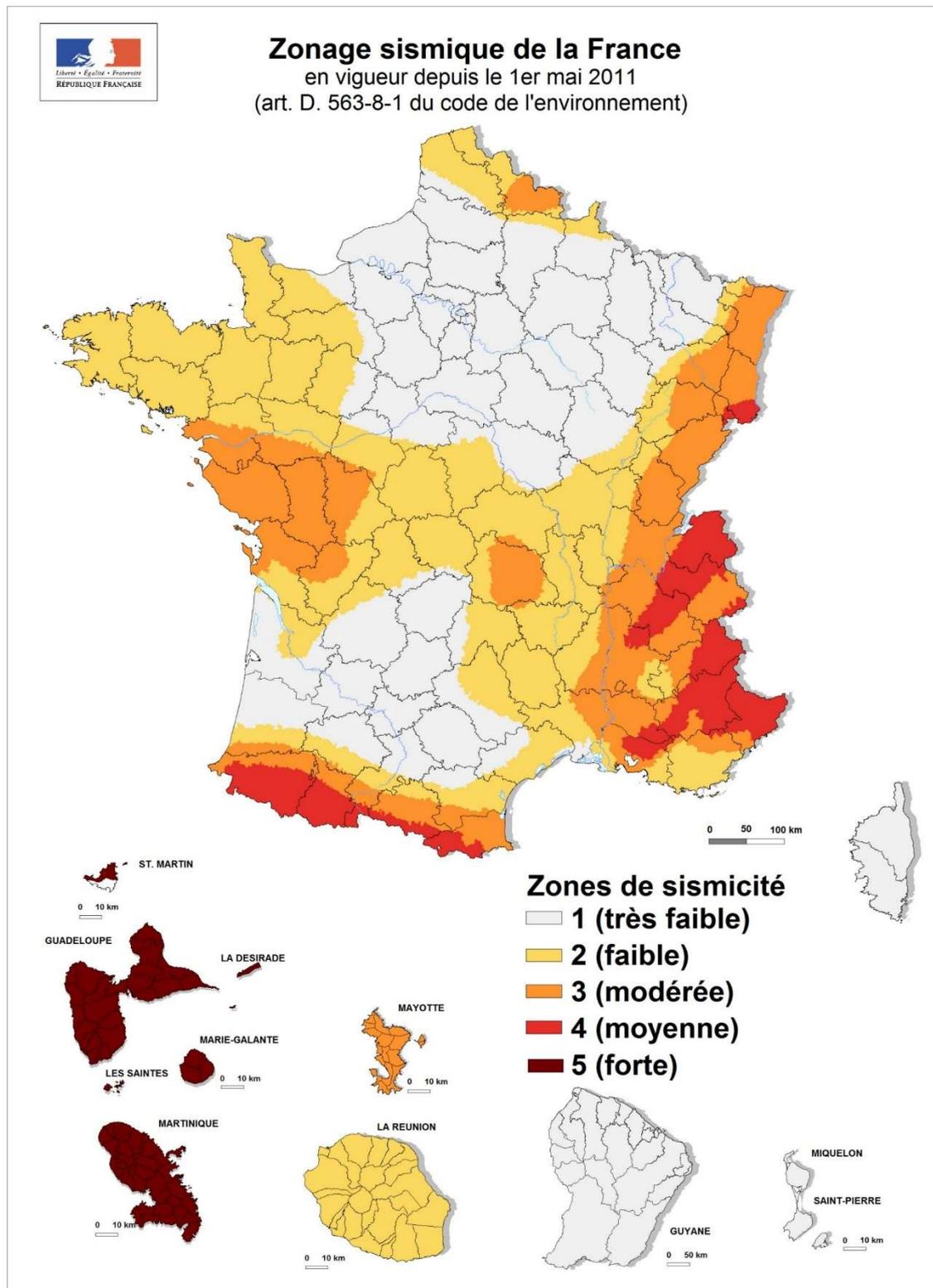
3.2 Classification EISH [12]

Ce type d'événement peut être assimilé à un EISH de couleur jaune, défini comme :

- un événement à caractère hydraulique ayant conduit à une mise en difficulté des personnes ou à des dégâts ;
- un événement traduisant une non-conformité par rapport à un dispositif réglementaire (non-respect de consignes d'exploitation en crues, de débits ou de cotes réglementaires), sans mise en danger des personnes ;
- un défaut de comportement de l'ouvrage ou de ses organes de sûreté imposant une modification de la cote ou des conditions d'exploitation en dehors du référentiel réglementaire d'exploitation de l'ouvrage, sans mise en danger des personnes.

ANNEXE 2 : ZONAGE SISMIQUE DE LA FRANCE (SOURCE : WWW.PLANSEISME.FR)

Le zonage sismique est défini dans le Code de l'Environnement – Articles R.563-1 à R.563-8



ANNEXE 3 : BASE DE DONNEES – LISTE DES BARRAGES CONSIDERES DANS L'ANALYSE

n°	Date	Référence	Type ouvrage	Classe ouvrage	Condition d'exploitation pendant l'événement	Mécanisme de rupture initié	Type d'événement	Symptôme(s) / Précurseur(s) observé(s)	Action(s) mise(s) en œuvre
1	2014	Rapports AT 2015 et 2017	Remblai	B	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
2	2009	Rapport AT 2017	Remblai	B	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
3	2014	Rapport AT 2017	Remblai	C	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange totale (ouverture vanne)
4	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crue	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
5	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crue	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
6	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crue	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
7	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crue	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
8	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crue	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
9	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crue	Erosion interne Erosion externe	Accident majeur	Brèche	Travaux de réparation
10	2016	Rapport AT 2016	Voûte	A	Normale	Rupture vanne	Incident avec gravité	Fissuration	Vidange complète (ouverture vanne)
11	2015	Rapport AT 2016	Remblai	C	Normale	Glissement parement amont	Incident avec gravité	Effondrement	Vidange partielle (pompage) Vidange totale (création brèche)
12	2015	Rapport AT 2015	Remblai	B	Crue	Erosion interne	Accident majeur	Brèche	Chenal dérivation retenue
13	2012	Rapport AT 2012	Remblai	Non classé	Normale	Glissement parement aval	Incident avec gravité	Effondrement	Vidange partielle (création) Vidange totale
14	2006 et 2011	Rapport AT 2012	Remblai	B	Crue	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange totale (ouverture vanne)
15	2011	Rapport AT 2011	Remblai	C	Normale	Glissement	Incident avec gravité	Effondrement	Vidange partielle (ouverture vanne)
16	2011	Rapport AT 2011	Remblai	Non classé	Crue	Erosion externe	Incident sans gravité	Surverse (sans dégradation majeure)	Vidange totale (ouverture vanne)
17	2016	ARIA (49061)	Remblai	C	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
18	2016	ARIA (48440)	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident avec gravité	Brèche	Vidange partielle
19	2016	ARIA (49060)	Remblai	Non classé	Crue	Erosion externe	Incident sans gravité	Surverse (sans dégradation majeure)	Vidange partielle (pompage)
20	2016	ARIA (49048)	Remblai	Non classé	Crue	Glissement	Incident avec gravité	Effondrement	Tentative de vidange (vanne non fonctionnelle)
21	2016	ARIA (49008)	Remblai	Non classé	Crue	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
22	2014	ARIA (46368)	Remblai	B	Normale	Glissement parement aval	Incident avec gravité	Effondrement	Vidange partielle (ouverture vanne)
23	2014	ARIA (46368)	Remblai	B ?		Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
24	2014	ARIA (44877)	Remblai	Non classé	Crue	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange totale (pompage)
25	2014	ARIA (46128)	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites chargées	Vidange partielle (ouverture vanne)
26	2016	Serveur Irstea	Remblai	Non classé	Crue	Erosion externe	Incident sans gravité	Surverse (avec dégradation majeure)	Vidange partielle (ouverture vanne)
27	2017	Serveur Irstea	Remblai	Non classé	Normale	Glissement parement aval	Incident sans gravité	Fissuration (en crête)	Vidange totale (ouverture vanne)
28	2005	Rapport AT 2006	Remblai	Non classé	Crue	Erosion interne Erosion externe	Incident avec gravité	Fuites Surverse (avec brèche)	Vidange totale (création brèche)
29	2007	Rapport AT 2007	Remblai	Non classé	Normale	Glissement	Incident sans gravité	Fuites Piézométrie élevée	Vidange partielle (ouverture vanne)

n°	Date	Référence	Type ouvrage	Classe ouvrage	Condition d'exploitation pendant l'événement	Mécanisme de rupture initié	Type d'événement	Symptôme(s) / Précurseur(s) observé(s)	Action(s) mise(s) en œuvre
30	2007	Rapport AT 2007	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange totale (ouverture vanne)
31	2007	Rapport AT 2007	Remblai	C	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
32	2008	Rapport AT 2008	Remblai	Non classé	Crue	Erosion interne	Incident avec gravité	Brèche	Vidange totale (création brèche)
33	2008	Rapport AT 2008	Remblai	C	Normale	Rupture conduite	Incident avec gravité	Fuites	Vidange totale (ouverture vanne)
34	2003		Remblai	Non classé	Crue	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (installation passage busé à l'abri d'un batardeau)
35	1999	Rapport AT suite à événement des 12/13/11/99	Remblai	C	Crue	Erosion externe	Incident avec gravité	Surverse (avec dégradation majeure)	Vidange totale (ouverture vanne)
36	2003	Serveur Irstea	Poids maçonnerie	Ancien C	Crue	Erosion externe	Accident majeur	Surverse (évacuateur sous-dimensionné) voir si dégâts pied aval	Vidange totale (ouverture vanne) Déconstruction
37	1999	Serveur Irstea	Remblai	Ancien D	Normale	Erosion externe Erosion interne	Accident majeur	Surverse (voir si dégâts ?), évacuateur sous-dimensionné Barrage non entretenu	Vidange totale (ouverture vanne) Déconstruction
38	2009	Serveur Irstea	Remblai	C	Normale	Erosion interne Erosion externe	Incident sans gravité	Fuites Fontis	Abaissement du plan d'eau
39	2008	PV visite 10/2008	Remblai	B	Normale	Erosion externe	Incident sans gravité	Evacuateur obturé (présence grille et stockage embarcation à l'amont)	Retrait des grilles et dégagement des embarcations
40	2014	Rapport AT 2015	Remblai	Non classé	Crue	Erosion interne	Incident sans gravité	Fissuration carapace	Injection des fissures par coulis de ciment
41	2017	Serveur Irstea	Poids béton	C		Erosion externe	Incident sans gravité	Terrassement inopportun dans appui rive gauche	Plan d'alerte
42	2014	Rapport AT 2014	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Parement aval boisé	Débroussaillage et diagnostic
43	2001	Serveur Irstea	Remblai	B et C	Crue	Erosion externe Erosion interne Glissement	Incident sans gravité		Condamnation prise d'eau pour neutraliser bassins
44	2005	Serveur Irstea	Poids maçonnerie	C	Normale	Vidange accidentelle	Incident avec gravité	Impossibilité de refermer vanne	Organisation visite inspection décennale
45	2013	Serveur Irstea	Remblai	C	Crue	Erosion interne	Incident avec gravité	Erosion parement aval	Plan d'alerte
46	2004 et 2005	Serveur Irstea	Remblai	Non classé	Normale	Glissement Rupture vidange	Incident sans gravité	Effondrement Rupture conduite	Non autorisation à remplir
47	1999		Remblai	Non classé		Glissement Erosion externe		Effondrement Risque de surverse	Retrait en urgence d'une conduite et d'un remblai obstruant l'évacuateur
48	2018	Rapport AT 2018	Remblai	B	Crue	Erosion externe	Incident avec gravité	Débordement de l'évacuateur de crues, érosion régressive le long du bajoyer RG	Vidange partielle (?); travaux de confortement (?)
49	2018	Rapport AT 2018	Remblai	Non classé	Crue	Erosion externe	Incident avec gravité	Surverse, zones érodées sur le parement aval, parement aval érodé jusqu'à la fondation rocheuse	Dégagement des embâcles et de la passerelle dans l'EVC; diagnostic demandé pour mise en transparence ou confortement

n°	Date	Référence	Type ouvrage	Classe ouvrage	Condition d'exploitation pendant l'événement	Mécanisme de rupture initié	Type d'événement	Symptôme(s) / Précurseur(s) observé(s)	Action(s) mise(s) en œuvre
50	2018	Rapport AT 2018	Remblai	Non classé	Crue	Erosion externe	Incident avec gravité	Surverse, zone d'érosion sur le parement aval	Ouverture d'une brèche pour mise en transparence; expertise demandée par courrier
51	2018	Rapport AT 2018	Remblai	Non classé	Crue	Erosion externe	Incident avec gravité	Surverse, zone d'érosion sur le parement aval	Débroussaillage; abaissement de la retenue; contact BE pour diagnostic de confortement
52	2018	Rapport AT 2018	Poids maçonnerie	Non classé	Crue	Erosion externe	Incident sans gravité	Surverse (sans dégâts)	Aucune
53	2018	EISH	Remblai	C	Crue	Erosion externe	Incident avec gravité	Dégradation du bassin de dissipation; obturation de la crépine; dégradation du remblai	
54	2005	Rapport AT	maçonnerie	C	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Conduit traversant	Vidange
55	2012	Rapport AT	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident avec gravité	Fontis - Fuites	Vidange partielle
56	2014	Rapport AT	Remblai	B	Crue	Glissement profond parement aval	Incident sans gravité	Affaissement	Vidange partielle
57	1998 à 2016	Rapport AT	Remblai	C	Normale	6 ou 7 glissements superficiels	Incident sans gravité	Décrochement	Vidange partielle
58	2007	Rapport AT	Remblai	C (classé A)	Crue	Erosion externe	Incident avec gravité	insuffisance EVC	Réparation dégâts à l'aval
59	2017	Rapport AT	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites sous radier	Vidange partielle

ANNEXE 4 : RETOUR D'EXPERIENCE : ANALYSE DE LA BASE DE DONNEES

1.1. ECHANTILLON DE BARRAGES

Cette analyse se base sur un échantillon de 59 barrages. Il s'agit principalement de petits barrages en remblai, en classe C ou non classés. La liste descriptive des barrages a été présentée dans l'Annexe 3.

Les graphiques ci-dessous (cf. Figures 1 et 2) présentent la répartition des ouvrages analysés en fonction de leur typologie et de leur classe administrative (telle que définie dans le décret n° 2015-526).

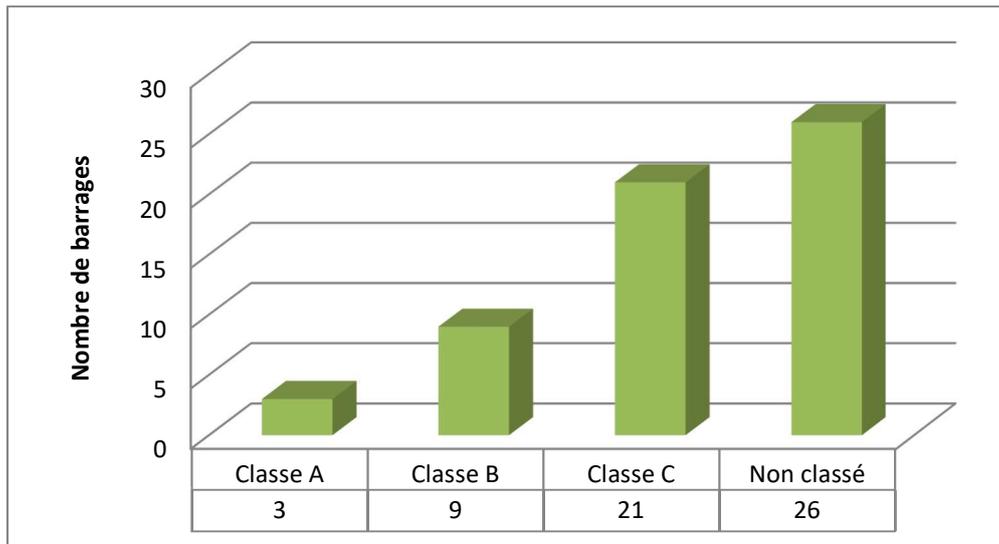


Figure 1 : Répartition des barrages par classe administrative

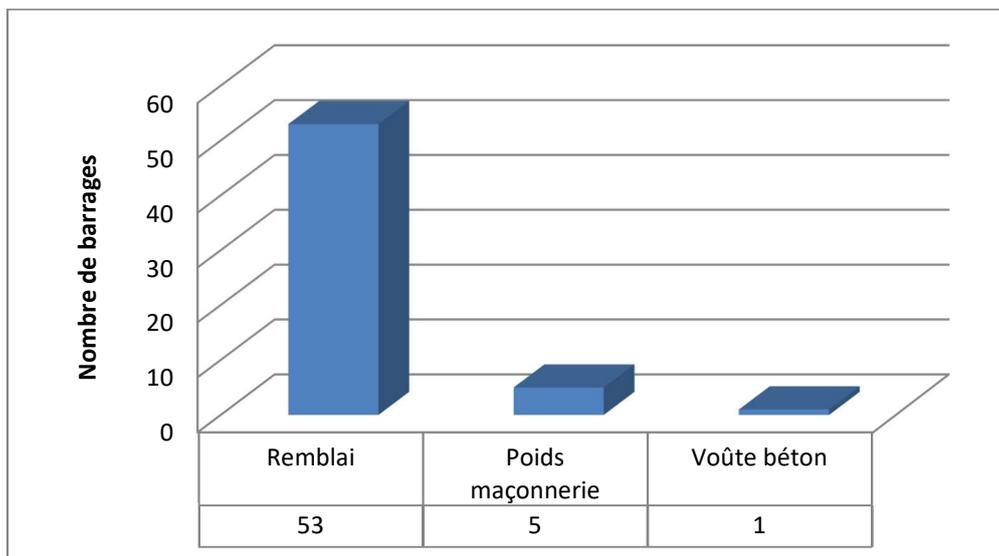


Figure 2 : Répartition des barrages par type d'ouvrage

1.2. LES EVENEMENTS ANALYSES

Les événements survenus sont : des incidents sans gravité (dégradation de l'ouvrage, anomalie du comportement, etc.), des incidents avec gravité (rupture imminente de l'ouvrage), des accidents majeurs (rupture de l'ouvrage). Les mécanismes de rupture identifiés concernent : l'érosion interne (21 cas), l'érosion externe induite par une surverse (24 cas), le glissement de talus (11 cas) et la dégradation de la vantellerie (3 cas).

Les graphiques ci-dessous (cf. Figures 3 et 4) présentent la répartition des événements survenus en fonction de leur niveau de gravité et du mécanisme de rupture identifié.

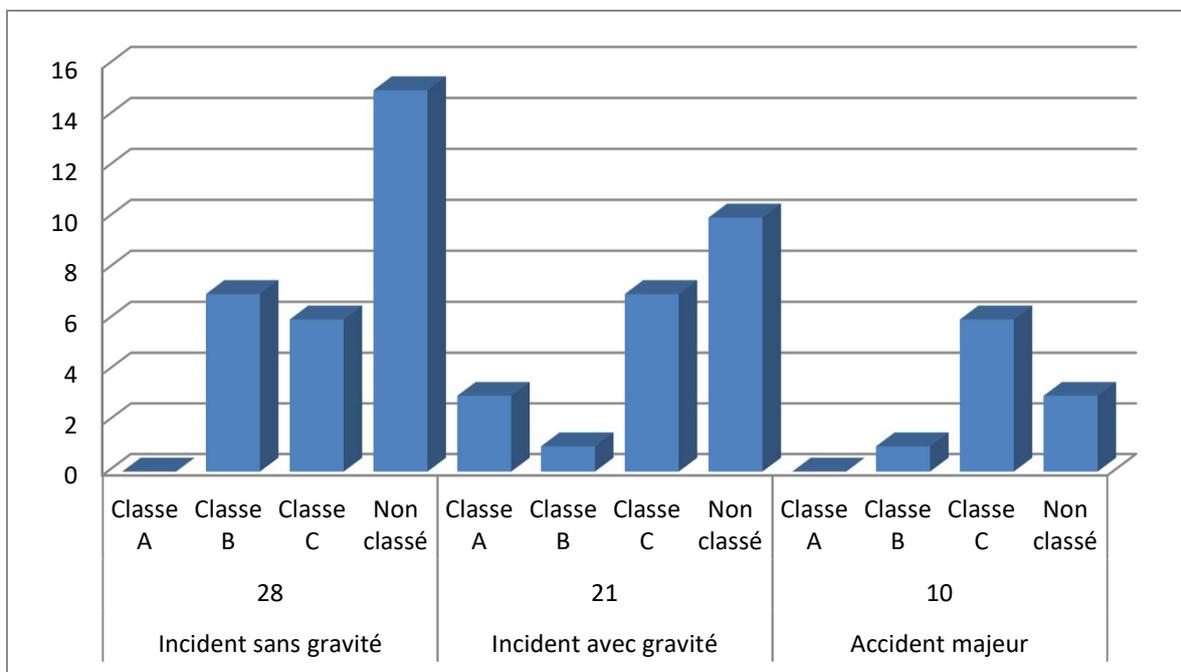


Figure 3 : Répartition des types d'événements survenus en fonction des classes administratives

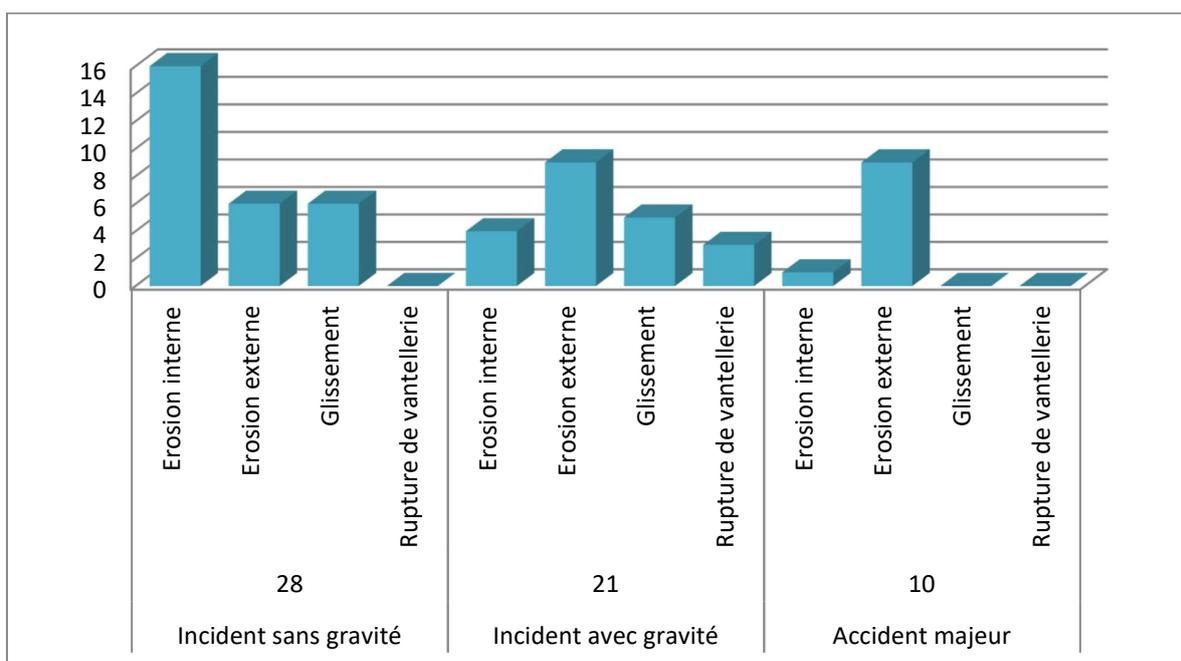


Figure 4 : Répartition des types d'événements survenus en fonction des mécanismes de rupture

Les graphiques des Figures 5 et 6 suivants présentent la répartition des différents modes de rupture en fonction de la classe des barrages et de la gravité des événements.

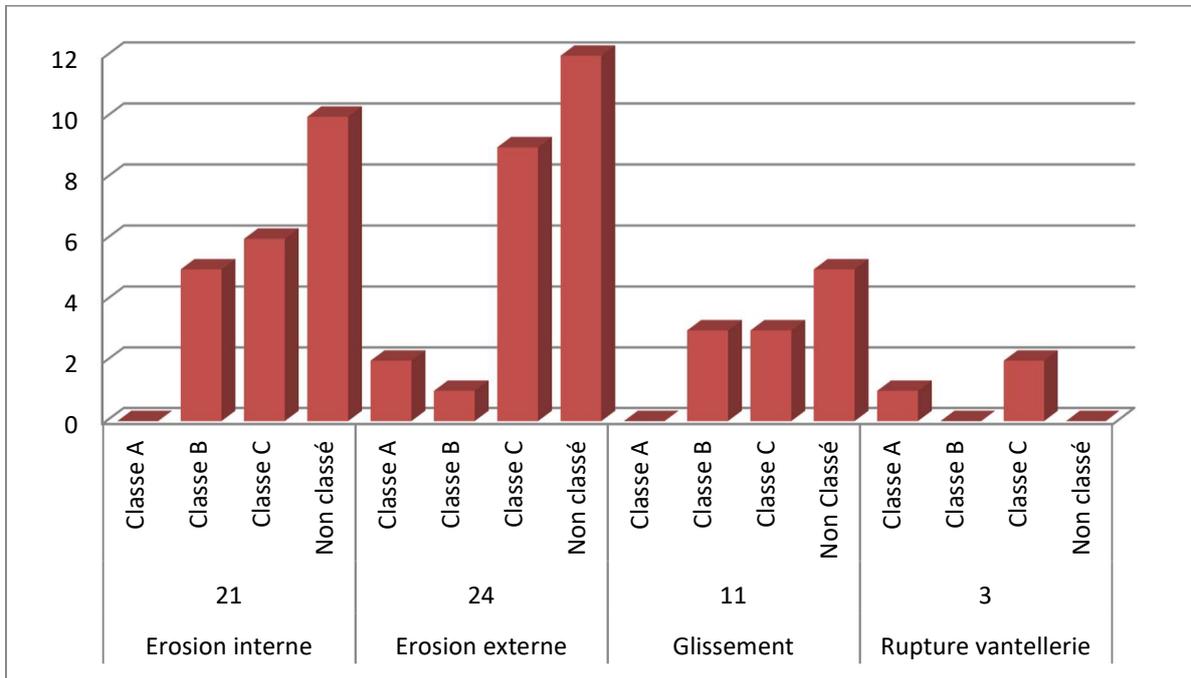


Figure 5 : Répartition des mécanismes de rupture initiés en fonction des classes administratives

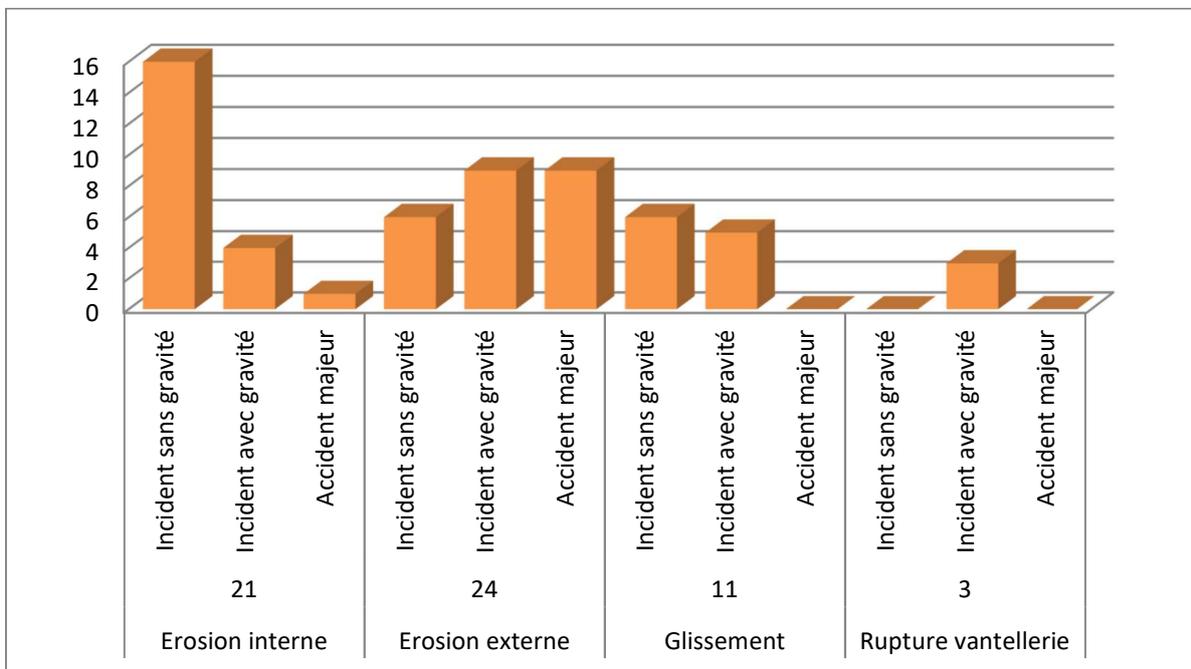


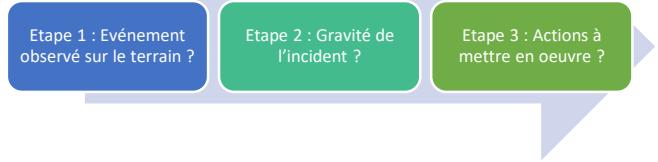
Figure 6 : Répartition des mécanismes de rupture initiés en fonction des types d'événement

**ANNEXE 5 : FICHE D'OBSERVATIONS ET FICHE RECAPITULATIVE DE LA DEMARCHE A APPLIQUER
EN SITUATION D'INCIDENT**

FICHE N°1 : FICHE D'OBSERVATIONS DE TERRAIN

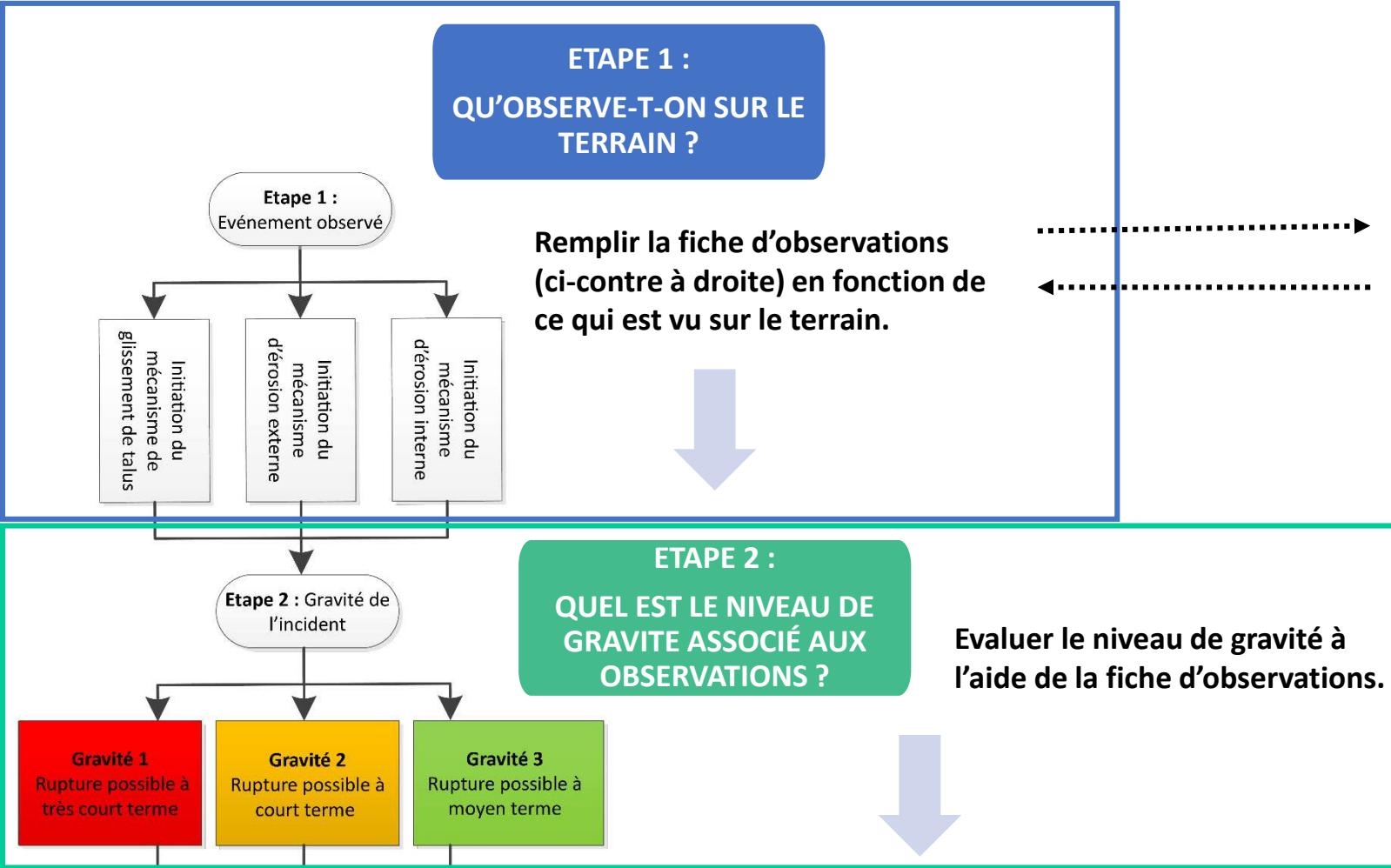
Mécanisme de rupture	OBSERVATIONS DE TERRAIN				GRAVITE DE L'INCIDENT		
	Symptôme principal	O/N	Symptôme secondaire	O/N	1	2	3
Erosion interne	Vortex à l'amont						
	Fontis		Fontis + Fuite chargée				
			Fontis seul				
	Fuite chargée		Fuite chargée + Fontis				
			Fuite chargée seule*				
	Fuite claire						
	Déformation en crête						
	Zone humide/mouillère		Zone humide avec autre symptôme				
Zone humide seule							
Erosion externe	Surverse		Totale				
			Localisée				
	Retenue à plein bord		Pendant la crue				
			Après la crue				
	Évacuateur de crues absent ou indisponible		Pendant la crue				
			Prévision de crue				
Glissement de talus	Bourrelet au pied aval		Bourrelet seul				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
	Ondulation de peau sur le parement		Ondulation seule				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
	Glissement de peau sur le parement		Glissement seul				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
	Fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement)		Fissuration seule				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				

GUIDE

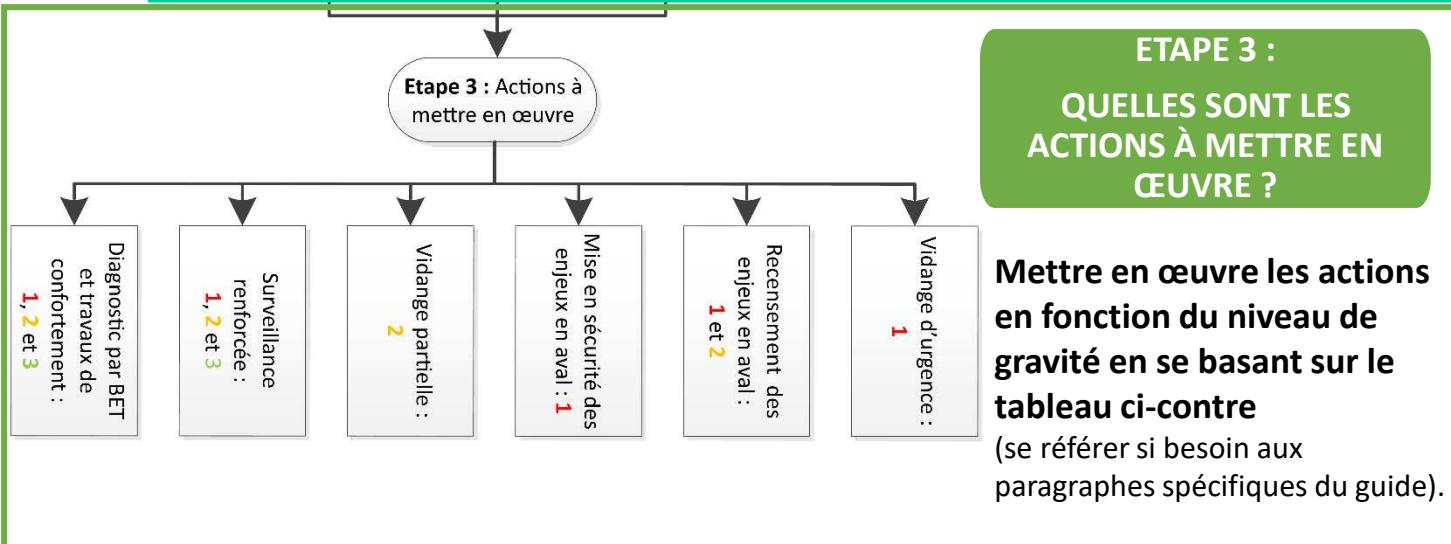


« PETITS BARRAGES EN REMBLAI ET SITUATIONS D'INCIDENT »

FICHE D'OBSERVATIONS



Mécanisme de rupture	OBSERVATIONS DE TERRAIN				GRAVITE DE L'INCIDENT		
	Symptôme principal	O/N	Symptôme secondaire	O/N	1	2	3
Erosion interne	Vortex à l'amont						
	Fontis		Fontis + Fuite chargée				
			Fontis seul				
	Fuite chargée		Fuite chargée + Fontis				
			Fuite chargée seule*				
	Fuite claire						
Déformation en crête							
Zone humide/mouillère		Zone humide avec autre symptôme					
		Zone humide seule					
Erosion externe	Surverse		Totale				
			Localisée				
	Retenue à plein bord		Pendant la crue				
			Après la crue				
Évacuateur de crues absent ou indisponible		Pendant la crue					
		Prévision de crue					
Glissement de talus	Bourrelet au pied aval		Bourrelet seul				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
	Ondulation de peau sur le parement		Ondulation seule				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
	Glissement de peau sur le parement		Glissement seul				
		Saturation / fuite / venue d'eau visible					
Fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement)			Fissuration seule				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				



ACTIONS A MENER

Gravité de l'incident	PHASE 1 : ACTIONS A METTRE EN ŒUVRE IMMEDIATEMENT				PHASE 2 : ACTIONS A METTRE EN ŒUVRE DES QUE POSSIBLE	
	Vidange d'urgence		Actions à proposer aux autorités		Vidange partielle (cf. §4.4.5)	Diagnostic par bureau d'études et travaux de confortement (cf. §4.4.7)
	Hors cas de surverse (cf. §4.4.1)	En cas de surverse (cf. §4.4.2)	Recensement des enjeux en aval (cf. §4.4.3)	Mise en sécurité des enjeux en aval (cf. §4.4.4)	Surveillance renforcée (cf. §4.4.6)	
1						
2						
3						



Iristea – Centre d'Aix-en-Provence
3275, Route de Cézanne - CS 40061
13182 Aix-en-Provence Cedex 5
tél. +33 (0)4 42 66 99 10
www.irstea.fr



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE