

## REX DES 75 PREMIERES EDD BARRAGE EDF DE SECONDE GENERATION

### *Feed-back on the first 75 second generation EDF dam studies*

Marie CUBAYNES, Denis VERNEY, Frederic LAUGIER, Loic MEMBRILLA

EDF-CIH - 4, allée du Lac de Tignes, 73290 La Motte Servolex, France

[marie.cubaynes@edf.fr](mailto:marie.cubaynes@edf.fr); [denis.verney@edf.fr](mailto:denis.verney@edf.fr), [frederic.laugier@edf.fr](mailto:frederic.laugier@edf.fr) ; [loic.membrilla@edf.fr](mailto:loic.membrilla@edf.fr)

## MOTS CLEFS

Barrage, Etude de Dangers, EDD, ATB, Conformité, Matrice de criticité, Recommandations, REX, CDD, Cote de danger, mode de défaillance, analyse des risques

## KEY WORDS

Dam, Hazard Study, Conformity, Criticity matrix, Recommendations, Feedback, Failure mode, Risk analysis

## RÉSUMÉ

*Entre 2009 et 2019, 242 Etudes De Dangers (EDD) ont été produites par EDF CIH organisme agréé sur l'ensemble des barrages de classe A ou B du parc EDF Hydro. La production des études de dangers étant cyclique (10 ans pour un barrage de classe A et 15 ans pour un barrage de Classe B), depuis 2019, 75 barrages ont déjà fait l'objet d'une seconde étude. C'est que l'on désigne par Etudes De Dangers seconde génération (EDD2). Ces études ont été réalisées en intégrant de nouvelles exigences, notamment celles de l'arrêté du 6 août 2018 fixant les prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages, selon lesquelles l'étude de dangers se doit de prononcer ou non la conformité de l'ouvrage sur l'ensemble des points techniques. Pour se prononcer, certains items de l'Arrêté Technique Barrage (ATB) doivent se baser sur les résultats de l'analyse de risques.*

*Par ailleurs dans ces études de seconde génération, les méthodes d'analyses se sont affinées et les études donnent une meilleure représentation des scénarii redoutés possibles. Ainsi par exemple, les cotes de danger qui, dans les premières EDD étaient fixées forfaitairement, ont fait l'objet d'une analyse plus fine et plus représentative de la réalité.*

*Ainsi, ce bilan présente une synthèse de certaines conclusions de ces études et explique certaines évolutions méthodologiques qui ont été nécessaires pour réaliser ces EDD2. De plus, après réalisation de plusieurs dizaines d'EDD2, CIH continue de faire évoluer ses méthodes et pratiques en prenant en compte le retour d'expérience.*

## ABSTRACT

*Between 2009 and 2019, 242 Hazard Studies were produced by Electricité de France, an approved body, for all EDF Hydro's Class A and B dams. As the production of Hazard Studies is cyclical (10 years for a Class A dam and 15 years for a Class B dam), since 2019, 75 dams have already been the subject of a second study. These are known as second-generation hazard studies. These studies were carried out by integrating new requirements, in particular those of the Order of August 6, 2018 setting out the technical requirements for dam safety, according to which the Hazard Study must pronounce or not the conformity of the structure on all technical points. Some of the items in the dam technical decree are based on the results of the risk analysis.*

*Moreover, in these second-generation studies, the analysis methods have been refined and the studies provide a better representation of the possible dreaded scenarios. Thus, for example, the hazard coastline, which in the first hazard studies was set at a flat rate, has been the subject of a more refined analysis, more representative of reality.*

*This report presents a categorized summary of the main findings of these studies;*

*Changes in hazard ratings between first generation and second generation of hazard studies,*

*Quantification of recommendations,  
Some methodological topics which have to evolve after 2018*

## 1. CONTEXTE ET OBJET DE L'ARTICLE

### 1.1. Rappel de la définition d'une Etude De Dangers

Une Étude De Dangers, ou EDD, est un document matérialisant une démonstration de la maîtrise de la sûreté et de la conformité réglementaire d'un ouvrage [1] (barrage ou conduite forcée depuis le décret « Dignes » du 15 mai 2015). L'EDD est constituée d'un diagnostic exhaustif de l'ouvrage, d'un bilan de conception, de comportement, d'état et de conformité des ouvrages permettant une analyse argumentée des risques présentés par l'ouvrage étudié en exploitation courante et en situation accidentelle [2]. La nouvelle version de l'EDD regroupe depuis 2018 la revue de sûreté, l'analyse des risques ainsi que la vérification de conformité réglementaire (dont les modalités sont établies par l'Arrêté Technique Barrage « ATB »).

### 1.2. Objet de l'article

Cet article permet de réaliser un retour d'expérience, non exhaustif, sur la réalisation de 75 EDD de 2019 à 2023. Il fait d'une part un retour sur les recommandations faites aux différents chapitres 9 et d'autre part un retour d'expérience sur le process et la méthodologie mis en place au CIH pour réaliser ces études.

Cet article ne prend en compte que les études de dangers réalisées dans le délai réglementaire d'actualisation (tous les 10 ans pour les barrages de classe A et tous les 15 ans pour les barrages de classes B).

Les mises à jour dans le cadre de travaux projetés ou dans le cadre de données d'entrée substantiellement modifiées ne sont pas pris en compte dans cet article.

## 2. ANALYSE DES RECOMMANDATIONS DES 75 PREMIERES EDD DE SECONDE GENERATION

### 2.1. Contexte règlementaire - Nature des mesures préconisées au §9

Les mesures de réduction de risques préconisées au §9 par l'Organisme Agréé (OA) sont de deux natures :

- Des mesures de réduction de risques associées à une non-conformité de l'ouvrage (§5.2.4 de l'EDD).
- Des mesures de réduction de risques qui ne sont pas associées à une question de conformité. Elles sont préconisées au titre de la réduction des risques dans le cadre de la matrice d'acceptabilité définie par la MOA en lien avec ses critères d'acceptabilité de risque en termes de combinaison occurrence / conséquence (cf §2.3).

En complément des mesures de réduction de risques, l'OA préconise également des mesures complémentaires. Il peut s'agir :

- De mesures de maîtrise des risques ou de non-aggravation des risques. Elles permettent de ne pas dégrader dans le temps l'occurrence d'EI ou d'ERC, ou bien la robustesse d'une barrière.
- De mesures complémentaires permettant d'améliorer la connaissance des ouvrages et matériels ou/et la réduction des incertitudes, par exemple via des études ou reconnaissances complémentaires.
- ...

L'Organisme Agréé propose également un délai de mis en œuvre :

- « Dans les meilleurs délais », compatibles avec les prescriptions de l'ATB selon les termes de la note d'interprétation de l'Arrêté EDD.
- « A engager avant la prochaine actualisation de l'EDD ».

Des mesures provisoires peuvent être envisagées « sans délai dans l'attente d'achèvement de travaux » en fonction du niveau de risque actuel.

Cette section fait le bilan des recommandations préconisées par EDF-CIH en tant qu'Organisme Agréé sur toutes les EDD réalisées de 2019 à 2023, que l'instruction de l'EDD soit clôturée ou non (certaines EDD sont déjà instruites et clôturées, la majorité sont en cours d'instruction). Ces analyses peuvent ainsi être amenées à évoluer selon les conclusions du processus d'instruction.

## 2.2. Bilan des mesures de réduction des risques en lien avec des non-conformités déclarées

L'Organisme Agréé examine, au paragraphe 5.2.4 de l'EDD la « conformité de l'ouvrage et des organes nécessaires à la sûreté », notamment par rapport à l'application de l'Arrêté Technique Barrage [2].

Un certain nombre de non-conformités ont pu être relevées sur les EDD2 réalisées (43 non-conformités sur 29 barrages des 75 EDD livrées). Ces non-conformités sont le résultat de l'analyse de l'organisme agréé.

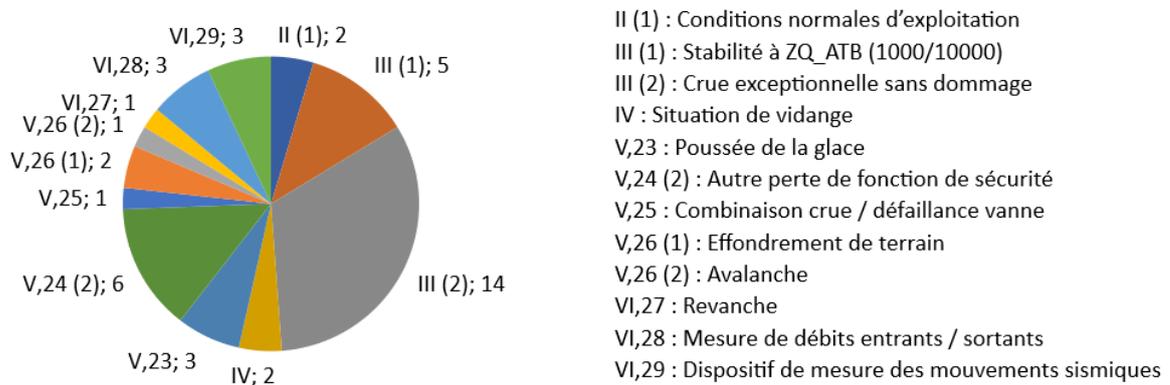


Figure 1 : Répartition des non-conformités relevées par item de l'ATB pour 75 EDD de 2019 à 2023

Les plus nombreuses non-conformités sont liées au chapitre III de l'annexe 1 de l'ATB : le comportement du barrage lors des crues exceptionnelles. D'une part, le barrage et ses organes doivent être justifiés avec les marges suffisantes en crue (crue de dimensionnement précisées dans l'ATB en fonction de la nature du barrage et de son classement). D'autre part, le « barrage ne doit pas subir de dommages ». Pour justifier de cet item, les problématiques érosion, transfert et dissipation d'énergie sont analysées. Ce sujet qui a particulièrement évolué ces dernières années, notamment avec le retour d'expérience de l'incident d'Oroville en 2017, fait apparaître assez logiquement le plus de non-conformités (sujet peu traité dans la première génération d'EDD).

Parmi les 43 non-conformités, plusieurs ne remettent pas en cause la conception et le comportement de l'ouvrage étant en lien avec des exigences de mesures de l'ATB, ainsi :

- 3 non-conformités sont liées à l'item 28 et à l'évaluation des débits entrants et sortants en crue ;
- 3 non-conformités sont liées à l'absence de capteurs sismiques (item 29). Toutefois, ces capteurs ont depuis été mis en place sur la totalité des barrages concernés (barrage avec une très grande capacité et en zone de sismicité 4).

Chaque non-conformité identifiée par l'Organisme Agréé doit faire l'objet de préconisations en termes de mesures de réduction des risques afin de rendre le barrage conforme dans des délais préconisés par l'OA (dans les meilleurs délais ou d'ici la prochaine EDD, tout en ne dépassant pas les échéances réglementaires maximales de mise en conformité de 2030 et 2035, respectivement pour les barrages de classe A et B).

Les préconisations de ces mesures sont couramment formalisées avec des expressions relativement standardisées, notamment sous la formulation « études et travaux si nécessaire » : en effet dans certains cas, la démonstration de la conformité se fait par la fourniture d'études complémentaires à celles fournies dans le cadre de l'EDD.

### 2.3. Mesures complémentaires de réduction de risques

En complément des mesures liées à la mise en conformité de l'ouvrage, l'Organisme Agréé, en appliquant la matrice de criticité fournie par la MOA, vérifie l'acceptabilité des différents Evénements Redoutés Centraux (ERC) retenus dans l'étude de dangers. Si le risque n'est pas acceptable et qu'il ne fait pas déjà l'objet de recommandation via la conformité, l'OA préconise des mesures de réductions de risques.

#### 2.3.1. Présentation de l'échelle de cotation utilisée

La quantification des occurrences est réalisée, dans l'Analyse Détaillée des risques (ADR), suivant l'échelle suivante :

| Classe d'occurrence (niveau de fréquence) | E<br>Inférieur à 10-5<br>Possible* mais extrêmement peu probable  | D<br>De 10-4 à 10-5<br>Très improbable  | C<br>De 10-3 à 10-4<br>Improbable  | B<br>De 10-2 à 10-3<br>Probable   | A2<br>De 10-1 à 10-2<br>Courant   | A1<br>De 1 à 10-1<br>Très Courant   |
|---|---|---|--|---|---|---|
| Qualitative                               | N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années installations | S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité | Un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité | S'est déjà produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation | Se produit une à plusieurs fois dans la vie de nombreux ouvrages similaires | Se produit très régulièrement dans la vie de pratiquement tous les ouvrages similaires<br><br>0.1 < p < 1 |

\* au sens : « physiquement possible », « ne peut être exclu ».

#### 2.3.2. Présentation de la matrice de criticité

Pour cette deuxième génération d'EDD2, EDF Hydro a élaboré en tant que MOA, la matrice d'acceptabilité des risques à utiliser sur le parc EDF : cela a demandé un travail sur plusieurs années afin de définir, comme demandé règlementairement, une matrice qui combine occurrence et personnes exposées. La matrice est présentée ci-dessous en précisant les significations des trois zones colorées :

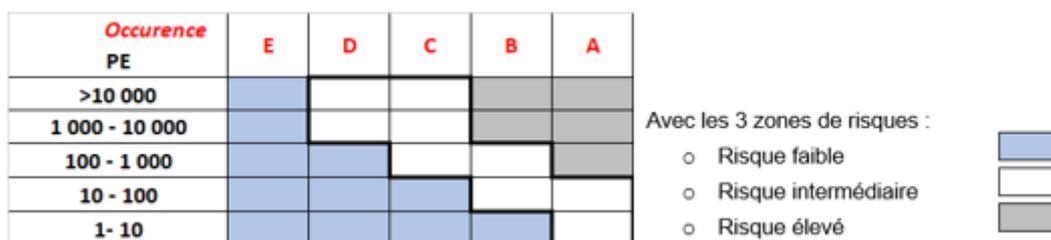


Figure 2 : Matrice de criticité

- Pour la zone de risque élevé, la combinaison du couple occurrence/gravité est jugée inacceptable et nécessite des mesures de réduction du risque.
- Pour la zone de risque faible, la combinaison du couple occurrence/gravité est jugée acceptable et n'entraîne pas de mesure de réduction des risques.
- Pour la zone de risque intermédiaire, la combinaison du couple occurrence/gravité sera jugée acceptable ou non en fonction de plusieurs critères :
  - Le niveau de confiance/incertitude dans la survenue de l'évènement,

- Les conservatismes pris dans les méthodes d'évaluation de l'occurrence et des conséquences,
- La notion de personnes mobiles exposées à la libération de l'eau,
- La cinétique et la dangerosité de l'évènement,
- ...

L'Organisme Agréé réalise l'analyse de risques et l'évaluation des conséquences aval pour placer les différents évènements retenus dans la matrice, puis, pour les évènements situés dans la zone intermédiaire, analyse les différents critères ci-dessus.

### 2.3.3. Bilan des mesures de réductions des risques

Sur les 75 EDD fournies, 69 recommandations ont été formulées sur 35 ouvrages. Ces recommandations peuvent être de natures très différentes :

- Modification de l'organisation (consignes de crues, consignes de surveillance de l'ouvrage, consigne grand froid...),
- Mesures d'amélioration de la protection contre les incendies,
- Rénovation de vannes,
- Etudes et travaux si nécessaire permettant l'augmentation de la cote de danger de l'ouvrage (par exemple : « supprimer des venues d'eau dans le corps du barrage lors de l'exhaussement du plan d'eau »),
- Fiabilisation d'une barrière de sécurité ou étude de la mise en place d'une barrière complémentaire comme un système de sauvegarde ou un système de crantage de vanne,
- Etude d'autonomie et/ou fiabilisation du contrôle-commande du barrage,
- Réduction de l'impact des corps flottants sur la débitance de l'évacuateur,
- Suppression d'un mode commun des vannes EVC,
- Amélioration du système de drainage,
- Réduction de l'occurrence d'atteinte de la cote de danger (par exemple par augmentation de la capacité d'évacuation des crues, ou augmentation de la CDD...),
- Confortement d'un système de dissipation d'énergie (tapis de réception, bassin de dissipation...),
- ...

L'EDD donne un objectif de résultat et fournit des pistes possibles de solutions sans les étudier en profondeur (parcours d'ingénierie nécessitant parfois plusieurs années selon la complexité des solutions). C'est ensuite à la MOA de s'appropriier ces recommandations, de décider et d'enclencher les études et travaux nécessaires. Un partage du contenu et des conclusions de l'EDD est organisé par l'Organisme Agréé avec les parties prenantes de la MOA lors de la remise du livrable pour expliciter et favoriser l'appropriation des résultats et des recommandations.

### 2.4. Préconisation de mesures provisoires

Dans l'attente de l'achèvement de la mise en œuvre des recommandations, l'Organisme Agréé peut préconiser des dispositions provisoires en fonction des éléments apportés par l'analyse de risques.

Pour certaines EDD, l'OA a par exemple préconisé une baisse temporaire de la cote de retenue afin de limiter le niveau de risque dans l'attente de la mise en œuvre des recommandations. Ce type de mesure pourra être efficace dans le cas d'un risque sismique avéré, ou dans le cas d'un risque lié aux crues. Pour cette dernière configuration, le réservoir devra disposer de capacités de laminage significatives pour qu'une telle mesure soit efficace et pertinente.

Ces mesures peuvent aussi concerner un renforcement de la surveillance, soit par le biais d'un renforcement des inspections visuelles ou de l'auscultation. Dans d'autres cas, il peut s'agir de la mise en place d'instructions temporaires d'exploitation impactant les modalités d'organisation de l'Exploitant : modification d'un seuil d'alarme, modalités d'intervention au barrage etc.

## 2.5. Conclusion

L'Organisme Agréé, en toute indépendance, fait des recommandations permettant de justifier la conformité ou d'améliorer la sûreté de l'ouvrage en fonction du résultat de l'analyse de risques.

Une centaine de recommandations en lien avec l'organisation, la structure, la maintenance, le système de fonctionnement, ont ainsi été formulées depuis 2018 par EDF-CIH. La MOA se les approprie, décide et enclenche des études et des travaux (si nécessaire) à la suite de la remise de l'EDD. Certaines de ces recommandations ont déjà été mises en œuvre depuis 2019.

## 3. REX SUR LE PROCESS ET CERTAINS POINTS DE METHODOLOGIE

### 3.1. Delta méthode EDD1 Vs EDD2

Au départ, il avait été imaginé que l'actualisation de l'EDD serait une « simple » mise à jour avec les éléments nouveaux depuis la remise de la première EDD.

Suite à la publication des deux arrêtés ATB et EDD de 2018 [1] et [2], il s'est avéré que l'effort demandé était beaucoup plus important, avec notamment l'ajout de l'analyse de conformité qui est, sur certains items, croisée avec les résultats de l'analyse de risques. Les ressources d'ingénierie demandées pour l'élaboration de cette nouvelle version de l'EDD sont très importantes. Les paragraphes suivants permettent d'aborder le process interne à EDF-CIH et la méthodologie (élaborée lors de la rédaction des premières EDDV2, en 2019, et qui est régulièrement réinterrogée et remise à jour dans une logique d'amélioration continue et de prise en compte du retour d'expérience).

Les paragraphes suivants reviennent sur certaines évolutions majeures qui ont été nécessaires afin de répondre à toutes les exigences de ces deux arrêtés.

### 3.2. Cotes classées

Pour une meilleure prise en compte de l'exploitation de la retenue dans l'analyse détaillée des risques, EDF-CIH utilisent parfois les « cotes classées ». Elles permettent notamment pour le passage des crues de mieux tenir compte du creux disponible dans certaines retenues qui peuvent être exploitées très fréquemment à des cotes significativement plus basses que la RN (Retenue Normale).

Une courbe de cotes classées est une distribution statistique des cotes journalières de la retenue sur une période donnée. Dans la gamme des cotes de la retenue relevées durant la période d'analyse (généralement plusieurs années), pour chaque cote de la gamme, il est donné le pourcentage d'occurrence pour lequel le niveau journalier relevé était inférieur ou égal à cette cote.

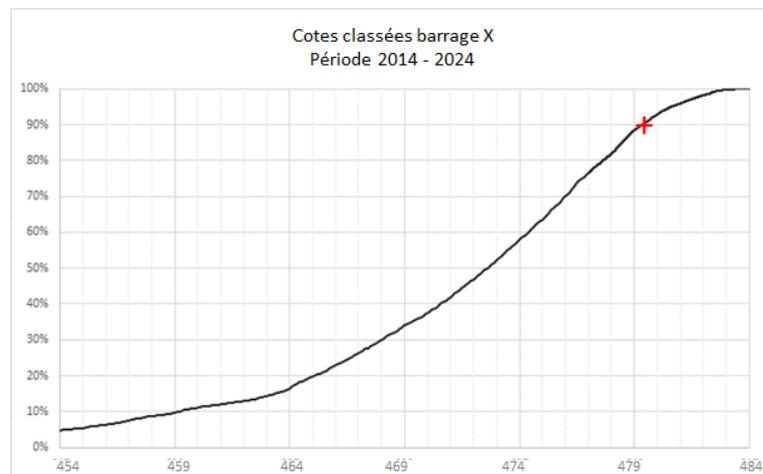


Figure 3 : Exemple de courbe de cotes classées

Dans cet exemple, le point de la courbe mis en évidence par la croix rouge est de coordonnées [479,38 - 0,9], ce qui signifie que 90% du temps sur la période d'analyse, la retenue était à une cote inférieure ou égale à 479,38 mNGF. Cette fréquence correspond à une occurrence A2 (voir présentation de l'échelle de cotation au paragraphe 2.3.1) dans les EDD sur le risque que la retenue soit initialement à une cote supérieure lors de la survenance d'un événement indépendant et de durée journalière. Cela permet d'étudier des scénarios plus réalistes dans l'analyse de risques. Ainsi, pour des ouvrages capacitifs ayant un volume de retenue et du marnage annuel importants et/ou des apports naturels faibles relativement au volume de la retenue, il peut être possible de passer une crue décennale sans atteindre la CDD même dans le cas où l'EVC est (partiellement ou totalement) indisponible, en considérant une cote initiale de retenue maximale probabilisée.

Dans l'exemple de ce paragraphe, supposons que cette cote maximale pour passer une crue décennale sans atteindre la CDD avec l'EVC totalement indisponible soit 479,53 mNGF, et que l'occurrence de défaillance totale de l'EVC soit classée en C (Non-Ouverture (NO) ou Fermeture Intempestive (FI)).

Sur cette partie de branche de l'évènement initiateur complexe « exhaussement du plan d'eau jusqu'à la CDD », l'analyse détaillée des risques peut alors se décliner comme suit :

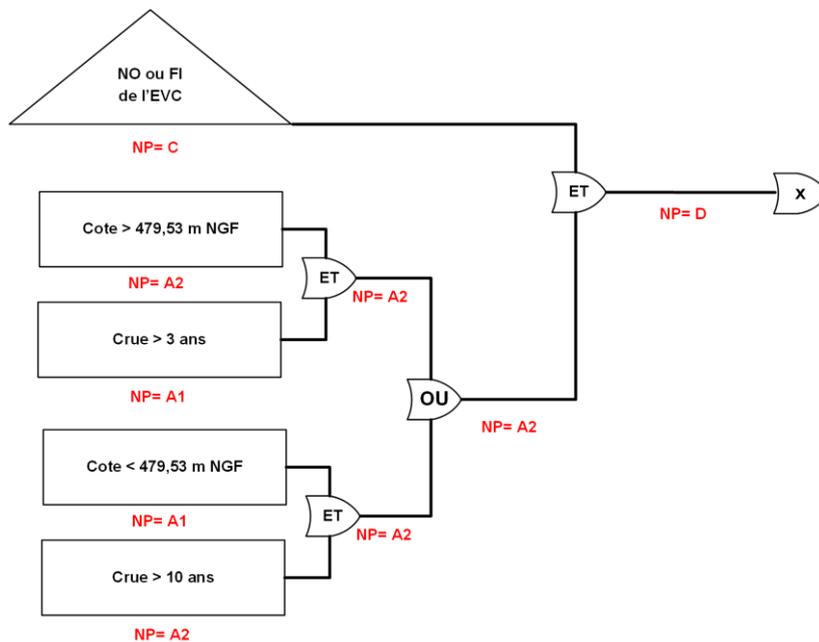


Figure 4 : Exemple d'analyse d'un évènement en utilisant les cotes classées

La cote initiale de retenue maximale pour passer la crue décennale dans ces conditions étant supérieure à la cote classée de quantile 90%, l'occurrence « cote > 479,53 mNGF » est donc classée en A2.

Ainsi, dans cet exemple, compte tenu de l'exploitation de la retenue créant un creux significatif plus de 90% du temps, l'occurrence finale de l'évènement « atteinte de la CDD avec défaillance de l'EVC » est classée en D.

Il faut bien sûr vérifier la totale indépendance des deux évènements et donc regarder la concomitance entre saison de crues et cotes d'exploitation de la retenue.

De plus, si un changement d'exploitation remettant en cause cette courbe de cotes classées était mené par la MOA, il faudrait remettre à jour cette analyse de risques.

### 3.3.Cote De Danger (CDD)

Les premières versions des EDD du parc EDF (avant les arrêtés de 2018) définissaient la CDD du barrage étudié en fonction de sa nature et généralement de manière forfaitaire. Les barrages en remblai (enrochement, terre) voyaient leur CDD fixée à la cote maximale d'étanchéité du noyau tandis que les barrages en béton (poids et

voûte) avaient généralement une CDD fixée à la cote de la crête ou crête + 50 cm ou crête + 1 mètre (souvent identiques à celles fixés là-aussi forfaitairement dans les PPI pour les barrages en faisant l'objet).

Pour les EDD1, il a pu arriver qu'aucune CDD ne soit définie pour certains barrages.

La deuxième version des EDD voit cette notion évoluer, l'analyse de la CDD est individualisée ; elle n'est plus fixée de manière forfaitaire. La CDD ne doit pas être confondue avec la cote de fusibilité [3]. A ce titre elle ne peut vraiment être définie de manière absolue, la probabilité de rupture de l'ouvrage qui lui est associée n'étant pas connue (quelques pourcents ?). Elle est fixée, sur la base d'une analyse technique adaptée aux enjeux, comme étant « au moins supérieure » à une certaine cote.

Elle est, en général, associée à trois grands types de modes de défaillance :

- Une défaillance liée à une surcharge hydrostatique (glissement d'un barrage poids) ;
- Une défaillance liée aux effets d'érosion externe par surverse ou contournement du barrage ;
- Une défaillance des fonctions transfert et dissipation de l'énergie des écoulements évacués en crue (au niveau des coursiers, fosse ou tapis aval).

Jusqu'à présent dans les EDD2, la CDD des barrages en remblai (terre et/ou enrochements) n'a jamais été revue à la hausse. En effet, la CDD des EDD1 étant fixée à la cote maximale d'étanchéité du noyau, il est peu probable de l'augmenter de manière significative, tout en se situant d'ores et déjà aux limites de l'état de l'art pour ces ouvrages. Un cas de surverse durable et significative (plusieurs dizaines de cm) sur un barrage en remblai ne peut pas être généralement envisagé compte tenu de sa sensibilité à l'érosion externe notamment.

Les CDD des barrages béton (poids et/ou voûte) ont davantage variées entre EDD1 et EDD2. Pour des variations à la baisse, on rencontre principalement des cas d'érosion des rochers à l'aval du barrage, la CDD est donc estimée de manière à limiter le contournement ou la surverse d'ouvrage en cas d'exhaussement du niveau de la retenue ou même à le proscrire totalement (par exemple si les appuis érodés peuvent entraîner la rupture partielle ou totale d'un ouvrage). Pour certains barrages, en s'appuyant notamment sur les récentes études de stabilité, il est possible d'augmenter la valeur de la CDD (par rapport à la première version de l'EDD), ce qui permet une plus grande marge de manœuvre lors des événements d'exhaussement du niveau de la retenue.

Ces écarts par rapport à la crête de couronnement montrent la pertinence de l'adaptation de la CDD pour les EDD2. La nouvelle CDD s'adapte aux risques propres à chaque barrage, et permet d'avoir une meilleure vision de la vulnérabilité de l'ouvrage.

L'article CFBR [3] sur le retour d'expérience de la détermination de CDD pour 65 ouvrages béton donne plus de détails sur la méthode et un cas illustratif sur un barrage composite.

## 4. PERIMETRE

Le périmètre de l'étude est toujours un sujet délicat tant les ouvrages ont chacun leurs spécificités.

De plus, une modification a eu lieu par rapport aux EDD de première génération : en effet, les termes entre l'arrêté de 2007 et celui de 2018 et la définition du ou des périmètres ont évolué (exemple du mot « environnement » apparu en 2018).

EDF-CIH a ainsi fait un retour d'expérience sur la détermination de ces périmètres et a établi des règles aussi claires que possible, toujours dans l'optique de répondre à la réglementation avec homogénéité, malgré la multitude de cas présents sur le parc EDF.

### 4.1. Définition des périmètres de l'étude

#### 4.1.1. Contexte réglementaire

L'arrêté du 3 septembre 2018 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages précise au chapitre 2 de l'annexe que :

« Le périmètre de l'étude [...] inclut a minima le barrage et ses dispositifs de sécurité tels que les évacuateurs de crues, les vidanges de fond ou les systèmes de contrôle-commande. Il comprend également les organes de prise d'eau et d'isolement, le dispositif d'auscultation, la retenue et ses berges et, s'il y a lieu, les canaux et les autres ouvrages ayant une incidence sur la sûreté du barrage. »

La note d'interprétation de janvier 2020 indique :

« Le périmètre comprendra tous les éléments qui participent à la **fermeture de la retenue et susceptibles de libérer tout ou partie de cette retenue** (le(s) barrage(s), ouvrage(s) annexe(s), les divers organes vannés, portes étanches, fond-pleins, bouchons de dérivation...). »

L'arrêté Technique Barrage du 06 août 2018 (Chapitre III, alinéa 11), a introduit la notion de conformité réglementaire de l'ouvrage dont la vérification est à établir dans le cadre des EDD. Les ouvrages faisant l'objet de cette vérification de conformité réglementaire sont ceux classés A ou B.

Enfin, l'arrêté du 3 septembre 2018 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages précise au chapitre 3.2 de l'annexe :

« La description de l'environnement du barrage et l'analyse fonctionnelle externe décrivent l'environnement naturel et, éventuellement, anthropique de celui-ci ainsi que les aléas et phénomènes extérieurs et indépendant de son fonctionnement qui peuvent avoir une influence sur l'état, le fonctionnement et la sécurité du barrage ainsi que sur la nature et l'importance des enjeux pouvant être affectés par des incidents ou des accidents concernant le barrage. »

La note d'interprétation de l'administration (janvier 2020) précise notamment que « les barrages amont (constituant un agresseur pour l'ouvrage étudié) et aval (constituant des enjeux impactés pour l'ouvrage étudié) devront être intégrés à cet « environnement ».

#### 4.1.2. Appropriation de l'OA EDF CIH et déclinaison méthodologique

Ainsi, pour les EDD, EDF-CIH a proposé trois périmètres concentriques inclus les uns dans les autres :

- Périmètre de conformité : cette nouvelle notion de conformité nous a amené à introduire le concept de « périmètre de conformité » reprenant les parties d'ouvrages faisant l'objet d'une analyse de conformité au sens de l'ATB au titre du classement A ou B les concernant.
- Périmètre de l'EDD, ou « objet de l'étude » qui couvre les éléments qui participent à la fermeture indépendamment du classement et sans prise en compte des équipements liés à la production hydro-électrique.
- Environnement : il s'agit des différents enjeux et agresseurs potentiels en amont, autour et en aval de la retenue jusqu'à la limite de calcul de l'onde de submersion.

Ci-dessous la représentation de ces trois périmètres :

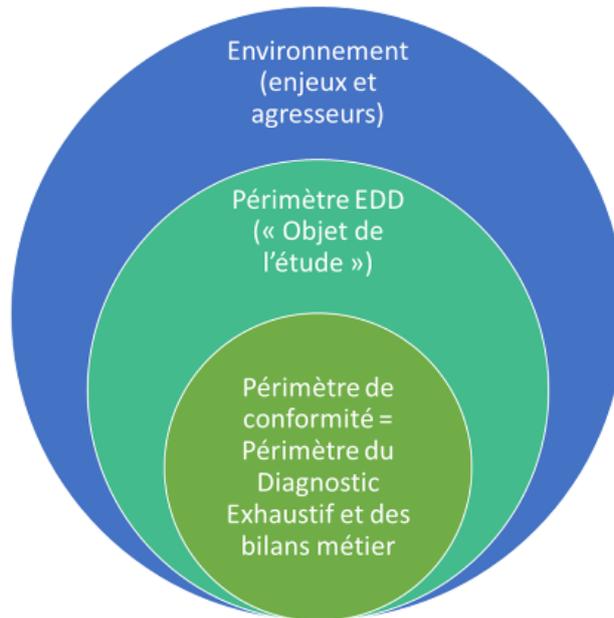


Figure 5 : Représentation schématique des trois périmètres définis dans l'EDD.

Le périmètre de l'EDD est souvent identique au périmètre de conformité ; cependant, si la retenue est fermée par un ou plusieurs barrages classés C ou non classés, il y aura une différence de traitement pour les ouvrages non classés A ou B.

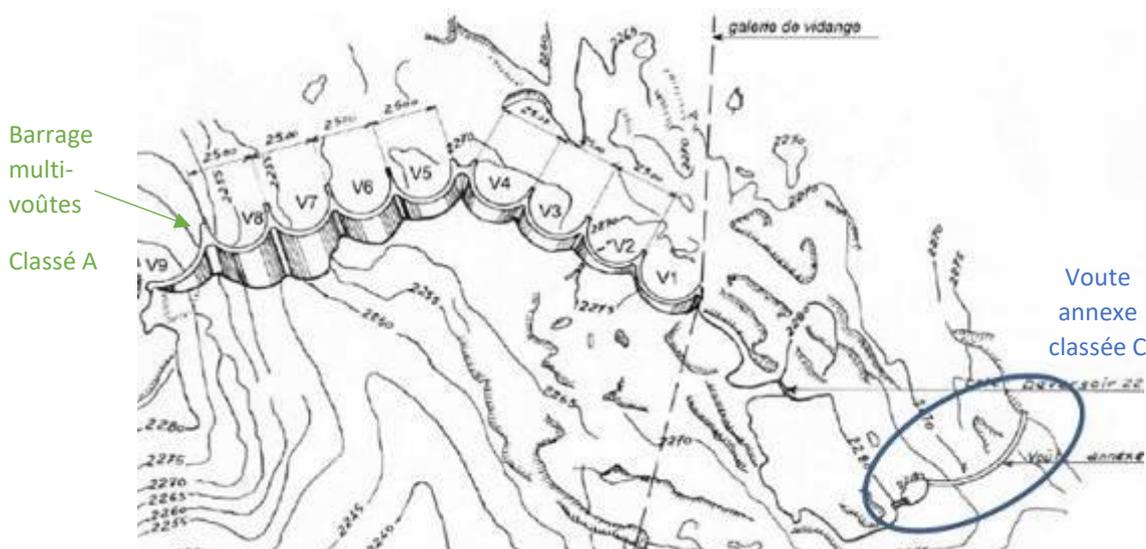


Figure 6 : Exemple d'une retenue fermée par un barrage cassé A soumis à EDD et analyse de conformité et par un barrage classé C.

Par exemple les barrages de fermeture de classe C ou non classés ne font pas l'objet d'analyse de conformité dans le cadre de ces études de dangers. L'analyse de leur rupture via des ERC spécifiques de rupture se limite au lien fonctionnel qu'ils entretiennent avec le barrage classé objet de l'EDD, à savoir le niveau de la retenue. Ces ERC ne contiennent alors que des Evénements Initiateurs (EI) en lien avec l'exhaussement de plan d'eau (lien avec le barrage principal), mais aucun EI de sensibilité intrinsèque ou séisme, ces EI ayant un lien fonctionnel limité avec le barrage principal classé.

#### 4.1.3. Détails de la méthodologie

Ci-dessous, la reprise de certaines des règles permettant une détermination du périmètre par les différents acteurs d'une étude de dangers :

- Les barrières utilisées sur des éléments du périmètre EDD sont intégrées au périmètre de conformité.
- Comme dans les premières générations d'EDD, les équipements directement liés à la production d'énergie ne font pas partie du périmètre de l'ouvrage (ni EDD, ni conformité). Il s'agit des groupes de production, des vannes de pied, ou des vannes amont (ou batardeau) des circuits hydrauliques de production. Ils peuvent être « agresseurs ». Ils font alors partie de l'environnement.
- Les ouvrages traversants du barrage ou de ses appuis font partie du périmètre de conformité et la limite aval correspond à la limite aval de l'ouvrage qu'ils traversent.
- Les galeries de dérivations provisoires et leurs bouchons ou fonds pleins retenant de l'eau font partie du périmètre de conformité.
- Les vannes amont de circuit de vidange, si elles sont utilisées en essai réglementaire, sont intégrées au périmètre de conformité même si elles sont en position ouverte en fonctionnement normal.

### 4.2. Impact sur le périmètre des examens du diagnostic exhaustif

#### 4.2.1. Périmètre des examens

Les examens du diagnostics exhaustifs sont réalisés sur les éléments du **périmètre de conformité**. Ainsi le bilan d'état tiré des examens vient en données d'entrée de l'analyse de conformité de l'ouvrage.

#### 4.2.2. Lien avec les modalités détaillées des examens

La méthode s'applique dès la rédaction des modalités détaillées des examens pour éviter au maximum un oubli d'une partie à examiner et qui serait finalement nécessaire pour conduire correctement l'analyse faite dans l'EDD. Une itération est réalisée à l'enclenchement de l'EDD avec tout le groupe de travail pour critiquer le périmètre, le valider ou potentiellement le modifier.

#### 4.2.3. Adaptation des moyens aux enjeux

Après détermination du périmètre de conformité :

- Les enjeux sont analysés pour adapter les moyens mis en œuvre pour réaliser les examens. En effet, des organes dont la rupture n'aurait pas de gravité (pas de conséquences aval), et qui ne feraient donc pas l'objet d'un ERC ne doivent pas nécessairement faire l'objet de lourds moyens d'investigation lors du Diagnostic Exhaustif.  
Par exemple, si l'examen complet d'un dispositif de débit réservé demande l'intervention de plongeurs avec démontage d'une grille en profondeur pour permettre l'utilisation d'un endoscope alors que le débit potentiellement lâché est inférieur au module de la rivière.
- A contrario, les examens peuvent concerner, en complément du périmètre de conformité, des agresseurs ; notamment si ces examens sont nécessaires à la cotation des événements initiateurs en lien avec ces agresseurs.

## 5. REX SUR LE PROCESS

Une étude de dangers demande la mobilisation de plusieurs domaines d'expertise et des itérations entre les différents métiers. Cela demande aussi une analyse de risques complète qui ne peut pas être réalisée par une seule personne. De plus, certaines études sont longues et doivent être bien anticipées par rapport à la date de la remise de l'EDD.

Des thèmes très peu abordés dans les EDD1 sont maintenant creusés au cas par cas :

- Erosion suite au rex Oroville notamment [4]
- Prise en compte des embâcles [5]

- Calcul des vagues [6]
- Cote de vulnérabilité d'une vanne fermée
- ...

EDF-CIH a donc mis en place un process qui s'étale sur presque 4 ans avant la remise de l'EDD :

- Entre 3 et 4 ans avant la remise de l'EDD, des représentants de chaque métier se réunissent avec plusieurs objectifs :
  - Définir le périmètre exact de l'EDD et la déclinaison des examens du diagnostic exhaustif.
  - Critiquer les études existantes et identifier leurs limites pour l'actualisation de l'EDD en définissant les compléments nécessaires pour justifier des différents items de l'ATB par exemple.
  - Analyser l'instruction DREAL de la dernière EDD et de la Revue de Sûreté notamment.
  - Lister et programmer les études amont afin que les résultats soient disponibles au démarrage de l'étude de dangers avec le groupe de travail (notamment l'hydrologie, l'étude de comportement), en particulier si des reconnaissances sont nécessaires ou certaines études hydrauliques complexes telles que des modélisations 3D ou un modèle réduit physique à construire par exemple ...
- Deux ans avant la remise de l'EDD en moyenne, les examens sont effectués sur site pour permettre le diagnostic exhaustif.
- En parallèle, réalisation des études amont listées ci-avant.
- 12 à 18 mois avant la remise de l'EDD, un binôme chef de projet/vérificateur général est nommé et un groupe de travail est constitué ; ce GT multi-métiers est animé par le chef de projet ; celui-ci organise notamment en présentiel sous forme de « séminaire » sur site deux périodes de deux-trois jours afin de :
  - Sur la première période :
    - Faire une visite commune, y compris avec l'exploitant ;
    - Partager les informations et résultats de chacun (et réaliser les itérations aux besoins car plusieurs études ont des interfaces) ;
    - Réaliser l'Analyse Préliminaire des Risques (APR).
  - Sur la deuxième période :
    - Faire l'Analyse Détaillée des Risques (ADR) ;
    - Synthétiser l'analyse de conformité ;
    - Rédiger les recommandations du chapitre 9.
- L'EDD est ensuite finalisée dans sa rédaction et est présentée à un comité de validation interne à l'Organisme Agréé.

L'anticipation et la programmation des études avec leur bon enchaînement est la clef de l'optimisation du processus et de la réussite d'une livraison de l'EDD répondant aux exigences et dans les délais réglementaires. Le process de déroulement et de production des livrables n'est pas séquentiel. De nombreuses interfaces existent et des itérations sont fréquemment requises pour arriver à un résultat global optimisé. Le contrôle de ces interactions et de ces itérations constitue un élément clé de performance et de qualité de l'EDD.

## **6. ANALYSE DE RISQUES ET ENJEU D'HOMOGENEITE DES EDD POUR EDF HYDRO (15 A 20 PAR AN)**

### **6.1. Contexte**

L'analyse des risques se décompose en deux étapes : l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) et l'Analyse Détaillée des Risques (ADR).

La première consiste à étudier tous les risques possibles pouvant impacter l'ouvrage et son périmètre selon les différentes conditions d'exploitation et à écarter ou retenir dans l'analyse détaillée des risques les événements pouvant provoquer un lâché d'eau incontrôlé et dangereux.

L'analyse détaillée des risques permet de mettre en évidence tous les événements initiateurs d'un Evènement Redouté Central (ERC), leur cotation d'occurrence (probabilité que l'évènement se produise) et la gravité de cet évènement (personnes exposées). Le groupe de travail associe ces événements initiateurs entre eux dans un arbre des causes grâce à des portes logiques « ET » et « OU » afin de déterminer la probabilité d'occurrence de l'ERC ainsi que la gravité de celui-ci. Il met également en évidence les éventuelles barrières de prévention (permettant potentiellement de réduire la probabilité de l'ERC) ainsi que des barrières de protection si l'ERC n'a pas pu être détecté ou empêché.

Les différents ERC retenus pour l'ouvrage sont ensuite placés dans une matrice de criticité synthétisant la dangerosité d'un évènement en fonction du croisement de son occurrence et de sa gravité.

L'enjeu d'EDF-CIH, compte-tenu du nombre d'EDD à réaliser chaque année (15 à 20) sur des ouvrages très différents, impliquant des contributeurs multiples, est d'être homogène, notamment dans ce travail d'analyse de risques. Cet enjeu de cohérence est important à la fois en interne EDF Hydro pour le traitement des barrages à l'échelle d'un grand parc d'ouvrages. Il est également sensible vis-à-vis de l'instruction des différentes EDD par l'Administration. Il est d'autant plus sensible que :

- Les ouvrages du parc EDF présentent une grande diversité.
- Les méthodes d'évaluation des occurrences, par une approche semi-probabiliste, présentent une certaine incertitude avec une part de « dire d'expert ». Afin d'avoir des approches aussi homogènes que possible, ces cotations se basent en partie sur des guides de cotation « métier » validés par des experts, et sur des dires d'experts obtenus par convergence « collégial » en GT ou réunion ad hoc. Ces pratiques constituent des manières de réduire les biais cognitifs associés potentiellement à cet exercice.

## 6.2. ERC type et guide de cotation

La quantification des occurrences des événements se fait par le groupe de travail, en s'appuyant sur les diagnostics, les notes de conception et de calcul, le retour d'expérience de l'ouvrage et la connaissance de l'accidentologie mondiale. La méthodologie d'EDF-CIH permet une structuration de l'analyse de risques avec des ERC types et des guides de cotations dans chaque domaine.

Plusieurs articles en référence du présent colloque CFBR 2025 permettent de compléter ces éléments par métier :

- Les automates programmables industriels dans l'ADR de l'EDD [11].
- Prise en compte du « facteur humain » dans les EDD Barrage EDF [12].
- Comment sont construits les arbres de défaillance de vannes et le guide de cotation hydromécanique des EDD barrages [8].
- Approche méthodologique pour la recherche des causes de la rupture d'un barrage et l'élaboration de l'ERC1 Rupture barrage [7].

## 6.3. Exemple et REX de l'ERC1

L'ERC 1 représente l'enjeu le plus important : la rupture du barrage. Il est donc important de cerner tous les Evénements Initiateurs (EI) possibles de cet ERC afin d'en diminuer les risques lorsque c'est possible et/ou nécessaire. L'arbre des causes permet de mettre en évidence les EI pouvant conduire à une rupture de barrage ainsi que les barrières de prévention et de protection le cas échéant.

L'exhaussement du plan d'eau, principale contrainte qu'un barrage peut avoir à supporter, est un EI commun à tous les barrages dont la cotation est très hétérogène et dépend des caractéristiques de chaque aménagement. Toutefois, pour les barrages vannés, on peut généralement prévoir que cet évènement est initiateur de l'ERC1 quand on observe une crue et une défaillance des vannes d'évacuations des crues, amenant à la Cote De Danger (CDD). Quant aux barrages à seuil déversant, cette problématique est liée à une crue trop importante pour la capacité de déversement de l'EVC conduisant aussi à l'atteinte de la CDD du barrage (souvent guider par la problématique érosion) ou à la rupture du seuil déversant.

Pour les barrages en béton, la sensibilité intrinsèque des différentes parties du barrage est très régulièrement un évènement coté extrêmement peu probable en tant qu'initiateur de l'ERC rupture du barrage. L'érosion des barrages en remblai est cependant cotée de manière plus courante, les barrages en remblai étant plus sensibles que les barrages en béton avec des phénomènes de type érosion interne.

La défaillance de la fonction transfert et dissipation est également un évènement qui ressort parfois critique dans l'étude de l'ERC1.

Les classes d'occurrence des ERC1 des EDD2 sont relevées par natures de barrages dans le graphe ci-après.

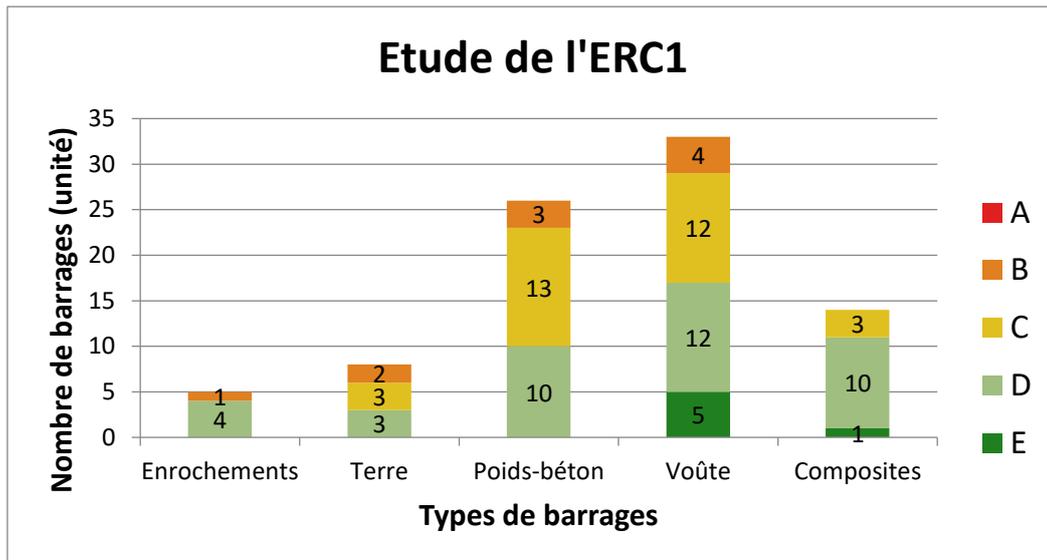


Figure 7 : Etude de la cotation finale des ERC1 de plus de 70 EDD.

Les barrages dits composites peuvent être constitués d'ouvrages en béton et/ou d'ouvrages en remblai. Si les ouvrages sont indépendants, ils peuvent avoir plusieurs ERC1 correspondant à la rupture de chacune de ces parties indépendantes.

Il n'y a pas de réelles différences dans la répartition des cotations des ERC1 en fonction du type d'ouvrages. En effet, les barrages ne sont pas sensibles aux mêmes évènements étant donné leurs conceptions différentes, mais il n'est pas possible de juger de la robustesse d'un barrage du parc EDF uniquement par sa nature tant les agresseurs et le comportement des ouvrages peuvent être différents.

## 7. INSTRUCTION DES EDD

Le retour des instructions des EDD et leur traitement permet une amélioration continue du référentiel méthodologique.

Sur les 75 EDD remise à l'administration, moins de 20 % voient leur instruction effectivement clôturée à ce jour, ce qui limite le retour d'expériences. Il est également constaté une relative hétérogénéité des retours, avec parfois un « grain » très fin. Par ailleurs, lorsque les délais d'instruction sont importants, il est d'autant plus difficile de remobiliser les différentes ressources métiers qui ont contribué à l'EDD.

Certains sujets reviennent régulièrement dans le cadre de l'instruction et mériteraient des discussions entre les acteurs de la profession afin d'harmoniser les interprétations et les pratiques.

## 8. CONCLUSION

Après 5 ans d'application des deux nouveaux arrêtés ATB et EDD, et la livraison de 75 EDD, nous retenons notamment les éléments suivants comme des forces du process mis en place pour leur réalisation :

- Constitution d'un groupe de travail multi-métiers animé par un chef de projet et encadré par un vérificateur général garant de la méthode et de l'homogénéité des EDD.
- Organisation/structuration de la méthodologie de l'OA et mise à jour au pas annuel pour prendre en compte le REX interne et certains retours de l'administration, mais aussi pour clarifier les exigences afin d'assurer l'homogénéité des livrables.
- Structuration de l'analyse de risques avec des ERC type et des guides méthodologiques dans chaque domaine.
- Anticipation 3 à 4 ans avant la remise de l'EDD pour identifier les besoins spécifiques.
- Traitement plus poussé de certains sujets techniques.

Outre le besoin de répondre à une exigence réglementaire, cet exercice permet au MOA d'améliorer la connaissance et l'appropriation des enjeux liés à chacun des ouvrages.

Dans une logique d'amélioration continue, EDF-CIH poursuit le travail d'amélioration de sa méthodologie de réalisation. Parmi les axes de travail, on peut citer :

- Améliorer la captation et l'utilisation du REX du parc et à l'international sur la totalité des domaines (structuration à EDF avec collecte de données + base ARIA ...) [10].
- Limiter les conservatismes qui existent pour certaines cotations ou ERC, par exemple :
  - Passage des études de stabilité « déterministes » à une occurrence semi-probabiliste,
  - Cotation des événements type « Ouverture Intempestive totale ». Autant des ouvertures intempestives partielles ont pu arriver, autant les ouvertures totales restent des événements très rares, en particulier pour les grandes vannes levantes.
- Travailler collectivement sur la dangerosité réelle des ERC et le sens de la matrice de criticité. En effet, certaines PE (Personnes Exposées) ne sont clairement pas mises en danger lorsque les hauteurs et vitesses d'écoulement sont faibles. Certains ERC peuvent alors apparaître anormalement anxiogènes, par exemple pour des BMR ou des barrages de moyenne importance. Une meilleure distinction des conséquences réelles en aval permettra une meilleure identification et hiérarchisation des risques et des plans d'actions associés.

## REMERCIEMENTS

Merci à tous les acteurs de la méthodologie du programme EDD d'EDF-CIH.

## RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] DGPR/SRNH/PONSOH (2020) Arrêté du 12 juin 2008, modifié par l'arrêté du 3 septembre 2018, définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu et sa note d'interprétation.
- [2] Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages. Journal Officiel du 29 août 2018 et sa note d'interprétation
- [3] CFBR 2025, S.BALE, REX DE LA DETERMINATION DES CDD POUR 65 BARRAGES EN BETON ESTIMATIONS ET MODES DE DEFAILLANCE ASSOCIES - ILLUSTRATION DES NOTIONS DE COTE DE VULNERABILITE, CDD POUR UN BARRAGE COMPOSITE)
- [4] CFBR 2025, Erosion route

- [5] CFBR 2025, Embâcles
- [6] CFBR 2025, PRISE EN COMPTE DES TRAVAUX RECENTS DANS L'EVALUATION DE LA REVANCHE POUR LES BARRAGES EN REMBLAIS
- [7] CFBR 2025, APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR LA RECHERCHE DES CAUSES DE LA RUPTURE D'UN BARRAGE ET L'ELABORATION DE L'ERC1 RUPTURE BARRAGE.
- [8] CFBR 2025, COMMENT SONT CONSTRUITS LES ARBRES DE DEFAILLANCE DE VANNES ET LE GUIDE DE COTATION HYDROMECHANIQUE DES EDD BARRAGES
- [9] CFBR 2025, REX sur la pertinence du dispositif d'auscultation
- [10] CFBR 2025, REX accidentologique utilisé dans les EDD
- [11] CFBR 2025, Les automates programmables industriels dans l'analyse de risques des études de dangers
- [12] CFBR 2025, Prise en compte du « facteur humain » dans les EDD Barrage EDF