

EVALUATION DES CONSEQUENCES AVAL DES ERC EN PERSONNES EXPOSEES

Assessing the downstream consequences of Central Feared Events in terms of People At Risk

Aude BOYER, Yacine EL BADAoui, Mélissandre GALLITRE, Florence RENIER, Thomas VIARD

EDF Centre d'Ingénierie Hydraulique, 4 Allée du Lac de Tignes 73290 La Motte Servolex

aude.boyer-mathiaud@edf.fr, yacine.el-badaoui@edf.fr, melissandre.gallitre@edf.fr, florence.renier@edf.fr,
thomas.viard@edf.fr

MOTS CLEFS

Cinétique, évènement redouté central, évènement initiateur, effet majeur, personne exposée.

KEY WORDS

Kinetics, central feared event, initiating event, main consequences, people exposed.

RÉSUMÉ

Dans le cadre des études de danger (EDD), une évaluation de la classe de personnes exposées par les conséquences de chacun des événements redoutés centraux (ERC) retenus est réalisée conformément aux exigences de la réglementation en vigueur.

Dans l'approche présentée dans l'article, une personne, mobile ou sédentaire, est considérée comme exposée si elle est susceptible de se situer dans la zone inondable par l'ERC, quel que soit le moment où il pourrait se produire, indépendamment du risque réel de létalité. Les études de conséquences aval réalisées conformément aux exigences de la réglementation en vigueur ont pour but d'évaluer un ordre de grandeur des personnes exposées pour chacun des ERC d'une EDD. En effet, pour évaluer le nombre de personnes exposées, un certain nombre d'hypothèses (conditions initiales, gestes d'exploitation, hydrologie aval) nécessaires à la propagation du débit des ERC doivent être adoptées. Les outils utilisés pour la propagation du débit des ERC sont de plus en plus fréquemment des modèles 2D, qui sont simplifiés et rarement calés. Même s'il y a un creusement du lit mineur, des incohérences locales avec des modèles plus précis peuvent exister, mais le modèle reste suffisant pour évaluer cet ordre de grandeur recherché. Ces études sont réalisées pendant l'EDD et n'ont pas vocation à être exploitées hors de ce cadre (par exemple pour un plan d'évacuation). Les ressources et le niveau de détail associés à l'analyse des conséquences aval sont à mettre en rapport avec, d'une part, les particularités du linéaire à l'aval de l'ouvrage, notamment morphologiques et de fréquentation (qui rendent plus ou moins simple la confirmation d'une classe de personnes exposées), mais aussi avec la criticité de l'ERC. En effet, selon la position pressentie dans la matrice de criticité, il peut être avantageux soit d'assumer certains conservatismes pour réduire le temps d'étude, soit au contraire de pousser les études afin de réduire au maximum ces conservatismes et de préciser les modalités d'exposition afin d'éclairer les éventuelles préconisations pouvant être faites.

Les différentes étapes de l'analyse mettent en cohérence l'approche et le contexte. Ce travail est réalisé en deux temps. Dans un premier temps, lors de l'Analyse Préliminaire des Risques, une première discrimination des ERC en fonction des conséquences aval pressenties est réalisée. En effet, l'analyse n'aura intérêt à séparer certains ERC que si les conséquences aval sont réellement différentes en nombre de personnes exposées.

Dans un second temps, à l'issue de l'Analyse Détaillée des Risques, une fois les ERC bien définis (EI et cotations établis), une étude plus détaillée de l'impact de la propagation des sur-débites générés par les ERC, présentée dans cet article, est réalisée. Elle établit l'ordre de grandeur du nombre de personnes exposées pour chaque ERC. Cette analyse va relever le niveau de détail, variable selon la précision attendue. Les principaux leviers d'ajustement, présentés dans l'article, sont :

- Les outils mis en œuvre ;
- La valorisation des gestes d'exploitation sur le linéaire concerné ;
- La prise en compte du contexte, notamment la situation aval avant la survenue de l'ERC ;

- Le niveau de détail et de raffinement du comptage.

ABSTRACT

The French regulation ask for an assessment of feared incident consequences. This article presents a description of the methodology used by EDF.

There are two categories of people exposed in the methodology currently used by EDF: mobile and sedentary people. A person is considered to be exposed as soon as this person is in the flood area (without consideration of the lethality risk).

Feared incident consequences assessment conducted in accordance with the requirements of regulations are intended to assess an order of magnitude of exposed persons from all feared incident. To assess the number of people exposed, a certain number of assumptions (initial conditions, operating gestures, downstream hydrology) necessary for the spread of the flow of each feared incident must be made. The tools used for the flow propagation are increasingly 2D models, which are simplified and rarely calibrated. Even if there is a riverbed excavation, local inconsistencies with more precise models may exist, but the model remains sufficient to assess this order of magnitude. These studies are conducted during the dam safety report and are not intended to be used outside of this framework (for example, for an evacuation plan). The resources and the level of detail associated with the downstream consequences analysis must be related to the characteristics of the downstream river (river morphology, river frequentation, ...) and to the level of criticality of the feared incident. Indeed, according to the criticality of the feared event, it would be preferable to reduce study time conservatively, or, on the contrary, to push studies in order to reduce the calculation margins and to specify the modalities of exposure in order to clarify any recommendations that can be made.

The article presents the different steps of the analysis in order to bring coherence to the approach and context. This analysis is carried out in two stages. At first, during the Preliminary Risk Analysis, a preliminary list of the feared events is made according to the downstream consequences. Indeed, it will be useful to separate some feared events only if the downstream consequences are significantly different in terms of exposed people number.

In a second step, after the Detailed Risk Analysis, once the feared event well defined (Initiating Event and probabilities determined), a more detailed study of the consequences of the flow generated by the feared event is realized. It determines how many people are exposed by each feared event. The level of details may be adjusted according to the expected precision. The main adjustment levers, detailed in the article, are:

- The tools;
- How the operator of the downstream dams would react;
- Taking into account the context, in particular the downstream situation before the feared event occurs;
- The level of detail and the precision in counting people exposed.

1. CONTEXTE

Chaque Etude de Dangers (EDD) est réalisée en collaboration avec différents contributeurs (Génie Civil, Electromécanique, Contrôle Commande, Exploitation, Hydraulique) formant un Groupe de Travail EDD (GT EDD) pluridisciplinaire.

En application du corpus réglementaire en vigueur, notamment les arrêtés du 6 août 2018 et du 3 septembre 2018 (Réf. [1] et [2]), les conséquences aval de chaque événement redouté central (ERC) doivent être précisées dans les EDD. Les textes imposent « [qu'] une étude de propagation de l'onde de submersion [soit] fournie a minima pour le ou les accidents correspondant à la rupture de l'ouvrage et, si nécessaire, pour d'autres accidents de façon à permettre une évaluation suffisante de la gravité des conséquences ». EDF emploie la notion « d'onde de submersion » (OS) pour désigner l'onde correspondant à la rupture de l'ouvrage principal (ERC 1 généralement) et emploie la notion « d'onde de rupture » (OR) pour désigner l'onde correspondant à la rupture d'un organe ou d'un ouvrage annexe, faisant l'objet d'une étude détaillée accompagnée d'une cartographie. La réglementation impose également que « l'évaluation de la gravité en termes de conséquences humaines repose

sur un décompte de la population exposée à l'onde de submersion, spécifique à chaque accident. ». EDF emploie ici la notion de « personnes exposées » (PE, voir §2.1).

Le présent article présente une description de la méthodologie retenue par EDF-CIH pour estimer les PE.

Après avoir défini les grands principes liés à l'Arrêté (partie 2), un chapitre précisera les exigences en termes de cartographie (partie 3). Une description des hypothèses nécessaires à l'étude de la propagation du débit des ERC (partie 4) est ensuite présentée. Dans un autre temps (partie 5), la méthodologie liée à l'étude de propagation en tant que telle est présentée, avec notamment les hypothèses de modélisation et les critères d'arrêt de comptage des personnes exposées.

2. DEFINITION ET GRANDS PRINCIPES LIES A L'ARRETE

2.1. Définition d'une personne exposée

Une Personne Exposée (PE) est une personne pouvant se situer dans la zone inondable par l'ERC, quel que soit le moment¹ où il pourrait se produire (nuit, jour, été, hiver, ...), indépendamment des critères de léthalité.

Les PE sont séparées, pour faciliter les comptages, en deux catégories :

- Les personnes sédentaires occupant la zone inondée de manière pérenne ou temporaire. Les habitations, les hôtels et les campings sont donc comptés dans cette catégorie. Cette population se situe hors du lit mineur du cours d'eau.
- Les personnes mobiles pouvant être présentes un court moment dans la zone. Les baigneurs, pêcheurs, randonneurs, pratiquants de canyoning, kayaks, automobilistes (parkings, routes), ... sont comptés dans cette catégorie. Cette population fréquente le lit mineur du cours d'eau ou se situe à proximité immédiate ou dans la zone impactée par l'ERC.

Le cas particulier des Etablissements Recevant du Public (ERP) est étudié de sorte à ne pas compter les personnes plusieurs fois et ils sont par convention pris en compte dans le comptage des personnes sédentaires.

2.2. Echelle de cotation

L'échelle de cotation utilisée pour évaluer la gravité des conséquences de chaque ERC comporte cinq classes :

- De 1 à 10 PE ;
- De 10 à 100 PE ;
- De 100 à 1 000 PE ;
- De 1 000 à 10 000 PE ;
- Plus de 10 000 PE.

L'objectif n'est pas de fournir un nombre exact de PE mais un ordre de grandeur permettant d'intercomparer les ERC et de les placer dans la bonne classe de gravité.

2.3. Onde de submersion (OS) et onde de rupture (OR)

2.3.1 Onde de submersion (OS)

Une étude d'onde de submersion de rupture barrage, représentative de l'ERC 1, est fournie pour chaque EDD.

2.3.2 Onde de rupture (OR)

L'arrêté EDD 2018 n'impose pas une étude d'onde de rupture d'organe ou d'ouvrage annexe (OR) par ERC, mais seulement « *si nécessaire, pour d'autres accidents de façon à permettre une évaluation suffisante de la gravité des conséquences* ». Pour être en conformité avec l'arrêté EDD 2018, la règle suivante sera appliquée : une OR est réalisée (ou l'OR existante est actualisée) seulement si le débit en rivière libéré par l'ERC est supérieur à celui de la crue historique ou d'une crue centennale de référence prise en compte dans les PPRI (Plan de Prévention des Risques naturels d'Inondation). Pour les ERC dont le débit est inférieur, une étude de la propagation de l'onde

¹ Les événements exceptionnels (festivals, férias...) sont exclus des PE par analogie à la circulaire du 10/05/10 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers dans les installations classées en application de la loi du 30/07/03.

est réalisée mais elle peut être moins détaillée et n'est pas nécessairement accompagnée d'une cartographie. Elle n'est donc pas définie comme OR.

3. CARTOGRAPHIE DES CONSEQUENCES AVAL DES ERC

3.1. Exigences de représentations cartographiques des zones impactées par les ERC

Une cartographie d'onde de submersion représentative de l'ERC 1 est systématiquement réalisée conformément à l'Arrêté (réf. [2]).

Une cartographie est réalisée **pour les autres ERC si les conséquences hydrauliques sont plus importantes que celles usuellement regardées dans le cadre de l'analyse du risque crue** (comparaison des débits de pointe des ERC au débit de pointe de la crue de référence), voir §3.2.

Par rapport à l'arrêté de 2008 (réf. [1]), l'arrêté EDD 2018 impose une échelle 1/25 000 pour le format papier et demande la fourniture des éléments cartographiques au format vectoriel libre.

3.2. Limites des représentations cartographiques

Pour l'ERC 1, EDF a fait le choix de présenter dans l'EDD une cartographie jusqu'au point où le débit de l'OS devient inférieur au débit de la crue de référence ou à une crue de temps de retour 100 ans (Q_{100}), pour les ouvrages non soumis à un PPI, ou de 10 ans (Q_{10}) pour les ouvrages qui y sont soumis. En effet, pour les ouvrages non soumis à un PPI, l'administration n'impose pas, contrairement aux ouvrages soumis à l'Arrêté de 2002 concernant les PPI, de représenter la « zone aval », qui est la zone déjà couverte par l'analyse des risques et où l'inondation est comparable à une inondation naturelle. L'Arrêté EDD 2018 ne remet pas en cause ce point.

Ainsi, la mise en page est mise à jour pour découper l'emprise de l'OS en cartes à l'échelle 1/25 000. Les fonds de cartes de type scan 25 sont utilisés en cohérence avec l'échelle demandée. Ces règles s'appliquent à l'OS et à tous les ERC de débit supérieur à Q_{100} .

Les conséquences aval sont étudiées pour tous les ERC, mêmes ceux ne faisant pas l'objet d'une cartographie. Certains ERC sont regroupés et leurs conséquences sont assimilées s'il n'y a pas d'enjeux particuliers vis-à-vis de leur situation dans la matrice de criticité résultante. Les hypothèses nécessaires à l'étude de propagation du débit des ERC sont décrites dans le paragraphe suivant.

4. HYPOTHESES NECESSAIRES A LA PROPAGATION DU DEBIT DES ERC

4.1. Conditions initiales et scénarios à étudier

Un ERC peut être engendré par divers événements initiateurs (EI) d'occurrence et de débit en rivière différents. La grille de criticité établie dans l'EDD est une représentation matricielle d'un couple occurrence/gravité. Il est donc important que la gravité affichée de l'ERC corresponde le plus fidèlement possible à son occurrence. De ce fait, l'arbre des causes de chaque ERC doit être regardé et le débit initial considéré doit correspondre à l'EI de plus forte occurrence conduisant à l'ERC (correspondant au « chemin critique »). EDF se réserve le droit de distinguer différentes branches de conséquences d'un ERC sous le nom « d'Effets Majeurs » (EM) lorsqu'il existe une branche moins probable mais plus grave d'un ERC susceptible d'être inacceptable dans la matrice de criticité. Dans ce cas, une analyse des conséquences aval spécifique à chaque effet majeur est réalisée.

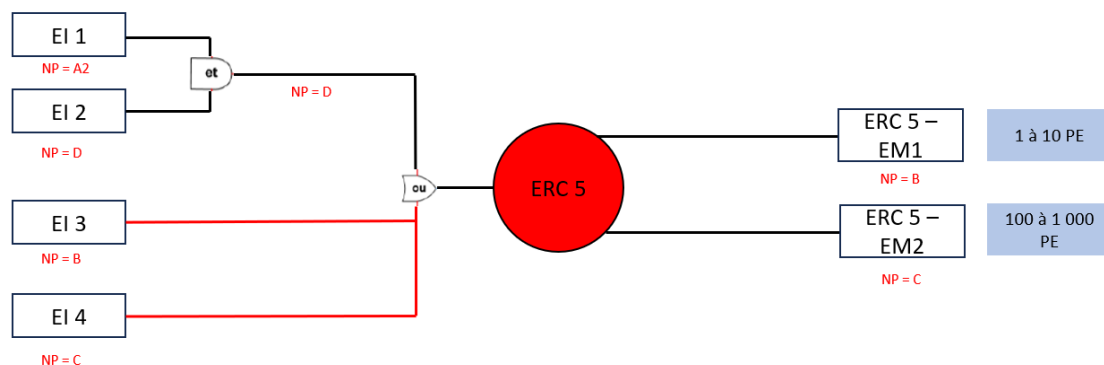


Figure 1 : Illustration de la notion d'Effet Majeur (EM)

4.2. Conditions initiales dans la retenue étudiée

- Pour les ERC dont les EI les plus probables sont hors crue :
 - Si elle figure explicitement dans les consignes de crue, la cote maximale en exploitation normale est à considérer comme cote initiale dans la retenue ;
 - Sinon, la cote de RN sera retenue ;
- Pour les ERC dont les EI les plus probables sont en crue : la cote la plus probable et démontrable en cohérence avec le scénario de l'ERC est à considérer comme cote initiale. Cette cote devra être cohérente, dans la mesure du possible, avec les consignes de crue, consignes d'abaissement et saturation des EVC et avec l'étude des cotes atteintes ;

Par exemple, dans le cas d'un ERC « ouverture intempestive complète d'une vanne en crue », la cote initiale dans la retenue à considérer au moment de la survenue de l'ERC est la cote à partir de laquelle la vanne est manœuvrable si elle est explicitée dans les consignes de crue et la RN sinon.

4.3. Débit initial dans le lit de la rivière à l'aval de l'ouvrage

En été, hors crue, la fréquentation du cours d'eau est plus importante (pêcheurs, canoë-kayak, ...). Lorsque l'état de crue est déclaré, un service de quart se met en place et le fonctionnement des barrages est, en général, contrôlé par les exploitants. En cas de survenue d'un ERC, l'exploitant pourra refermer, dans de nombreux cas, des vannes pour compenser le surdébit engendré, qui ne sera que temporaire. Ainsi, en cas d'EI de même classe d'occurrence entraînant un ERC, celui survenant hors crue peut souvent être considéré car il aura a priori les plus lourdes conséquences.

Pour choisir le débit initial, l'expérience et la connaissance des enjeux aval sont primordiales. Les éléments suivants servent de guide au choix du débit initial.

Les conséquences d'un ERC sont sensiblement différentes en fonction du débit initial (débit à l'aval du barrage au moment de la survenue de l'ERC) :

- Pour tout ERC dont les EI les plus probables sont hors crue :
 - Si le tronçon étudié est un tronçon court-circuité (TCC) : le débit initial à considérer est le débit réservé (sauf incohérence avec le scénario) ;
 - Au-delà du TCC (ou si le tronçon étudié n'est pas un TCC) et pour les confluences : le débit initial doit être choisi de sorte à maximiser les conséquences aval tout en restant cohérent avec la période d'étude et l'exploitation courante (module, Qturbiné, ...).
- Pour tout ERC dont les EI les plus probables sont en crue :
 - Le débit de crue le plus faible (donc le plus probable) conduisant à l'ERC peut être pris en compte si l'EI indique « pour un débit supérieur à $XX \text{ m}^3/\text{s}$ ». Le débit initial à considérer est donc $XX \text{ m}^3/\text{s}$.
 - Entre 2 EI « en crue » sans valeur de débit indiquée :
 - Si un EI induit un très faible débit aval (par exemple, combinaison d'EI « crue » et « vannes fermées » conduisant à un dépassement d'une cote), ce débit peut être retenu car des personnes mobiles peuvent être présentes en aval ;
 - Sinon, l'EI avec le débit initial le plus probable en cohérence avec le scénario de l'ERC, ou à défaut le débit le plus proche de la limite de débordement du lit mineur (à défaut Q_{10}) peut être retenu car il s'agit de l'EI le plus probable pouvant conduire à un impact sur des personnes sédentaires. Ce débit initial peut être adapté en fonction de la localisation des enjeux (exemple : s'il n'y a pas d'enjeu à la limite de débordement du lit mineur, on choisira le débit au-delà duquel le premier enjeu est inondé) ;
 - Pour les confluences : en s'appuyant sur les recommandations CFBR pour le dimensionnement des EVC par les dommages incrémentaux ou différentiels [3], et en l'absence d'étude hydrologique spécifique ou d'avis d'expert en hydrologie, pour les concomitances entre les différents bassins versants de la zone, il est recommandé en première approche que les crues des affluents situés en aval de l'ouvrage soient caractérisées par un temps de retour dix fois inférieur (par exemple, une crue de

période de retour de 300 ans pour l'affluent si la crue la plus probable au barrage par rapport au scénario de l'ERC est de période de retour de 3 000 ans).

4.4. Cote initiale dans les retenues aval

- Pour les ERC dont les EI les plus probables sont hors crue :
 - Si elle figure explicitement dans les consignes, la cote maximale d'exploitation ou la cote de consigne est à privilégier comme cote initiale dans les retenues des ouvrages aval ;
 - Sinon, la cote de RN peut être retenue, mais la cote d'alarme de niveau haut, ou la prise en compte d'une contrainte de cote peut être retenue par le GT EDD si l'hypothèse de RN s'avère trop improbable par rapport à la cotation de l'ERC;
- Pour les ERC dont les EI les plus probables sont en crue :
 - La cote la plus probable et démontrable en cohérence avec le scénario de l'ERC (et sans envisager d'incident sur les ouvrages aval²) est à considérer comme cote initiale aux ouvrages aval.
 - En l'absence de données adéquates, la cote des Plus Hautes Eaux administrative (cote de dimensionnement du décret de concession et historiquement la cote de référence des PPI) sera retenue. En cas d'enjeux forts ou si cette hypothèse est trop improbable par rapport à la cotation de l'ERC, une hypothèse plus réaliste pourra être discutée avec le GT EDD.

Dans les deux cas, la cote choisie devra être cohérente, dans la mesure du possible, avec les consignes de crue de l'aménagement en question, consigne d'abaissement et saturation des EVC et avec l'étude des cotes atteintes.

4.5. Cote initiale au niveau de la mer

Une marée moyenne ou une marée cohérente avec l'évènement (disponible dans le Référentiel Altimétrique Maritime) est à considérer, sauf indication contraire du plan de qualité PPI pour les ouvrages qui y sont soumis.

4.6. Hydrologie aval de référence

Les débits de référence pour les critères d'inondation des personnes sédentaires à considérer sont les valeurs de débits de débordement du lit mineur, connues grâce au REX d'exploitation ou des crues passées. À défaut, le débit de pointe de la crue décennale sera utilisé pour déterminer la limite aval de comptage des personnes sédentaires, et le débit de pointe d'une crue centennale pour la limite de représentation cartographique (lorsque cela est nécessaire) pour les OS et OR. Pour cela, l'hydrologie de référence est celle définie par les PPRI, à défaut les stations hydrologiques de l'administration (<https://hydro.eaufrance.fr>). Lorsque cette donnée n'est pas disponible, on pourra utiliser d'autres valeurs sourcées ou les données EDF. Dans tous les cas, la formule de Myer pourra être appliquée si nécessaire. Cette formule permet d'estimer le débit de crue d'un bassin versant d'une surface connue à partir des débits caractéristiques connus d'un autre bassin versant voisin.

4.7. Fréquentation (personnes mobiles)

La fréquentation autour du cours d'eau varie d'un moment à l'autre. En effet, le moment de survenue de l'ERC (jour ou nuit), la température, la pluie, le débit de la rivière... influencent beaucoup la fréquentation dans ou à proximité du cours d'eau.

Un scénario correspondant à la moyenne de fréquentation de jour durant les deux mois d'été est pris en compte si le débit initial n'est pas un débit de crue et que cela reste cohérent avec le scénario de l'ERC (par exemple, que l'ERC n'est pas lié à un évènement de gel). Cette démarche est sécuritaire dans la très grande majorité des cas. L'information issue des données de fréquentation capitalisées sur le terrain, notamment via les tournées d'hydroguides et la connaissance du terrain de l'exploitant permettent au groupe de travail d'établir cette fréquentation une fois le linéaire à étudier déterminé. Si le débit initial correspond à une crue, la fréquentation de loisirs du cours d'eau est supposée nulle.

4.8. Réactions de l'exploitant et temps d'intervention

Le temps d'intervention de l'exploitant peut avoir un impact sur les conséquences des ERC, notamment en cas de présence d'un barrage aval par exemple. Le « temps d'intervention » est défini par la durée totale intégrant le temps de détection (temps au bout duquel l'exploitant reçoit une information liée à l'incident), le temps de

² C'est-à-dire qu'on ne considère pas de suraccident à l'ouvrage aval (non-ouverture d'une vanne par exemple).

réaction face cette détection, le temps de trajet, le temps de diagnostic de la situation et le temps de manœuvre, tout en pensant à intégrer un potentiel temps d'effet des manœuvres si elles ne sont pas immédiates.

Les temps d'intervention ainsi que l'ensemble des gestes mis en œuvre pour limiter les conséquences d'un ERC doivent apparaître dans les documents d'exploitation.

5. PROPAGATION DU DEBIT DES ERC

5.1. Modélisation de la propagation des ERC

L'utilisation de la modélisation 1D (modèles Mascaret dans la plupart des cas, ou modèles Hayami) laisse de plus en plus la place à la modélisation 2D, qui permet de répondre au besoin d'automatisation partielle du comptage du nombre de PE pour chaque ERC.

Ces modèles 2D sont des modèles TELEMAC, construits de manière rapide. Ce sont des modèles « simples », basés sur quelques données d'entrée à définir par l'utilisateur : l'emprise du modèle, les conditions aux limites, l'axe hydraulique, les hypothèses sur le lit mineur. Ces modèles numériques et la réalisation du comptage des PE s'appuient sur les données IGN (dalles RGE-Alt, Lidar HD, BD-Topo) et les données INSEE pour le comptage. Le maillage et le creusement du lit mineur³ dans la zone étudiée sont réalisés de manière automatique. Une table de coefficients de frottement du lit majeur, par défaut estimée à dire d'expert, est proposée à l'utilisateur sur la base des données Corine Land Cover.

5.2. Cas particulier de la présence de barrage en aval

5.2.1. Cas de dépassement de la Cote De Danger (CDD) d'un barrage en aval au passage de l'ERC

La rupture du barrage aval est à envisager s'il est supposé que sa cote de danger est atteinte (sans application de majoration⁴). En cas de rupture du barrage aval, l'OS de ce dernier pourra être reprise pour évaluer le nombre de PE. Dans le cas où, en procédant de cette manière (qui minimise le volume relâché à l'aval du barrage aval car il ne tient pas compte du volume supplémentaire libéré par l'ERC du barrage amont), l'ERC se situe en limite supérieure de classe de personnes exposées, une étude spécifique sera requise.

Si la rupture du barrage aval n'est pas réaliste et s'avère trop pénalisante pour l'EDD, sa tenue devra être démontrée.

5.2.2. Cas de dépassement de la cote de vulnérabilité⁵ d'une vanne d'un ouvrage aval sans dépassement de CDD

En cas de disponibilité de l'EDD de l'ouvrage aval fournissant les cotes de vulnérabilité, la rupture d'une vanne du barrage aval est à envisager s'il est supposé que sa cote de vulnérabilité est atteinte (sans application de majoration), mais que la CDD de l'ouvrage aval n'est pas atteinte. Dans le cas où la cote de vulnérabilité de la vanne est atteinte et que la fusibilité de la vanne n'est pas démontrée, la tenue de la vanne doit être retenue comme hypothèse. Cette approche est majorante du point de vue des conditions hydrauliques à l'aval.

5.3. Critères d'arrêt de comptage des PE

5.3.1. Critère d'arrêt de comptage des PE mobiles

Pour les personnes mobiles, le comptage est arrêté lorsqu'une des deux conditions suivantes est respectée :

- La surcote de l'eau engendrée par l'ERC est durablement inférieure à 0,25 m (par rapport au niveau initial) ;
- Le gradient significatif est durablement inférieur à 5 cm/min.

³ Le creusement du lit mineur est établi de sorte à reproduire les conditions initiales le plus fidèlement possible. Plusieurs options sont possibles à partir d'une forme trapézoïdale : soit en considérant une section mouillée constante et une pente constante, soit en considérant la hauteur normale liée au module et à la pente du terrain naturel. Les phénomènes érosifs du lit de la rivière au passage de l'ERC ne sont pas pris en compte.

⁴ Dans le cas des études d'onde de submersion (OS), des majorations des hauteurs d'eau maximales et une minoration des temps d'arrivée d'onde sont à appliquer dans la plupart des cas. Le détail de ces majorations ne fait pas l'objet du présent article.

⁵ La cote de vulnérabilité d'une vanne est la cote à partir de laquelle la tenue de la vanne ne peut plus être garantie. La cote de fusibilité d'une vanne est la cote pour laquelle son effacement est assuré.

En effet, le risque semble marginal si le niveau ne monte que de 25 cm. Et si le gradient est inférieur à 5 cm/min l'hypothèse est faite que les personnes mobiles ont le temps d'évacuer les secteurs à risque avant qu'ils deviennent dangereux.

Le cas des personnes mobiles situées sur un bateau, ou en canoë-kayak doit être étudié au cas par cas en fonction du type d'embarcation (critère de vitesse limite de dangerosité parfois identifié, contraintes d'exploitation identifiant parfois un gradient spécifique à la navigation, ...). Les données issues du site www.eauxvive.com peuvent également être utilisées. À défaut, le critère d'arrêt décrit ci-dessus peut être utilisé et il reste très conservatif pour une embarcation.

5.3.2. Critère d'arrêt de comptage des PE sédentaires

Les personnes sédentaires sont situées hors du lit mineur. Elles ne sont donc exposées qu'en cas de débordement du lit mineur. Le débit de débordement du lit mineur à considérer est le débit connu grâce au REX d'Exploitation ou des crues passées, notamment dans les PPRi ou PPRn (Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles). À défaut, le débit de pointe de la crue décennale sera utilisé pour déterminer la limite aval de comptage des PE sédentaires.

La limite de comptage des personnes exposées sédentaires est donc le point où le débit de pointe de l'hydrogramme généré par l'ERC après amortissement devient durablement inférieur au débit de débordement du lit mineur en ce même point. Dans le cas de recours à une modélisation 2D, les résultats cartographiques fourniront directement le point de l'axe hydraulique à partir duquel l'onde générée par l'ERC ne déborde plus du lit mineur et n'impacte plus aucune habitation ni aucun ERP.

Dans le cas où le débit initial dans la rivière est un débit de crue, si le critère ci-dessus n'est pas ou ne peut être atteint, on cherchera à respecter le critère suivant : la surcote de l'eau devient durablement à 0,25 m par analogie avec les personnes mobiles. Le risque dans ce cas est considéré comme marginal.

6. CONCLUSION ET PRECAUTIONS D'UTILISATION DES RESULTATS

Les études de conséquences aval réalisées conformément aux exigences de la réglementation en vigueur ont pour but d'évaluer un ordre de grandeur du nombre de personnes exposées de tous les ERC d'une EDD. En effet, pour évaluer le nombre de personnes exposées, un certain nombre d'hypothèses (conditions initiales, gestes d'exploitation, hydrologie aval) nécessaires à la propagation du débit des ERC doivent être retenues. Depuis 2020 et les recommandations CFBR [3], les outils utilisés pour la propagation du débit des ERC sont de plus en plus fréquemment des modèles 2D, qui sont simplifiés et rarement calés. Même s'il y a un creusement du lit mineur, des incohérences locales avec des modèles plus précis peuvent exister, mais le modèle reste suffisant pour évaluer cet ordre de grandeur recherché. Les comptages sont partiellement automatisés. Ces études sont réalisées **pendant l'EDD** et n'ont pas vocation à être exploitées hors de ce cadre (par exemple pour un plan d'évacuation).

Les ressources et le niveau de détail associés à l'analyse des conséquences aval sont à mettre en rapport avec d'une part, les particularités du linéaire à l'aval de l'ouvrage, notamment morphologiques et de fréquentation (qui rendent plus ou moins simple la confirmation d'une classe de personnes exposées), et d'autre part avec la criticité de l'ERC. En effet, selon la position pressentie dans la matrice de criticité, il peut être avantageux soit d'assumer certains conservatismes pour réduire le temps d'étude, soit au contraire de pousser les études afin de réduire au maximum ces conservatismes et de préciser les modalités d'exposition afin d'éclairer les éventuelles préconisations pouvant être faites.

Remarques :

- Il faut bien distinguer la limite de comptage et la limite de représentation cartographique. Le choix est fait de s'arrêter à Q_{100} pour les barrages non PPI pour les cartographies car, au-delà, les PPR inondation proposent déjà des cartes, faites avec des modèles plus précis et servant de référence à la sécurité civile. Il est donc préférable de ne pas créer de confusion avec des cartes moins précises pouvant présenter quelques incohérences locales ;
- La limite aval des ERC ne faisant pas l'objet de cartographie pourra être positionnée sur un fond de carte à l'échelle 1/25 000.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] 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 – MTES – 03/09/2018
- [2] Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages – MTES – 06/08/2018
- [3] 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 – CFBR – Octobre 2017
- [4] CFBR. Pratiques françaises de l'analyse de risques et de la sûreté des barrages. Juin 2020.