

Lignes directrices pour l'étude de systèmes de protection contre les submersions marines

Marc IGIGABEL¹, Yves NEDELEC², Nathalie BERENGER³, Nicolas FLOUEST², Alexis BERNARD⁴,
Hervé DAVIAS³, Raphaël BENOT⁴, Jérôme REVEL², Patrick CHASSE¹,
Anne-Laure TIBERI-WADIER¹, Christian PITIE⁵

¹. Cerema, Technopôle Brest Iroise, Plouzané, marc.igigabel@cerema.fr (adresse similaire pour les co-auteurs)

². Cerema, 24 rue Carton, Bordeaux, yves.nedelec@cerema.fr (adresse similaire pour les co-auteurs)

³. Cerema, 23, Avenue de l'Amiral Chauvin, Les ponts de Cé, Nathalie.Berenger@cerema.fr (adresse similaire pour les co-auteurs)

⁴. Cerema, 5, rue Jules Vallès, Saint Brieu, alexis.bernard@cerema.fr (adresse similaire pour les co-auteurs)

⁵. CGEDD, 38 rue Charles Domercq, Bordeaux, Christian.Pitie@developpement-durable.gouv.fr

RÉSUMÉ. – L'étude des événements passés joue un rôle fondamental dans la connaissance du fonctionnement des systèmes de protection contre les inondations. Conduire ces études requiert à la fois de disposer de concepts clairs sur la définition des systèmes et sur le risque inondation, de connaître la réalité physique du fonctionnement des systèmes et de leurs structures, de maîtriser les modes d'investigation et d'analyse des sites et enfin de disposer d'un cadre de rédaction adapté pour leur restitution.

Pour répondre à ce besoin, une méthodologie a été élaborée, en s'appuyant notamment sur quatre études de cas réalisées conjointement, à la fois pour son développement et son expérimentation. Les sites retenus ont été choisis pour leur diversité et pour leur représentativité de l'ensemble des situations rencontrées au cours de la tempête Xynthia qui a touché les côtes françaises en 2010. La méthode développée est réputée valable sur d'autres sites pour un événement similaire. Les éléments méthodologiques développés couvrent :

- les notions fondamentales liées aux risques « submersion marine »,
- la description des systèmes de protection et de leurs fonctionnements,
- la description des structures composant un système et de leurs fonctionnements,
- les stratégies d'étude et les méthodes d'analyse systémique,
- les techniques d'investigation et de modélisation des sites,
- des recommandations pour la production d'un rapport d'analyse.

Le présent article expose quelques points essentiels qui ressortent de la méthodologie. L'exemple du site de Loix (Charente-Maritime) illustre la manière dont les principes peuvent être mis en application.

Mots-clés : inondation, submersion, protection, système.

Guidelines for studies on coastal flood protection systems

ABSTRACT. – The study of past events plays a major role in the improvement of the knowledge of flood protection systems. Such a study requires clearly defined concepts for flood protection system as well as for flood risk, thorough knowledge of the actual behavior of the system and its structures, methods for site investigations and analysis, and an appropriate framework to report the investigation results.

To meet these requirements, a methodology was elaborated. It develops and experiments its recommendations on the basis of four dedicated case studies. The selected sites for case studies were considered for their diversity and their coverage of the situations encountered during the storm Xynthia, which hit french coasts in 2010. Thus the recommendations are deemed valid on other sites for similar events. The methodological elements encompass:

- fundamental concepts related to coastal flood risks,
- description of characteristics and behavior of flood protection systems,
- description of characteristics and behavior of flood protection structures,
- strategies and methods for systematic analysis,
- techniques for site investigations and modelling,
- setup recommendations for a site analysis report.

The present paper exposes some key points of the methodology. The case example of the site of Loix (Charente-Maritime) illustrates their application.

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

I. INTRODUCTION

Une méthodologie destinée à la compréhension du fonctionnement des systèmes de protection contre les inondations a été élaborée dans le cadre du retour d'expérience de la tempête Xynthia, qui a touché les côtes atlantiques françaises en février 2010. Ce travail s'est appuyé sur l'étude de quatre sites sélectionnés pour leur diversité et leur représentativité de l'ensemble des situations rencontrées au cours de cette tempête, de telle sorte que les méthodes d'analyse développées puissent être considérées comme applicables à d'autres sites pour des événements similaires. La structure de l'étude de référence [Igigabel *et al.*, 2014] est présentée sur la figure 1 : un cadre conceptuel a été élaboré pour servir de

socle à l'étude du fonctionnement et du dysfonctionnement des systèmes de protection (à l'échelle globale et à l'échelle des structures) puis aux techniques d'analyse, d'investigation et de modélisation. Enfin des recommandations pour la production d'un rapport d'analyse sont proposées en annexes.

Sans entrer dans tous les développements de l'étude, le présent article vise à en souligner quelques aspects essentiels : les concepts géographiques (extrait du cadre conceptuel), le fonctionnement et les dysfonctionnements d'un système (extrait de la présentation à l'échelle globale du système de protection) et enfin les stratégies et les méthodes d'analyse. Les principes présentés seront illustrés par leur mise en application au cas de Loix, commune située sur l'Île de Ré en Charente-Maritime.

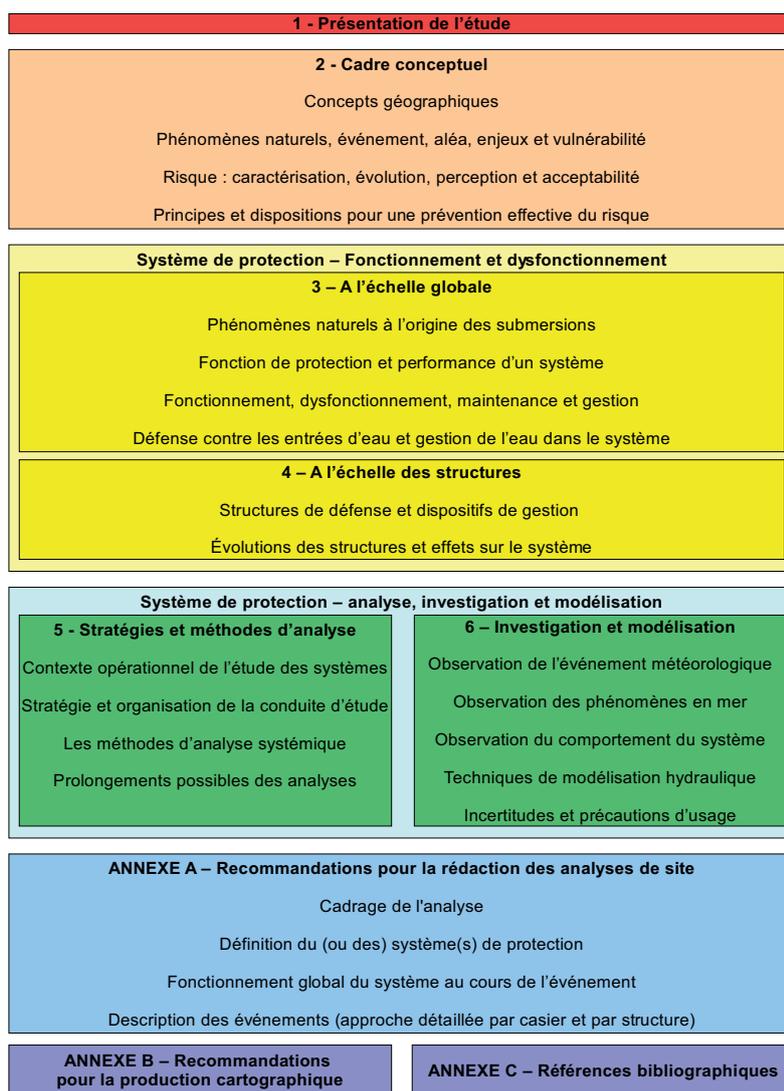


Figure 1 : Structure de l'étude de référence [Igigabel *et al.*, 2014].

II. CONCEPTS GÉOGRAPHIQUES

La définition d'une méthodologie d'analyse et des méthodes d'étude associées nécessite de disposer d'un cadre conceptuel permettant d'appréhender la complexité de la réalité au travers de modèles de représentation. Cette partie vise à préciser les concepts et définitions propres à la description et à la compréhension des systèmes étudiés, suivant une

approche géographique. Les formes et la nature du terrain ainsi que toutes les structures en place influent sur l'enchaînement des événements lors d'une submersion et il convient donc de disposer de schémas conceptuels qui permettent d'organiser et de comprendre le fonctionnement du territoire au regard de la gestion des risques. Les concepts de « système de protection », de « casiers hydrauliques » et le modèle « source-transfert-cible » sont destinés à apporter ces repères.

II.1. Système de protection

Le premier concept fondamental est celui de **système de protection**. La définition d'un système de protection nécessite d'identifier un contour qui sépare l'intérieur du système du milieu extérieur avec lequel il interagit. Ce contour doit être continu et fermé. Cette opération, simple en théorie, est représentée sur la figure 2. Généralement, le contour comprendra :

- des lignes représentant la limite des terres qui ne sont pas submergées en temps normal. Ces lignes peuvent être qualifiées de « ligne de défense ». Lors d'un événement tempétueux, des échanges d'eau importants peuvent avoir lieu au travers de ces lignes,
- des lignes parcourant des terrains qui ne subissent pas de submersion du fait de leur altitude ou de leur éloignement de la source de l'inondation. Ces lignes peuvent être qualifiées de « lignes abritées ». Aucun échange notable n'a lieu au travers de ces lignes lors d'un événement de submersion.

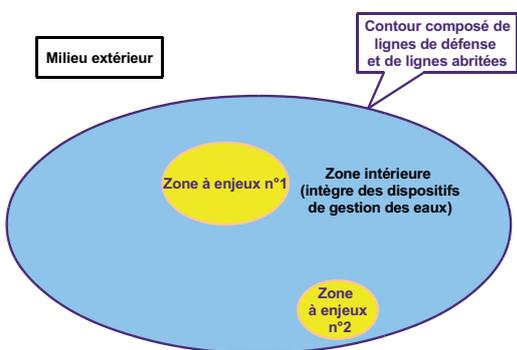


Figure 2 : Délimitation d'un système de protection.

Tel que défini, ce contour constitue un objet fermé sur le plan géographique mais ouvert sur le plan hydraulique : des échanges d'eau contrôlés ou non contrôlés existent avec le milieu extérieur (uniquement par les lignes de défense). Par ailleurs, le mot « ligne » est utilisé ici pour illustrer un concept et en faciliter la schématisation. Néanmoins certaines lignes ont dans la réalité une certaine épaisseur. Les lignes de défense peuvent notamment aussi bien représenter un ouvrage unique

(une digue par exemple) qu'un ensemble tel qu'un estran et un cordon dunaire sur lequel ont été implantés des éléments de type perré en enrochement, épi transversal ou brise-lames.

Intéressons-nous à présent à l'intérieur du contour. Prise dans son ensemble, la zone délimitée peut être dénommée sans ambiguïté la « zone intérieure ». Les enjeux ne sont pas uniformément répartis dans cette zone et en sont parfois localement, voire largement, absents. L'expression de l'aléa y est également variable. Pour mener les analyses avec plus de précision, des zones plus réduites doivent donc être délimitées dans la zone intérieure. Comme ces contours ont pour objectif d'indiquer l'emplacement des enjeux, chacune de leurs emprises sera qualifiée par la suite de « zone à enjeux ». De la même façon que pour la délimitation du système, ces contours sont des objets géographiques qui ne préjugent pas des phénomènes hydrauliques qui peuvent se produire à leur emplacement.

II.2. Casier hydraulique

Il découle des définitions précédentes qu'un système de protection comporte deux types de composantes aux rôles bien différenciés :

- les éléments de défense contre les entrées d'eau situés sur le contour du système,
- les éléments de gestion de l'eau situés dans la zone intérieure.

Cette observation nous amène à introduire le concept de **casier hydraulique** représenté en figure 3.

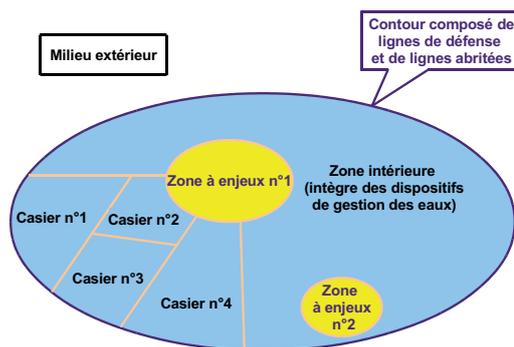


Figure 3 : Représentation schématique de casiers au sein d'un système de protection.

Illustration des concepts de système et de casiers hydrauliques par l'étude du site de Loix

L'analyse de la topographie permet de faire ressortir les reliefs marquants du territoire et correspond au principal moyen de délimitation des contours d'un système et de ses casiers. La figure 4 montre la mise en œuvre de cette méthode sur le site de Loix.



Figure 4 : Carte de synthèse topographique et schématisation du système de Loix-Est.

Pour se donner les moyens d'analyser correctement les phénomènes hydrauliques au sein d'un territoire qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres carrés, il est nécessaire de rechercher une échelle aussi appropriée que possible pour étudier les phénomènes principaux. À cette fin, un choix classique pour les études hydrauliques consiste à définir des « casiers hydrauliques » [Jean-Michel Tanguy, 2009], qui peuvent être assimilés, de façon imagée, à un récipient dont :

- les bords épousent des éléments en relief : ouvrages de défense, digues intérieures, infrastructures, etc., ou la topographie naturelle si elle atteint des altitudes suffisamment élevées. En plan, ces bords forment une ligne continue fermée,
- le fond est constitué par la topographie en dépression incluse dans le périmètre précédemment décrit.

À noter que la Figure 3 représente des casiers à l'intérieur d'un système dans le cas fréquent où cette structuration du

territoire est marquée seulement sur certaines parties de la zone intérieure.

II.3. Modèle « Source-transfert-cible »

L'analyse de risque nécessite, en complément des approches en plan, une représentation transversale destinée à mieux appréhender l'effet des dispositifs de protection interposés entre les charges hydrauliques et les enjeux vulnérables. Cette approche peut reposer sur le **modèle « source-transfert-cible »** (cf. Figure 5).

Le modèle « source-transfert-cible », présenté extensivement par [Morris *et al.*, 2007], peut plus généralement être considéré comme un modèle d'interaction entre l'environnement et le système de protection. Il permet de mettre en relation les phénomènes naturels initiateurs des événements (source), les zones à enjeux vulnérables (cible) et la propagation de l'inondation du milieu extérieur à la cible (transfert).

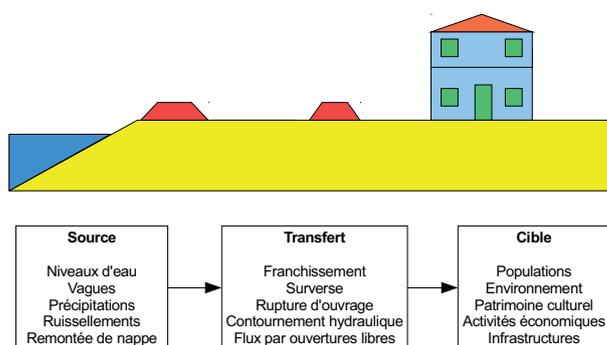


Figure 5 : Représentation du modèle « source-transfert-cible ».

Illustration par l'étude du site de Loix du modèle « source-transfert-cible »

Sur la base de la délimitation des contours d'un système et de ses casiers, un logigramme peut être établi pour représenter les chemins hydrauliques potentiels qui relient le front de mer (et éventuellement d'autres « sources ») à la zone à enjeux. La figure 6 montre la mise en œuvre de cette méthode sur le site de Loix. Les éléments du modèle source-transfert-cible y sont annotés.

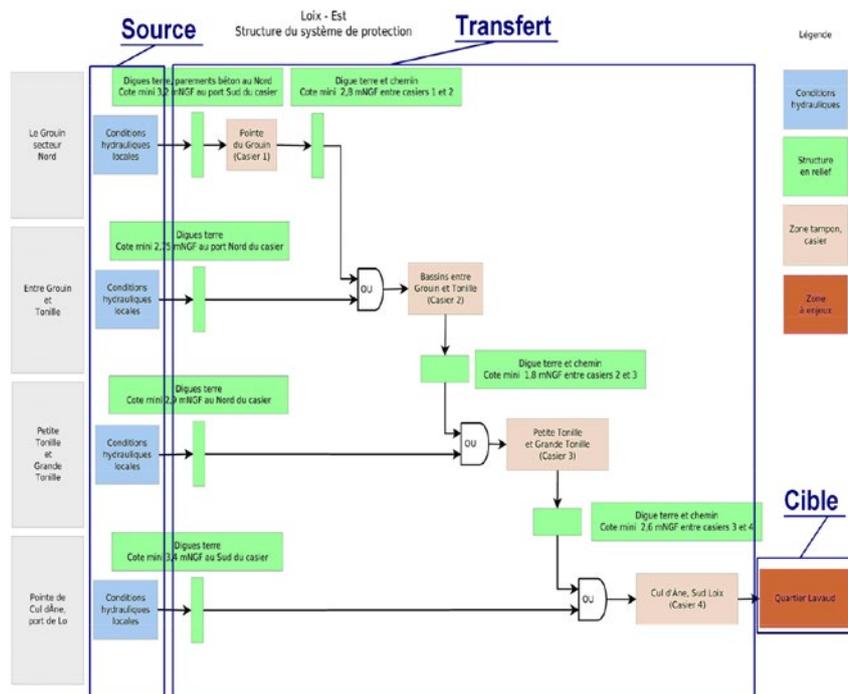


Figure 6 : Logigramme de synthèse du système de Loix.

III. FONCTIONNEMENT ET DYSFONCTIONNEMENTS D'UN SYSTÈME

L'étude d'un système, menée dans le cadre d'un retour d'expérience, vise à comprendre, en relation avec les objectifs de protection et le fonctionnement attendu, les mécanismes qui ont conduit aux dysfonctionnements constatés. Dans cette partie, nous considérons successivement :

- les phénomènes naturels : compréhension des phénomènes physiques,
- le comportement du système de protection face à ces phénomènes.

III.1. Phénomènes naturels à l'origine de la submersion

Les phénomènes physiques en jeu sont généralement multiples et se produisent sur une large échelle de temps et d'espace. L'analyse d'un événement nécessite généralement d'étudier :

- les phénomènes météorologiques,
- l'évolution du niveau d'eau au cours de l'événement dans ses différentes composantes (marée astronomique, surcote dépressionnaire, effet dynamique de propagation de cette surcote, effet du vent local...),
- les états de mer (direction, hauteur significative, période) et les courants,
- le cas échéant, les caractéristiques des écoulements dans les fleuves (niveaux d'eau, débits, vitesses),
- les évolutions morphologiques.

De nombreux sites sont exposés à plusieurs phénomènes naturels dépendants ou indépendants : crue d'un fleuve, remontée de nappe et ruissellement peuvent venir en conjonction des niveaux marins extrêmes. La houle et une mer de vent peuvent accompagner ces niveaux extrêmes... Une analyse de la concomitance et des interactions entre ces phénomènes peut être nécessaire.

III.2. Comportement du système au cours de l'événement

La défaillance des systèmes trouve souvent son origine dans le défaut d'analyse à l'échelle globale. Il en résulte des dispositifs inadaptés à la protection des zones à enjeux :

- discontinuité de la ligne de défense, soit par un contournement hydraulique des structures existantes ou le passage privilégié de l'eau par des ouvertures dans les ouvrages (escalier, cale, écluse, vanne...), soit par franchissement des ouvrages, dont les cotes d'arase n'ont pas été définies au regard des contraintes hydrauliques de l'événement,
- absence de coordination entre les fonctions de défense et de gestion de l'eau. Une cohérence doit être recherchée entre le dimensionnement de ces dispositifs de gestion des eaux et les niveaux de protection du dispositif de défense, limites qui peuvent être liées à son fonctionnement normal (défense jusqu'à une cote donnée) ou à sa défaillance (rupture d'ouvrage).

Les causes de défaillance relèvent également souvent d'insuffisances sur le plan de la maintenance ou sur le plan de la gestion opérationnelle.

Phénomènes hydrauliques observés sur les côtes de Loix

Des travaux de modélisation hydraulique bidimensionnelle de la masse d'eau océanique durant Xynthia ont été réalisés par le laboratoire UMR 7266 LIENSs, CNRS-Université de La Rochelle [Bertin *et al.*, 2014]. Les résultats de ces travaux fournissent des chroniques de niveaux d'eau et de hauteurs significatives de vagues en divers points de la façade Est de Loix (cf. figure 7). Le graphe du point n°6 est présenté ci-après à titre d'exemple. (Le niveau d'eau maximal est de 4,1 m NGF et la hauteur significative maximale des vagues est très faible : 0,4 m.)

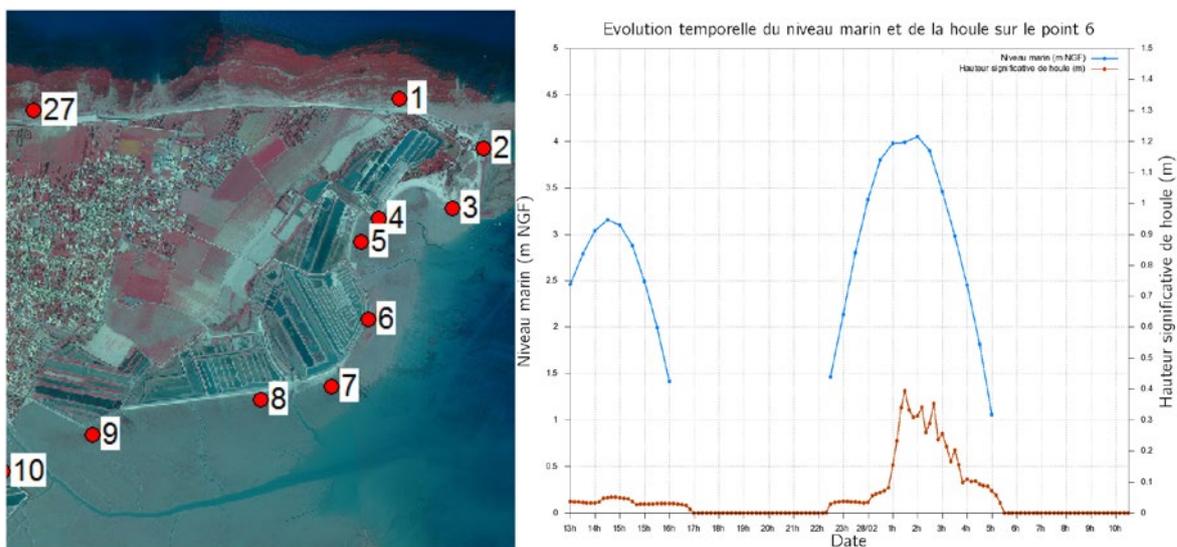


Figure 7 : Localisation des séries temporelles et représentation des valeurs au point n°6.

Pour une zone d'enjeux considérée, la performance d'un système peut être évaluée suivant les valeurs caractéristiques d'intensité de l'aléa résultant d'un phénomène naturel donné : la hauteur d'eau, la durée de l'inondation, les courants, la vitesse de montée des eaux... Des critères de performances peuvent être définis pour chacune de ces valeurs caractéristiques. Si ces critères sont établis en fonction de la

vulnérabilité des personnes, il est par exemple possible de retenir des valeurs telles que (valeurs données à titre indicatif) :

- la hauteur d'eau ne doit pas dépasser 0,5 m,
- la durée de l'inondation ne doit pas dépasser un cycle de marée,
- la vitesse des courants ne doit pas dépasser 0,25 m/s.
- les franchissements ne doivent pas dépasser un débit moyen de 0,1 l/s.

Comportement du système de Loix – photo-interprétation et modélisation hydraulique

Pour mieux comprendre la dynamique de la submersion, un travail de photo interprétation a été réalisé pour recenser les diverses manifestations hydrauliques (dynamique d'écoulement, submersion) et mécaniques (dégradations et brèches sur les digues) lors de la tempête Xynthia. Sur ce document, ont également été reportées les deux laisses de submersion (ainsi que leurs cotes NGF) relevées dans le rapport [SOGREAH, 2011] (en vert : 4,01 m NGF au niveau du quartier Lavaud et 4,40 m NGF au nord de la Petite Tonille). Une modélisation hydraulique a été réalisée en recherchant la cohérence avec les données précédentes.

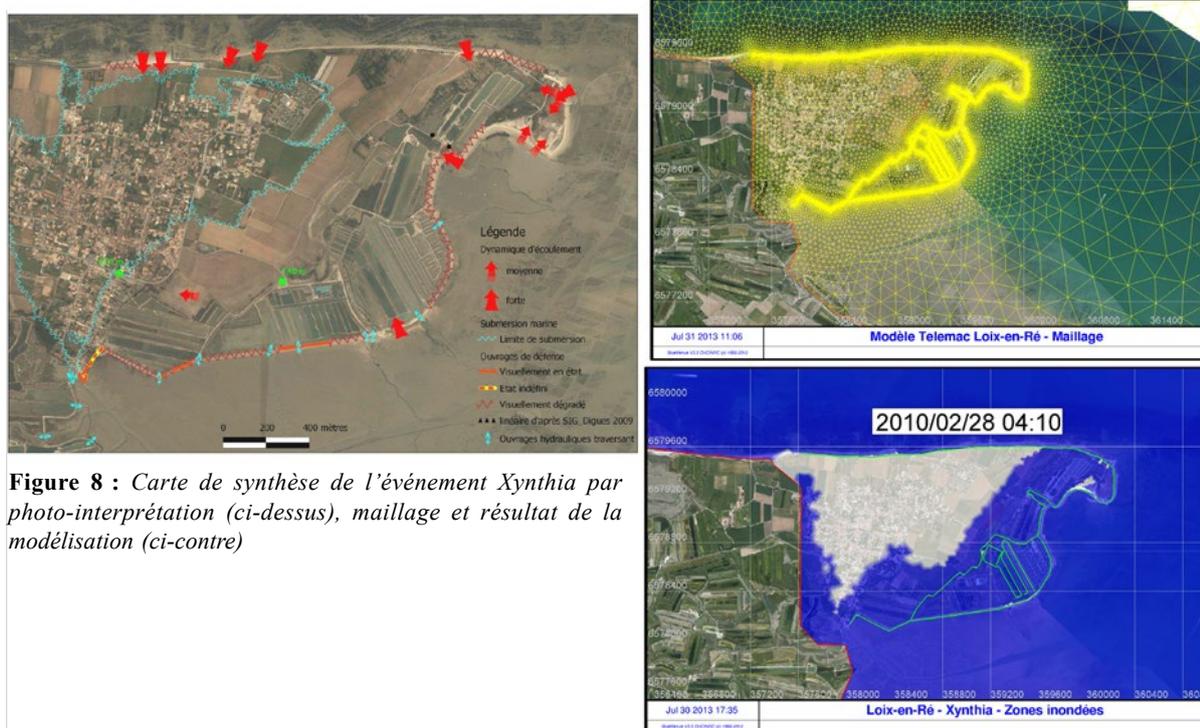


Figure 8 : Carte de synthèse de l'événement Xynthia par photo-interprétation (ci-dessus), maillage et résultat de la modélisation (ci-contre)

IV. STRATÉGIE D'ÉTUDE ET MÉTHODES D'ANALYSE

Étudier le fonctionnement d'un système dans le cadre d'un retour d'expérience nécessite de développer des stratégies et de disposer de méthodes d'analyse adaptées. Ces deux points sont présentés successivement.

IV.1. Stratégie et organisation de la conduite d'étude

L'analyse du fonctionnement d'un site repose sur des données nombreuses et diverses, et avant d'engager la phase de restitution de cette analyse sous la forme d'un rapport, un travail préalable important est nécessaire. Au cours de ce travail, les données sont recueillies et étudiées. Dans un souci de rigueur et d'efficacité, les données doivent aussi

être répertoriées et rattachées à des repères géographiques. Ce besoin de classement et de repérage peut être satisfait en produisant des premières cartes, des premiers schémas (représentation des contours du système, les zones à enjeux, les casiers hydrauliques) et des logigrammes.

Une analyse de risque peut être très consommatrice de temps si les tâches sont réalisées sans anticiper quelle sera leur utilité finale. Il convient donc d'adopter une stratégie de conduite d'étude dans laquelle les efforts sont conditionnés par la possibilité de les atteindre effectivement et proportionnés à l'intérêt des résultats escomptés. Les outils d'analyse (logigrammes en relation avec des cartes) peuvent apporter des repères utiles dans la définition de cette stratégie d'étude dans la mesure où ils permettent de passer en revue les mécanismes qui génèrent les risques et de statuer au cas par cas sur la nécessité de poursuivre les investigations.

Grâce à ces supports, le questionnement peut être à la fois plus pertinent et plus systématique. A l'aide de cartes et de logigrammes, le besoin de poursuivre les investigations peut être régulièrement évalué sur chacun des composants du système. Une véritable stratégie peut être développée pour la conduite de l'étude. En complément, lorsqu'une modélisation des phénomènes hydrauliques est développée, la sensibilité des données de sortie aux variations des données d'entrée peut aussi être étudiée pour apprécier la nécessité de préciser les hypothèses.

L'analyse des systèmes de protection est soumise à la fois à la variabilité naturelle des phénomènes et aux incertitudes liées à leur observation et à leur compréhension. Ces deux facteurs conjugués donnent souvent un caractère incompressible à la marge d'erreur. Il convient donc d'apprécier non seulement l'information qui sera utile mais aussi le degré de précision auquel on peut prétendre. De multiples sources d'information peuvent exister localement sur un site. Par exemple, l'analyse croisée de ces informations ponctuelles avec les orthophotographies et les levés LIDAR est un facteur augmentant la fiabilité de l'information et peut être utilement systématisée si ces données sont disponibles et appropriées. Le développement et l'exploitation d'un modèle est également une manière de s'assurer de la cohérence de l'ensemble des données.

La qualité d'une donnée ne suffit pas à considérer qu'elle est appropriée : lorsqu'une inondation se produit, les sites évoluent rapidement, d'une part sous l'effet des actions hydrauliques et d'autre part sous l'effet des interventions d'urgence qui sont menées. Il est donc nécessaire de vérifier que les données disponibles répondent bien au besoin et ne sont pas anachroniques par rapport à la situation étudiée. Une visite de terrain est souvent très utile pour mieux apprécier les évolutions.

IV.2. Méthodes d'analyse

Des méthodes d'analyse peuvent être mises en œuvre pour rechercher de façon exhaustive les causes d'une défaillance (compréhension d'un événement passé) ou pour examiner la réaction d'un système à des sollicitations variables. Dans tous les cas, ces méthodes considèrent les éléments de protection en tant que composants d'un système et prétendent à l'exhaustivité. Trois types de logigramme aux objectifs différents sont présentés dans l'étude de référence [Iggibel *et al.*, 2014] :

- l'arbre des défaillances,
- l'arbre des événements,
- une combinaison des deux arbres précédents qualifié de « nœud papillon » en raison de sa forme générale.

Nous ne nous intéresserons ici qu'à l'adaptation aux risques « submersion marine » du logigramme de troisième type (nœud papillon) ordinairement utilisé pour traiter des risques industriels de type « perte de confinement » [INERIS, 2006].

Néanmoins, il convient de donner pour les deux premiers logigrammes les définitions nécessaires à la compréhension du troisième :

- Arbre de défaillance : Pour une défaillance donnée, logigramme qui permet l'identification de tous les événements intermédiaires, des causes initiales et de leur combinaison.
- Arbre des événements : Pour un événement donné, l'arbre des événements identifie tous les scénarios en découlant et pouvant conduire potentiellement à des conséquences diverses.

Le logigramme de type « nœud papillon » illustré par la figure 9 permet de représenter les deux parties de l'analyse correspondant :

- à l'arbre des défaillances qui établit la chaîne des événements jusqu'à l'inondation de la zone à enjeux.
- à l'arbre des événements qui, partant de cette inondation, détermine toutes ses conséquences potentielles.

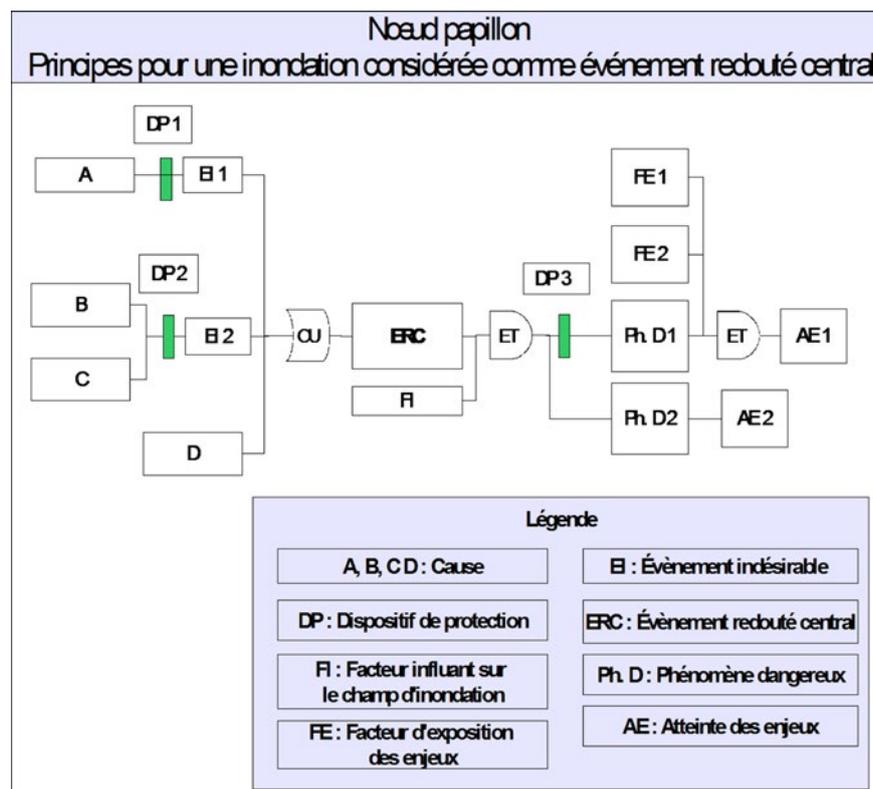


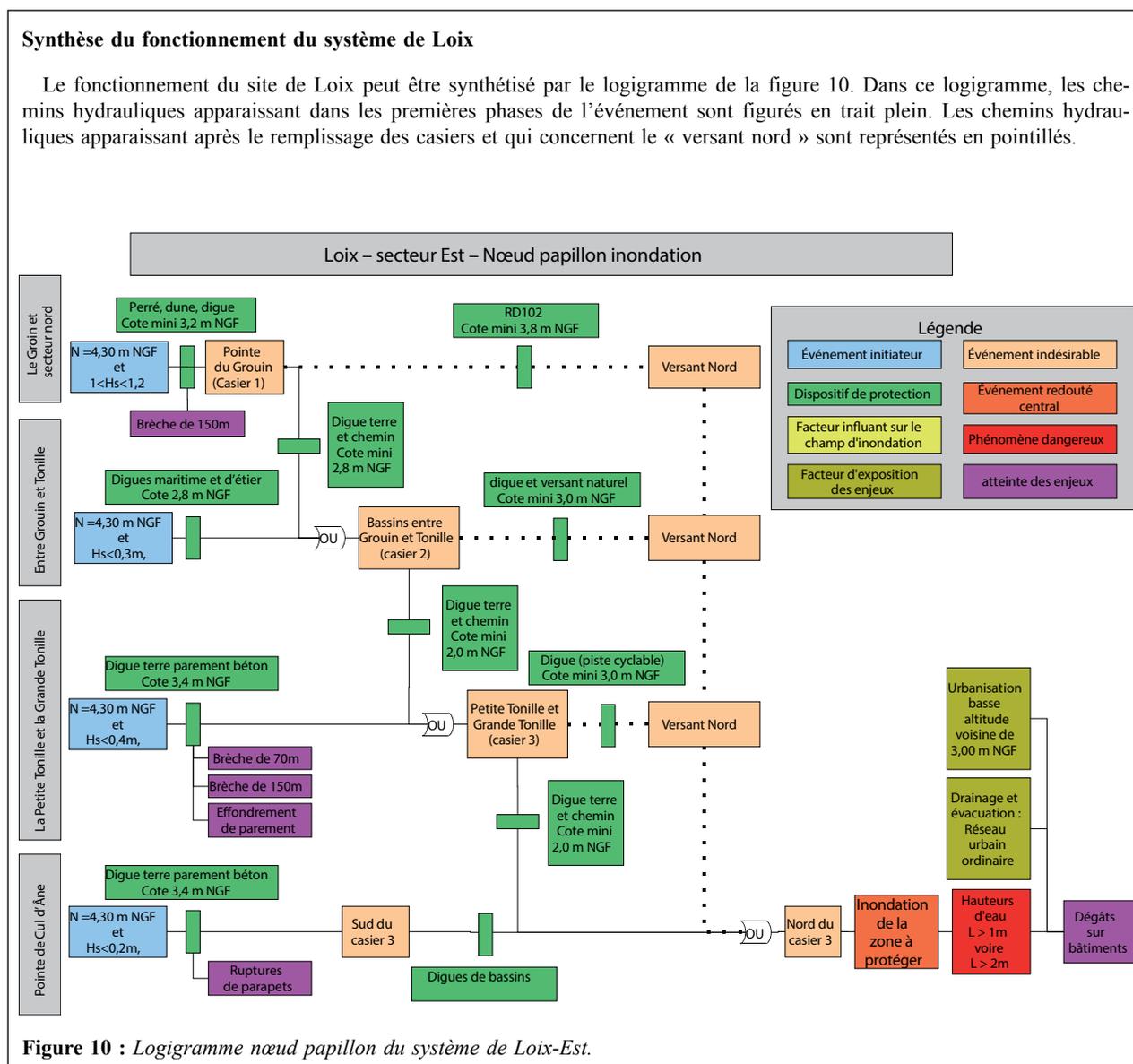
Figure 9 : Schéma de principe du logigramme « nœud papillon ».

La construction de ce logigramme requiert une identification du système de protection contre les inondations, de la zone intérieure et de la zone à enjeux qui doit impérativement être bien localisée.

La construction du logigramme est largement déterminée par le choix de l'événement redouté central. Dans le cadre de notre étude, il s'agit de l'inondation de la zone à enjeux (et non pas de la zone intérieure). Cette option de retenir l'inondation de la zone à enjeux comme événement redouté central permet de construire la partie du nœud papillon relative à la défaillance du système de protection en prenant en compte d'un seul tenant toutes ses composantes (fonctions de défense et fonctions de gestion de l'eau visant à interdire ou limiter, en quantité et dans la durée, les entrées d'eau dans la zone à enjeux).

Il apparaît pertinent de construire l'arbre des défaillances en se calquant le plus possible sur la configuration des lieux afin de faciliter le dialogue entre le logigramme et la cartographie. Les casiers hydrauliques sont utilisés pour identifier les sous-ensembles du logigramme de type nœud papillon. La construction de la partie relative à l'arbre des événements se concentre alors sur :

- l'apparition des événements dangereux en fonction de l'action des barrières de protection qui peuvent exister dans la zone à enjeux. En complément, les facteurs influant sur la propagation du champ d'inondation dans la zone à enjeux (ceux qui ne peuvent être considérés comme des barrières) peuvent être signalés.
- l'atteinte des enjeux. En complément, les facteurs d'exposition des enjeux peuvent être signalés.



V. CONCLUSION

La gestion des risques d'inondation sur un site s'effectue par la mise en œuvre d'un ensemble de mesures cohérentes destinées à réduire ce risque. Pour les sites côtiers, la définition de ces mesures nécessite de préciser l'aire géographique sur laquelle la démarche doit être menée et d'entreprendre sur ce périmètre :

- l'établissement d'un schéma fonctionnel d'ensemble : définition du système, de son fonctionnement et de ses limites, afin de comprendre les conditions dans lesquelles l'inondation se produit,
- la définition des mesures d'entretien et de surveillance des ouvrages et les opérations de manœuvres adéquates en fonction des niveaux d'eau ou des prévisions quant à leur évolution,
- la confrontation de ce schéma fonctionnel à la réalité des événements : lorsqu'un aléa survient, il s'agit de comparer la façon dont le système a réagi par rapport aux prévisions.

L'étude des événements passés joue un rôle fondamental dans la mise en œuvre de cette démarche. La connaissance précise du fonctionnement des systèmes au cours d'un événement majeur tel que Xynthia permet de mieux appréhender le fonctionnement du système pour d'autres scénarii de submersion.

Cet article jette un éclairage sur les lignes directrices d'une méthodologie développée pour l'étude des systèmes de protection dans le cadre d'un retour d'expérience. L'accent a notamment été porté sur les concepts, les stratégies d'étude et les méthodes d'analyse. La mise en œuvre de ces lignes directrices nécessite par ailleurs :

- une bonne appréhension des risques de submersion marine par une maîtrise des notions fondamentales (phénomènes naturels, événements, aléas, enjeux et vulnérabilité),
- une bonne connaissance des phénomènes physiques qui se produisent dans ces milieux côtiers, tant à l'échelle globale qu'à l'échelle des structures (y compris les formations naturelles du littoral),
- la mobilisation de compétences multiples pour les investigations et la modélisation.

Pour une plus ample information sur ces sujets, le lecteur est invité à se reporter à l'étude de référence [Igigabel

et al., 2014] dans sa partie méthodologique – la figure 1 du présent article en dévoile la structure détaillée – ainsi que sur les études de cas qui présentent des exemples concrets de réalisation.

VI. REMERCIEMENTS

Le financement de l'étude est assuré par la Direction Générale de la Prévention des Risques, au Ministère de l'Écologie et du Développement Durable.

Monsieur Christian Pitié, du Conseil Général de l'Écologie et du Développement Durable a partagé sa connaissance des sites d'étude et a régulièrement apporté son expertise.

Monsieur Xavier Bertin du laboratoire UMR 7266 LIENSs, CNRS-Université de La Rochelle, a collaboré au volet hydraulique de ce travail méthodologique.

Le soutien des services départementaux et régionaux de Poitou-Charente et des Pays de la Loire a été très apprécié, notamment lors des visites de sites.

VII. RÉFÉRENCES

- INERIS (2006) — *Outils d'analyse des risques générés par une installation Industrielle*
- MORRIS M., DYER M. AND SMITH P (2007) — Management of flood embankments – good practice review, R&D Technical Report FD2411/TR1. *PB No. 12171*
- TANGUY J.M. ED — *Traité d'hydraulique environnementale. Editions Lavoisier, sous la coordination de Jean-Michel Tanguy, 2009*
- SOGREAH (2011) — *Eléments de mémoire sur la tempête Xynthia du 27 et 28 février 2010, Charente-Maritime*
- BERTIN X., LI K., ROLAND A., ZHANG Y., BREILH J.F. AND CHAMILLON. — A modeling-based analysis of the flooding associated with Xynthia, central Bay of Biscay. *Soumis à Coastal Engineering*
- IGIGABEL M., NEDELEC Y., BERENGER N., FLOUEST N., ALEXIS B., DAVIAS H., BENOT R., REVEL J., CHASSE P., TIBERI-WADIER A.-L., PITIE CHR. (2014) — *Étude des systèmes de protection contre les submersions marines – méthodologie et études de cas issues du retour d'expérience Xynthia*