

# Sûreté des évacuateurs de crues de barrages :

*Enquête sur les projets d'évacuateurs de crues postérieurs à la publication des recommandations CFBR 2013 et enseignements – Comparaison aux pratiques internationales – Accidentologie récente des évacuateurs de crues*



mai 2021

Edition CFBR – 2021  
www.barrages-cfbr.eu

*Sûreté des évacuateurs de crues de barrages : Enquête sur les projets d'évacuateurs de crues postérieurs à la publication des recommandations CFBR 2013 et enseignements – Comparaison aux pratiques internationales – Accidentologie récente des évacuateurs de crues*

ISBN : 979-10-96371-19-8 – dépôt légal 3<sup>ème</sup> trimestre 2021



Ce document est mis à disposition selon les termes de la licence [Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 France](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr). Pour accéder à une copie de cette licence, merci de vous rendre à l'adresse suivante <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr>.

Crédit photos page de couverture : @INRAE : barrage de la Rouvière ©EDF : barrage de Charmines ©ISL : Barrage de Pont et Massène

## **Sûreté des évacuateurs de crues de barrages :**

**Enquête sur les projets d'évacuateurs de crues postérieurs à la publication des recommandations CFBR 2013 et enseignements – Comparaison aux pratiques internationales – Accidentologie récente des évacuateurs de crues**

***Rapport d'étape du groupe de travail CFBR  
« Sécurité des évacuateurs de crues de barrages »***

***Version Révisée –11/05/2021***

***Après l'examen de la Commission Exécutive du CFBR du 20 avril 2021***

# SOMMAIRE

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Synthèse.....</b>                                                                    | <b>5</b>  |
| 1. Contexte des recommandations de 2013 .....                                           | 5         |
| 2. Mandat (tel qu'approuvé lors de la CE d'octobre 2017).....                           | 5         |
| 3. Synthèse.....                                                                        | 6         |
| <b>Partie 1 - Analyse du REX en France .....</b>                                        | <b>8</b>  |
| 1. Introduction.....                                                                    | 8         |
| 2. Caractéristiques générales des ouvrages enquêtés .....                               | 9         |
| 2.1. Classe et typologie des ouvrages .....                                             | 9         |
| 2.2. Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre .....                                       | 10        |
| 3. Analyse des études hydrologiques .....                                               | 12        |
| 3.1. Méthode hydrologique .....                                                         | 12        |
| 3.2. Analyse de la crue exceptionnelle .....                                            | 12        |
| 3.3. Analyse de la période de retour de la crue exceptionnelle .....                    | 13        |
| 3.4. Analyse de l'évolution du débit de la crue exceptionnelle à T constant .....       | 13        |
| 3.5. Analyse de l'évolution du débit de la crue exceptionnelle en valeur absolue.....   | 14        |
| 3.6. Analyse de l'évolution du volume de la crue exceptionnelle en valeur absolue ..... | 14        |
| 3.7. Analyse de la crue extrême .....                                                   | 14        |
| 4. Analyse des projets de révision des EVC .....                                        | 15        |
| 4.1. Référentiels techniques mis en œuvre dans les projets de révision des EVC .....    | 15        |
| 4.2. Nature des projets de révision des EVC .....                                       | 15        |
| 4.3. Périodes de retour de l'atteinte de la cote des PHE .....                          | 16        |
| 4.4. Etude de la cote de danger dans les projets de révision des EVC .....              | 17        |
| 4.5. Périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger .....                        | 18        |
| 4.6. Synthèse technique .....                                                           | 19        |
| 5. Analyse économique et sociétale.....                                                 | 20        |
| 5.1. Population à risque .....                                                          | 20        |
| 5.2. Coût des travaux.....                                                              | 20        |
| Synthèse.....                                                                           | 23        |
| <b>Partie 2 : Comparaison internationale .....</b>                                      | <b>26</b> |
| 1. Réglementations ou recommandations ?.....                                            | 26        |
| 2. Considérations sur le classement des barrages .....                                  | 28        |

|      |                                                                                                       |           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.   | Critères pour la crue exceptionnelle.....                                                             | 29        |
| 4.   | Comparaison des pratiques pour la crue exceptionnelle .....                                           | 31        |
| 4.1. | L'exercice d'inter-comparaison mené dans le Bulletin 170 .....                                        | 31        |
| 4.2. | Les bases de l'exercice d'inter-comparaison mené par le GT du CFBR.....                               | 31        |
| 4.3. | Hypothèses complémentaires adoptées.....                                                              | 31        |
| 4.4. | Barrage de 50 m de hauteur et 260 hm3 de capacité.....                                                | 32        |
| 4.5. | Comparaison des barrages de classes A et B, selon la classification française .....                   | 33        |
| 4.6. | Barrage en remblai de taille moyenne .....                                                            | 35        |
| 4.7. | Barrage en remblai de petite taille .....                                                             | 35        |
| 5.   | Comparaison des pratiques en considérant simultanément la crue exceptionnelle et la crue extrême..... | 37        |
| 5.1. | Pour les grands barrages .....                                                                        | 39        |
| 5.2. | Pour les moyens et petits barrages .....                                                              | 40        |
| 6.   | Synthèse.....                                                                                         | 42        |
|      | <b>Partie 3 - Accidentologie.....</b>                                                                 | <b>43</b> |
| 1.   | Introduction.....                                                                                     | 43        |
| 2.   | Résultats de la collecte de cas.....                                                                  | 43        |
| 3.   | REX international : Ruptures et accidents significatifs.....                                          | 49        |
| 4.   | REX français : quelques incidents significatifs.....                                                  | 68        |
| 5.   | Quelques nouveaux documents (non exhaustif).....                                                      | 74        |
| 5.1. | Incidentologie en France .....                                                                        | 74        |
| 5.2. | REX international.....                                                                                | 74        |
| 5.3. | Publication diverses.....                                                                             | 74        |
| 5.4. | Règlementation.....                                                                                   | 74        |

## Liste des Figures

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1</b> – Répartition des barrages enquêtés dans les classes A, B et C .....                                                      | 9  |
| <b>Figure 2</b> – Répartition des barrages enquêtés entre catégories « rigide » et « remblai » .....                                      | 10 |
| <b>Figure 3</b> – Répartition des barrages enquêtés selon les maîtres d'ouvrages .....                                                    | 10 |
| <b>Figure 4</b> – Répartition des barrages enquêtés selon les maîtrises d'œuvre .....                                                     | 11 |
| <b>Figure 5</b> – Niveau d'étude et travaux des barrages enquêtés.....                                                                    | 11 |
| <b>Figure 6</b> – Méthodes hydrologiques utilisées dans les projets de révision d'EVC .....                                               | 12 |
| <b>Figure 7</b> – Evolution de la période de retour de la crue exceptionnelle. Population renseignée : 19 projets .....                   | 13 |
| <b>Figure 8</b> – Evolution des débits de la crue exceptionnelle à période de retour constante (16 projets) 13                            |    |
| <b>Figure 9</b> – Evolution en valeur absolue des débits de la crue exceptionnelle. Population renseignée : 26 projets .....              | 14 |
| <b>Figure 10</b> – Distribution des périodes de retour associées à la crue extrême .....                                                  | 15 |
| <b>Figure 11</b> – Référentiels techniques utilisés pour les projets .....                                                                | 15 |
| <b>Figure 12</b> – Nature des projets de révision des EVC .....                                                                           | 16 |
| <b>Figure 13</b> – Périodes de retour de l'atteinte des PHE des barrages de classe A .....                                                | 16 |
| <b>Figure 14</b> – Périodes de retour de l'atteinte des PHE des barrages de classe B .....                                                | 17 |
| <b>Figure 15</b> – Périodes de retour de l'atteinte des PHE des barrages de classe C .....                                                | 17 |
| <b>Figure 16</b> – Prise en compte de la cote de danger dans les projets de révision des EVC .....                                        | 17 |
| <b>Figure 17</b> – Périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger des barrages de classe A .....                                   | 18 |
| <b>Figure 18</b> – Périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger des barrages de classe B .....                                   | 19 |
| <b>Figure 19</b> – Périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger des barrages de classe C .....                                   | 19 |
| <b>Figure 20</b> – Distribution de la population soumise au risque de rupture (2 échelles d'affichage) .....                              | 20 |
| <b>Figure 21</b> – Distribution du coût des travaux de révision des EVC .....                                                             | 21 |
| <b>Figure 22</b> – Corrélation coût et population à risque (abscisse : population à risque [homme] ; ordonnée : coût du projet [M€])..... | 21 |
| <b>Figure 23</b> – Période de retour de la crue exceptionnelle – H=50 m, V=260 hm <sup>3</sup> .....                                      | 32 |
| <b>Figure 24</b> – Période de retour de la crue exceptionnelle – H=50 m, V=260 hm <sup>3</sup> , PAR=50.....                              | 32 |
| <b>Figure 25</b> – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage rigide, PAR=50 .....                                             | 34 |
| <b>Figure 26</b> – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage remblai, PAR=50 .....                                            | 34 |
| <b>Figure 27</b> – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage remblai, H=20 m, V=5 hm <sup>3</sup> .....                       | 35 |
| <b>Figure 28</b> – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage remblai, H=10 m, V=0,95 hm <sup>3</sup> ..                       | 36 |
| <b>Figure 29</b> – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage H=10 m, V=0,9 hm <sup>3</sup> , PAR=50...                        | 36 |
| <b>Figure 30</b> – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage rigide H=50 m, V=260 hm <sup>3</sup> , PAR=50 .....       | 39 |
| <b>Figure 31</b> – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage remblai H=50 m, V=260 hm <sup>3</sup> , PAR=50 .....      | 39 |
| <b>Figure 32</b> – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage rigide H=50 m, V=260 hm <sup>3</sup> , PAR=1000 .....     | 40 |
| <b>Figure 33</b> – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage remblai H=20 m, V=5 hm <sup>3</sup> , PAR=5 .....         | 40 |
| <b>Figure 34</b> – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage remblai H=10 m, V=0,95 hm <sup>3</sup> , PAR=5 .....      | 41 |

# Synthèse

## 1. Contexte des recommandations de 2013

---

Sur la base d'un mandat ayant fait l'objet d'une lettre de mission du CFBR du 9 juillet 2009, un groupe de travail a mené cette tâche sur la période de septembre 2009 à juin 2012 et a produit un document technique intitulé « **Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages** ». Ce document a été approuvé par la Commission exécutive du CFBR en juin 2013.

Depuis leur publication, ces recommandations ont été utilisées dans le cadre de l'évaluation de la sécurité de barrages relevant de différents Maîtres d'Ouvrages. Elles ont également été utilisées dans la rédaction d'Etudes De Dangers et ont contribué à plusieurs projets d'amélioration de la sûreté vis-à-vis des crues, sans pour autant que leur utilisation soit systématique.

Parallèlement, la DGPR a produit l'arrêté ministériel daté du 6 août 2018 (appelé dans la suite du rapport « ATB » comme « arrêté technique barrage ») qui fixe certaines prescriptions techniques pour le dimensionnement et la sûreté des évacuateurs lors des crues. Ces prescriptions constituent les exigences essentielles de sécurité et sont, sur certains points, différentes de celles figurant dans les recommandations produites par le CFBR.

Ce contexte particulier a conduit le CFBR à établir, dès fin 2017, un nouveau groupe de travail pour analyser plus finement l'impact des recommandations produites en 2013.

## 2. Mandat (tel qu'approuvé lors de la CE d'octobre 2017)

---

« Le groupe de travail aura pour objectifs :

- *D'affiner le cadre général dans lequel doivent s'apprécier les Recommandations du CFBR :*
  - *Analyser le contexte international et ses récentes évolutions, tant au travers des publications de la CIGB que des réglementations ou recommandations nationales<sup>1</sup> ;*
  - *Analyser le retour d'expérience international des ruptures de barrages en crues et des leçons à en tirer dans le contexte français ;*
- *De recueillir les suggestions, avis et retours d'expérience :*
  - *Analyser l'impact des recommandations de 2013, de collecter et analyser les retours d'expérience coût/bénéfice de leurs premières applications (tant dans le cadre des EDD que de projets d'amélioration de la sécurité), en prenant en compte les dimensions techniques, économiques et sociétales (ces dernières étant cantonnées aux questions liées à la sécurité des personnes et des biens). »*

---

<sup>1</sup> Il s'agira en particulier d'actualiser l'analyse qui figurait dans le document de 2013 et, le cas échéant, de l'élargir.

Sur ces bases, le groupe de travail a été constitué. Il regroupe les personnes suivantes, sous l'animation de Laurent PEYRAS et Luc DEROO :

|                  |                |
|------------------|----------------|
| Laurent PEYRAS   | INRAE          |
| Luc DEROO        | ISL            |
| Paul ROYET       | CTPBOH - INRAE |
| Thibaut ULRICH   | ARTELIA        |
| Stéphan AIGOUY   | PoNSOH         |
| Thomas CARLIOZ   | PoNSOH         |
| Laurent BALLUT   | CACG           |
| Ahmed KHALADI    | CNR            |
| Daniel LOUDIERE  | CTPBOH         |
| Michel GUERINET  | CTPBOH         |
| Frederic LAUGIER | EDF            |
| Laurent BESSADI  | EDF            |
| Michel LANG      | INRAE          |
| François HALGAND | TRACTEBEL      |

Le groupe s'est réuni cinq fois et a produit le présent rapport composé de la présente synthèse puis des trois chapitres suivants :

- une analyse des critères de projet adoptés en France depuis 2012 pour les évaluations de la sûreté et les projets d'amélioration des évacuateurs de crues ;
- une analyse comparative des pratiques internationales (une trentaine de pays passés en revue) ;
- une analyse des incidents et accidents en France et à l'international et les leçons que l'on peut en tirer.

### 3. Synthèse

---

L'analyse des critères de projet adoptés en France depuis 2012 est basée sur une population importante de 63 projets de révision d'EVC. Les recommandations CFBR 2013 ont constitué le référentiel de base pour l'ingénierie-conseil, à l'exception d'EDF qui utilise son propre référentiel (pour 25% des projets étudiés) à l'instar d'autres opérateurs dans d'autres pays qui ont également leurs propres référentiels (HydroQuébec, USACE, USBR, TVA, ...). Les périodes de retour de la crue exceptionnelle respectent quasiment toutes les recommandations CFBR 2013. Les projets d'EVC analysés montrent la prise en compte d'une crue extrême dans 85% des cas. Les périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger respectent les recommandations CFBR 2013 dans 85% des cas pour les barrages de classe A et dans 66% des cas toutes classes confondues.

Dans l'analyse des réglementations faite à travers le Bulletin 170, nous n'avons pas vu de distinction entre barrages neufs et barrages en service, sur cette question de la sécurité des évacuateurs de crues et de leur dimensionnement. Toutefois, le bulletin 170 n'est pas exhaustif sur les pratiques internationales et n'indique pas comment la remise à niveau des barrages en service est réalisée.



Au Canada, aux Etats-Unis et en Australie, le corpus réglementaire coexiste avec des recommandations professionnelles, qui proposent des critères souvent plus contraignants.

La gamme de période de retour des crues exceptionnelles est très large, allant de 100 ans à plus de 100 000 ans (plusieurs pays adoptant la PMF). Cette gamme est sensiblement réduite si l'on s'intéresse uniquement aux pays européens (entre 1000 à 10 000 ans), les recommandations CFBR et la réglementation française se situant au centre des distributions. Les critères de sécurité associés à la crue exceptionnelle varient sensiblement d'un pays à l'autre, en particulier pour la disponibilité des vannes (y/c en présence d'embâcles) ou la revanche.

Dix pays (36%) prescrivent (ou recommandent) de prendre en compte une crue extrême, pour les grands barrages, en plus de la crue exceptionnelle. Les critères associés à la crue extrême sont relativement homogènes : en situation extrême de crue, le barrage peut subir des désordres, mais sans que sa sécurité ultime soit mise en cause. La pratique d'une double vérification crue exceptionnelle et crue extrême n'est donc pas majoritaire, mais cela est à relativiser car certains pays adoptent une crue exceptionnelle très élevée (PMF) qui couvre donc les crues extrêmes.

L'analyse de l'accidentologie a porté sur 36 accidents et incidents majeurs survenus depuis l'an 2000, dont 9 cas en France. Cette accidentologie abondante montre l'importance que revêt la sûreté liée aux évacuateurs de crues dans la sûreté d'un barrage. Le dimensionnement hydrologique et hydraulique est en cause (ou est suspecté) dans environ la moitié des cas, parfois concomitamment avec d'autres facteurs. Les enseignements de ces cas d'études permettent de mettre aussi en évidence les autres sujets-clé, facteurs décisifs dans le scénario de rupture ou dans la résistance ultime du barrage. La plupart de ces sujets sont abordés dans les Recommandations CFBR de 2013, mais certains peuvent mériter des développements nouveaux et/ou une révision des recommandations :

- La résistance structurelle des évacuateurs ;
- La résistance à l'érosion du rocher à l'aval des barrages en béton ;
- La résistance à l'érosion par submersion des barrages en remblai ;
- La cinétique des événements VS le temps nécessaire aux décisions et actions ;
- La fiabilité du contrôle-commande ;
- La sécurité en exploitation ;
- L'actualisation de la partie « Recommandations pour l'évaluation des crues » des recommandations CFBR 2013, sachant que la qualité des études hydrologiques utilisées en données d'entrée est essentielle ;
- Enrichir le chapitre « Dimensionnement des évacuateurs vis-à-vis des corps flottants des recommandations CFBR 2013 ;
- Proposer une approche fonctionnelle globale du passage des crues, en distinguant les sous fonctions de contrôle du débit à évacuer, de transfert du débit à évacuer et de dissipation aval de la puissance de l'écoulement évacué, et la maîtrise du contrôle de l'érosion.

Enfin, les travaux de notre GT ont mis en évidence la nécessité de préciser et stabiliser la terminologie.

# Partie 1 - Analyse du REX en France

## 1. Introduction

---

L'enquête de retour d'expérience (REX) sur les projets d'évacuateurs de crues (EVC) de barrages a eu pour objectif de répondre au premier point du mandat confié au groupe de travail (GT) : « *Le groupe de travail aura pour objectifs :*

- *d'analyser l'impact des recommandations de 2013, collecter et analyser les retours d'expérience de leurs premières applications (tant dans le cadre des EDD que de projets d'amélioration de la sécurité), en prenant en compte les dimensions techniques, économiques et sociétales (ces dernières étant cantonnées aux questions liées à la sécurité des personnes et des biens) ;*
- [...] »

Les principes de l'enquête conduite ont été les suivants :

- Seuls les barrages ayant fait l'objet d'un projet de révision de l'EVC sont retenus dans le champ de l'enquête. Ne sont pas pris en compte les barrages dont la révision de l'EVC a été seulement proposée dans l'EDD, sans projet ;
- Les barrages ayant fait l'objet de modification non structurelle ayant eu un impact sur la gestion de l'EVC et de ses cotes d'exploitation en crue (donc sur sa sécurité) sont retenus dans l'enquête ;
- Les barrages retenus dans l'enquête ont fait l'objet d'une étude (AVP ou PRO) post parution des recommandations CFBR 2013, avec ou sans travaux engagés. Ceux dont les études ont été engagées antérieurement à la parution des recommandations CFBR 2013 ne rentrent pas dans le recueil du REX (sauf si les études engagées peu avant 2013 se sont appuyées sur les recommandations CFBR encore à l'état de projet) ;
- Les barrages entrant dans le champ de l'enquête peuvent être de classe A, B ou C, en visant l'exhaustivité uniquement pour ceux de classes A et B ;
- Pour le renseignement de la description des enjeux, on s'appuiera si possible sur les données issues de l'EDD.

Le cadre du REX sur les projets d'EVC en France s'est concentré sur les critères associés aux situations de crues et à leur justification. Il intègre également une analyse économique et sociétale des projets. Ce REX n'a pas concerné les autres éléments techniques des recommandations CFBR 2013 (calcul de revanche, vannes, contrôle-commande, etc.) et n'a pas couvert les difficultés qu'ont pu rencontrer les ingénieries dans l'application de ces aspects des recommandations.

L'enquête de retour d'expérience a concerné quelque 63 projets en France. Sans être exhaustive, elle couvre l'essentiel des projets étudiés en France post 2012. Ce nombre de 63 projets est considérable, et permet de disposer d'un échantillon statistiquement robuste (cet échantillon représente environ 10% des barrages A et B en France).

Les recommandations CFBR 2013 ont accompagné l'évolution de la réglementation française sur les barrages, et ces évolutions réglementaires (introduction et généralisation des EDD) et organisationnelles (réorganisation des services du contrôle en région) ont probablement contribué à l'émergence de projets de modifications des conditions de passage des crues sur les barrages, même si l'enquête ne permet pas de le quantifier. Par

ailleurs, il y a eu également des investissements sur la mise à niveau des EVC avant la parution des recommandations CFBR 2013, mais ces projets ne rentrent pas dans le champ de cette enquête.

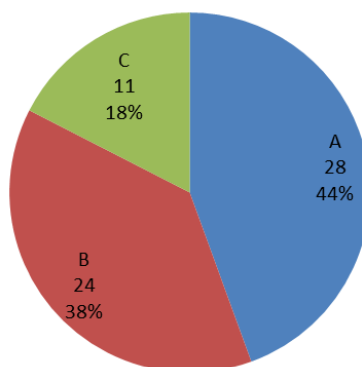
L'enquête a été produite par les membres du GT sur les ouvrages qu'ils ont eu à traiter dans le cadre de leurs missions et études : Artelia (4), Betcgb (10), CACG (10), EDF (14), Irstea (12), ISL (7), Tractebel (6). Le formulaire de l'enquête est fourni en annexe du présent rapport. Les fiches de retour d'expérience de chaque projet enquêté sont gardées anonymes au sein du GT et ne sont pas annexées au présent rapport.

Les données de l'enquête sont rassemblées dans un tableau Excel indiquant l'ensemble des champs renseignés (47 champs), regroupés sur 4 catégories : données générales, aléa hydrologique (étude initiale, étude révisée), description de l'EVC avant travaux, principes de remise à niveau de l'EVC. Ce tableau de synthèse des barrages examinés a été rendu anonyme (par suppression des champs nom, propriétaire, exploitant, lieu) et, dans cette forme, fait partie intégrante du livrable du GT sur le REX en France.

## 2. Caractéristiques générales des ouvrages enquêtés

### 2.1. Classe et typologie des ouvrages

La répartition des barrages enquêtés dans les 3 classes réglementaires A, B et C est la suivante (Figure 1) :



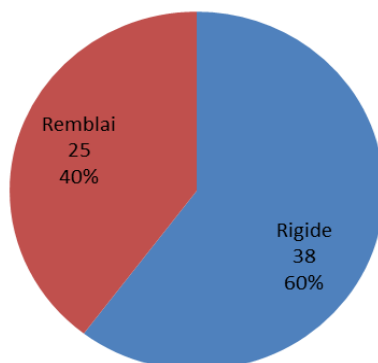
**Figure 1** – Répartition des barrages enquêtés dans les classes A, B et C

La majorité des projets relève de la classe A, mais les classes B et C restent néanmoins bien représentées dans l'enquête, même si la distribution des projets ne correspond pas à la distribution des classes du parc français (SIOUH, 15/02/2019 : classe A : 12% ; classe B : 17% ; classe C : 71%). On peut également noter que, pour les barrages de classe A, les barrages enquêtés représentent 11% de cette classe.

La répartition des barrages enquêtés entre les catégories « barrages rigides »<sup>2</sup> et « barrages remblai » est relativement bien équilibrée (Figure 2). Pour information, la répartition des types de barrage du parc français est de 53% pour les ouvrages rigides et de 47% pour les remblais, si on prend en compte uniquement les ouvrages des classes A et B, et environ

<sup>2</sup> Il est entendu par « barrage rigide » les barrages non érodables, à savoir les barrages en béton et les barrages en maçonnerie.

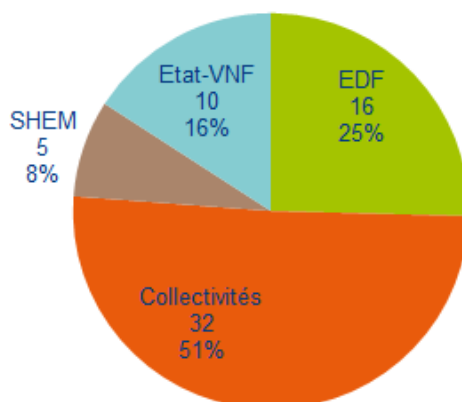
25 % pour les ouvrages rigides et de 75 % pour les barrages en remblai si on prend en compte les 3 classes.



**Figure 2** – Répartition des barrages enquêtés entre catégories « rigide » et « remblai »

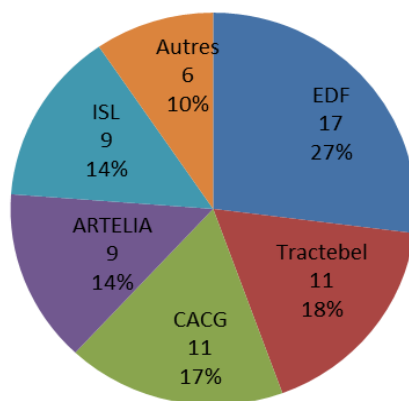
## 2.2. Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre

Les maîtres d'ouvrage concernés par les projets enquêtés sont répartis selon leurs types (collectivités, Etat, concessions EDF et SHEM) de la façon suivante (Figure 3) :



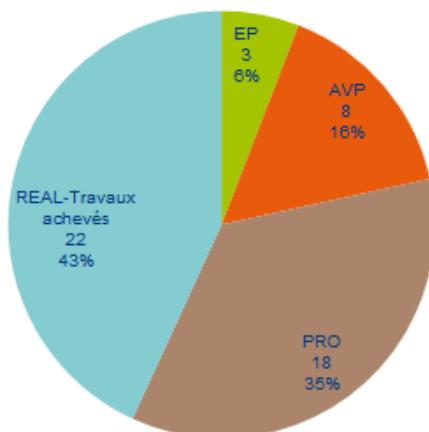
**Figure 3** – Répartition des barrages enquêtés selon les maîtres d'ouvrages

Les maîtres d'œuvre chargés des projets sont répartis de la façon suivante (Figure 4) :



**Figure 4** – Répartition des barrages enquêtés selon les maîtrises d'œuvre

Les projets analysés dans ce REX affichent un niveau d'étude avancé, majoritairement au niveau PRO (projet) ou REAL (réalisation), avec moins d'études de niveau EP (études préliminaires) ou AVP (avant-projet) (Figure 5) :

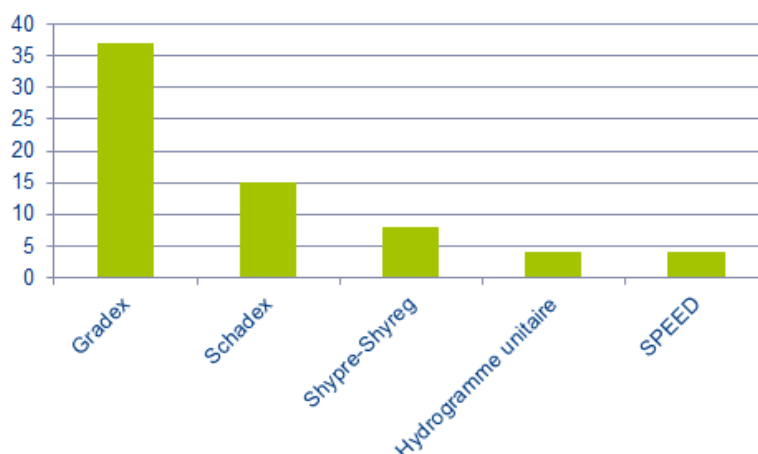


**Figure 5** – Niveau d'étude et travaux des barrages enquêtés

### 3. Analyse des études hydrologiques

#### 3.1. Méthode hydrologique

Les méthodes hydrologiques mises en œuvre dans les projets de révision des EVC sont les suivantes (Figure 6) :



**Figure 6** – Méthodes hydrologiques utilisées dans les projets de révision d'EVC

La méthode du Gradex reste la démarche la plus utilisée, couplée avec des méthodes régionales pour la détermination des débits de fréquences courantes (Crupédix, Socose, SCS, méthodes rationnelles, SHYREG débit). L'ingénierie d'EDF utilise désormais la méthode du Schadex. La méthode SHYREG-SHYPRE par simulations stochastiques est également utilisée dans plusieurs projets.

#### 3.2. Analyse de la crue exceptionnelle

L'analyse de la crue exceptionnelle sur les projets d'EVC est produite sur 4 points : i) l'évolution de la période de retour, ii) l'évolution du débit de la crue exceptionnelle à période de retour constant, iii) l'évolution du débit de la crue exceptionnelle dans l'absolu, et iv) l'évolution du volume de la crue exceptionnelle.

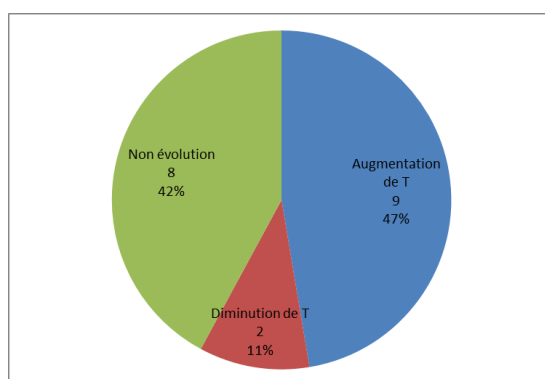
Dans la pratique opérationnelle, l'estimation de la crue exceptionnelle ne fait pas à ce jour l'objet de ré-évaluation en lien avec le changement climatique, dont les effets sur les crues restent encore difficiles à apprécier. On peut mentionner que le comité technique Y *Changement Climatique* de la CIGB a pour objet, dans le cadre de ses termes de référence fixant ses activités sur la période 2017-2021, de faire un point, notamment à travers la publication de plusieurs cas d'étude internationaux, sur trois thèmes :

1. Impact du changement climatique sur les ressources en eau et la gestion des ouvrages ;
2. Effets du changement climatique sur les régimes de crue et adaptation des ouvrages à une éventuelle évolution ;
3. Rôle de l'hydro-électricité dans la limitation/mitigation du réchauffement climatique.

Il est prévu que le thème 2 ci-dessus soit travaillé en concertation étroite avec le Comité S *Estimation des Crues et Sécurité des Barrages* de la CIGB.

### 3.3. Analyse de la période de retour de la crue exceptionnelle

L'analyse des périodes de retour des crues entre l'étude hydrologique initiale et l'étude révisée montre, sur les projets de révision d'EVC pour lesquels l'information était disponible (19 projets), une augmentation de la période de retour dans 47% des projets, et un maintien de la période de retour dans 42% des projets (Figure 7). Les barrages (2) pour lesquels les périodes de retour ont diminué correspondent à des barrages anciennement classés ISP (Intéressant la Sécurité Publique) et ayant ensuite été classés en classe B.

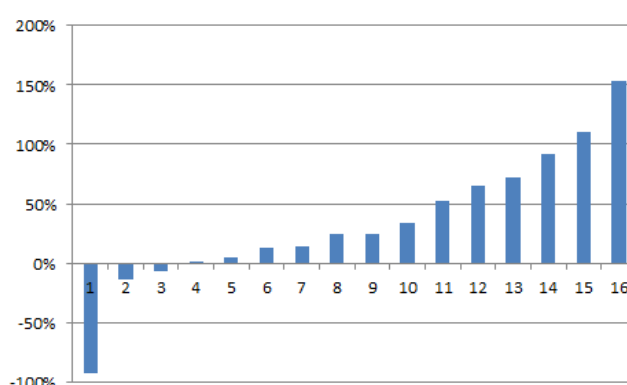


**Figure 7** – Evolution de la période de retour de la crue exceptionnelle.

Population renseignée : 19 projets

### 3.4. Analyse de l'évolution du débit de la crue exceptionnelle à T constant

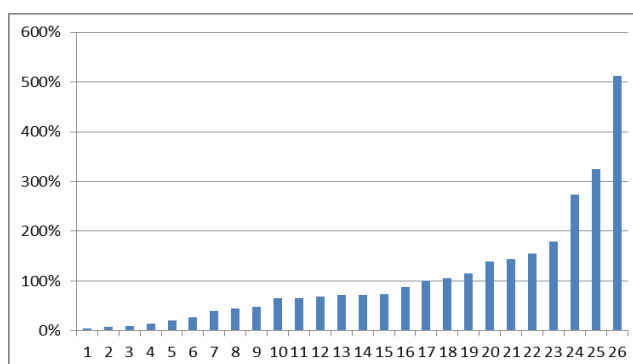
L'analyse à condition constante de période de retour de l'évolution du débit de la crue exceptionnelle montre une augmentation significative des débits entre l'étude hydrologique initiale et l'étude révisée (Figure 8). La médiane de l'augmentation sur l'échantillon (16 projets ramenés à condition constante de T) est de 24%, à imputer à la seule révision de l'hydrologie (chronique des données ou méthode utilisée).



**Figure 8** – Evolution des débits de la crue exceptionnelle à période de retour constante (16 projets)

### 3.5. Analyse de l'évolution du débit de la crue exceptionnelle en valeur absolue

L'analyse de l'évolution en valeur absolue des débits de la crue exceptionnelle montre une augmentation sensible des débits entre l'étude hydrologique initiale et l'étude révisée (Figure 9). La moyenne de l'augmentation sur l'échantillon renseigné (26 projets) est de 107%, indiquant environ le doublement du débit de la crue exceptionnelle par rapport à l'étude initiale. Cette évolution combine à la fois l'évolution potentielle de la période de retour dans l'étude révisée ainsi que l'évolution des données hydrologiques. La médiane de l'augmentation est de 72%, indiquant que la moitié des projets de révision d'EVC a connu une augmentation du débit de la crue exceptionnelle supérieure à cette valeur.



**Figure 9** – Evolution en valeur absolue des débits de la crue exceptionnelle. Population renseignée : 26 projets

### 3.6. Analyse de l'évolution du volume de la crue exceptionnelle en valeur absolue

L'analyse de l'évolution en valeur absolue des volumes de la crue exceptionnelle montre une augmentation sensible des volumes entre l'étude hydrologique initiale et l'étude révisée. La médiane de l'augmentation sur l'échantillon renseigné (5 projets) est de 65%.

### 3.7. Analyse de la crue extrême<sup>3</sup>

Les projets d'EVC analysés montrent la prise en compte d'une crue extrême dans 85% des projets (54 dossiers sur 63). Pour les 15% des projets n'ayant pas pris en compte la crue extrême (9 études), soit la crue extrême n'a pas été étudiée, soit elle a été étudiée mais n'a pas été prise en compte dans l'étude, soit nous ne disposons pas de l'information.

La distribution des périodes de retour associées à la crue extrême de la population renseignée est la suivante (Figure 10) :

<sup>3</sup> Selon les recommandations CFBR 2013, l'estimation de la crue extrême de période de retour 100 000 ans ((barrages de classe A) est obtenue en majorant la crue décennale par un coefficient multiplicateur sur les débits de l'ordre de 1,3 et l'estimation la crue de période de retour 33 000 ans ((barrages de classe B) en la majorant par un coefficient multiplicateur sur les débits de l'ordre de 1,15.



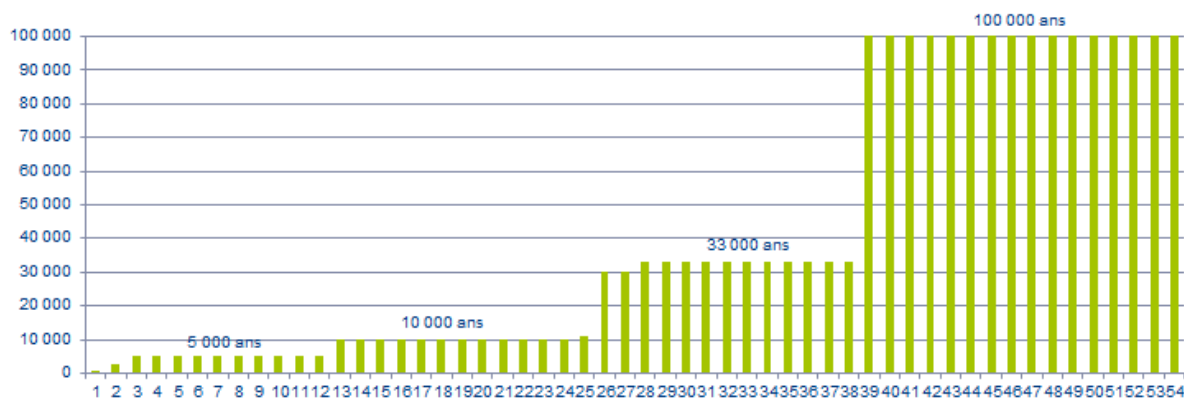


Figure 10 – Distribution des périodes de retour associées à la crue extrême

## 4. Analyse des projets de révision des EVC

### 4.1. Référentiels techniques mis en œuvre dans les projets de révision des EVC

L'analyse des référentiels techniques mis en œuvre lors de la conception des projets de révision des EVC post 2012 montre que les recommandations CFBR 2013 constituent le référentiel de base pour l'ingénierie-conseil française, à l'exception d'EDF qui utilise son référentiel interne (Figure 11) :

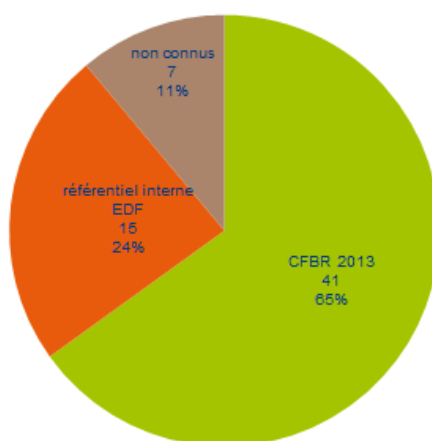
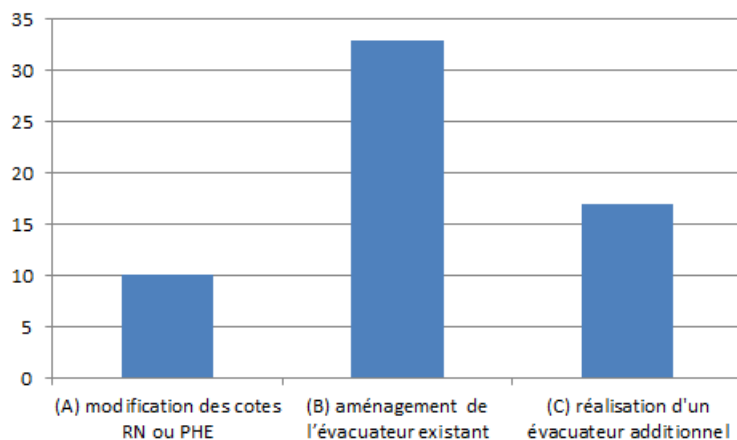


Figure 11 – Référentiels techniques utilisés pour les projets

### 4.2. Nature des projets de révision des EVC

L'analyse de la nature des projets de révision des EVC a été menée en distinguant 3 catégories de solutions correctives : (A) modification des cotes RN ou PHE, (B) aménagement de l'évacuateur existant (agrandissement, modification, installation d'un PKW, ... sur l'EVC existant), (C) évacuateur additionnel. La distribution de la nature des projets fait apparaître une majorité de projets d'aménagement de l'EVC existant (55%) suivi de projets

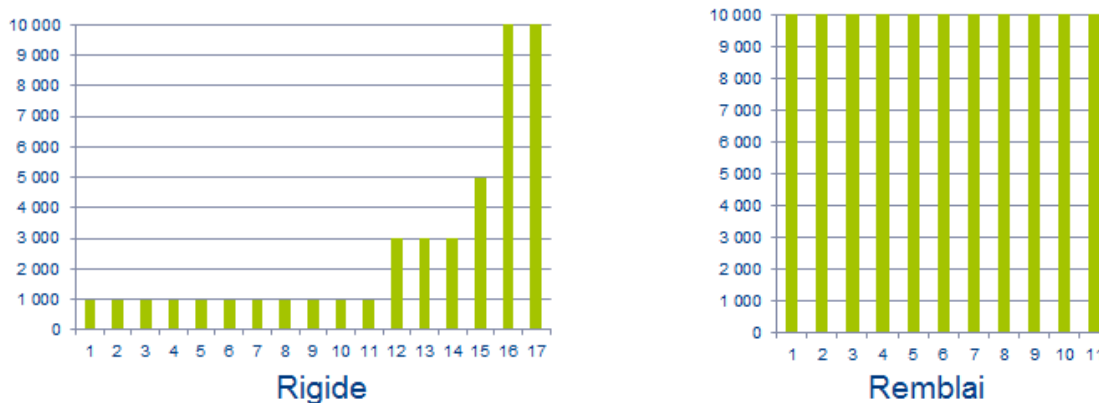
de construction d'un nouvel EVC (28%). Dans 17% des projets, une solution non structurale a pu être proposée (Figure 12).



**Figure 12** – Nature des projets de révision des EVC

#### 4.3. Périodes de retour de l'atteinte de la cote des PHE

Les périodes de retour de l'atteinte de la cote des PHE<sup>4</sup> des barrages de classe A sont comprises entre T=1 000 ans et 10 000 ans pour les barrages rigides et sont de T=10 000 ans pour les barrages en remblai. Ces périodes de retour respectent les recommandations CFBR 2013 (Figure 13).

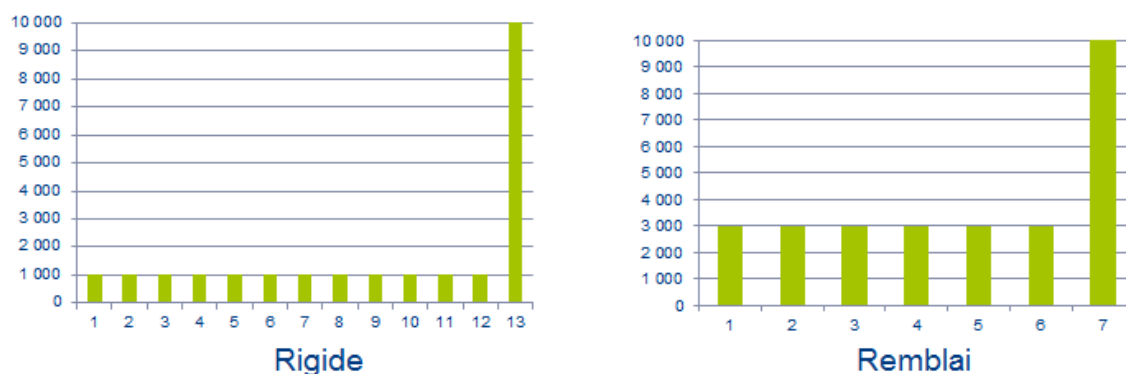


**Figure 13** – Périodes de retour de l'atteinte des PHE des barrages de classe A

Les périodes de retour de l'atteinte de la PHE des barrages de classe B sont de T=1 000 ans pour les barrages rigides et T=3 000 ans pour les barrages en remblai (Figure 14). À l'exception de deux projets plus sécuritaires T = 10 000 ans<sup>5</sup>, ces périodes de retour respectent les recommandations CFBR 2013.

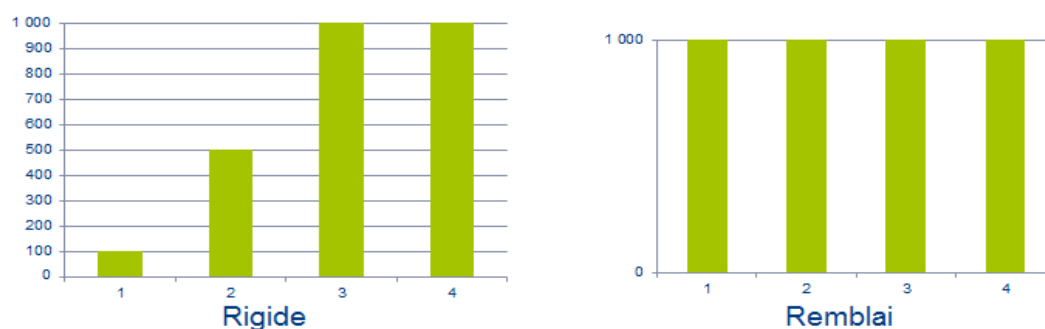
<sup>4</sup> La cote des Plus Hautes Eaux (PHE) correspond à la cote atteinte par la retenue pour la situation de crue exceptionnelle.

<sup>5</sup> L'explication pour ces deux ouvrages se trouve en partie au changement de classe suite au Décret 2015.



**Figure 14** – Périodes de retour de l'atteinte des PHE des barrages de classe B

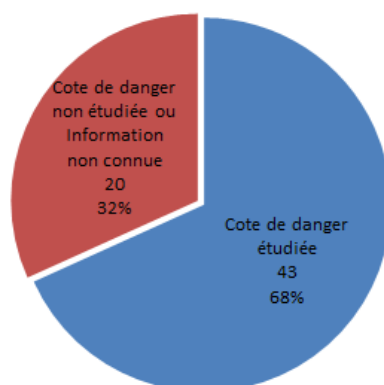
Les périodes de retour de l'atteinte de la PHE des barrages de classe C sont comprises entre T=100 ans et 1 000 ans pour les barrages rigides et sont de T=1 000 ans pour les barrages en remblai (Figure 15). Pour les barrages rigides, 3 projets sont plus sécuritaires que les recommandations CFBR 2013 et 1 projet l'est moins. Pour les barrages en remblai, les périodes de retour respectent les recommandations CFBR 2013.



**Figure 15** – Périodes de retour de l'atteinte des PHE des barrages de classe C

#### 4.4. Etude de la cote de danger dans les projets de révision des EVC

La majorité des projets de révision des EVC (68%) a étudié la période de retour de l'atteinte de la cote de danger associée au projet de révision de l'EVC (Figure 16) :

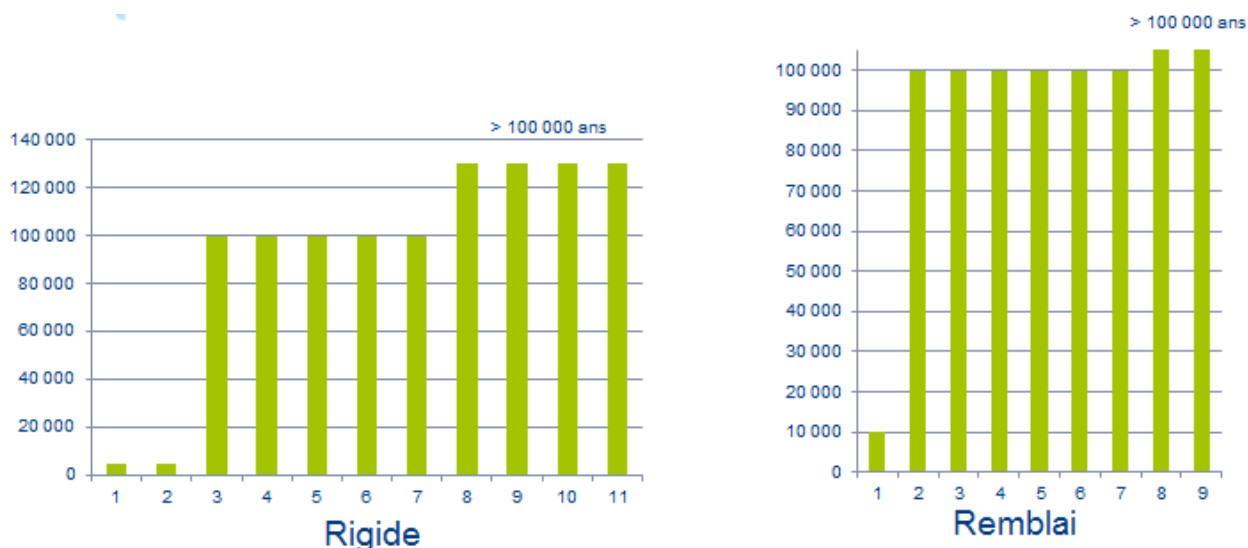


**Figure 16** – Prise en compte de la cote de danger dans les projets de révision des EVC

#### 4.5. Périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger

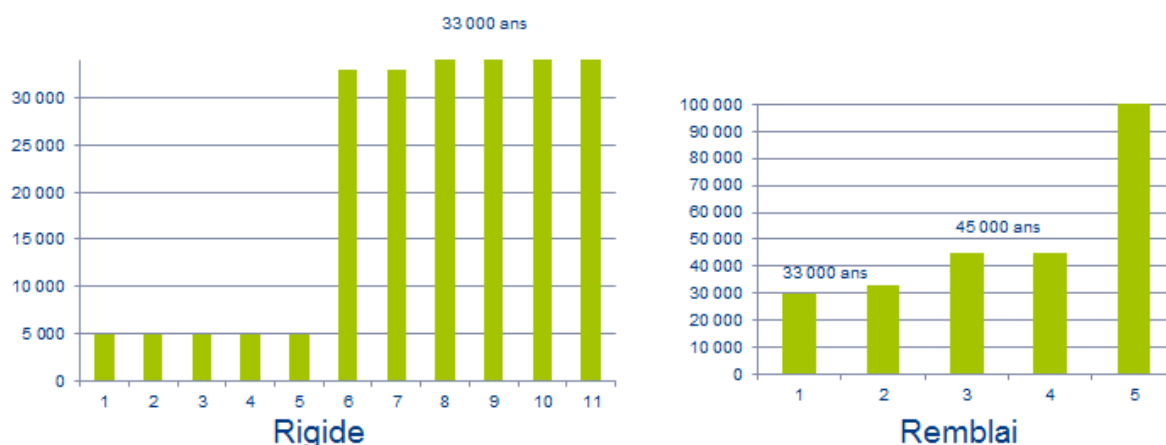
La cote de danger est la cote de la retenue au-dessus de laquelle la stabilité de l'ouvrage n'est plus garantie (arrêté du 6 août 2018). La détermination de la cote de danger ne repose pas sur une méthodologie éprouvée et peut être entachée d'incertitudes plus ou moins fortes selon les types d'ouvrages (cf les recommandations du CFBR 2013 §1.1.4 et §4.3.1.2), ce qui peut limiter la robustesse de l'intercomparaison. Par ailleurs, la note d'interprétation de l'arrêté du 3 septembre 2018, en date du 21/01/2020, utilise la notion de « situation de danger » pour définir les situations au-delà desquelles la stabilité de l'ouvrage n'est plus garantie, en précisant que la situation de danger peut être la cote de danger ou à défaut, quand la notion n'est pas pertinente, les conditions ne permettant plus de garantir la tenue des ouvrages.

Les périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger des barrages de classe A sont estimées comprises entre T=5 000 ans et 100 000 ans (ou plus) pour les barrages rigides et entre T=10 000 ans et 100 000 ans (ou plus) pour les barrages en remblai (Figure 17). Ainsi, il apparaît que 3 projets (15%) ne respectent pas les recommandations CFBR 2013 ou que la conformité n'a pas été examinée vis-à-vis de ces recommandations, mais la majorité des projets (a minima 17 projets, c'est à dire 85%) respectent ces recommandations.



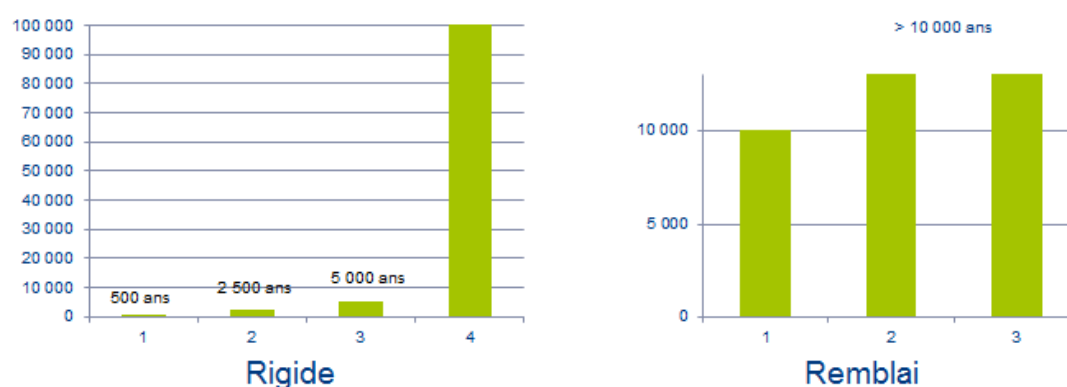
**Figure 17** – Périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger des barrages de classe A

Les périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger des barrages de classe B sont comprises entre T=5 000 ans et 33 000 ans pour les barrages rigides et supérieures ou égale à 30'000 ans pour les barrages en remblai (Figure 18). Ainsi, il apparaît que 5 projets (31%) – tous des barrages rigides - ne respectent pas les recommandations CFBR 2013, mais la majorité des projets (11 projets, ie 69%) les respectent.



**Figure 18** – Périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger des barrages de classe B

Les périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger des barrages de classe C sont comprises entre T=500 ans et 100 000 ans pour les barrages rigides et supérieures à 10 000 ans pour les barrages en remblai (Figure 19). Ainsi, il apparaît que 3 projets (43%) – tous des barrages rigides - ne respectent pas les recommandations CFBR 2013, mais la majorité des projets (4 projets, ie 57%) les respectent.



**Figure 19** – Périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger des barrages de classe C

#### 4.6. Synthèse technique

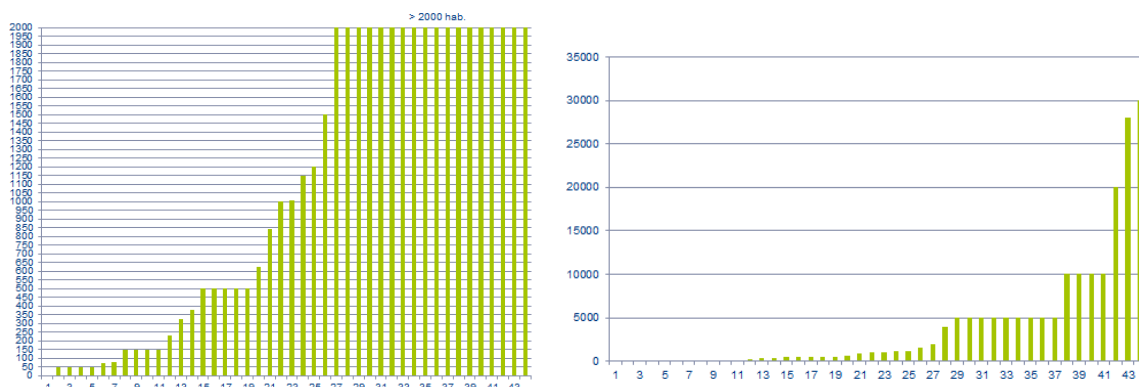
Les projets de révision des EVC post 2012 montrent que les recommandations CFBR 2013 ont constitué le référentiel de base pour l'ingénierie-conseil française. À ce titre, les périodes de retour adoptées pour les crues exceptionnelles respectent majoritairement celles préconisées dans les recommandations CFBR 2013. Par ailleurs, la majorité des projets de révision des EVC a étudié la période de retour de l'atteinte de la cote de danger et les périodes de retour adoptées pour les crues extrêmes respectent également majoritairement celles préconisées dans les recommandations CFBR 2013.

Pour les barrages à EVC à surface libre, c'est essentiellement la crue de projet qui est dimensionnante. Pour les barrages à EVC vannés, c'est la crue extrême qui est dimensionnante.

## 5. Analyse économique et sociétale

### 5.1. Population à risque

À travers les EDD associées ou précédant les projets de révision d'EVC post 2012, l'information relative à la population soumise au risque de rupture du barrage a pu être connue sur 44 projets, ce qui a permis d'analyser la distribution de la population à risque<sup>6</sup> (Figure 20) :



**Figure 20** – Distribution de la population soumise au risque de rupture (2 échelles d'affichage)

La moyenne de la population à risque est de 4100 personnes et la médiane est de 1010 personnes. Pour cinq barrages, elle est égale ou inférieure à 50 personnes, avec un barrage pour lequel ce nombre est nul.

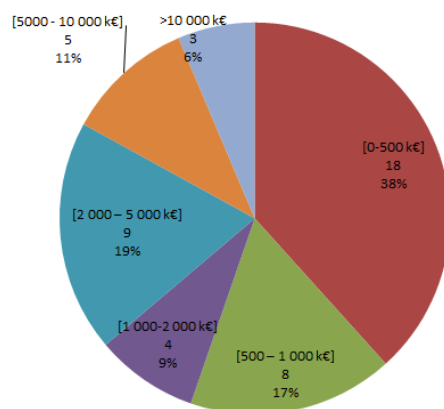
### 5.2. Coût des travaux

Le coût des travaux a pu être évalué dans 46 projets et classé dans les intervalles de coût suivants (évaluation des coûts des travaux, y compris les travaux provisoires, hors coût des études) : [0-500 k€] ; [500 – 1 000 k€] ; [1 000-2 000 k€] ; [2 000 – 5 000 k€] ; [5000 - 10 000 k€] ; >10 000 k€.

Dans cette analyse, ne sont pas pris en compte les coûts d'indisponibilités ou de perte de production, qui peuvent être très importantes.

La distribution des coûts des travaux est la suivante (Figure 21) :

<sup>6</sup> La « population à risque » est entendue ici dans l'acception des EDD, à savoir au sens de la population exposée à l'onde de submersion.

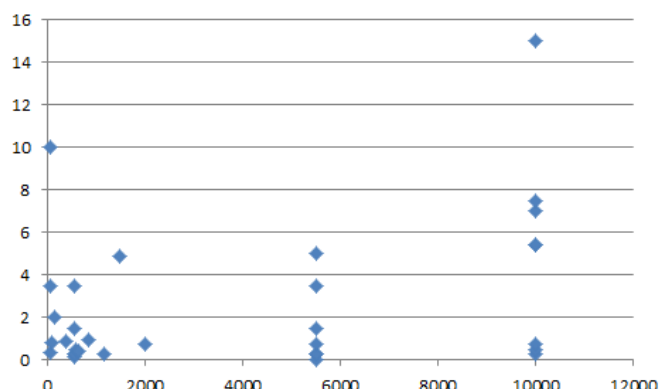


**Figure 21** – Distribution du coût des travaux de révision des EVC

Le coût moyen des travaux est d'environ 1,86 M€. La somme totale des travaux liés aux projets enquêtés s'élève à 70 M€, sachant qu'il y a eu des travaux sur des EVC sur la période post 2012 non pris en compte dans l'enquête car leurs études avaient été faites avant 2012. Parfois, ces travaux concernent des projets engagés avant 2012 avec poursuite des études post 2012.

Ce coût moyen des travaux est relativement modéré car beaucoup de projets relèvent de la catégorie A et B (modification des cotes RN ou PHE ou aménagement de l'évacuateur existant, cf. § 4.2). Le coût moyen des travaux au stade d'étude (travaux non encore réalisés correspondant à 51% des cas) est de 2,49 M€ et le coût moyen des travaux réalisés (49% des cas) est de 1,68 M€. Le coût moyen des travaux relevant de la catégorie B (aménagement de l'EVC existant) est de 1,83 M€ et le coût moyen des travaux relevant de la catégorie C (EVC additionnel) est de 3,63 M€.

La corrélation entre le coût du projet et la population à risque n'est pas nette (Figure 22), expliquée en partie par une connaissance des coûts et des populations à risque par classes discrètes (c'est la valeur centrale des intervalles qui a été retenue dans l'analyse). Elle traduit l'absence de classement des ouvrages associé au risque aval, même si la tendance dégagée de cette analyse montre que l'effort maximal d'investissement consenti est lié à la population à risque.



**Figure 22** – Corrélation coût et population à risque

(abscisse : population à risque [homme] ; ordonnée : coût du projet [M€])

En plus de la comparaison coût des travaux VS population à risque (Figure 22), il serait intéressant d'étudier les critères permettant d'évaluer l'apport de sûreté amené par chaque projet. Pour cela, il est possible de se référer aux recommandations CFBR 2017 « *Dimensionnement des évacuateurs de crue de barrage par les dommages incrémentaux ou différentiels : Recommandations pour la mise en œuvre d'une méthode applicable aux barrages en France* », concernant la prise en compte des dommages incrémentaux pouvant être un support utile à cette évaluation de gain de sûreté.

Un autre sujet d'intérêt complémentaire serait d'analyser les différentiels de coût sur les différents projets, générés par une solution de dimensionnement de l'EVC basée sur la crue exceptionnelle VS une solution basée sur la crue extrême. L'enquête conduite n'a pas été suffisamment précise pour permettre une telle analyse qui nécessiterait un approfondissement de l'examen technico-économique de chaque projet.



## Synthèse

---

Les recommandations CFBR 2013, qui ont accompagné l'évolution de la réglementation française sur les barrages et les évolutions organisationnelles associées au sein des services de contrôle, ont joué un rôle significatif dans les projets de confortement des EVC et leur dimensionnement. L'enquête de REX a permis d'étudier l'effet des recommandations sur les projets à travers une population importante de 63 projets de révision d'EVC post 2012 en France.

Tout d'abord, l'analyse des référentiels techniques utilisés lors de la conception des projets de révision des EVC post 2012 montre que les recommandations CFBR 2013 constituent le référentiel de base pour l'ingénierie-conseil. EDF utilise son propre référentiel.

Ensuite, on note une augmentation de la période de retour de la crue exceptionnelle dans 47% des cas identifiés, et les projets d'EVC analysés montrent la prise en compte d'une crue extrême dans 85% des études hydrologiques révisées. Les périodes de retour de la crue exceptionnelle respectent quasiment toutes les recommandations CFBR 2013. Les périodes de retour de l'atteinte de la cote de danger respectent les recommandations CFBR 2013 à minima à 85% pour les barrages de classe A, et à 66% toutes classes confondues.

Enfin, les projets de révision d'EVC ont conduit à une augmentation sensible des débits de la crue exceptionnelle entre l'étude hydrologique initiale et l'étude révisée, avec une augmentation moyenne de la crue exceptionnelle de 107%. Cette augmentation est à imputer à la fois à l'évolution de la période de retour associée à la crue exceptionnelle du fait des recommandations CFBR 2013, mais aussi à l'évolution des études hydrologiques.

D'autres enseignements issus de cette enquête ont également été obtenus.

L'analyse de la consistance des projets de révision des EVC fait apparaître une majorité de projets d'aménagement de l'EVC existant (55%) suivi de projets de construction d'un nouvel EVC (28%). Dans 17% des cas, une solution non structurelle a pu être proposée.

La population à risque concernée par les barrages ayant fait l'objet de projets de révision d'EVC est en moyenne de 4100 personnes et le coût moyen des travaux et de 1,86 M€. La somme totale des travaux liés aux projets enquêtés s'élève à 70 M€.

L'enquête n'a pas permis d'évaluer la part du coût des travaux imputable aux recommandations CFBR 2013, ni quel était l'élément majeur du dimensionnement entre la crue de projet ou la crue extrême<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Pour les barrages à EVC à surface libre, c'est essentiellement la crue de projet qui est dimensionnante. Pour les barrages à EVC vannés, c'est la crue extrême qui est dimensionnante.

## Partie 1 - Annexe – Fiche de retour d'expérience

### Données générales

- Source(s) documentaire(s) :
- Nom du barrage :
- Propriétaire/ Concessionnaire :
- Exploitant / Gestionnaire :
- Lieu (département, ville) :
- Hauteur, volume, classe (éventuellement révision de la classe suite au décret de 2015) :
- Date de construction :
- Cotes principales :
  - crête,
  - cote RN,
  - PHE,
  - cote de danger
- Description des enjeux (date de l'étude de l'onde de rupture, zone potentiellement impactée, population concernée, biens et infrastructures concernés) :

*NB : pour la population concernée, on pourra une échelle de type EDD :*

| Gravité (nombre de personnes potentiellement impactées) |
|---------------------------------------------------------|
| $\geq 10\ 000$                                          |
| $< 10\ 000$ et $\geq 1000$                              |
| $< 1000$ et $\geq 100$                                  |
| $< 100$ et $\geq 10$                                    |
| $< 10$ et $\geq 1$                                      |

- Champs commentaires libres (historiques des modifications ...) :

### Aléa hydrologique

- Date de l'étude hydrologique initiale (à la construction du barrage) :
- Familles de méthodes utilisées dans l'étude initiale :
- Chronologie des données :
- Crue exceptionnelle (débit de pointe, volume, période de retour) de l'étude initiale :
- Crue extrême (débit de pointe, volume, période de retour) de l'étude initiale :
- Date de l'étude hydrologique révisée et chargé(s) d'étude :
- Familles de méthodes utilisées dans l'étude révisée :
- Chronologie des données :
- Crue exceptionnelle (débit de pointe, volume, période de retour) de l'étude révisée :
- Crue extrême (débit de pointe, volume, période de retour) de l'étude révisée :
- Champs commentaires libres :

### Description de(s) l'évacuateur de crues principal avant travaux

- Type :
- Géométrie :
- Capacité hydraulique :
  - débitance maximale à la PHE,
  - débitance maximale à la cote de danger,

- disponibilité de la courbe hauteur-débit,
- Conclusion sur le respect des deux critères de CFBR 2013 (crue exceptionnelle et crue extrême) et traduction en termes de temps de retour :
  - Période de retour d'atteinte de la PHE avec / sans corps flottants
  - Période de retour d'atteinte de la Cote de Danger (EDD)
- Champs commentaires libres :

#### **Projet de remise à niveau de l'EVC**

- Dates - chronologie du projet :
- Chargé(s) d'étude - Niveau d'étude (EDD, AVP, PRO) et de réalisation (en cours/achevé) :
- Référentiel technique pour la prise en compte de la sollicitation de référence (CFBR 2013 ou autre) :
- Consistance technique du projet (y compris mesures non structurelles) :
- Situations de crue prises en compte pour le projet de remise à niveau de l'EVC :
  - Situation exceptionnelle : période de retour de la crue ou période de retour de la crue et événement limitant la capacité de l'évacuateur (non ouverture de vannes, embâcles...),
  - Situations extrêmes : période de retour de la crue ou période de retour de la crue et événement limitant la capacité de l'évacuateur (non ouverture de vannes / embâcles).
- Cote des PHE : Période de retour d'atteinte de la PHE avec / sans corps flottants
- Cote de danger : Période de retour d'atteinte de la Cote de Danger (EDD)
- Coût des travaux :

#### **NB :**

- *le périmètre des travaux à prendre en compte dans l'évaluation économique est la partie de l'EVC ayant un impact sur les côtes hydrauliques, hors travaux complémentaires (réfection parement, injection, drainage...),*
  - *on évalue les seuls coûts des travaux, y compris les travaux provisoires (hors coût des études notamment),*
  - *on fournit l'information précise du coût si elle est disponible ou une estimation dans les classes de coût suivantes : [0-500 k€] ; [500 – 1 000 k€] ; [1 000-2 000 k€] ; [2 000 – 5 000 k€] ; [5000 - 10 000 k€] ; >10 000 k€,*
  - *on indique les contraintes d'exploitation induites durant les travaux en termes d'abaissement (cote x durée),*
  - *on indique quel était le critère le plus dimensionnement entre la crue exceptionnelle et la crue extrême. Si possible, on estime la part liée à la satisfaction du critère pour la crue exceptionnelle et le surcout pour satisfaire le critère de la crue extrême.*
- 
- Gain sociétal :
    - Conséquence sur le risque et la criticité, en reprenant les éléments de l'EDD (chapitre 9)
    - 1 champ de commentaires libres
  - Champ libre (y compris la sécurité en phase travaux)

## Partie 2 : Comparaison internationale

Le document de base qui a servi à la rédaction de ce chapitre est le Bulletin 170 de la CIGB, intitulé « Evaluation des crues et sécurité des barrages », paru en 2018. On y trouve une comparaison des pratiques d'une trentaine de pays concernant les critères de classement des barrages, de sélection des crues de dimensionnement et de sûreté en situation de crues. En annexe du bulletin 170, les pratiques et/ou réglementations sont détaillées pays par pays.

Indiquons de très récentes évolutions dans certains pays d'Europe, le Portugal, l'Autriche et la Grèce ayant connu des évolutions de leur réglementation, qui n'ont pas pu être intégrées dans notre analyse.

Dans cette analyse, nous adoptons la terminologie française pour les situations de crues :

- la situation exceptionnelle de crue (dénommée en raccourci « crue exceptionnelle ») est l'équivalent de « design flood » dans la littérature en anglais ;
- la situation extrême de crue (dénommée en raccourci « crue extrême ») est l'équivalent de « safety check flood » dans la littérature en anglais.

Le présent chapitre aborde le cadre réglementaire dans chacun des pays analysés, puis il détaille les résultats de l'analyse comparative que nous avons menée, tout d'abord sur les critères pour la crue exceptionnelle (cas général à tous les pays), ensuite sur les critères pour la crue extrême (pour les pays qui adoptent cette notion), et en faisant la comparaison simultanée de ces deux critères.

### 1. Réglementations ou recommandations ?

---

Tous les pays passés en revue dans le bulletin 170 disposent d'une réglementation concernant les barrages qui couvre plus ou moins largement les divers aspects liés à la sûreté de ces ouvrages : classement, autorisation, conception, exploitation, contrôle, fin d'exploitation, ...

Mais, s'agissant de la sûreté des évacuateurs de crues et de leur dimensionnement, nous nous sommes attachés à examiner plus spécialement si cela relève de la réglementation (décrets, ordonnances, normes<sup>8</sup>, documents techniques sous l'égide d'un Ministère) ou de recommandations (typiquement publiées sous l'égide de l'association professionnelle des barrages, parfois du principal industriel) :

- Sur les vingt-huit pays analysés, dans dix-huit cas la sûreté des évacuateurs de crues et leur dimensionnement sont couverts par des documents réglementaires.
- Les documents professionnels sont la référence dans sept pays.
- Quelques pays, à l'organisation fédérale, présentent des situations plus complexes :
  - c'est le cas du Canada où les recommandations de la CDA<sup>9</sup> coexistent avec la réglementation au Québec, en Colombie Britannique, en Alberta et en Ontario ;

---

<sup>8</sup> Les normes s'appliquant habituellement aux ouvrages publics, nous les avons rattachées au domaine de la réglementation, mais un autre choix aurait été possible. Parmi les pays étudiés, les normes concernent l'Allemagne et la Roumanie.

<sup>9</sup> CDA : Canadian Dam Association

- situation analogue en Australie où le Queensland dispose de documents réglementaires tandis que les autres états se réfèrent à des recommandations professionnelles ;
- aux Etats-Unis, les barrages (et leurs systèmes EVC) sont soumis :
  - soit à des réglementations Sécurité (et Environnement) propres à chacun des Etats (pour plus de 70% des barrages),
  - soit à des réglementations de niveau fédéral avec un contrôle exercé différemment selon l'usage des ouvrages : FERC (pour les ouvrages de production d'énergie sous régime de concession), Dept of Agriculture, Dept of Defense...,
  - soit pour les ouvrages exploités par les 3 principales agences de statut fédéral - USACE, USBR, TVA - à des référentiels de sûreté spécifiques propres à ces organismes. Ces référentiels alimentent souvent les référentiels de la FERC ou des autres organismes de contrôle, qui peuvent être adaptés en fonction des législations propres à chaque état.

Par ailleurs, la Federal Emergency Management Agency (FEMA), qui fait partie du Department of Homeland Security, ne possède ni ne réglemente elle-même les barrages, mais administre le programme national de sécurité des barrages, qui coordonne tous les programmes fédéraux de sécurité des barrages et aide les États à améliorer leurs programmes de réglementation de la sécurité des barrages.

On pourra utilement trouver des informations générales sur la sûreté des barrages aux USA, et notamment sur l'organisation de la sûreté, sur le site de l'ASDSO (<https://damsafety.org/dams101>).

Cette diversité de référentiels ou de réglementations en vigueur se retrouve dans de nombreux états fédéraux, et les exigences peuvent varier d'un état ou d'une province à l'autre.

Depuis début septembre 2018, la France, où cohabitent un texte réglementaire et des recommandations professionnelles, s'apparente donc à ces derniers pays. Dans ces pays, les recommandations professionnelles proposent des niveaux d'exigence en général plus élevés que la réglementation, ainsi qu'on peut le constater plus loin pour le Canada en comparant les recommandations de la CDA et la réglementation au Québec, et pour la France en comparant les recommandations du CFBR et l'ATB.

Pour leur quasi-totalité, les documents en application datent de ce siècle, qu'il s'agisse de documents nouveaux ou de l'actualisation de documents préexistants. **C'est le signe que le sujet connaît des évolutions récentes et importantes, liées à la montée en puissance des questions relatives à la sécurité publique.**

Enfin, un point important : **dans notre analyse des réglementations faite à travers le Bulletin 170, nous n'avons pas vu de distinction entre barrages neufs et barrages en service, sur cette question de la sécurité des évacuateurs de crues et de leur dimensionnement.** Toutefois, le bulletin 170 n'est pas exhaustif sur les pratiques internationales et n'indique pas comment la remise à niveau des barrages en service est réalisée.

## 2. Considérations sur le classement des barrages

---

Ces aspects sont bien développés dans le bulletin 170. Nous n'irons donc pas ici dans le même niveau de détail. Retenons simplement qu'il y a deux grandes approches, et celle qui les mixe :

- **Le classement sur des critères géométriques** (essentiellement hauteur du barrage et volume de la retenue, parfois type de barrage), ces critères étant censés rendre compte indirectement et approximativement des caractéristiques de l'onde de rupture. C'est l'approche existante dans onze pays (**39% de l'échantillon**), essentiellement européens ; figurent également dans la liste la Russie, la Turquie et le Japon ;
- **Le classement sur les conséquences en cas de rupture**, celles-ci s'appréciant : i) soit par l'évaluation du risque pour les personnes se faisant en général sur la base du nombre d'habitations ou de personnes exposées, parfois sur une estimation du nombre de victimes potentielles (incluant alors des considérations sur le délai d'alerte, par exemple) dans l'ensemble de la zone impactée par l'onde de rupture ; ii) soit par leur valeur incrémentale : enjeux humains (et économiques) situés dans la zone d'inondation additionnelle en cas de rupture, par comparaison à la zone concernée par l'inondation naturelle. Cette approche basée sur le classement sur les conséquences en cas de rupture est celle en vigueur dans douze pays (**42% de l'échantillon**), essentiellement anglophones ou d'Europe du Nord ;
- *L'approche hybride* entre les critères géométriques et les conséquences est privilégiée dans cinq pays (**18% de l'échantillon**) : Afrique du Sud, Brésil, Espagne, Inde et Portugal.

### 3. Critères pour la crue exceptionnelle

---

Dans tous les pays analysés, la notion de crue exceptionnelle correspond à une crue pour laquelle le barrage et son évacuateur disposent encore de marges de sécurité significatives avant la survenance de désordres graves et *a fortiori* d'une rupture. Toutefois, les critères à respecter pour la crue exceptionnelle diffèrent notablement d'un pays à l'autre. Si l'ensemble des pays considèrent que la crue arrive sur une retenue pleine (quelques exceptions dans les pays scandinaves pour des barrages à exploitation saisonnière marquée) et prennent en compte le laminage potentiel par la retenue, des différences existent sur d'autres aspects. Les différences majeures concernent :

- La disponibilité des vannes :

**La plupart des pays (22/28, soit 79% de l'échantillon) considèrent que les ouvrages d'évacuation des crues fonctionnent normalement lors du passage de la crue exceptionnelle.**

Certains pays imposent des contraintes particulières. Ainsi, en Norvège, on considère qu'un peu moins de la moitié des vannes sont indisponibles (1/3 ; 2/4 à 6 ; 3/7 et plus) ; une réduction de capacité (25%) est également appliquée si le bassin versant est fortement boisé. En Suisse, on considère que la vanne de plus forte capacité est indisponible. En Autriche, la règle du n-1 s'applique aux barrages en remblais équipés d'un évacuateur vanné. Ces conditions peuvent être très préjudiciables et il convient d'en tenir compte dans la lecture des figures qui suivent<sup>10</sup>. En Italie, la revanche minimale mentionnée ci-après ne peut être réduite qu'à 1/3 des valeurs indiquées avec 50% des vannes indisponibles si le barrage est en remblai et 20% s'il s'agit d'un barrage rigide. En Irlande, on vérifie une double condition : passage d'une crue de période de retour élevée toutes vannes en fonctionnement et passage d'une crue moins rare avec une vanne non disponible. Au Royaume-Uni, un déversoir vanné doit avoir au moins deux vannes et, si l'une est hors service, celle(s) restante(s) doit(vent) être en mesure d'évacuer la crue de période de retour 150 ans. La **France** introduit dans l'ATB les dysfonctionnements de vannes en crues, en combinant une crue "intermédiaire" avec une défaillance de vanne, pour avoir une probabilité de l'ordre de la situation rare. À noter que les recommandations du CFBR introduisent les cas de dysfonctionnement de l'évacuateur de crue uniquement dans la catégorie des situations extrêmes.

- La revanche :

**La pratique habituelle (25/28 pays soit 89% de l'échantillon) consiste à adopter une valeur de revanche calculée à partir de la hauteur des vagues qui se forment sur la retenue et du type et de la pente du parement amont.**

Cependant, quelques pays introduisent une valeur minimale de revanche à respecter lors du passage de la crue exceptionnelle, déterminée en fonction de la hauteur et du type de barrage. Par exemple, en **Suisse**, pour un barrage en remblai de plus de 40 m de hauteur, cette revanche minimale est de 3,0 m ; en **Italie**, pour un barrage en remblai de 50 m de hauteur, cette revanche minimale est de 2,5 m ; au **Japon** la revanche minimale intègre la hauteur des vagues générées par le vent et par un séisme ainsi qu'un supplément (0,5 m) pour le fonctionnement des vannes.

Le tableau suivant établit la comparaison des pratiques en Europe en matière de dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages, pour les barrages relevant des classes d'importance les plus grandes (*source : les autorités de contrôle européennes*).

---

<sup>10</sup> Ainsi, si l'on considère que les débits de pointe respectifs de la crue millénale et décennale sont dans un rapport de 1,5, et en cas de laminage non significatif de la retenue, cette condition de non disponibilité des vannes **amène à augmenter d'un ordre de grandeur les périodes de retour** (dépendant du nombre total de vannes pour les deux derniers pays).

|                                     |                                                                                      | Existing dams                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------|-----------------------------------|-------|----------------------|-------|-------------------------------------|-------|----------------------|-------|---------------------------|-------|----------------------|-------|------------------------|--|--|--|---------------------------------------------|
| Pays                                | Regulation / Recommendation                                                          | Rare Flood                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Extreme Flood                                                                                                                                                                         | Additional requirements for new dams | Reference                                                                                                                                                                                                                                                               |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      | Discharge                                                                  | Added Criteria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Greece                              | Recommendations                                                                      | Q10000                                                                     | No                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | PMF                                                                                                                                                                                   | No                                   | GCOLD Guidelines                                                                                                                                                                                                                                                        |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| France                              | Regulation                                                                           | Q1000 (béton)<br>Q10000(remblai)                                           | P(gate failure)*P(Flood)<10 <sup>-4</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | No                                                                                                                                                                                    | Yes (Q 100 000)                      | Order 6/08/2018                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Germany                             | Regulation                                                                           | Q1000                                                                      | (n-1) Gates                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Q10000                                                                                                                                                                                | No                                   | DIN19700                                                                                                                                                                                                                                                                |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Austria                             | Recommendation                                                                       | Q5000                                                                      | Calculation with no additional devices besides the spillway                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | PMF                                                                                                                                                                                   | No                                   | Leitfaden zum Nachweis der                                                                                                                                                                                                                                              |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      | Q1000 (concrete)                                                           | Concrete : 1 m freeboard + 20 % discharge reduction if gated                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                       |                                      | Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti 26 (2014). <i>Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)</i> . Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana Serie generale - n. 156 dell'8-7-2014. |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Italy                               | Regulation                                                                           | Q3000 (earthfill)                                                          | Earthfill : + 2 to 3,5m freeboard + 50% discharge reduction if gated                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | No                                                                                                                                                                                    | No                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Sweden                              | Recommendation (almost seen as legally binding, often referred to in court permits)  | See extreme flood                                                          | Rule on operationally available capacity of gated spillways and outlets                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Flood determined by hydrological modelling, not by statistical analysis, thus not with a specified return period, some damages of the dam is permitted (equivalent to Q10000 or more) | No                                   | Guidelines for determination of design floods for dams (Svenska kraftnät et al, 2015)                                                                                                                                                                                   |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      |                                                                            | (Rules on freeboard, wind set up, riprap etc in other guideline on dam design)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Portugal                            | Recommendation (Supplementary to DS Regulations - Decree-Law N° 21/2018, 28th March) | T=5000 ys (Class I (Concrete, higher than 100 m ; Earth, higher than 50 m) | Rules for gated dams –Yes. Check that (n-1) does not cause overtopping considering design flood                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Yes. Extreme flood = design flood*1,2                                                                                                                                                 | No                                   | Dam safety Guidelines (Supplementary to DS Regulations - Decree-Law N° 21/2018, 28th March)                                                                                                                                                                             |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Norway                              | Regulation                                                                           | Q1000                                                                      | Gated spillway “n-x rule” : <ul style="list-style-type: none"><li>n=1-3 -&gt; x = 1</li><li>n=4-6 -&gt; x = 2</li><li>n=7 or + -&gt; x = 3.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | PMF                                                                                                                                                                                   | No                                   | Regulation (FOR-2009-12-18-1600) January 2010                                                                                                                                                                                                                           |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      |                                                                            | Rockfill/earthfill dam: several freeboard criteria depending on dam design and class                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      |                                                                            | Concrete dam: design flood level must not exceed dam top, but maximum level at PMF may be higher than dam top if dam is safe against failure                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     | Regulation                                                                           | Q1000                                                                      | The gate with the largest outlet capacity is assumed to be out of operation and to remain closed (“n-1” rule).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | PMF or 1.5 times the hydrograph of the rare flood hydrograph (Q=1.5*Q1000)                                                                                                            | No                                   | Directive on the Safety of Water Retaining Facilities,                                                                                                                                                                                                                  |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      |                                                                            | Minimum Freeboard:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      |                                                                            | <table><tr><td>Height of the dam structure</td><td>H ≥ 10 m</td><td>10 m &lt; H &lt; 40 m</td><td>H ≤ 40 m</td></tr><tr><td>Safety freeboard at concrete dams</td><td>0.5 m</td><td>Linear interpolation</td><td>1.0 m</td></tr><tr><td>Safety freeboard at embankment dams</td><td>1.0 m</td><td>Linear interpolation</td><td>3.0 m</td></tr><tr><td>- Without upstream riprap</td><td>1.0 m</td><td>Linear interpolation</td><td>2.5 m</td></tr><tr><td>- With upstream riprap</td><td></td><td></td><td></td></tr></table> | Height of the dam structure                                                                                                                                                           |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | H ≥ 10 m        | 10 m < H < 40 m | H ≤ 40 m | Safety freeboard at concrete dams | 0.5 m | Linear interpolation | 1.0 m | Safety freeboard at embankment dams | 1.0 m | Linear interpolation | 3.0 m | - Without upstream riprap | 1.0 m | Linear interpolation | 2.5 m | - With upstream riprap |  |  |  | «Extreme situation with safety check flood» |
|                                     |                                                                                      |                                                                            | Height of the dam structure                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | H ≥ 10 m                                                                                                                                                                              |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         | 10 m < H < 40 m | H ≤ 40 m        |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Safety freeboard at concrete dams   | 0.5 m                                                                                | Linear interpolation                                                       | 1.0 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Safety freeboard at embankment dams | 1.0 m                                                                                | Linear interpolation                                                       | 3.0 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| - Without upstream riprap           | 1.0 m                                                                                | Linear interpolation                                                       | 2.5 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| - With upstream riprap              |                                                                                      |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
|                                     |                                                                                      |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                       |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |
| Switzerland                         | Regulation                                                                           |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                       | No                                   | Part C2: Flood safety and lowering the reservoir water                                                                                                                                                                                                                  |                 |                 |          |                                   |       |                      |       |                                     |       |                      |       |                           |       |                      |       |                        |  |  |  |                                             |



## 4. Comparaison des pratiques pour la crue exceptionnelle

---

### 4.1. L'exercice d'inter-comparaison mené dans le Bulletin 170

Un exercice d'inter-comparaison est présenté dans le bulletin 170. Le cas de base est un barrage en remblai de 20 m de hauteur et 260 hm<sup>3</sup> de capacité, avec 5 à 15 habitations (et 5 occupants par habitation) situées dans la zone d'inondation incrémentale<sup>11</sup>. L'analyse est également menée pour un barrage en béton de mêmes caractéristiques. Une analyse de sensibilité est menée en faisant varier successivement les trois paramètres *hauteur du barrage* (8 m ; 50 m), *volume du réservoir* (0,5 hm<sup>3</sup> ; 1010 hm<sup>3</sup>) et *personnes à risque* (PAR<sup>12</sup>) dans la zone d'inondation incrémentale (PAR = 0 ; 1000).

### 4.2. Les bases de l'exercice d'inter-comparaison mené par le GT du CFBR

Nous avons collectivement décidé de mener une nouvelle inter-comparaison, sur des situations plus représentatives du parc des barrages français. Ainsi, nous avons décidé de mener l'exercice sur les cas suivants :

- Classe A : H=50 m ; V=260 hm<sup>3</sup> et V=15 hm<sup>3</sup>
- Classe B : H= 20 m ; V=5 hm<sup>3</sup>
- Classe C : H=10 m ; V=0,9 hm<sup>3</sup>
- Et pour chaque cas, barrage rigide et barrage en remblai.

Pour chaque cas, nous avons envisagé un PAR de respectivement 50, puis 5 personnes dans la zone d'inondation incrémentale. Pour les deux classes B et C, un PAR de 0 a également été traité, pour prendre en compte les petits et moyens barrages sans enjeux humains à l'aval. Et pour la classe A, un PAR de 1000 a été traité pour quelques comparaisons, afin de prendre en compte les barrages à enjeux élevés.

Au total, ce sont donc dix-huit situations qui ont été envisagées.

### 4.3. Hypothèses complémentaires adoptées

L'inter-comparaison a été nécessaire d'assigner une période de retour à la PMF pour les pays basant leurs recommandations sur cette notion. Nous avons considéré que c'était un peu plus que 100 000 ans et nous avons adopté arbitrairement : PMF = 200 000 ans.

Pour les pays dont les recommandations proposent des fourchettes de valeurs, nous avons pris une valeur « moyenne » au sein de cette fourchette. Par exemple, nous avons ainsi adopté la valeur T = 3 300 ans pour traduire la fourchette 1000 à 10 000 ans.

Pour le cas de la France, nous montrons deux colonnes : l'une correspond aux recommandations CFBR 2013, et l'autre aux prescriptions de l'arrêté technique barrages (ATB 2018) pour un barrage en service<sup>13</sup>. Dans les recommandations CFBR 2013, une

---

<sup>11</sup> Zone d'inondation additionnelle en cas de rupture, par comparaison à la zone concernée par l'inondation naturelle.

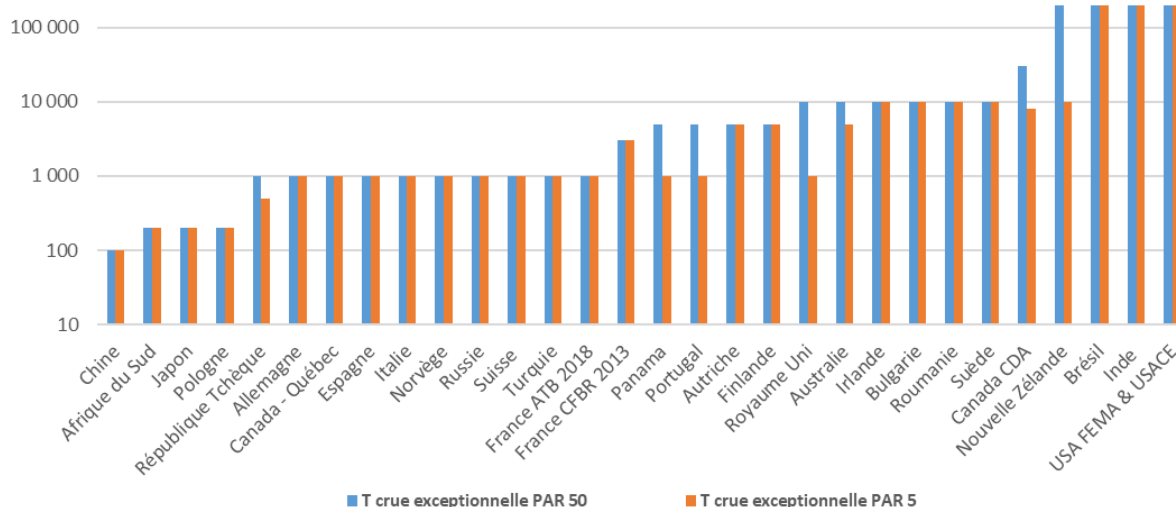
<sup>12</sup> PAR = Personnes à Risque. « L'évaluation des personnes à risque est généralement basée sur les résultats d'une étude de rupture du barrage, qui évalue la zone inondée et le nombre d'habitations ou d'infrastructures touchées » selon le Bulletin 170 - CIGB.

<sup>13</sup> Pour les barrages neufs, ou pour les barrages reconstruits, ce qui représente peu de cas, les prescriptions de l'ATB 2018 sont en accord avec les recommandations CFBR 2013. On peut donc, dans ce cas, se référer à cette dernière colonne.

fourchette (1 000 à 3 000 ans) est associée aux barrages en béton de classe A : nous avons adopté la valeur supérieure de la fourchette pour le cas du barrage à gros volume de retenue et la valeur inférieure pour l'autre cas.

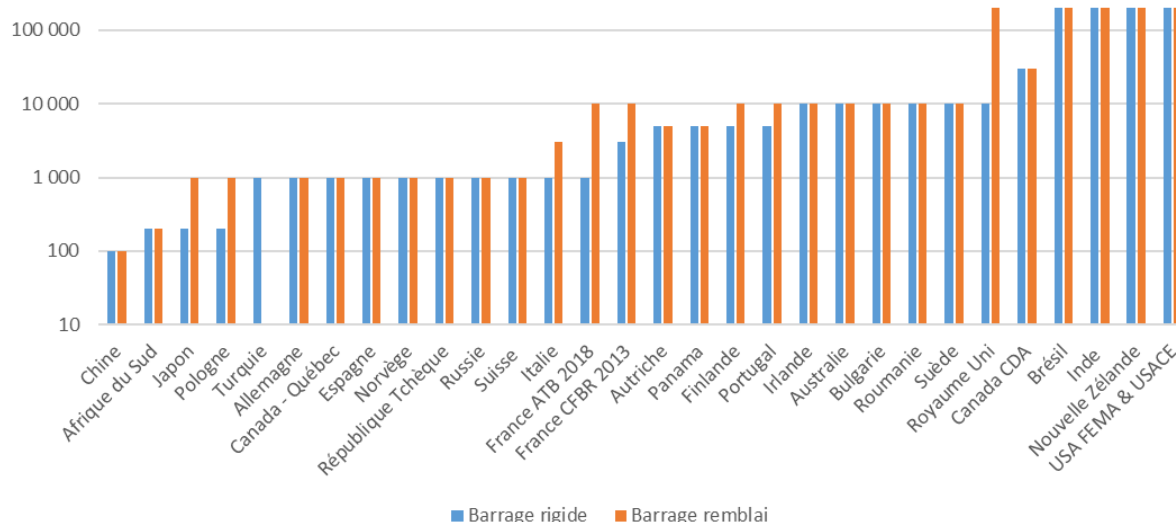
#### 4.4. Barrage de 50 m de hauteur et 260 hm<sup>3</sup> de capacité

Pour ce barrage, nous présentons d'abord en figure 23 les résultats pour un *barrage rigide* dans la situation de base de 50 personnes exposées au risque de rupture (bâtons bleus) et dans la situation moins risquée de seulement 5 personnes exposées au risque de rupture (bâtons orange).



**Figure 23** – Période de retour de la crue exceptionnelle – H=50 m, V=260 hm<sup>3</sup>

La figure 24 présente la comparaison des cas *barrage rigide* (bâtons bleus) et *barrage en remblai* (bâtons orange), dans la même situation de 50 personnes exposées au risque de rupture.



**Figure 24** – Période de retour de la crue exceptionnelle – H=50 m, V=260 hm<sup>3</sup>, PAR=50

### Commentaires :

Même si pour les (très) grands barrages la gamme de période de retour des crues exceptionnelles est très large allant de 100 ans (Chine) à plus de 100 000 ans (quatre à cinq pays adoptant la PMF), la pratique principale montre que **plus des 2/3 des pays adoptent une période de retour allant de 1000 à un peu plus de 10 000 ans**. La gamme de période de retour est également sensiblement réduite si l'on s'intéresse uniquement aux pays européens : elle s'étend seulement de 1000 à 10 000 ans si l'on exclut aux deux extrémités la Pologne (200 ans pour les barrages rigides) et le Royaume-Uni (PMF pour les barrages en remblai). **La France se situe au centre des graphiques.**

Pour un quart des pays, le changement du nombre de personnes à risque (passer de 50 à 5) amène à diminuer la période de retour associée à la crue exceptionnelle, parfois de plus d'un ordre de grandeur. Ce sont bien sûr des pays dont des critères de classement des barrages sont basés sur le risque aval.

Pour un quart des pays (dont la France), avoir un grand barrage en remblai amène, par rapport à un barrage rigide, à augmenter la période de retour associée à la crue exceptionnelle. Il en résulte que, pour les grands barrages en remblai, deux pays seulement adoptent une période de retour inférieure à 1 000 ans (Chine et Afrique du Sud). Le cas de la Turquie est intéressant : pour le barrage en remblai, le critère de dimensionnement n'est plus que la crue extrême (ou crue extrême), avec la condition de ne pas dépasser la cote de danger.

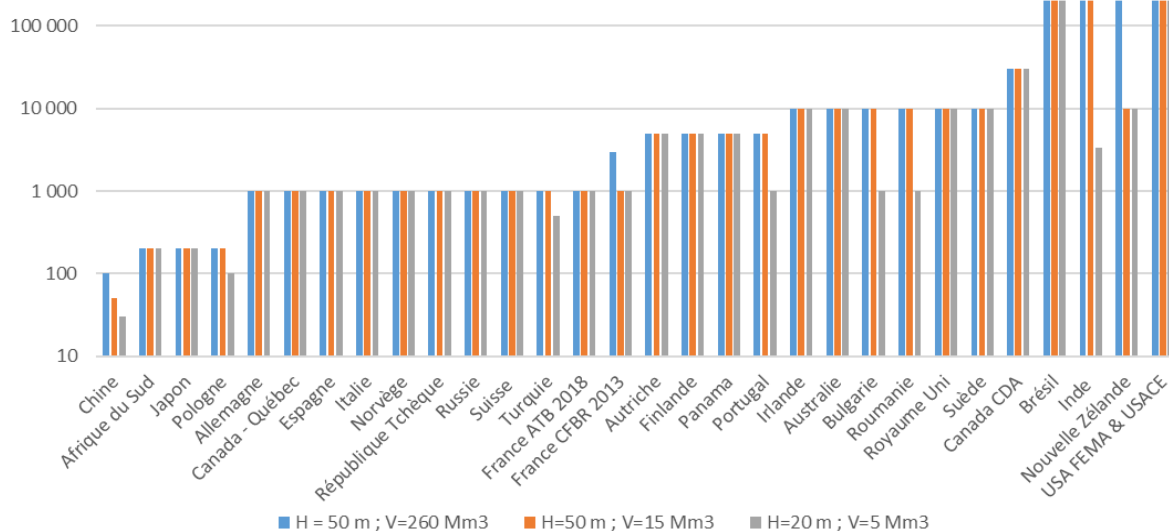
Un autre pays est intéressant, c'est le Canada, représenté par deux colonnes, l'une rendant compte des recommandations professionnelles à l'échelle de l'ensemble du pays, l'autre de réglementation au Québec. On observe que les recommandations de la CDA sont sensiblement plus sécuritaires que les prescriptions de la réglementation québécoise.

### **4.5. Comparaison des barrages de classes A et B, selon la classification française**

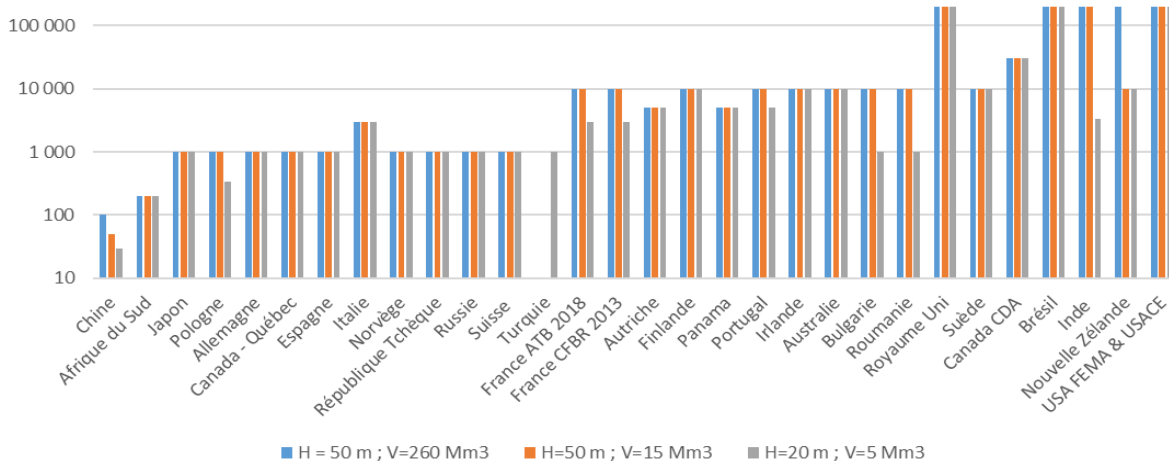
Les figures 3 et 4 comparent trois cas de hauteur et volume, dans la situation de base de 50 personnes exposées au risque de rupture :

- $H = 50 \text{ m}$  ;  $V = 260 \text{ hm}^3$ , barrage de classe A en France ;
- $H = 50 \text{ m}$  ;  $V = 15 \text{ hm}^3$ , barrage de classe A en France ;
- $H = 20 \text{ m}$  ;  $V = 5 \text{ hm}^3$ , barrage de classe B en France ;

Ces comparaisons sont menées d'une part pour un barrage rigide (Figure 25), d'autre part pour un barrage en remblai (Figure 26).



**Figure 25** – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage rigide, PAR=50



**Figure 26** – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage remblai, PAR=50

Il y a 9 pays où la période de retour associée à la crue exceptionnelle d'un barrage rigide diminue légèrement quand le volume de la retenue passe de 260 hm<sup>3</sup> (bâtons bleus) à 5 hm<sup>3</sup> (bâtons gris). Le chiffre est de 8 pays si l'on s'intéresse aux barrages en remblai. Les pays en question sont parmi ceux dont le classement des barrages se fait sur des critères géométriques.

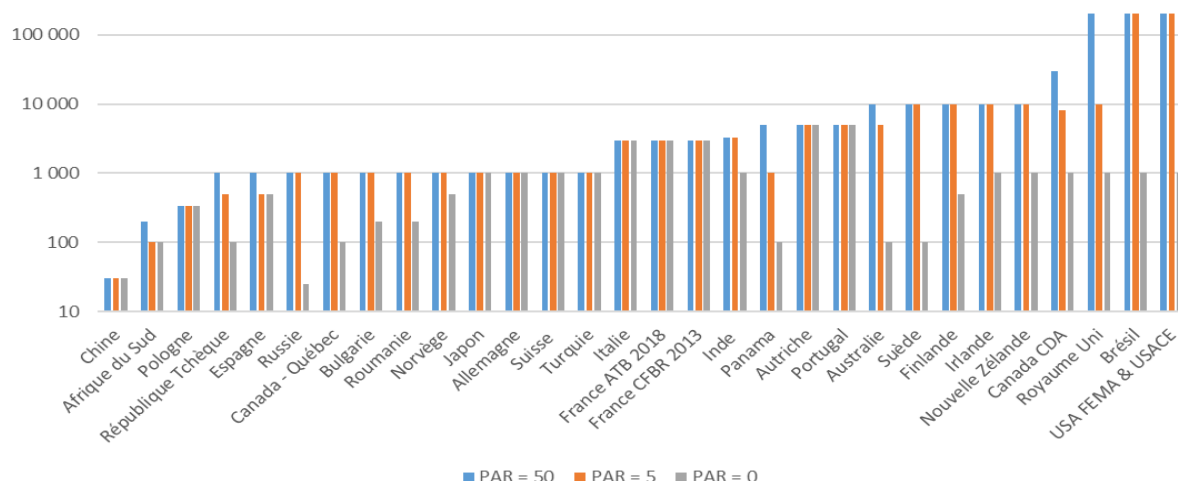
Ainsi, le volume de la retenue et la hauteur du barrage, en tant que tels, n'ont que peu d'influence sur la classe des grands barrages (au sens CIGB). Ces paramètres peuvent cependant avoir une influence sensible sur l'onde de rupture et donc sur le nombre de personnes exposées, ce dont ne rend pas compte la présente comparaison, à PAR identique (pour des valeurs différentes de PAR, voir figure 26).

#### 4.6. Barrage en remblai de taille moyenne

La figure 27 s'intéresse à un barrage en remblai de 20 m de hauteur et de 5 hm<sup>3</sup> de capacité (classe B en France). Il compare les périodes de retour de la crue exceptionnelle selon le nombre de personnes exposées au risque de rupture.

Pour 17 pays (ceux dont le classement des barrages intègre des critères de risque), la diminution du risque aval entraîne une diminution de la période de retour associée à la crue exceptionnelle. Pour 7 pays, le fait de passer de 50 à 5 personnes exposées au risque de rupture entraîne une diminution de la période de retour. Et parmi ces pays, pour 5 d'entre eux, le fait de passer à 0 personnes exposées au risque de rupture entraîne une nouvelle diminution de la période de retour. Pour 10 autres pays, ce n'est que le fait de passer à 0 personnes exposées au risque de rupture qui entraîne une diminution de la période de retour. La diminution peut être, au final, de plus de deux ordres de grandeur.

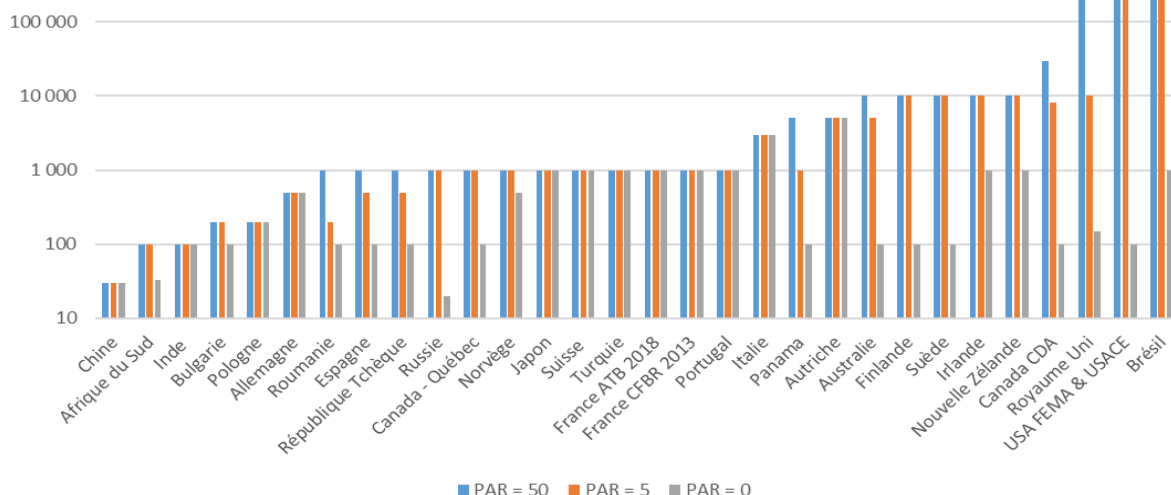
Il en résulte que, dans le cas d'un barrage ne présentant pas de risque pour les personnes, la période de retour associée à la crue exceptionnelle varie considérablement d'un pays à l'autre (25 ans pour la Russie, 5000 ans pour l'Autriche). Les valeurs les plus élevées sont pour des pays européens (Italie, France, Autriche, Portugal) où le nombre de personnes exposées n'est pas pris en compte dans le classement des barrages, au motif que tout barrage, même de moyenne importance, aurait des conséquences pour les personnes en cas de rupture.



**Figure 27** – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage remblai, H=20 m, V=5 hm<sup>3</sup>

#### 4.7. Barrage en remblai de petite taille

La figure 28 s'intéresse à un barrage en remblai de 10 m de hauteur et de 0,9 hm<sup>3</sup> de capacité (classe C en France). Il compare les périodes de retour de la crue exceptionnelle selon le nombre de personnes exposées au risque de rupture.

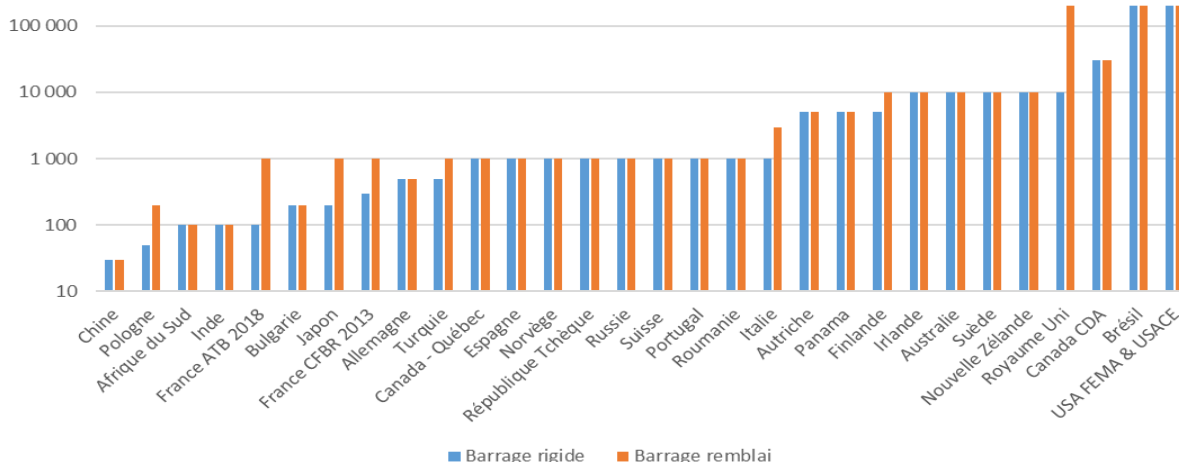


**Figure 28** – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage remblai,  $H=10$  m,  $V=0,95$  hm<sup>3</sup>

Les résultats sont très proches de ceux exposés précédemment pour le barrage de 20 m de hauteur. Pour 17 pays, la diminution du nombre de personnes à risque fait baisser la période de retour de la crue exceptionnelle. Pour sept pays, la baisse se fait en deux temps, lors du passage de 50 à 5 personnes exposées, puis à nouveau lors du passage de 5 à 0 PAR ; la diminution peut être, au final, de plus de deux ordres de grandeur. Pour dix autres pays, ce n'est que le fait de passer à 0 personnes exposées au risque de rupture qui entraîne une diminution de la période de retour.

Il en résulte que, dans le cas d'un petit barrage ne présentant pas de risque pour les personnes, la période de retour associée à la crue exceptionnelle varie considérablement d'un pays à l'autre (25 ans pour la Russie, 5000 ans pour l'Autriche). La moitié des pays convergent cependant vers des valeurs de période de retour voisines de 100 ans. Les valeurs les plus élevées sont pour les pays européens qui ne prennent pas en compte les conséquences de la rupture (dont la France).

Toujours sur cette catégorie des petits barrages, et sur l'exemple d'un barrage de 10 m de hauteur et de 0,9 hm<sup>3</sup> de capacité, avec 50 personnes exposées au risque de rupture, la figure 28 présente la comparaison entre barrage rigide et barrage en remblai. Seuls sept pays (un quart de l'effectif) appliquent des critères plus sévères pour les barrages en remblai. C'est la même proportion (et quasiment les mêmes pays) que pour le barrage de 50 m de hauteur et 260 hm<sup>3</sup> de capacité (figure 2).



**Figure 29** – Période de retour de la crue exceptionnelle – Barrage  $H=10$  m,  $V=0,9$  hm<sup>3</sup>,  $PAR=50$

## 5. Comparaison des pratiques en considérant simultanément la crue exceptionnelle et la crue extrême

---

Lors du passage de la crue extrême, le barrage peut subir des désordres, mais sans que sa sécurité ultime soit mise en cause ; le risque de rupture reste faible.

Dix pays (sur 28 pratiques nationales analysées) prescrivent ou recommandent de prendre en compte une crue extrême, en plus de la crue exceptionnelle. Ce sont l'Afrique du Sud, la Russie, la Chine, l'Allemagne, l'Espagne, la France<sup>14</sup>, la Norvège, la Pologne, la Suisse et la Turquie. Cette pratique n'est donc pas (encore) majoritaire. Mais cette faible valeur est à relativiser car certains pays adoptent une crue exceptionnelle très élevée (typiquement la PMF) qui couvre donc les situations extrêmes.

**C'est donc la comparaison simultanée crue exceptionnelle et crue extrême qui est analysée dans cette section, malgré tous les raccourcis que comporte une telle comparaison.** Pour établir des comparaisons mêlant ces deux critères (quand ils existent), nous parlerons de **crue la plus sévère**.

Les graphiques qui suivent donnent les résultats ordonnés de ces comparaisons.

---

<sup>14</sup> En France, la prise en compte d'une crue extrême s'applique à tous les ouvrages dans les recommandations professionnelles, mais la réglementation ne la prescrit que pour les ouvrages neufs ou reconstruits.

## Crue exceptionnelle, crue extrême et sûreté des barrages

L'évaluation de la sûreté d'un barrage en crue se réalise en étudiant différentes situations de projet :

- crue exceptionnelle (avec défaillance EVC associée aux corps flottants),
- crue extrême (sans défaillance EVC),
- autre crue plus fréquente associée à une défaillance d'EVC hors corps flottants.

Chaque situation de projet est examinée et comparée afin de déterminer la situation la plus dimensionnante pour le barrage. Pour chaque situation, l'évaluation de la sûreté combine plusieurs considérations, comme l'illustre le diagramme ci-dessous, de manière simplifiée :

| <i>Période de retour</i> | <i>=&gt;</i>                                                    | <i>Hydro-gramme(s) de crue</i> | <i>=&gt;</i>                                                                                                           | <i>Passage de la crue (cote, hauteurs, ...)</i> | <i>=&gt;</i>                                                                                                                                                        | <i>Evaluation de la Sécurité du barrage</i> |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                          | <i>Méthode (plus ou moins prudente) de l'étude hydrologique</i> |                                | <i>Prise en compte éventuelle des facteurs qui affectent le passage des crues (embâcles, disponibilité des vannes)</i> |                                                 | <i>Critères sur les revanches pour la crête et les bajoyers,</i><br><br><i>Facteurs de sécurité sur les calculs de stabilité des barrages en situations de crue</i> |                                             |

Ainsi, la période de retour, qui est le point de départ de l'évaluation, n'est pas le seul critère.

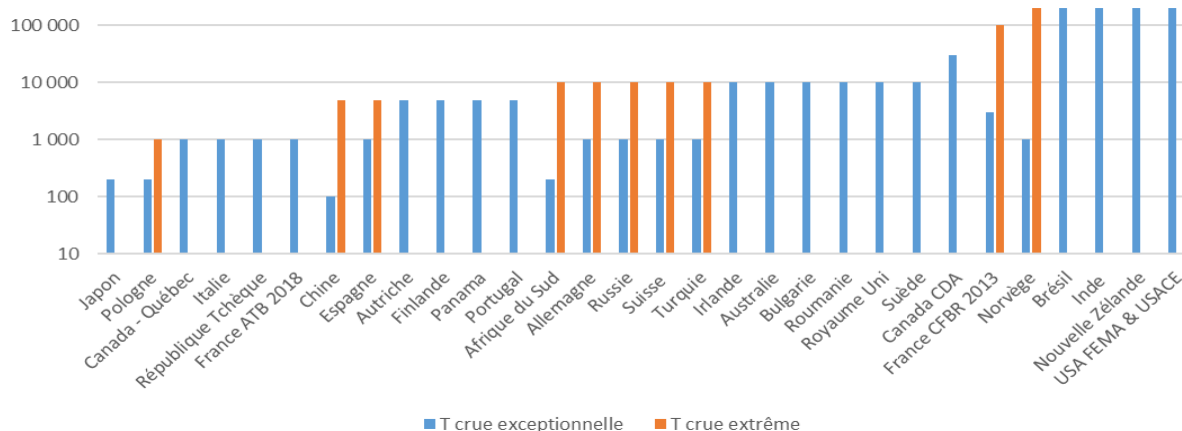
Pour cette raison, dans la pratique française (Recommandations françaises, ATB), la crue extrême peut être, pour certains barrages, moins « dimensionnante » que les situations prévues dans l'ATB :

- la crue exceptionnelle, car les critères sur les revanches et les facteurs de sécurité sont moins exigeants pour la crue extrême (qui est un cas accidentel) que pour la crue exceptionnelle (qui est un cas rare). Par ailleurs les cotes atteintes peuvent être sensiblement majorées par la prise en compte des corps flottants et de leur impact sur la débitance et se rapprocher de la cote atteinte en crue extrême ;
- la combinaison d'une crue plus fréquente et d'un dysfonctionnement des organes d'évacuation des crues (hors corps flottants), car la cote atteinte en crue extrême peut parfois être plus basse que la cote atteinte par une crue plus fréquente combinée à une défaillance de l'évacuateur.

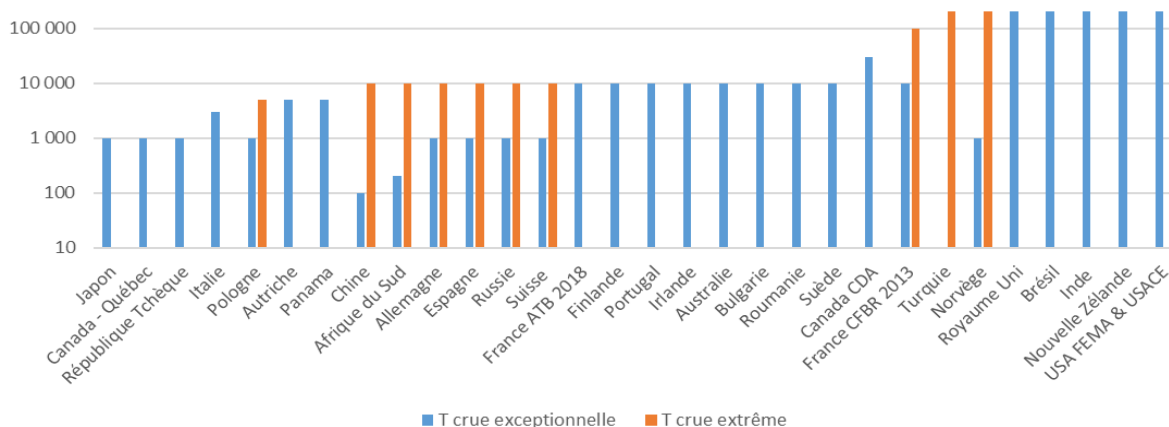


## 5.1. Pour les grands barrages

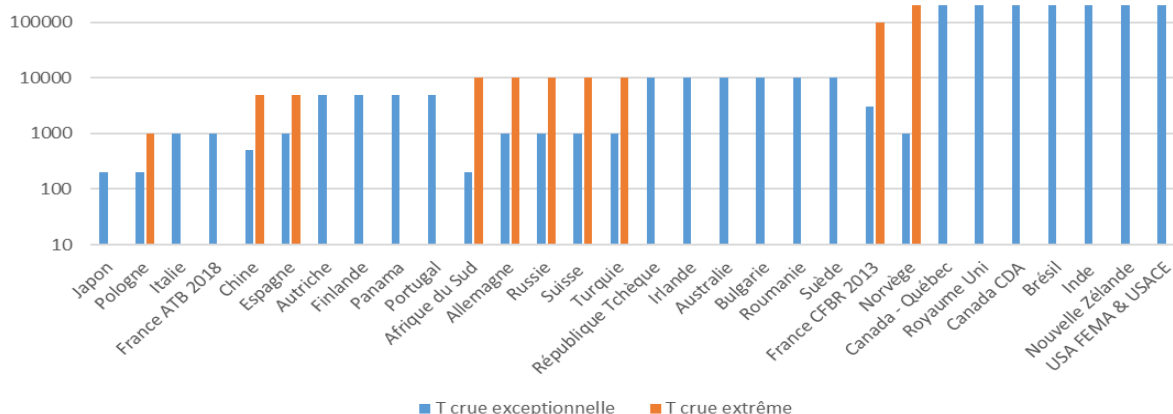
Dans le cas d'un grand barrage en béton avec 50 personnes à risque (Figure 30) la période de retour associée à la crue extrême varie de 1 000 ans (Pologne) à la PMF (Norvège). Dans le cas d'un grand barrage en remblai (Figure 31), la période de retour associée à la crue extrême varie de 5 000 ans (Pologne) à la PMF (Norvège et Turquie). Chine, Pologne, Espagne et Turquie adoptent des critères plus sévères pour les barrages en remblai ; les autres pays (Afrique du Sud, Russie, Allemagne, France, Norvège et Suisse) ont des critères identiques pour la crue extrême quel que soit le type de barrage. Pour deux pays seulement, le nombre de personnes à risque fait varier la période retour ; cette dernière passe de 5 000 à 1 000 ans en Chine et de 200 000 à 10 000 ans en Norvège quand le nombre de PAR passe de 50 à 5. A contrario, il n'y a pas de variation sur la période de retour de la crue extrême quand on passe de 50 à 1000 personnes exposées (Figure 32).



**Figure 30** – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage rigide H=50 m, V=260 hm³, PAR=50



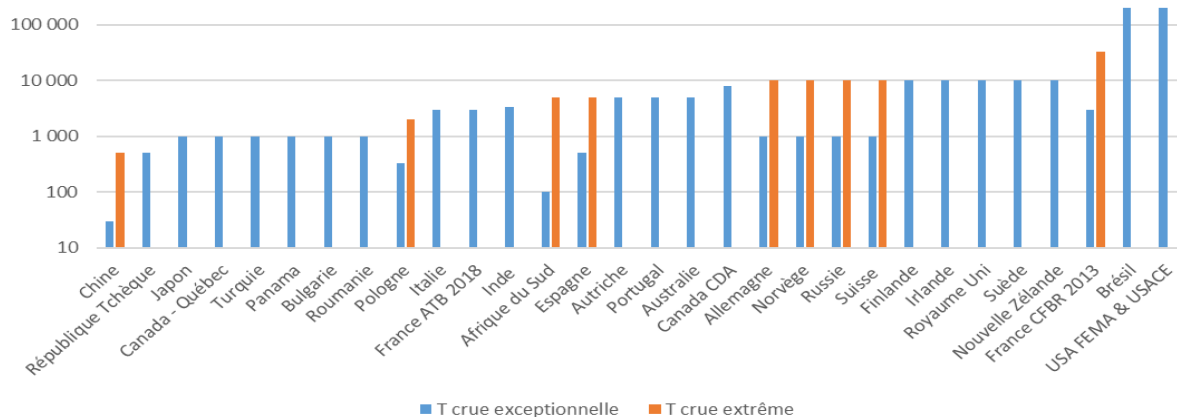
**Figure 31** – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage remblai H=50 m, V=260 hm³, PAR=50



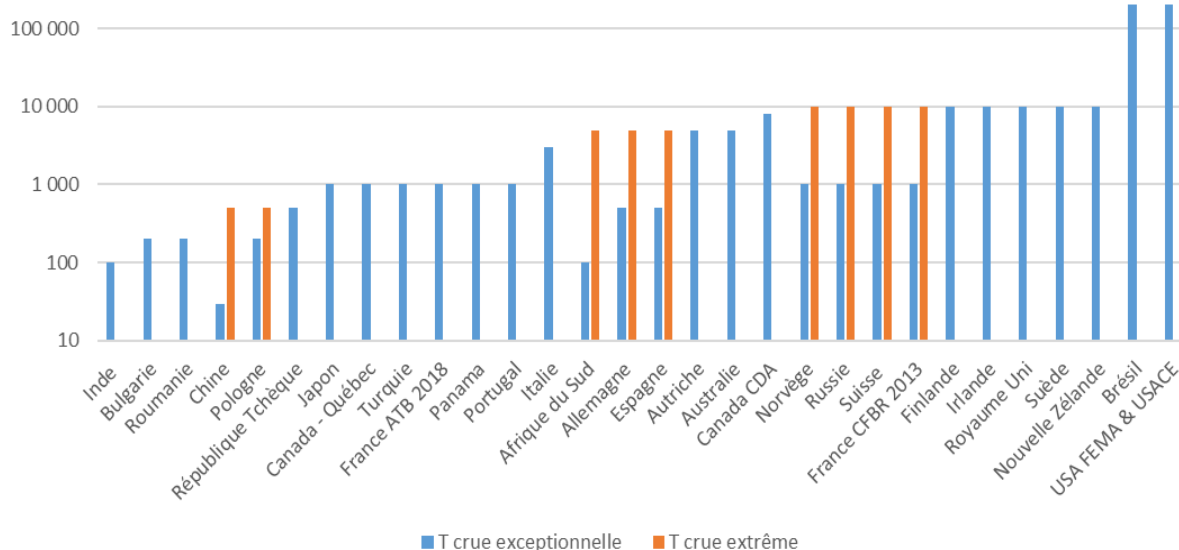
**Figure 32** – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage rigide  $H=50$  m,  $V=260$  hm<sup>3</sup>,  $PAR=1000$

## 5.2. Pour les moyens et petits barrages

Nous menons la comparaison pour les barrages en remblai, qui représentent la grande majorité de ces catégories de taille. La figure 33 s'intéresse au cas d'un barrage en remblai de classe B (selon la classification française) avec 5 personnes à risque. La figure 34 s'intéresse au cas d'un barrage en remblai de classe C (selon la classification française), toujours avec 5 personnes à risque.



**Figure 33** – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage remblai  $H=20$  m,  $V=5$  hm<sup>3</sup>,  $PAR=5$



**Figure 34** – Période de retour des crues exceptionnelle/extrême – Barrage remblai  $H=10$  m,  $V=0,95$  hm<sup>3</sup>, PAR=5

Neuf pays proposent la prise en compte d'une crue extrême pour les barrages moyens et petits. C'est la même liste que précédemment pour les grands barrages, avec la Turquie en moins. Pour les barrages en remblai de moyenne importance, la période de retour associée à la crue extrême varie de 500 ans (Chine) à 33 000 ans (recommandations CFBR), 4 pays adoptant la valeur de 10 000 ans. Pour les petits barrages en remblai présentant des enjeux humains, la période de retour associée à la crue extrême varie de 500 ans (Chine) à 10 000 ans (quatre pays).

Si le barrage ne présente pas d'enjeux humains en cas de rupture (PAR = 0), et que ce soit un barrage de classe B ou de classe C au sens de la réglementation française, seuls 6 pays maintiennent la prise en compte d'une crue extrême (Afrique du Sud, Allemagne, Espagne, Norvège, Suisse et recommandations CFBR), la France (recommandations CFBR) étant alors en haut de la fourchette des prescriptions.

#### Commentaires sur la prise en compte d'une crue extrême, en plus de la crue exceptionnelle :

Ainsi qu'on peut l'observer sur les figures 29 et 31 pour le cas d'un grand barrage en béton, les 10 pays qui prennent en compte la crue extrême étaient dans la moitié gauche de la figure 25 pour ce qui concerne la crue exceptionnelle, la considération de la crue extrême pouvant éventuellement compenser la relative faiblesse des critères pour la crue exceptionnelle. C'est particulièrement le cas pour la Chine et l'Afrique du Sud qui se déplacent vers le milieu du graphique.

Et en contre-point, on pourrait s'interroger sur les 7 pays qui associent la crue exceptionnelle à la PMF : les critères de projet appliqués pour le passage de cette crue n'auraient-ils pas tendance à se rapprocher de ceux de la crue extrême ? L'analyse des pratiques américaines et des recommandations de la CDA montre qu'il n'en est rien, la crue exceptionnelle associée à la PMF devant passer sur l'évacuateur avec les marges de sécurité courantes. Cependant, l'analyse de risque et les considérations sur les dommages additionnels en cas de rupture autorisent à atténuer les critères associés à cette crue exceptionnelle lorsque les enjeux humains restent faibles.

## 6. Synthèse

---

Les critères de sécurité associés aux situations de crues exceptionnelles sont sensiblement différents d'un pays à l'autre, en particulier pour la disponibilité des vannes (y/c en présence d'embâcles) ou la revanche, ainsi que, à l'image de l'ATB, pour la combinaison de défaillances d'organes et d'épisodes de crues. Par conséquent, les comparaisons ci-dessous, basées uniquement sur la période de retour des crues, ont leurs limites, puisqu'elles ne permettent pas de connaître *a priori* la situation dimensionnante.

La gamme de période de retour des **crues exceptionnelles** est très large, allant de 100 ans (Chine) à plus de 100 000 ans (quatre à cinq pays adoptant la PMF). Cependant, pour les barrages rigides, plus des 2/3 des pays adoptent une période de retour allant de 1000 à un peu plus de 10 000 ans. La gamme de période de retour est également sensiblement réduite si l'on s'intéresse uniquement aux pays européens : elle s'étend seulement de 1000 à 10 000 ans si l'on exclut aux deux extrémités la Pologne (200 ans pour les barrages rigides) et le Royaume-Uni (PMF pour les barrages en remblai).

Pour la crue exceptionnelle, les recommandations CFBR et la réglementation française se situent au centre des graphiques, le nombre de pays adoptant des critères plus sévères étant pratiquement égal à celui des pays moins exigeants. Ce constat vaut surtout pour les grands barrages en remblai, moins pour les grands barrages rigides où nous sommes plutôt dans le second groupe. Pour les barrages de classe B et C, sans enjeux humains, les recommandations CFBR figurent parmi les niveaux d'exigences les plus élevés.

Dix pays (36%) prescrivent (ou recommandent) de prendre en compte une **crue extrême**, pour les grands barrages, en plus de la crue exceptionnelle. Les critères associés à la crue extrême sont relativement homogènes : lors de la crue extrême, le barrage peut subir des désordres, mais sans que sa sécurité ultime soit mise en cause.

La pratique d'une double vérification n'est donc pas majoritaire. Mais ce faible nombre est à relativiser car certains pays adoptent une crue exceptionnelle très élevée (PMF) qui couvre donc les situations extrêmes. C'est donc la comparaison simultanée crue exceptionnelle et crue extrême qui a été analysée.

Si l'on rassemble les critères liés à la crue exceptionnelle et à la crue extrême (notion de **crue la plus sévère**), et en considérant les recommandations du CFBR, la France se situe à un rang intermédiaire d'exigences. Si l'on considère l'ATB pour les barrages en service, l'absence de crue extrême implique que la France reste dans cette même gamme pour les grands barrages en remblai et est moins exigeante pour les barrages rigides.

## Partie 3 - Accidentologie

### 1. Introduction

---

Le chapitre 3 concerne le point suivant du mandat :

*o Analyser le retour d'expérience international des ruptures de barrages en crues et des leçons à en tirer dans le contexte français ;*

Le GT a pris la liberté d'adapter le mandat :

- Seules les ruptures documentées postérieures à 2000 sont prises en compte<sup>15</sup> ;
- Le REX est élargi aux deux accidents sans rupture significatifs post 2000, typiquement Oroville ;
- Des indications sont données concernant le REX des incidents sur le parc français ;
- Une liste non exhaustive de travaux d'études et de recherche postérieurs à 2013 et susceptibles de faire évoluer le texte des Recommandations est fournie.

### 2. Résultats de la collecte de cas

---

Le REX international comporte 27 accidents significatifs, dont plusieurs avec rupture.

Le REX d'incidents sérieux en France comporte 9 cas.

Les aspects hydrologiques et hydrauliques sont en cause (ou sont suspectés) dans environ la moitié des cas au plan international, parfois concomitamment avec d'autres facteurs. Cette proportion s'élève à 2/3 pour le REX français, portant plutôt sur des petits barrages.

Les enseignements de ces cas d'études permettent de mettre en évidence des sujets-clé, facteurs décisifs dans le scénario de rupture ou dans la résistance ultime du barrage. La plupart de ces sujets sont abordés dans les Recommandations CFBR de 2013, mais certains peuvent mériter des développements nouveaux et une révision des recommandations ; ils sont cités dans le tableau ci-après avec pour chacun :

- Les cas d'étude concernés ;
- Les enseignements synthétiques du retour d'expérience ;
- L'opportunité d'une prise en compte dans le cas d'une révision des recommandations de 2013 ;
- Les cas échéant, des sources documentaires utiles, postérieures à 2013 ;
- Une note sur l'importance du sujet ;
- Une note sur la nature du traitement à considérer dans les révisions.

---

<sup>15</sup> Il a été décidé de limiter l'inventaire à cette période car, comme l'a montré l'article [2], les causes de ruptures de barrages ont sensiblement changé au cours des dernières décennies. Les causes de type « Exploitation » sont devenues très majoritaires devant les causes « Conception ».

Plusieurs sujets apparaissent comme méritant des évolutions dans nos recommandations en lien avec l'accidentologie. Les plus importants sont les suivants :

- La résistance structurelle des évacuateurs ;
- La résistance à l'érosion du rocher à l'aval des barrages en béton, en cas de déversement exceptionnel ; avec la question de la cinétique, pertinente dans le contexte français (quelques heures de déversement) ;
- La résistance à l'érosion par submersion des barrages en remblai et la détermination de la cote de danger en tenant compte des travaux du GT CFBR Erosion ;
- La cinétique des événements VS le temps nécessaire aux décisions et actions (vérification du réalisme des opérations figurant dans les consignes, y compris l'organisation de l'exploitation comme parade au risque de défaillance des ouvrages vannés) ;
- La fiabilité du contrôle-commande : déjà bien couvert par les Recommandations de 2013, mais sans doute utile de réviser finement les recommandations, à la lumière de plusieurs travaux récents ;
- La sécurité en exploitation : dans le cas des barrages vannés, la sécurité en exploitation vise à éviter la mise en danger à l'aval lors des opérations d'ouverture des vannes en exploitation courante, hors crue. Il y a compétition entre les enjeux « sécurité du barrage en crue » (qui implique des vannes très fiables à l'ouverture) et les enjeux « risques aux personnes en exploitation normale » (qui implique des vannes très fiables à la non ouverture). L'expérience montre qu'il y a des arbitrages à trouver entre sécurité « amont » (ouverture en crue) et sécurité « aval » (non ouverture en crue) ;
- L'actualisation de la partie « Recommandations pour l'évaluation des crues » des recommandations CFBR 2013 ;
- Enrichir le chapitre « Dimensionnement des évacuateurs vis-à-vis des corps flottants des recommandations CFBR 2013 ;
- Proposer une approche fonctionnelle globale du passage des crues, en distinguant trois sous-fonctions :
  - o La sous-fonction de contrôle du débit à évacuer, qui embarque les questions de dimensionnement hydrologique ;
  - o La sous-fonction de transfert du débit à évacuer ;
  - o La sous-fonction de dissipation aval de la puissance de l'écoulement évacué, et la maîtrise du contrôle de l'érosion.

| Sujets-clé                                                                                  | Cas d'étude                                    | Enseignements du REX                                                                                                                                                                   | Opportunité d'une révision des recommandations de 2013                                                                                      | Sources documentaires            | Imp. <sup>16</sup> | Trait. <sup>17</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------|
| Résistance structurelle des évacuateurs                                                     | Oroville, Swa<br>Chaung, ToddBrook             | La résistance structurelle en crue pose des problèmes complexes (pressions dynamiques, cavitation), partiellement abordés dans les Recommandations et mal couverts par la littérature. | Une révision pourrait faire l'inventaire des sujets et ouvrir quelques pistes pour des approches quantitatives.                             |                                  | ++                 | D                    |
| Cote de danger des barrages en béton : Résistance du rocher à l'érosion externe             | Oroville evc<br>secondaire, Ho-Ho,<br>Rouvière | Thématique centrale dans la justification des barrages en béton.                                                                                                                       | Ce sujet figure pour l'instant en annexe « R&D » => mérite d'être intégré au corps des recommandations, en intégrant les avancées récentes. | Atelier Aussois<br>Document FERC | ++                 | T                    |
| Cote de danger des barrages en remblai : résistance à retenue très haute ou légère surverse | Oaky, Delhi,<br>TaumSauk                       | Thématique centrale dans la justification des barrages et digues en remblai (constitution et dimensionnement de la crête)                                                              | Hors sujet du GT : pris en charge par GT Erosion (barrages en remblai »)                                                                    |                                  | X                  | N                    |

<sup>16</sup> Importance du sujet : ++ (doit impérativement être traité) / + (utile) / - (secondaire) / X (hors sujet)

<sup>17</sup> Traitement du sujet : N(éant) / E(voqué succinctement en quelques lignes) / D(éveloppé en quelques paragraphes) / T(ravallé en profondeur en quelques pages)

| Sujets-clé                                                            | Cas d'étude                                                | Enseignements du REX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Opportunité d'une révision des recommandations de 2013                                                                                                            | Sources documentaires                 | Imp. <sup>16</sup> | Trait. <sup>17</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Cinétique des événements VS Temps nécessaire aux décisions et actions | Oroville (évacuation), Oaky, Delhi, Hastberga, Plan d'Arem | <p>Sujet en cause dans plusieurs cas de rupture causée par des évacuateurs vannés.</p> <p>Il n'existe pas de règles : ouvrir des pistes pour une approche quantitative serait un progrès utile.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>Figure déjà dans les Recommandations, mais de manière qualitative.</p> <p>Il semble possible de faire progresser cet aspect dans un sens plus quantitatif.</p> | <p>Article [1]</p> <p>Article [2]</p> | ++                 | T                    |
| Robustesse intrinsèque                                                | Oroville, El Guapo [et tous sans doute]                    | <p>Cet item englobe toutes les dispositions prises, au-delà des calculs, pour obtenir un barrage robuste, qui ne serait pas trop sensible à une mise en défaut (crue &gt; crue projet ; instabilité locale ; comportement inattendu ...). Ce sont aussi les « marges cachées ».</p> <p>Il est jugé utile de faire davantage la distinction entre les barrages sensibles ou moins sensibles à une défaillance de l'évacuation des crues et peut-être adapter les critères en conséquence (Cette distinction est déjà admise et pratiquée, mais au 1<sup>er</sup> ordre seulement : barrages en remblai / barrages en béton).</p> | <p>.</p> <p>Il serait possible d'intégrer cela dans une réflexion sur une révision / un affinage des critères de dimensionnement.</p>                             |                                       | +                  | D                    |



| Sujets-clé                          | Cas d'étude                         | Enseignements du REX                                                                                                                                                                                                                                              | Opportunité d'une révision des recommandations de 2013                                                                                                | Sources documentaires                           | Imp. <sup>16</sup> | Trait. <sup>17</sup> |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Crues de chantier                   | Tokwe Mukorsi<br><br>Malawi         | Thématique importante pour tous les travaux sur évacuateurs.                                                                                                                                                                                                      | Intégré qualitativement dans les Recommandations. Il serait utile de proposer des éléments de quantification. ?                                       | Arrêté de 2018                                  | +                  | D                    |
| Onde de rupture des petits barrages | Patel, Situ Gintung, Bourgogne 2016 | La question : comment faire simplement la part des choses entre petits barrages dangereux et petits barrages pas dangereux. La distance aux habitations n'est pas un très bon critère (par ex : Patel, ou Val di Stava). Thématique importante, mais hors sujet ? |                                                                                                                                                       |                                                 | X                  | N                    |
| Embâcles                            | Ivanovo, Testalinden, Kamp River,   | Plusieurs incidents, dont des ruptures sur des ouvrages de petite taille.                                                                                                                                                                                         | Il y a un logigramme embâcles dans les Recommandations.<br><br>Benchmark utile de ce § « embâcles », qui était basé sur des références peu nombreuses | Travaux du comité suisse, bulletin cigb         | +                  | D - T                |
| Fiabilité du contrôle commande      | Oaky, Hastberga, TaumSauk           | En cause dans de nombreux incidents d'exploitation.                                                                                                                                                                                                               | Déjà bien couvert par les Recommandations de 2013, mais sans doute utile de réviser finement les recommandations, car plusieurs travaux récents.      | REX ARIA et publications betcgb, Bulletin CIGB, | ++                 | D - T                |

| Sujets-clé                                                 | Cas d'étude                     | Enseignements du REX                                                                                                                                                                                       | Opportunité d'une révision des recommandations de 2013                                                                                                                                                   | Sources documentaires | Imp. <sup>16</sup> | Trait. <sup>17</sup> |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| Sécurité en exploitation<br>Arbitrage « amont-aval »       | Larji , Indira Sagar, Manikheda | Ce sujet a un impact sur la conception des évacuateurs vannés. Des pistes sont indiquées dans les recommandations CFBR 2013, mais ne correspondent pas à une démarche complète de conception               | Possibilité d'approfondir les recommandations.                                                                                                                                                           |                       | ++                 | T                    |
| Hydrologie Laves<br>torrentielles<br>Changement climatique | El Guapo<br>La Chal             | Les laves torrentielles doivent être considérées lorsque le site y est exposé.<br><br>Changement climatique : les travaux scientifiques avancent et peuvent permettre d'aller un peu plus loin qu'en 2013. | Nécessaire de faire référence aux événements de type lave torrentielle (non inclus).<br><br>Prise en compte des acquis scientifiques sur le changement climatique : fournir quelques éléments est utile. | Publication Irstea    | +<br><br>+         | E<br><br>E           |

Les pages qui suivent dressent la liste des cas d'étude et des sources documentaires.

### 3. REX international : Ruptures et accidents significatifs

| Événement                                               | Illustration                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | § concernés                                                                                                                                                                                                                                          | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Toddbrook,<br>UK<br><br>2019<br><br>H=30m,<br>V=1,2 hm3 |  <p>Source : Toddbrook Reservoir ; Independent Review Report ; 10 February 2020</p>                                                                                                                                     | <p><b>Défaillance Structurale</b></p> <p>Mise en défaut de la structure de l'évacuateur de secours / ou des remblais sous-jacents.</p> <p>A l'occasion d'une crue forte (centennale ?).</p> <p>Il semblerait qu'un incident de même nature se soit produit en 1964.</p> <p>Evacuation de la population (REX sur la chronologie).</p> | <p>§4.3.4 Dimensionnement hydraulique</p> <p>§4.3.5 Dimensionnement structurel (mais qui ne traite pas de ce type de désordre)</p> <p>Sujets très peu traités dans les recommandations CFBR 2013. Sujets jugés importants et délicats par le GT.</p> | <p>Mieux lister et décrire les sujets relatifs à la justification structurelle, sans pour autant les traiter (ce serait hors de portée).</p> |
| Bell Falls Dam,<br>Canada<br><br>2019                   |  <p>Source : <a href="https://www.cbc.ca/news/canada/montreal/quebec-flooding-bell-falls-dam-evacuation-1.5111947">https://www.cbc.ca/news/canada/montreal/quebec-flooding-bell-falls-dam-evacuation-1.5111947</a></p> | <p><b>Hydrologie</b></p> <p>La cote de projet (1000 ans), pour laquelle le barrage est dimensionné, a été atteinte.</p> <p>Le barrage est conçu pour surverser.</p>                                                                                                                                                                  | <p>Hydrologie</p> <p>Trop tôt pour tirer des leçons.</p>                                                                                                                                                                                             | -                                                                                                                                            |

| Événement                   | Illustration                                                                                                                                      | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | § concernés                                                                                                                                                                       | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Spencer Dam,<br>USA<br>2019 |  <p>Source : Spencer Dam Failure Investigation Report, ASDSO</p> | <p><b>Causes de la rupture pas</b></p> <p><b>Défaillance exploitation ?</b></p> <p><b>Défaillance hydrologique</b></p> <p><b>(Embâcles de glace) ?</b></p> <p>Les vannes étaient-elles ouvertes lors de la crue ?<br/>Difficile à dire ...</p> <p>En tous cas, événement climatique exceptionnel (« March 2019 North American blizzard [...] Comparable to the 1993 Storm of the Century »)</p> | <p>Manque d'indications précises sur les causes de la rupture</p> <p>Pas assez de détails dans ce REX pour prendre en compte dans les recommandations.</p>                        |                                                                                                            |
| Patel,<br>Kenya<br>2018     |                                                                 | <p><b>Défaillance hydraulique</b></p> <p>Pas d'évacuateur ?</p> <p>Une leçon : toutes petites retenues (en volume) peuvent faire beaucoup de victimes ...</p>                                                                                                                                                                                                                                   | <p>Pour les petits barrages, il est difficile d'évaluer simplement le risque aval. Cf. également la rupture plus ancienne de Val di Stava (160 000 m<sup>3</sup>, 268 morts).</p> | <p>Le pb de l'onde de rupture des petits barrages, néanmoins hors du domaine des recommandations CFBR.</p> |

| Événement                             | Illustration                                                                                                                                                                                                                      | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                 | § concernés                       | Evolution souhaitable des Recommandations ? |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|
| Swa Chaung<br><br>Myanmar<br><br>2018 |                                                                                                                                                  | <b>Défaillance structurelle</b><br><br>Rupture du seuil de l'évacuateur et PHE dépassée ?                                                                                                                                                                             | §4.3.5 Dimensionnement structurel |                                             |
| Guajataca<br>Porto Rico<br>2017       | <br><br>Source : Wikipedia & Geotechnical Extreme Event Site Reconnaissance in Puerto Rico After The Passage of Hurricane Maria, F. Silva-Tulla | <b>Défaillance hydraulique</b> (débordements puis érosion bassin de dissipation).<br><br>Pas assez de détails dans ce REX pour donner plus de précisions.<br><br>A noter également la structure très légère du coursier pouvant induire une défaillance structurelle. | §4.3.4                            | Déjà couvert par les recommandations.       |

| Événement                                                | Illustration                                                                                                                                                                               | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                  | § concernés                                                                                                                                                                                                                     | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oroville,<br>évacuateur principal<br><br>USA<br><br>2017 |  <p>Source : La crise d'Oroville en Février 2017 : éclairage technico-historique, B. Goguel, CFBR2017</p> | <p><b>Défaillance Structurale</b></p> <p>Mise en défaut :</p> <p>Fissuration / Cavitation sur défaut local.</p> <p>Sous-pressions (statiques, dynamiques).</p> <p>Quelles auraient été les bonnes pratiques (déjà documentées à l'époque de la construction) qui ont été ignorées.</p> | <p>§4.3.4 Dimensionnement hydraulique</p> <p>§4.3.5 Dimensionnement structurel (mais qui ne traite pas de ce type de désordre)</p> <p>Sujets très peu traités dans les Reco. Sujets jugés importants et délicats par le GT.</p> | <p>Mieux lister et décrire les sujets relatifs à la justification structurelle, sans pour autant les traiter (ce serait hors de portée).</p>                                                                                                                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                            | <p><b>Autres leçons :</b></p> <p>REX de l'évacuation (timing).</p> <p>Limites des études d'analyse de risque .</p> <p>Robustesse intrinsèque : très grave accident sans rupture.</p>                                                                                                   | <p>§3.1 Démarche globale pour fiabilité</p> <p>§3.5 (gestion du passage des crues)</p> <p>Sujets non couverts, pour partie hors sujet des recommandations CFBR 2013.</p>                                                        | <p>Le sujet de la robustesse intrinsèque (par exemple : toutes choses égales par ailleurs, un EVC sur remblai est plus risqué qu'un EVC loin du barrage) pourrait être intégré.</p> <p>Le sujet de la cinétique : temps disponibles pour manœuvres / manœuvres de secours / alerte / évacuation</p> |



| Événement                                                     | Illustration                                                                                                                                                                               | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | § concernés                                                                                                                                            | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                             |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Oroville, évacuateur secondaire</p> <p>USA</p> <p>2017</p> |  <p>Source : La crise d'Oroville en Février 2017 : éclairage technico-historique, B. Goguel, CFBR2017</p> | <p><b>Défaillance structurelle</b></p> <p>Surverse de 50 cm pendant 15-20h</p> <p>Mise en défaut : érosion aval restitution</p> <p>Thématique de la résistance des coursiers non revêtus</p> <p>Attention à l'idée d'évacuateur rustique d'urgence à « dégâts maitrisables », qui ne sont pas faciles à maîtriser.</p> | <p>§4.3.5 Dimensionnement structurel (mais qui ne traite pas de ce type de désordre)</p> <p>Des besoins récurrents en ingénierie (cote de danger).</p> | <p>Le sujet de la résistance à l'érosion à l'aval des barrages rigides est central.</p> |

| Événement                                        | Illustration                                                                      | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                               | § concernés                                                                                                   | Evolution souhaitable des Recommandations ?                  |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <p>Tokwe Mukorsi</p> <p>Zimbabwe</p> <p>2014</p> |  | <p>Défaillance hydrologique (crue de chantier) et peut-être défaillance exploitation (DP partiellement fermée ?)</p> <p>NB : sujet récurrent : d'autres incidents / accidents non référencés.</p> <p>Crue de chantier : ici pour travaux neufs, mais leçons aussi valables pour travaux sur ouvrages existants.</p> | <p>§4.3.2.6</p> <p>Pas de critère quantitatif (alors que l'arrêté version août 2018 en donne : 3000 ans).</p> | <p>Le texte des Recommandations 2013 paraît bien adapté.</p> |



| Événement                         | Illustration                                                                                                                                                                                                                                         | Causes, enseignements                                                                            | § concernés                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oaky<br><br>Australie<br><br>2013 |  <p><i>Source : retour d'expérience des accidents de barrages liés au fonctionnement des évacuateurs de crue, Bacchus, Deroo, Lempérière, Poupart, CFBR2017</i></p> | <p><b>Exploitation</b></p> <p>Vannes non ouvertes pendant les crues</p> <p>Crue très rapide.</p> | <p>§3.5 : passage des crues.<br/>(§3.3.4 surveillance et conduite)</p> <p>Cas de charge partiellement couvert (§4.3.3.2.2) : études de fiabilité EDD ou cas barrages classes C et D. Oaky n'avait apparemment pas cette faculté de faire passer de petites crues sans ouverture de vannes.</p> <p>Les recommandations CFBR 2013 fournissent un corpus important d'outils relatif au passage des crues (contrôle commande), mais pas d'indication sur des « critères » de vérification.</p> | <p>Il est utile de faire avancer le texte des recommandations CFBR 2013 dans le sens d'une prise en compte plus quantitative des sujets de « timeline », (critères en temps disponible pour les différentes actions référencées dans les consignes de crue).</p> |

| Événement                                  | Illustration                                                                                                            | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | § concernés                                      | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                                |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Ivanovo</p> <p>Bulgarie</p> <p>2012</p> | <p><i>Source : Michel Poupart</i></p>  | <p><b>Défaillance par embâcles</b></p> <p>Le réservoir est gelé en surface sur 10 cm environ lors de l'arrivée d'un épisode pluvieux et d'un réchauffement brutal qui provoquent la débâcle de la retenue. Les blocs de glace se coincent entre les piles de l'évacuateur de surface à seuil libre. Le barrage est submergé et se rompt.</p> | <p>Traité au § 3.2.2.6 : logigramme embâcles</p> | <p>Plusieurs REX sur le sujet embâcles (incident, rapport du Comité Suisse) =&gt; à prendre en compte dans une révision des recommandations CFBR 2013.</p> |

| Événement                                    | Illustration                                                                                                     | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                             | § concernés                                      | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                          |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Testalinden</p> <p>Canada</p> <p>2010</p> | <p>Source : Michel Poupart</p>  | <p><b>Défaillance par embâcles</b></p> <p>Il est probable que la présence de nombreux débris dans l'eau (en raison des récentes pluies abondantes et des coupes de bois récentes dans la région) ont conduit au blocage de l'évacuateur et des pertuis de drainage. Le barrage a été submergé et s'est rompu.</p> | <p>Traité au § 3.2.2.6 : logigramme embâcles</p> | <p>Plusieurs REX sur le sujet embâcles (incident, rapport du Comité Suisse)<br/>=&gt; à prendre en compte dans une révision des recommandations.</p> |

| Événement                    | Illustration                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                         | § concernés                                                             | Evolution souhaitable des Recommandations ? |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Delhi<br><br>USA<br><br>2010 |  <p>Photo IV-17<br/>Photo taken following the complete breach through the roadway. Breach does not appear to be full depth (photo by T. McCarthy).</p> <p>Source : retour d'expérience des accidents de barrages liés au fonctionnement des évacuateurs de crue, Bacchus, Deroo, Lempérière, Poupart, CFBR2017</p> | <p><b>Exploitation</b></p> <p>Coincement d'une vanne à ouverture partielle (sur 3 vannes). Pas eu le temps d'aller décoincer.</p> <p>Rupture à cote très haute (12 h de cote de retenue &gt; cote étanchéité du remblai ; érosion interne, vortex).</p> <p>Pas de victime grâce à alerte.</p> | <p>§3.5 : passage des crues.</p> <p>§3.3.4 surveillance et conduite</p> | <p>Cf. Oaky</p>                             |

| Événement                          | Illustration                                                                                                     | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | § concernés | Evolution souhaitable des Recommandations ? |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|
| Hastberga<br><br>Suède<br><br>2010 | <p>Source : Michel Poupart</p>  | <p><b>Exploitation</b></p> <p>Suite à un arrêt de la centrale le contrôle commande n'a pas fonctionné correctement et aucune action n'a été prise par l'exploitant. La perte d'alimentation pour le système d'alarme et le contrôle commande de la vanne a entraîné la montée de la retenue. Le système d'ouverture automatique des vannes n'a pas fonctionné et le barrage a été submergé. L'érosion s'est accélérée très rapidement et a entraîné une rupture de barrage.</p> | Idem Oaky   | Cf. Oaky                                    |

| Événement                                         | Illustration                                                                                                                                                                                   | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | § concernés | Evolution souhaitable des Recommandations ? |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|
| <p>SITU<br/>GINTUNG<br/>Indonésie</p> <p>2009</p> |  <p><i>Source : communication représentant indonésien au comité sûreté CIGB, rapportée par M. Poupart</i></p> | <p>Ouvrage construit en 1932-1933, barrage en terre (h&lt;15m., L= 200m), évacuateur à seuil libre, en maçonnerie. Conséquences : plus de 200 morts (900 personnes dans la zone) ; pas de plan d'alerte ; l'“alerte” a été donnée par les habitants eux mêmes ; 162 mm de pluie le 26 mars (dont 70 mm en 1 heure), submersion du déversoir conduisant à une érosion régressive du pied du barrage et à la rupture (largeur de brèche = 70m). Réflexions en cours pour la suite (decommissioning ou reconstruction, consultations du public prévues). »</p> |             | <p>Cf Patel</p>                             |

| Événement                               | Illustration                                                                                                                                                       | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | § concernés                                                                                                                                                 | Evolution souhaitable des Recommandations ? |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <p>Ka Loko</p> <p>Hawaï</p> <p>2006</p> |  <p>Source : RCEM – Reclamation Consequence Estimating Methodology, USBR 2014</p> | <p>13 m, 1,5 hm<sup>3</sup>, 7 morts</p> <p><b>Cause : défaillance hydraulique et exploitation</b></p> <p>Evacuateur partiellement obstrué ; des points bas dans la crête (50 cm).</p> <p>Insuffisance de l'autorité de contrôle et déficience du propriétaire (stockage de matériaux dans l'EVC).</p> <p>Enjeux aval sous-estimés =&gt; surveillance insuffisante</p> | <p>§3.5 Passage des crues</p> <p>Pas de leçon particulière pour le rapport : il s'agit plutôt de la question des consignes de surveillance / VTA / EDD.</p> |                                             |



| Événement                               | Illustration                                                                                                                                                       | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                        | § concernés                                             | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                                               |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Taum Sauk</p> <p>USA</p> <p>2005</p> |  <p>Source : RCEM – Reclamation Consequence Estimating Methodology, USBR 2014</p> | <p><b>Défaillance Exploitation</b></p> <p>Le niveau de retenue est monté trop haut =&gt; surverse (diverses défaillances)</p> <p><b>Défaillance Structurelle</b></p> <p>Aucune résistance à petite lame d'eau, en raison de rupture locale parapet (conception peu sûre)</p> | <p>§3.3.4 : Systèmes de surveillance et de conduite</p> | <p>Réflexion utile sur rôle et le dimensionnement des parapets ?</p> <p>Sujet un peu annexe, mais utile pour évaluation de la cote de danger des barrages en remblai.</p> |



| Événement                                                                                                     | Illustration                                                                                                                                                                                                               | Causes, enseignements                                                                                                       | § concernés                                                                                                                          | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| El Guapo<br><br>Venezuela<br><br>2002                                                                         |  <p><i>Source : Overtopping of Walls and Stilling Basin Failure, Best Practices in Dam and Levee Safety Risk Analysis, USBR, 2019</i></p> | <b>Hydrologie + Hydraulique</b><br><br>Débordements EVC, pendant cyclone très exceptionnel, en contexte d'El Niño très fort | §4.3.4<br><br>Réflexions utiles sur les marges de sécurité : pour pas cher (bajoyer un peu plus haut), la rupture aurait été évitée. | Evolution souhaitable, par exemple pour distinguer entre évacuateurs très sensibles (typiquement : sur remblai) et autres.                                                                                      |
| Larji – 2014<br><br>Indira Sagar<br><br>2005<br>Manikheda<br><br>2006<br><br>Inde<br><br>Mousson<br>2018 Inde | <p><i>Source : news internet.</i></p> <p><i>Par exemple <a href="https://www.bbc.com/news/world-asia-india-28012138">https://www.bbc.com/news/world-asia-india-28012138</a></i></p>                                        | <b>Risque aval en exploitation courante</b><br><br>Ouverture intempestive<br><br>25 morts, 65 morts, 37 morts, ...          | §3.3.2 notamment                                                                                                                     | La question du « risque aval » : arbitrage entre prépondérance à l'ouverture en crue et prépondérance au maintien en position en exploitation courante.<br><br>Ce sujet mériterait un développement spécifique. |

| Événement                         | Illustration                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                | § concernés                              | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                             |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Ho Ho<br>Vietnam<br>2016          |  <p>Source : communication Michel HoTaKhanh</p>                                                                                                                                                                | <p><b>Défaillance hydraulique</b></p> <p>Non ouverture des vannes de l'EVC (faisant suite à une panne électrique causée par des éboulements dans toute la région ayant emportés les lignes, les groupes électrogènes n'étant pas disponibles sur place)</p> <p>Surverse de 1,40 m, sans dommages</p> | <p>§3.5 passage des crues</p>            | <p>Le sujet de la résistance à l'érosion à l'aval des barrages rigides est central.</p> |
| Black River<br>dam<br>USA<br>2016 | <p><b>Black water river dam (USA) – 09/2016</b></p>  <p>BMR<br/>22/09/2016<br/>Vanne emportée suite choc avec arbre I</p>  | <p><b>Défaillance structurelle</b></p> <p>Vanne emportée peu après la mise en service. Choc avec un arbre ?</p>                                                                                                                                                                                      | <p>§4.3.5 Dimensionnement structurel</p> |                                                                                         |

| Événement                                    | Illustration                                                                                                                                                                                    | Causes, enseignements                                                                                                                     | § concernés                                      | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                      |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Kamp river</p> <p>Austria</p> <p>2002</p> | <p>(b)</p>  <p>Source : FLOATING DEBRIS AT RESERVOIR DAM SPILLWAYS, publication du Comité Suisse, nov 2017</p> | <p><b>Exploitation / Hydrologie (embâcles)</b></p> <p>Nombreux REX d'obstruction partielle ou complète collectés par le Comité suisse</p> | <p>Traité au § 3.2.2.6 : logigramme embâcles</p> | <p>Plusieurs REX sur le sujet embâcles (incident, rapport du Comité Suisse) =&gt; à prendre en compte dans une révision des recommandations.</p> |
| <p>Niedow</p> <p>Pologne</p> <p>2010</p>     |                                                                                                               | <p><b>Défaillance hydrologique</b></p> <p>(mais les vannes étaient-elles toutes ouvertes ?)</p>                                           | <p>§2</p>                                        |                                                                                                                                                  |

| Événement                                   | Illustration                                                                                                       | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                               | § concernés                                                                                                                                                                       | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Barrage de Bwanje<br><br>Malawi<br><br>2018 |                                   | <p>A l'arrivée de la saison des pluies, évacuateur non opérationnel et barrage pas assez haut pour dériver les crues.</p> <p>Rex positif : protection du noyau avec géotextile et enrochements, pente aval de la partie construite adoucie avec ajout de protections en enrochement pour permettre la surverse.</p> | Résistance à la surverse des barrages en remblai                                                                                                                                  | Prévoir comment faire face à un retard de la construction pour gérer les crues de chantier dans le cas des barrages en remblais. Ceci peut jouer sur les options de conception.                                                                                                                                                 |
| Machadinho<br><br>Brésil                    |  <p>Source : Bernard Tardieu</p> | Erosion intense du rocher non protégé à l'aval de l'évacuateur vanné et la constitution d'un contre barrage de débris qui a bien failli noyer l'usine.                                                                                                                                                              | <p>§4.3.4 Dimensionnement hydraulique</p> <p>§4.3.5 Dimensionnement structurel (mais qui ne traite pas de ce type de désordre). Traité dans les « axes de recherche » (§5.5).</p> | <p>Deux sujets pouvant être intégrés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le sujet de la résistance à l'érosion des EVC non revêtu : peu fréquents en France, mais il y en a ;</li> <li>- Le sujet de la cote aval en crue exceptionnelle, qui peut être influencée par la formation de barrage de débris.</li> </ul> |

| Événement                                                                                                                     | Illustration                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | § concernés                                                                                                                                                                                                                                     | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Sardoba,<br/>Ouzbekistan</p> <p>2020</p> <p>H=29, V=900 hm<sup>3</sup></p> <p>Remblais homogène</p>                        |  <p>Source : <a href="https://www.hydropower-dams.com/news/investigations-underway-following-sardoba-dam-breach-in-uzbekistan/">https://www.hydropower-dams.com/news/investigations-underway-following-sardoba-dam-breach-in-uzbekistan/</a></p> | <p><b>Défaillance Structurale</b></p> <p>Rupture suite à des fortes pluies et fort vents. Temps de retour non connu.</p> <p>Cause technique non encore confirmée (érosion interne ?). Cote du réservoir au moment de la rupture non connue (surverse peu mentionnée dans sources disponibles).</p> <p>Evacuation de la population (&gt;100 000 p).</p> | <p>§4.3.4 Dimensionnement hydraulique</p> <p>§4.3.5 Dimensionnement structurel (mais qui ne traite pas de ce type de désordre)</p>                                                                                                              | <p>Mieux lister et décrire les sujets relatifs à la justification structurelle, sans pour autant les traiter (ce serait hors de portée).</p> |
| <p>Edenville<br/>(+ Sanford rupture en cascade)</p> <p>USA 2020</p> <p>H=16, V=80 hm<sup>3</sup></p> <p>Remblais homogène</p> |  <p>Source : Preliminary Report on the Edenville Dam Failure, Response Efforts, and Program Reviews (Egle, 08/2020)</p>                                                                                                                         | <p><b>Défaillance Structurale et Hydrologie</b></p> <p>Rupture en crue (temps de retour ≈ 500 ans)</p> <p>En attente rapport d'expert final</p> <p>Les videos montrent la rupture du barrage juste avant la surverse (remblai saturée qui s'effondre)</p> <p>Evacuation de la population (&gt;10 000 p).</p>                                           | <p>§4.3.4 Dimensionnement hydraulique</p> <p>Les EVC étaient notoirement sous-dimensionnés et en attente de travaux de réhabilitation depuis plusieurs années.</p> <p>§4.3.5 Dimensionnement structurel (rupture du barrage avant surverse)</p> | <p>Mieux lister et décrire les sujets relatifs à la justification structurelle, sans pour autant les traiter (ce serait hors de portée).</p> |



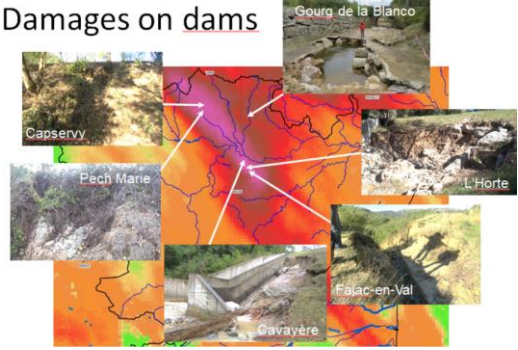
## 4. REX français : quelques incidents significatifs

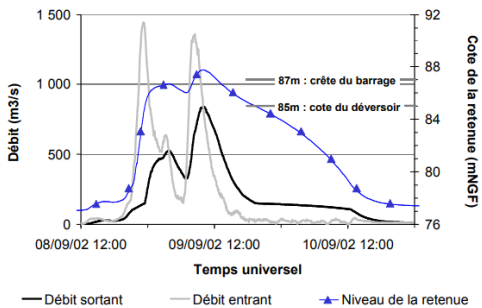
| Événement                 | Illustration                                                                      | Causes, enseignements                                                            | § concernés             | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rethel<br>(Meuse)<br>2010 |  | <b>Défaillance exploitation</b><br><br>La vanne n'a pas pu être ouverte en crue. | §3.4 Essais périodiques | Déjà couvert par les recommandations CFBR 2013.<br><br>Cependant, montrer des REX comme celui-là peuvent aider à mieux faire prendre conscience de l'importance du sujet.<br><br>Intérêt de regarder les sujets de « timeline », (critères en temps disponible pour les différentes actions référencées dans les consignes de crue). |

| Événement                                                | Illustration                                                  | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                                                                   | § concernés       | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                           |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Prise d'eau de la Chal (torrent du Glandon)<br>Août 2018 | Petit barrage en remblai pour prise hydroélectrique (H ~10 m) | <p><b>Défaillance Hydrologique</b></p> <p>Lave torrentielle sur le torrent du Glandon =&gt; capacités d'évacuation dépassées. Surverse ou quasi-surverse sans rupture.</p> <p>Trop tôt pour tirer d'éventuelles autres leçons. A noter cependant : utilité d'une certaine résistance à la surverse.</p> | §2<br>Non traité. | Utile d'ajouter ce sujet à la partie « Recommandations pour l'évaluation des crues ». |

| Événement                                                         | Illustration                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                       | § concernés                                                                                         | Evolution souhaitable des Recommandations ? |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <p>Petits barrages<br/>Bourgogne et Centre<br/>Printemps 2016</p> | <p>Vallée de l'Argentelet<br/>Rupture en cascade de 5 barrages.<br/>Petit « classable C » amont : 4 m, 51 000 m<sup>3</sup><br/>4 autres ruptures dont un autre « classable C »</p>  <p>(symposium 2017)</p> | <p><b>Défaillance : hydrologique ? structurelle ?</b></p> <p>« Les scénarios de rupture ou d'endommagement sont souvent plus complexes qu'il n'y paraît ... »</p> <p>Surinondation d'un hameau : risque aval malgré très petite taille.</p> | <p>Défaillance structurelle à cote très haute non traitée – mais hors sujet des Recommandations</p> |                                             |



| Événement                                                                                      | Illustration                                                                                                     | Causes, enseignements                                                                                                                                                                                                                                       | § concernés                                                                                                       | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cavayère, oct 2018                                                                             |                                 | <p><b>Défaillance Hydraulique</b></p> <p>Onde stationnaire dans l'évacuateur =&gt; débordements et érosion le long des bajoyers.</p> <p>Sans rupture.</p>                                                                                                   | §4.3.4                                                                                                            | <p>Déjà couvert par les recommandations CFBR 2013.</p> <p>Cependant, montrer des REX comme celui-là peuvent aider à mieux faire prendre conscience de l'importance du sujet.</p> |
| <p>Petits barrages, crues de l'Aude 2018</p> <p>5 petits barrages, V = 20 000 à 100 000 m3</p> | <p><b>Damages on dams</b></p>  | <p><b>Hydrologie</b></p> <p>Crue supérieure à la capacité d'évacuation =&gt; débordements par-dessus la crête (de 5 cm à 100 cm).</p> <p>Selon estimations : Tobservée &gt; Tprojet,</p> <p>Aucune rupture</p> <p>Symposium CFBR en marge de l'AG 2019.</p> | <p>§4</p> <p>Les crues observées en 2019 ont été supérieures aux crues recommandées pour ces petits barrages.</p> |                                                                                                                                                                                  |

| Événement                          | Illustration                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Causes, enseignements                                           | § concernés                                                                                                                                                                | Evolution souhaitable des Recommandations ?                                                                                                         |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plan d'Arem<br><br>2013            | <p><b>Barrage de Plan d'Arem (crue de juin 2013)</b> : l'arrivée des corps flottants a provoqué la non-ouverture du clapet automatique de surface (du fait de l'obstruction du puits d'alimentation de la chambre du flotteur). L'effort induit par les corps flottants accumulés devant les vannes EVC a induit une déformation de l'arbre de synchronisation d'une des vannes latérales, empêchant sa manœuvre motorisée (défaut de synchronisation droite/gauche). La présence de l'exploitant a permis d'adopter les mesures correctives <i>ad hoc</i> pour corriger ces dysfonctionnements (dégagement des corps flottants ; manœuvre en manuel des vannes latérales, ...), en dépit de facteurs aggravants : passage sur générateur de secours ; conditions d'accès au site difficiles ; perturbations de la mesure « niveau de la retenue ».</p> <p><b>Défaillance Exploitation (embâcles)</b></p> |                                                                 | <p>§3.5 Passage des crues.</p> <p>A noter en particulier le fait qu'il y a « eu le temps » de procéder aux mesures correctives =&gt; différence d'avec Dehli ou Rethel</p> | Intérêt de regarder les sujets de « timeline », (critères en temps disponible pour les différentes actions référencées dans les consignes de crue). |
| Lac d'Oo<br>Lac Bleu<br>2013       | Déversement                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Hydrologie                                                      | §2 – couvert par les méthodes recommandées                                                                                                                                 |                                                                                                                                                     |
| Barrage de la Rouviere<br><br>2002 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Hydrologie</p> <p>REX positif : Résistance à la surverse</p> | <p>§2 – couvert par les méthodes recommandées</p> <p>Cf. Ho-Ho ou Oroville evc secondaire</p>                                                                              | Le sujet de la résistance à l'érosion à l'aval des barrages rigides est central.                                                                    |

| Événement              | Illustration                                                                      | Causes, enseignements                                                  | § concernés                                                                                                                | Evolution souhaitable des Recommandations ? |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Alain Cami<br><br>2007 |  | <p><b>Hydrologie</b></p> <p>REX positif : Résistance à la surverse</p> | <p>§2 – couvert par les méthodes recommandées</p> <p>Résistance à la surverse des barrages en remblai =&gt; GT Erosion</p> |                                             |

## 5. Quelques nouveaux documents (non exhaustif)

---

### 5.1. Incidentologie en France

- Enseignements tirés des événements importants pour la sûreté hydraulique – Eléments de retour d'expérience sur les organes hydromécaniques et de contrôle-commande des barrages – MEDEM, avril 2016
- GT CFBR « Partage d'expérience sur les incidents », 2ème bulletin : défaillances mécaniques des vannes
- Base ARIA, <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

### 5.2. REX international

- Mise à jour du Bulletin 99 CIGB
- Bulletin 170 CIGB – Flood Evaluation and Dam safety
- Bulletin 172 CIGB – Technical advancement in spillway design
- Bulletin 176 CIGB – Blockage of spillways and outlet works
- Bulletin 178 CIGB – Operation of Hydraulic Structures of Dams
- Workshop Comité Suisse « bois flottants et évacuateurs de crues », Zürich 2016;
- atelier Aussois érosion externe

### 5.3. Publication diverses

- [1] Antunes-Vallerey, M. 2016. Sûreté en crue des grands barrages d'EDF : retour d'expérience et nouveaux développements, *Colloque "Sûreté des barrages et enjeux", Chambéry, 23-24 November 2016*. Chambéry: CFBR: 371-381
- [2] Bacchus, F. & Deroo, L. & Lempérière, F. & Poupart, M. 2017. Retour d'expérience des accidents de barrages liés au fonctionnement des évacuateurs de crue, *Colloque "Hydraulique de barrages et des digues", Chambéry, 29-30 November 2017*. Chambéry: CFBR-SHF: 189-202
- [3] Gastaud, C. Gauthier, A. 2015. Enseignements tirés des événements importants pour la sûreté hydraulique (EISH) et éléments de retour d'expérience sur les organes hydromécaniques et de contrôle-commande des barrages, *Colloque "Vantellerie et contrôle-commande des barrages", Chambéry, 2-3 December 2015*. Chambéry: CFBR: 353-367
- [4] D. Aelbrecht, J. Vermeulen, F. Laugier ; Les barrages et le risque « crue » : retour d'expérience international et national, modes et facteurs de défaillance, solutions de confortement, *Colloque CFBR « Sûreté des barrages et enjeux »*
- [5] B. Reverchon et al. Conception, Exploitation et Rénovation des Evacuateurs de crue vannés des barrages exploités par EDF, CIGB, Q. 97 –R. 39
- [6] Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M., Kjeldsen, T.R., Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe, *Journal of Hydrology* (2014),doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.003>

### 5.4. Règlementation

- Arrêté du 6 août 2018

# Comité Français des Barrages et Réservoirs

Le comité français des **barrages** et **réservoirs** (CFBR), anciennement comité français des grands barrages (CFGB), est une association scientifique et technique créée en 1926. Il constitue la branche française de la commission internationale des grands barrages (CIGB).

L'association a pour objet de provoquer des progrès dans la **conception**, la **construction**, l'**entretien** et les **méthodes d'exploitation** des barrages, des réservoirs et des digues, en rassemblant la documentation, en étudiant les questions qui s'y rapportent, notamment d'ordre technique, économique, sociétal et écologique, et en contribuant à la diffusion des connaissances.

A ce jour, le CFBR comprend 520 membres, représentants des **administrations**, des **maîtres d'ouvrages**, des **ingénieurs-conseils**, des **entrepreneurs**, des **experts individuels**, des **chercheurs** et des **enseignants**, tous désignés en raison de leurs compétences.

Au niveau national, le CFBR organise principalement des colloques techniques réguliers, anime plusieurs groupes de travail nationaux et propose une journée de visite annuelle pour les étudiants d'écoles d'ingénieurs.

Au niveau international, le CFBR participe activement aux travaux de la CIGB et notamment à la rédaction des **bulletins des comités techniques** qui constituent la référence internationale dans la profession. Le CFBR présente également des **rapports et communications** lors des Assemblées Générales et des Congrès.

Comité Français des Barrages et Réservoirs

Savoie Technolac

4, allée du Lac de Tignes

73290 La Motte-Servolex

Tél. : 04.79.60.64.45 - <http://www.barrages-cfbr.eu>

ISBN : N° 979-10-96371-19-8

