



HAL
open science

Contributions des études de dangers a la sûreté des systèmes d'endiguement

P. Ledoux, Y. Deniaud, D. Salmon, D. Loudiere, R. Tourment

► **To cite this version:**

P. Ledoux, Y. Deniaud, D. Salmon, D. Loudiere, R. Tourment. Contributions des études de dangers a la sûreté des systèmes d'endiguement. Sûreté des barrages et enjeux, Nov 2016, Chambéry, France. pp.113-124. hal-01546989

HAL Id: hal-01546989

<https://hal.science/hal-01546989>

Submitted on 26 Jun 2017

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.

**CONTRIBUTIONS DES ETUDES DE DANGERS A LA SÛRETE DES
SYSTEMES D'ENDIGUEMENT**
*CONTRIBUTIONS OF HAZARD STUDIES TO THE SAFETY OF LEVEE
SYSTEMS*

DOI : 10.24346/cfbr_colloque2016_b02

Patrick Ph LEDOUX, Cerema

Direction territoriale Méditerranée - Pôle d'activités des Milles, CS 70499 13593 Aix-en-Provence cedex 3

patrick.ledoux@cerema.fr

Yann DENIAUD, Cerema ⁴,

Direction technique eau, mer et fleuves-Technopôle Brest Iroise - 155 rue Pierre Bouguer - BP 5 - 29280 PLOUZANÉ

yann.deniaud@cerema.fr,

David SALMON, BETCGB

Daniel LOUDIERE,

CTPBOH DGPR MEEM

daniel.loudiere@free.fr

Rémy TOURMENT, Irstea

Centre d'Aix en Provence, 3275 route Cézanne, CS 40061, 13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5

remy.tourment@irstea.fr

MOTS CLÉS

Protection, digue, diagnostic, aléa, inondation, crise, sûreté, sécurité, danger, surveillance.

RÉSUMÉ

La réalisation des études de dangers des systèmes d'endiguement est une démarche récente initiée par la réglementation issue du décret du 11 décembre 2007. Sur l'initiative du MEDDE, un groupe de travail constitué d'agents du MEDDE et d'établissements publics s'est attaché à analyser dès le début de sa mise en œuvre les études produites en application de cette réglementation. Cet article s'inspire en grande partie des travaux de ce groupe de travail, il en reprend les principaux enseignements. L'étude de dangers des levées du Val de Loire a particulièrement servi de support pour la rédaction de cet article. Sont abordés dans cet article les différents bénéficiaires des études de dangers, le périmètre d'étude, les données d'entrée en soulignant notamment la nécessité de fonder l'étude de dangers sur un diagnostic approfondi du système d'endiguement et sur une bonne connaissance de son environnement, l'importance de définir une politique de surveillance et d'entretien du système d'endiguement en adéquation avec les capacités et les engagements du gestionnaire à maintenir les performances de ses ouvrages, et l'analyse de risque. Au sujet de ce dernier point, l'article définit quatre niveaux caractérisant l'efficacité et la sûreté des systèmes d'endiguement : niveau de danger, de sûreté, de sécurité et de protection, le dernier cité étant en concordance avec le l'article R.214-119-1 du code de l'environnement introduit par le décret du 12 mai 2015.

ABSTRACT

Risk Analysis for Hazard studies ("Etudes de dangers") of levee systems is a recent approach in French regulation, introduced by the decree of December, 11 2007. Since the application of this regulation, a working group, initiated by the ministry in charge of Environment and composed by some staff of this ministry and its public establishments, has been in charge of a continuous analysis of the studies produced. This paper is based on the works of this group and exposes the main lessons learned. Particular help for its writing was brought by the hazard study of the Val de Loire Levees. It addresses the topics of: main beneficiaries of hazard studies, aim and geographical scope of these studies, input data. It underlines the necessity of establishing a detailed diagnosis of the levee system and of having a good knowledge of the environment to serve as a base for carrying out the hazard study, the need for a well defined operating and maintenance policy in accordance with ability and commitments of the levee manager to maintain the performances of its assets, and the risk analysis. Four levels defining the efficiency and the safety of levee systems are defined to help understanding the risk analysis: danger level, safety level, security level and protection level. This last one is expressed in accordance with the new regulation introduced in the legal code of environment, by the decree of the 12 May 2015.

⁴ Auteur correspondant

1. INTRODUCTION

La réalisation des études de dangers des ouvrages hydrauliques de protection contre les inondations est une démarche récente initiée par la réglementation issue du décret du 11 décembre 2007. Sur l'initiative du MEDDE, un groupe de travail constitué d'agents du MEDDE et d'établissements publics s'est attaché à analyser dès le début de sa mise en œuvre les études produites en application de cette réglementation. Il avait notamment pour objectif d'identifier les pratiques et éléments de réussite dans la conduite de telles études.

Dans la continuité des recommandations du groupe de travail, les évolutions législatives et réglementaires récentes (décret du 12 mai 2015 et textes subséquents) sont venues appliquer au système d'endiguement plutôt qu'aux digues la notion d'étude de dangers.

Les enseignements issus du retour d'expérience associé à l'analyse des études déjà menées soulignent les apports essentiels de ces études à une démarche de gestion des risques d'inondation cohérente et coordonnée. Mais il faut pour cela que leurs concepts et limites soient bien compris et partagés par l'ensemble des acteurs, et que les différentes parties qui les composent s'articulent dans un ensemble construit et logique.

Cet article s'attache ainsi à développer les enseignements principaux qui sous tendent l'unité de la démarche de telles études autour des points suivants :

- les bénéficiaires des études de dangers ;
- le périmètre d'étude ;
- les données d'entrée ;
- la surveillance et l'entretien des systèmes d'endiguement ;
- l'analyse de risque ;
- les niveaux caractéristiques de l'efficacité et de la sûreté d'un système d'endiguement.

2. LES BENEFICIAIRES DES ETUDES DE DANGERS

Les résultats d'une étude de dangers de digue intéressent en priorité trois cibles potentielles :

- le gestionnaire du système d'endiguement ;
- les responsables locaux des politiques de prévention des inondations et de gestion de crise ;
- les populations en zone protégée.

2.1 Le gestionnaire du système d'endiguement

Le responsable du système d'endiguement est essentiellement à la recherche de caractéristiques et de performances d'ordre technique relatives au système d'endiguement dont il a la charge (tronçonnage fonctionnel, points faibles, niveaux de protection et de sûreté, scénarios accidentels, réduction de la vulnérabilité, hiérarchisation dans le cadre d'un programme de travaux d'entretien ou de confortement...).

L'étude de dangers va lui apporter une connaissance accrue des éventuelles faiblesses et des risques liés à son système d'endiguement. Il pourra ainsi fonder et mettre en œuvre sur une base objective des mesures de réduction de ces risques, en adaptant notamment ses politiques de réhabilitation, d'entretien et de surveillance, conformément à la démarche exposée dans l'ILH [3] et plus particulièrement sa section 5.1.

2.2 Les responsables locaux des politiques de prévention des inondations et de gestion de crise

L'étude de dangers est génératrice d'informations susceptibles d'intéresser l'ensemble des acteurs locaux en lien avec la problématique de gestion des inondations. C'est particulièrement le cas des politiques d'aménagement du territoire et de gestion de crise qui pourront notamment valoriser dans leurs actions : les performances du système définies en termes de niveaux de protection et de sûreté, la caractérisation hydraulique (hauteurs, vitesses, temps d'arrivée et de montée, durée) de l'inondation de la zone protégée et les conséquences de celle-ci.

Ces questions vont généralement au-delà des prérogatives d'un responsable de système d'endiguement. Il est donc important de définir les limites de son action et les liens qui peuvent exister entre l'étude de dangers et les documents de politiques publiques relatifs à la prévention des inondations.

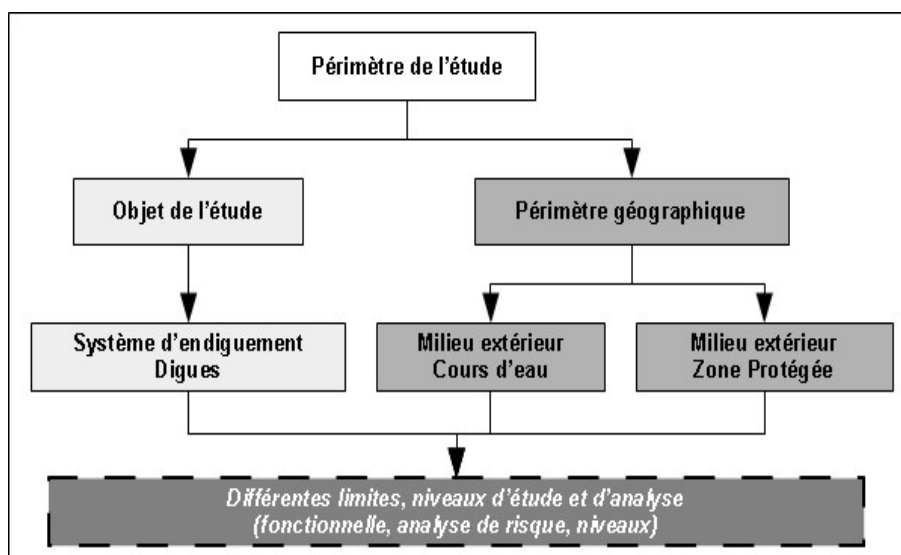
2.3 Les populations en zone protégée

L'étude de dangers peut contribuer à diminuer la vulnérabilité des personnes présentes dans la zone protégée en leur donnant une information adaptée sur les risques d'inondation encourus. Plus particulièrement, elle doit aider à la prise de conscience par les populations des caractères ni infaillibles, ni insubmersibles des digues et d'un niveau de protection réel souvent bien inférieur à la cote de crête de ces ouvrages.

Le résumé non technique de l'étude de dangers doit ainsi contenir une partie spécifique qui reprend et explique les performances du système d'endiguement et les conséquences de ses défaillances. Sa rédaction doit être particulièrement soignée, pédagogique et illustrée, et il doit être rendu accessible et compréhensible à tout public.

3. LE PERIMETRE D'ETUDE

Le périmètre d'une étude de dangers revêt deux dimensions. La première est relative à l'objet de l'étude : le système d'endiguement. La deuxième est relative au périmètre géographique (milieu extérieur au système) sur lequel l'étude est menée. Cette dernière se scinde en deux parties situées de part et d'autre de l'ouvrage : le milieu eau (cours d'eau, mer) et le milieu zone protégée.



Graphique 1 : décomposition du périmètre de l'étude de dangers, source [1]

Si cette démarche paraît satisfaisante du point de vue conceptuel, elle peut être délicate à mettre en application, en raison notamment du morcellement des responsables sur un même système d'endiguement et/ou de l'importance de l'emprise des zones protégées. La création d'une compétence exclusive des communes et de leurs établissements publics de coopération intercommunale portant sur la prévention des inondations (Gémapi) et les évolutions réglementaires en cours sont cependant susceptibles d'améliorer à terme ce contexte défavorable.

En tout état de cause, le périmètre et l'objet de l'EDD doivent être clairement présentés et illustrés (cartographie à une échelle adaptée). Leurs limites ne peuvent pas être arrêtées arbitrairement, elles doivent tendre à une recherche de cohérence hydraulique du système étudié.

4. LES DONNEES D'ENTREE

Les données d'entrée d'une étude de dangers constituent le socle de l'étude. Elles alimentent l'analyse de risques dont la qualité dépendra en grande partie de leur pertinence. L'ensemble des données d'entrée permet de constituer la partie « **diagnostic** » qui s'intéresse évidemment aux ouvrages du système d'endiguement, mais aussi à leurs environnements proches ou peu éloignés de part et d'autre de leur crête (berges, estran, milieu eau, rive opposée, zone protégée...), à la caractérisation des sollicitations qui les affectent (naturelles et anthropiques), à leur historique (construction, modification, retour d'expérience, accidentologie...), à leurs modalités de gestion et d'entretien.

4.1 Données existantes

Le gestionnaire de l'ouvrage doit mettre à disposition du rédacteur de l'étude l'ensemble des données susceptibles de lui être utiles. C'est pourquoi il est conseillé au commanditaire de l'étude de dresser un état des lieux des données disponibles préalablement à la commande et de vérifier que ces dernières sont toujours valides eu égard aux éventuelles modifications apportées à l'ouvrage ou à son environnement.

Dans le cas contraire, il sera amené à procéder à une mise à jour des données qui seraient obsolètes, cette mise à jour étant préalable et faite par le commanditaire ou intégrée au cahier des charges des études à mener pour la production de l'étude de dangers.

Le cahier des charges de l'étude de dangers doit aussi imposer au rédacteur de l'étude une analyse critique et argumentée des données fournies afin de déterminer leur potentiel de réutilisation et d'identifier les éventuelles lacunes. Cette analyse portera notamment sur la teneur, la qualité et la quantité des données disponibles. Elle doit permettre une appropriation et une validation des données d'entrée par le rédacteur de l'étude de dangers.

4.2 Les études préliminaires

Les données existantes peuvent s'avérer insuffisantes (en quantité et en qualité) pour pouvoir mener une étude de dangers. Dans ce cas, il est conseillé de mener des études préliminaires portant sur la connaissance d'objets (ouvrages ou partie d'ouvrages, environnement...) ou de phénomènes particuliers (hydraulique, mécanique, géotechnique...) dont les résultats viendront alimenter l'étude de dangers.

Certaines de ces études préliminaires peuvent concerner plusieurs systèmes d'endiguement, requérir des compétences très spécifiques et/ou dépasser les intérêts d'une étude de dangers. Dans ce cas, une mutualisation des moyens entre les bénéficiaires potentiels de ces études est à rechercher. Certaines études sont encore au stade de la recherche ou du développement (caractérisation des sollicitations maritimes ou torrentielles...) ou pourraient même être réalisées à l'échelon national (hydrologie fluviale, accidentologie, retour d'expérience sur les ouvertures de brèches et/ou modélisation de ce phénomène...).

4.3 Les recherches historiques

La connaissance détaillée des événements passés significatifs et leur vécu pour le système d'endiguement et son environnement proche, dont la zone protégée en termes d'inondations, constitue une source d'informations souvent essentielles qui pourront être réinvesties dans différentes parties de l'étude de dangers.

En effet, la nature et l'intensité des événements subis et la réponse de l'endiguement à ces sollicitations donnent des informations précieuses sur le fonctionnement et les niveaux de performances du système. De même la recherche d'éléments concernant l'historique de la morphologie de l'environnement proche des ouvrages pourra faire émerger des facteurs importants à prendre en compte dans l'analyse de risques (divagation et respiration du cours d'eau, paléo chenaux, évolution morphologique de l'estran...).

Cependant, de telles recherches historiques sont généralement très chronophages et l'obtention de résultats valorisables peut être incertaine. Il subsiste ainsi souvent une interrogation sur les moyens (humains et

financiers) que les prestataires vont réellement consacrer à ce volet qui est généralement en marge de leur champ de compétence.

C'est pourquoi en préalable à l'étude de dangers, il peut être judicieux pour un maître d'ouvrage de faire réaliser ces recherches historiques par des spécialistes. Si ce n'est pas le cas, il doit impérativement expliciter ses attentes en la matière dans le cahier des charges de l'étude et formaliser un poste de rémunération spécifique

4.4 La bonne échelle géographique

La connaissance du contexte géographique plus ou moins lointain peut constituer un éclairage complémentaire porteur d'informations pertinentes par rapport au système d'endiguement étudié. Il convient de citer à ce titre :

- les facteurs d'évolution hydrologique (couverture et usage des sols, ruissellement...);
- les facteurs d'évolution géomorphologique (érosion, transports solides, effacement de seuils...);
- les caractéristiques hydrauliques du lit et des ouvrages d'amont, notamment le rôle des réservoirs de stockage des crues, de nouveaux endiguements et/ou de zones d'expansion de crues.

Selon les configurations, il peut s'avérer pertinent de raisonner à des échelles emboîtées du bassin versant vers une échelle plus réduite, pour préciser progressivement les impacts les plus évidents.

Le recours à un établissement territorial de bassin peut être une solution pour la réalisation d'études à une échelle couvrant l'ensemble du bassin versant. La réforme applicable à compter du 1er janvier 2018 attribuant aux établissements publics de coopération intercommunale à fiscalité propre la compétence obligatoire relative à la gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations est probablement de nature à faciliter la réalisation de telles études concertées.

4.5 Le diagnostic par tronçons homogènes

Le diagnostic d'un système d'endiguement consiste à établir :

- un état des lieux des ouvrages constitutifs du système d'endiguement et de leur fiabilité ;
- un état des lieux de l'environnement proche du système d'endiguement ;
- un recensement des sollicitations que le système d'endiguement peut subir et une analyse de son fonctionnement lorsqu'il est soumis à ces sollicitations.

Ce diagnostic comporte principalement :

- des levés topographiques des ouvrages et de l'environnement proche du système d'endiguement ;
- des études géologiques et géotechniques ;
- des études hydrologiques, hydrauliques et morpho dynamiques sur les milieux eau et zone protégée ;
- une analyse fonctionnelle du système d'endiguement en interaction avec son environnement ;
- des conclusions sur les performances de chaque élément et du système.

Les différents volets du diagnostic vont faire émerger des tronçons de digues plus ou moins homogènes au regard de la dimension regardée (type d'ouvrage, géométrie, géotechnique, sollicitations, enjeux...). Le rédacteur de l'étude doit présenter et argumenter un découpage pertinent du système d'endiguement objet de l'analyse de risque.

En règle générale, les méthodes de diagnostic ont en commun la constitution de tronçons homogènes sur lesquels une évaluation du risque de rupture est réalisée en considérant divers modes de rupture. Il est appréciable que ce diagnostic fasse apparaître :

- les éventuels dispositifs de sécurité ou barrières (filtration, étanchéité, protection) à prendre en compte dans l'évaluation des modes de rupture ;
- l'évaluation de la surveillance en place le cas échéant, dans le but de juger son efficacité à détecter l'initiation et la progression d'un désordre pour intervenir avant qu'il n'atteigne un niveau irréversible.

5. LA SURVEILLANCE ET L'ENTRETIEN DES SYSTEMES D'ENDIGUEMENT

La surveillance et l'entretien d'un système d'endiguement doivent permettre de garantir le maintien de ses performances, à savoir les niveaux de protection et de sécurité qu'il apporte à la zone protégée.

C'est donc l'ensemble des éléments composant le système d'endiguement (ouvrages englobés, ouvrages annexes, éléments naturels...) ainsi que son environnement proche (berges, lit mineur, estran, rive opposée...), ayant un impact direct ou indirect sur les performances, qui doivent bénéficier d'une surveillance et, le cas échéant, d'un entretien.

Le gestionnaire limite ses actions de surveillance et d'entretien aux composants du système d'endiguement dont il a la charge. Toutefois, lorsque la maîtrise du système d'endiguement repose sur plusieurs gestionnaires, il est très souhaitable qu'une convention définisse les relations et les échanges entre ceux-ci. Leur rapprochement visera à assurer de façon pérenne une gestion globale et cohérente de l'ensemble du système d'endiguement.

L'étude de dangers doit fournir une description puis une analyse des consignes de surveillance et d'entretien du responsable du système d'endiguement. Elle porte notamment sur l'adéquation entre, d'une part, la complexité du système d'endiguement, les scénarios de défaillance envisageables et l'importance des enjeux protégés et, d'autre part, les moyens mis en œuvre par le responsable du système et les gestionnaires mandatés pour répondre aux obligations réglementaires.

Deux niveaux d'interactions existent entre les consignes écrites et l'étude de dangers. Dans un premier temps, l'analyse de risque doit prendre en compte les actions de surveillance et d'entretien mises en place par le responsable de l'endiguement eu égard aux moyens qu'il se donne pour les réaliser. Dans un deuxième temps, le responsable de l'endiguement doit adapter sa politique de surveillance et d'entretien de manière à maintenir, voire améliorer, les barrières de sécurité qui ont été identifiées par l'étude de dangers.

La politique de surveillance et d'entretien est naturellement définie en fonction du niveau de service visé par l'organisation et des contraintes qui s'imposent au responsable. Celles-ci sont particulièrement importantes durant les périodes de crue ou de tempête. Elles sont liées à :

- l'hydrologie, notamment la cinétique et l'intensité des événements ;
- l'accessibilité des ouvrages qui peut temporairement être compromise ;
- la sécurité du personnel chargé de la surveillance des ouvrages ;
- les moyens humains disponibles qui généralement ne proviennent pas seulement des moyens propres du gestionnaire qui sont dimensionnés pour les périodes courantes.

En termes de niveau de service visé par l'organisation du responsable de l'endiguement, il peut être retenu en fonction d'une ambition croissante :

- être capable d'anticiper l'événement hydrologique ;
- y ajouter la capacité de surveiller les ouvrages en temps réel de manière à détecter d'éventuels désordres, évaluer ainsi le niveau de risque et d'informer les autorités en charge de la sécurité des populations du niveau de sollicitation prévisible de l'ouvrage ;
- y ajouter la capacité à conforter les ouvrages avant qu'une brèche ne survienne et avoir ainsi un contrôle optimal du niveau de risque.

6. ANALYSE DE RISQUE

L'analyse de risque constitue le cœur et le fondement d'une étude de dangers. Elle est menée à partir des données disponibles et des résultats du diagnostic dont la qualité conditionne la pertinence du choix des scénarios de défaillances ou de dépassements des capacités du système d'endiguement.

Le niveau des connaissances disponibles et les incertitudes liées à ces connaissances doivent être intégrés par l'analyse de risques et apparaître dans ses principaux résultats : probabilité de rupture, gravité des défaillances, niveau de sécurité, niveau de protection....

Les méthodes d'analyse de risque sont multiples. C'est au rédacteur de l'étude de choisir la méthode qui lui semble la plus adaptée au système d'endiguement concerné et aux connaissances qu'il détient. D'une manière générale, le rédacteur de l'étude doit :

- exposer ses données d'entrée ;
- présenter les méthodes utilisées ;
- justifier ses hypothèses ;
- présenter et discuter les résultats obtenus notamment leurs incertitudes.

6.1 Probabilité de défaillance d'un système d'endiguement et choix des modélisations de défaillance

L'analyse de risque d'un système d'endiguement doit aboutir à une évaluation des probabilités de défaillance et/ou de dépassements des capacités des ouvrages de protection. Cette évaluation peut être quantitative ou qualitative, l'important est que le rédacteur de l'étude expose clairement sa démarche, justifie ses hypothèses et reste critique sur les résultats auxquels il aboutit.

Le recours à des probabilités chiffrées n'est pas une obligation et, en l'état actuel des connaissances, reste entouré de grandes incertitudes. L'intérêt principal est de faciliter une hiérarchisation des scénarios accidentels afin de faire émerger les plus probables. Cependant, un tel résultat peut tout à fait être obtenu sans passer par des probabilités chiffrées.

Une approche à dire d'expert peut dans de nombreux cas être privilégiée, notamment en cas de diagnostic insuffisant ou d'enjeux limités. Il convient dans tous les cas que les critères ayant conduit au résultat de l'évaluation du dire d'expert ou de la probabilité chiffrée soient clairement exposés et expliqués.

L'évaluation des risques par tronçon homogène permettra d'obtenir une cartographie du risque que le responsable du système d'endiguement et les responsables de la sécurité des personnes pourront exploiter afin d'adapter leurs actions. Lorsque cela est possible et cohérent, l'agglomération des résultats obtenus par tronçon peut aboutir à une évaluation des risques sur l'ensemble du système d'endiguement. Ce résultat macroscopique permet un affichage des performances globales du système d'endiguement principalement à destination des populations.

Si tous les scénarios de défaillances doivent être envisagés, il est impossible d'en faire une analyse exhaustive. Le rédacteur de l'étude doit donc particulièrement s'attarder sur les scénarios les plus probables, les plus dangereux du point de vue des enjeux, et les plus critiques, car simultanément probable et dangereux. Il pourra ainsi en dégager une représentation des grandes familles de scénarios d'inondation de la zone protégée, en exposant les critères qui ont motivé ses choix.

6.2 Gravité des scénarios

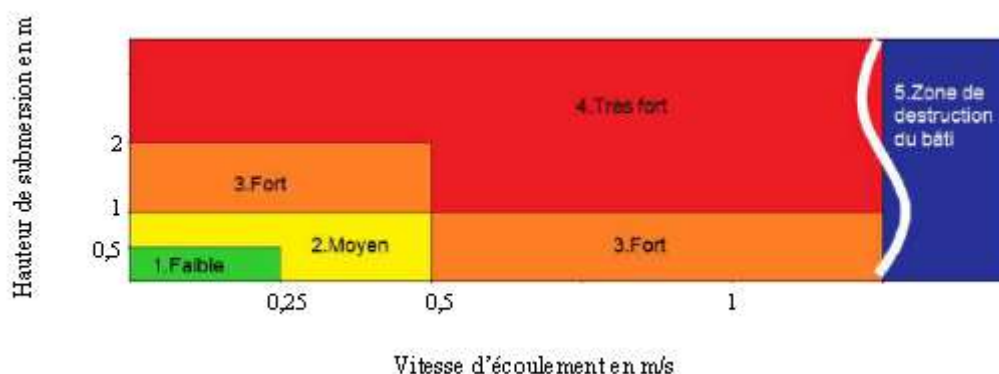
La gravité d'un scénario accidentel dépend :

- de l'intensité et de l'étendue du phénomène dangereux ;
- de la vulnérabilité des enjeux atteints.

6.2.1 Intensité des écoulements dans la zone protégée

Un modèle hydraulique bidimensionnel est souvent utilisé pour évaluer l'intensité du phénomène dangereux, notamment lorsque la zone protégée est étendue. Cependant, une représentation fine de la topographie de la zone protégée, prenant notamment en compte tous les obstacles à la propagation des eaux, est un pré-requis nécessaire à la mise en œuvre d'un tel outil.

Il permet en effet de simuler la propagation des inondations dans la zone protégée et d'en évaluer les paramètres d'écoulement : zone inondée, hauteur d'eau maximale, vitesse horizontale, temps de propagation de l'onde d'inondation et temps de montée de l'eau. Tous ces paramètres ne sont toutefois pas nécessairement utilisés et c'est le plus souvent un croisement hauteur x vitesse horizontale qui est utilisé, par analogie aux critères des PPRi.



Graphique 2 : Caractérisation de l'intensité des écoulements dans la zone protégée utilisée pour les études de dangers des digues de classe A du Val de Loire. La méthode de caractérisation de l'intensité d'inondation conduit en l'occurrence à définir 5 niveaux d'intensité. Source [2]

6.2.2 Vulnérabilité des enjeux dans la zone protégée

La vulnérabilité d'une zone protégée par un système d'endiguement traduit la nature et l'importance des dommages auxquels les enjeux qui composent ce territoire se voient potentiellement exposés pour les différentes intensités d'événements d'inondation susceptibles de se réaliser. La nature variable et difficilement comparable des dommages conduit à la mise en évidence de différents types de vulnérabilité qui sont choisis en fonction des dommages auxquels on s'intéresse.

Le plus souvent, il est fait le choix d'apprécier la gravité des scénarios étudiés à travers l'analyse de la vulnérabilité des populations présentes dans la zone protégée. Le choix de la méthode pour estimer la vulnérabilité appartient au rédacteur de l'étude dans le respect du cahier des charges de l'étude.

6.2.3 Exemple de caractérisation de la vulnérabilité dans la zone protégée

La vulnérabilité dans les zones protégées par les digues de classe A du Val de Loire est estimée sur la base des cinq classes de la grille d'intensité de l'aléa d'inondation (voire graphique 2), pour différents types d'enjeux de la zone protégée contenant des populations : habitat, activités, voies de communication, enjeux sensibles et enjeux participant à la gestion de la crise.

Le croisement aléa – enjeux est effectué par l'intermédiaire d'un Système d'Information Géographique. Il permet d'associer une valeur d'aléa à chaque type d'enjeu en fonction de son implantation. Chaque type d'enjeu humain, fonction de sa localisation et du type de bâtiment, se voit alors attribué un indicateur de mise en danger traduisant sa situation dans une des cinq classes d'intensité de l'aléa d'inondation en termes de pourcentage de sa population potentiellement menacée. Cette mise en danger est définie en fonction de la nature de l'enjeu considéré, et notamment de sa possibilité de mise à l'abri.

Ces valeurs ont été données à dire d'expert, par le comité de pilotage technique de l'étude (DREAL Centre, Irstea, CEREMA). Elles n'ont pas vocation à refléter une réalité absolue de la mise en danger mais à permettre la comparaison et le classement des différents scénarios d'inondation retenus dans le cadre de l'Étude de dangers.

Intensité de l'aléa d'inondation	Mise en danger « Habitat R0 »
5. Zone de destruction du bâti	95 % (du total)
4. Très fort	70 % (du total)
3. Fort	30 % (du total)
2. Moyen	5 % (du total)
1. Faible	0 % (du total)

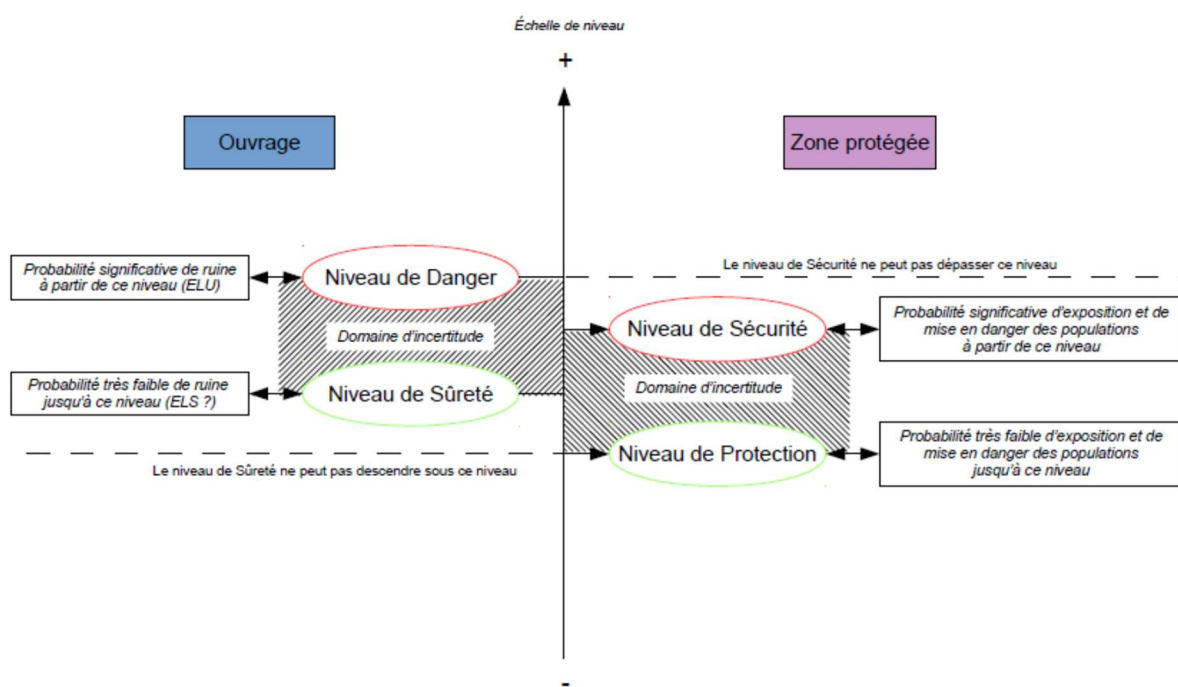
Graphique 3 : exemple de pourcentage de mise en dangers pour l'habitat de plain-pied, source [2]

7. LES NIVEAUX CARACTERISTIQUES DE L'EFFICACITE ET DE LA SURETE D'UN SYSTEME D'ENDIGUEMENT

L'étude de dangers d'un système d'endiguement a notamment, dans le cadre général d'une estimation du risque, pour objectif de justifier certaines garanties sur la protection apportée par le système sollicité par un événement hydrologique dont l'intensité est caractérisée en référence à une mesure localisée. Cette mesure peut être soit un niveau d'eau à une station hydrologique connue pour les cours d'eau qui en sont équipés, soit une estimation des lames d'eau sur un secteur géographique donné fournie par Météo France, soit un niveau marin couplé à des caractéristiques de houle pour le milieu marin.

Ces garanties de protection peuvent être jalonnées par quatre seuils caractéristiques de la sûreté et de l'efficacité d'un système d'endiguement : niveau de sûreté, niveau de dangers, niveau de protection et niveau de sécurité. Les deux premiers sont relatifs au système d'endiguement et intéressent directement le gestionnaire du système d'endiguement, tandis que les deux derniers concernent la zone protégée et sont utiles pour les autorités en charge de la sécurité des populations.

Le graphique 4 illustre ces niveaux en montrant leurs interactions.



- NB :**
- Le niveau de Sécurité est par construction (marge réduite de sécurité) inférieur au niveau de Danger.
 - Le niveau de Sécurité peut être inférieur au niveau de Sûreté
 - Le niveau de Sécurité est supérieur ou égal au niveau de Protection
 - Le niveau de Protection est nécessairement inférieur ou égal au niveau de Sûreté

Graphique 4 : schéma des différents niveaux liés aux ouvrages et à la zone protégée, source [1]

7.1 Niveau de sûreté (des ouvrages)

Pour un tronçon de digue, il s'agit du niveau limite en deçà duquel **un endommagement du tronçon est improbable** avec les marges de sécurité correspondant à un état limite de service lorsque cette notion s'applique. À ce niveau la probabilité conditionnelle de rupture du tronçon est faible (par exemple de l'ordre de 1 %).

7.2 Niveau de danger (des ouvrages)

Pour un tronçon de digue, il s'agit du niveau limite au-delà duquel **une rupture devient fortement probable** avec les marges de sécurité correspondant à un état limite ultime lorsque cette notion s'applique.

Ce niveau est atteint lorsque le maintien ou l'augmentation de la sollicitation hydraulique sur le système d'endiguement ne permet pas de garantir l'absence de désorganisation de la structure d'un tronçon ou des mouvements de terrains significatifs et, en conséquence, est susceptible de conduire à la ruine de l'ouvrage.

Pour les digues en terre, le niveau de danger peut être ainsi défini comme l'événement contenu correspondant à la crête de la digue, si celle-ci est correctement conçue et entretenue mais qu'elle n'est pas protégée contre les déversements :

- si la digue n'est pas correctement conçue ou a été mal entretenue, la détermination du niveau de danger est établie à la suite d'un diagnostic ;
- si la digue est correctement conçue et entretenue et qu'elle est protégée contre les déversements, le niveau de danger dépasse la crête de digue et est fonction de la hauteur de déversement maximale admissible.

7.3 Niveau de protection (de la zone protégée)

Le niveau de protection est le niveau d'eau pour lequel il a été démontré **l'absence de venue d'eau directement du cours d'eau ou de la mer dans la zone protégée**. La démonstration sera faite avec les marges de sécurité normales de service. Par exemple, une référence aux coefficients de sécurité à appliquer pour les états limites de service d'une construction pourra permettre d'apprécier les justifications fournies pour un tronçon ou un aménagement accessoire.

Néanmoins, des limites à la protection sont admissibles. Ainsi, les venues d'eau par ruissellement et celles résultant de la remontée de nappes ou encore de crues d'affluents peuvent par défaut ne pas entrer dans l'analyse des performances des systèmes d'endiguements, sauf s'il est démontré qu'elles sont indissociables du fonctionnement normal du système. Ainsi, il est admissible qu'une zone protégée soit inondée par des eaux de ruissellement dont l'évacuation est empêchée par l'endiguement, sauf si le système comprend une station de pompage prévue à cet effet.

Lorsque l'ampleur géographique de la zone protégée le justifie, plusieurs niveaux de protection différents peuvent être établis. Dans ce cas, chacun des niveaux de protection est associé à une sous-partie délimitée de la zone protégée.

7.4 Niveau de sécurité (des populations)

Le niveau de sécurité est relatif aux **conséquences de l'inondation de la zone protégée**. En pratique, pour les systèmes ne comportant pas de déversoirs ou de tronçons aménagés pour admettre des déversements, le niveau de sécurité est déterminé en prenant une marge réduite par rapport au niveau de danger. Cette marge doit être justifiée par l'étude de dangers pour tous les mécanismes de rupture. Cette marge dépend :

- des incertitudes hydrologiques et hydrauliques, ainsi que des incertitudes liées à la modélisation numérique ;
- du degré de confiance que le rédacteur de l'étude a dans les études géotechniques afférentes à l'ouvrage ;
- de la qualité de la maintenance et de la surveillance que le gestionnaire met en œuvre.

Pour les systèmes d'endiguement comportant des déversoirs ou des tronçons aménagés pour admettre des déversements, l'étude de dangers devra comporter des scénarios de déversement visant à identifier d'éventuelles zones d'aléa fort à prendre en compte pour la détermination du niveau de sécurité.

8. CONCLUSION

Les résultats d'une étude de dangers d'un système d'endiguement intéressent plusieurs cibles : le gestionnaire du système d'endiguement concerné par les performances de son système d'endiguement, les responsables locaux des politiques de prévention des inondations, les autorités en charge de la sécurité des populations et de la gestion de crise et les populations qui doivent être informées.

La détermination du périmètre de l'étude, tout en restant réaliste, est essentielle à l'émergence d'une cohérence de l'approche sans laisser de questions importantes de sécurité sans réponse.

L'évaluation de l'état du système d'endiguement est la fondation sur laquelle l'analyse de risques sera élaborée. Les données d'entrée sont normalement collectées ou créées au titre du diagnostic ; il peut s'agir de données existantes, des résultats obtenus à partir d'études préliminaires ou de recherches historiques.

La surveillance et l'entretien des systèmes d'endiguement sont des facteurs importants de maîtrise des risques ; la capacité du ou des gestionnaires à s'engager à conduire de telles actions dans la durée constitue ainsi un facteur essentiel de maîtrise des risques.

L'analyse des risques est le cœur de l'étude. Elle nécessite de :

- bien cerner les probabilités de défaillances et rester réaliste ;
- s'attarder sur les scénarios les plus significatifs ;
- mieux qualifier les risques aux personnes comme cela a été notamment réalisé dans le cadre de l'EDD des digues du Val de Loire.

Au final, il importe que la maîtrise de la réponse du système d'endiguement aux sollicitations hydrauliques et la connaissance du niveau de danger dans la zone protégée soient présentées et démontrées par le responsable du système d'endiguement dans le cadre et au moyen de l'outil réglementaire que constitue l'étude de dangers.

Quatre niveaux caractéristiques sont ainsi proposés en fonction du comportement du système et des conséquences probables de sa défaillance. Ainsi, la réponse du système d'endiguement doit être prévue en fonction du niveau de sûreté, en dessous duquel la dégradation des composants du système d'endiguement est improbable, et du niveau de dangers, au-delà duquel la rupture du système d'endiguement est probable à court terme. L'absence d'eau provenant directement du cours d'eau ou de la mer et l'absence de dangers pour les populations sont garanties jusqu'au niveau de protection. La mise en danger des populations est certaine au-delà du niveau de sécurité.

La définition de ces niveaux et leur caractérisation par le responsable de l'étude doit s'accompagner d'un partage et d'une appropriation par l'ensemble des acteurs de la prévention des inondations afin d'alimenter des démarches de gestion des risques coordonnées et cohérentes, adapté au niveau de responsabilité de chacun. C'est tout l'objet des travaux menés sur l'évolution du contenu des EDD de système d'endiguement, dans la perspective tracée par les évolutions réglementaires du décret du 14 mai 2015.

REMERCIEMENTS

Les membres du GT « Études de dangers des digues » :

Au titre de l'Administration Centrale du MEDDE :

Kahan Jean-Marc, Directeur du STEEGBH au SRNH

Le Delliou Patrick, BETCGB STEEGBH

Loudière Daniel, Vice-Président du CTPBOH, animateur du Groupe de travail

Rat Gilles, STEEGBH au SRNH

Salmon David, BETCGB, en charge du secrétariat technique du GT

Tabard Laurence, STEEGBH au SRNH, en charge du secrétariat administratif du GT

Au titre des services déconcentrés du MEDDE :

Begic Ivan, DREAL Rhône-Alpes

Boulay Arnaud, DREAL Centre

Criado David, DREAL PACA

Godayer Claire, DREAL Rhône-Alpes

Le Barbu Erwan, DREAL Franche-Comté

Martin Laurent, DREAL Languedoc-Roussillon

Maurin Jean, DREAL Centre

Newinger Olivier, DREAL Rhône-Alpes

Obe Thomas, DREAL Pays de Loire

Tastet Pierre, DREAL Aquitaine

Cadoret Pierre, DDTM Aude
Fourquet Laurent, DDT Haute-Garonne
Palvadeau Geneviève, DDTM Charente-Maritime
Sarralde Réginald, DDT Haute-Garonne
Sauvagnac Pascal, DDT Haute-Garonne

Au titre du CEREMA :

Chassé Patrick, DTecEMF, Compiègne
Deniaud Yann, DTecEMF, Brest
Goutaland David, DTerCE, Lyon
Ledoux Patrick, DTerMed, Aix-en-Provence
Lebreton Pascal, DTecEMF, Compiègne
Massardi Michaël, DTerCE, Autun
Piney Stéphane, DTerNC, Blois
Prel Pauline, DTerNC, Blois
Salomon Pierre, DTerNC, Blois

Au titre des établissements publics associés :

Beullac Bruno, IRSTEA Aix-en-Provence
Duval Christophe, INERIS
Mériaux Patrice, IRSTEA Aix-en-Provence
Poulain Daniel, IRSTEA Bordeaux
Quefféléan Yann, ONF Service RTM
Théoleyre Fiona, INERIS
Tourment Rémy, IRSTEA Aix-en-Provence

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] Synthèse des travaux du GT EDD DIGUE, transmis par son président Daniel LOUDIERE le 26 juin 2015 à la DGPR,
- [2] Étude de dangers des levées du Val de Loire, digues de classe A
- [3] CIRIA, MEDDE, USACE, 2003, The International Levee Handbook