

Étude des systèmes de protection contre les submersions marines - Méthodologie et études de cas issues du retour d'expérience Xynthia



Guide : ouvrage de référence à vocation méthodologique

**Étude des systèmes de protection
contre les submersions marines - Méthodologie
et études de cas issues du retour d'expérience Xynthia**

Collection | **Références**

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction technique eau, mer et fleuves – 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

Préface

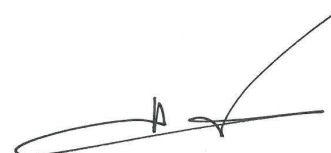
L'étude des événements passés joue un rôle fondamental dans la connaissance du fonctionnement des systèmes de protection contre les inondations. Une tempête telle que Xynthia, à l'origine des dramatiques événements survenus sur nos côtes en février 2010, doit à ce titre faire l'objet d'investigations approfondies.

Approfondir les investigations n'implique pas seulement l'étude détaillée du comportement des structures considérées séparément, cela implique aussi de comprendre le fonctionnement d'ensemble du système de protection et les effets dynamiques de l'inondation. Une bonne partie de l'exercice consiste donc à bien choisir les échelles auxquelles la réflexion est portée et à tenir compte de la cinématique des événements.

Par la méthodologie et les quatre exemples d'études qu'il contient, ce guide a vocation à apporter les repères utiles aux gestionnaires de systèmes de protection et à tous les acteurs de la prévention des risques pour mieux connaître les phénomènes de submersion qui peuvent se produire sur leurs sites et appréhender les risques inhérents.

Nous remercions le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie de la confiance accordée pour mener à bien cette étude ainsi que les services locaux qui, par le partage de leur expérience de terrain et par leur expertise technique, ont permis de capitaliser les connaissances qui sont à la base de ce document.

Philippe Joscht

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, sweeping loop followed by a smaller, more intricate mark.

directeur
de la Direction technique Eau, mer et fleuves

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

Elle a été coordonnée par :

Marc Igigabel (Cerema Eau, mer et fleuves)

Ont contribué à sa rédaction :

Nathalie Bérenger (Cerema Ouest)

Alexis Bernard (Cerema Ouest)

Patrick Chassé (Cerema Eau, mer et fleuves)

Emmanuel Cosquer (Cerema Eau, mer et fleuves)

Nicolas Flouest (Cerema Sud-Ouest)

Marc Igigabel (Cerema Eau, mer et fleuves)

Yves Nédélec (Cerema Sud-Ouest)

Anne-Laure Tiberi-Wadier (Cerema Eau, mer et fleuves)

Relecteurs Principaux :

Christian Pitié (CGEDD)

Yann Deniaud, Anne Souquière, Julian David, Olivier Piet (Cerema Eau, mer et fleuves)

Partenaires extérieurs :

Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) : Jean-Philippe Lalande, Jean-Marc Kahan

Université de la Rochelle, laboratoire LIENSs : Xavier Bertin

Directions Régionales de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL)

DREAL Poitou-Charentes : Marie-Christine Barbeau, Khalid Ksibi

DREAL Pays de la Loire : Gaëlle Favrel, Thomas Obé, Frédéric Pondevie, Gilles Lacruz

DREAL Languedoc-Roussillon : Sébastien Dupray

Directions Départementales des Territoires et de la Mer (DDTM)

DDTM Charente-Maritime : Serge Halioua, Antony Velot, Yves Yvanez, Jacky Mousset

DDTM Loire-Atlantique : Yves Legrenzi

DDTM Vendée : Olivier Clemencon, Yann Sanquer, Pierre Faguet

Conseils Départementaux

Conseil Départemental de Charente-Maritime : William Proust

Conseil Départemental de Vendée : Séverine Gambart

Communautés d'agglomération

Communauté de communes de l'Île de Ré : Émilie Tirard

Cap Atlantique : Delphine Maçonnerie, Benjamin Le Coldroch, Fabrice Durieux

Composition des équipes en charge des rapports d'étude

Rapport méthodologique

Rédacteur : Marc Igigabel

Relecteurs : Christian Pitié, Yann Deniaud, Anne Souquière, Julian David, Olivier Piet, Nicolas Flouest, Nathalie Bérenger, Yves Nédélec

Étude de cas de Loix

Rédacteurs : Yves Nédélec, Marc Igigabel, Nicolas Flouest, Patrick Chassé, Emmanuel Cosquer, Anne-Laure Tiberi-Wadier

Relecteurs : Christian Pitié, Nathalie Bérenger, Yann Deniaud

Étude de cas des Boucholeurs

Rédacteurs : Marc Igigabel, Nicolas Flouest, Yves Nédélec, Patrick Chassé, Emmanuel Cosquer, Anne-Laure Tiberi-Wadier

Relecteurs : Christian Pitié, Yann Deniaud

Étude de cas de Boyardville

Rédacteurs : Marc Igigabel, Nicolas Flouest, Yves Nédélec, Patrick Chassé, Emmanuel Cosquer, Anne-Laure Tiberi-Wadier

Relecteurs : Christian Pitié, Yann Deniaud

Étude de cas de Batz-sur-Mer

Rédacteurs : Nathalie Bérenger, Alexis Bernard, Marc Igigabel

Relecteurs : Nicolas Flouest, Yves Nédélec, Yann Deniaud

Résumé

La tempête Xynthia qui a frappé les côtes françaises le 28 février 2010 en inondant rapidement de vastes territoires a mis en évidence la nécessité d'étudier le comportement de nos systèmes de protection contre les submersions marines à une échelle géographique adaptée et en tenant compte de la cinématique des événements. À cette fin, l'étude de la submersion de Loix, Les Boucholeurs et Boyardville en Charente-Maritime et de Batz-sur-Mer en Loire-Atlantique a été entreprise. Ces sites disposent de caractéristiques communes à la plupart des secteurs touchés par Xynthia : espaces littoraux majoritairement constitués de marais, structurés par un réseau de formations naturelles, de digues, de canaux et fossés, d'infrastructures routières et ferroviaires. Pourtant, malgré ces similitudes, l'étude de la propagation de l'inondation sur ces sites a révélé de forts contrastes provoqués par les différences qui existent dans les configurations géographiques, les expositions aux phénomènes météo-marins et les positionnements des enjeux.

Considérant le caractère irréductible de ces singularités, une méthodologie a été développée dans le double objectif de donner une assise commune aux études de cas engagées et de faciliter la transposition de ces travaux à d'autres sites touchés par des submersions marines. Comprendre le fonctionnement des systèmes de protection impose *de facto* de mener la réflexion en parallèle sur trois plans pour :

- disposer de concepts qui permettent de définir rigoureusement un système de protection par l'identification de ses contours et de sa structure interne (en prenant toujours comme points de mire des enjeux clairement identifiés),
- comprendre les phénomènes multiples qui affectent l'état physique du système et qui déterminent les flux hydrauliques. Un double regard est porté à l'échelle du système et à l'échelle des structures qui le composent. Plusieurs fonctions distinctes sont considérées : la fonction de défense qui s'exerce sur le pourtour du système, et les fonctions de gestion de l'eau qui s'exercent à l'intérieur du système (collecte de l'eau et orientation des écoulements, stockage temporaire et évacuation). La coordination de ces fonctions est également étudiée,
- disposer de méthodes d'analyse et utiliser à bon escient les techniques d'investigation et de modélisation. Les méthodes d'analyse proposées permettent d'optimiser le temps et les efforts d'investigations nécessaires à la compréhension et la représentation du fonctionnement et de la défaillance des systèmes ; les techniques d'investigation et de modélisation sont multiples, l'étude a permis d'en apprécier tout autant la puissance que les limites.

Le présent document comporte :

- un rapport méthodologique éclairant sur les trois niveaux de réflexion sus-mentionnés. Des annexes apportent en complément des recommandations pour la formalisation des rapports d'analyse (rédaction et cartographie),
- quatre rapports présentant les cas d'étude comme exemples de mise en œuvre de la méthodologie.

Mots-clefs : submersion, protection, système, Xynthia.

Abstract

Storm Xynthia, which hit French coasts on February 28th, 2010 and quickly flooded vast territories, highlighted the need of studying the behaviour of our coastal flood protection systems at an adapted geographical scale and by taking into account the kinematics of the events.

For that purpose, the study of the flood in Loix, Les Boucholeurs and Boyardville (Charente-Maritime department) and in Batz-sur-Mer (Loire-Atlantique department) was undertaken. These sites have characteristics that are common to most of the sectors affected by Xynthia: littoral spaces mainly constituted by swamp, structured by a network of natural features, levees, canals and ditches, road and railway infrastructures. Nevertheless, in spite of these similarities, the study of flood propagation on these sites revealed strong contrasts induced by differences that exist in geographical configurations, exposures to hydrometeorological phenomena and positions of the stakes.

Considering the irreducible singularity of sites, a methodology was developed with the dual aim of giving a common basis to case studies and to facilitate the transposition of these works to other sites affected by marine flooding. To understand the functioning of protection systems imposes *de facto* to develop a reflection in parallel at three levels:

- to have concepts to define rigorously a protection system by identifying its limits and its internal structure (always by setting clearly identified stakes as focal points),
- to understand the multiple phenomena that affect the physical state of a system and that determine hydraulic flows. Attention is paid on the scale of the system as well as on the scale of structures that compose it. Several functions are considered: the defence function that concerns the limits of the system, and the water management functions that concern the interior of the system (water collection and flows orientation, temporary storage and evacuation). The coordination of these functions is also studied,
- to have analysis methods and to use advisedly investigation and modelling techniques. Proposed analysis methods allow to optimize investigation time and efforts that are necessary to understand and represent system functioning and failures; investigation and modelling techniques are multiple, the study appreciated their power just as much as their limits.

The present document contains:

- a methodological report highlighting the three above-mentioned levels of reflection. Appendices bring additional recommendations for the formalization of analysis reports (writing and mapping),
- four reports presenting case studies as implementation examples of the methodology.

Key-words : submersion, protection, system, Xynthia.

Table des matières

Préface.....	1
Résumé.....	4
Abstract.....	5
Présentation générale.....	11
<i>Contexte.....</i>	<i>11</i>
<i>Objectif.....</i>	<i>11</i>
<i>Lectorat ciblé.....</i>	<i>12</i>
<i>Domaines de compétences mobilisés.....</i>	<i>13</i>
<i>Sélection de quatre sites pour les études de cas.....</i>	<i>13</i>
<i>Protocole d'élaboration de la méthodologie.....</i>	<i>14</i>
<i>Organisation du document.....</i>	<i>15</i>
I – Méthodologie.....	17
1 Cadre conceptuel.....	18
1.1 Concepts pour l'analyse géographique.....	18
1.1.1 Système de protection.....	18
1.1.2 Casier hydraulique.....	19
1.1.3 Modèle « source-transfert-cible ».....	21
1.2 Phénomène naturel, événement, aléa, enjeux et vulnérabilité.....	22
1.2.1 Phénomène naturel initiateur.....	22
1.2.2 Événement et scénario d'événements.....	23
1.2.3 Aléa.....	23
1.2.4 Enjeux.....	24
1.2.5 Vulnérabilité.....	25
1.3 Risque : caractérisation, évolution, acceptabilité et perception.....	26
1.3.1 Caractérisation du risque dans le cadre d'une analyse.....	26
1.3.2 Évolution du risque.....	27
1.3.3 Acceptabilité et perception du risque.....	28
1.4 Politiques et mesures de prévention du risque.....	29
1.4.1 Politiques de prévention du risque.....	29
1.4.2 Mesures de prévention du risque et leurs effets.....	29
1.4.3 Stratégie de gestion du risque.....	31
1.4.4 Organisation, rôles et responsabilités.....	31

2	Systèmes de protection – présentation à l'échelle globale..	32
2.1	<i>Analyse des phénomènes naturels à l'origine des submersions.....</i>	33
2.2	<i>Fonction de protection et objectifs de performance d'un système.....</i>	36
2.2.1	Détermination des phénomènes naturels de référence.....	37
2.2.2	Caractérisation de la performance d'un système vis-à-vis des phénomènes naturels.....	39
2.3	<i>Fonctionnement, dysfonctionnement, maintenance et gestion.....</i>	41
2.3.1	Modes de fonctionnement d'un système de protection.....	41
2.3.2	Dysfonctionnements d'un système de protection.....	44
2.3.3	Maintenance et gestion.....	45
2.4	<i>Fonctions de défense contre les entrées d'eau.....</i>	47
2.4.1	Phénomènes hydrauliques affectant la ligne de défense.....	47
2.4.2	Fonctionnement d'ensemble de la ligne de défense.....	49
2.4.3	Défaillances couramment observées.....	50
2.5	<i>Fonctions de gestion de l'eau.....</i>	56
2.5.1	Phénomènes hydrauliques déterminants.....	56
2.5.2	Fonctionnement d'ensemble.....	57
2.5.3	Défaillances couramment observées.....	59
3	Systèmes de protection – présentation à l'échelle des structures.....	61
3.1	<i>Structures de défense.....</i>	61
3.1.1	Formations naturelles ou partiellement anthropisées.....	62
3.1.2	Digues.....	65
3.1.3	Perrés.....	69
3.1.4	Murs et ouvrages de soutènement.....	71
3.1.5	Épis.....	74
3.1.6	Brise-lames.....	76
3.2	<i>Dispositifs de gestion de l'eau.....</i>	77
3.2.1	Drains.....	78
3.2.2	Canaux et fossés.....	79
3.2.3	Canalisations à section fermée.....	80
3.2.4	Aires de stockage ou d'expansion.....	81
3.2.5	Clapets, vannes et écluses.....	82
3.2.6	Dispositifs de pompage.....	85
3.3	<i>Effets de l'évolution des composants sur le système.....</i>	85
3.3.1	Évolution des dispositifs de défense et effets sur le système.....	86
3.3.2	Évolution des dispositifs intérieurs et effets sur le système.....	87

4 Stratégies d'étude et méthodes d'analyse.....	88
4.1 Contexte opérationnel de l'étude des systèmes.....	88
4.2 Stratégie et organisation de la conduite d'étude.....	89
4.3 Méthodes d'analyse.....	90
4.3.1 Arbre des défaillances.....	91
4.3.2 Arbre des événements.....	93
4.3.3 Logigramme de type « nœud papillon ».....	94
4.4 Prolongements possibles des analyses.....	96
5 Investigation et modélisation.....	97
5.1 Observation de l'événement météorologique.....	97
5.2 Observation des phénomènes en mer.....	99
5.2.1 Observation des niveaux marins.....	99
5.2.2 Observation des états de mer et des courants.....	100
5.3 Observation du comportement du système.....	105
5.3.1 Images satellitaires.....	106
5.3.2 Photographies aériennes.....	107
5.3.3 Les modèles numériques de terrain.....	110
5.3.4 Investigations spécifiques aux ouvrages et autres structures.....	112
5.3.5 Exploitation des laisses de mer.....	112
5.4 Techniques de modélisation hydraulique.....	113
5.4.1 Analyse et modélisation de l'inondation.....	113
5.4.2 Modélisation du comportement des structures.....	116
5.5 Incertitudes et précautions d'usage.....	117
5.5.1 Incertitudes sur les observations.....	118
5.5.2 Incertitudes liées à la modélisation.....	119

ANNEXE A : Recommandations pour la rédaction des analyses de site.....120

Introduction.....120

1.Cadrage de l'analyse.....	123
1.1.Description générale du site.....	123
1.2.Analyse des enjeux.....	124
1.2.1.Recensement des enjeux.....	124
1.2.2.Identification des enjeux centraux de l'analyse.....	124
1.3.Aléa(s) de référence et objectifs de protection.....	125
1.4.Données disponibles pour l'analyse.....	126
1.5.Stratégie d'analyse.....	126

2. Définition du (ou des) système(s) de protection.....	128
2.1. Délimitation du (ou des) système(s) de protection.....	128
2.1.1. Topographie de la zone d'étude.....	128
2.1.2. Positionnement des dispositifs de protection.....	128
2.1.3. Conclusion sur le(s) système(s) à étudier.....	129
2.2. Schématisation du système de protection.....	130
2.2.1. Représentation des contours du système et des zones d'enjeux.....	130
2.2.2. Représentation des casiers hydrauliques et des dispositifs intérieurs.....	131
2.2.3. Schéma de synthèse.....	132
2.3. Logigramme du système de protection.....	133
3. Fonctionnement global du système au cours de l'événement..	134
3.1. Conditions hydrauliques extérieures.....	134
3.2. Comportement du système au cours de l'événement.....	135
3.3. Étude hydraulique globale.....	135
3.4. Analyse optionnelle sur les effets des vagues.....	137
4. Description des événements (approche détaillée).....	138
4.1. Description du fonctionnement des casiers 1 à m.....	138
4.1.1. Casier 1.....	139
4.1.2. Casier i.....	141
4.1.3. Casier m.....	141
4.2. Description du fonctionnement des structures types et des structures particulières (défense et gestion des eaux).....	142
4.2.1. Structure type ayant une fonction de défense.....	142
4.2.2. Structure type ayant une fonction de gestion des eaux.....	144
4.2.3. Structure type j.....	144
4.2.4. Structure particulière p.....	145
5. Synthèse et conclusion.....	145
5.1. Synthèse.....	145
5.2. Conclusion.....	146
ANNEXE B : Recommandations sur la production cartographique.....	147
ANNEXE C : Références bibliographiques.....	148
II – Études de cas.....	150
Sites étudiés.....	150
Note introductive aux études de cas.....	150