

## COMPARAISON ENTRE LES ONDES DE SUBMERSION DES BARRAGES SOUMIS A L'ELABORATION DE PPI ET CELLES ETABLIES DANS LE CADRE DES EDD

*The difference between dam break flood subjected to PPI ("Plan Particulier d'Intervention") and those subjected to EDD ("Etudes de Dangers")*

Yacine EL BADAOUY, Thomas VIARD

EDF CIH, 4 Allée du Lac de Tignes, 73290 LA MOTTE SERVOLEX

[yacine.el-badaoui@edf.fr](mailto:yacine.el-badaoui@edf.fr); [thomas.viard@edf.fr](mailto:thomas.viard@edf.fr)

### MOTS CLEFS

PPI, EDD, onde de submersion

### KEY WORDS

PPI, EDD, dambreak analysis

### RÉSUMÉ

*Au cours des dernières décennies, la réglementation française concernant le risque engendré par les barrages, et les ouvrages hydrauliques plus largement, a connu de multiples évolutions.*

*Après la rupture du barrage de Malpasset en 1959, la définition des enjeux relatifs aux ruptures des barrages et à l'organisation de plans d'alerte et d'évacuation ont été traitées dans le cadre de la sécurité intérieure. Après diverses évolutions législatives, les Plan Particuliers d'Intervention (PPI) ont été décrétés en 1992 (puis complétés par un arrêté en 2002), avec pour leur établissement la nécessité de réaliser une modélisation hydraulique de la rupture totale d'un barrage répondant à des critères définis (ouvrages de plus de 20 m de hauteur et ayant une retenue d'au moins 15 millions de m<sup>3</sup>), et selon des prescriptions spécifiques.*

*En 2008, un nouveau mode de classement des barrages selon 4 catégories voit le jour au titre du code de l'environnement, et avec lui, l'obligation pour le concessionnaire de fournir une Étude De Dangers (EDD) qui précise les niveaux de risque pour les populations, les mesures aptes à les réduire et les niveaux de risques résiduels (pour les ouvrages de classe A et B), dont les modalités ont été précisées quelques années plus tard par l'Arrêté Technique Barrages (2018), communément appelé « ATB ».*

*Dans le cadre des EDD, il s'avère nécessaire de caractériser les ondes de submersion relatives à la rupture des barrages, dont certains ne relèvent pas de la législation PPI, et pour ceux en relevant, des hypothèses retenues pour l'onde de submersion PPI qui diffèrent parfois de celles retenues au titre de l'EDD. Les différences identifiées conduisent à devoir évaluer la validité des ondes de submersion existantes (PPI ou non), notamment pour décider quant à leur réemploi ou non lors de la réalisation d'une EDD ou de son actualisation. L'arrêté du 3 septembre 2018, définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu, mentionne par ailleurs que les EDD peuvent être utilisées pour la mise à jour ou l'élaboration de PPI.*

*Au regard des récents cas traités par EDF dans le cadre des EDD, il paraît opportun de concilier les approches sur des objets qui ont des finalités et des hypothèses différentes, ce qui nécessite au préalable de dresser une liste détaillée des différences qui existent entre une onde de submersion de barrage soumis à l'élaboration d'un PPI et une onde de submersion spécifique à l'EDD, et notamment dans quelles mesures elles peuvent répondre aux besoins et aux prescriptions des EDD, tout en relevant de législations différentes.*

## ABSTRACT

*Last decade, French law about dam and hydraulic structure safety updated few times.*

*After Malpasset dambreak, Interior security defined issues about dambreak, safety and evacuation plan organization. After few law evolutions, Particular Intervention Plan (PPI) decree was published in 1992 (completed with an order in 2002). It imposed a dambreak hydraulic modelling with specific prescriptions for dams over 20 meters high with more than 15 million of cubic meters reservoirs.*

*Since 2008, Environment code classifies dams with 4 categories depending on dam height. Dam contracting authority have to produce a risk analysis (EDD) which evaluate number of persons at risk for different possible accident, mitigation means and remaining risks for class A and B dams. Since 2018, a law (ATB) gives minimal safety requirements and EDD had to demonstrate dam law conformity.*

*EDD report has to contain dambreak modelling even for non-PPI dams. For PPI dams, there are some differences between EDD and PPI dambreak modelling hypothesis. For each dam EDD, existing dambreak modelling (PPI or not) validity is evaluated to know if it can be reused for EDD update. 2018 September the 3<sup>rd</sup> order defines EDD contents and point out that EDD are used to update PPI.*

*Considering EDD feedback since 2018, it seems interesting to discuss about PPI and EDD different hypotheses and finalities. This article shows difference of practice in dambreak modelling for EDD and PPI and questions how to council the 2 exercises introduced by 2 different laws which require not exactly the same things.*

### 1. CONTEXTE LEGISLATIF

#### 1.1. La législation des ruptures de barrage de 1960 à 2002

Suite à la rupture du barrage de Malpasset en 1959, l'Etat français s'est muni d'un arsenal législatif pour être prêt à évacuer des populations en cas de nouvelle rupture de barrage. Ainsi, en juin 1966, le Comité Technique Permanent des Barrages (CTPB – aujourd'hui CTPBOH, avec l'ajout des ouvrages hydrauliques) est créé pour « surveiller » de manière indépendante les grands travaux hydrauliques en France et, en mai 1968, des « plans d'alerte » deviennent obligatoires pour les barrages de plus de 20 m de haut et retenant plus de 15 millions de m<sup>3</sup> d'eau. Ces plans d'alerte sont soumis à approbation du CTPB. L'objectif principal de cette législation est la capacité d'évacuation des populations. On s'intéresse à l'époque uniquement au linéaire où le débit est supérieur aux crues historiques et des sirènes doivent être mises en place pour la « zone du quart d'heure » correspondant aux quinze premières minutes de propagation de l'onde.

La loi 87-565 du 22 juillet 1987 indique que « *Les grands barrages sont générateurs de risques majeurs et font l'objet d'un Plan Particulier d'Intervention (PPI)* ». Les Plans d'alerte sont ainsi remplacés par des PPI. Le décret 92-997 du 15 septembre 1992 et l'arrêté du 22 février 2002 détaillent les attendus de ces PPI. Le décret de 1992 met en place l'analyse de risque associée aux PPI avec comme objectif une chaîne complète – dispositif de détection, surveillance, alerte – pour améliorer la sûreté des installations.

L'arrêté de 2002 définit la zone de proximité immédiate (anciennement zone du quart d'heure), la zone d'inondation spécifique (ancienne zone couverte par le plan d'alerte) et la zone d'inondation plus en aval, mais cette dernière zone est ensuite explicitement exclue du PPI. L'arrêté détaille les attendus de l'analyse de risque (séisme, stabilité des berges, ...). Pour l'Onde de Submersion (OS), la zone submergée, le temps d'arrivée de l'onde, les hauteurs et les vitesses sont explicitement demandées. Différents stades avant la rupture de l'ouvrage (vigilance renforcée, préoccupations sérieuses et péril imminent) doivent être définis pour améliorer l'organisation de l'évacuation. Pour chaque stade, sont définis les conditions de déclenchement et les actions à réaliser. Il est à noter que ce corpus législatif dépend du code de la sécurité intérieure.

Suite à ce décret (1992) et cet arrêté (2002), un plan de qualité est défini entre le Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages (BETCGB – ex-PONSOH, Pôle National de Sûreté des Ouvrages Hydrauliques) et EDF pour définir un corpus d'hypothèses de référence pour l'établissement des 67 PPI d'ouvrages EDF.

#### 1.2. L'arrivée des EDD, de 2007 à nos jours

En 2007, les barrages sont classés de A à D (puis A à C depuis 2015) et les barrages de classe A et B sont soumis à Etude de Danger (EDD) dont un arrêté de 2008, mis à jour en 2018, définit le plan et le contenu. Dans ce cadre,

« Une étude de propagation de l'onde de submersion est fournie à minima pour le ou les accidents correspondant à la rupture de l'ouvrage ». Il est à noter que les règles de majoration couramment admises issues du plan de qualité établi entre le BETCGB et EDF sont inscrites dans l'arrêté de 2018 et deviennent règlementaires. Le corpus législatif concernant ces EDD dépend du code de l'environnement.

Depuis 2014, pour accorder le code de l'environnement et le code de la sécurité intérieure, l'article R. 741-34 du Code de la sécurité intérieure impose que le PPI soit élaboré sur la base de l'analyse de risque et de l'onde de submersion de l'EDD du barrage soumis à PPI.

### 1.3. Discussions autour des liens entre les deux législations

Sur le plan législatif, les EDD et les PPI sont donc bien « accordés ». Sur la « philosophie » de ces lois, le présent article va mettre en lumière des écarts de pratiques et des écarts de finalités qui posent un certain nombre de questions aux ingénieurs réalisant les études.

En effet, en premier lieu, la finalité des EDD et des PPI n'est pas la même. Le PPI, issu du code de la sécurité intérieure, a un objectif clair d'efficacité sur l'évacuation des populations. Ainsi par exemple les règles de majoration des hauteurs d'eau permettaient d'être raisonnablement conservatif dans le cadre de règles de calcul normalisées et des moyens d'époque pour dimensionner au plus juste l'évacuation des populations et couvrir différents scénarios de rupture, du plus probable au moins probable. L'exercice des EDD, issu du code de l'Environnement, a un objectif de démonstration du juste niveau de sûreté et de vérification de l'acceptabilité de la criticité, définie comme étant le croisement de la probabilité d'un évènement et de ses conséquences sur les personnes. Il se focalise ainsi souvent sur les scénarios les plus probables, mais pas forcément sur ceux optimum pour calibrer l'évacuation des populations. Avoir une même onde de submersion pour ces deux objectifs peut ainsi amener à un certain nombre de questionnements méthodologiques.

## 2. COMPARAISON DES PRATIQUES D'ONDE DE SUBMERSION ENTRE PPI ET EDD

### 2.1. Pratique historique pour les PPI (plan de qualité BETCGB/EDF)

Les ondes de submersion PPI produites par EDF dans le cadre de l'évolution de la réglementation courant des années 1990 et début des années 2000, ont fait l'objet d'un cadrage méthodologique visant à définir et à uniformiser les modalités de réalisation. Cela s'est traduit par l'établissement d'un Plan Qualité d'Etude (PQE) en concertation avec le BETCGB. Les principales prescriptions de ce PQE sont détaillées ci-après, sans toutefois rentrer dans les détails opérationnels.

#### 2.1.1. Conditions barrage amont

Le barrage dont l'onde de submersion est à étudier, peut relever de deux situations différentes :

- Soit le barrage est un ouvrage béton (poids ou voûte), alors sa retenue est modélisée numériquement et l'hydrogramme de rupture est déterminé et propagé par le même modèle ;
- Soit le barrage est de type remblai, alors l'hydrogramme de rupture est déterminé en amont par l'utilisation d'un code de calcul spécifique à l'érosion régressive ou à la surverse (en l'occurrence les codes mentionnés sont « RENARD » et « EROSIF ») et le modèle est utilisé uniquement pour la propagation de l'hydrogramme (pas d'intégration de la retenue amont au modèle).

Dans les deux cas, le PQE définit une condition initiale amont au barrage amont (barrage dont la rupture est étudiée) comme étant la cote des Plus Hautes Eaux (PHE).

#### 2.1.2. Conditions barrage aval

Les retenues et barrages potentiellement présents à l'aval sont à modéliser afin de prendre en compte leurs impacts sur la propagation de l'onde de submersion.

La condition de cote initiale pour les barrages situés à l'aval est définie en fonction de leur hauteur : s'ils présentent une hauteur supérieure ou égale à 20 m, ils doivent être considérés avec une cote initiale égale à la cote des PHE. Dans le cas contraire (hauteur inférieure à 20m), ils peuvent être considérés avec une cote initiale égale à la cote de Retenue Normale (RN).

La prise en compte de conditions initiales différentes de celles énoncées ci-dessus est possible, sous réserve de justifications.

Par ailleurs, il est nécessaire de connaître les cotes de crête et les cotes de référence (surverse et/ou rupture) propres à chaque barrage aval, afin de pouvoir prendre en compte leur comportement directement dans la modélisation. En complément, une loi cote amont/débit avant rupture peut être intégrée afin de s'approcher au mieux du comportement réel des barrages aval.

### 2.1.3. Conditions initiales et de modélisation

Le domaine d'une étude d'onde de submersion PPI est séparé selon deux zones distinctes :

- La « zone amont » (réunissant la Zone de Proximité Immédiate (ZPI) et la Zone d'Inondation Spécifique (ZIS)), correspondant à la zone où le débit de rupture est supérieur au débit de pointe de la crue de temps de retour 100 ans, signifiant que l'écoulement sur cette zone présente une hauteur très supérieure à la hauteur liée aux débits naturels du cours d'eau ;
- La « zone aval » (zone d'inondation), correspondant à la zone où le débit de rupture devient inférieur au débit de pointe de la crue de temps de retour 100 ans, signifiant que l'écoulement sur cette zone présente une hauteur comparable aux crues moyennes.

La détermination du point de transition entre la zone amont et la zone aval joue un rôle important dans la préparation du modèle, car marquant la limite entre les modalités propres à chaque zone.

#### *Zone amont*

La propagation de l'onde de submersion dans la zone amont est réalisée sur « fonds secs », c'est-à-dire sans la prise en compte du débit habituel rencontré couramment dans le cours d'eau, et ce au regard du ratio important pouvant exister entre les débits de rupture propagés ( $>>Q_{100}$ ) et ce débit.

En contrepartie, le lit mineur du cours d'eau n'est pas modélisé sur cette zone, les données topographiques pouvant être issues de l'IGN sont utilisées telles quelles.

Dans le cas où l'onde rejoindrait la mer avant de pouvoir passer en zone aval, la condition limite aval au modèle à appliquer est une cote correspondant à une marée de coefficient 120 (Plus Hautes Mers Astronomiques – PHMA).

#### *Zone aval*

Dans cette zone, les débits propagés devenant de plus en plus proches des débits de crues moyennes, il est nécessaire de modéliser le lit mineur de la rivière et de prendre en compte un débit initial à la propagation correspondant à son module.

Pour la condition limite aval, il est demandé de boucler le modèle (bien en aval du point d'arrêt) avec une loi de tarage cote aval/débit, ou à défaut avec une loi cote aval/débit en écoulement normal en prolongeant le modèle de 15km en aval du point d'arrêt. Dans le cas où l'onde de submersion atteindrait la mer, il convient de retenir comme condition limite aval au modèle une cote correspondant à la valeur moyenne de la marée.

### 2.1.4. Paramètres de modélisation

#### *Modèle 1D/2D*

Dans certains cas (par exemple l'expansion de l'onde dans une zone de plaine), une modélisation monodimensionnelle (1D) de l'onde peut ne pas être suffisante, ce qui implique la nécessité de recourir à un modèle bidimensionnel (2D). Ce modèle 2D peut concerner soit une partie de la zone aval, soit toute la zone aval, soit les deux zones amont et aval.

Le PQE précise explicitement que les dispositions qui y sont mentionnées concernent uniquement les études monodimensionnelles d'onde de submersion, mais que la majorité des dispositions restent applicables aux études bidimensionnelles.

### *Coefficients de Strickler*

Les coefficients de Strickler utilisés dans la modélisation ne se limitent pas à prendre en compte la rugosité du lit et des sols, mais ils doivent aussi intégrer la morphologie du lit de la rivière et de la vallée.

Dans la zone amont, du fait des hauteurs d'eau importantes, il n'est pas retenu la distinction entre lit mineur et lit majeur, et donc ce sont les coefficients de Strickler du lit global qui sont définis, tout en se référant à un barème validé par le BETCGB.

Dans la zone aval, la distinction est faite entre lit mineur et lit majeur. En plus de la nature et des matériaux constituant le lit mineur, il convient d'apprécier aussi ses spécificités géométriques telles que la forme du lit, la présence de méandres ou encore d'éléments d'obstruction de l'écoulement.

#### 2.1.5. Résultats

##### *Critères d'arrêt*

Le point d'arrêt de l'onde correspond au point jusqu'auquel les résultats sont présentés et la cartographie est fournie. Ce point se situe généralement plusieurs kilomètres en amont de la limite aval de modélisation pour ne pas être influencé par la condition limite aval.

Le PQE retient une détermination du point d'arrêt à partir du point où l'un des critères ci-après est respecté, dans l'ordre suivant :

- Maintien de l'écoulement à l'intérieur de l'endiguement, si le cours d'eau est endigué ;
- Submersion des berges non endiguées ne dépassant pas 1 m de hauteur ;
- À défaut, un débit maximal de l'onde inférieur à la pointe de la crue décennale de la rivière.

##### *Règles de majoration*

Les résultats chiffrés des principaux paramètres sont appelés « valeurs calculées » et comprennent :

- Les cotes maximales atteintes de la surface libre ;
- Les hauteurs d'eau maximales atteintes ;
- Les temps d'arrivée du front d'onde ;
- Les temps d'atteinte de la hauteur maximale ;
- Les vitesses au temps d'atteinte de la hauteur maximale ;
- Les sur-hauteurs de dévers dans les courbures marquées.

Il est nécessaire de fournir en plus des « valeurs calculées », les résultats en « valeurs recommandées », qui concernent les hauteurs d'eau et les cotes maximales atteintes, ainsi que les temps d'arrivée d'onde.

Les valeurs recommandées dans la zone amont sont obtenues à partir des valeurs calculées de la façon suivante :

- Majoration des hauteurs d'eau maximales (comptées à partir de la ligne d'eau initiale) de 15% avec un minimum de 1 m pour les valeurs de hauteur supérieures ou égales à 1 m. Les hauteurs inférieures à 1 m sont doublées. Les cotes maximales sont majorées en conséquence.
- Minoration des temps d'arrivée d'onde de 13%.

Les valeurs recommandées dans la zone aval sont obtenues à partir des valeurs calculées de la façon suivante :

- En raison des faibles hauteurs d'eau dans cette zone, les hauteurs sont majorées d'une surélévation correspondant à une majoration du débit maximal de l'onde de 15%, en veillant à majorer aussi le niveau de la condition limite aval initiale par correspondance à un débit majoré de 15% à l'aide de la courbe de tarage, avec un minimum de 0,50 m. Dans le cas où la condition limite aval n'est pas fixée à partir d'une loi de tarage, les règles de majoration suivantes sont appliquées : majoration des hauteurs d'eau maximales (comptées à partir de la ligne d'eau initiale) de 15% avec un minimum de 0,50 m pour les valeurs de hauteur supérieures à 0,50 m. Les hauteurs inférieures à 0,50 m sont doublées. Les cotes maximales sont majorées en conséquence.

- Pour la minoration des temps d'arrivée d'onde, les mêmes règles que pour la zone amont sont conservées.

Il est précisé ici que la règle de majoration dans la zone aval consistant à majorer le débit de 15% avant sa propagation est tout particulièrement adaptée à une approche bidimensionnelle, contrairement au principe de majoration de 15% des hauteurs d'eau, qui s'avère très difficilement applicable à l'approche bidimensionnelle.

### Présentation des résultats

Les résultats de l'onde de submersion sont à présenter selon deux formats :

- Les tableaux de résultats : les résultats en valeurs calculées et en valeurs recommandées sont à mettre sous forme de tableau les récapitulant tous les 500 m. Les valeurs doivent être au préalable arrondies selon les modalités suivantes :
  - Les cotes et hauteurs d'eau sont arrondies au mètre voisin lorsque les surélévations sont supérieures à 2 m, et au décimètre voisin dans le cas contraire.
  - Les temps sont arrondis à la minute voisine pour les temps supérieurs à 15 minutes et au 1/10<sup>ème</sup> de minute voisin pour les temps inférieurs à 15 minutes.
- La cartographie de l'onde : les zones inondables sont tracées sur la base des valeurs recommandées pour les paramètres soumis à majoration et des valeurs calculées pour les paramètres ne subissant pas de majoration. La cartographie fait apparaître les éléments suivants :
  - Les points kilométriques et les points intermédiaires à 500 m, à partir des abscisses curvilignes des profils en travers ;
  - Les temps d'arrivée de l'onde, en valeurs recommandées, en veillant à ce qu'ils soient donnés toutes les minutes dans la zone du ¼ d'heure, puis toutes les 5 minutes, 10 minutes, 15 minutes, 30 minutes et 60 minutes ;
  - Le tracé des zones inondables en fonction des valeurs recommandées (avec prise en compte des dévers) à l'aide des courbes de niveau et des points cotés sur des cartes au 1/25 000.

## 2.2.Pratique EDD

### 2.2.1. Condition barrage amont

Dans le cadre des EDD, la condition initiale amont au barrage amont subissant la rupture n'est pas prescrite, mais elle doit découler de l'analyse de risque spécifique à l'Événement Redouté Central n°1 (ERC1), qui correspond généralement à la rupture du barrage concerné par l'EDD. Cette analyse de risque est synthétisée en partie dans le nœud papillon spécifique à l'ERC1.

La détermination de la condition initiale amont repose sur l'identification de l'Événement Initiateur (EI) qui pilote la probabilité d'occurrence de l'ERC1. La situation initiale relative à cet EI fixe la condition initiale du barrage amont :

- Si l'EI a lieu en situation d'exploitation normale (hors-crue), il est retenu une cote initiale amont de rupture correspondant à la cote de RN.
- Si l'EI a lieu en situation de crue sur atteinte de la Cote De Danger (CDD) pour un temps de retour de crue défini, alors la cote initiale amont du barrage amont est la CDD.

Dans le cas où plusieurs EI auraient la même probabilité d'occurrence, il convient de définir celui qui engendre la plus grande classe de gravité, soit de manière qualitative si cela est possible, soit de manière quantitative en réalisant un modèle pour chaque situation découlant d'un EI différent.

Cette approche se distingue de l'approche PPI car la cote initiale amont de rupture dans le cadre des EDD peut tantôt être inférieure à la cote des PHE, tantôt supérieure, tout en précisant que la cote des PHE ne définit pas une limite structurelle de stabilité ou d'instabilité. Un écart significatif sur la cote initiale amont conduit à des différences à la fois sur les débits et sur les volumes relâchés, ce qui implique que parfois c'est la situation initiale PPI qui est englobante, et parfois c'est la situation initiale EDD qui l'est. Des analyses de validité d'OS PPI peuvent être engagées afin d'évaluer le réemploi d'une OS PPI dans le cadre d'une EDD, mais la donnée clé étant la CDD

du barrage étudié, elle arrive souvent en fin de processus, c<sup>1</sup>e qui rend la production d'une nouvelle OS (si nécessaire) délicate dans les délais de production de l'EDD.

### 2.2.2. Condition barrages aval

La condition initiale des barrages aval est aussi définie selon l'EI retenu :

- Si l'EI a lieu en situation d'exploitation normale (hors-crue) ou bien en situation en crue mais dans une configuration du type « toutes vannes fermées » au niveau du barrage amont avec un très faible débit évacué, il est retenu une cote initiale au droit de chaque barrage aval correspondant à sa cote de RN.
- Si l'EI a lieu en situation en crue, alors la cote initiale pour chaque barrage aval est soit :
  - La cote atteinte par la crue de temps de retour conduisant à la rupture du barrage objet de l'EDD si cette situation est hydrologiquement réaliste. Sinon, il faut définir la cote atteinte au barrage aval en fonction du débit de pointe associé à la rupture du barrage amont, augmenté par le débit de pointe du Bassin Versant Intermédiaire (BVI). Il n'existe en revanche pas de précisions concernant le débit à retenir pour le BVI. L'approche suivante a été retenue : si des données de corrélation existent, alors un débit cohérent sera choisi pour le BVI ; à défaut, une décote d'une décade est appliquée par rapport au temps de retour du barrage amont, sur la base des recommandations CFBR concernant les études incrémentales.
  - La cote des PHE en cas d'absence de données quant à la capacité d'évacuation, à la capacité de laminage et aux consignes d'exploitation des barrages aval.

De manière similaire à l'approche PPI, il est nécessaire de connaître les cotes de crête et de danger propres à chaque barrage aval, afin de pouvoir prendre en compte leur potentielle rupture directement dans la modélisation. En complément, une loi cote amont/débit peut être intégrée afin de s'approcher au mieux du comportement réel des ouvrages.

Ici encore, il est constaté qu'entre OS PPI et OS EDD, les conditions initiales des barrages aval peuvent différer fortement, avec pour certains cas des barrages aval connaissant une rupture dans un cas et pas dans l'autre, ou inversement, ce qui est de nature à influencer la propagation de l'onde, les résultats obtenus et les points d'arrêt.

### 2.2.3. Conditions initiales et de modélisation

Il n'y a pas de prescriptions spécifiques, mais elles sont définies au cas par cas selon le (ou les) EI qui pilote(nt) la probabilité d'occurrence ou la classe de gravité, tout en s'inspirant des règles s'appliquant aux études d'ondes de submersion PPI.

Les notions de zone amont et de zone aval des OS PPI sont ainsi réemployées pour les EDD. En effet, sans forcément être définies de manière détaillée, l'arrêté mentionne la « zone d'inondation amont » et la « zone d'inondation aval ». Généralement, les prescriptions des OS PPI en termes de modélisation et de conditions initiales de débit dans la rivière sont reconduites, sauf parfois pour les Barrages Mobiles en Rivière (BMR) situés sur des cours d'eau importants, qui nécessitent d'être adaptées.

### 2.2.4. Paramètres de modélisation

#### Modèle 1D/2D

L'arrêté du 3 septembre 2018 (définissant le plan et le contenu de l'EDD) ne donne aucune prescription quant au type de modélisation à utiliser, ni de règles spécifiques se rapportant à une modélisation 1D ou 2D. La pratique veut que ce qui est utilisé régulièrement dans les OS PPI est reconduit pour les OS EDD, c'est-à-dire qu'une OS EDD peut soit consister en un modèle 1D, soit en un modèle associant une partie 1D et une partie 2D, soit en un modèle complètement 2D.

---

<sup>1</sup> La détermination de la CDD d'un barrage résulte de la prise en compte de différentes contributions métiers, qui une fois livrées permettent l'aboutissement de l'analyse de risque de manière collégiale. Certaines contributions métiers sont réalisées en parallèles, mais d'autres sont en série, ce qui implique une linéarité dans le processus et conditionne la livraison de l'ensemble des contributions afin que la CDD soit statué. En pratique, ces contributions demandent plusieurs mois d'élaboration et elles arrivent très souvent en fin de processus (quelques mois avant la livraison de l'EDD), ce qui ne permet pas (surtout en cas de dérive planning) de disposer du temps suffisant pour réaliser une reprise de l'onde de submersion.

### *Coefficients de Strickler*

Très souvent, l'approche et les coefficients de Strickler utilisés dans le cadre d'une OS PPI sont reconduits pour une OS EDD après analyse critique. La pratique actuelle (notamment pour les modèles 2D) fait que les coefficients de Strickler sont souvent évalués à partir de la base de données du « Corine Land Cover », qui peuvent différer dans ce cas de ceux retenus dans les OS PPI précédentes.

### 2.2.5. Résultats

#### *Critères d'arrêt*

Deux critères d'arrêt sont distingués pour les OS EDD, un propre à la cartographie de l'onde et à la présentation des résultats, l'autre propre au comptage des personnes exposées.

#### *Cartographie et résultats*

Le point d'arrêt de présentation des résultats et de cartographie de l'onde est défini selon le même principe que celui des OS PPI pour les ouvrages concernés, tout en précisant que l'arrêt ne mentionne directement aucun élément à ce sujet, mis à part sa note d'interprétation qui conseille de présenter les résultats jusqu'à un débit équivalent à une crue de temps de retour de 10 ans.

L'arrêté du 3 septembre 2018 (définissant le plan et le contenu de l'EDD) ne fait mention que des barrages auxquels s'appliquent la réglementation PPI ; cependant de nombreux barrages pour lesquels une EDD est à réaliser n'y sont pas soumis. Concernant les barrages soumis à PPI, aussi bien le PQE que l'arrêté sont cohérents sur le sujet du point d'arrêt aval. En revanche il est important de souligner que la zone aval des OS PPI est exclue de l'élaboration des PPI, ce qui implique que l'intégration de ce linéaire aux études d'OS des EDD ne représente qu'une utilité très relative et potentiellement une source d'incohérence avec les PPRi (Plan de Prévention du Risque inondation). Ainsi, pour les barrages non soumis à PPI, le choix a été fait par EDF d'arrêter la cartographie des OS de ces dits barrages pour les EDD à la zone amont (soit lorsque le débit de rupture devient inférieur au débit de pointe de la crue de temps de retour de 100 ans).

#### *Comptage*

Un des objectifs majeurs de la reprise de l'OS en lien avec l'ERC1 dans le cadre de l'EDD est d'estimer un nombre de personnes potentiellement exposées afin d'en déduire la classe de gravité associée.

De manière générale, les mêmes critères de comptage sont retenus aussi bien pour l'ERC1 que pour les autres ERC. Pour plus de détails à ce sujet, il est recommandé de se reporter à un autre article du présent colloque, intitulé « Évaluation des conséquences aval des ERC en personnes exposées ».

Comparativement aux OS PPI, il est identifié que le comptage des personnes mobiles peut parfois impliquer une prolongation du modèle au-delà des limites habituelles, c'est pourquoi l'effort fourni pour estimer cette catégorie de personnes exposées est parfois adapté à l'enjeu de changement de classe d'exposition selon le mode d'estimation.

#### *Règles de majoration*

L'un des seuls éléments prescrits dans l'arrêté du 3 septembre 2018 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages, concerne les règles de pondération (terme employé à la place de majoration) des résultats de l'onde de submersion. A la rubrique 10 de l'annexe à cet arrêté, il est mentionné : « Pour l'application des articles R.741-33 et suivants du code de la sécurité intérieure, l'EDD prend en compte les valeurs calculées des caractéristiques de l'onde de submersion à laquelle sont appliqués des coefficients de minoration de 13 % pour les délais depuis le début de l'évènement accidentel et de majoration de 15 % pour les surélévations du plan d'eau dans la zone d'inondation amont (avec un minimum de 1 m) et de 15 % des débits dans la zone d'inondation aval. »

Il est constaté que l'arrêté EDD fige les règles de majoration des résultats des OS sur des barrages soumis à la réglementation PPI, pratiques qui étaient cohérentes avec l'approche historique pour les OS PPI, mais paradoxalement ces majorations ne seraient pas imposées pour des barrages non soumis à PPI, car les articles R.741-33 et suivants du code de la sécurité intérieure ne s'appliquent pas à ces barrages.

Ces règles de majoration présentent la même difficulté d'application pour les modèles 2D que celle énoncée pour les OS PPI ci-avant, à savoir qu'une majoration de hauteurs d'eau sur un modèle 2D s'avère difficilement applicable.

Par ailleurs, ces majorations avaient pour objectifs au départ de couvrir les fortes incertitudes liées à un exercice normé (PPI avec un départ à PHE), à des données parfois imprécises, à des logiciels de modélisation perfectibles (1D) et des capacités de calcul limitées. Cependant, à partir du moment où il est possible :

- (i) de profiter d'une analyse de risques détaillée dans le cadre des EDD et que les modalités de rupture des barrages se voient précisées (cote de rupture, scénario de rupture, etc.) ;
- (ii) de disposer de données topographiques de qualité (par exemple le LIDAR HD de l'IGN) ;
- (iii) de recourir à des logiciels de modélisation améliorés (2D) et des capacités de calculs démultipliées.

Il apparaît paradoxal de figer forfaitairement les majorations, alors qu'elles pourraient être adaptées à la connaissance de chaque ouvrage.

#### *Présentation des résultats*

Les résultats devant être livrés au titre de l'OS EDD sont aussi mentionnés dans l'arrêté du 3 septembre 2018 et ils sont similaires à ceux des OS PPI, à savoir :

- Les tableaux de résultats en valeurs calculées et pondérées à chaque point kilométrique, en intégrant le calcul du dévers ;
- Une cartographie de l'onde en valeurs recommandées et prenant en compte le dévers.

### **3. CONCLUSION**

Malgré l'ambition de concilier l'approche EDD et l'approche PPI, il apparaît difficile de prime abord de déterminer si une OS PPI peut répondre aux attentes EDD, et à l'inverse, si une OS EDD peut répondre aux attentes PPI. En effet, les conditions initiales s'appliquant à l'une ou l'autre pouvant présenter des différences importantes, les conséquences en termes de propagation, et de facto, d'exposition des personnes et des biens, peuvent aboutir à des écarts significatifs, qui rendent complexe l'utilisation d'un outil commun pour des buts divergents.

Il apparaît judicieux d'envisager une évolution et une harmonisation des pratiques en matière d'études d'ondes de submersion afin de pouvoir répondre de façon cohérente aux enjeux de la sécurité civile (PPI) et de la sûreté des barrages (EDD).

L'analyse met en avant l'existence de possibilités d'évolution et/ou de convergence méthodologique sur certains volets, comme notamment celui des majorations, ou encore des conditions initiales, afin d'aller vers une compatibilité multiple des études d'onde de submersion.

## RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] Lois et décrets n° 0139 du 13/06/1966 relatif à la création du CTPB ([lien](#))
- [2] Décret n°68-450 du 16 mai 1968 relatif aux mesures de surveillance et d'alerte destinées à faciliter la protection des populations en aval de certains aménagements hydrauliques. ([lien](#))
- [3] Loi n°87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs. ([lien](#))
- [4] Décret n°92-997 du 15 septembre 1992 relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques. ([lien](#))
- [5] Arrêté du 22 février 2002 pris en application du décret n° 92-997 du 15 septembre 1992 relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques. ([lien](#))
- [6] Décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement ([lien](#))
- [7] Arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et en précisant le contenu. ([lien](#))
- [8] Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages. ([lien](#))
- [9] Arrêté du 3 septembre 2018 modifiant l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu. ([lien](#))
- [10] Code de la sécurité intérieure Chapitre 1er : Planification opérationnelle (Articles R741-1 à R741-48). ([lien](#))
- [11] Décret n° 2014-1253 du 27 octobre 2014 relatif aux dispositions des livres III, VI et VII de la partie réglementaire du code de la sécurité intérieure (Décrets en Conseil d'Etat et décrets simples) ([lien](#))
- [12] Plan Qualité d'Etude des Ondes de submersion PPI, EDF.