

Caractérisation de systèmes d'endiguement à l'heure de la GEMAPI

Outils et retours d'expérience



Caractérisation de systèmes d'endiguement à l'heure de la GEMAPI Outils et retours d'expérience

Collection | Expériences et pratiques

Édition Cerema

Cerema Risques, Eaux et Mer – 134, rue de Beauvais – CS 60039 – 60280 Margny-lès-Compiègne Tél: +33 (0) 3 44 92 60 00
Siège social: Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél: +33 (0) 4 72 14 30 30

L'ouvrage est une œuvre collective éditée sous la direction du Cerema.

Ce document a été élaboré sous le pilotage d'**Anne Brune**, Cerema Méditerranée, avec les contributions de :

Nathalie Béranger - Cerema Méditerranée

Bruno Beullac - INRAE

Arnaud Bontemps - Cerema Normandie-Centre

Céline Boura - anciennement Cerema Ouest

Benoit Colin - anciennement Cerema Centre Est

Kevin Corsiez - Cerema Hauts-de-France

Yann Deniaud - Cerema Risques, Eaux et Mer

Didier Felts - Cerema Sud Ouest

Claire Galiana - Cerema Ouest

Gwenaël Jouannic - Cerema Ouest

Bruno Kerloc'h - Cerema Hauts-de-France

Emmanuel Lavaud - Cerema Normandie-Centre

Patrick Ledoux - Cerema Méditerranée

Amandine Lemaire - Cerema Hauts-de-France

Jean-Paul Masset - Cerema Normandie Centre

Michael Massardi - anciennement Cerema Centre Est

Christophe Moulin - Cerema Méditerranée

Céline Perherin - Cerema Risques, Eaux et Mer

Frederic Pons - Cerema Méditerranée

Delphine Porcheron - Cerema Île de France

Pauline Prel - anciennement Cerema Normandie-Centre

Isabelle Roux - Cerema Méditerranée

Pierre Salomon - anciennement Cerema Normandie-Centre

Jean-Michel Sigaud - Cerema Centre Est

Rémy Tourment- INRAE

Céline Trmal - Cerema Méditerranée

Valérie Vallin - anciennement Cerema Sud Ouest

Avec la relecture attentive de :

Marc Igigabel, Cerema Risques, Eaux et Mer

Gilles Rat, MTE, DGPR

Claire Hallegouet, MTE, DGPR

Hélène Chitry, MTE

Comment citer cet ouvrage :

Cerema. Caractérisation de systèmes d'endiguement à l'heure de la GEMAPI - Outils et retours d'expérience
Cerema, 2021. Collection : Expériences pratiques ISBN : 978-2-37180-513-2

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Introduction	4
1. Compléter un inventaire d'ouvrages de protection contre les inondations ou les submersions	8
1.1 Identifier les zones soumises à l'aléa inondation/submersion et leurs enjeux	8
1.1.1 Exploitation de la documentation existante pour l'identification des zones soumises à l'aléa inondation	8
1.1.2 Outils numériques pour l'identification de zones soumises à l'aléa inondation	10
1.2 Identifier les ouvrages et éléments naturels participant à la protection	12
1.2.1 Exploitation de la documentation existante pour l'identification des ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection contre les inondations	13
1.2.2 Exploitation de la documentation existante pour l'identification des ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection contre les submersions marines	16
1.2.3 Identification sur le terrain d'ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection contre les inondations et submersions	23
1.2.4 Outils numériques pour l'identification des ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection contre les inondations fluviales et les submersions	30
2. Caractériser les zones potentiellement protégées	36
2.1 Quelle est l'enveloppe de la zone potentiellement protégée ?	36
2.1.1 Exploitation des données topographiques pour estimer l'enveloppe d'une zone potentiellement protégée contre les inondations	36
2.1.2 Exploitation des données topographiques pour estimer l'enveloppe d'une zone potentiellement protégée contre les submersions	43
2.2 Quels sont les enjeux dans la zone potentiellement protégée ?	45
2.2.1 Exploitation des données existantes pour l'identification des enjeux sur un secteur endigué	45
2.2.2 Analyses proposées pour l'identification des enjeux sur un secteur endigué	47
3. De l'identification à la définition des systèmes d'endiguement	49
3.1 Vers l'autorisation ou la régulation du système d'endiguement	49
3.2 Aide à la gestion des systèmes d'endiguement	50
3.3 Des alternatives ou compléments à la protection contre les inondations	50
4. Annexe	51
A. Données générales	51
B. Données concernant les ouvrages hydrauliques	51
5. Bibliographie	53
Index des illustrations	54

Des digues aux systèmes d'endiguement

L'édification d'ouvrages de protection contre les inondations remonte en France à plusieurs siècles d'aménagement du territoire et leur présence continue de façonner le paysage. Aujourd'hui, si la réalisation de nouveaux ouvrages de protection reste rare, l'enjeu consiste à sécuriser le patrimoine existant, vieillissant et parfois oublié, source de dangers potentiels en cas de défaillance. Dans l'histoire récente, la réglementation a tenté de remédier à cette problématique en encourageant le travail d'inventaire des digues et en introduisant des textes visant à imposer des obligations de surveillance et d'entretien. Compte tenu d'un riche héritage du passé, la tâche est ardue et a conduit à de nombreuses difficultés d'identification des responsables des ouvrages ; aujourd'hui encore, de nombreux ouvrages continuent de questionner sur leur rôle actuel dans la protection contre les inondations.

En 2015, le décret n°2015-526 a redéfini le cadre réglementaire en matière de sécurité et de sûreté des ouvrages hydrauliques. En particulier concernant les ouvrages de protection contre les inondations et les submersions, les obligations de surveillance s'appliquent désormais à l'échelle d'un ensemble hydrauliquement cohérent, le « système d'endiguement », à définir par le responsable de la prévention des inondations.

En 2018, les EPCI à fiscalité propre deviennent l'autorité compétente en matière de GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations) sur leur périmètre. L'arrivée de ce nouvel acteur dans la prévention des inondations à l'échelon intercommunal vise à assurer une bonne prise en compte des spécificités des territoires au plus près des enjeux.

Avec la GEMAPI, l'EPCI-FP, ou la structure à qui la compétence a été déléguée ou transférée, devient donc gestionnaire de systèmes d'endiguement quand de tels ouvrages ont été identifiés. Cela implique d'appréhender le fonctionnement hydraulique du territoire, le rôle potentiel des ouvrages hydrauliques préexistants, d'établir si besoin une stratégie de protection contre les inondations et de définir in fine les systèmes d'endiguement que l'EPCI devra gérer.

La pré-existence d'ouvrages de type « digue », qu'ils aient été ou non précédés d'un classement dans le cadre de la loi sur l'eau en tant qu'ouvrage de

protection contre les inondations, n'implique pas systématiquement leur intégration dans un système d'endiguement par l'EPCI-FP. Si ces ouvrages ne sont pas intégrés dans un système d'endiguement et qu'ils sont de nature à engendrer un sur-aléa, ils doivent être neutralisés après vérification des conséquences de cette neutralisation.

Les systèmes d'endiguement, au sens du décret du 12 mai 2015, seront le plus souvent créés à partir d'ouvrages existants. Il y a donc un réel enjeu à ce que le responsable de la prévention des inondations connaisse le parc d'ouvrages contribuant à la protection contre les inondations. Il devra en évaluer l'état, le rôle, et s'engager sur des objectifs de performance à maintenir dans le temps. La tâche est d'autant plus ardue que les ouvrages sont souvent anciens, et que l'aménagement du territoire a parfois conduit à imputer un rôle de protection à des ouvrages dont ce n'était pas la vocation initiale.

Au-delà de la détermination « physique » des systèmes d'endiguement, le responsable de la GEMAPI devra aussi considérer les aspects financiers, économiques et juridiques, qu'implique la gestion de ces ouvrages. Parmi les questions juridiques il devra notamment prendre en compte les responsabilités sous-jacentes à la gestion de systèmes d'endiguement et prévoir l'autorisation environnementale nécessaire. Cela amènera parfois à considérer différentes alternatives de prévention du risque d'inondation ou de submersion. Une bonne connaissance des ouvrages en place doit permettre au responsable de la GEMAPI d'établir la stratégie qui lui convient sur le long terme.

Contenu du document

Les ouvrages de protection contre les inondations étant des ouvrages anciens, construits au fur et à mesure de l'aménagement des territoires et des impacts des événements majeurs d'inondation, l'identification de systèmes d'endiguement est une problématique parfois complexe mais essentielle, qui s'appuie sur une démarche progressive et itérative de compréhension du fonctionnement hydraulique des territoires en cohérence avec les enjeux dont la protection est souhaitée.

Dans ce cadre le Cerema et l'INRAE ont travaillé conjointement, dans le cadre d'un appel à partenaires « GEMAPI » avec une dizaine de collectivités sur :

- l'identification des zones soumises au risque inondation ;
- l'identification des ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection ;
- l'identification des zones qu'ils protègent potentiellement ;
- l'identification des enjeux présents dans ces zones.

Chaque point fait l'objet de fiches thématiques dont la liste est présentée [page 8](#). Les outils proposés dans ces fiches ont été expérimentés dans différentes études de cas et s'adressent à des gestionnaires ou futurs gestionnaires de systèmes d'endiguement désirant soit compléter un inventaire d'ouvrages de protection ([partie 1](#)), soit compléter leur connaissance des zones qu'ils protègent ([partie 2](#)) en amont de tout processus réglementaire de demande d'autorisation au titre du Code de l'environnement.

D'autres guides techniques permettent ensuite d'accompagner les gestionnaires dans la réalisation des études de dangers des systèmes d'endiguement, nécessaires au dossier d'autorisation cité plus haut, ou encore dans la gestion ultérieure des ouvrages. Quelques références sont proposées en [partie 3](#).

Les fiches thématiques sont indépendantes les unes des autres et le lecteur pourra s'y reporter selon ses besoins. Néanmoins l'ordre d'apparition des fiches suit ici une démarche chronologique qui vise à localiser en premier lieu les zones de recherche de systèmes d'endiguement (zones inondables), ensuite à identifier les ouvrages faisant obstacles aux inondations, et enfin à identifier les zones qu'ils protègent et leurs enjeux. La démarche du gestionnaire ne suivra pas forcément les étapes dans cet ordre. Le lecteur pourra piocher les outils dont il a besoin quelle que soit la démarche suivie.

Les outils et retours d'expériences proposés font la plupart du temps référence à des études menées en contexte fluvial. Leur utilisation dans un contexte maritime nécessite quelques adaptations qui font l'objet de fiches spécifiques. Enfin cet ouvrage n'aborde pas d'exemples en contexte torrentiel même si certains outils présentés peuvent y être expérimentés.

Enfin, il est important de rappeler que la définition de systèmes d'endiguement s'inscrit avec la GEMAPI dans une démarche plus globale d'identification des enjeux liés à la prévention des inondations et à la préservation des milieux aquatiques et parfois dans l'établissement d'une stratégie croisant ces thématiques à l'échelle du bassin versant. Cette stratégie peut faire ressortir des solutions alternatives de protection contre les inondations, en faisant intervenir par exemple des solutions de renaturation des cours d'eau ayant des effets positifs de réduction de l'aléa inondation, qui peuvent venir compléter ou même remplacer la protection apportée par des systèmes d'endiguement. La protection contre les inondations à l'aide de systèmes d'endiguement n'est souvent pas la solution unique à envisager, l'évaluation des autres solutions possibles est à rechercher.

Terminologie

Les termes suivants sont utilisés dans la suite du document⁽¹⁾ :

- **le système d'endiguement** : c'est l'ensemble des ouvrages qui assurent la protection contre les inondations ou les submersions. On désigne ainsi le système autorisé au titre de la loi sur l'eau (ou en voie de l'être). Il répond à une définition réglementaire qui l'associe à un niveau de protection d'une zone protégée, définie par l'autorité compétente pour la gemapi. Le gestionnaire s'engage sur la sûreté et l'efficacité des ouvrages le composant ;
- **le système de protection** qui inclut le système d'endiguement et d'autres composants (éléments naturels), qui peuvent contribuer à la protection mais qui ne font pas partie du système d'endiguement. Bien qu'ils puissent faire l'objet d'un suivi de la part du gestionnaire, ce dernier ne peut s'engager sur leur tenue durant les événements hydro-météorologiques contre lesquels le système d'endiguement protège. les conséquences hydrauliques de leur rupture doivent donc être envisagées ;
- **le système endigué** est l'ensemble constitué par le système de protection contre les inondations et la zone qu'il protège potentiellement ;
- **le gestionnaire** : celui qui est responsable de la gestion des systèmes d'endiguement (l'EPCI-FP compétent en matière de gemapi ou la structure à qui tout ou partie de la compétence sur le volet prévention des inondations a été déléguée ou transférée).

¹ définitions proposées sur la base des travaux de l'INRAE : Tourment, R., Beullac, B., (2019). Inondations - Analyse de risques des systèmes de protection - Application aux études de dangers, Lavoisier, 2019, 356 p.

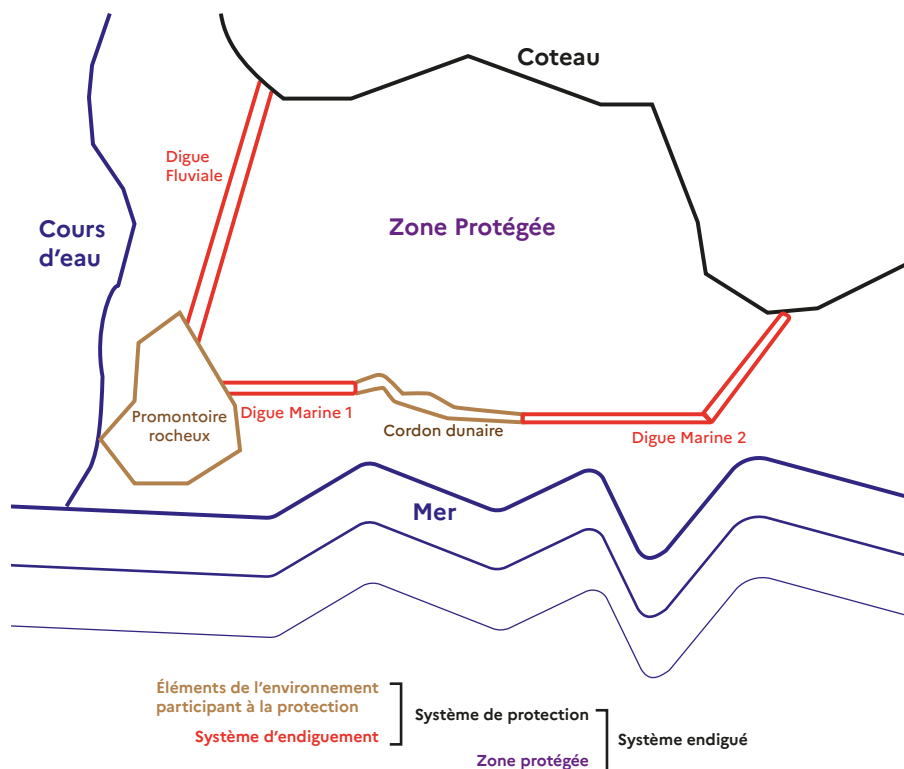


Figure 1 - Le système endigué et les éléments qui le composent (source : R. Tourment - INRAE)



Avertissement

Seul le terme « système d'endiguement » est reconnu sur le plan réglementaire. Les deux autres termes ont un usage technique (gestionnaires, organismes agréés) utile pour avoir une vue d'ensemble



Avertissement 1

Les analyses présentées dans cet ouvrage, visant à identifier les systèmes de protection d'un territoire contre les inondations, **doivent s'envisager sur un périmètre pertinent d'un point de vue hydrographique, c'est à dire à l'échelle d'un bassin ou sous-bassin versant**. Dans la plupart des cas, la recherche de systèmes d'endiguement limitée au périmètre d'une commune ou intercommunalité ne permettra pas une bonne compréhension du fonctionnement hydraulique global, devant in fine guider les choix de l'autorité compétente en matière de GEMAPI.

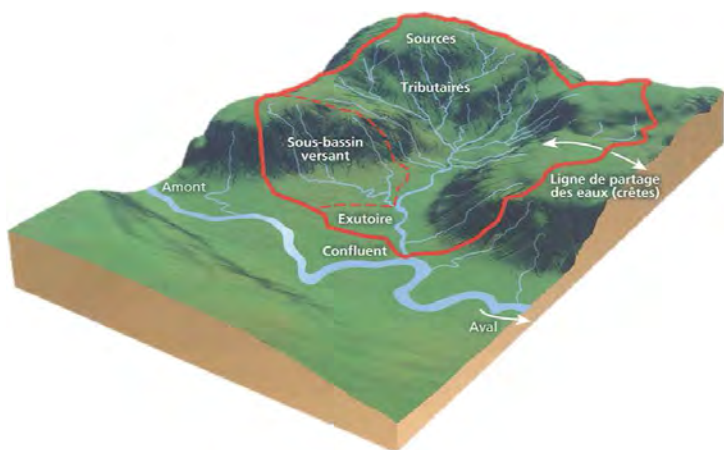


Figure 2 - Schéma d'un bassin versant (source : Agence française pour la biodiversité)

Avertissement 2

Les outils proposés doivent uniquement servir à aider le futur gestionnaire de systèmes d'endiguement à compléter ses connaissances ou à fournir une première approche des effets des ouvrages de protection sur son territoire, sans avoir à mettre en œuvre des modélisations complexes. Les résultats apportés ne sauraient constituer une information officielle sur les risques d'inondation. Les données de l'information préventive concernant les risques d'inondation font l'objet de «porter à connaissance» par l'État (SCHAPI, DREAL, DDT (M)).

Chaque partie de ce document indique comment exploiter la documentation technique existante, puis propose des outils pour compléter ponctuellement la connaissance du territoire et des phénomènes d'inondation. De même, toutes les approches permettant de mieux cerner la zone potentiellement protégée par un système et le niveau de sollicitation que celui-ci est susceptible de contenir, doivent être confirmées in fine par l'étude de dangers réglementaire.

Avertissement 3

le document présente une méthode «pas à pas», qui va de la délimitation d'une zone de recherche d'endiguements, à l'identification d'ouvrages et de l'enveloppe potentiellement protégée, puis à la caractérisation des enjeux qui s'y trouvent. C'est un parti pris dans le déroulé du document qui ne sera pas forcément l'ordre choisi par le lecteur. Cela implique que certaines approches soient communes à plusieurs étapes - exploitation de la bibliographie existante, outils d'analyse topographique, visites de terrain - et adaptées à l'objectif recherché. Dans un souci d'efficacité, l'organisation des travaux de «définition et caractérisation des systèmes d'endiguement» pourra donc anticiper l'exploitation de certaines ressources de fond communes (par exemple, les études de dangers, les données topographiques...).

Étapes de d'identification		Actions pouvant être mises en œuvre	Fiches à consulter	
			Cas général	Spécificités littorales
Compléter un inventaire d'ouvrages de protection contre les inondations et les submersions	Préciser les zones de recherche d'ouvrages	Rassembler la documentation existante sur le risque inondation	1.1.1	
		Utiliser des outils numériques pour compléter la documentation existante	1.1.2	
	Identifier les ouvrages et éléments naturels participant à la protection	Rassembler la documentation existante sur les aménagements	1.2.1	1.2.2
		Identifier les ouvrages sur le terrain	1.2.3	
	Utiliser des outils numériques pour des calculs à grand rendement	1.2.4		
Caractériser les zones potentiellement protégées	Quelle est l'enveloppe de la zone potentiellement protégée ?	Exploiter des données topographiques pour estimer l'enveloppe d'une zone potentiellement protégée contre les inondations	2.1.1	
		Exploiter des données topographiques pour estimer l'enveloppe d'une zone potentiellement protégée contre les submersions		2.1.2
	Quels sont les enjeux dans la zone potentiellement protégée ?	Exploiter les données existantes pour identifier les enjeux sur un secteur endigué	2.2.1	
		Utiliser des outils numériques pour identifier les enjeux sur un secteur endigué	2.2.2	
De l'identification à la définition des systèmes d'endiguement	Quelques références pour les étapes suivantes...			

1. COMPLÉTER UN INVENTAIRE D'OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS OU LES SUBMERSIONS

Les structures en charge de la GEMAPI depuis 2018 disposent d'une connaissance plus ou moins étayée des ouvrages hydrauliques présents sur leur territoire. Dans certains cas, les ouvrages faisant protection ont déjà bien été identifiés et font l'objet d'un suivi régulier. Dans d'autres cas, seule leur présence - ancienne - peut être suspectée, de sorte que le patrimoine d'ouvrages de protection participant potentiellement à la protection reste indéterminé. Lorsqu'il s'agit de localiser ces ouvrages, la première étape proposée ici consiste à restreindre la zone de recherche à la zone inondable par débordement de cours d'eau ou par submersion⁽²⁾ marine (1.1). Ensuite, la documentation existante, les études, visites de terrain, voire des outils numériques, peuvent donner des indices de l'existence d'ouvrages faisant obstacle aux écoulements (1.2), dont certains auront vocation à faire partie des systèmes d'endiguement.

1.1 Identifier les zones soumises à l'aléa inondation/submersion et leurs enjeux

L'objectif de cette section est de localiser les zones qui sont soumises aux potentiels débordements de cours d'eau ou aux submersions marines, et les enjeux qui y sont exposés.

Les inondations peuvent avoir différentes origines: débordement de cours d'eau, submersion marine, ruissellement, saturation des réseaux, remontées de nappe... Les deux premiers phénomènes sont les plus couramment caractérisés et ceux contre lesquels les ouvrages de protection que l'on recherche ont a priori été érigés.

La documentation existante sur le sujet est riche. Le paragraphe 1.1.1 fait le point des données existantes accessibles pour une bonne connaissance de l'aléa inondation sur un territoire donné.

Parfois, lorsque l'information est inexistante ou lorsqu'une analyse plus fine est nécessaire, le recours à des outils numériques est possible pour compléter la connaissance de l'aléa inondation, notamment ceux décrits au 1.1.2.

1.1.1 Exploitation de la documentation existante pour l'identification des zones soumises à l'aléa inondation

La documentation existante peut fournir une base de connaissance riche des phénomènes d'inondations historiques et des conséquences observées.

Cette connaissance est mise à jour régulièrement, notamment dans le cadre des travaux de la **Directive Inondation**. Les données sont capitalisées par le ministère de la Transition écologique et accessibles sur Internet:

<https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-inondations>

Sont recensés ci-après les documents qui peuvent apporter des informations complémentaires pour la recherche de données sur les zones inondables.



L'essentiel à retenir

Données à rechercher prioritairement lors de la phase d'analyse bibliographique:

- nature de l'aléa inondation: débordement de cours d'eau, ruissellement, remontée de nappe... ;
- enveloppes de zones inondées/inondables pour différentes occurrences de crues ;
- existence d'un système d'alerte et seuils de vigilance associés, le cas échéant localisation des stations de mesure de référence ;
- hydrogrammes associés à un événement ou une crue théorique, périodes de retour, etc. ;
- aménagements réalisés dans le cadre de la réduction de la vulnérabilité des territoires aux inondations (murets de protection, ouvrages de ralentissement dynamiques, bassins d'orage/de rétention, zones d'expansion de crues, etc.).

Points de vigilance:

- définition du périmètre d'analyse selon des considérations physiques (topographie, mouvements de l'eau et des sédiments) et non administratives ;
- dates de réalisation des études et des cartographies ;
- données topographiques utilisées lors de l'élaboration des cartographies (nature et source des données, date d'acquisition, précision associée, qualité des données).

² Dans ce document, le terme « inondation » fait référence aux débordements de cours d'eau, tandis que le terme « submersion » fait référence aux entrées d'eaux marines.

Type de données	Intitulé	Informations apportées	source
Outils de connaissance	Atlas des zones inondables (AZI)	Cartographie des phénomènes d'inondation.	https://www.georisques.gouv.fr/
	Évaluation Préliminaire du Risque Inondation (EPRI, réalisée dans le cadre des travaux de la Directive Inondation)	Enveloppe approchée des inondations potentielles (EAIP). Recensement des enjeux en zone inondable.	Sites internet des DREAL/DEAL Site géorisques https://www.georisques.gouv.fr/
	Extraction des zones d'écoulement (Exzeco)	Espaces potentiellement inondables sur de petits bassins versants.	Site internet du Cerema https://www.cerema.fr/fr/actualites/modelisation-du-ruissellement-bassins-versants-methode
	Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM)	Identification des risques naturels et localisation des secteurs vulnérables.	Sites internet des DDT (M) et des préfetures
	Repères de crues	Localisation et mesure des hauteurs d'eau atteintes par les crues historiques.	https://www.reperesdecruces.developpement-durable.gouv.fr
Outils de gestion du risque inondation	Cartographie des Territoires à risques importants d'inondation (TRI)	Cartographie des phénomènes d'inondation fréquents, moyens et extrêmes, et risques associés.	Sites internet des DREAL/DEAL
	Stratégies Locales de Gestion des risques d'inondation (SLGRI)	Diagnostic des risques d'inondation, stratégie et actions planifiées.	Sites internet des DREAL/DEAL/ porteurs de SLGRI
	Règlement d'information sur les crues (RIC)	Données sur l'hydrologie et l'hydraulique du bassin versant. Hauteurs d'eau atteintes par les différentes crues historiques. Stations de référence pour le suivi des hauteurs d'eau.	https://www.vigicruces.gouv.fr/
	Plans d'action de prévention des inondations (PAPI)	Diagnostics hydrologiques, hydrauliques, projets d'aménagements.	Sites internet des porteurs de démarche PAPI
	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)	Diagnostic territorial qui peut comporter un volet inondations et des mesures à entreprendre.	Sites internet des porteurs de SAGE
	Contrats territoriaux (avec les Agences de l'Eau)	Diagnostic territorial et mesures à entreprendre.	Sites internet des porteurs de contrats
Outils d'aide à la gestion de crise	Plans communaux de sauvegarde (PCS)	Existence d'un système local d'alerte aux crues, seuils de vigilance. Localisation des enjeux.	Mairies
Données localisées	Retours d'expériences de crues	Comportement des ouvrages lors des crues précédentes.	Sites internet des DREAL, Observatoires des risques.
	Études d'aménagements structurants	Modélisations hydrauliques. Acquisitions de données topographiques.	Porteurs de projets
	Plans de prévention des risques d'inondation (PPRI)	Carte d'aléa. Analyse fine du fonctionnement hydraulique. Identification des enjeux.	Sites internet des préfetures DDT (M)
	Base de Données Historiques sur les Inondations (BDHI)	Base documentaire sur des inondations remarquables au cours des siècles passés jusqu'à aujourd'hui. Localisation et impacts d'inondations historiques, données sur l'aléa, gestion et suite de l'événement.	https://bdhi.developpement-durable.gouv.fr

1.1.2 Outils numériques pour l'identification de zones soumises à l'aléa inondation

LA MÉTHODE CARTINO 1D

Il s'agit d'une méthode de modélisation hydraulique monodimensionnelle à grand rendement. Son développement s'inscrit dans un contexte de développement de méthodes plus ou moins automatisées et approchées de cartographie des zones inondables. L'objectif initial était de répondre à des demandes liées à l'application de la Directive Européenne relative aux risques d'inondations. Il s'agissait alors de mettre en œuvre un projet de cartographie générale des zones inondables par débordement, sur la base d'expériences conduites dans d'autres pays, grâce aux performances accrues des outils informatiques et à la fiabilité des nouvelles bases de données topographiques sur de grands territoires.

Pré-requis

- disposer de données topographiques relativement récente et d'un certain niveau de qualité (Lidar 1 m minimum) ;
- savoir utiliser les fonctions de base de QGis, Grass, Matlab.

Utilisation

- l'outil est plutôt adapté à la recherche de zones inondées par des fortes crues débordantes (par exemple de période de retour > 30 ans).

Le développement de Cartino s'inscrit dans plusieurs programmes du Ministère en charge de l'Écologie avec notamment l'Irstea (devenu INRAE), et dans des actions de recherche communes avec l'Ifsttar (Institut français des sciences et technologie des transports, de l'aménagement et des réseaux, devenu Université Gustave Eiffel).

L'objectif initial est de croiser des approches « automatisées » **d'hydrologie** avec l'outil SHYREG développé par l'INRAE, et **de topographie** avec l'outil EXZECO développé par le Cerema. Le résultat est la réalisation de modèles hydrauliques « semi-automatiques » s'appuyant actuellement sur trois logiciels hydrauliques : HEC-RAS (US Army Corps of Engineers), « Flutor » (Patrick Chassé - Cerema) et « Mascaret » (EDF-Cerema). CARTINO 1D permet ainsi de générer semi-automatiquement des profils en travers en s'adaptant aux profils en long de la rivière à simuler. L'emboîtement des différents outils se fait

avec un exécutable issu de Matlab® (Mathworks®). L'outil permet d'obtenir in fine une **cartographie des hauteurs d'inondation** correspondant à un événement de crue donné.

La méthode CARTINO a été mise en œuvre pour la cartographie, au 1/25000^{ème}, de certains Territoires à Risques Importants d'Inondations (TRI) définis dans le cadre de la Directive Inondation (DI). Trois types d'événements ont été cartographiés sur les Territoires à Risques Importants d'Inondations (TRI):

- l'événement fréquent: 10 à 30 ans de période de retour ;
- l'événement moyen: 100 à 300 ans de période de retour ;
- l'événement extrême: supérieur à 1000 ans.

UTILISATION DE CARTINO 1D SUR LE BASSIN VERSANT DE LA MAULDRE

Cartino 1D a été utilisé dans le cadre de l'appel à partenaires GEMAPI pour répondre aux besoins du COBAHMA (Comité de bassin hydrographique de la Mauldre et de ses affluents). Le territoire de ce syndicat couvre l'ensemble du territoire de la Mauldre, bassin versant de 403 km² situé dans les Yvelines.

L'objectif était d'utiliser des méthodes semi-automatisées afin de donner un ordre de grandeur des emprises des zones inondées sur le territoire.

Exemple de résultats obtenus (voir carte **Figure 3**):

- **Données topographiques utilisées:** RGE alti 1 m de l'IGN. La précision est vérifiée à + 20 cm en planimétrie comme en altimétrie sur le lit majeur du cours d'eau qui a fait l'objet d'une mesure au LIDAR.
- **Données hydrologiques utilisées:** raster des débits de pointe SHYREG utilisés lors de la Directive Inondation (taille du pixel 50m x 50m). Périodes de retour: 10, 20, 30, 50, 100, 300 et 1000 ans.

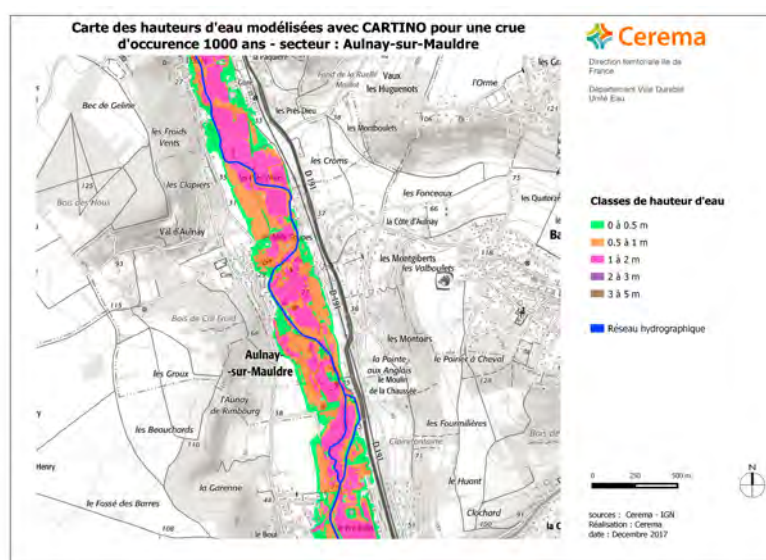


Figure 3 - Carte des hauteurs d'eau modélisées avec CARTINO pour une crue d'occurrence 1000 ans - secteur : Aulnay-sur-Mauldre (source : Cerema)



Pour aller plus loin

La méthode Cartino est accessible en ligne:

http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Notice_de_Cartino

Travaux de thèse

- G. Le Bihan. «Modèles hydrologiques régionaux pour la prévision distribuée des crues rapides: vers une estimation des impacts et des dommages potentiels». 2016
- C. Rebolho. «Modélisation conceptuelle de l'aléa inondation à l'échelle du bassin versant». 2018

Sur la méthode SHYREG

- [http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Shyreg_\(HU\)](http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Shyreg_(HU))
- lien vers la BD SHYREG : <https://shyreg.inrae.fr/>

Articles décrivant la méthode:

- pour les débits: P. ARNAUD, Y. AUBERT, D. ORGANDE, P. CANTET, C. FOUCHIER, N. FOLTON. «Estimation de l'aléa hydrométéorologique par une méthode par simulation : la méthode SHYREG». Présentation - Performances - Base de données. La Houille Blanche - Revue Internationale de l'Eau. N°2. pp20-26. ISSN : 0018-6368. Avril 2014
- pour les pluies: P. ARNAUD, J. LAVABRE. «Guide méthodologique sur l'approche SHYPRE. Partie 1 : analyse du risque pluvial.» Édition QUAE», 125 pages. 2010

1.2 Identifier les ouvrages et éléments naturels participant à la protection

Ce que dit la réglementation...

La notion de système d'endiguement a été introduite par le Décret n°2015-526 du 12 mai 2015. L'article 562-13 du Code de l'Environnement précise :

«Ce système comprend une ou plusieurs digues ainsi que tout ouvrage nécessaire à son efficacité et à son bon fonctionnement, notamment :

Des ouvrages, autres que des barrages, qui, eu égard à leur localisation et à leurs caractéristiques, complètent la prévention ;

Des dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques tels que vannes et stations de pompage.

Ne sont toutefois pas inclus dans le système d'endiguement les éléments naturels situés entre des tronçons de digues ou à l'extrémité d'une digue ou d'un ouvrage composant le système et qui en forment l'appui.»

Le système d'endiguement peut donc être constitué :

- des digues de protection: sous forme de remblais, murets, palplanches...
 - complétées éventuellement d'ouvrages annexes: vannages, ouvrages traversants dans le corps de digue.
- des ouvrages dits contributifs qui n'ont pas été a priori conçus comme des ouvrages hydrauliques mais dont l'utilisation comme ouvrage de protection est éventuellement à envisager: remblais structurants, infrastructures éventuellement munies de passages batardables, remblais anti-bruit... ;
- parfois des dispositifs viennent compléter la protection - il peut s'agir :
 - d'éléments naturels sur lesquels viennent s'appuyer les ouvrages de protection: dunes, promontoires rocheux... ;
 - de dispositifs dans ou à proximité de la zone protégée: ouvrages de rétention, de ressuyage, dispositifs de régulation des écoulements, mais aussi dispositifs de surveillance, systèmes d'alerte... ;

- d'ouvrages contribuant à réduire les sollicitations sur les ouvrages de protection: épis, brises-lames, seuils en rivière...
- parfois le système d'endiguement est configuré en plusieurs lignes. On parle alors de ligne principale et de ligne secondaire ou de second rang, mais il n'existe pas de gradation sur le plan réglementaire. Il convient de rappeler que tout remblais en lit majeur doit être transparent (ou compensation par un déblais) à moins d'être inclus dans un système d'endiguement.

Cette partie propose différents exemples d'identification d'ouvrages pouvant contribuer à la protection contre les inondations ou les submersions, sur la base d'études de cas rencontrées dans les partenariats GEMAPI avec des collectivités. Les exemples proposés ne concluent pas toujours sur l'existence d'un système d'endiguement ; des réflexions sur les configurations possibles sont proposées, le choix de définir in fine un système d'endiguement étant du ressort de l'autorité en charge de la GEMAPI.

Dans cette section seront successivement présentés les moyens d'exploiter la documentation existante, de procéder à des investigations de terrain, et d'utiliser des outils numériques pour identifier des ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection.



Pour aller plus loin

R. TOURMENT, B. BEULLAC. «Inondations - Analyse de risques des systèmes de protection - Application aux études de dangers». 356 p. Éd. Lavoisier. 2019

Cerema. «Étude des systèmes de protection contre les submersions marines - Méthodologie et études de cas issues du retour d'expérience Xynthia». Mars 2016

1.2.1 Exploitation de la documentation existante pour l'identification des ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection contre les inondations

La définition et l'identification des ouvrages de protection proposées ici, reposent sur une analyse du fonctionnement hydraulique des sites. Cette dernière permet de pré-identifier les structures pouvant jouer un rôle dans la protection d'une zone contre les débordements de cours d'eau.

L'objectif est de rechercher :

- les obstacles à l'écoulement (digues, remblais et leurs ouvrages de transparence) ;
- les autres ouvrages ayant un rôle dans le fonctionnement hydraulique (seuils, prises d'eau, stockages, organes de pompage...).

Pour cela, plusieurs sources d'informations peuvent être successivement exploitées :

Les bases de données existantes sur les ouvrages obstacles aux écoulements

Il s'agit de s'intéresser à l'ensemble des structures faisant potentiellement obstacle aux écoulements en bordure de cours d'eau ou en front de mer (digues, cordons naturels, remblais) mais également des éléments de gestion des eaux (canaux, étiers, clapets, écluses, pompes, etc.). Leurs fonctions et leur localisation sont à déterminer.

Les premières sources d'information découlent de l'analyse des bases de données existantes sur les ouvrages de protection, dont certaines sont accessibles auprès des services de l'État (DDT (M) et DREAL), des établissements publics, des syndicats de collectivités (ententes interdépartementales, intercommunales...), des collectivités gestionnaires. La consultation d'autres bases de données (par exemple le Référentiel des Obstacles à l'Écoulement de l'OFB, accessible sur www.data.gouv.fr) est également conseillée.

Identifier les obstacles potentiels aux écoulements en analysant les bases de données existantes.

Compléter auprès des organismes intervenant dans le domaine de l'eau.

Les études de dangers des ouvrages de protection

Le décret du 11 décembre 2007 imposait la réalisation d'études de dangers pour les ouvrages classés en tant que digues de protection contre les inondations. Lorsqu'elles sont disponibles, ces études, bien qu'elles ne puissent se substituer à l'étude de dangers du système d'endiguement qui est obligatoire, permettent d'avoir une première idée des systèmes d'endiguement et des caractéristiques des ouvrages qui les composent, ainsi que des zones protégées. Cette source d'information est à privilégier dès qu'elle est disponible car elle donne accès à des informations précises sur les ouvrages de type « digues » pouvant entrer dans la constitution des systèmes d'endiguement.

Les informations suivantes sont importantes à récupérer :

- les caractéristiques des ouvrages ;
- les sollicitations auxquelles les ouvrages sont soumis ;
- les conséquences possibles d'une défaillance ;
- un aperçu de la zone potentiellement protégée par les ouvrages étudiés.

Rechercher et exploiter les études de dangers existantes sur les digues de protection.

Les études hydrauliques

En l'absence d'étude de dangers, il est alors recommandé d'exploiter les études hydrauliques existantes qui permettent d'apporter des informations complémentaires utiles à la caractérisation des systèmes de protection et à la compréhension de leur fonctionnement hydraulique. Ces études peuvent avoir été produites dans le cadre des Atlas de Zones Inondables (AZI), de la réalisation de Plans de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI), ou encore en préalable à la réalisation d'un aménagement structurant (digue, infrastructure...).

L'ensemble de ces études hydrauliques peut être exploité pour identifier les systèmes d'endiguement potentiels, et notamment :

- identifier les ouvrages jouant un rôle sur les écoulements et donc susceptibles de protéger contre les inondations ;
- identifier les éléments de gestion des eaux au sein et en dehors du système de protection, et dans ce cas les limites de la (ou des) zone (s) impactée (s) par l'effet de ces éléments ;
- définir l'emprise de la zone inondable, donnant une première approche des secteurs où une protection peut être à rechercher ;

- estimer un niveau de protection des structures identifiées comme obstacles aux écoulements ou à défaut un niveau de protection apparent⁽³⁾ par la connaissance des cotes de crêtes de ces structures ;
- définir les casiers hydrauliques issus de l'analyse des écoulements au sein de la zone protégée.

Rechercher les analyses hydrauliques existantes réalisées dans le cadre :

- d'un atlas de zone inondable ;
- d'un PPRi et/ou de l'élaboration d'une carte d'aléa inondation ;
- de travaux d'aménagements en bordure de cours d'eau ;
- de retours d'expériences de crues passées ;
- ...

Relever les informations sur :

- la présence d'obstacles aux écoulements ;
- leur influence sur le fonctionnement hydraulique ;
- leur localisation, géométrie, fonction, gestionnaire ;
- les lignes d'eau pour différentes occurrences de crues.

Attention :

- à la date de réalisation des études : si elles sont anciennes, des aménagements ont pu être modifiés depuis ; de même, la géométrie du lit a pu évoluer (crues morphogènes, fort transport solide...) ;
- aux hypothèses prises en compte dans les modélisations (ouvrages effacés, transparences...).

Les autres données utiles à la compréhension du fonctionnement hydraulique du territoire

Utilisation des bases de données cartographiques

Une connaissance générale du site par l'analyse de données cartographiques (issues des bases de type scan25[®] ou BD Ortho[®] de l'IGN...) ou de photographies aériennes, facilement mobilisables, est utile à l'identification des systèmes d'endiguement et de leurs zones potentiellement protégées.

Le recensement et la localisation des éléments suivants présentent un intérêt pour appréhender le fonctionnement hydraulique du territoire de manière générale :

- ensembles morphologiques ;
- entités hydrographiques : cours d'eau, étangs, zones de marais, etc.
 - BD carthage[®] - Base de Données sur la CARTographie THématique des AGences de l'eau et du ministère chargé de l'environnement remplacée par la BD Topage[®] en 2020
 - Atlas-catalogue du Sandre : sandre.eaufrance.fr
 - BD topo[®], ...
- principales infrastructures de transports (BdTopo[®]) ;
- autres aménagements ayant un impact fort sur le territoire : port, etc. (BD Topo[®], bases de données locales, ...) ;
- occupation du territoire et principaux enjeux (CORINE LandCover, BD Topo[®], ...). L'analyse croisée des éléments disponibles peut s'appuyer sur l'utilisation de moyens géomatiques.

Analyse de la topographie du site

La définition du système de protection repose sur une analyse hydraulique s'appuyant en premier lieu sur la topographie du site. Les données les plus précises (levés terrain ou Lidar) sont à privilégier. Une analyse thématique visuelle simple de l'altimétrie est utile. Elle permet de localiser les zones basses et les fortes variations de pente ou d'altimétrie utiles à l'identification des obstacles à l'écoulement et des voies d'écoulement potentielles. A défaut, la BD Topo[®] et le Scan 25[®] peuvent être exploités. Mais leur précision ne garantit pas la localisation des systèmes de protection de manière concluante sur la base d'une seule analyse topographique. **Voir 1.2.4** pour aller plus loin sur l'exploitation des données topographiques.

Analyses historiques

Les zones à proximité de la mer ou de cours d'eau sont des zones soumises à de fortes évolutions. Les analyses ou données historiques existantes sur l'évolution morphologique du territoire (cartes anciennes et événements historiques majeurs) peuvent également apporter de nombreux éléments de compréhension du fonctionnement du territoire. A ce titre les comparaisons que l'on peut réaliser sur le site <https://remonterletemps.ign.fr/> sont intéressantes. **Voir 1.2.2** pour un exemple d'exploitation d'anciennes cartographies.

³ De nombreux ouvrages peuvent connaître des défaillances bien avant que l'eau n'atteigne leur crête.

EXPLOITATION DE LA DOCUMENTATION EXISTANTE POUR L'IDENTIFICATION DES OUVRAGES ET ÉLÉMENTS NATURELS POUVANT PARTICIPER À LA PROTECTION DE L'AGGLOMÉRATION TROYENNE CONTRE LES INONDATIONS

Le centre de l'agglomération troyenne est traversé par un réseau hydrographique complexe constitué par la Seine dont sont issues plusieurs dérivations aménagées par l'Homme au cours du temps. La proximité des enjeux avec le cours d'eau a également favorisé l'aménagement de protections contre les débordements dont certaines sont encore utilisées aujourd'hui.

La collectivité a capitalisé un savoir-faire et une connaissance riches des phénomènes d'inondations qui sont autant de données d'entrées utiles à la réflexion sur la définition des systèmes d'endiguement tels que définis dans la réglementation de 2015. Cette réflexion s'appuie sur :

- les éléments rassemblés dans **l'Évaluation Préliminaire des Risques d'Inondation** (EPRI) puis dans la **Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation** (SLGRi) et dans la cartographie du risque associée :
-> *connaissance de l'aléa et des enjeux*.
« Stratégie locale de gestion des risques d'inondation du territoire à risque important d'inondation de Troyes » :
http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/slgr_i_tri_troyes_vf.pdf
- les éléments de réalisation du **Plan de Prévention des Risques d'inondations** (PPRi) mis à jour en 2017 :
-> *connaissance de l'aléa et des enjeux* ;
- les **retours d'expériences de crues** très documentés (1910, 1955, 2013, 2018...) : -> *connaissance du fonctionnement hydraulique* ;
- un diagnostic hydrologique, hydraulique, et hydromorphologique réalisé dans le cadre du **Programme d'Action de Prévention des Inondations** (PAPI) : -> *connaissance du fonctionnement hydraulique et des obstacles potentiels aux écoulements*.
« Programme d'actions de prévention des inondations (papi) au stade complet de Troyes et du bassin de la Seine supérieure-fiche de synthèse » :
<http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/papi-de-la-seine-troyenne-et-superieure-enquete-a18644.html>
- les **études de dangers de digues** précédemment réalisées (entre 2014 et 2015) ;
- les études réalisées ou mises à jour dans le cadre d'un vaste **programme de confortement** des digues existantes : -> *connaissance des ouvrages de protection* ;
- mais aussi des documents de connaissance des milieux aquatiques et du patrimoine historique :
 - un « Plan territorial d'actions prioritaires » ;
 - une étude hydraulique et paysagère détaillée ;
 - la zone de protection du patrimoine architectural urbain et paysager.

Renseignant sur les ouvrages en rivière, leur fonctionnement, les interventions possibles...

Lorsque l'exploitation des connaissances existantes ne permet pas de définir au minimum le contour du système de protection, il est proposé de compléter cette connaissance par des analyses topographiques (**Voir 1.2.4**).

1.2.2 Exploitation de la documentation existante pour l'identification des ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection contre les submersions marines

Sont présentés dans cette fiche, en complément de la **fiche 1.2.1**:

- une base de données accessible sur internet concernant les ouvrages maritimes, ainsi que la documentation technique pour approfondir le sujet ;
- quatre exemples pour une première approche de définition d'un système de protection contre les submersions marines.

Bases de données existantes

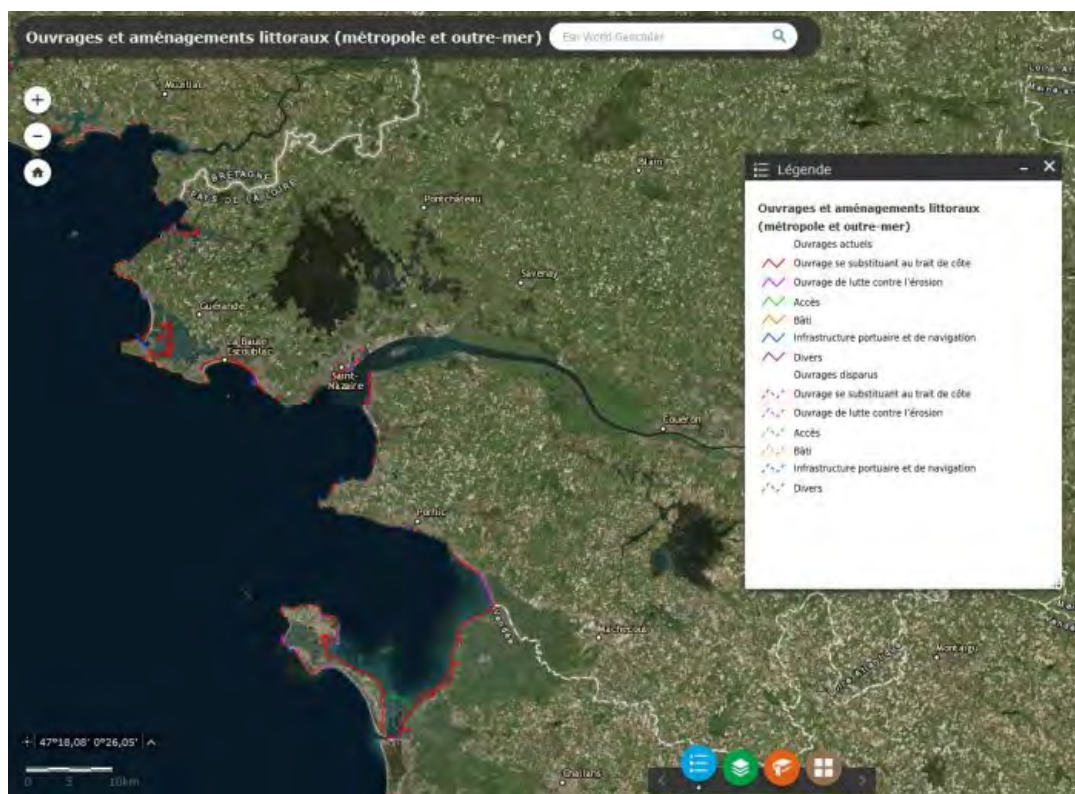
Sur le littoral, il existe une base de données accessible sur internet :

<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/>

« **Géolittoral est le portail des données sur la mer et le littoral du Ministère en charge de l'environnement et de la mer. Il diffuse notamment les données géographiques produites dans le cadre de l'accomplissement des politiques publiques portées par le Ministère et a vocation à couvrir la totalité des espaces maritimes et littoraux français. Il met également à disposition des informations et des documents de nature à expliciter ces politiques et leur mise en œuvre.** »

En particulier, le site propose une cartographie des ouvrages et aménagements présents sur le littoral français, disponible en visualisation ou téléchargement.

La présence d'ouvrages cartographiés ne préjuge pas de leur rôle dans la protection contre les submersions ; en revanche l'autorité compétente en matière de GEMAPI peut être amenée à se poser la question de l'intérêt d'inclure de tels ouvrages dans un système de protection.



Deux études de cas sont proposées dans la suite de cette fiche :

- autour de l'étier du Pouliguen, concernant l'identification de systèmes d'endiguement en contexte littoral ;

- autour de Calais, quatre secteurs sont analysés en vue de l'identification de systèmes d'endiguement à partir de la documentation existante.

DÉFINITION DU SYSTÈME DE PROTECTION MARITIME DE L'ÉTIER DU POULIGUEN À PARTIR DES CONNAISSANCES EXISTANTES

Le système de protection de l'« étier du Pouliguen » a été défini sur la base des connaissances existantes, et plus particulièrement à partir des documents suivants :

- arrêté préfectoral n°2013/BPUP/026 du 20 février 2013 portant déclaration d'existence, classement et prescriptions complémentaires relatives à la sécurité de la digue du Pouliguen sur les communes de Guérande, La Baule et Le Pouliguen ;
- étude de dangers de l'étier du Pouliguen ;
- PPRL de la presqu'île Guérandaise-Saint-Nazaire - 2015 ;
- PAPI littoral Cap-Atlantique - 2013 ;
- PSR Rehaussement des berges de l'étier du Pouliguen - 2013 ;
- courrier du Préfet 44 du 3/06/2010 « Application de l'article R111-2 du Code de l'Urbanisme dans les zones soumises à un risque de submersion ».

L'ensemble des ouvrages faisant obstacle à l'écoulement (merlons, murets, digues...) recensés sont cartographiés **Figure 5**. Pour chaque tronçon, le gestionnaire et la hauteur de l'ouvrage sont connus. Ces ouvrages constituent de part et d'autre de l'étier deux systèmes de protection distincts : l'un à l'ouest, fermé par une topographie plus haute que celle des marais sur la partie sud-ouest, l'autre à l'est, fermé par la morphologie d'un cordon dunaire, aujourd'hui entièrement urbanisé, en haut de plage et une topographie plus haute à l'est.

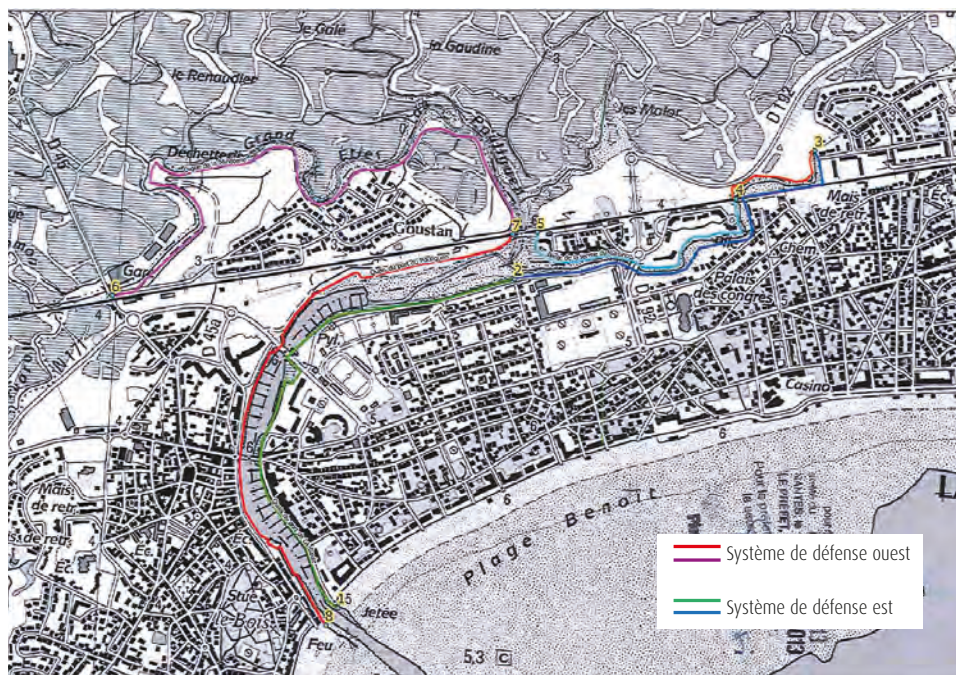


Figure 5 - Système de protection maritime de l'étier du Pouliguen (source : Cerema)

DÉFINITION DU SYSTÈME DE PROTECTION DE CALAIS CENTRE À PARTIR DE LA DOCUMENTATION EXISTANTE

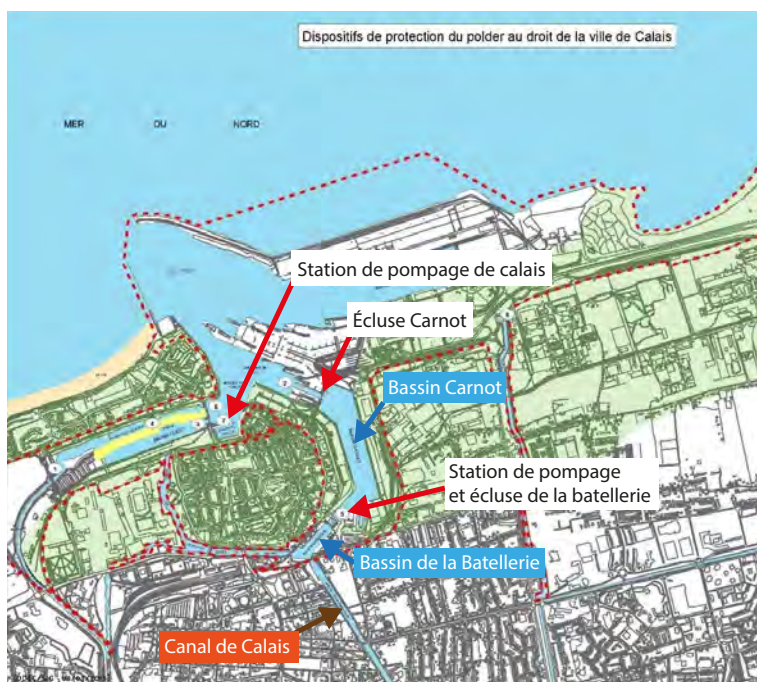


Figure 6 - Dispositifs de protection du polder au droit de la ville de Calais (source : Cerema sur fond de carte openstreetmap)

Dans cette étude de cas, les ouvrages susceptibles d'être intégrés à un système d'endiguement sont :

- la station de pompage de Calais ;
- la station de pompage de la Batellerie ;
- l'écluse de la Batellerie ;
- l'écluse Carnot.

Situés autour du bassin de la Batellerie, du bassin de la Marne et du Bassin Carnot, ces ouvrages sont reliés au canal de Calais, branches Ouest et Est. Ils permettent l'évacuation des eaux continentales dans l'arrière-port et empêchent la remontée de la mer vers les canaux. À marée haute, les vannes de l'écluse Carnot sont ouvertes et ne constituent donc pas un obstacle. Cet ouvrage ne protège pas de population d'une éventuelle submersion marine et n'est donc pas à intégrer dans un système d'endiguement.

D'après l'étude de dangers (EDD) de 2016, la station et l'écluse de la Batellerie mitoyennes sont considérées comme un même ouvrage.

Le **système d'endiguement** comprendrait donc les ouvrages suivants :

- la station de pompage de Calais ;
- la station de pompage de la Batellerie ;
- l'écluse de la Batellerie.

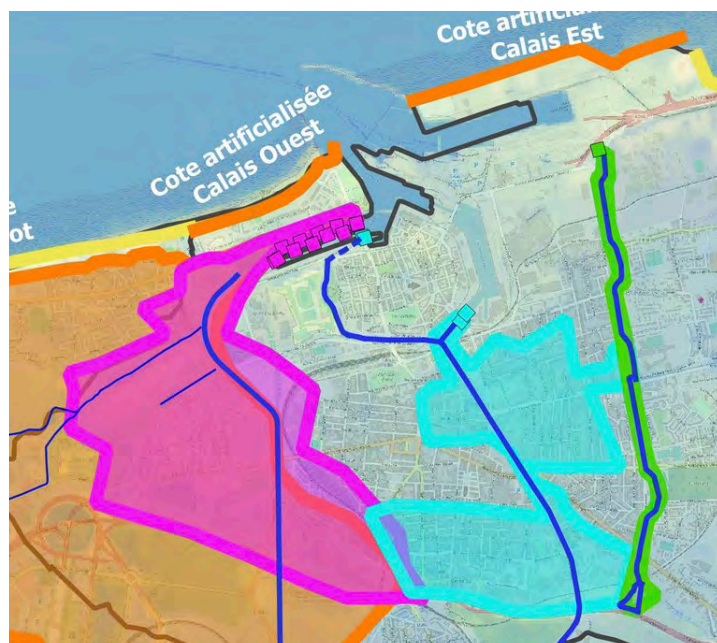


Figure 7 - Secteur protégé de Calais Centre en bleu - Calais Ouest en rose (source : Cerema sur fond de carte openstreetmap)

DÉFINITION DU SYSTÈME DE PROTECTION DE CALAIS OUEST À PARTIR DE LA DOCUMENTATION EXISTANTE

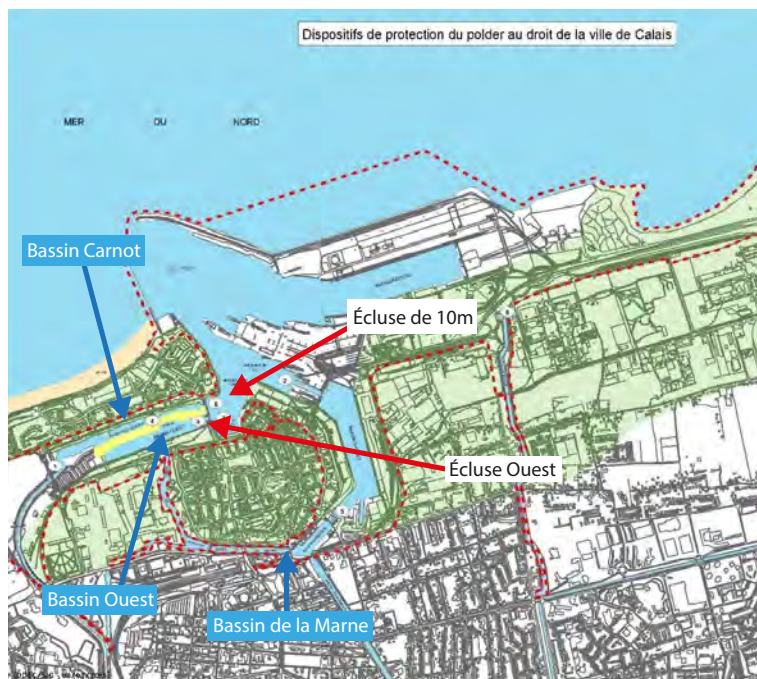


Figure 8 - Dispositifs de protection du polder au droit de la ville de Calais (source : Cerema sur fond de carte openstreetmap)

Suite à l'étude de dangers réalisée en 2016, le secteur de Calais Ouest comporte un système d'endiguement composé des ouvrages suivants :

- l'écluse de 10 m ;
- le merlon séparant le bassin des chasses du bassin Ouest.

Le bassin des chasses correspond à une retenue naturelle (située sur l'ancien estuaire naturel de la rivière Neuve) d'environ 1 km de long, parallèle à la plage et fermée par des ouvrages. Le bassin Ouest accueille un port de plaisance et communique avec l'arrière-port par l'écluse Ouest. Il est parallèle au bassin des chasses. L'écoulement naturel des eaux continentales vers la mer ne s'effectue qu'à marée basse. Lorsque la porte est fermée, il se produit un stockage des eaux dans le bassin et dans les canaux.

Le bassin des Chasses est limité sur son flanc sud par le merlon en terre, qui le sépare du bassin Ouest (relié au port par l'écluse Ouest). Le merlon empêche la remontée des eaux marines du Bassin Ouest vers le Bassin des Chasses.

Les potentiels de danger dépendent des ouvrages : pénétration d'eaux marines dans la zone protégée suite à la surverse d'un des ouvrages, rupture par surverse ou par glissement d'ensemble laissant l'eau pénétrer vers les zones protégées...



Figure 9 - Ouvrages du bassin des chasses (source : Cerema sur fond de carte googlemap)

Situation réglementaire

Par arrêté préfectoral du 5 juin 2012, l'écluse de 10 m et la digue entre le bassin Ouest et le bassin des Chasses ont été classées au titre des digues relevant de la classe B au sens de l'article R.214-113 du code de l'Environnement.

En 2018, le système d'endiguement a fait l'objet d'une demande d'autorisation conformément à la réglementation relative au Code de l'Environnement.

DÉFINITION DU SYSTÈME DE PROTECTION DE MARCK À PARTIR DE LA DOCUMENTATION EXISTANTE

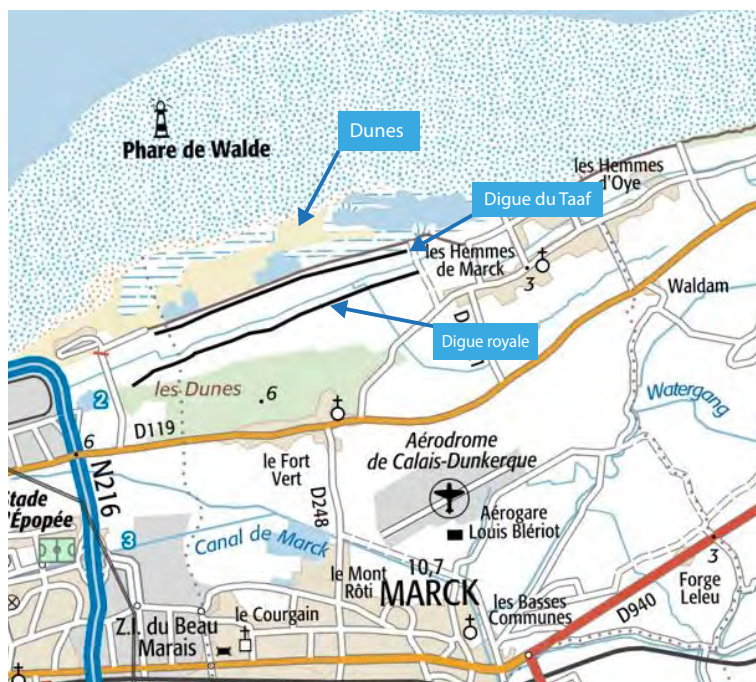


Figure 10 - Secteur de Marck (source : IGN - Geoportail)

La commune de Marck constitue une zone basse avec de nombreux secteurs où l'altitude est de l'ordre de 2 m NGF. Il y a donc une zone susceptible d'être soumise au risque de submersion marine.

Les éléments pouvant être intégrés dans un système de protection sont :

- la dune du Fort Vert (principale protection) ;
- la digue Taaf (digue intérieure) ;
- la digue Royale (digue intérieure).

La première défense et principale protection du secteur contre la submersion marine est la dune du Fort Vert. Deux ouvrages, dits digues intérieures de second rang, situées derrière la dune du Fort Vert sont susceptibles de protéger cette zone exposée : la digue Taaf et la digue Royale. La digue Royale (1620) et la digue Taaf (1773) ont été érigées pour limiter les intrusions d'eau traversant la dune. Depuis leurs constructions, l'avancée du trait de côte dans ce secteur varie de 700 m à 1 km. Depuis 1947, la vitesse moyenne d'accrétion de la dune du Fort Vert est de 3 à 4 m par an. Ces éléments sont tirés du « Bulletin de l'Association de Géographes Français Année 2004 81-3 pp. 418-426 ».

L'étude PPR montre que la digue Taaf ne serait que faiblement sollicitée pour un événement de période de retour centennale (Hauteur d'eau inférieure à 1 m au maximum de l'événement). De plus, les deux digues intérieures ne forment pas une protection continue (à l'extrémité Est de Marck, les digues n'existent plus).

D'autre part, la zone habitée des « Hemmes de Marck » est située à une cote d'altitude de 4 m soit à la même cote que la digue Taaf. Nous n'avons donc pas de zone basse dans ce secteur.

En conclusion nous retenons que les évolutions morphologiques et d'aménagement ont fait perdre aux digues historiques leur rôle de protection contre les inondations. Il n'apparaît donc pas pertinent de **proposer un système d'endiguement** soumis à autorisation sur le secteur de Marck et si ces digues historiques sont susceptibles d'engendrer un sur-aléa, elles devront être neutralisées.

DÉFINITION DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT DE SANGATTE À L'AIDE DE LA DOCUMENTATION EXISTANTE (PREMIÈRE APPROCHE) - ANALYSE DES OUVRAGES DE PREMIER ET SECOND RANG

Cette première approche repose sur l'analyse d'une étude de submersions réalisées pour un PPRI :



Figure 11 - Points d'entrée et emprises maximales des submersions simulées - d'après étude DHI sur le secteur Sangatte (source : Cerema)

Le premier rang et la zone protégée

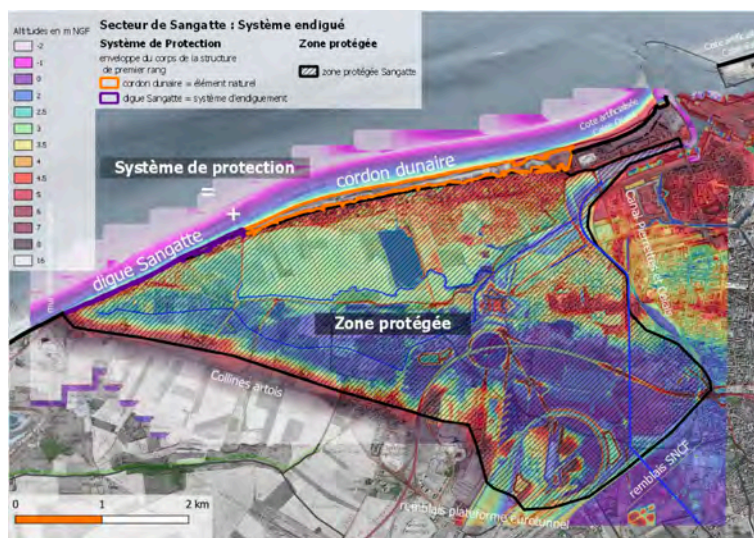


Figure 12 - Système endigué de Sangatte définissable en première approche (source : Cerema)

La première ligne de défense contre les submersions est constituée de la digue de Sangatte et du cordon dunaire Sangatte-Blériot. Elle protège une zone comprenant des enjeux, dont un certain nombre d'habitations. La digue de Sangatte et la dune mitoyenne sont donc parties intégrantes du système de protection, la digue de Sangatte comme ouvrage et la dune comme élément naturel (« éléments naturels situés entre des tronçons de digues ou à l'extrémité d'une digue ou d'un ouvrage composant le système et qui en forment l'appui »). La digue de Sangatte est l'élément minimal nécessaire pour constituer le système d'endiguement du secteur. En revanche, le cordon dunaire, en tant qu'élément naturel, n'est pas intégré dans le système d'endiguement.

L'illustration **Figure 12** représente le système endigué défini à ce stade en adoptant une zone protégée schématique plutôt large qui s'appuie sur les éléments morphologiques entourant la zone basse arrière littorale.

Le second rang

Dans la zone protégée, on peut constater sur les cartographies précédentes que les enveloppes de submersion issues d'une étude précédente contiennent ou touchent un certain nombre d'obstacles à l'écoulement et d'ouvrages.

Une analyse du Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu du LiDAR littoral, qui décrit précisément la topographie du secteur, a permis de cerner l'ensemble des remblais pouvant jouer un rôle significatif d'obstacle à l'écoulement pour plusieurs scénarios de submersion marine. Certains d'entre eux sont des digues déjà connues, les autres sont des remblais aux finalités diverses.

Les digues de renclôture

Parmi ces obstacles se trouvent des digues de renclôture, des ouvrages conçus dès leur origine en tant que digue.

La morphologie et l'aménagement des secteurs voisins a fortement évolué depuis leur édification. Il semble ainsi important d'analyser leur rôle actuel sur des submersions en provenance de défaillances du système de protection.

Par exemple, la digue Mouron a été érigée en 1770. Les documents d'époque expliquent que sa partie restante devait retenir des eaux venant du sud et de l'est. Il s'agit d'une levée de terre recouverte d'une épaisseur imperméable (sûrement composée d'argile). En toute logique, cet élément imperméable devrait être sur le versant sud. Le rôle de la digue pour une submersion venant du Nord est donc discutable.

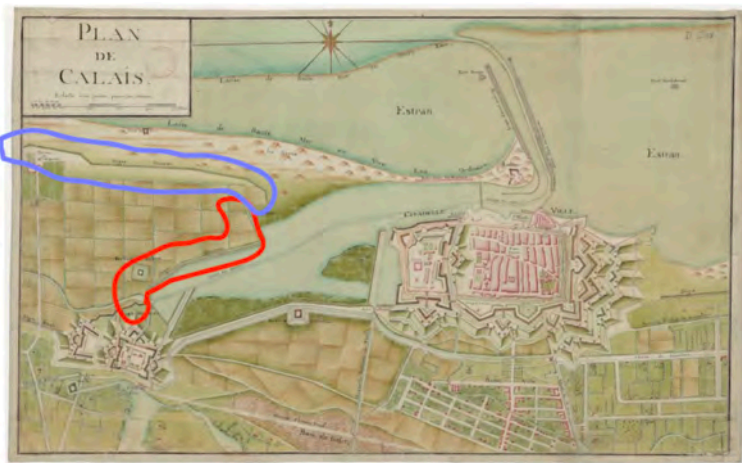


Figure 13 - Carte de Calais vers 1800
(source : Bibliothèque Nationale de France)

Les deux parties originelles de la digue Mouron sont présentées. La partie sud (entourée en rouge) protège le polder des arrivées d'eau venant de Calais et existe encore. La partie nord (entourée en bleu) à l'arrière de la dune qui protégeait le polder des venues d'eau à travers la dune n'existe plus. Cette partie est probablement devenue inutile avec le renforcement de la dune et a été supprimée.

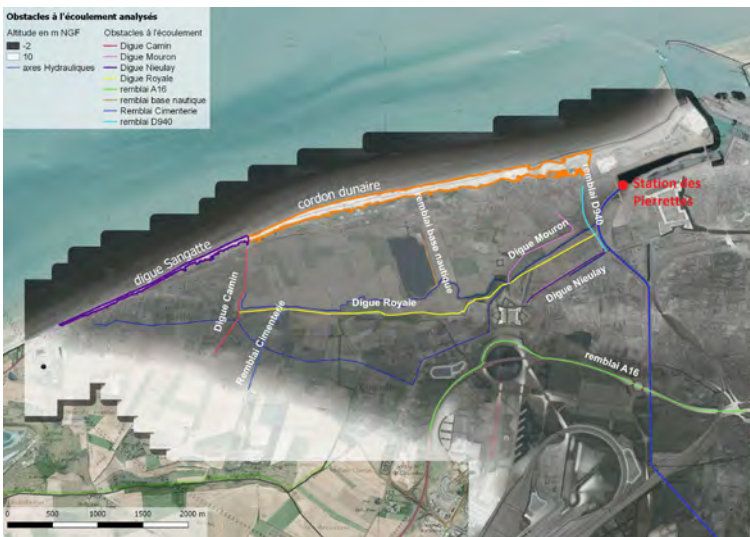


Figure 14 - Système de protection de Sangatte complété par les ouvrages de second rang (source : Cerema)

Les remblais

D'autres ouvrages ou infrastructures, à la finalité première diverse, peuvent avoir une influence sur les écoulements dans la zone protégée. Il s'agit :

- du remblai de l'autoroute A16: les submersions modélisées dans le cadre du PPRI à l'aval de brèches dans la digue de Sangatte sont arrêtées par le remblai sur une partie de son linéaire, avec une hauteur d'eau importante en pied d'ouvrage, ce qui suggère un rôle de protection pour les zones de l'autre côté du remblai ;
- des remblais de la D940, de la base nautique et de l'ancienne voie ferrée de la cimenterie. Ils sont situés dans les enveloppes de submersion, ce qui pose la question de leur rôle de protection.

Les dispositifs de régulation

La station des Pierrettes (vannes et pompes) est un dispositif de régulation des écoulements hydrauliques qui peut avoir une influence en cas de submersion du secteur de Sangatte. En effet, en cas de submersion de la zone protégée de Sangatte, la zone inondée sera drainée par le watergang de Sangatte et le Cric qui ont leur exutoire dans le canal des Pierrettes. L'ouvrage des Pierrettes peut alors apparaître comme un exutoire de la submersion vers le bassin des chasses et la mer.

Néanmoins, cet ouvrage fait déjà l'objet d'une gestion liée à l'évacuation des eaux continentales dans le cadre du transfert partiel de la compétence GEMAPI à l'Institution Intercommunale des Wateringues. Pour éviter de multiplier les gestionnaires GEMAPI sur cet ouvrage, Grand Calais a souhaité ne pas intégrer cet ouvrage dans les réflexions liées au système d'endiguement.

On peut noter que l'ouvrage garde un fonctionnement comparable à celui lié à l'évacuation des eaux continentales dans le cas des submersions marines liées à une défaillance du système de protection de Sangatte, qu'il évacuerait également vers la mer depuis le canal des Pierrettes. Néanmoins, une coordination entre les deux structures compétentes pour la GEMAPI apparaît souhaitable.

Conclusion sur le second rang de protection

Les éléments listés ci-dessus peuvent diviser la zone protégée en casiers de submersion cohérents. La définition des casiers de submersion a été réalisée à partir de l'analyse des données disponibles.

Ainsi, ces ouvrages peuvent influencer les submersions et potentiellement contribuer à la protection contre les submersions. Cela rendrait possible leur intégration dans le système d'endiguement en tant qu'ouvrages complémentaires, mais il est nécessaire pour cela d'analyser plus précisément leur influence sur les submersions résultant de défaillances du premier rang de protection.

En effet il est à noter que ces ouvrages peuvent aussi avoir un rôle négatif en accumulant l'eau sur des zones présentant des enjeux vulnérables.

Cette étude de cas a été complétée d'une modélisation 2D présentée au [1.2.4](#)

1.2.3 Identification sur le terrain d'ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection contre les inondations et submersions

Quand un gestionnaire cherche à compléter/réaliser un inventaire d'ouvrages de protection potentielles, après avoir éventuellement mis en œuvre des analyses documentaires ou cartographiques telles que vues précédemment, une visite de terrain est essentielle pour appréhender le rôle potentiel des ouvrages.

Elle aura pour but de :

- **vérifier le recensement** des ouvrages hydrauliques (remblais, écluses, vannages, déversoirs, etc.) ;
- **valider ou modifier le tracé des systèmes** tel que déduit des études et bases de données existantes ;
- **réaliser des levés topographiques** en cas d'absence de nivellement sur l'ouvrage ou en cas d'imprécision sur les données topographiques existantes ;
- **constater l'état général** de l'ouvrage ;
- **constater les enjeux présents** dans la zone protégée potentielle ;

- **vérifier la continuité de la protection** assurée par les ouvrages, la présence d'ouvrages de transparence, les contournements possibles...

Les visites de terrain peuvent aussi permettre d'écarter le rôle de protection qui aurait été attribué à certains ouvrages.

Cette fiche aborde pour commencer des exemples d'ouvrages rencontrés en contexte fluvial, puis des exemples d'ouvrages rencontrés en contexte maritime.

EXEMPLES D'OUVRAGES RENCONTRÉS SUR LE TERRAIN ET ANALYSE DE LEUR RÔLE DANS LA PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS FLUVIALES

Pour illustrer les différents types d'ouvrages rencontrés en contexte fluvial, seront notamment présentés des études de cas situées sur le Dolaizon à Vals-près-le-Puy (43), à Oudon (44), ainsi qu'à Saint-Germain-La-Prade (43).

EXEMPLE D'OUVRAGES ANALYSÉS POUR LEUR RÔLE POTENTIEL DANS LA LIGNE DE PROTECTION « PRINCIPALE »

Murets de protection

L'exemple des murets de protection sur le Dolaizon à Vals-près-le-Puy (43)

Ces murets de protection sont situés sur la commune de Vals-près-le-Puy et s'étendent sur un linéaire d'environ 600 m. Ils sont réalisés en maçonneries en pierres de tout-venant jointoyées et en pierres taillées en couronnement (voir Figure 15).

Ces murets, bien que jouant un rôle de protection contre les inondations du Dolaizon, ne peuvent pas être considérés comme un système d'endiguement. En effet, ils assurent avant tout une fonction de mur de soutènement pour les jardins et la voirie situés en lit majeur. Par ailleurs, ces murets disposent d'ouvertures non batardables, interdisant toute continuité de la protection (voir Figure 16). Enfin, ils comportent des barbacanes prévues pour évacuer les eaux de ruissellement en provenance de la voirie, sans clapet anti-retour. La résistance structurelle de ces murets n'a pas fait l'objet d'études particulières à ce jour.



Figure 15 - Vue sur le Dolaizon depuis le « quai du Dolaizon », commune de Vals-près-le-Puy (source : Cerema)



Figure 16 - Ouvertures non batardables, quai du Dolaizon (source : Cerema)

EXEMPLES D'OUVRAGES « ANNEXES » CONSTITUANT LA LIGNE DE PROTECTION PRINCIPALE

Vannages dans le corps de digue



Figure 17 - Digue de Savignac sur l'Ariège
(source : Cerema)

Ouvertures batardables



Figure 18 - Digue de Foicy sur la Seine à Troyes
(source : Cerema)

Portes à flots



Figure 19 - Digue de Chalennes-sur-Loire (source : Cerema)

EXEMPLES D'OUVRAGES « CONTRIBUTIFS »

Remblai ferroviaire et route départementale

Système de protection potentiel de Oudon (44)

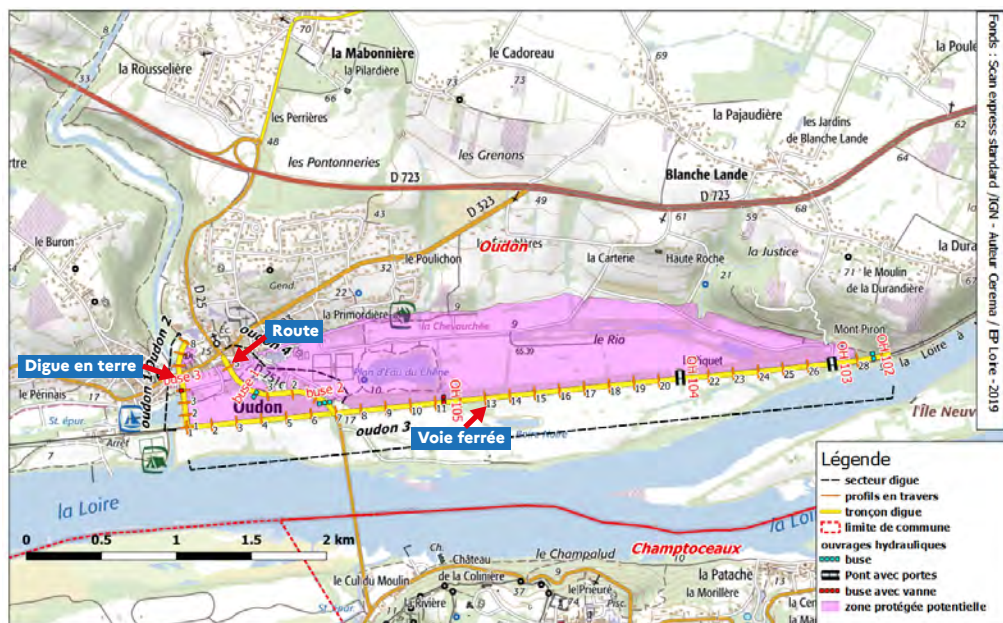


Figure 20 - Système endigué de Oudon (source : Cerema)

Dans l'exemple **Figure 20**, la digue en terre est prolongée par une voie ferrée existante en bordure de la Loire. Une étude hydraulique menée par Antéa a permis d'analyser le rôle de cette infrastructure. Ce tronçon est muni d'ouvrages traversants obturables qui empêchent le passage de l'eau en cas de crue de la Loire. Des vérifications de terrain ont permis d'établir que la digue et le remblai ferroviaire formaient un système continu faisant obstacle aux débordements de la Loire.

Par ailleurs, la route départementale qui traverse la zone protégée est munie d'ouvrages traversants dont le dimensionnement n'assure pas une complète transparence hydraulique en cas de remplissage de la zone. Elle délimite donc 2 casiers dans la zone potentiellement protégée par la digue + le remblai ferroviaire.

EXEMPLES D'OUVRAGES POUVANT PARTICIPER À LA PROTECTION

Ouvrages de régulation des débits:

- seuils



Figure 21 - Ouvrages du canal de Labourat à Troyes (source : Cerema)



Figure 22 - Ouvrages sur la Seine à Troyes (source : Cerema)

- ouvrages de répartition des débits, vannés



Figure 23 - Ouvrage de répartition des débits sur la Seine à Troyes (source : Cerema)

Bassins de rétention dans ou à proximité de la zone protégée:

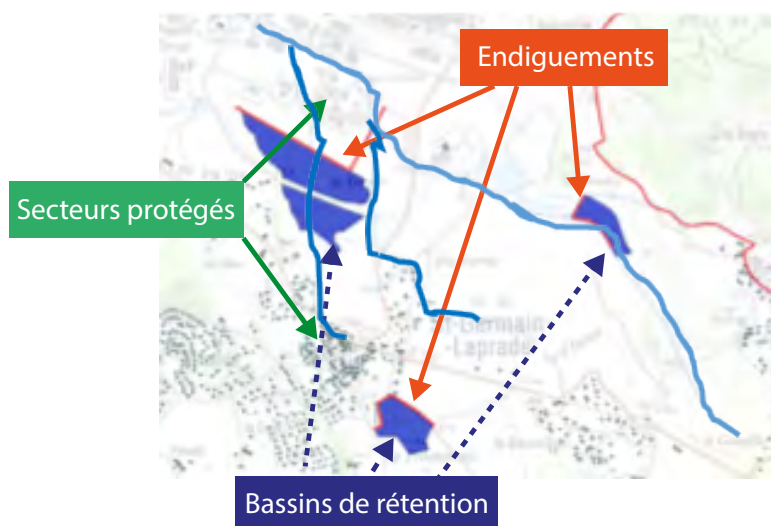


Figure 24 - Bassins de rétention en complément d'un système d'endiguement (source : Cerema)

Dans le cadre de l'aménagement de la zone d'activité économique (ZAE) de Saint-Germain-Laprade (43) et suite à la crue de la Trende survenue les 1^{er} et 2 novembre 2008, la Communauté d'Agglomération du Puy-en-Velay a lancé dans les années 2010 la construction de plusieurs digues associées avec 4 bassins de rétention, afin de réduire la vulnérabilité de la zone économique ainsi que des habitations situées à proximité immédiate. Les crues de la Trende se caractérisent par une dynamique très forte sur un bassin versant de taille relativement réduite.

Les digues réalisées dans le cadre de l'aménagement de la ZAE constituent un système d'endiguement car elles ont été conçues dans l'unique objectif de protéger certains enjeux économiques situés à l'arrière, dans une zone qui a été délimitée à partir d'une modélisation hydraulique (dimensionnement pour la crue centennale).

Quant aux bassins de rétention réalisés dans le cadre du même projet, ils constituent un aménagement hydraulique au sens du Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques. Ils ont une capacité totale de stockage de l'ordre de 150 000 m³.

EXEMPLES D'OUVRAGES RENCONTRÉS SUR LE LITTORAL POUVANT PARTICIPER À LA PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS ET SUBMERSIONS

Sont présentés ici quelques ouvrages rencontrés sur le territoire de Grand Calais Terres et Mers, analysés précédemment dans la fiche 1.2.2



Pour aller plus loin

R. TOURMENT, B. BEULLAC. *«Inondations - Analyse de risques des systèmes de protection - Application aux études de dangers»*. 356 p. Éd. Lavoisier. 2019

Cerema. *«Préconisations pour le recensement des ouvrages et structures de défense contre les aléas côtiers»*. 2011

EXEMPLES D'OUVRAGES AVEC UN RÔLE POTENTIEL DANS LA PROTECTION CONTRE LES SUBMERSIONS



Figure 25 - Digue de Sangatte (source : B. Kerloc'h - Cerema)

EXEMPLES D'OUVRAGES « ANNEXES » CONSTITUANT UN SYSTÈME DE PROTECTION CONTRE LES SUBMERSIONS (VOIR 1.2.2)

Écluses



Figure 26 - Écluse de la Batellerie - Calais (source : Cerema)



Figure 27 - Porte des 10 m et bassin des chasses à Calais (source : Cerema)

Stations de pompage



Figure 28 - Station de pompage de Marck - GCTM (source : Cerema)

1.2.4 Outils numériques pour l'identification des ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection contre les inondations fluviales et les submersions

Lorsqu'aucune étude n'est disponible, ou que les connaissances sont incomplètes pour identifier des systèmes d'endiguement potentiels, des analyses complémentaires peuvent être proposées.

Cette fiche propose :

- Une analyse topographique simple pouvant être menée « à la main » avec un outil SIG ;
- Un outil performant de détection automatique des remblais utilisés sur de grands territoires ;
- Un exemple d'utilisation de modélisation hydraulique 2D pour analyser le rôle d'ouvrages hydrauliques dans un cas complexe.

ANALYSE TOPOGRAPHIQUE SIMPLE

Dans le cadre d'une analyse générale du site, l'analyse géomatique simple suivante permet de donner une première approche du fonctionnement hydraulique du site. Les données sollicitées couvrent l'ensemble du territoire métropolitain ainsi que les DOM, Saint-Pierre et Miquelon, Saint-Martin et Saint-Barthélemy :

1. Travail géomatique sur la BD TOPO IGN :

- extraction dans le thème OROGRAPHIE de la classe LIGNE_OROGRAPHIQUE, qui contient les objets correspondant à des lignes de rupture de pente artificielle ;
- extraction à l'intérieur de cette classe des objets dont l'attribut Nature est dénommé Levée, Mur de soutènement, Talus ;

- extraction dans le thème HYDROGRAPHIE de la classe SURFACE_EAU, qui contient les objets correspondant à des surfaces d'eau terrestre, naturelle ou artificielle ;
- extraction au sein de cette classe des objets dont l'attribut Nature est dénommé Surface d'eau ;
- extraction dans le thème HYDROGRAPHIE de la classe TRONCON_COURS_EAU.

2. Superposition des objets extraits de la BD TOPO IGN sur le Scan 25 IGN : analyse visuelle de l'altimétrie pour conserver uniquement les objets situés entre un cours d'eau et une zone basse topographique et les objets situés sur ou en arrière du trait de côte.

DÉTECTION AUTOMATIQUE DE REMBLAIS

La présence d'un modèle numérique de terrain (MNT) fin permet la réalisation d'analyses automatiques qui vont détecter certaines formes topographiques. Ainsi, certains obstacles aux écoulements (digues, remblais linéaires, cordons naturels) présentant des caractéristiques particulières (hauteur marquée par

rapport au terrain naturel environnant) peuvent être détectés par des analyses topographiques. La méthode exposée ci-dessous a été élaborée par le Cerema. Elle consiste en une comparaison des dénivelés existant de part et d'autre d'un point du MNT.

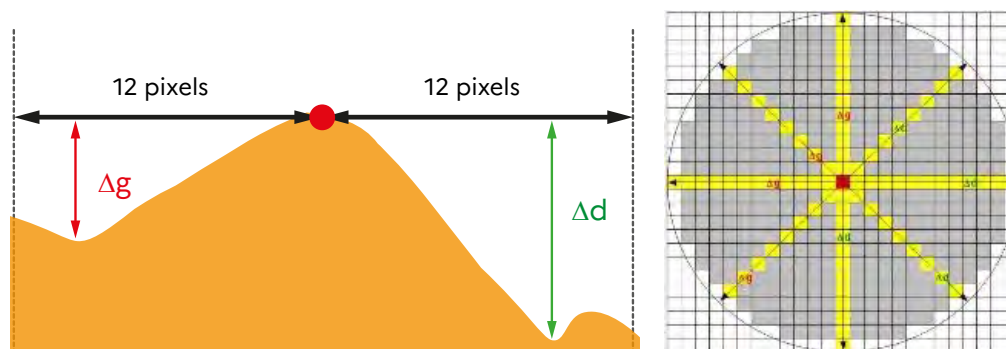


Figure 29 - Schéma de principe de calcul du différentiel de dénivelé de part et d'autre d'un point (vue de profil et vue du dessus)

Dans l'exemple **Figure 29**, le point de départ en rouge se situe sur une crête de remblai.

A partir de ce point, les calculs de dénivelés sont opérés sur 4 directions (**voir Figure 29**).

Sur chaque profil:

- on mesure Δg et Δd de part et d'autre du point initial ;
- la valeur minimale doit être > 0 ; on retient alors cette valeur pour le profil.

La plus grande valeur obtenue sur les 4 profils est attribuée au point

La méthode permet la détection de remblais **sur de grandes surfaces** de manière automatique. Elle est utile pour identifier les structures de types digues ou remblais linéaires d'infrastructures pouvant faire obstacle à l'eau, mais également des structures plus larges de type cordons dunaires.

Exemple de résultat obtenu :

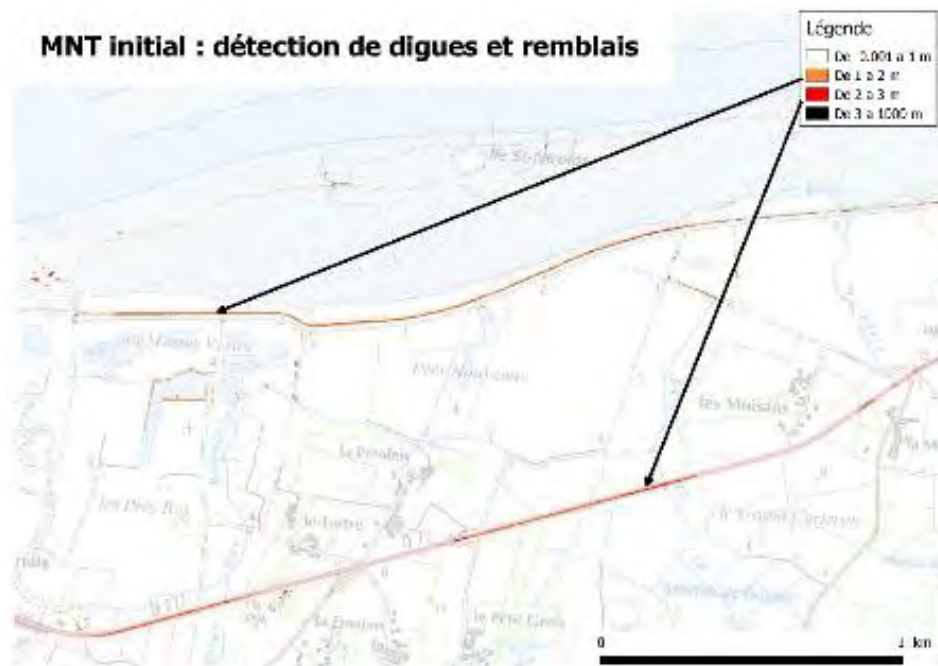


Figure 30 - Résultats de la détection automatique des remblais sur le site de Corsept (44)

Pour être correctement exploités, les limites des résultats produits doivent être bien connues:

- la qualité des résultats dépend directement des caractéristiques du MNT: pas et précision altimétrique ; un MNT au pas de 1 m suffit pour réaliser une analyse de ce type mais un MNT avec une densité supérieure, un semi de points ou un levé lidar brut peut être éventuellement privilégié pour améliorer la précision de l'analyse ;
- tout obstacle topographique peut être identifié. Ainsi des structures non conçues pour faire obstacle à l'eau peuvent être recensées (murs anti-bruits...) ; les résultats automatiques nécessitent une analyse complémentaire par un spécialiste ;
- à l'inverse, certains obstacles « structurels », trop fins pour apparaître sur la topographie, ne seront pas détectés (murs, murets, parapets...).



Pour aller plus loin

http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Détection_de_rembrai_avec_le_LIDAR

EXEMPLE DU SECTEUR DE SANGATTE ET PROPOSITION DE SON SYSTÈME D'ENDIGUEMENT

Le secteur dit de Sangatte correspond au linéaire de côte qui commence à l'ouest de Calais et se termine au niveau de la ville de Sangatte à l'endroit où la côte devient falaise. La côte est constituée de deux grands ensembles qui forment un premier rang de protection aux zones basses à l'arrière :

- le cordon dunaire géré par le conservatoire du littoral qui s'étend de Blériot-plage à l'est jusqu'au début de la digue de Sangatte ;
- l'ensemble digue de Sangatte qui s'étend de la limite ouest du cordon dunaire jusqu'à la ville de Sangatte à l'ouest.



Figure 31 - Système de protection de Sangatte (source : Cerema)

Dans la zone protégée, se trouvent des digues de second rang dites digues de renclôtures. Le Cerema a procédé à une recherche historique de ces ouvrages. Cette recherche a permis de considérer que les digues de renclôtures avaient une utilité au moment de leur édification. Mais la morphologie et l'aménagement des secteurs voisins a fortement évolué depuis leur édification. Il a semblé alors important d'analyser leur rôle actuel sur des submersions générées par des défaillances du système de protection.

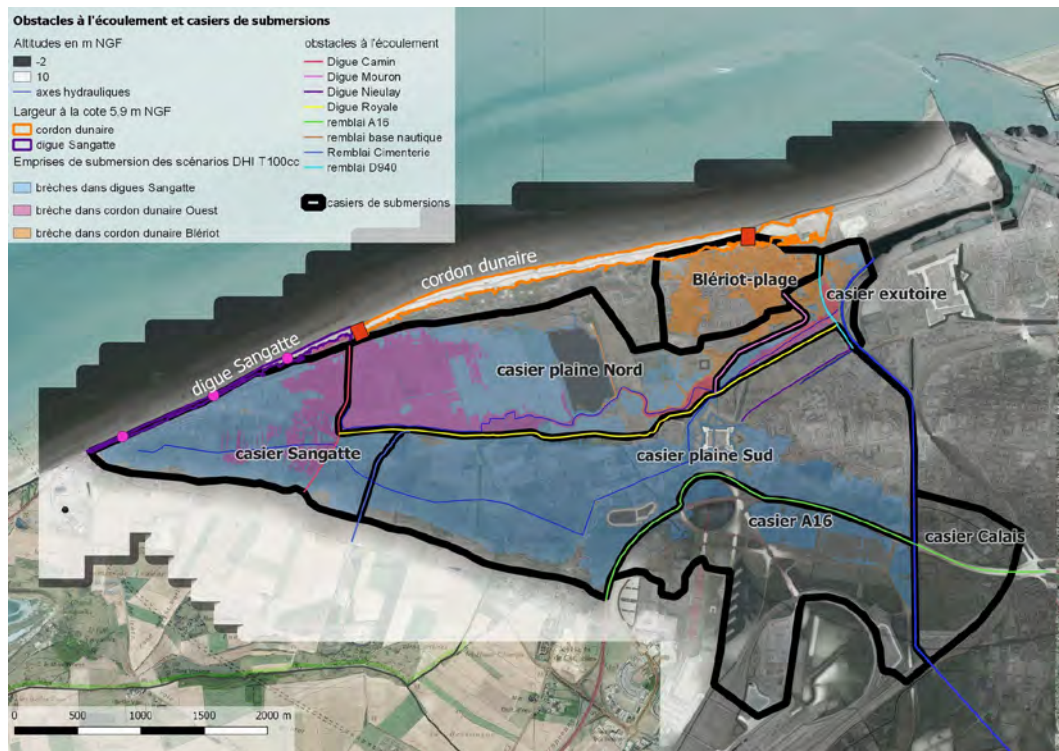


Figure 32 - Casiers de submersion (source : Cerema)

D'autre part, le Cerema a procédé à une analyse du Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu du LiDAR littoral qui décrit précisément la topographie du secteur afin de cerner l'ensemble des remblais pouvant jouer un rôle significatif d'obstacle à l'écoulement en cas de submersion marine. Certains d'entre eux sont des digues déjà connues, les autres sont des remblais aux finalités diverses. La hauteur de ces ouvrages est supérieure à 1,5 m sur la majeure partie de leur linéaire.

Ainsi, ces ouvrages peuvent influencer les submersions car ils font obstacle à leur propagation, et contribuer potentiellement à la protection contre les submersions. Cela rendrait possible leur intégration dans le système d'endiguement en tant qu'ouvrages contributifs, mais il est apparu nécessaire d'analyser plus précisément leur influence sur les submersions résultant de défaillances du premier rang de protection.

Le Cerema a réalisé un modèle hydraulique 2D afin de mieux comprendre le rôle de ces digues de second rang en cas de rupture du premier rang.

Plusieurs scénarios de défaillance du premier rang ont été étudiés. Pour permettre les comparaisons entre scénarios de défaillance et apprécier l'utilité des digues et des remblais, des cartographies exploitant les résultats des simulations ont été produites.

Deux types de cartographie ont été réalisées :

- des cartes présentant les emprises et hauteurs d'eau maximales atteintes pour le scénario.

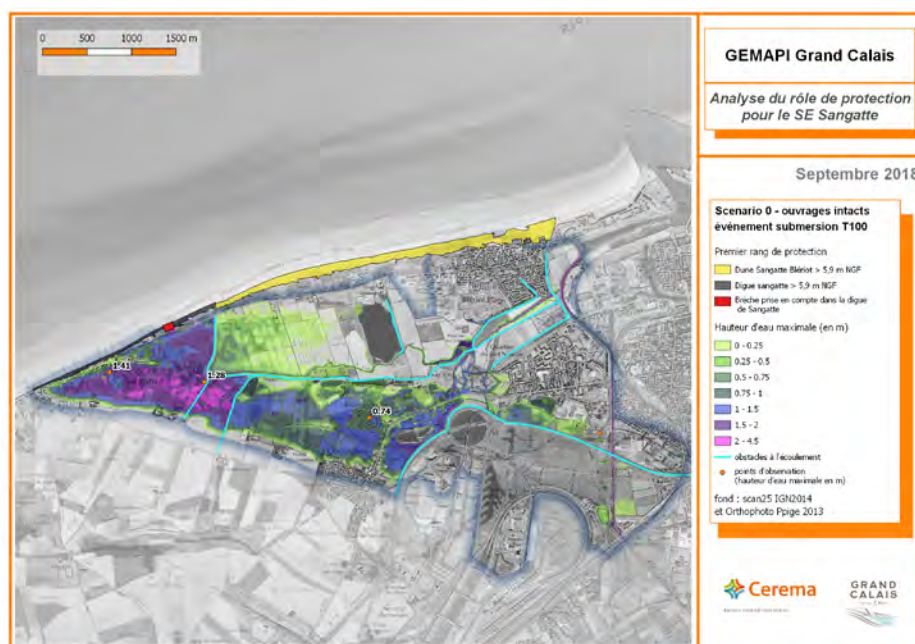


Figure 33 - Exemple de cartographie présentant la hauteur de submersion (source : Cerema)

- des cartes présentant les enjeux touchés pour le scénario.

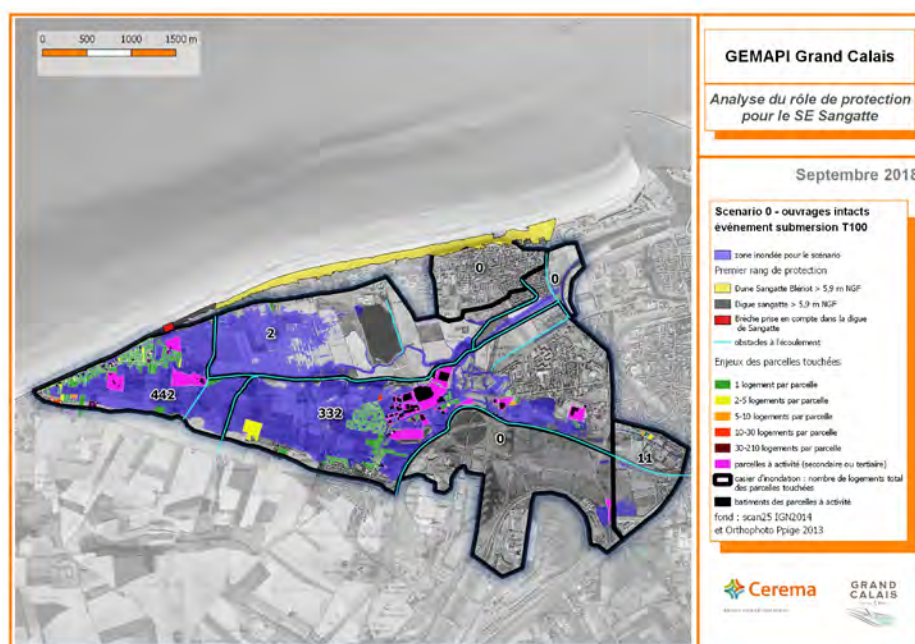


Figure 34 - Exemple de cartographie présentant les enjeux touchés (source : Cerema)

Ces cartes illustrent que certaines digues de second rang ont un effet de protection sur des zones avec des enjeux mais contribuent également à l'aggravation des submersions pour d'autres secteurs à enjeux.

Les enjeux touchés par la submersion représentés sur ces dernières cartes sont les logements et activités du secteur. Les analyses des enjeux touchés (nombre de logements par casier hydraulique, parcelles à activité) ont été réalisées à partir de la base de données des fichiers du foncier, millésime 2016 (dernière version disponible au moment de l'étude).

Pour permettre de comparer au mieux deux scénarios, des cartes différentielles ont été également réalisées (Voir Figure 35). Les différences de hauteur d'eau maximales entre les deux scénarios y sont montrées ainsi que les différences d'estimation de nombre de logements touchés par casier.

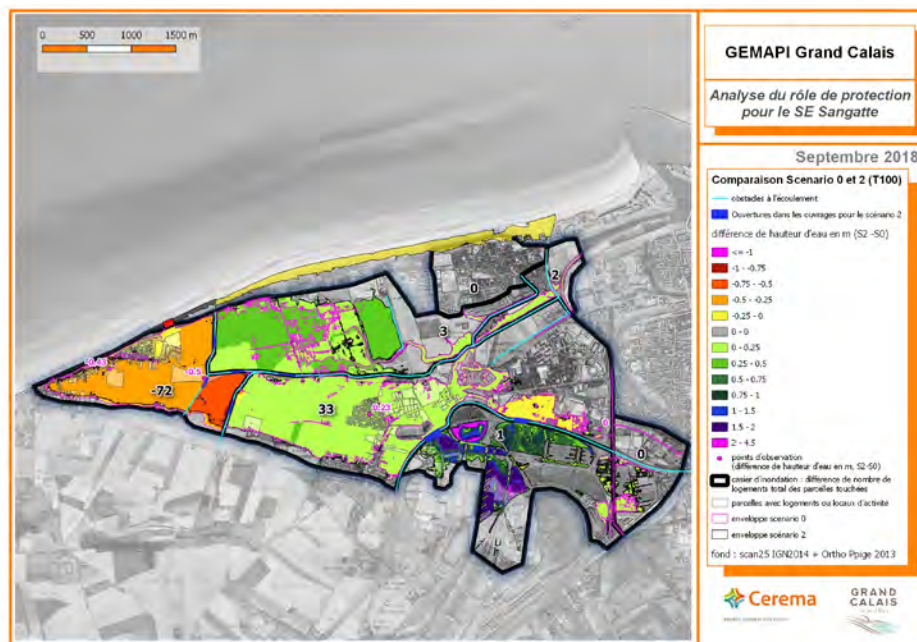


Figure 35 - Exemple de carte différentielle (source : Cerema)

Le système d'endiguement du secteur de Sangatte comprend nécessairement la digue de Sangatte, ouvrage du premier rang de protection dont la fonction est d'empêcher les entrées d'eau en provenance de la mer.

Le choix de l'intégration d'autres ouvrages dans le système d'endiguement fut plus délicat. Les analyses précédentes ont montré que certaines digues de second rang ont un effet de protection sur des zones avec des enjeux mais contribuent également à l'aggravation des submersions pour d'autres secteurs à enjeux.

Le scénario où ces ouvrages seraient intégrés dans le système d'endiguement impliquerait les contraintes supplémentaires suivantes pour la collectivité :

- travaux lourds de renforcement à prévoir pour rendre les digues résistantes à une surverse (surverse très probable étant donné le faible niveau altimétrique de leur cote d'arase) ;
 - entretien et suivi réguliers de l'état des ouvrages ;
 - gestion administrative plus complexe et plus coûteuse.

Au vu de l'investissement lourd nécessaire à cette intégration et du gain de protection discutable qu'elle permet, la collectivité a fait le choix de ne pas les intégrer dans son système d'endiguement.

Les réflexions et échanges qui ont eu lieu autour de la démarche suggéraient notamment qu'il était plus efficace d'investir dans le maintien du premier rang de protection permettant une amélioration de la protection de l'ensemble du secteur de Sangatte.



Pour aller plus loin

Cerema. «*Études de dangers de systèmes d'endiguement - concepts et principe de réalisation des études*». 2018

R. TOURMENT, B. BEULLAC. «*Inondations - Analyse de risques des systèmes de protection - Application aux études de dangers*». 356 p. Éd. Lavoisier. 2019

Cerema. «*Préconisations pour le recensement des ouvrages et structures de défense contre les aléas côtiers*». 2011

Cerema. «*Étude des systèmes de protection contre les submersions marines - Méthodologie et études de cas issues du retour d'expérience Xynthia*». Mars 2016

2. CARACTÉRISER LES ZONES POTENTIELLEMENT PROTÉGÉES

2.1 Quelle est l'enveloppe de la zone potentiellement protégée ?

Lorsque que des ouvrages de protection formant un système hydrauliquement cohérent ont été recensés, l'étape suivante consiste à identifier la zone potentiellement mise hors d'eau du fait de la présence de ces ouvrages.

Une première estimation des zones «endiguées» au droit des structures de protection déjà connues, peut être assimilée à la surface de l'EAIP *Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles*⁽⁴⁾ (Voir 1.1.1), qui peut être considérée comme une surface maximale de la zone potentiellement protégée.

Quand des études sont disponibles, notamment lorsque des études de dangers avaient été réalisées pour les ouvrages de type «digue» classés selon la réglementation de 2007, elles apportent des informations plus précises sur la zone potentiellement protégée.

En l'absence d'étude technique existante, apportant des éléments sur le rôle des ouvrages en cas d'inondation, et si des données topographiques sont disponibles, celles-ci peuvent être exploitées pour apporter une première visualisation de la zone potentiellement mise hors d'eau par les ouvrages. Ces méthodes ne nécessitent pas de modélisation hydraulique complexe. La zone ainsi définie doit bien sûr être précisée lors des études de dangers, si l'objectif est finalement de déclarer un système d'endiguement.

De même, ces méthodes ne renseignent pas sur le niveau de protection effectif des ouvrages qui devra être déterminé dans les études de dangers.

Néanmoins, l'intérêt d'avoir une première enveloppe de la zone potentiellement protégée permet d'avoir une idée des principaux enjeux qui seraient concernés et peut renseigner le gestionnaire, qui devra décider de l'intérêt d'approfondir l'analyse de tel ou tel système de protection.

2.1.1 Exploitation des données topographiques pour estimer l'enveloppe d'une zone potentiellement protégée contre les inondations

Lorsque les données hydrauliques disponibles ne permettent pas de connaître l'étendue d'une zone potentiellement protégée contre les inondations, des analyses topographiques automatiques peuvent être utiles. Du fait de la cote d'eau variable le long d'un cours d'eau, une méthodologie spécifique est proposée. Elle consiste à définir la zone «endiguée» par la projection sur la topographie de la cote de crête de digue (variable le long du cours d'eau). La cote de crête de digue est retenue par défaut, en l'absence d'autres connaissances pertinentes issues d'études hydrauliques sur les niveaux d'eau. En présence de connaissances plus fines, une autre ligne d'eau peut être choisie pour sa pertinence au regard des objectifs de protection. Il peut ainsi être choisi de représenter les entrées d'eau qui résulteraient d'une défaillance (érosion interne, affouillements) se produisant bien avant que la crête de digue ne soit atteinte.

Dans la méthode déroulée ci-dessous, le choix a été fait de représenter la zone qui serait soustraite aux inondations tant que les eaux ne dépassent pas la crête de l'ouvrage. Cela sous-entend que l'ouvrage ne présente pas de défaillance structurelle jusqu'à atteindre ce niveau. Cette enveloppe est donc maximisante.

⁴ Cette enveloppe de zone inondable ne tient pas compte des ouvrages de protection

DÉTERMINATION DE LA COTE DE CRÊTE DE DIGUE

Lorsque des ouvrages de protection (digues ou remblais) ont été recensés, la présence d'un MNT fin permet la réalisation d'analyses automatiques pour la détection de la cote de crête de la digue.

Le Cerema a développé une méthodologie basée sur la connaissance du linéaire d'ouvrage et la récupération d'un profil en long de la crête de l'ouvrage qui est illustrée **Figure 36**.

Un MNT au pas de 1 m peut être utilisé pour réaliser une analyse de ce type mais un MNT avec une densité supérieure, un semi de points ou un levé lidar brut est à privilégier pour améliorer la précision de l'analyse.

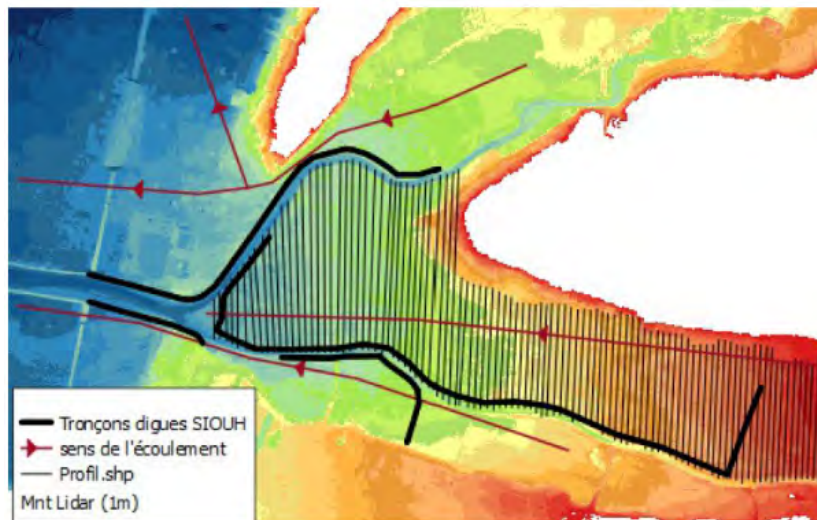


Figure 36 - Profils transversaux à la digue permettant de déterminer le profil de crête (source : Cerema)

PROJECTION DE LA COTE DE CRÊTE DE DIGUE

Lorsque la cote de crête des ouvrages d'un système de protection est connue, il est proposé en première approche de projeter cette cote afin d'estimer le contour de la zone potentiellement protégée.

En première estimation, une projection sur un profil transversal au sens de l'écoulement en lit majeur de la cote de crête de l'ouvrage peut être réalisée pour définir la largeur de la zone potentiellement protégée. Cette hypothèse très simplificatrice est à utiliser avec précaution (voir encadré suivant).

La totalité des projections permet d'estimer le contour de la zone potentiellement protégée et la dénivelée au sein de la zone, entre la topographie et cette cote de crête.

Ces données, en complément d'une analyse experte du fonctionnement hydraulique, permettent d'obtenir une première définition des zones potentiellement protégées et des éventuels casiers hydrauliques.

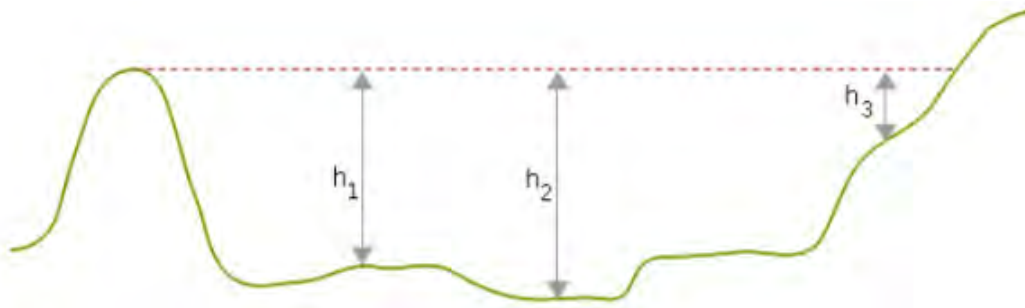


Figure 37 - Définition des dénivelées (h_1 , h_2 et h_3) par projection de la crête de digue selon une orthogonale au sens d'écoulement dans le lit majeur (source : Cerema)

Pour être correctement exploitées, les limites des données produites doivent être bien connues: les dénivelées entre la cote de crête de l'ouvrage et la topographie naturelle du terrain peuvent être assimilées aux hauteurs d'eau maximales atteintes si le niveau d'eau atteignait la cote de crête de l'ouvrage pour les secteurs les plus proches des ouvrages uniquement. En pratique, la propagation de l'inondation et l'effet de celle-ci sur la ligne d'eau ne permettent pas de généraliser: l'inondation ne se propage généralement pas perpendiculairement à la digue, une fois cet obstacle franchi.

L'assimilation des dénivelées entre la cote de crête de l'ouvrage et la topographie à des hauteurs d'eau sera d'autant plus représentative de la réalité que la surface du secteur est faible par rapport au volume de l'inondation.

Par ailleurs la qualité des résultats dépend:

- des caractéristiques du MNT: pas et précision altimétrique ;
- du pas retenu entre chaque profil transversal ;
- de l'analyse de l'orientation principale des écoulements.

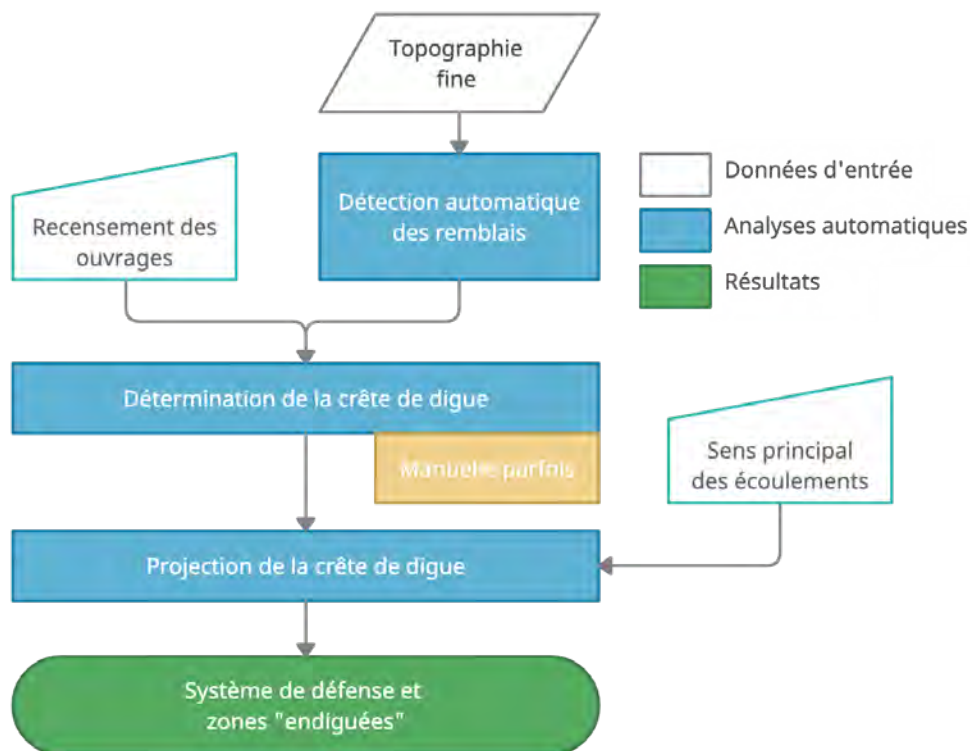


Figure 38 - Synthèse du mode de détermination d'un système endigué (source : Cerema)

EXEMPLE D'APPROCHE DE L'ENVELOPPE DE LA ZONE POTENTIELLEMENT PROTÉGÉE PAR UN SYSTÈME D'ENDIGUEMENT

La caractérisation géométrique (profil en long et profils en travers) des ouvrages permet de déterminer la zone potentiellement protégée par l'ouvrage.

Application au cas de la digue de Decize - Faubourg Saint Privé

La digue de Decize - Faubourg Saint-Privé est située sur la commune de Decize (membre de la Communauté de communes Sud Nivernais regroupant 20 communes), sur la rive droite de la Loire (bras de la Vieille Loire) au niveau de la confluence avec l'Aron (rive gauche). Cet ouvrage d'environ 720 m assure la protection d'un quartier de Decize, le Faubourg Saint-Privé, séparé du centre historique par la Vieille Loire. La digue est représentée en jaune sur l'illustration **Figure 39** :

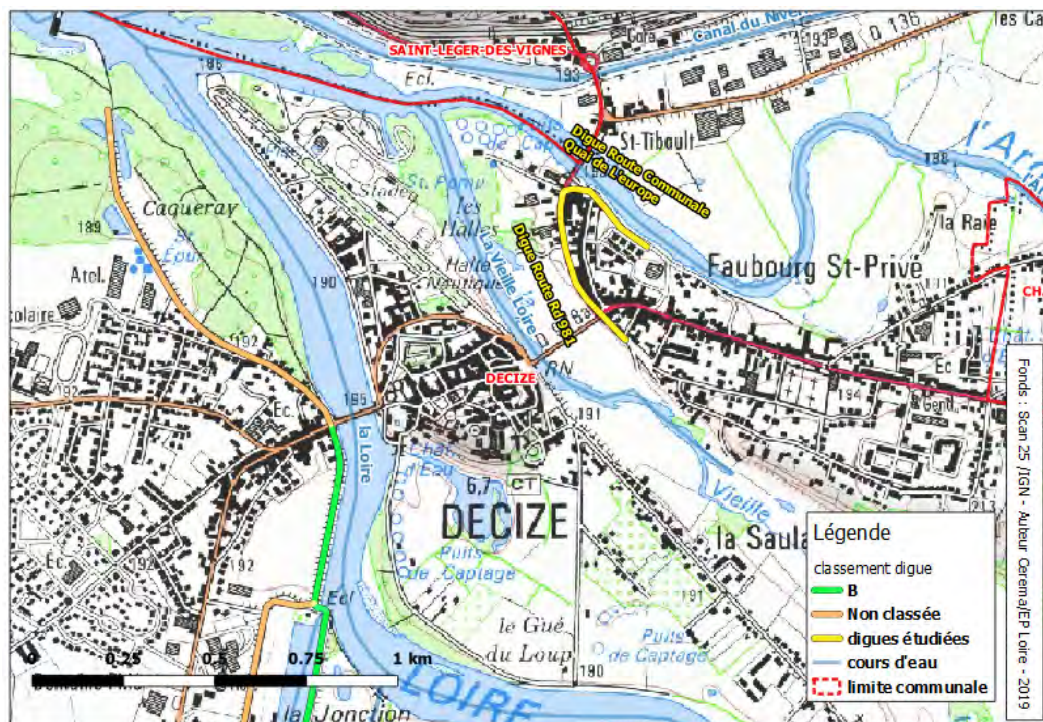


Figure 39 - Localisation de la digue de Decize - Faubourg Saint-Privé (source : Cerema)

Plusieurs études en lien avec le risque inondation ont été réalisées sur ce secteur, notamment un atlas de zones inondables et un PPRI, qui donnent une première idée du fonctionnement hydraulique du secteur :

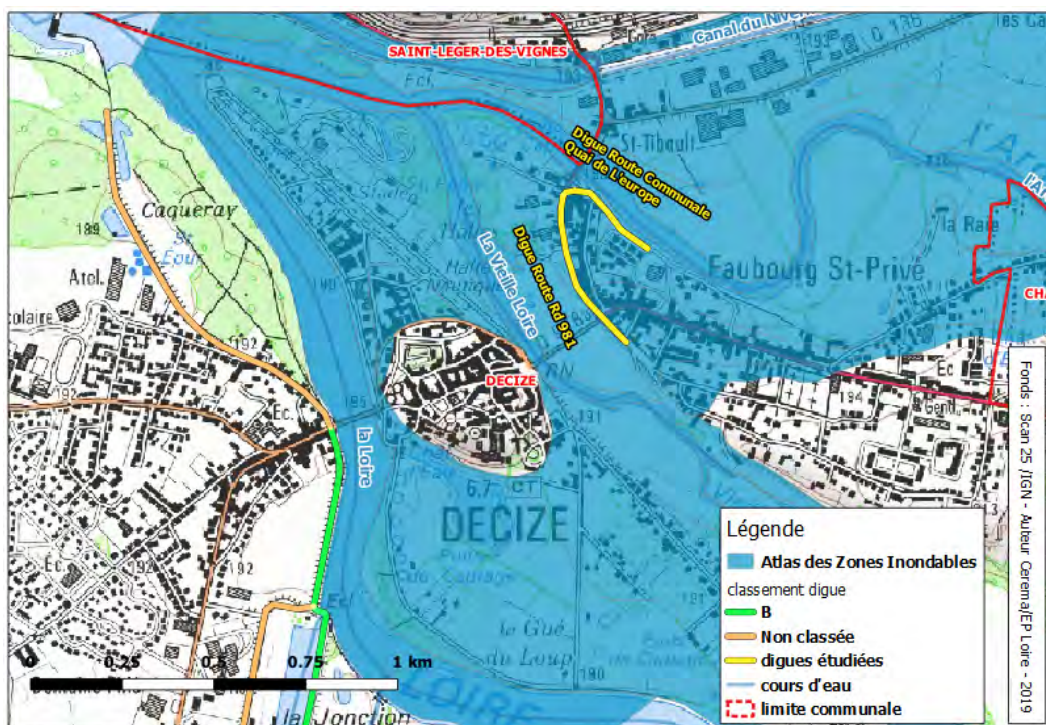


Figure 40 - Zone inondable du bassin versant de l'Aron (source : Cerema, 2019)

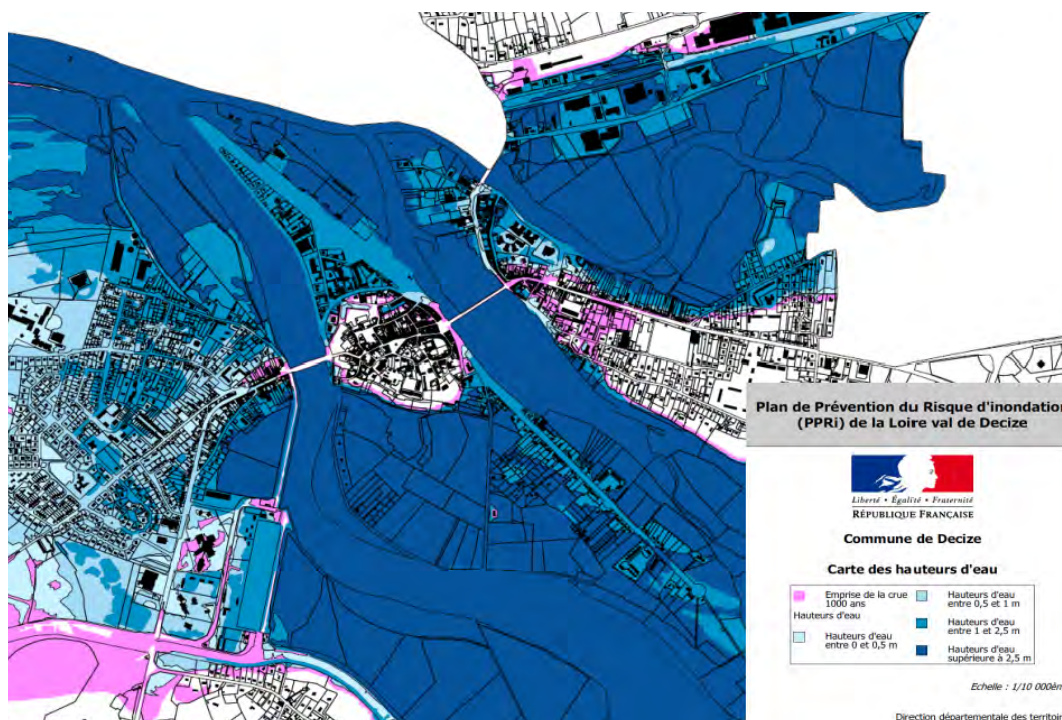


Figure 41 - Révision du PPRI du val de Decize - carte des hauteurs d'eau (2018) (source : PPRI de la Loire)

Analyse topographique

Une campagne de levés topographiques utilisant la technologie Lidar a été commandée par la DREAL Centre-Val de Loire en 2009 sur la Loire entre le barrage de Villerest et Nevers. Cette campagne a permis d'obtenir un Modèle Numérique Terrain (MNT). Sa précision planimétrique est de 1 m et sa précision altimétrique de 0,10 à 0,30 m.

La caractérisation topographique de la digue a été réalisée à partir du MNT Lidar, complétée par une visite de terrain. Le MNT a permis d'établir un profil en long de l'ouvrage et des profils en travers tous les 25 mètres, représentés **Figure 43** :

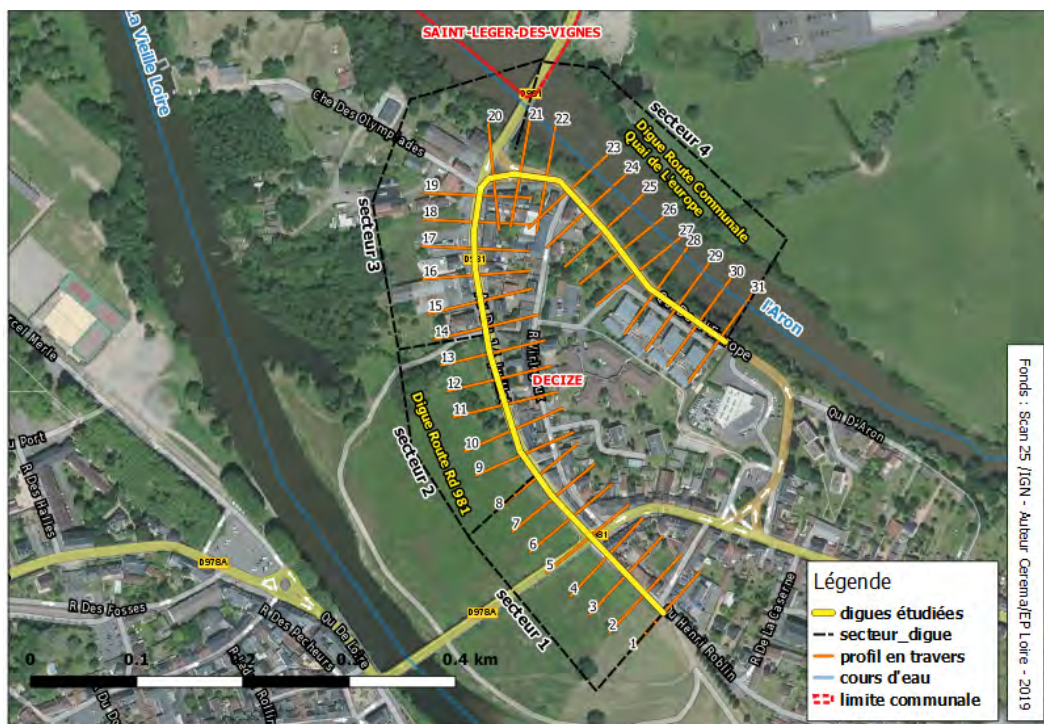


Figure 42 - Digue de Decize - Faubourg Saint-Privé - Linéaire étudié et localisation des profils en travers (source : Cerema)

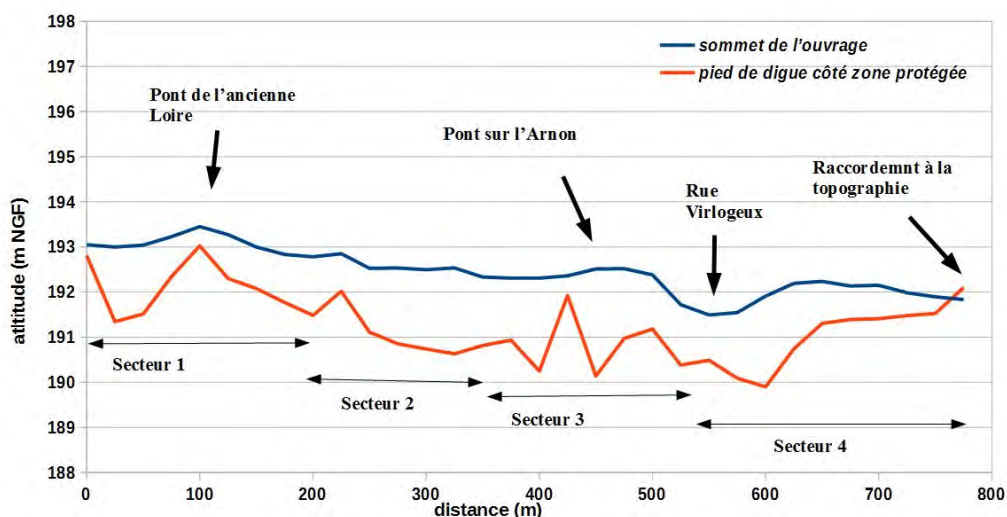


Figure 43 - Profil en long de la digue de Decize - Faubourg Saint-Privé (source : Cerema)

Le profil en long des ouvrages montre un point bas au niveau de l'intersection du quai de l'Europe et de la rue Virlogeux à **191,5 mNGF**.

Identification de la zone protégée potentielle

La zone protégée potentielle a été déterminée, de façon approchée par projection, sur le modèle numérique de terrain (Lidar), d'une ligne parallèle aux lignes d'eau des crues de 2003 et de 1846, et passant par le point bas de la digue: 191,5 mNGF (ligne jaune sur le graphique **Figure 44**).

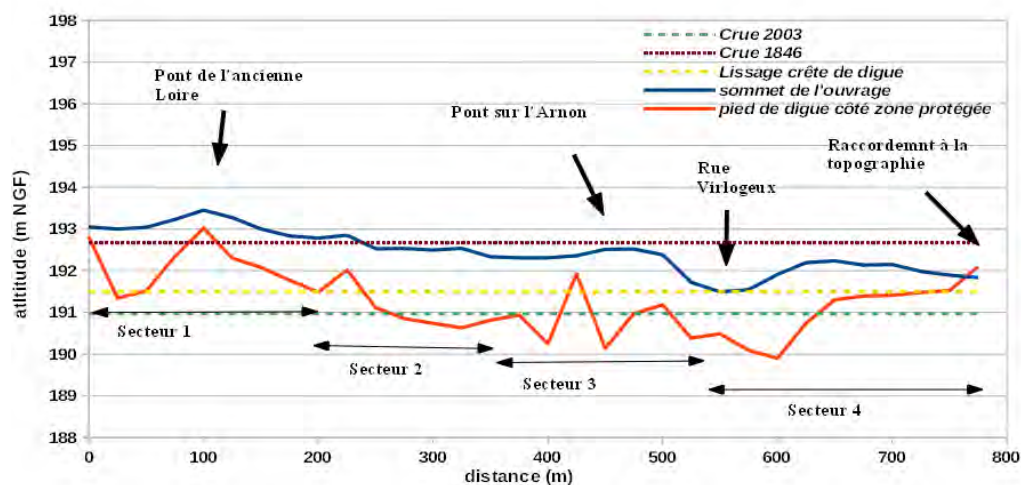


Figure 44 - Détermination de la zone protégée potentielle par projection de la ligne d'eau passant par le point bas de la digue (source : Cerema)

La crue de décembre 2003 est d'occurrence vicennale à Nevers d'après la banque hydro⁽⁵⁾. La crue prise en compte dans le PPRI est celle de 1846, d'occurrence 500 ans à Nevers d'après l'étude EGRIAN⁽⁶⁾. Ces lignes d'eau sont reconstituées à partir des laisses de crue.

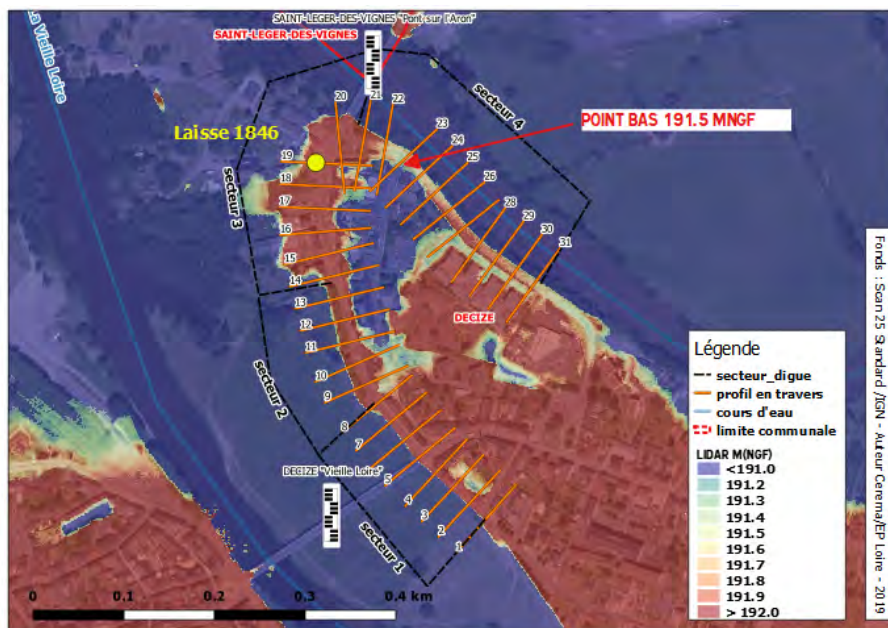


Figure 45 - Identification du point bas de la digue de Decize - Faubourg Saint-Privé (source : Cerema, 2019)

⁵ <http://hydro.eaufrance.fr/>

⁶ http://www.inondations-agglo-nevers.com/IMG/pdf/egr_400_syn_008_brochureph1_bd.pdf

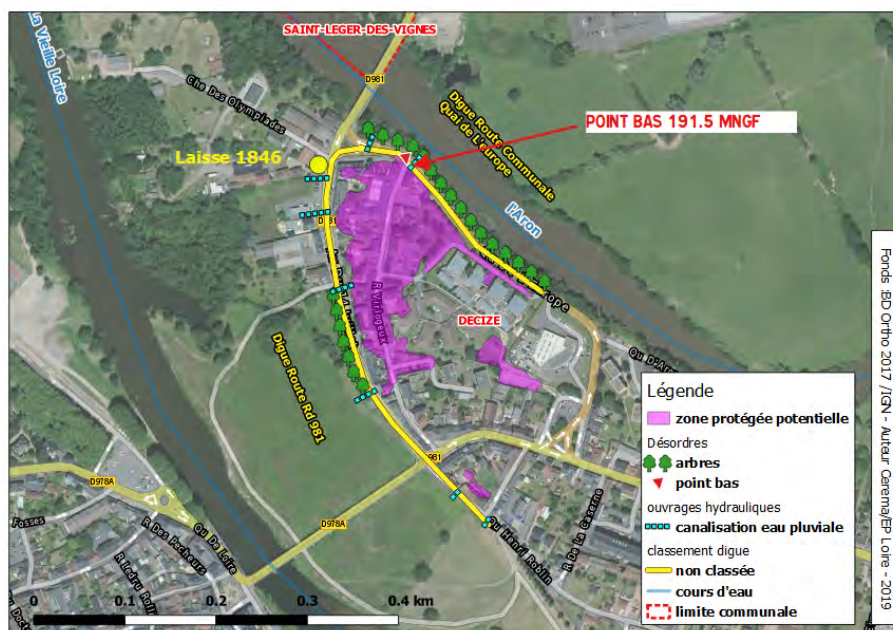


Figure 46 - Zone potentiellement protégée par la digue de Decize - Faubourg Saint-Privé (source : Cerema, 2019)

En première approche, la zone protégée potentielle ainsi délimitée possède une surface d'environ 2,05 ha décomposée en 3 zones non connectées hydrauliquement. On observe que l'une des 3 zones est isolée sans point d'entrée d'eau et pourrait ne pas être retenue.

Cette analyse constitue une aide à la décision et ne préjuge pas du système d'endiguement et de la zone protégée qui seront finalement définis par l'EPCI.

2.1.2 Exploitation des données topographiques pour estimer l'enveloppe d'une zone potentiellement protégée contre les submersions

En contexte maritime, l'estimation de l'emprise d'un système d'endiguement, la définition des casiers hydrauliques et l'évaluation de leur niveau de protection « apparent » peut s'effectuer par la comparaison :

- des **zones basses** (zones situées topographiquement sous un niveau marin donné) ;
- et des **zones basses connectées avec la mer**, c'est-à-dire **sans obstacle** entre la mer et la zone considérée.

Cette analyse topographique permet d'estimer l'emprise du système et de définir les principaux casiers hydrauliques de la zone basse (cf. **Figure 47**). En effet, les zones basses situées derrière un relief ou une structure (digues, cordons naturels, remblais d'infrastructures) peuvent être identifiées. Ces zones, non connectées directement à la mer, peuvent être considérées comme potentiellement « protégées » pour une cote d'événement donnée.

Une analyse automatique des zones basses et des zones basses connectées à la mer, rendue possible par l'existence de MNT à un pas suffisamment fin (1 m) et avec une précision altimétrique de l'ordre de 20 cm, peut être réalisée de manière systématique sur le littoral.

Les résultats du traitement automatique se présentent sous la forme d'une succession de couches raster SIG, dont le nombre est lié à la quantité de niveaux marins testés.

La valeur haute de la plage de niveaux marins testés, qui donne le contour global du système de protection, peut être considérée localement comme trop importante (niveau marin ne pouvant être atteint). Les éléments de connaissance locaux sur les niveaux marins peuvent permettre d'affiner les résultats des zones basses et zones basses connectées à la mer, en limitant si nécessaire le niveau marin maximum retenu et en adaptant en conséquence, les limites des zones « endiguées » associées.

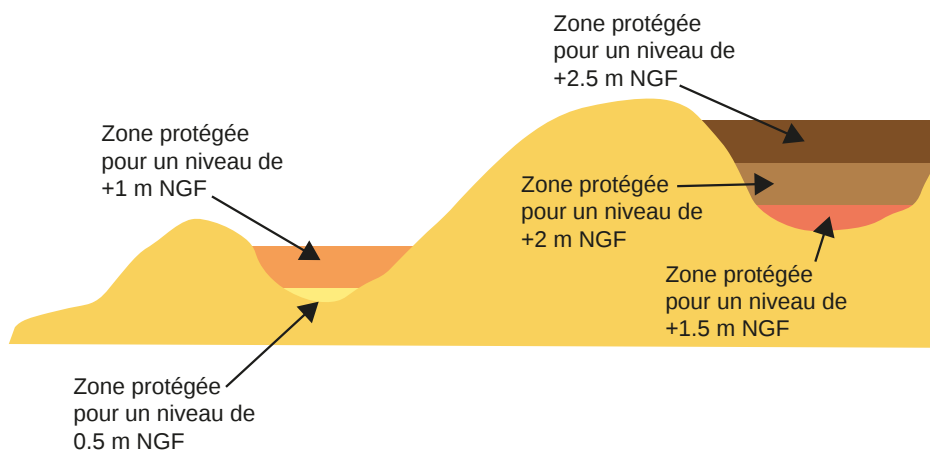


Figure 47 - Différence entre zones basses séparées de la mer par un relief, et mises hors d'eau pour différents niveaux marins (source : Cerema)

Exemple de résultats obtenus :

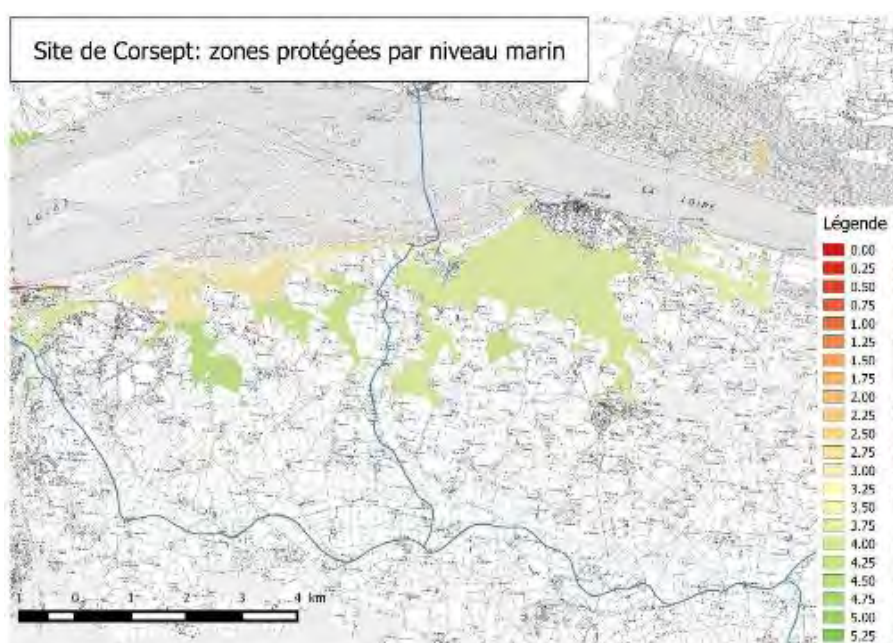


Figure 48 - Exemples de zones identifiées comme mises hors d'eau, par pas de 0.25 m de niveaux marins (IGN69) sur le site de Corsept (44)

Pour être correctement exploitées, les limites des données produites doivent être bien connues :

- l'analyse est purement topographique et ne rend pas compte de la dynamique de l'écoulement. Ainsi l'ensemble des zones potentiellement protégées définies pourraient ne pas être inondables par la mer du fait notamment du rapport entre, d'une part, la surface de la zone, son éloignement à la côte et, d'autre part, la durée de surverse liée à la marée ou la section sur laquelle la surverse se produit (et qui est visible sur les cartes). Par ailleurs, la méthode ne rend pas compte des franchissements par paquets de mer ;

- les résultats dépendent directement des caractéristiques des données topographiques du MNT utilisé. En particulier, la micro-topographie (comme les murets de haut de plage d'épaisseur inférieure à 1 m), n'est pas prise en compte.

Dans les cas maritimes les plus simples, cette analyse des zones basses, connectées ou non à la mer, couplée avec la détection automatique des remblais (Voir 1.2.4), permet de faire une première définition des contours des systèmes d'endiguement et des casiers hydrauliques. Une analyse experte permet de définir si ces données sont suffisantes :

- identification des structures ayant un rôle de protection contre les inondations (localisation, type) ;

- adéquation entre les zones identifiées et les zones «réellement» inondables (en fonction notamment des estimations des volumes d'eau entrant potentiellement) ;
- compréhension des phénomènes et des mécanismes permettant l'inondation de chaque sous-secteurs.

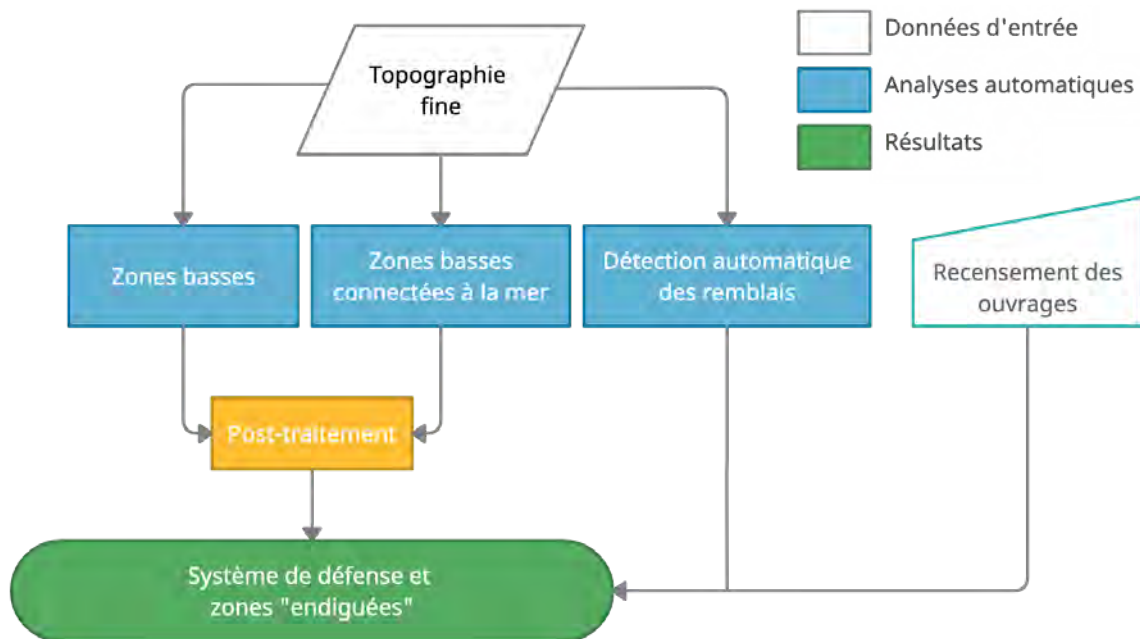


Figure 49 - Synthèse des méthodes d'analyses simplifiées d'un système endigué en contexte littoral (source : Cerema)

2.2 Quels sont les enjeux dans la zone potentiellement protégée ?

La définition d'un système d'endiguement repose autant sur l'identification des ouvrages de protection que sur la caractérisation des enjeux potentiellement protégés. En effet ce sont ces derniers qui vont conditionner la classe du système, mais aussi la surveillance à opérer, l'organisation des opérations de secours en cas de défaillance...

La cartographie des enjeux sur le territoire, combinée à l'identification des systèmes d'endiguement, est une aide à la définition d'une stratégie cohérente et proportionnée de prévention des inondations. Elle permet de hiérarchiser les secteurs endigués et de définir des priorités de gestion et d'action en fonction des ambitions et des moyens de la collectivité.

Sur un grand territoire, des outils et bases de données peuvent aider à identifier, caractériser ou encore quantifier l'ensemble des enjeux présents.

Ils sont présentés aux 2.2.1 et 2.2.2 ci-dessous.

Ces fiches présentent :

- les sources d'information et les bases de données exploitables sur SIG, permettant un premier inventaire d'enjeux exposés au risque inondation sur un secteur donné (2.2.1) ;
- des analyses possibles pour identifier les enjeux à partir des bases de données (2.2.2).

2.2.1 Exploitation des données existantes pour l'identification des enjeux sur un secteur endigué

Les données existantes sur les enjeux exposés au risque inondation d'un territoire dépendent généralement de l'intensité du risque sur ce secteur :

- si le secteur appartient à un territoire à risque important d'inondation (TRI) défini dans le cadre de la mise en œuvre de la directive inondation,

une cartographie spécifique des risques a été élaborée pour 3 scénarios d'inondation ; elle figure les enjeux exposés aux différentes crues (probabilité faible, moyenne, forte), tels que les bâtis, les enjeux sensibles (établissements hospitaliers, d'enseignement, campings...), les enjeux pouvant compliquer la crise (installation d'eau potable, stations d'épuration, installations classées, gare, aéroport...), les enjeux utiles à la crise ; par ailleurs un dénombrement par commune du nombre d'habitants exposés est disponible, ainsi qu'une fourchette du nombre d'emplois ;

- si le secteur est couvert par un plan de prévention des risques (PPRI), une analyse des enjeux (au moins sommaire) a pu être menée par les services de l'État ;
- si une démarche de programme d'action de prévention des inondations (PAPI) est menée, les enjeux ont pu être étudiés dans le cadre de l'étude de vulnérabilité demandée - entre autres pièces - à la labellisation de cette démarche par l'État, nécessaire pour l'obtention des subventions ; par ailleurs des actions de PAPI peuvent porter sur l'amélioration de la connaissance des enjeux exposés ;

- d'autres démarches peuvent avoir été l'occasion d'étudier les enjeux: les plans communaux de sauvegarde et les plans ORSEC inondation par exemple.

Recueillir les analyses d'enjeux dans la documentation publique: cartographie de la directive inondation, PPRI, PAPI, documents de gestion de crise: PCS, ORSEC...

Pour compléter ce premier inventaire, il peut être utile d'exploiter les outils existants: en effet plusieurs bases de données permettent d'approcher les enjeux potentiellement exposés à des venues d'eau ou des submersions dans une zone protégée. Seule la BD Topo de l'IGN doit être éventuellement achetée. Les autres sont soit ouvertes et gratuites (données en open data), soit disponibles gratuitement pour les collectivités et un certain nombre d'autres ayant-droits de ces bases.

Le tableau suivant liste les principales données potentiellement utiles aux analyses d'enjeux dans le cadre qui nous intéresse.

Nom de la base de donnée	Obtention	Données utiles	Utilisation et commentaires
Données carroyées à 200 m (INSEE)	https://www.insee.fr/fr/statistiques/2520034	Nombre d'individus par carreau de 200m de côté	Provient du recensement de l'INSEE et d'un traitement en utilisant les données fiscales. Utile pour les calculs de population localisée
Fichier foncier « MAJIC »	Procédure sur https://datafoncier.cerema.fr/	Fichier des locaux pb10_local représentant chaque local par un point en milieu de parcelle, et disposant de nombreux attributs	Permet de localiser maisons et appartements, éventuellement ceux en rez-de-chaussée, et permet un dénombrement de la population et un calcul des dommages potentiels
BD Topo v3 (IGN) Description du territoire à grande échelle	https://geoservices.ign.fr/documentation/diffusion/index.html	BATIMENT ZONE_D_ACTIVITE_ OU_D_INTERET ROUTE_NUMEROTEE_ OU_NOMMEE_VOIE_ FERREE_NOMMEE	Les bâtiments (en enlevant les légers) peuvent servir à localiser la population. Les zones d'activité ou d'intérêt comprennent presque tous les enjeux sensibles ou servant à la gestion de crise. Si on ne souhaite pas d'effectifs, cela peut suffire. Les routes et voies ferrées permettent d'identifier des voies de communication éventuellement concernées.
SIRENE (INSEE) Base des entreprises et de leurs établissements	https://www.data.gouv.fr/datasets/base-sirene-des-entreprises-et-de-leurs-etablissements-siren-siret/ (une version géolocalisée par département est disponible)	Points localisant les activités, nature d'activité, fourchette du nombre d'employés, en activité ou pas	Permet de localiser les activités et d'évaluer une fourchette du nombre d'employés ; complète le recensement de l'INSEE.

Nom de la base de donnée	Obtention	Données utiles	Utilisation et commentaires
Atout France Établissements touristiques classés	https://www.classement.atout-france.fr/hebergements-classes	Adresse, permettant de les localiser via une base adresse. Capacités.	Pas de X, Y. Géoréférencement à réaliser. Choisir HOTEL DE TOURISME ; CAMPING ; VILLAGE DE VACANCE ; RESIDENCE DE TOURISME ; PARC RESIDENTIEL DE LOISIR
Archies Campings	http://www.archiescampings.eu/fra1/ (fichier csv de NAVIGON7)	Points et nom du camping. Numéro de téléphone du gestionnaire.	Base non officielle, réalisée à des fins touristiques. Permet de repérer les campings (parfois plus complet que la BD Topo).
data.education.fr Établissements d'enseignement du primaire et du secondaire	https://data.education.gouv.fr/explore/?sort=modified	Adresse et géolocalisation des établissements d'enseignement du premier et second degrés Effectifs d'élèves du premier degré Effectifs d'élèves du second degré	Repérage des établissements d'enseignement sensibles. Comporte des effectifs permettant d'évaluer des importances.
FINESS Établissements sanitaires et sociaux	https://www.data.gouv.fr/fr/ http://finess.sante.gouv.fr/fininter/jsp/recherche.jsp?mode=simple	Localisation et données sur les types d'établissements et effectifs.	Repérage des établissements médico-sociaux, sensibles. Comporte des effectifs permettant d'évaluer des importances.
ICPE Industries classées pour la protection de l'environnement	http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/	Localisation des ICPE	
STEU Stations de traitement des eaux usées	http://www.sandre.eaufrance.fr/actualite/referentiel-des-stations-de-traitement-des-eaux-usees	Localisation des STEU	

2.2.2 Analyses proposées pour l'identification des enjeux sur un secteur endigué

Les bases de données listées au 2.2.1 apportent des données cartographiques sur les enjeux connus, qui peuvent être exploitées et croisées (par exemple avec les surfaces de zones inondables), pour avoir une bonne représentation des enjeux d'un territoire.

Les analyses doivent bien sûr être adaptées à chaque territoire, notamment en fonction des données disponibles, des moyens à consacrer, et de la nature du territoire (urbain, rural, touristique...).

Il est possible cependant de donner quelques orientations: par exemple le calcul de la population est généralement une bonne base, qui peut être améliorée en recherchant la population qui habite au rez-de-chaussée.

En second lieu, les établissements pouvant compliquer la gestion de crise (notamment les écoles, collèges et lycées, les établissements médico-sociaux, les campings, mais cette liste pourrait être complétée) ou participant à la gestion de crise peuvent être identifiés.

Le tableau suivant propose des analyses à mener à partir des bases de données existantes, apportant des informations intéressantes dans la caractérisation des enjeux:

Enjeux recherchés	Bases utiles	Principes méthodologiques
Population permanente	Fichier foncier ou BD Topo (BATIMENT) + Données carroyées à 200 m	Le principe est de compter le nombre ou la surface de locaux (ou de bâtiment) dans chaque carré de l'INSEE et d'en déduire un ratio de population par local ou par m ² de local. Il est ainsi possible de répartir la population du carroyage sur chacun des points de local ou sur chaque bâtiment.
Nombre d'emplois approximatif	SIRENE	En ne retenant que les établissements en activité, utiliser la tranche d'effectif, lui ajouter 1 (correspondant au gérant), et reporter les effectifs des établissements mal localisés sur les établissements bien localisés.
Établissements sensibles	data.education.fr FINESS	Localiser les points des différentes bases pour les recouper avec l'aléa. Des effectifs peuvent être calculés.
Établissements touristiques (dont campings)	Atout France Archies et BD Topo (pour campings)	Localiser les points des différentes bases pour les recouper avec l'aléa. Calculer les capacités concernées pour les enjeux repérés avec Atout France (base devant être auparavant géocodée à partir des adresses).
Établissements concourant à la gestion de crise	BD Topo	Localiser les points des différentes bases pour les recouper avec l'aléa.
Établissements recevant du public (ERP)	BD Topo	Localiser les points des différentes bases pour les recouper avec l'aléa

La précision actuelle des données permet d'obtenir le type de résultat suivant :

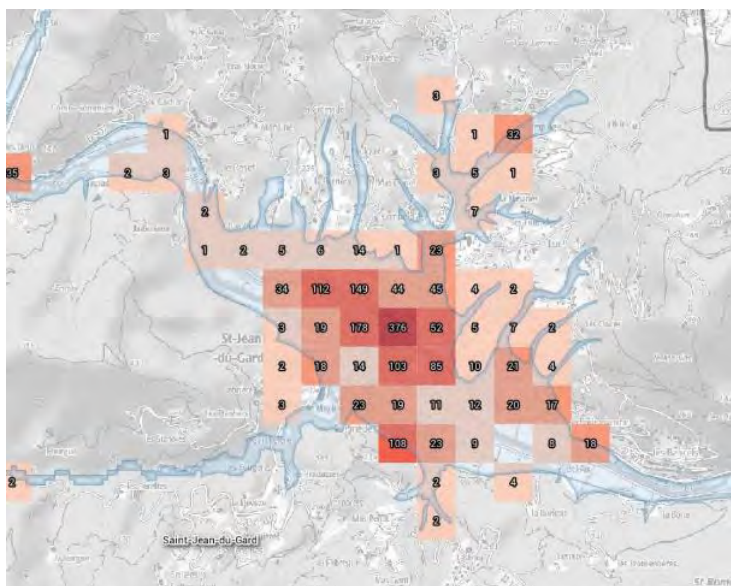


Figure 50 - Exemple de cartographie du nombre de personnes exposées à une inondation donnée (source : Cerema)



Pour aller plus loin

Sur la méthodologie présentée ici :

http://www.cotita.fr/IMG/pdf/1-3-Utilisation_Referentiel.pdf

Sur le référentiel national de vulnérabilité des territoires aux inondations :

Elle vise à réduire les effets des inondations. Elle a décidé la création d'un référentiel national de vulnérabilité des territoires aux inondations. Celui-ci a fait l'objet d'un travail partenarial entre la Direction Générale de la Prévention des Risques et le CEPRI. Son élaboration par le Cerema a été accompagnée par un groupe de travail issu de la commission mixte inondation. Il a été approuvé en 2016. Il est téléchargeable sur le site internet du Cerema : https://www.cerema.fr/fr/system/files/documents/2018/03/180205-Referentiel_inondations-final-web.pdf

Le référentiel propose une déclinaison des 3 objectifs de la stratégie nationale (améliorer la sécurité des personnes, réduire à moyen terme le coût des dommages, raccourcir le délai de retour à la normale) en axes puis en sources de vulnérabilité. Des indicateurs et des méthodes de calcul sont proposés pour évaluer ces sources de vulnérabilité. Les résultats peuvent alors faire l'objet d'une appropriation par les différents acteurs, de manière à construire un plan d'action.

3. DE L'IDENTIFICATION À LA DÉFINITION DES SYSTÈMES D'ENDIGUEMENT

Les parties 1 et 2 proposent différentes méthodes pouvant aider l'autorité responsable de la GEMAPI à identifier les ouvrages susceptibles d'apporter une protection contre les inondations ou les submersions, et les zones concernées par cette protection. Les outils proposés se fondent principalement sur des données existantes, l'objectif étant que l'EPCI-FP ou la structure à qui la compétence GEMAPI a été déléguée ou transférée, se les approprie et puisse les mettre en œuvre pour compléter sa connaissance du territoire.

Cela doit pouvoir lui apporter des éléments utiles à la définition d'une stratégie plus globale de prévention des inondations, puis de définition des systèmes d'endiguement qu'il souhaite mettre en œuvre pour atteindre ses objectifs.

Pour les systèmes d'endiguement retenus, la phase d'identification est aussi une phase de récolte et d'analyse d'information, qui trouvera son prolongement dans la réalisation des études de dangers et des dossiers réglementaires nécessaires à la demande d'autorisation environnementale.

3.1 Vers l'autorisation ou la régulation du système d'endiguement

Les guides suivants apportent des méthodologies utiles à la réalisation des études de dangers :

Cerema. «Études de dangers de systèmes d'endiguement - concepts et principe de réalisation des études». 2018

Cerema. «Réalisation d'une EDD de système d'endiguement - propositions pour un cahier des clauses techniques particulières». Avril 2019

R. TOURMENT, B. BEULLAC. «Inondations - Analyse de risques des systèmes de protection - Application aux études de dangers». 356 p. Ed. Lavoisier. 2019

En préalable à la réalisation des études, l'annexe en partie 4 comporte une liste indicative de données que le gestionnaire pourra capitaliser afin de faciliter la réalisation des études de dangers.

Au-delà de la réalisation des dossiers réglementaires, l'étude de dangers doit être considérée comme un véritable outil à disposition du gestionnaire lui permettant de connaître précisément l'état du système, ses points de faiblesse, son mode de fonctionnement...c'est une ressource essentielle à la mise au point de la surveillance ultérieure des ouvrages, mais aussi à la mise au point du PCS, du système d'alerte, des plans de gestion de crise...

En vue de la définition réglementaire d'un système d'endiguement, le lecteur trouvera également des informations utiles sur les tenants et aboutissants d'une telle démarche dans les publications suivantes :

MTES. «Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (GEMAPI) - volet Prévention des inondations - Quels effets pour les collectivités locales au 1er janvier 2018 en matière d'ouvrages de protection ?». Février 2018

MTE. «Modes d'emploi des systèmes d'endiguement dans le cadre de la GEMAPI et du Décret digues». Avril 2016

CEPRI. «Les ouvrages de protection contre les inondations - s'organiser pour exercer la compétence GEMAPI et répondre aux exigences de la réglementation issue du décret du 12 mai 2015». 2017

Cerema. «Coût des protections contre les aléas littoraux». 2018

Cerema. «Coût des protections contre les inondations fluviales» 2014.

FNCCR, France Dignes. «Systèmes d'endiguement et Aménagements hydrauliques, relevant de la rubrique 3.2.6.0 de la nomenclature eau : Quels ouvrages ? Quelles modalités de régularisation administrative ? Quelles modalités d'instruction des procédures administratives en cas de travaux ?». 2019

3.2 Aide à la gestion des systèmes d'endiguement

Une fois les systèmes d'endiguement autorisés ou régularisés, démarre une phase de surveillance et d'entretien sur le long terme, qui nécessite une connaissance pointue du fonctionnement des ouvrages. Les guides suivants peuvent accompagner le gestionnaire dans sa mission :

Cemagref. «*Guide pratique à l'usage des propriétaires et des gestionnaires - Surveillance, Entretien et diagnostic des Dignes de protection contre les inondations*». Cemagref Éditions, 2001

MEDDTL. «*Référentiel technique digues maritimes et fluviales*». 2015

Cerema. «*Guide international sur les digues*». 2019

Cerema. «*Surveillance, auscultation et entretien des ouvrages maritimes. Fascicule 4 : Dignes à talus et digues mixtes*». 2002

Cerema. «*Interventions d'urgence sur les dispositifs de protection contre les submersions marines*». 2018

Cerema. «*Milieux humides et aménagements urbains*». 2015

Freddy REY, Vincent BRETON, Christine POULARD, Pascal BREIL, Patrice MÉRIAUX. «*Les solutions fondées sur la nature pour accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques*». Revue Science Eaux & Territoires, GEMAPI : vers une gestion plus intégrée de l'eau et des territoires, N° 26, p. 36-41. 2018

Disponible en ligne sur : <http://www.set-revue.fr/les-solutions-fondees-sur-la-nature-pour-accorder-la-prevention-des-inondations-avec-la-gestion> DOI : 10.14758/SET-REVUE.2018.26.07.

3.3 Des alternatives ou compléments à la protection contre les inondations

Enfin, avec le développement des techniques de renaturation des cours d'eau, de solutions fondées sur la nature, une amélioration sensible de l'aléa inondation peut être obtenue. Les références suivantes permettent d'envisager quelques alternatives ou compléments aux systèmes d'endiguement, dans un objectif de protection contre les inondations :

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. «*Pour une nouvelle gestion des rivières à l'heure de la GEMAPI. Tome 1 - Les grands principes. Tome 2 - Exemples de restauration*». 2016

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. «*Et si la rivière redevenait un atout pour mon territoire ?*» 2018

Liste indicative de données sur les ouvrages, à capitaliser pour la réalisation des études de dangers en contexte fluvial

A. Données générales

Toute étude ou document présentant :

- une description du bassin versant concernant le secteur d'étude ;
 - une description de son fonctionnement hydrologique et hydraulique ;
 - une description des crues historiques significatives (dates, évaluation des cotes et/ou débits, estimation de la période de retour associée) ;
 - une description des évolutions morphodynamiques et morphologiques du/des cours d'eau ;
 - les actions et résultats du PAPI d'intention ;
 - les actions en lien avec un Plan Grand Fleuve ;
 - les actions en cours en lien avec le PGRI et la SLGRI ;
 - tout autre document de planification comportant des informations utiles ;
 - la liste des études, rapports de missions d'évaluation, expertises disponibles en lien avec l'hydrologie/hydraulique du bassin versant (auteurs, dates).
- types de digue (remblais, mur, remblais + parapet...) et d'ouvrages hydrauliques associés ;
 - travaux de modification (s) : liste, nature des modifications, date (s) de réalisation ;
 - nature et dates des principaux incidents survenus (ayant conduit ou non à des brèches) ;
 - nature et dates des principales réparations effectuées.
 - derniers compte-rendus de visites techniques approfondies, rapports de surveillance ;
 - éventuels rapports d'auscultation ;
 - éventuelles études de dangers ;
 - éventuels rapports d'examen technique complet ;
 - éventuelles revues de sûreté ;
 - notes de calcul justificatives de la stabilité.

B. Données concernant les ouvrages hydrauliques

Dossier de (s) l'ouvrage (s) établi (s) au titre de l'article R214-122 du code de l'environnement et en particulier :

1-Description générale :

- description des ouvrages : dénomination et identification des ouvrages. Si connus : propriétaires, gestionnaires ;
- plan (s) de situation ; éventuellement dossier photographique ;
- plans d'exécution des ouvrages, (le cas échéant, dossiers d'exécution des différents travaux modificatifs) ;

2-Géométrie :

- profils en long (crête, pieds, déversoirs), identification des points bas ; report des lignes d'eau caractéristiques ;
- profils en travers types par tronçons homogènes ;
- profils en travers caractéristiques (nature et géométrie des matériaux, drainage, étanchéité, protection) ;
- fruit du parement amont, fruit du parement aval, altitude de la crête de digue ou ouvrage hydraulique associé (mNGF), altitude de la crête du déversoir s'il y a lieu (mNGF) ;
- hauteur au-dessus du terrain naturel côté fleuve et côté zone protégée ;
- description des données topographiques et bathymétriques disponibles (date des levés, densité, géoréférencement, ...).

3. Hydrologie/Hydraulique :

- description du fonctionnement des ouvrages en place, notamment en cas de crue (position des éventuels déversoirs, zones d'écoulement, de stockage des eaux déversées, système de ressuyage) ;

- cote de protection si déterminée (mNGF) ;
- les cote, et/ou débit, et/ou période de retour de la crue amenant aux premiers débordements ;
- les lignes d'eaux caractéristiques correspondantes et hydrogrammes de crues ;
- liste des études hydrologiques et hydrauliques disponibles, auteur (s), date (s).

4. Géologie/Géotechnique :

- une synthèse présentant le contexte géotechnique et géologique du terrain de fondation, la qualité géotechnique des ouvrages ;
- le diagnostic le plus récent réalisé sur les ouvrages ;
- une liste des études, diagnostics et résultats de sondages disponibles, auteur (s), date (s).

5. Hydrogéologie :

- étude ou description des phénomènes d'inondations par remontées de nappe dans le secteur d'étude.

6. Environnement des ouvrages :

- description de la zone protégée: estimation de l'étendue, principaux enjeux, ouvrages hydrauliques (digues de second rang, canaux, cours d'eau), remblais structurants (infrastructures, relief), points bas topographiques ;
- nature, position, gestionnaires des ouvrages traversants et ouvrages englobés (réseaux) ;
- description le cas échéant d'autres ouvrages participant à la sécurité (batardeaux, vannes, stations de pompage...);
- description de la végétation ligneuse ;
- topographie du corridor lit mineur + berge (/digue) notamment dans les zones où l'on n'a pas forcément de dossiers d'ouvrages.
- description des données cartographiques disponibles (format, métadonnées), notamment LIDAR.

7. Administratif

- organisation mise en place pour assurer l'entretien et la gestion des ouvrages ;
- consignes de surveillance et consignes en cas d'événement particulier ;
- règlements d'eau ;

- plan particulier d'intervention (PPI) si concerné ;
- actes administratifs (déclaration, autorisation, classement au sens de l'article R214-113, classement ISP, travaux...);

8. Données SIG :

- description des données SIG disponibles, types de données, format, auteur, date, validité.

5. BIBLIOGRAPHIE

MTES. «Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (GEMAPI) - volet Prévention des inondations - Quels effets pour les collectivités locales au 1^{er} janvier 2018 en matière d'ouvrages de protection?». Février 2018

CEPRI. «Les ouvrages de protection contre les inondations - s'organiser pour exercer la compétence GEMAPI et répondre aux exigences de la réglementation issue du décret du 12 mai 2015». 2017

EPTB Loire. «Analyse d'opportunité et de la faisabilité d'un projet d'aménagement d'intérêt commun des ouvrages de protection sur le bassin de la Loire et ses affluents». Février 2017

Cerema. «Guide international sur les digues». ISBN : 978-2-37180-403-6. 2019

MEDDTL. «Référentiel technique digues maritimes et fluviales». 2015

R. TOURMENT, B. BEULLAC. «Inondations - Analyse de risques des systèmes de protection - Application aux études de dangers». 356 p. Éd. Lavoisier. ISBN : 978-2-7430-2365-2. 2019

Cerema. «Préconisations pour le recensement des ouvrages et structures de défense contre les aléas côtiers». ISBN : 978-2-11-128283-4. 2011

Cerema. «Étude des systèmes de protection contre les submersions marines - Méthodologie et études de cas issues du retour d'expérience Xynthia». ISBN : 978-2-37180-118-9. Mars 2016

Cerema. «Études de dangers de systèmes d'endiguement - concepts et principe de réalisation des études». ISBN : 978-2-37180-324-4. 2018

Cerema. «Réalisation d'une EDD de système d'endiguement - propositions pour un cahier des clauses techniques particulières». Avril 2019

Cerema. «Coût des protections contre les inondations fluviales» 2014. ISBN : 978-2-37180-003-8

Cerema. «Coût des protections contre les aléas littoraux». 2018. ISBN : 978-2-37180-283-4

MEEM, CEPRI, Cerema. «Référentiel national de vulnérabilité aux inondations». Juin 2016

A. BRUNE, B. BEULLAC, P. MÉRIAUX. «Caractérisation de systèmes d'endiguement à l'heure de la GEMAPI», colloque digues. Irstea 2019.

P. ARNAUD, Y. AUBERT, D. ORGANDE, P. CANTET, C. FOUCHIER, N. FOLTON. «Estimation de l'aléa hydrométéorologique par une méthode par simulation: la méthode SHYREG». Présentation - Performances - Base de données. La Houille Blanche - Revue Internationale de l'Eau. N°2. pp20-26. ISSN : 0018-6368. Avril 2014

P. ARNAUD, J. LAVABRE. «Guide méthodologique sur l'approche SHYPRE. Partie 1: analyse du risque pluvial» Édition QUAE, 125 pages. 2010

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. «Pour une nouvelle gestion des rivières à l'heure de la GEMAPI. Tome 1 - Les grands principes. Tome 2 - Exemples de restauration». 2016

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. «Et si la rivière redevenait un atout pour mon territoire?» 2018

Cerema. «Milieux humides et aménagements urbains». ISBN: 978-2371800519. 2015

Freddy REY, Vincent BRETON, Christine POULARD, Pascal BREIL, Patrice MÉRIAUX. «Les solutions fondées sur la nature pour accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques». Revue Science Eaux & Territoires, GEMAPI: vers une gestion plus intégrée de l'eau et des territoires, N° 26, p. 36-41. 2018. DOI : 10.14758/SET-REVUE.2018.26.07.

Index des illustrations

Figure 1 - Le système endigué et les éléments qui le composent	p. 6
Figure 2 - Schéma d'un bassin versant © Graphies pour Agence française pour la biodiversité	p. 6
Figure 3 - Carte des hauteurs d'eau modélisées avec CARTINO pour une crue d'occurrence 1000 ans secteur : Aulnay-sur-Mauldre (source : Cerema)	p. 11
Figure 4 - Cartographie des ouvrages et aménagements littoraux - visualisation du site géolittoral	p. 16
Figure 5 - Système de protection maritime de l'étrier du Pouligen	p. 17
Figure 7 - Secteur protégé de Calais Centre en bleu - Calais Ouest en rose	p. 18
Figure 6 - Dispositifs de protection du polder au droit de la ville de Calais	p. 18
Figure 8 - Dispositifs de protection du polder au droit de la ville de Calais	p. 19
Figure 9 - Ouvrages du bassin des chasses	p. 19
Figure 10 - Secteur de Marck	p. 20
Figure 11 - Points d'entrée et emprises maximales des submersions simulées - d'après étude DHI sur le secteur Sangatte	p. 21
Figure 12 - Système endigué de Sangatte définissable en première approche	p. 21
Figure 13 - Carte de Calais vers 1800	p. 22
Figure 14 - Système de protection de Sangatte complété par les ouvrages de second rang	p. 22
Figure 15 - Vue sur le Dolaizon depuis le « quai du Dolaizon », commune de Vals-près-le-Puy	p. 24
Figure 16 - Ouvertures non batardables, quai du Dolaizon	p. 24
Figure 19 - Digue de Chalennes-sur-Loire	p. 25
Figure 17 - Digue de Savignac sur l'Ariège	p. 25
Figure 18 - Digue de Foicy sur la Seine à Troyes	p. 25
Figure 20 - Système endigué de Oudon	p. 26
Figure 24 - Bassins de rétention en complément d'un système d'endiguement	p. 27
Figure 21 - Ouvrages du canal de Labourat à Troyes	p. 27
Figure 22 - Ouvrages sur la Seine à Troyes	p. 27
Figure 23 - Ouvrage de répartition des débits sur la Seine à Troyes	p. 27
Figure 25 - Digue de Sangatte (source : B. Kerloc'h - Cerema)	p. 28
Figure 28 - Station de pompage de Marck - GCTM	p. 29
Figure 26 - Écluse de la Batellerie - Calais	p. 29
Figure 27 - Porte des 10m et bassin des chasses à Calais	p. 29
Figure 29 - Schéma de principe de calcul du différentiel de dénivelé de part et d'autre d'un point (profil en travers)	p. 30
Figure 30 - Résultats de la détection automatique des remblais sur le site de Corsept (44)	p. 31
Figure 31 - Système de protection de Sangatte	p. 32
Figure 32 - Casiers de submersion	p. 33
Figure 33 - Exemple de cartographie présentant la hauteur de submersion	p. 34
Figure 34 - Exemple de cartographie présentant les enjeux touchés	p. 34
Figure 35 - Exemple de carte différentielle	p. 35
Figure 36 - Profils transversaux à la digue permettant de déterminer le profil de crête	p. 37
Figure 37 - Définition des dénivelées (h1, h2 et h3) par projection de la crête de digue selon une orthogonale au sens d'écoulement dans le lit majeur	p. 38
Figure 38 - Synthèse du mode de détermination d'un système endigué	p. 38
Figure 39 - Localisation de la digue de Decize - Faubourg Saint-Privé	p. 39
Figure 40 - Zone inondable du bassin versant de l'Aron	p. 40
Figure 41 - Révision du PPRI du val de Decize - carte des hauteurs d'eau (2018)	p. 40
Figure 42 - Digue de Decize - Faubourg Saint-Privé - Linéaire étudié et localisation des profils en travers	p. 41
Figure 43 - Profil en long de la digue de Decize - Faubourg Saint-Privé	p. 41
Figure 44 - Détermination de la zone protégée potentielle par projection de la ligne d'eau passant par le point bas de la digue	p. 42
Figure 45 - Identification du point bas de la digue de Decize - Faubourg Saint-Privé	p. 42
Figure 46 - Zone potentiellement protégée par la digue de Decize - Faubourg Saint-Privé	p. 43
Figure 47 - Différence entre zones basses séparées de la mer par un relief, et mises hors d'eau pour différents niveaux marins	p. 44
Figure 48 - Exemples de zones identifiées comme mises hors d'eau, par pas de 0.25 m de niveaux marin (IGN69) sur le site de Corsept (44)	p. 44
Figure 49 - Synthèse des méthodes d'analyses simplifiées d'un système endigué en contexte littoral	p. 45
Figure 50 - Exemple de cartographie du nombre de personnes exposées à une inondation donnée	p. 48

© 2021 - Cerema

Le Cerema, l'expertise publique pour le développement et la cohésion des territoires

Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre d'études et d'expertise, il a pour vocation de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au cœur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires : collectivités territoriales, organismes de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises.

Coordination-Maquettage : Pôle édition et valorisation des connaissances

Dépôt légal : Août 2021

ISBN : 978-2-37180-513-2

ISSN : 2552-884x

Prix : téléchargement gratuit

Illustration couverture : Digue de Sanguatte (62) © Bruno Kerloc'h, Cerema

Éditions du Cerema

Cité des mobilités,

25 avenue François Mitterrand

CS 92803

69674 Bron Cedex

Cerema Risques, Eaux et mer

134 rue de Beauvais

CS 60039

60280 Margny-lès-Compiègne

www.cerema.fr

La collection « Expériences et pratiques » du Cerema

Cette collection regroupe des exemples de démarches mises en œuvre dans différents domaines. Elles correspondent à des pratiques jugées intéressantes ou à des retours d'expériences innovantes, fructueuses ou non, dont les premiers enseignements pourront être valorisés par les professionnels. Les documents de cette collection sont par essence synthétiques et illustrés par des études de cas.

Caractérisation de systèmes d'endiguement à l'heure de la GEMAPI

Outils et retours d'expérience

L'appel à partenaires GEMAPI a été lancé par le Cerema et INRAE en mai 2016 : il a permis d'accompagner dix collectivités dans cette prise de compétence, de répondre à des problématiques variées avec des solutions innovantes et de fournir des réponses adaptées et utiles à d'autres territoires.

Dans ce cadre le Cerema et INRAE ont travaillé conjointement sur le sujet des systèmes d'endiguement. Cette publication revient sur ces travaux, et notamment sur :

- l'identification des zones soumises au risque inondation ;
- l'identification des ouvrages et éléments naturels pouvant participer à la protection ;
- l'identification des zones qu'ils protègent potentiellement ;
- l'identification des enjeux présents dans ces zones.

Sur le même thème

- Synthèse et principales leçons de l'appel à partenaires, *Cerema, 2020*
- Organiser la gouvernance de la compétence GEMAPI, *Cerema, 2020*
- Étude de dangers de systèmes d'endiguement - Concepts et principes de réalisation des études, *Cerema, 2019*
- Introduction à la GEMAPI, *Cerema, 2018*
- La GEMAPI, Petit essentiel, *Cerema, 2018*
- Accompagner la compétence GEMAPI (9 fiches), *Cerema, 2018*

Expertise et ingénierie territoriale - Bâtiment - Mobilités - Infrastructures de transports - Environnement et risques - Mer et littoral

Téléchargement gratuit

ISSN : 2552-884x

ISBN : 978-2-37180-513-2



9 782371 805132

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - www.cerema.fr

Cerema Risques, Eaux et Mer – 134, rue de Beauvais – CS 60039 – 60280 Margny-lès-Compiègne Tél: +33 (0) 3 44 92 60 00

Siège social: Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél: +33 (0) 4 72 14 30 30