

Conséquences d'accidents majeurs de barrages : état des réflexions de l'INERIS pour l'évaluation de la gravité

Thibault Balouin, Anabel Lahoz

▶ **To cite this version:**

Thibault Balouin, Anabel Lahoz. Conséquences d'accidents majeurs de barrages : état des réflexions de l'INERIS pour l'évaluation de la gravité. Colloque technique CFBR / AFEID "Pratique des études de dangers des barrages", Nov 2011, Lyon, France. pp.109-123. ineris-00973633

HAL Id: ineris-00973633

https://ineris.hal.science/ineris-00973633

Submitted on 4 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONSEQUENCES D'ACCIDENTS MAJEURS DE BARRAGES : ETAT DES REFLEXIONS DE L'INERIS POUR L'EVALUATION DE LA GRAVITE

Human consequences of major events on dams : State of works from INERIS concerning the determination of severity levels

Thibault, Balouin
Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Direction des Risques Accidentels,
Parc Technologique ALATA, BP2, 60550 Verneuil-en-Halatte (France)
thibault.balouin@ineris.fr

Anabel, Lahoz
Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Direction des Risques Accidentels,
Parc Technologique ALATA, BP2, 60550 Verneuil-en-Halatte (France)
anabel.lahoz@ineris.fr

MOTS CLÉS

Barrages, Cinétique, Conséquences, Enjeux, Gravité, PAR

ABSTRACT

Article R.214.115 from the French Environmental Code introduced by the 11th dec. 2007 Decree n°2007-1735 plans safety reports for some hydraulic installations (class A and B dams, class A, B and C dikes). This safety study aims to demonstrate control of risks by the owner through a cross analysis between the consequences of the effects and the annual probability of identified major accidents. The severity level can be determined quantitatively or qualitatively. It depends on the availability of cartographic representations of the hydraulic effects (flood wave) and on an identification of the "Population At Risk" (PAR) eventually impacted by these effects. A method for characterization of the effects is based on an estimate of the local intensity and kinetics. Criteria such as " pre-accident kinetics" or " post-accident kinetics " represent potential ways to reduce the severity level by decreasing the number of people impacted. The gravity or severity level associated with each accident is the result of an analysis that uses several parameters. This paper presents the progress of work underway at the INERIS by offering:

- *A 'comprehensive' method to respond to all the theoretical criteria under Article 8 of the Ministerial decree of June 12th, 2008,*
- *A 'simplified' method taking into account the available data for the characterization of various parameters.*

RÉSUMÉ

L'article R.214.115 du Code de l'Environnement introduit par le Décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 prévoit la réalisation d'une étude de dangers pour certains ouvrages hydrauliques. Cette étude a pour objectif la démonstration de la maîtrise des risques par l'exploitant au travers d'une analyse croisée de la gravité des conséquences des effets et de la probabilité d'occurrence annuelle des accidents majeurs identifiés. La gravité peut être déterminée de manière quantitative ou qualitative, en fonction de la disponibilité de représentations cartographiques des effets hydrauliques (onde de submersion ou vague/s), et sur la base d'un recensement des enjeux humains susceptibles d'être impactés par ces effets, ou PAR (« Population At Risk » ou « Population Assujettie aux Risques »). Une méthode de caractérisation des effets s'appuie sur une estimation de l'intensité et de la cinétique locales. Certains critères tels que la « cinétique pré-accidentelle » ou la « cinétique post-accidentelle » sont potentiellement des voies de réduction de la gravité via une diminution du nombre de personnes effectivement impactées. La notion de gravité associée à chaque accident résulte donc d'une analyse faisant intervenir plusieurs paramètres. Cette communication présente l'avancement des travaux en cours à l'INERIS en proposant :

- *une méthode « complète » permettant de répondre de façon théorique à l'ensemble des critères définis dans le cadre de l'article 8 du plan des études de dangers défini par l'Arrêté du 12 juin 2008,*
- *une méthode « simplifiée » prenant en compte les données disponibles et exploitables pour la caractérisation des différents paramètres.*

La méthodologie proposée par l'INERIS dans la détermination de la gravité des conséquences d'un accident survenant sur un barrage s'insert dans le cadre réglementaire des études de dangers relatives aux barrages de classe A et B. Son élaboration est issue de l'analyse de multiples données et s'est appuyée notamment sur :

- la prise en considération de l'ensemble des critères définis par l'Arrêté du 12 juin 2008 [3] permettant de justifier de la gravité des conséquences (intensité des effets, cinétiques) ;
- l'exploitation des données et dossiers déjà réalisés par les exploitants dans le cadre d'autres démarches réglementaires ;
- l'exploitation du retour d'expériences des premières études de dangers (EDD) réalisées ;
- une harmonisation avec les autres réglementations françaises (notamment la réglementation relative aux Installations Classées).

1. L'ESTIMATION DE LA GRAVITE DES CONSEQUENCES D'UN ACCIDENT MAJEUR : UN PARAMETRE DANS L'ESTIMATION DU RISQUE

La loi n° 2006-1172 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques [1], codifiée, et le décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 [2] également codifié rénovent en profondeur les règles de sécurité et de sûreté des ouvrages hydrauliques (barrages de retenue et digues de protection des populations) en France. En particulier, cette évolution prévoit (selon l'article R214-115 du code de l'environnement) la réalisation d'une étude de dangers (EDD) pour les barrages de classe A ou B.

Le contenu de l'étude de dangers pour de tels ouvrages est précisé dans l'Arrêté interministériel du 12 juin 2008 [3] définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu. Un « guide de lecture » des EDD barrages a été diffusé par une circulaire [4] datée du 31 octobre 2008 du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) actuellement remplacé par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL).

1.1 Gravité proposée dans le cadre des EDD répondant à la réglementation française des ouvrages hydrauliques

La notion de « gravité des conséquences » apparaît de façon plus ou moins détaillée dans les différents textes réglementaires et circulaire (destinée aux Services Instructeurs) encadrant la réalisation des EDD, notamment dans :

- l'Annexe de l'Arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu au travers du point *« 8. Identification et caractérisation des risques en termes de probabilité d'occurrence, d'intensité et de cinétique des effets, et de gravité des conséquences* ». Tous les accidents potentiels doivent être qualifiés en termes de probabilité d'occurrence annuelle et de gravité des conséquences ;
- le Guide de lecture des études de dangers des barrages annexé à la Circulaire du 31 octobre 2008 relative aux études de dangers des barrages (Partie 8-III-d) qui précise qu'« *Un accident majeur peut comporter plusieurs types de conséquences : humaines, matérielles, économiques, etc.* ».
  Dans ce guide, une attention toute particulière est portée à l'estimation de la gravité des conséquences sur les enjeux humains même si l'exploitant ne doit pas omettre l'analyse et l'étude des autres conséquences (enjeux économiques et enjeux environnementaux). Sur ce dernier point, il s'agit a minima d'identifier la nature des bien exposés.

1.2 Notion de gravité des conséquences

Une définition de la gravité des conséquences des effets d'un accident a été proposée par le MEDDTL dans le cadre de la réglementation relative aux Installations Classées par le biais de la Circulaire du 10 mai 2010 [5] qui précise que *la gravité des conséquences potentielles prévisibles sur les personnes […] résulte de la combinaison en un point de l'espace de l'intensité des effets d'un phénomène dangereux et de la vulnérabilité des cibles potentiellement exposées).*

En suivant la logique de cette définition (qui reste cohérente avec les exigences relatives aux ouvrages hydrauliques), la gravité des conséquences d'un accident majeur sur un ouvrage hydraulique peut être ainsi déterminée par la superposition de la cartographie de recensement des enjeux avec la cartographie des effets de l'onde résultante de la libération d'un potentiel de dangers.

Pour le recensement des enjeux humains, la notion de PAR (Population Assujettie au Risque ou "Population At Risk" [6]) est utilisée par la suite. Cette PAR représente une estimation du nombre de personnes susceptibles de subir les effets de l'accident. Elle ne traduit toutefois pas le nombre de victimes [10, 11, 12].

1.3 Exemple d'échelle de classification en gravité

Le Guide de lecture présente un exemple de classification de la gravité des conséquences sur les enjeux humains en cinq catégories (Gravités Modérée, Sérieuse, Importante, Catastrophique, Désastreuse) définies en fonction du nombre de personnes susceptibles d'être impactées par les effets de l'accident mais également en fonction de la cinétique du phénomène (et donc de la possibilité de mise à l'abri des personnes).

Classes de gravité des conséquences (par ordre décroissant)	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique rapide	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique lente
5. désastreux	≥ 1000	≥ 10000
4. catastrophique	≥ 100 et < 1000	≥ 1000 et < 10000
3. important	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000
2. sérieux	≥ 1 et <10	≥ 10 et < 100
1. modéré		≥ 1 et <10

Tableau 1 : Exemple de grille de référence de détermination de la gravité (Guide de lecture EDD Barrages) [4]

Cette hiérarchisation en cinq classes de la gravité ainsi que les termes associés sont repris de la réglementation française relative aux Installations Classées (Annexe 3 de l'Arrêté du 29 septembre 2005 [7] relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation).

1.4 Discussions autour de la notion de cinétique

La mise en sécurité des populations situées à l'amont ou à l'aval de l'ouvrage peut s'exprimer par :

- la compatibilité entre le temps de détection de l'apparition de l'Evènement Redouté Central (ERC) ou de la perte de confinement accidentelle sur l'ouvrage et le temps d'alerte des populations (ex : absence ou présence de signaux précurseurs) ;
- la compatibilité entre le temps d'alerte des populations et le temps de l'arrivée des premiers effets ;
- la possibilité des populations de se mettre à l'abri une fois les premiers effets ressentis.

Compte tenu du tableau donné en exemple dans la circulaire, les notions de cinétique rapide et de cinétique lente prises en compte pour l'évaluation de la gravité des conséquences semblent principalement associées au temps d'alerte des populations pour leur mise en sécurité entre le moment où l'ERC se produit et où localement les effets maximaux sont ressentis.

2. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES PREMIERES EDD REALISEES

2.1 Ce qui est demandé…

La réglementation française demande de caractériser en gravité les conséquences de tout phénomène accidentel pouvant se produire sur un ouvrage hydraulique, notamment :

- la rupture totale de l'ouvrage (lors d'évènements climatiques exceptionnels ou due à une défaillance structurelle sur l'ouvrage) ;
- l'apparition d'une brèche sur l'ouvrage ;
- le passage d'une vague au-dessus de l'ouvrage liée à un effondrement dans la retenue ;
- la rupture / ouverture partielle ou totale d'un organe / équipement hydraulique,…

Les volumes mis en jeu pour chacun de ces phénomènes ne sont pas du même ordre de grandeur qu'il s'agisse d'une rupture totale de l'ouvrage, d'une brèche ou d'une rupture d'un organe hydraulique. Les débits associés sont une illustration de cet écart : par exemple, quelques milliers de mètres cubes par seconde pour les trois premiers cas contre quelques dizaines voire centaines de mètres cubes par seconde pour des cas de rupture ou ouverture de vannes.

Les zones d'effets associées sont alors d'autant plus étendues que le volume libéré est important. La gravité des conséquences évolue donc dans le même sens que le volume d'eau libéré au pied de l'ouvrage (pour un même profil aval).

L'Arrêté du 12 juin 2008 [3] précise *qu'une étude de propagation de l'onde* [doit être] *fournie pour l'accident correspondant à la rupture de l'ouvrage et, si nécessaire, pour d'autres accidents présentant un niveau de risque comparable*.

2.2 Ce qui est fait…

Le retour d'expérience des premières études de dangers françaises réalisées pour le compte de différents exploitants a montré que l'ensemble des effets des accidents ne fait quasiment pas ou sinon que très peu l'objet d'une modélisation et d'une représentation cartographique. Le plus souvent, seule la modélisation de l'onde de rupture du barrage à la cote des Plus Hautes Eaux (PHE) est fournie. Dans certains cas, celle-ci peut être déjà avoir été réalisée dans le cadre d'autres demandes réglementaires (principalement des dossiers relatifs aux Plans Particuliers d'Intervention – PPI) [8].

Si la détermination de la gravité des conséquences est menée de façon systématique pour la rupture de l'ouvrage (sur la base du recensement des enjeux à partir des cartographies), elle se révèle **plus délicate pour les autres accidents identifiés**.

3. METHODOLOGIE PROPOSEE

3.1 Éléments préalables

3.1.1. Analyse documentaire

Une première étape consiste en l'identification et le recensement des données et des études disponibles par l'exploitant au moment de la réalisation de l'EDD afin de construire une méthodologie adaptée.

Le tableau ci-après décrit les principaux paramètres pour caractériser les conséquences d'un accident en gravité suivant qu'il existe ou non des études relatives à la modélisation de la propagation de l'onde de crue.

	Avec Modélisation	Sans Modélisation
ERC / Perte de confinement	Estimation du débit de pointe de l'ERC	Estimation du débit de pointe de l'ERC
Cinétique	Temps de l'arrivée des premiers effets Temps d'arrivée du débit de pointe	Non connu Non connu
Intensité	Connaissance en différents PK des hauteurs maximales atteintes, des débits locaux atteints	Non connus
Enjeux	Recensés à partir de l'emprise maximale des effets (cartographie) Connaissance des profils en différents Points Kilométriques (PK) Connaissance en certains lieux des débits et des hauteurs d'eaux de crues décennale, centennale et millennale de référence	Non identifiés Connaissance en certains lieux des débits et des hauteurs d'eau liés à des crues déjà rencontrées (généralement jusqu'à la centennale) et des débits de crue de référence (décennale, centennale et millennale)

Tableau 2 : Données exploitables pour la détermination de la gravité

Les paragraphes suivants présentent le déroulement de la méthodologie suivant qu'une étude de propagation ait été faite ou non.

3.1.2. Définitions complémentaires

En sus des définitions indiquées dans le glossaire du guide, le paramètre "cinétique" est ci-après explicité :

Cinétique : Vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables. (Définition issue du "glossaire technique des risques technologiques" annexé à la Circulaire du 10 mai 2010 [5] - réglementation des Installations Classées). Cette définition a été adaptée au contexte des ouvrages hydrauliques (schéma 2), notamment avec la distinction de :

- ✓ la **cinétique pré-accidentelle** : cinétique de détection et de suivi des dérives jusqu'à l'occurrence de l'ERC. Ce suivi est notamment décrit :
  - o dans le cadre de l'élaboration de Plan Particulier d'Intervention ou PPI (réglementation spécifique à certains ouvrages hydrauliques) [8] par la mise en œuvre de stades successifs (stade de vigilance renforcée, stade de préoccupation sérieuse, stade d'alerte) ;
  - o dans les consignes de gestion des évènements exceptionnels (crue, séisme…) ;
- ✓ la **cinétique post-accidentelle** : cinétique d'apparition des premiers effets au droit des enjeux (temps de l'arrivée de l'onde) ;
- ✓ la **cinétique locale** (au droit des enjeux) : temps de montée des eaux une fois les premiers effets ressentis au niveau de chaque enjeu.

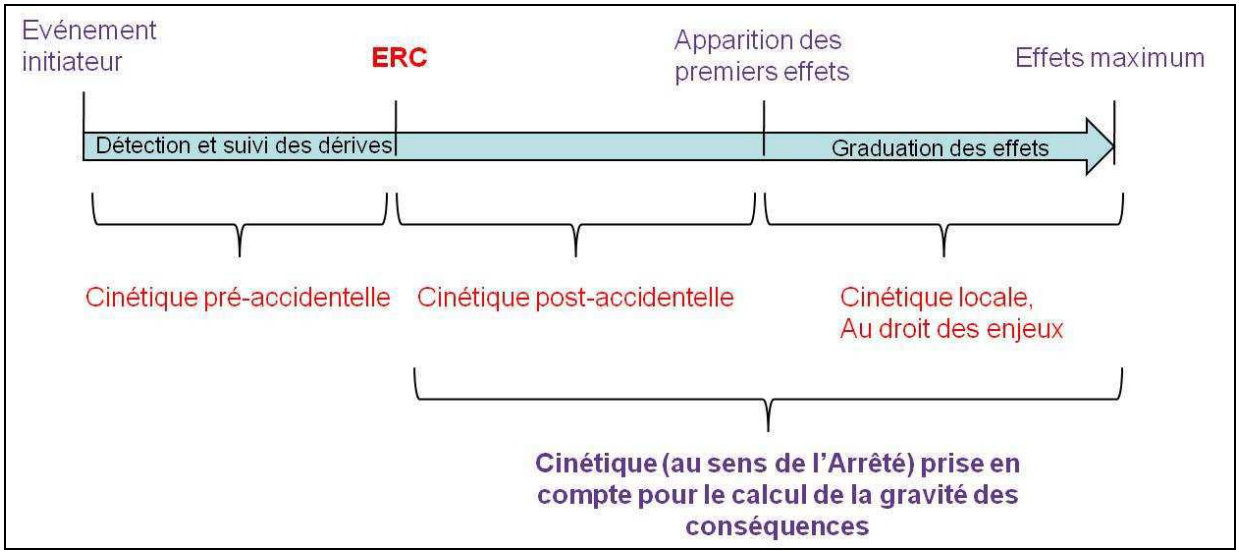


Schéma 1 : Critères de cinétique

3.2 Cas des accidents modélisés et zonage des effets : caractérisation des effets au niveau des enjeux en termes d'intensité et de cinétique locale

Au niveau de chaque enjeu recensé à partir des cartographies résumant la modélisation, il est possible d'obtenir les valeurs de différents paramètres en des PK proches (généralement, l'incrémentation de distance retenue est de 0,5 kilomètre) ainsi que l'hydrogramme caractéristique.

Au droit des enjeux, les paramètres exploitables sont les suivants :

- le temps de l'arrivée de l'onde,
- le temps d'arrivée du débit de pointe de l'onde,
- la vitesse de montée des eaux (Vm),
- le profil de la rivière,
- la hauteur maximale atteinte,
- la vitesse d'écoulement (Ve).

Les effets de l'accident au droit des enjeux peuvent être caractérisés en termes de cinétique et d'intensité avec les paramètres suivants :

- le critère **cinétique** : la vitesse d'écoulement et la vitesse de montée des eaux ; la vitesse de montée des eaux pouvant, suivant l'hydrogramme correspondant, être approximée par le rapport de la différence entre la cote maximale atteinte et la cote du cours d'eau et de la différence entre le temps d'arrivée du débit de pointe et du temps d'arrivée des premiers effets (approximation linéaire de l'hydrogramme jusqu'à atteinte de la cote maximale),
- le critère **intensité** : Hauteur maximale atteinte, Débit de pointe.

3.2.1 Cinétique (au droit des enjeux)

Il s'agit ici de la cinétique de montée des eaux une fois les premiers effets ressentis. Ne sont pas inclus la cinétique d'alerte des populations ni le temps d'arrivée des premiers effets locaux de l'accident.

Vitesse de montée des eaux / Hauteur critique

Cette notion de vitesse de montée des eaux permet de prendre en compte un temps possible de mise à l'abri des populations.

Dans l'élaboration des Plans de Prévention du Risques Inondations (PPRI), certaines valeurs sont utilisées pour définir des seuils critiques de stabilité des personnes. Notamment, il peut être considéré que des hauteurs d'eau supérieures à une valeur seuil, appelée "**hauteur critique**", sont dangereuses et ne permettent pas de satisfaire à d'éventuels critères de stabilité et de déplacement d'une personne dans l'eau. Le calcul de la vitesse de montée des eaux au droit des enjeux permet de déterminer le laps de temps entre l'arrivée des premiers effets et la hauteur critique.

Le laps de temps disponible pour une évacuation des personnes cibles est déterminé par :

Temps d'évacuation = Vitesse de montée des eaux x Hauteur critique

A titre d'exemple, [9] indique que des hauteurs d'eau supérieures à 50 centimètres sont considérées comme dangereuses pour le déplacement des personnes.

Vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et par sa rugosité. Elle peut atteindre plusieurs mètres par seconde. La dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/vitesse. A titre d'exemple, à partir de 0,5 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, quelle que soit la hauteur de la lame d'eau, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure.

A titre d'exemple, [9] indique qu'"à partir de 0,50 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure".

Synthèse

En fonction des enjeux et des situations étudiées, il peut être défini un temps minimal de mise à l'abri d'un certain nombre de personnes. La valeur de ce critère reste à définir et doit permettre de déterminer une vitesse critique de montée des eaux.

Il pourrait également être intéressant de conjuguer cette valeur seuil de vitesse de montée des eaux à une valeur seuil de vitesse d'écoulement (par exemple prise égale à 0,5 m/s).

Deux cas seraient alors représentatifs de la caractérisation de la cinétique des effets au droit des enjeux et distingueraient une cinétique locale permettant de prendre en compte ou non une évacuation partielle des cibles.

Paramètre choisi	Cinétique au droit des enjeux permettant l'évacuation de certaines personnes	Cinétique au droit des enjeux ne permettant pas l'évacuation des personnes
Vitesse d'écoulement Et/ou Vitesse de montée des eaux	Ve < Valeur seuil Et Vm < Valeur à définir	Ve ≥ Valeur seuil Ou Vm ≥ Valeur seuil

Avec par exemple [9]:
Ve (seuil) = 0,5 m/s ;
Vm (seuil) = 5 cm/min

Tableau 3 : Critères de cinétique locale (au droit des enjeux)

3.2.2 Intensité (au droit des enjeux)

Pour définir le critère d'intensité des effets à partir des données possiblement fournies avec les cartographies d'une onde de submersion, la hauteur d'eau maximale atteinte ne peut être utilisée du fait de son intégration dans le critère cinétique pour le calcul de la vitesse de montée des eaux.

Le débit de pointe au droit des enjeux apparaît donc comme un paramètre exploitable pour caractériser l'intensité au regard des débits de crues connus ou estimés au niveau de ces mêmes enjeux.

Afin de prendre en compte la possibilité d'avoir dans l'étude de dangers plusieurs modélisations (incluant a minima celle de l'onde de submersion consécutive à la rupture de l'ouvrage), les références aux débits de crues décennale, centennale et millennale sont exploitables au niveau de chaque enjeu si les valeurs de ces derniers sont connues.

Il est alors proposé de retenir quatre classes de caractérisation de l'intensité :

- **Intensité très forte** : débit au droit des enjeux supérieur ou égal au débit de la crue de période de retour millennale,
- **Intensité forte :** débit au droit des enjeux inférieur au débit de la crue de période de retour millennale mais supérieur ou égal au débit de la crue de période de retour centennale ou des plus fortes crues connues,
- **Intensité modérée :** débit au droit des enjeux inférieur au débit de la crue de période de retour centennale ou des plus fortes crues connues mais supérieur ou égal au débit de la crue de période de retour décennale,
- **Intensité faible :** débit au droit des enjeux inférieur au débit de la crue de période de retour décennale.

Remarque : Dans le cas de la non-connaissance ou de la non-disponibilité des données de débit relatives aux crues de référence au niveau d'un enjeu, il peut être alors fait l'approximation suivante : l'intensité des effets au niveau de l'enjeu N peut être approximée par comparaison entre l'intensité des effets au niveau de l'enjeu N-1 (en amont) et l'intensité des effets au niveau de l'enjeu N+1 (en aval). Si l'intensité des effets en N-1 est différente de celle en N+1, il sera retenu l'intensité majorante (en général celle de N-1).

3.2.3 Zonage des effets

Les deux paragraphes précédents permettent de caractériser les effets de l'accident au niveau de chacun des enjeux identifiés, en termes de cinétique et d'intensité.

Ont été identifiés quatre niveaux d'intensité et deux niveaux de cinétique des effets, ce qui permet de définir jusqu'à huit zones caractéristiques des effets au niveau de chacun des enjeux. Des regroupements de zones sont possibles selon les configurations étudiées.
Il est présenté ci-après un tableau de définition de trois zones caractéristiques.

Cette démarche rejoint celle déployée dans le cadre de l'élaboration des PPI [8] qui, à partir des cartographies de l'« Onde de Submersion liée à la rupture de l'ouvrage », découpe en trois parties (zone de proximité immédiate ZPI, zone d'inondation spécifique ZIS et zone d'inondation ZI) la zone totale des effets.

Dans la méthodologie décrite ici, trois zones caractéristiques sont proposées : Zone A, Zone B et Zone C.

Cinétique Intensité au droit des enjeux	Evacuation dès apparition premiers effets possible	Evacuation dès apparition des premiers effets impossible
Très Forte	A	A
Forte	B	A
Modérée	C	B
Faible	C	B

← $Q_{1\,000}$ au droit des enjeux

← Q_{100} au droit des enjeux

← Q_{10} au droit des enjeux

Valeur(s) seuil(s) de cinétique

Avec
Q1000 : débit de crue millennale de référence
Q100 : débit de la crue centennale de référence
Q10 : débit de la crue décennale de référence

Tableau 4 : Tableau caractéristique des effets de l'accident modélisé – Zonage

Sur la base d'une affectation d'une zone d'effets au niveau de chaque enjeu, il est possible alors de segmenter la cartographie générale référençant la zone totale impactée par les effets de l'accident en trois parties et de regrouper les enjeux par Zone (A, B et C).

3.3 Cas des accidents non modélisés

3.3.1 Détermination de la zone totale impactée

Contrairement aux accidents modélisés, il est fortement probable que les limites aval de la zone d'effets ne soient pas connues de manière précise.

La gravité des conséquences ne peut être, sauf données suffisamment précises, déterminée de manière quantitative. Il est proposé d'adopter une **approche qualitative**. Il est alors intéressant de faire à ce stade un inventaire des données disponibles par l'exploitant :

- le débit au droit du barrage est connu ou peut être facilement estimé. Ce débit correspond donc au débit de l'ERC ;
- les valeurs des crues de référence en différents points à l'aval de l'ouvrage : au travers du rapport de la modélisation de l'onde de submersion liée à la rupture de l'ouvrage, ces débits sont connus en différents points kilométriques (étant donné que la connaissance de la crue décennale de référence est un critère d'arrêt de la modélisation du phénomène).

L'essentiel de la méthode appliquée aux accidents non modélisés repose sur un **raisonnement à partir du débit initial** (au droit de l'ouvrage) contrairement au paragraphe 3.2 qui proposait un raisonnement à partir des débits au droit des enjeux.

Cas où le débit de l'ERC est inférieur à celui de la crue décennale (Q_{10}) au droit du barrage

Il peut être considéré que la zone d'étude des effets de l'accident s'arrête dans les premiers kilomètres car l'onde ou la vague générée est rapidement voire directement contenue dans le lit de la rivière.

Cas où le débit de l'ERC est supérieur à celui de Q_{10} au droit du barrage

Il est choisi de retenir comme zone d'étude la zone comprise entre le barrage et le PK où le débit de l'ERC devient inférieur au débit de la crue de période de retour décennale connu à ce PK. Cette approche est majorante et pénalisante car il est considéré que la vague ou l'onde initiale n'est pas amortie le long de son parcours.

3.3.2 Caractérisation des enjeux

Le critère cinétique locale (au droit des enjeux) ne peut être étudié dans une approche réaliste. Le fait de ne pas avoir effectué de modélisation rend difficile l'acquisition de données locales portant sur la vitesse d'écoulement, la hauteur d'eau maximale atteinte, les temps d'arrivée des premiers effets et du débit de pointe.

Cas où le débit de l'ERC est inférieur à Q_{10} au droit du barrage

Les enjeux sont limités aux zones probables de pêche (sur berges ou sur barques), aux zones touristiques et aux zones navigables situées en aval direct.

Cas où le débit de l'ERC est supérieur à Q_{10} au droit du barrage

Une fois la zone approximative d'impact estimée, sont identifiés, en amont du point d'arrêt, les enjeux sensibles, par exemple, de type ponts, routes, voies ferrées, sentiers touristiques, campings, hameaux, villes ou bâtiments à proximité du lit de la rivière….

La démarche menée ici est inverse vis-à-vis des enjeux listés : en ces différents enjeux, est estimé a minima le débit critique pouvant être contenu dans le lit de la rivière. Si le débit critique est supérieur au débit au droit du barrage, aucun effet ne sera considéré sur les enjeux hormis si une zone de pêche ou une zone d'activités est présente.
Des calculs complémentaires peuvent être fournis afin de préciser le débit critique maximal pouvant être supporté au droit de certains enjeux sans impacter les premières cibles (routes, ponts, bâtiments, usines,…).

3.3.3 Zonage des effets

L'échelle de caractérisation des effets de l'accident au droit des enjeux est réduite à une seule colonne (colonne de droite du Tableau 4), en considérant ici le débit centennal comme débit critique :

Cinétique / Intensité de l'ERC	Approche majorante retenue (absence de connaissance des paramètres)	
Très Fort	A	Q_{1000}
Fort	A	Q_{100}
Modéré	B	Q_{10}
Faible	B	

Tableau 5 : Tableau caractéristique des effets des accidents non modélisés – Zonage

3.4 Caractérisation de la Gravité des conséquences en niveaux

3.4.1 Détermination de la PAR maximale

La première étape est l'identification et le recensement des personnes susceptibles d'être impactées au niveau de chaque enjeu (Population Assujettie au Risque – PAR [6]). La circulaire du 31 octobre 2008 [4] relative aux études de dangers des barrages préconise *une maille de comptage assez fine sans pour autant obtenir un nombre de personnes précis ; un ordre de grandeur est souhaité*.

Dans un souci d'harmonisation des méthodologies de comptage avec la réglementation existante dans le domaine des installations classées, il est notamment proposé d'utiliser la méthode de comptage définie dans la réglementation française des Installations Classées : Fiche n°1 « Eléments pour la détermination de la gravité dans les études de dangers » de la « Circulaire du 10 mai 2010 [5] récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers à l'appréciation de la démarche de réduction du risques à la source et aux Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) dans les Installations Classées en application de la loi du 30 juillet 2003 ».

Avec ces outils et règles de comptage existants il est ainsi possible d'obtenir un ordre de grandeur maximal de l'ensemble des cibles atteintes (PAR) par les effets de l'accident au niveau de chaque enjeu.

3.3.2 Prise en compte de la cinétique pré- et/ou post-accidentelles

Les facteurs de réduction proposés dans ces paragraphes sont donnés à titre illustratif pour l'application de la méthode. Leur valeur pourra être définie et/ou appuyée par des données relatives à un retour d'expérience.

Critère de cinétique pré-accidentelle applicable :

Dans le cas où la cinétique pré-accidentelle est justifiée et peut être prise en compte (sur la base d'éléments justificatifs ou de critères applicables), il peut être proposé de retenir forfaitairement un facteur de réduction du nombre de personnes dans chaque zone. **Ce facteur de réduction s'applique alors à l'ensemble des enjeux identifiés**.

Critère de cinétique post-accidentelle applicable :

Dans le cas où la cinétique post-accidentelle (temps d'arrivée des premiers effets compatibles avec une première évacuation des personnes) est applicable, il peut être proposé de retenir forfaitairement un **facteur de réduction du nombre de personnes pour les enjeux situés à un temps d'arrivée des premiers effets supérieur à un temps seuil défini pour la cinétique post-accidentelle**.

Si la valeur de temps seuil associée à la prise en compte du critère de cinétique post-accidentelle est supérieure à la limite temporelle d'arrêt de la modélisation, il ne sera comptabilisé que la PAR maximale.

Remarque : l'application du critère de cinétique post-accidentelle n'est envisageable que pour les accidents qui ont fait l'objet d'une modélisation (affichage des temps de propagation le long du parcours).

Ainsi, globalement :

- si seul le critère pré-accidentel est applicable, on aura une réduction globale de la PAR maximale par un facteur correctif ;
- si seul le critère post-accidentel est applicable, on aura une réduction de la PAR maximale située au-delà du temps seuil d'un second facteur correctif.

Dans les cas contraires, aucun facteur correctif ne peut être appliqué. Il est alors affiché et retenu le nombre de personnes maximal (PAR initiale maximale).

3.4.3 Niveaux de gravité des conséquences

Une échelle de définition des niveaux de gravité basée sur l'estimation de la PAR dans chaque zone d'effets identifiée est proposée.

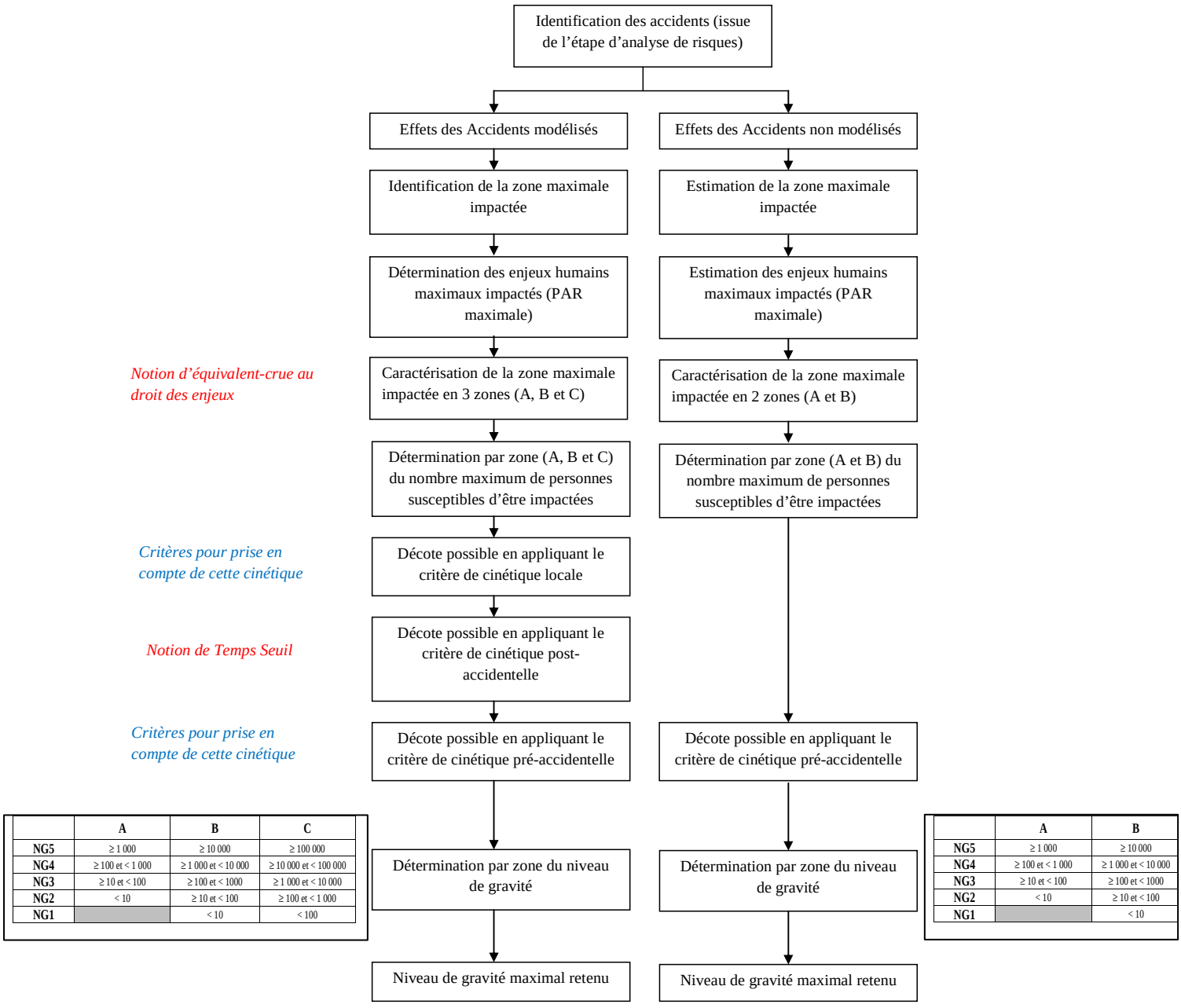
	A	**B**	**C**
NG5	≥ 1 000	≥ 10 000	≥ 100 000
NG4	≥ 100 et < 1 000	≥ 1 000 et < 10 000	≥ 10 000 et < 100 000
NG3	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000	≥ 1 000 et < 10 000
NG2	< 10	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1 000
NG1		< 10	< 100

Tableau 6 : Correspondance cibles impactées vs. niveau de gravité

Ainsi pour chaque zone (A, B et C), il est mis en correspondance un niveau de gravité des conséquences.

Il sera retenu pour chaque phénomène dangereux, le **niveau de gravité maximal** des trois calculés (cas des accidents modélisés) ou des deux calculés sinon.

3.5 Logigramme synthèse de la méthode



	A	B	C
NG5	≥ 1 000	≥ 10 000	≥ 100 000
NG4	≥ 100 et < 1 000	≥ 1 000 et < 10 000	≥ 10 000 et < 100 000
NG3	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000	≥ 1 000 et < 10 000
NG2	< 10	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1 000
NG1		< 10	< 100

	A	B
NG5	≥ 1 000	≥ 10 000
NG4	≥ 100 et < 1 000	≥ 1 000 et < 10 000
NG3	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000
NG2	< 10	≥ 10 et < 100
NG1		< 10

Graphique 1 : Logigramme de la méthodologie de détermination du niveau de gravité des conséquences sur les enjeux humains suite à un accident sur un barrage

3.6 Inconvénients de la méthode et méthode simplifiée

3.6.1 Éléments discutables

La méthode proposée dans les paragraphes précédents permet de répondre et de traiter de manière théorique l'ensemble des critères cités dans l'Arrêté du 12 juin 2008 [3] et du guide annexé à la circulaire du 31 octobre 2008 [4].

Toutefois, la mise en œuvre d'une telle méthode peut être rendue difficile du fait :

- de l'incertitude portée sur les nombreux résultats de modélisations (notamment sur les valeurs des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement en différents points de la zone d'effets) ;
- de l'ancienneté des modélisations effectuées ;
- de l'incertitude sur les valeurs des crues de référence en différents lieux situés à l'aval de l'aménagement étudié.

3.6.2 Simplification de la méthode pour la détermination du niveau de gravité d'un accident dont les effets ont été modélisés

Une des principales difficultés rencontrées dans les premières études de dangers réalisées a été la caractérisation des effets au niveau de chaque enjeu recensé le long du parcours des ondes générées par une perte de confinement sur l'ouvrage.

Une **adaptation conservatrice** de la précédente méthode peut être envisagée pour les accidents ayant fait l'objet d'une modélisation en ne caractérisant pas ces effets en terme de cinétique et d'intensité locales. Cela revient par conséquent à considérer qu'aucune mise en sécurité des personnes n'est envisageable une fois les premiers effets ressentis au niveau de chaque enjeu.

De cette action découle une non-prise en compte des paramètres seuils de Vitesse d'Écoulement (Ve) et de Vitesse de Montée des eaux (Vm). Le tableau 4 utilisé est ainsi simplifié :

Cinétique **Intensité au droit des enjeux**	**Evacuation dès apparition premiers effets impossible**
Très Fort	A
Fort	A
Modéré	B
Faible	B

← $Q_{1\,000}$ au droit des enjeux

← Q_{100} au droit des enjeux

← Q_{10} au droit des enjeux

Tableau 7 : Tableau caractéristique simplifié des effets de l'accident modélisé – Zonage

Le zonage des effets est donc réduit à deux zones A et B (au lieu de trois) :

- une zone A pour des débits locaux supérieurs au débit de la crue centennale (Q_{100}),
- une zone B pour des débits locaux inférieurs au débit de la crue centennale (Q_{100}).

Contrairement au Tableau 4, l'identification de deux zones d'effets représente une approche majorante dans la détermination ultérieure du niveau de gravité des conséquences sur les enjeux humains.

La seule différence restante par rapport aux accidents qui n'ont pas fait l'objet d'une modélisation et d'une représentation cartographique réside en la possibilité ou non de considération de la cinétique post-accidentelle.

3.6.3 Positionnement et axes de recherche à venir

Les réflexions menées à ce jour nécessitent d'être poursuivies par la caractérisation et la définition de certaines données présentées. Les principaux axes de recherche à venir portent notamment sur la détermination des valeurs seuils correspondantes aux différents paramètres suivants :

- la vitesse d'écoulement locale et la vitesse de montée des eaux locale pour la cinétique au droit des enjeux (dans le cas d'une mise en œuvre de la méthode « complète ») ;

- le temps seuil d'arrivée des premiers effets et le coefficient de réduction de la PAR locale pour la cinétique post-accidentelle ;
- les critères à remplir pour la prise en compte de la cinétique pré-accidentelle et le coefficient de réduction de la PAR maximale associé.

CONCLUSIONS

L'article R.214-115 du Code de l'Environnement introduit par le Décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 [2] prévoit la réalisation d'une étude de dangers pour certains ouvrages hydrauliques. Cette étude a pour objectif la démonstration de la maîtrise des risques par l'exploitant au travers d'une analyse croisée de la gravité des conséquences des effets et de la probabilité d'occurrence annuelle des accidents majeurs identifiés.

La gravité peut être déterminée de manière quantitative ou qualitative, en fonction de la disponibilité de représentations cartographiques des effets hydrauliques (onde de submersion ou vague/s), et sur la base d'un recensement des enjeux humains susceptibles d'être impactés par ces effets, ou PAR (« Population At Risk » ou « Population Assujettie aux Risques » [6]).

Une méthode de caractérisation des effets s'appuie sur une estimation de l'intensité et de la cinétique locale. Certains critères tels que la « cinétique pré-accidentelle » ou la « cinétique post-accidentelle » sont potentiellement des voies de réduction de la gravité via une diminution du nombre de personnes effectivement impactées.

La notion de gravité associée à chaque accident résulte donc d'une analyse faisant intervenir plusieurs paramètres.

Cette communication présente l'avancement des travaux en cours à l'INERIS en proposant :
- une méthode « complète » permettant de répondre de façon théorique à l'ensemble des critères définis dans le cadre de l'article 8 du plan des études de dangers défini par l'Arrêté du 12 juin 2008,
- une méthode « simplifiée » prenant en compte les données disponibles et exploitables pour la caractérisation des différents paramètres.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

[1] Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatique et modifiant le code de l'environnement. Adoptée par l'Assemblée Nationale et le Sénat et promulguée par le Président de la République française. *Publiée au JO n° 303 du 31 décembre 2006 et Rectificatif au JO n° 17 du 20 janvier 2007.*

[2] 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. Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. *Publié au JO du 13/12/2007.*

[3] Arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire. *Publié au JO n° 142 du 19 juin 2008.*

[4] Circulaire du 31 octobre 2008 relative aux études de dangers des barrages. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire.

[5] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat.

[6] Guidelines on Assessment of the Consequences of Dam Failure. ANCOLD (Australian National Committee on Large Dams). *2000*

[7] Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable. *Publié au JO du 7 octobre 2005*.

[8] 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. Ministère de l'Intérieur. *Publié au JO du 22 février 2002*

[9] Dossier d'information : Les inondations. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. *2004*

[10] McClelland, D.M., Bowles, D.S. (2002) Estimating life loss for dam safety risk assessment – a review and new approach. *IWR report 02-R-3. 420 p.*

[11] Jonkman, S.N. (2007) Loss of life estimation in flood risk assessment. Theory and applications. *PhD Thesis. Delft University of Technology*

[12] Graham, W.J. (1999) A procedure for estimating loss of life caused by dam failure. *U.S.Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, Report no. DSO-99-06. 44 p.*