

RÉMY TOURMENT & BRUNO BEULLAC

Inondations

Analyse de risque des systèmes de protection

Application aux études de dangers



Lavoisier
TEC & DOC

Inondations – Analyse de risque des systèmes de protection

Application aux études de dangers

Chez le même éditeur

Diagnostic, aménagement et gestion des rivières, Hydraulique et morphologie fluviales appliquées (2^e éd.), par G. Degoutte

Écologie des zones humides. Concepts, méthodes et démarches, par J.-B. Bouzillé

Droit de l'environnement. Comprendre et appliquer la réglementation (6^e Éd.), Coll. « Environnement », par P. Malingrey

Réduire la vulnérabilité de l'habitat individuel face à l'inondation, Coll. « Sciences du risque et du danger », par A. Aviotti

Les milieux estuariens et littoraux. Une approche scientifique pour les préserver et les exploiter durablement, Coll. « Environnement », par J.-P. Ducrottoy

Dictionnaire Collectivités territoriales et Développement Durable, Coll. « Environnement », par J.-L. Pissaloux

Pour plus d'informations sur nos publications :



newsletters.lavoisier.fr/9782743023652

RÉMY **TOURMENT** ET BRUNO **BEULLAC**
IRSTEA, UR RECOVER, AIX-EN-PROVENCE

Avec la collaboration de
Emmanuelle Berthelier (Artelia), Arnaud Boulay (DDT du Loiret),
Jean Maurin (DREAL Centre – Val-de-Loire),
Yann Quefféléan (ONF – RTM),
en partenariat avec la DREAL Centre – Val-de-Loire

Inondations – Analyse de risque des systèmes de protection

Application aux études de dangers

Direction éditoriale : Jean-Marc Bocabeille
Édition et fabrication : Solène Le Gabellec
Couverture et composition : Nord Compo, Villeneuve-d'Ascq
Illustration de couverture : Vue aérienne du système de protection
contre les crues de l'Isère, en amont de Grenoble au niveau de la boucle de Gières.
Avec l'aimable autorisation de l'Institut des risques majeurs, Grenoble.

DOI : <http://dx.doi.org/10.3166/TD-2018-2365-000>

Ce document a fait l'objet de multiples relectures, totales ou partielles, et à différents stades d'avancement du document, par des spécialistes français du domaine des ouvrages hydrauliques et de la gestion du risque d'inondation : Nicolas Bauduceau (Cepri), Fara Carra Ranaivoarison (Département de Seine-Maritime), Gérard Degoutte (CTPBOH), Yann Deniaud (CEREMA), Patrick Ledoux (CEREMA), Loïc Le Louargant (Département de Seine-Maritime), Patrice Mériaux (Irstea), Thanh-Son Nguyen (Établissement public Loire), Sébastien Patouillard (DREAL Centre – Val-de-Loire), Daniel Poulain (Irstea), Yann Quefféléan (ONF – RTM), Emmanuelle Souyris (Communauté de communes de l'Île d'Oléron), Guillaume Veylon (Irstea).

SOMMAIRE

Préface	IX
Avant-propos	XI
Introduction	1

Partie I Systèmes de protection contre les inondations

CHAPITRE 1

Problématique des inondations et des digues en France	7
1. Inondations	7
2. Dignes et autres ouvrages de protection contre les inondations	8
3. Inondations sans défaillance en présence de digues	9
4. Nécessité d'une bonne gestion des digues	9

CHAPITRE 2

Caractéristiques des systèmes de protection contre les inondations	11
1. Définitions	11
2. Contextes environnementaux, actions et mécanismes de détérioration associés	17
3. Généralités sur les fonctions des systèmes de protection et de leurs éléments constitutifs	37
4. Typologie des systèmes de protection	41
5. Typologie des digues	65
6. Système de gestion de la sécurité	90

CHAPITRE 3

Niveaux et objectifs liés à la protection contre les inondations et à la sûreté des ouvrages	93
1. La notion de niveaux relatifs aux digues et systèmes de protection contre les inondations	93
2. Difficultés associées	94
3. Les différents niveaux de la gestion des systèmes de protection	95
4. Niveaux et milieux eau	100

Partie II Analyse de risque des systèmes de protection contre les inondations

CHAPITRE 4

Généralités et spécificités de l'analyse de risque des systèmes de protection contre les inondations	113
1. Généralité sur le principe d'analyse de risque	113
2. Spécificités de l'application de l'analyse de risque aux systèmes de protection contre les inondations	114
3. Étude accidentologique	120
4. Identification du risque	121

5. Estimation de la probabilité et de l'intensité de l'événement hydraulique	122
6. Probabilité de défaillance du système de protection	123
7. Modélisation de l'inondation	125
8. Analyse des conséquences	128
9. Efficacité des contrôles existants	131
10. Estimation du niveau de risque, attribution des risques	134
11. Évaluation des lacunes dans les connaissances	135
12. Utilisation des résultats de l'analyse de risque	136

CHAPITRE 5

Réalisation de l'analyse de risque de système de protection	139
1. Fonctions et terminologie	139
2. Proposition d'une méthode de réalisation de l'analyse de risque des systèmes de protection	142
3. Description des études élémentaires de réalisation de l'analyse de risque des systèmes de protection	146

CHAPITRE 6

Évaluation du risque	223
1. Définition de l'acceptabilité du risque	223
2. Détermination de la criticité du risque d'inondation	224

CHAPITRE 7

Définition des mesures de maîtrise ou réduction du risque	227
1. Mesures appliquées au système de protection	229
2. Mesures sur les milieux eau	234
3. Mesures sur la zone protégée	235
4. Lacunes liées aux connaissances et méthodes	236

CHAPITRE 8

Sources de données, gestion des données	239
1. Généralités sur les différentes natures et types de données	239
2. Provenance des données nécessaires à la réalisation des études élémentaires	240
3. Archivage et conservation des données	246

CHAPITRE 9

Analyse fonctionnelle et analyse de la défaillance des systèmes de protection contre les inondations	249
1. Proposition de méthodologie d'analyse fonctionnelle	251
2. Proposition de méthodologie pour l'analyse de la défaillance	260
3. Méthodes de représentation des scénarios de défaillance sous la forme d'arbres	277

CHAPITRE 10

Diagnostic des digues et des systèmes de protection	283
1. Introduction	283
2. Étapes d'un diagnostic de digues	286
3. Données, recueil et traitement	286

Partie III

Études de dangers des systèmes d'endiguement

Utilisation de l'analyse de risque

CHAPITRE 11

Du concept d'EdD à son application aux systèmes de protection	301
1. Cadre réglementaire	302
2. Objectifs de l'EdD de digues ou de système d'endiguement	306
3. Complexité de réalisation de l'EdD de digues ou de système d'endiguement	307

CHAPITRE 12

Intérêt des études de dangers de digues ou de systèmes d'endiguement	309
1. Intérêt pour les gestionnaires de digues	309
2. Intérêt pour les acteurs du territoire et de la gestion des risques	310
3. Rôle du service de contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques	311

CHAPITRE 13

Les différents types d'études de dangers de digues ou de systèmes d'endiguement ..	313
1. EdD « constat »	313
2. EdD « projet » ou « programme » de travaux	315

CHAPITRE 14

Utilisation de l'analyse de risque pour l'aide à la décision relative aux systèmes d'endiguement	317
1. Analyse de risque et aide à la décision	317
2. Détermination de nouvelles mesures de réduction du risque	317
3. Évaluation de mesures de réduction du risque	318

CHAPITRE 15

Réalisation d'une étude de dangers	319
1. Application de la méthode d'analyse de risque proposée par l'Irstea	319
2. Cahier des charges et conduite de l'EdD	320
3. Rédaction du rapport de l'étude	324

Conclusion	325
-------------------------	-----

Liste des abréviations	327
-------------------------------------	-----

Bibliographie	331
----------------------------	-----

Glossaire	335
------------------------	-----

Pour accéder aux annexes, disponibles en ligne, scannez le code ci-dessous :



ou rendez-vous à l'adresse suivante :

inondations.lavoisier.fr

PRÉFACE

Couvrant 1/5^e de la France métropolitaine, le bassin de la Loire et ses affluents s'étend sur plus de 117 000 km². Le fleuve « royal », plus long fleuve français, prend sa source au mont Gerbier-de-Jonc, en Ardèche, pour aller se jeter dans l'océan, en Loire-Atlantique. Son débit moyen étant très irrégulier, celui-ci est ponctuellement régulé par les barrages de Naussac en Lozère et de Villerest dans la Loire, propriétés de l'Établissement public Loire qui en assure la gestion, aux fins de soutien d'étiage et d'écrêtement des crues. Étant aussitôt rappelé que ces dernières sont connues de longue date, motivant ainsi la construction, par Henri II Plantagenêt, de digues dès le XIII^e siècle, étendue par Louis XI à l'Orléanais et à la Touraine, avec pour objectif notamment de protéger le développement des villes ainsi que les activités dans ces vals fertiles. Avec qui plus est, au gré des inondations qui ont pu affecter les territoires, des décisions prises de surélever les protections pour atteindre les niveaux de digues que nous connaissons aujourd'hui.

Il n'aura donc échappé à personne, depuis très longtemps, que le « Territoire à risque important national de la Loire » présente de forts enjeux humains, économiques, environnementaux et culturels. Et effectivement, une crue majeure du type de celles du XIX^e siècle aurait aujourd'hui un impact considérable, ce que n'a pas manqué de souligner l'Organisation de coopération et de développement économiques dans son étude de 2010 portant sur la gestion des risques d'inondation sur le bassin de la Loire. La simple mesure de l'ampleur des dommages prévisibles devrait donc inciter à redoubler d'efforts, dans une double logique de réduction de la vulnérabilité et de développement de la résilience. En s'affranchissant, en tant que de besoin, des « frontières » administratives comme des réponses exclusives les unes des autres, pour privilégier l'intégration de la diversité de moyens disponibles, via une approche stratégique cohérente à l'échelle du territoire fonctionnel de référence, à savoir l'ensemble du bassin fluvial.

Avec un cadre d'intervention en restructuration (s'agissant de l'organisation territoriale et de celle de politiques publiques telles que la gestion de l'eau et des risques naturels associés), dans un contexte marqué de surcroît par de fortes incertitudes (ne serait-ce que pour l'appréciation des impacts des changements climatiques en termes d'inondations comme de sécheresses), l'Établissement a pris l'initiative en octobre 2015 d'une analyse d'opportunité et de faisabilité d'un projet d'aménagement d'intérêt commun (PAIC) pour les infrastructures de protection contre les inondations à l'échelle du bassin de la Loire et ses affluents. Ce travail, conduit en partenariat technique avec la DREAL Centre – Val-de-Loire, l'IRSTEA et le CEREMA, a débouché depuis 2017 sur la co-construction du PAIC, en lien étroit avec la soixantaine d'EPCI-FP plus particulièrement concernés. Ceci, dans la perspective d'une délégation progressive à l'Établissement de la gestion de systèmes d'endiguements, s'appuyant sur une structure garante d'un dialogue de gestion entre collectivités décentralisées, et visant à assurer, sur un périmètre de gestion cohérent, une homogénéité de traitement ainsi que la mutualisation et l'optimisation des moyens techniques comme financiers.

Une telle approche intègre pleinement le fait que la présence de digues, perçue comme protectrice, a pu contribuer à alimenter un faux sentiment de sécurité « à toute épreuve », débouchant parfois sur l'implantation accrue d'enjeux sur certains territoires qui restent pourtant soumis au risque. Aujourd'hui, avec les retours d'expériences des inondations catastrophiques des 30 dernières années, les populations comme les pouvoirs publics ont pris conscience que les ouvrages de protection ne garantissent pas une sécurité sans faille et qu'ils peuvent même être à l'origine d'une amplification des conséquences en cas de

défaillance. Afin de s'assurer de leur efficacité, chaque gestionnaire doit donc commencer par consolider sa connaissance de l'état et du comportement de ses ouvrages, les évaluer en continu au regard du niveau de sécurité effective qu'il est attendu d'eux. Il s'agit là d'une considération essentielle, relevant de l'ordre du besoin fondamental à satisfaire. Les études de dangers, dans la panoplie de toutes celles imposées par la réglementation, constituent l'une des voies privilégiées pour apporter des éléments de réponse utiles.

À n'en pas douter, le présent guide élaboré par l'IRSTEA constitue un référentiel précieux, de nature à faciliter la compréhension par chacun des mécanismes de fonctionnement des ouvrages de protection (pas toujours aussi simple, ni intuitif qu'il y paraît à première vue), ainsi que l'échange d'informations et d'expériences entre tous, à commencer par ceux convaincus de la nécessité de progresser toujours dans la voie de la fiabilisation de tels dispositifs (en pleine connaissance de leurs limites objectives bien entendu). Au croisement de plusieurs disciplines (hydraulique, génie civil, géotechnique, etc.), il offre en partage aux gestionnaires de digues, et plus largement à l'ensemble des intervenants dans ce domaine, une grille de lecture pédagogique de l'analyse de risques des systèmes de protection contre les inondations.

En ce sens, le caractère technique de la contribution de l'IRSTEA ne dissuade en aucune façon d'éventuels « non spécialistes » d'accéder aux éléments clés qui leur sont indispensables pour se prononcer en connaissance de cause, qu'ils soient décideurs ou pas d'ailleurs. Ce n'est pas le moindre de ses mérites, surtout lorsque l'on veut bien considérer que ce dont il s'agit, in fine, c'est de faire les bons choix – pour du long terme et dans un cadre financier contraint – afin de préserver des vies humaines, des biens irremplaçables et des activités essentielles pour le développement durable de territoires.

Jean-Claude EUDE
Directeur général des services de l'Établissement public Loire

AVANT-PROPOS

La réglementation française oblige le gestionnaire d'une digue à réaliser une étude de dangers de son système d'endiguement. Mais l'étude de dangers doit être pour lui bien plus qu'une simple obligation réglementaire ; c'est l'occasion de faire un point initial puis régulier sur l'état de sa digue, les améliorations à y apporter aussi bien d'ordre structurel, que d'entretien ou de gestion. C'est aussi l'opportunité de communiquer sur son ouvrage auprès du grand public et des institutions locales pour garder la conscience du risque que représente un système d'endiguement sur la zone qu'il protège.

La réglementation précise bien ce que doit être une étude de dangers, dans sa forme et dans ses objectifs. L'étude doit reposer sur une analyse de risque du système d'endiguement qui peut s'avérer très difficile à réaliser compte tenu de la complexité des ouvrages et de leur environnement. Un système d'endiguement peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres de long. La ligne d'eau devant les ouvrages peut varier sur tout le linéaire. La zone protégée peut s'étendre à des terrains très éloignés du cours d'eau et des digues. Les enjeux qui s'y trouvent sont parfois très importants et généralement mal répartis au regard des dangers liés à la digue. Les ouvrages eux-mêmes sont souvent très hétérogènes, âgés pour certains de plusieurs siècles, construits par élévations successives et généralement remaniés. Enfin, ils ne se trouvent que très rarement dans leur état de service et leur mise en charge se fait de manière brutale et non contrôlée.

Ainsi, tous ces caractères en font des ouvrages très complexes à analyser, encore plus que les barrages qui sont souvent en eau et qui peuvent être auscultés à longueur d'année.

Les méthodes d'analyse de risque des systèmes d'endiguement découlent bien sûr de celles des barrages et plus généralement des sites industriels, mais la spécificité de ces systèmes nécessite de nombreuses attentions particulières voire adaptatives.

Le présent guide, réalisé par l'Irstea, donnera des bases théoriques, techniques et pratiques solides pour la réalisation des études de dangers de systèmes d'endiguement. Celles-ci aideront le gestionnaire d'ouvrages dans la rédaction de son cahier des charges et dans le suivi du déroulement de l'étude, et le bureau d'études dans la mise en œuvre d'une démarche d'analyse de risque cohérente et intégratrice.

Jean MAURIN
Expert individuel,
Ancien référent digues national du ministère de l'Environnement

Inondations

Analyse de risque des systèmes de protection

Depuis 30 ans, en France, au vu des retours d'expériences des catastrophes naturelles et des inondations, les pouvoirs publics ont pris conscience qu'ils devaient non seulement approfondir leurs connaissances de l'état et du comportement des systèmes endigués, mais qu'ils devaient également les évaluer en continu.

Première méthodologie française complète de réalisation d'une étude de dangers des systèmes endigués, *Inondations - Analyse de risque des systèmes de protection* est un ouvrage de référence transdisciplinaire (hydraulique, génie civil, géotechnique...) prenant en compte l'ensemble des différentes composantes du risque, liées à la digue et à son environnement. Il permet la mise en œuvre d'une démarche d'analyse cohérente et intégratrice dont il contient les bases théoriques, techniques et pratiques. Il présente également une aide à la rédaction d'un cahier des charges et au suivi de déroulement de l'étude.

Richement illustré, l'ouvrage aborde en trois parties :

- les systèmes de protection contre les inondations ;
- l'analyse de risque de ces systèmes ;
- les études de dangers des systèmes d'endiguement et l'utilisation de l'analyse de risque.

Des annexes consultables en ligne complètent les informations du guide.

Le livre s'adresse aux collectivités locales, gestionnaires de digues, bureaux d'études, services de l'État, organismes de recherche et à l'ensemble des intervenants du domaine.

RÉMY TOURMENT est Ingénieur Chercheur en génie civil et Président du Comité technique sur les digues de la Commission internationale des grands barrages ; **BRUNO BEULLAC** est Ingénieur d'études. Ils sont tous deux spécialistes des ouvrages hydrauliques, barrages et digues et travaillent à l'Unité de recherche RECOVER de l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), Aix-en-Provence.

