HAL
open science

Diagnostic préventif de la vulnérabilité des constructions résidentielles pour leurs occupants face au risque de submersion marine appliqué à l'île de Noirmoutier (Vendée, France)

Axel Creach, Sophie Pardo, Denis Mercier

▶ **To cite this version:**

Axel Creach, Sophie Pardo, Denis Mercier. Diagnostic préventif de la vulnérabilité des constructions résidentielles pour leurs occupants face au risque de submersion marine appliqué à l'île de Noirmoutier (Vendée, France). VertigO : La Revue Électronique en Sciences de l'Environnement, 2017, 17 (1), 10.4000/vertigo.18457 . hal-01535736

HAL Id: hal-01535736

https://hal.science/hal-01535736

Submitted on 1 Jun 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement

Volume 17 Numéro 1 | mai 2017
Tensions sur l'espace agricole : quand les enjeux fonciers réinterrogent le rapport entre propriété et usage

Diagnostic préventif de la vulnérabilité des constructions résidentielles pour leurs occupants face au risque de submersion marine appliqué à l'île de Noirmoutier (Vendée, France)

A preventive vulnerability diagnosis of housing buildings for people facing coastal flood : case study on Noirmoutier Island (France)

Axel Creach, Sophie Pardo et Denis Mercier

Édition électronique
URL : https://journals.openedition.org/vertigo/18457
DOI : 10.4000/vertigo.18457
ISSN : 1492-8442

Éditeur
Les Éditions en environnement VertigO

Édition imprimée
Date de publication : 25 mai 2017

Ce document vous est offert par Nantes Université

Référence électronique
Axel Creach, Sophie Pardo et Denis Mercier, « Diagnostic préventif de la vulnérabilité des constructions résidentielles pour leurs occupants face au risque de submersion marine appliqué à l'île de Noirmoutier (Vendée, France) », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 17 Numéro 1 | mai 2017, mis en ligne le 25 mai 2017, consulté le 01 juin 2022. URL : http://journals.openedition.org/vertigo/18457 ; DOI : https://doi.org/10.4000/vertigo.18457

Ce document a été généré automatiquement le 15 octobre 2021.

Les contenus de *VertigO* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Diagnostic préventif de la vulnérabilité des constructions résidentielles pour leurs occupants face au risque de submersion marine appliqué à l'île de Noirmoutier (Vendée, France)

A preventive vulnerability diagnosis of housing buildings for people facing coastal flood : case study on Noirmoutier Island (France)

Axel Creach, Sophie Pardo et Denis Mercier

Introduction

1 Sur les 100 dernières années, la tempête Xynthia du 28 février 2010 est le premier événement de submersion marine meurtrier en France métropolitaine (Boissier, 2013). 41 décès par noyade ont été recensés, tous localisés à l'intérieur de constructions résidentielles (Vinet et al., 2011). Cet événement a mis en avant le rôle de la vulnérabilité et plus particulièrement de l'architecture du bâti dans l'explication de ce bilan (Anziani, 2010 ; Bersani et al., 2010 ; Vinet et al., 2011 ; Pigeon, 2012 ; F. Vinet et al., 2012a ; Vinet et al., 2012b ; Kolen et al., 2013 ; Magnan et Duvat, 2014).

2 En effet, la tempête en elle-même ne possédait pas un caractère exceptionnel, (Feuillet et al., 2012) mais sa conjonction avec une marée haute de fort coefficient (102) a entraîné un niveau marin extrêmement important à la côte (Bertin et al., 2014) : il a dépassé de 2,15 m les plus hautes mers astronomiques à La Rochelle, et de 96 cm aux Sables-d'Olonne (Chauveau et Pourinet, 2015). Cela a conduit à la submersion de 50 000 hectares de zones littorales basses, entre l'estuaire de la Loire au nord, et l'estuaire de

la Gironde au sud (Verger, 2011 ; Magnan et Duvat, 2014). Du fait de l'attractivité du littoral (Corbin, 1990 ; Paskoff, 2004), et de l'accroissement de l'activité touristique, la pression foncière y est importante (Renard, 2005 ; Chauveau et al., 2011). Ainsi, une partie des zones submergées étaient urbanisées et 55 communes ont dénombré des maisons inondées sur leur territoire (Devaux et al., 2012 ; SOGREAH, 2010). Cette occupation renforce l'exposition à l'aléa de submersion marine sans toutefois que les nouvelles constructions aient tenu compte de ce risque. Cela est notamment dû au fait de l'absence d'événements météo-marins en France métropolitaine depuis 1950 (Garnier et Surville, 2010) et pour ne pas contrecarrer certains choix de développement locaux (Pigeon, 2012). Le fait que 78 % des décès soient survenus dans des constructions dépourvues d'étage où les occupants ont été pris au piège en est le principal révélateur (Vinet et al., 2011 ; Vinet et al., 2012a). Ainsi, l'augmentation du nombre de constructions en zones potentiellement inondables et l'inadaptation architecturale ont contribué à exacerber la vulnérabilité humaine, en créant une forme de piège, jusqu'à pouvoir conduire au décès. C'est là l'expression d'une vulnérabilité « passive » (Boissier, 2013) à laquelle peuvent s'additionner des formes de vulnérabilité « actives » liées à la vulnérabilité propre aux personnes (âge et condition physique) et le moment de la survenue de l'événement (la nuit).

3 Ce constat de la dangerosité des constructions pour leurs occupants a conduit l'État français à établir des zones « noires » ou « de solidarités » à l'intérieur desquelles 1 628 maisons ont été rachetées par l'État, puis détruites. Cette mesure est à l'origine de la première cartographie des constructions « dangereuses ». Néanmoins, elle a été critiquée pour son coût et son manque de transparence (Verger, 2010 ; Cour des Comptes, 2012 ; Mercier et Chadenas, 2012 ; Magnan et Duvat, 2014). On peut également regretter que cet exercice cartographique n'ait été appliqué qu'aux seules communes les plus impactées par Xynthia, (Pitié et Puech, 2010 ; Pitié et al., 2011) et ce a posteriori, sans vision prospective. Or, il existe d'autres territoires aux configurations analogues - urbanisation de zones potentiellement inondables, prédominance des constructions de plain-pied - où il pourrait exister des constructions pouvant se révéler dangereuses pour leurs occupants. En région Pays de la Loire, ce sont entre 60 000 et 80 000 logements qui sont soumis au risque de submersion marine, soit près d'un cinquième des logements exposés à ce risque en France métropolitaine (CETMEF et al., 2009). C'est également la région qui compte la proportion la plus importante de constructions de plain-pied parmi les constructions situées en zone inondable (MEDDE, 2012). Dans un contexte d'élévation du niveau marin liée au changement climatique, qui renforcera l'aléa de submersion marine, et de pression démographique toujours croissante sur le littoral atlantique, il paraît judicieux de mener un diagnostic a priori afin d'identifier les constructions pouvant exposer leurs occupants à un risque mortel. Cela répond d'ailleurs à une recommandation faite après Xynthia par Vinet et al. (2011) qui préconisaient de mener « un inventaire des zones à risque mortel [...] à l'échelle nationale », aussi appelées zones de vulnérabilité « extrême » (Creach et al., 2015a). Ainsi, en se basant sur la méthode développée par Creach et al. (2015a), nous proposons de mener un tel diagnostic, de manière prospective, afin d'appréhender la vulnérabilité du bâti résidentiel pour les occupants. Celui-ci portera sur le territoire de l'île de Noirmoutier, en région Pays de la Loire, identifié comme particulièrement vulnérable au risque de submersion marine par Chevillot-Miot et Mercier (2014).

4 Dans un premier temps, une présentation du territoire d'étude permettra de mettre en avant sa vulnérabilité potentielle au risque de submersion marine. Dans un deuxième

temps, la présentation de l'indice V.I.E. permettra de poser les bases méthodologiques de l'évaluation de la vulnérabilité. Les résultats seront présentés dans une troisième partie et seront ensuite discutés et mis en perspective.

L'île de Noirmoutier, un territoire exposé au risque de submersion marine

5 Noirmoutier est une île située sur la façade atlantique française, dans le département de la Vendée. D'une surface de 49 km², c'est un territoire qui se caractérise par sa faible altitude, 68 % de la surface de cette île étant situés sous la cote 4,20 m NGF (Nivellement général de la France) qui correspond au niveau marin mesuré dans le port de Noirmoutier lors de Xynthia (Figure 1 et Creach et al., 2015b). De plus, cette île connaît une pression foncière importante, notamment en lien avec le développement de l'activité touristique.

Contexte environnemental et exposition au risque de submersion marine

6 Territoire bas, l'île peut être scindée en trois secteurs distincts :

- Au nord, elle repose sur un socle granitique dont l'altitude moyenne se situe autour de 10 m et qui couvre environ 25 % du territoire de Noirmoutier.
- Du nord-ouest au sud-est, un cordon dunaire de 20 km isole l'île de l'Atlantique. Son altitude est toujours supérieure à 5,20 m NGF et sa largeur varie de moins de 50 m à plus de 200 m. Des brèches sont apparues par le passé à la pointe du Devin (L'Epine) et au Pulant-La Cantine (La Guérinière), ces secteurs ont fait l'objet de confortements artificiels par la construction de perrés dont les premiers travaux remontent à 1762 pour le Devin (communication personnelle de T. Sauzeau, 2014 ; Clouzot, 1913). Les parties artificialisées du cordon dunaire représentent actuellement moins de 20 % de sa longueur totale. Néanmoins, il connaît aujourd'hui une dynamique globalement régressive (Fattal et al., 2010 ; Debaine et Robin, 2012).
- En arrière du cordon dunaire, on retrouve d'anciens marais maritimes dont l'altitude est inférieure à 4,20 m NGF et qui couvrent les 2/3 de la surface de l'île. Ils ont été progressivement soustraits aux marées de la baie de Bourgneuf par un réseau de digues de 24 km de long.

7 C'est donc un territoire potentiellement exposé au risque de submersion marine en cas de défaillance du cordon dunaire ou du réseau de digues. Néanmoins, il a été épargné par la tempête Xynthia puisque seulement 3 % de son territoire a été inondé (Devaux et al., 2012). Toutefois, des événements passés sont connus. Eugène (2010) a recensé 23 événements de submersion marine ayant impacté l'île. Le plus important est celui de 1937 qui avait inondé une grande partie du territoire, mais qui n'avait toutefois pas provoqué de dommages au bâti du fait de sa plus faible extension qu'aujourd'hui (Garnier et al., 2012).

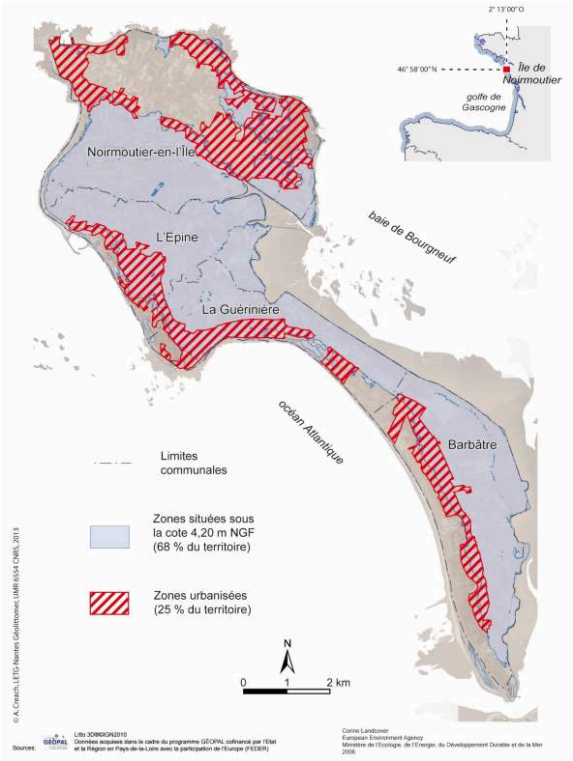
Contexte sociodémographique et accroissement de la vulnérabilité

8 Depuis 1937, la situation de l'île a beaucoup évolué. Si le tourisme balnéaire est une activité ancienne à Noirmoutier (Chauvet et Renard, 1978), il s'est beaucoup développé depuis le rattachement de Noirmoutier au continent par la construction d'un pont en 1971. Ainsi, si la population a augmenté de 19 % depuis 1968 pour atteindre un total de 9 508 habitants en 2009 (INSEE, 2014), le nombre de logements a connu une croissance de 162 % sur la même période. Cette augmentation s'est principalement faite au profit des résidences secondaires qui ont connu un accroissement de 350 % sur la période, contre 75 % pour les résidences principales. Aujourd'hui, les résidences secondaires représentent 50 % du parc de logements de l'île, contre 35 % pour les résidences principales, le reste étant des logements vacants (INSEE, 2014). Cette progression des logements s'est faite en partie sur le cordon dunaire, afin notamment de bénéficier de la vue sur mer, ainsi que dans les zones les plus basses de l'île où la pression foncière est moindre (Chevillot-Miot et al, 2012 ; Creach et al., 2015b). Si l'urbanisation couvre aujourd'hui 25 % de la surface de l'île, 50 % des logements sont situés dans des zones potentiellement submersibles (altitude inférieure à 4,20 m NGF, soit le niveau d'eau maximum mesuré lors de Xynthia) (Figure 1 et Chevillot-Miot et al., 2012 ; Creach et al., 2015b). D'après Creach et al. (2015b), 62 % des constructions de l'île situées en zone potentiellement inondable pourraient connaître des hauteurs d'eau supérieures à 1 m, seuil au-delà duquel un danger de mort existe pour les occupants (HR Wallingford et al., 2006 ; Jonkman et al., 2008 ; MEDDTL, 2011).

9 Au-delà de cet accroissement de l'exposition au risque de submersion marine, il faut noter une nette augmentation de la vulnérabilité avec une inadaptation des constructions situées en zone inondable : 65 % des constructions sont de type plain-pied (Creach et al., 2015b). Cette première évaluation montre ainsi que 42 % des constructions situées sous l'altitude 4,20 m NGF sont de plain-pied et susceptibles d'être inondées par un mètre d'eau ou plus (Creach et al., 2015b) : c'est une configuration qui fait de ces maisons un piège potentiel pour leurs occupants. Cette présentation du secteur d'étude met en avant son caractère potentiellement vulnérable face au risque de submersion marine. Territoire bas, il a déjà été durement impacté par les inondations par la mer. Le développement récent de logements en zones potentiellement inondables pose inéluctablement la question des conséquences potentielles d'un événement de type Xynthia s'il venait à frapper l'île. La prédominance des constructions de plain-pied induit évidemment une analogie avec le cas de La Faute-sur-Mer, où 29 personnes étaient décédées lors de la tempête Xynthia dont 65 % à l'intérieur de constructions dépourvues d'étage (Vinet et al., 2011).

10 Un diagnostic préventif des constructions pouvant présenter un danger pour leurs occupants apparaît donc pertinent sur ce territoire, d'autant plus dans un contexte d'élévation du niveau marin liée au changement climatique, afin d'identifier l'éventuelle présence de zones de vulnérabilité « extrême ». Ce diagnostic peut être utile afin d'anticiper dès aujourd'hui les conséquences d'un éventuel événement de type Xynthia et ainsi proposer des solutions d'adaptation afin de réduire la vulnérabilité.

Figure 1. Carte de l'île de Noirmoutier présentant les zones potentiellement inondables pour un aléa de type Xynthia (cote 4,20 m NGF) et la répartition de l'urbanisation



Source : adaptée de Creach et al., 2015 b

Des communes inégalement exposées

11 Noirmoutier-en-l'Île est la commune historique de l'île et la plus grande, à la fois par sa superficie et sa démographie. Elle couvre 40 % du territoire et repose en grande partie sur le plateau rocheux au nord de l'île (Figure 1). 50 % de la surface communale est située sous la cote 4,20 m NGF, cela concerne principalement le sud de la commune installée dans les marais. Quelques autres marais protégés de la mer par des cordons dunaires sont présents au nord et à l'est de la commune. En 2011, elle comptait 4 550 habitants permanents, mais deux tiers des logements de la commune sont des résidences secondaires (INSEE, 2014). Ces dernières ont d'ailleurs connus une croissance de + 340 % depuis 1968 (INSEE, 2014). Une partie des constructions de la commune est installée dans les zones basses de la commune : *La Grande Lande*, *La Clère*, *Les Sableaux* ou *Bel-Abois* (Figure 3).

12 La commune de L'Épine se trouve, elle, presque intégralement installée dans la partie basse de l'île, représentée par les anciens marais maritimes. 88 % de la surface communale est située sous la cote 4,20 m NGF (Figure 1). En 2011, elle représente 18 % de la surface de l'île et 18 % de sa population (1 713 habitants) (INSEE, 2014). Dès l'origine, les constructions de la commune se sont installées en arrière du cordon dunaire, dans des zones potentiellement inondables, afin de bénéficier de l'abri des vents dominants (Péret et Sauzeau, 2014). L'urbanisation du cordon dunaire est relativement récente (Chevillot-Miot et al., 2012). De fait, une grande partie de la commune est exposée au risque de submersion marine.

13 La Guérinière est la plus petite commune de l'île puisqu'elle représente 16 % de sa superficie et 15 % de sa population avec 1 450 habitants en 2011 (INSEE, 2014). Néanmoins, elle compte la proportion la plus importante de résidences secondaires puisque celles-ci représentent 74 % du parc immobilier de la commune et ont connu une croissance de + 600 % depuis 1968 (INSEE, 2014). Tout comme L'Épine, La Guérinière est installée en grande partie dans les anciens marais maritimes, qui représentent 80 % de la surface communale. Toutefois, à la différence de L'Épine, le cordon dunaire qui protège la commune de la mer est historiquement peu large et fragile, et a fait l'objet de travaux de confortement (communication personnelle de T. Sauzeau, 2014 ; Clouzot, 1913). C'est également la partie la plus étroite de l'île puisque moins d'un kilomètre sépare les côtes ouest et est de l'île (Figure 1). La côte est est défendue par un linéaire de digues dont la cote est située à 5 m NGF. Ainsi, la commune est à la fois exposée au risque de submersion marine par une rupture du cordon dunaire à l'ouest, ou des digues à l'est.

14 Enfin, la commune de Barbâtre présente une configuration similaire à celle de L'Épine. Le cordon dunaire qui protège la commune de la mer a une largeur supérieure à 500 m. 70 % de la surface communale est située sous la cote 4,20 m NGF (Figure 1).

15 Elle compte 1 785 habitants en 2011 (INSEE, 2014). Les constructions de la commune sont en grande majorité installées en arrière du cordon dunaire.

L'indice VIE comme mesure de la vulnérabilité humaine au risque de submersion marine

L'évaluation de la vulnérabilité à travers l'approche indicielle : intérêts et limites

16 D'après Dauphiné et Provitolo (2013), l'approche indicielle est l'une des méthodes permettant de mesurer la vulnérabilité. Elle a pour avantage une approche « opératoire » (Dauphiné et Provitolo, 2013) en autorisant la synthèse de plusieurs dimensions de la vulnérabilité permettant ainsi la création de cartes (Leone *et al.*, 2010). Les indices composites sont les plus couramment utilisés notamment pour la simplicité de leur construction qui en fait un outil pédagogique pertinent (Nardo *et al.*, 2005 ; INSERM et HAS, 2010 ; Klugmann *et al.*, 2011). Le revers de la médaille sont les choix arbitraires (critères, normalisation, pondération) et une forme de simplification de la réalité discutable (Nardo et al., 2005). Il faut donc garder à l'esprit que cette approche fournit avant tout un ordre de grandeur autorisant la comparaison.

17 L'île de Noirmoutier a déjà fait l'objet d'évaluations de la vulnérabilité à travers l'approche indicielle. On citera les travaux de Chevillot-Miot et al. (2012) et de Creach et al. (2015b). Le premier s'intéressait à la hauteur d'eau potentielle à l'intérieur des constructions tandis que le second proposait un croisement entre les hauteurs d'eau potentielles et le type architectural des constructions. La principale limite de ces travaux est de ne pas incorporer de paramètres permettant d'estimer la cinétique de la submersion, qui peut être un facteur déterminant pour faire d'une construction un piège pour les occupants (Vinet et al., 2011). C'est pourquoi nous souhaitons remobiliser la méthode de l'indice de Vulnérabilité intrinsèque extrême (ou indice V.I.E.) développée par Creach et al. (2015a) qui permet de caractériser le niveau de

vulnérabilité des constructions pour leurs occupants, en intégrant notamment un paramètre relatif à la cinétique. C'est un outil à micro-échelle – centré sur la construction résidentielle - qui a pour but d'identifier les constructions à l'intérieur desquelles des décès peuvent survenir en cas de submersion marine du fait de leur localisation et de leur configuration.

Contexte

18 L'indice V.I.E. est basé sur les enseignements tirés de la tempête Xynthia dont la particularité est que la totalité des décès par noyade consécutifs à la submersion marine a été recensée à l'intérieur de constructions résidentielles (Vinet et al., 2011 ; Vinet et al., 2012a). D'après l'analyse de Jonkman et Kelman (2005) qui se sont intéressés à 13 événements d'inondation, seuls 6 % des décès sont identifiés à l'intérieur de bâtiments (la principale cause concerne les noyades à l'intérieur de véhicules). Néanmoins, Boissier (2013) suggère que pour les événements de forte intensité, une forme de vulnérabilité subie par l'individu, ou vulnérabilité « passive », l'emporte ce qui tend à augmenter la proportion des décès à l'intérieur des bâtiments. Ce constat est confirmé par Boudou (2015) qui a analysé les décès consécutifs à 9 événements d'inondations en France. L'exemple de l'ouragan Katrina est également significatif puisque 54 % des décès ont été localisés dans des constructions résidentielles (Jonkman et al., 2009). Pour l'événement Xynthia, la localisation et les caractéristiques des constructions résidentielles ont été des facteurs prépondérants pour expliquer les décès puisqu'elles ont formé un piège pour les occupants. Les travaux de Vinet et al. (2011) ont mis en avant que 100 % des victimes ont été localisées à l'intérieur de constructions où la hauteur d'eau a dépassé un mètre, 90 % ont été recensées à moins de 400 de mètres d'une digue, et 78 % sont décédées dans des constructions de plain-pied. Cela tend à confirmer que la localisation (en zone potentiellement inondable, à proximité de digues) et la configuration (architecture) des constructions résidentielles renforcent la vulnérabilité humaine et peuvent exposer les occupants à un risque potentiellement mortel.

Méthode

19 C'est sur la base de ces constats que l'indice V.I.E. a été construit, dans l'objectif d'identifier de manière préventive les constructions à l'intérieur desquelles des décès peuvent survenir en cas d'inondation par la mer. Quatre critères ont été retenus (Figure 2) :

- La hauteur d'eau potentielle à l'intérieur de constructions en cas de submersion marine : plus le niveau est important, plus la construction est considérée dangereuse pour ses occupants.
- La distance à un ouvrage de protection contre la mer : plus une construction est proche d'un tel ouvrage (digue ou perré) et plus le niveau d'eau peut monter rapidement à l'intérieur en cas de surverse ou de rupture de l'ouvrage. Cela peut donc créer un effet de surprise pour les occupants qui peuvent se retrouver piégés.
- Le type architectural des constructions : les constructions de plain-pied sont considérées plus dangereuses que les autres, car elles peuvent piéger les occupants du fait de

l'impossibilité de se réfugier en hauteur. À l'inverse, les constructions où le rez-de-chaussée est inoccupé seront considérées peu vulnérables pour les occupants.

- La proximité à une zone refuge : une zone refuge est une zone naturellement hors d'eau où les populations peuvent se réfugier. Plus une construction est proche d'une telle zone et plus il sera aisé pour les occupants des constructions concernées d'y accéder en dernier recours en cas d'inondation.

20 Pour chacun des critères, une note est attribuée pour chaque construction, allant de 0 (non vulnérable) à 4 (très vulnérable) (Figure 2). Une analyse statistique d'un échantillon de 7 192 observations a permis de proposer une formule d'agrégation des critères qui soit robuste (Creach et al., 2015a). Cette formule propose une pondération entre le critère 1 et le critère 4 pour limiter la corrélation naturelle qui existe entre eux : une construction située dans les zones les plus basses (critère 1) a toute les chances d'être éloignée des zones naturellement hors d'eau (critère 4). À l'image d'un problème similaire dans la formule de l'Indice de développement humain (PNUD, 1990, Klugmann et al., 2011), les deux critères ont été regroupés en donnant plus de poids au premier, la hauteur d'eau étant un facteur de vulnérabilité plus important que la distance à une zone refuge (Vinet et al., 2011). Cette formule donne donc des résultats qui s'échelonnent de 0 à 12 selon le niveau de vulnérabilité que représentent les constructions résidentielles pour leurs occupants (Figure 2).

21 Afin de cartographier les résultats, quatre classes représentant un niveau de vulnérabilité différent ont été définies (Figure 2) et dont les caractéristiques, à partir de l'échantillon des observations utilisé pour l'analyse statistique, sont les suivantes :

- Classe verte : comprend les constructions qui ont un résultat égal à 0 et pour lesquelles aucune vulnérabilité n'est identifiée. Cela concerne les constructions qui ne sont pas exposées au risque de submersion marine. Il faut noter que les constructions pour lesquelles le critère 1 (hauteur d'eau potentielle à l'intérieur du bâtiment) est égal à 0 (bâtiment non inondable) sont automatiquement versées dans cette classe.
- Classe jaune (indice V.I.E. compris entre [1 et 5]) : comprend les constructions exposées au risque de submersion marine, mais dont la localisation et/ou la configuration n'entrainent pas une vulnérabilité importante pour les occupants. La hauteur d'eau y est inférieure à 0,5 m dans 75 % des cas, 70 % sont localisés à plus de 400 m d'un ouvrage de protection, 75 % possèdent un étage (étage refuge ou étage complet), 75 % sont situés à moins de 200 m d'une zone refuge.
- Classe rouge (indice V.I.E. compris entre]5 et 8]) : comprend les constructions qui présentent un niveau de vulnérabilité important pour les occupants, mais non mortel hormis en cas de prise de risque (tentative de fuite, etc.) ou de vulnérabilité additionnelle (mobilité réduite, etc.). La hauteur d'eau y est inférieure à 1 m dans 50 % des cas, 10 % des constructions sont situées à moins de 100 m d'un ouvrage de protection, mais 70 % des constructions sont de type plain-pied et 55 % sont éloignées de plus de 100 m d'une zone naturellement hors d'eau.
- Classe noire (indice V.I.E. supérieur à 8) : concerne les constructions dans lesquelles des décès peuvent survenir en cas d'inondation du fait de leur localisation et de leur configuration. La hauteur d'eau y est supérieure à 1 m, dans 80 % des cas, 97 % des constructions sont situées à moins de 400 m d'un ouvrage de protection, 98 % sont de type plain-pied, et 70 % sont éloignées de plus de 100 m d'une zone naturellement hors d'eau.

22 Scénarios retenus

23 Il est proposé d'appliquer cet indice pour deux scénarios de submersion :

- Un scénario « actuel » qui correspond au niveau marin de référence retenu dans le cadre des plans de prévention des risques littoraux (PPR-L). Celui-ci correspond aux plus hautes eaux connues (PHEC) ou à un événement théorique d'occurrence centennale si les PHEC y sont inférieures (MEDDE, 2013 ; Chadenas et al., 2013). Pour l'île de Noirmoutier, cela correspond au niveau d'eau mesuré lors de l'événement Xynthia dans le port de Noirmoutier-en-l'Île : 4,20 m NGF (Devaux et al., 2012). Cela est 30 à 40 cm plus haut que le niveau théorique centennal calculé par le Shom (Pineau-Guillou, 2012).
- Un « scénario 2100 », basé sur le premier, intègre l'élévation du niveau marin à l'horizon 2100 soit + 0,60 m NGF comme recommandé par le ministère de l'Écologie (MEDDTL, 2011). L'urbanisation est considérée comme inchangée sur la période.

24 Les niveaux d'eau définis dans le cadre de ces deux scénarios servent à calculer les critères de l'indice. Un modèle d'inondation « statique » (Breilh et al., 2013) couplé à une transparence des ouvrages de protection (MEDDE, 2013) permet de connaître l'enveloppe d'aléa en considérant que tout ce qui se trouve sous le niveau marin de référence est susceptible d'être inondé. Cela permet de connaître le nombre de constructions situées en zone potentiellement inondable. Bien que cette méthode puisse surestimer les hauteurs d'eau et les surfaces inondées (Breilh et al., 2013), notamment du fait que les ouvrages de protection sont considérés détruits au moment de l'inondation, elle permet également de s'affranchir des hypothèses associées aux scénarios de rupture et de traiter l'ensemble de constructions de manière égalitaire.

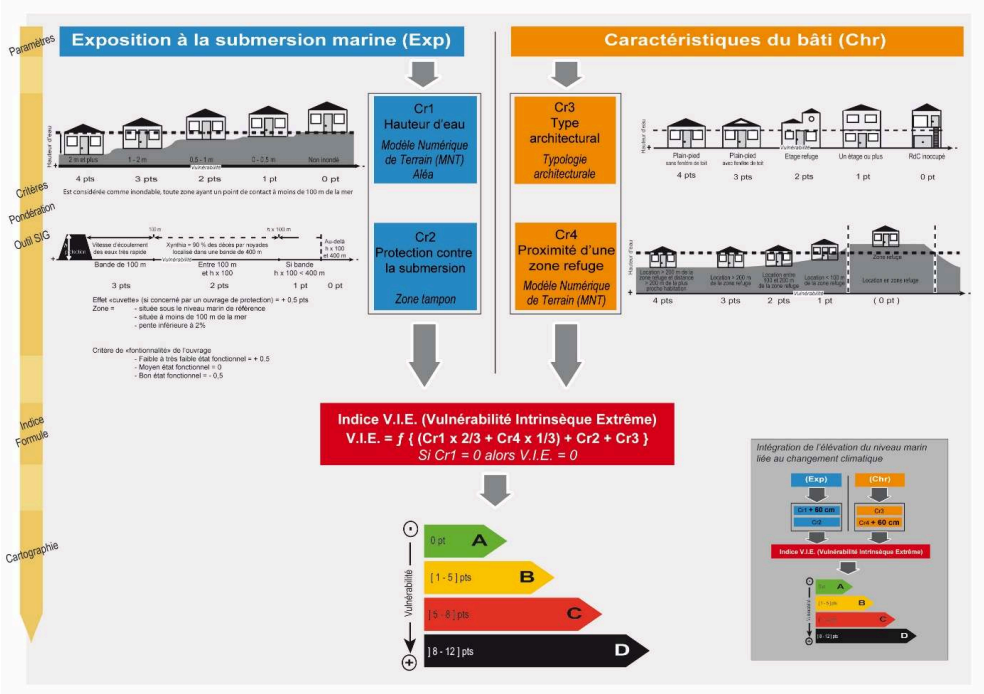
25 La hauteur d'eau à l'intérieur des constructions, nécessaire au calcul du critère 1, est estimée sur cette base et correspond à la différence entre le niveau marin de référence et l'altitude du terrain naturel au niveau de la construction, obtenue grâce aux données LiDAR (Light Detection And Ranging) Litto-3D (IGN et SHOM, 2012). Les zones naturellement hors d'eau retenues pour le critère 4 sont définies à partir du niveau d'eau de référence et concernent les terrains dont l'altitude est supérieure de 30 cm à ce niveau de référence, soit une marge de sécurité ne pouvant être inférieure à 5 % aux plus hauts niveaux marins théoriques le long du littoral atlantique français (Pineau-Guillou, 2012).

Validation

26 Afin de valider la méthode, les premiers résultats de l'indice pour 3 communes durement touchées par l'événement Xynthia (La Faute-sur-Mer, l'Aiguillon-sur-Mer et Charron) ont fait l'objet d'une analyse statistique et ont été confrontés au retour d'expérience de la tempête Xynthia (Creach et al., 2015a). À La Faute-sur-Mer, 83 % des 29 décès recensés sur la commune ont été répertoriés dans des constructions identifiées dans la classe noire grâce à l'indice VIE, et 17 % dans la classe rouge. Cela confirme que les constructions identifiées dans la classe noire présentent effectivement un risque de décès pour leurs occupants. Parmi les décès survenus dans des constructions identifiées en classe rouge (5 décès), nous savons que 3 d'entre eux étaient des personnes particulièrement vulnérables (jeune enfant et personnes à mobilité réduite). Pour les deux autres cas, nous n'avons pas connaissance des circonstances des décès. Tous les décès de cette classe sont survenus dans des constructions pourvues d'un étage refuge ou d'un étage complet. La vulnérabilité des

personnes semble donc un facteur aggravant qui explique les décès dans les constructions identifiées en rouge par l'indice V.I.E.

Figure 2. Méthodologie de l'indice V.I.E., présentant les critères retenus et leur définition et leur pondération, la formule utilisée ainsi que les classes de vulnérabilité (adapté de Creach et al., 2015a).



Source : adaptée de Creach et al., 2015a

Résultats de l'indice V.I.E. pour les communes de l'île de Noirmoutier

27 Les résultats de l'indice V.I.E. pour l'île de Noirmoutier sont d'abord exposés critère par critère. Afin de ne pas alourdir le contenu, ces cartes intermédiaires ne sont pas présentées. Elles sont néanmoins accessibles en se référant aux travaux de Creach (2015)[1]. Dans un second temps, les résultats de l'indice V.I.E. sont présentés par commune avec une carte de l'indice V.I.E. pour le scénario actuel et un tableau présentant les résultats pour les deux scénarios. Cela permet de distinguer des profils de vulnérabilité et de dresser un niveau de vulnérabilité global de l'île.

Exposition au risque de submersion marine et hauteurs d'eau potentielles à l'intérieur des constructions (Critère 1)

28 Du fait de sa taille, la commune de Noirmoutier-en-l'Île est la plus exposée au risque de submersion marine en valeurs absolues, puisqu'elle compte 2 227 constructions situées sous la cote 4,20 m NGF. Néanmoins, en valeurs relatives, cela ne représente que 28 % des constructions de la commune, la grande majorité étant concentrée sur le plateau rocheux. Parmi les constructions exposées au risque de submersion marine, 61 % seraient inondées par moins d'un mètre d'eau pour l'aléa de référence actuel.

29 À l'inverse, L'Épine est la commune qui compte le moins de constructions situées en zone potentiellement inondable, avec 1 747 bâtiments situés sous la cote 4,20 m NGF, mais qui représentent 75 % du total des constructions de la commune. Cela est lié à l'installation de la commune dans l'espace arrière-dunaire. Parmi les constructions situées dans ce secteur, 83 % pourraient être inondées par un mètre d'eau ou plus en cas de submersion.

30 Bien qu'étant la plus petite commune de l'île, La Guérinière compte 24 % des constructions situées en zone potentiellement inondable de Noirmoutier, soit 1 783 bâtiments résidentiels. Parmi ces bâtiments, 75 % pourraient être inondés par un mètre d'eau ou plus en cas d'inondation, voire à deux mètres pour les constructions situées dans des cuvettes éloignées du cordon dunaire.

31 Enfin, à Barbâtre 1 775 constructions sont potentiellement exposées au risque de submersion marine, ce qui représente la moitié des constructions de la commune, et le quart des constructions de l'île. La largeur du cordon dunaire sur la commune explique l'importance des constructions situées hors zone inondable. Pour ce qui concerne les constructions situées dans la partie arrière-dunaire, plus de 77 % pourraient être inondées par plus d'un mètre de hauteur d'eau.

32 De par sa taille, c'est donc Noirmoutier-en-l'Île qui compte le plus de constructions en zone inondable. Dans les faits, ce sont tout de même les trois autres communes qui présentent le niveau de vulnérabilité le plus important : plus des trois quarts des constructions potentiellement inondables pourraient connaître des hauteurs d'eau supérieures à un mètre. Cela s'explique par leur installation dans la dépression arrière-dunaire, en position d'abri, comme l'ont signalé Chevillot et al. (2012) et Creach et al. (2015b).

Des constructions relativement éloignées des ouvrages de défense contre la mer (Critère 2)

33 40 % du trait de côte noirmoutrin est artificiel, principalement du fait de la longue digue qui protège l'île de la baie de Bourgneuf, du sud de Noirmoutier-en-l'Île jusqu'à l'extrémité sud-est de l'île. Quelques renforts ponctuels sont à noter le long de secteurs fragiles dans le cordon dunaire : *Bel-Abord*, *La Grande Lande* à Noirmoutier-en-l'Île (Figure 3) ; *Le Devin* à L'Épine (Figure 4) ; *Le Pulant-La Cantine* à La Guérinière (Figure 5). De manière générale, les constructions de l'île sont éloignées de la digue de l'est où les terrains sont les plus bas : ce sont des terrains humides, longtemps dédiés à l'activité salicole (Chauvet et Renard, 1978). Ainsi à L'Épine et Barbâtre, moins de 2 % des constructions situées en zone potentiellement inondable sont installées à moins de 500 m des digues.

34 Toutefois, à Noirmoutier-en-l'Île, 39 % des constructions sont situées à proximité des ouvrages de protection, notamment en prolongement du port ou dans le secteur de *La Grande Lande*. À La Guérinière, ce sont 56 % des constructions résidentielles qui sont directement exposées en cas de défaillance des ouvrages, notamment autour du secteur *Le Pulant-La Cantine* où un perré renforce le cordon dunaire. Ce secteur est à proximité du centre de la commune où la densité de bâtiments est importante. Ces deux communes peuvent donc être exposées de manière plus forte en cas de défaillance des

ouvrages de défense, ce qui peut occasionner un effet de surprise pour les occupants des constructions.

Prédominance des constructions de plain-pied (Critère 3)

35 Les données sur la typologie architecturale du bâti ont été obtenues par des relevés de terrain (Creach et al., 2015b). Il en ressort que les constructions de plain-pied sont prédominantes sur l'île. Cette proportion atteint son maximum à Barbâtre et L'Épine où les constructions de plain-pied représentent respectivement 74 % et 70 % des constructions situées dans les zones potentiellement inondables. À La Guérinière, cette proportion atteint 60 %, tandis qu'elle est de 56 % à Noirmoutier-en-l'Île.

Cordon dunaire et socle rocheux, zones refuges naturelles (Critère 4)

36 Les deux entités qui offrent une zone naturellement hors d'eau en cas d'inondation par la mer, quel que soit l'aléa de référence retenu, sont le socle rocheux sur la commune de Noirmoutier-en-l'Île et le cordon dunaire faisant face à l'océan, du nord-ouest au sud-est.

37 À Noirmoutier-en-l'Île, les constructions situées en zone potentiellement inondable sont proches du socle rocheux. 68 % d'entre elles sont donc à moins de 100 m de cette zone de refuge potentielle. Seuls 2 % des constructions sont localisées à plus de 200 m du plateau rocheux, notamment dans le secteur de *La Grande Lande* et de *Bel-Abord*.

38 L'Épine connaît un étalement important de son urbanisation en arrière du cordon dunaire. 37 % des constructions situées sous la cote 4,20 m NGF sont localisées à moins de 100 m du cordon dunaire, mais 33 % sont à plus de 200 m, ce qui peut rendre son accès difficile en cas d'événement d'inondation.

39 À La Guérinière et à Barbâtre, les constructions sont plus proches du cordon dunaire puisqu'elles sont respectivement 56 % et 52 % à se trouver à moins de 100 m de cette zone refuge, et 14 % et 10 % à plus de 200 m.

Constructions à risque potentiellement mortel : une exposition inégale

40 Les quatre communes de l'île présentent donc des caractéristiques différentes. Les résultats de l'indice V.I.E. mettent en avant des profils de vulnérabilité distincts.

41 La position de Noirmoutier-en-l'Île sur le plateau rocheux se traduit par la très forte représentation des constructions non exposées au risque de submersion marine. La classe verte y représente 72 % des constructions, et 64 % à l'horizon 2100 (Tableau 1). 28 % des constructions sont donc susceptibles d'être inondées, mais le risque mortel y est globalement limité puisque cela concernerait moins de 5 % des constructions de la commune, ou 13 % des constructions exposées au risque de submersion marine (et 15 % d'ici à 2100).

Tableau 1. Résultats de l'indice V.I.E pour la commune de Noirmoutier-en-l'Île.

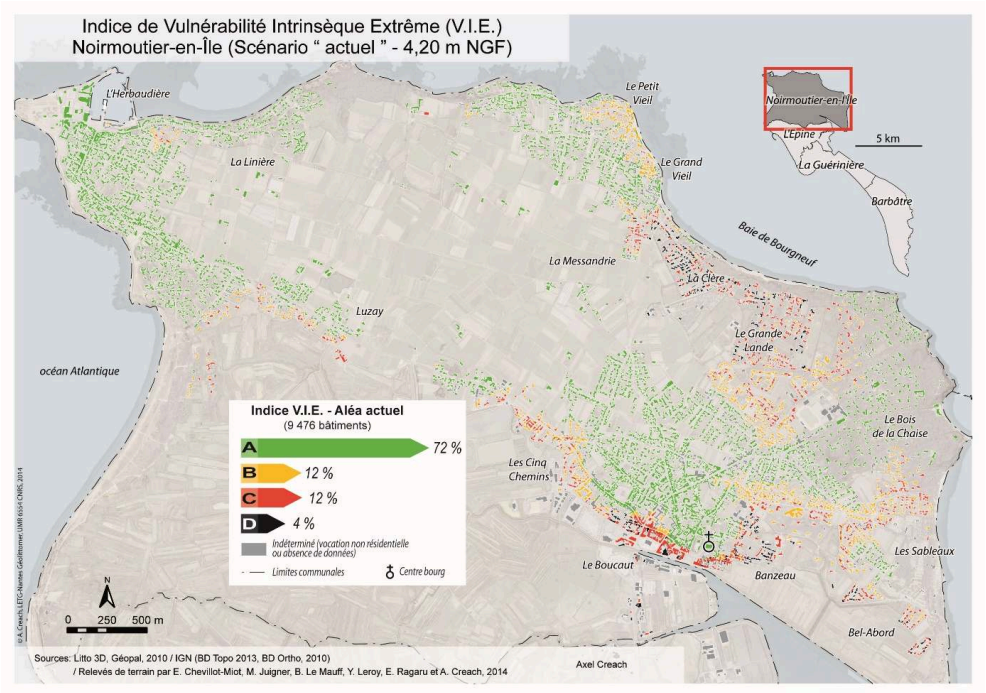
	Aléa actuel		Aléa 2100	
Classe A	5695	72%	5071	64%
Classe B	1007	12%	965	12%
Classe C	929	12%	1461	19%
Classe D	291	4%	425	5%
Total identifiés	7922	100%	7922	100%
Non identifiés	1554	16%	1554	16%
Total commune	9476	100%	9476	100%

Source : Creach, 2015.

42 D'après la carte de la Figure 3, les principaux secteurs concernés seraient *La Clère* et *La Grande Lande*, au nord de la commune. Ce sont des secteurs bas, protégés de la mer par un cordon dunaire renforcé par un perré et où le risque de rupture existe. À l'est, le secteur des *Sableaux* présente un niveau de vulnérabilité modéré, en arrière d'un cordon dunaire de faible altitude (environ 5 m NGF). C'est le seul secteur urbanisé qui a été inondé lors de Xynthia sur l'île (Devaux et al., 2012). Les derniers secteurs notablement vulnérables se trouvent dans la partie sud de la commune : dans le bourg en bordure du port où l'on retrouve des constructions anciennes, souvent dotées d'étages, ainsi qu'en périphérie du marais de *Müllembourg* où l'on retrouve des constructions basses vers *Banzeau* et *Bel-Abord* où des lotissements construits après les années 60 sont situés à basse altitude est en retrait de la longue digue *Jacobsen* conforté après Xynthia.

43 La situation de Noirmoutier-en-l'Île se traduit donc par une faible part de constructions exposées au risque de submersion marine, mais celles-ci comptent tout de même une proportion non négligeable de constructions identifiées dans la classe noire, principalement du fait de la localisation en retrait d'ouvrages de protection.

Figure 3. Carte présentant les résultats de l'indice V.I.E. pour l'aléa de référence actuel pour la commune de Noirmoutier-en-l'Île.



Source : Creach, 2015.

44 L'Épine et Barbâtre présentent un profil radicalement opposé : les classes extrêmes y sont peu représentées, à l'inverse des classes intermédiaires. À L'Épine, la classe verte ne représente qu'un quart des constructions de la commune (24 % et 21 % à l'horizon 2100 - Tableau 2), tandis qu'à Barbâtre elle en compte un peu moins de la moitié (48 % et 44 % à l'horizon 2100). Cela concerne les constructions installées sur le cordon dunaire, à une altitude supérieure à 4,20 m NGF (ou 4,80 m à l'échéance 2100 - Tableau 3).

45 Parmi les constructions exposées à l'inondation sur les deux communes, moins de 1 % d'entre elles présentent les caractéristiques de maisons pièges pouvant entraîner le décès de leurs occupants (Tableau 2 et Tableau 3). Cela s'explique par l'éloignement des constructions aux digues qui protègent l'île ce qui réduirait l'effet de surprise en cas de défaillance de ces ouvrages. À L'Épine, seul 1 % des constructions sont situées à moins de 600 m d'un ouvrage de défense, dans le secteur de la pointe du *Devin* dans le nord-ouest de la commune (Figure 4). À Barbâtre, ce sont 2 % des maisons qui se situent à proximité des digues, principalement dans le sud de la commune, dans le secteur de *La Fosse*, où l'île se rétrécit à proximité de la pointe (Figure 5).

Tableau 2. Résultats de l'indice V.I.E pour la commune de L'Épine.

	Aléa actuel		Aléa 2100	
Classe A	563	24%	475	21%
Classe B	519	22%	343	15%
Classe C	1225	53%	1485	64%
Classe D	3	<1%	7	<1%
Total identifiés	2310	100%	2310	100%
Non identifiés	984	30%	984	30%
Total commune	3294	100%	3294	100%

Source : Creach, 2015.

Tableau 3. Résultats de l'indice V.I.E pour la commune de Barbâtre.

	Aléa actuel		Aléa 2100	
Classe A	1614	48%	1485	44%
Classe B	561	16%	374	11%
Classe C	1189	35%	1496	44%
Classe D	25	1%	34	1%
Total identifiés	3389	100%	3389	100%
Non identifiés	819	19%	819	19%
Total commune	4208	100%	4208	100%

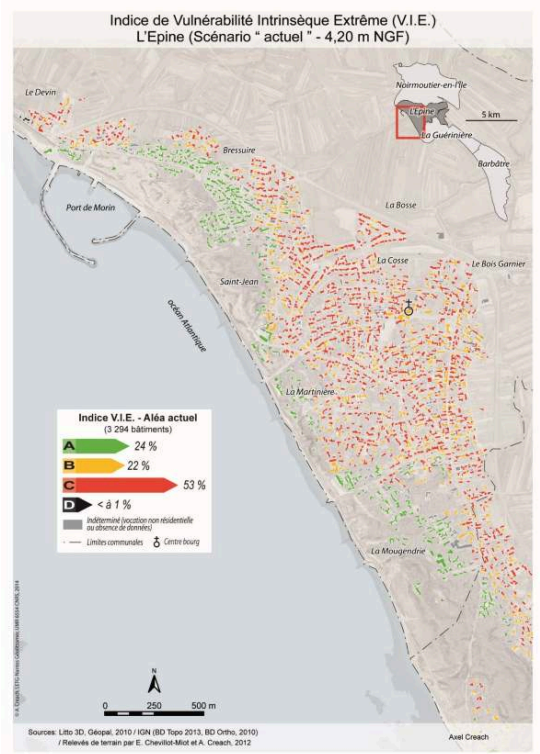
Source : Creach, 2015.

46 Le reste de l'urbanisation se concentre en arrière du cordon dunaire, dans des zones de basses altitudes et où les constructions de plain-pied dominent. On observe donc une prédominance de constructions identifiées dans la classe rouge où la vulnérabilité est forte, mais la probabilité de décès limitée. La classe rouge compte 53 % des constructions de L'Épine (64 % à l'échéance 2100) et 35 % de celles de Barbâtre (44 % en 2100). On retrouve des maisons appartenant à la classe jaune disséminées sur le territoire, principalement des constructions dotées d'un étage ou situées à proximité du cordon dunaire (où les hauteurs d'eau seraient plus faibles et les zones refuges plus accessibles).

47 Les deux communes bénéficient largement de la protection du cordon dunaire, sa largeur et sa hauteur formant un rempart naturel face à la mer et au risque d'inondation, même si des secteurs de faiblesses au *Devin* (L'Epine) et au *Pulant-La*

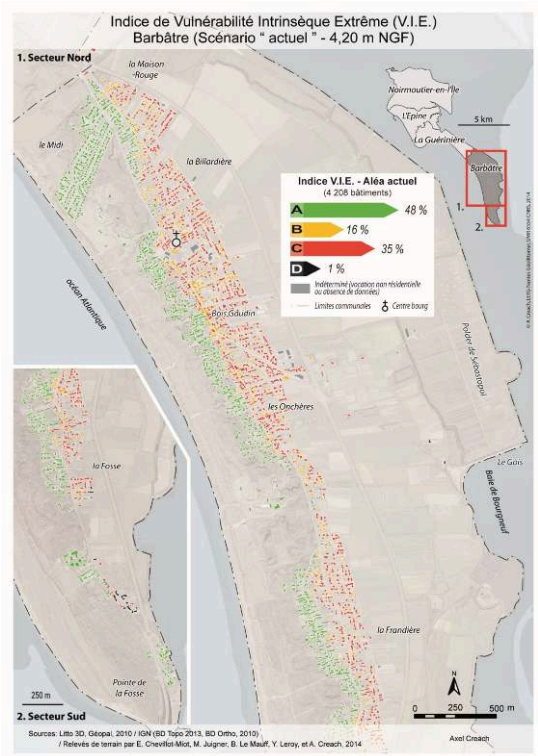
Cantine (La Guérinière) ont nécessité la construction de perrés où un risque de rupture existe. L'éloignement des noyaux d'urbanisation aux digues de la baie de Bourgneuf, s'il ne permet pas de se prémunir contre une submersion marine, limiterait le risque d'une submersion brusque telle qu'elle s'est produite à La Faute-sur-Mer en 2010. Ici, la dynamique de submersion serait plus lente, laissant ainsi du temps aux occupants pour se réfugier. Cela explique la faible part des constructions présentant une vulnérabilité « extrême » et l'importance de celles relevant d'une vulnérabilité « moyenne ».

Figure 4. Carte présentant les résultats de l'indice V.I.E. pour l'aléa de référence actuel pour la commune de L'Épine.



Source : Creach, 2015.

Figure 5. Carte présentant les résultats de l'indice V.I.E. pour l'aléa de référence actuel pour la commune de Barbâtre.



Source : Creach, 2015.

48 La commune de La Guérinière possède le profil le plus vulnérable de l'île. Elle présente une configuration analogue à ses voisines de L'Épine et Barbâtre, en position d'abri en arrière du cordon dunaire. Toutefois, à la différence de celles-ci, elle est installée en arrière d'un secteur de faiblesse de la dune et dans la partie la moins large de l'île : une montée rapide du niveau d'eau en cas de rupture d'un ouvrage serait donc possible.

49 Comme à L'Épine et à Barbâtre, une grande majorité des constructions est exposée au risque de submersion marine : 63 % pour l'aléa de référence actuel et 68 % pour l'aléa 2100 (Tableau 4). La part des constructions identifiées dans la classe noir est la plus importante de l'île avec 20 % des maisons pour l'aléa de référence actuel, et 25 % d'ici 2100. Ces constructions sont situées entre les perrés du secteur du *Pulant-La Cantine* et les digues de la baie de Bourgneuf. On retrouve *La Cantine*, *Trente-Un*, *Les Dizains*, *La Cornette* (Figure 6).

Tableau 4. Résultats de l'indice V.I.E pour la commune de La Guérinière.

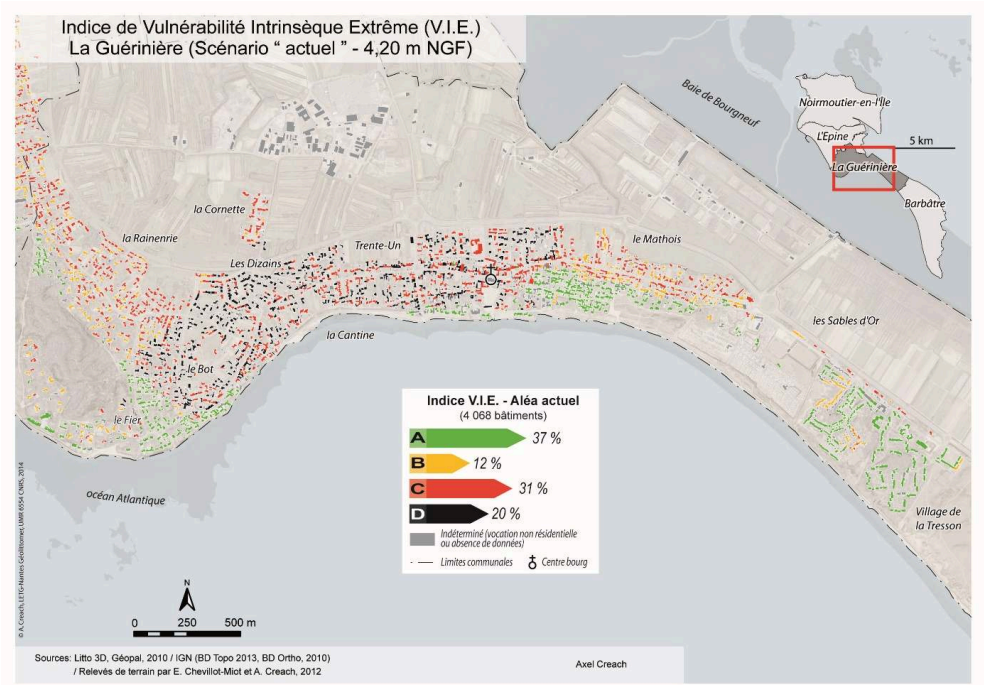
	Aléa actuel		Aléa 2100	
Classe A	1034	37%	890	32%
Classe B	329	12%	313	11%
Classe C	885	31%	908	32%
Classe D	569	20%	706	25%
Total identifiés	2817	100%	2817	100%
Non identifiés	1251	31%	1251	31%
Total commune	4068	100%	4068	100%

Source : Creach, 2015.

50 Aux extrémités ouest et est de la commune on retrouve la configuration de L'Épine et Barbâtre, avec une urbanisation sise en arrière du cordon dunaire, haut et large. Les secteurs de *La Rainerie* et du *Mathois* comptent une alternance de constructions identifiées dans les classes rouge et jaune du fait de l'éloignement aux digues.

51 La Guérinière tient donc la vulnérabilité de ses constructions à sa proximité à des ouvrages de protection. En cela, elle possède une configuration similaire à La Faute-sur-Mer.

Figure 6. Carte présentant les résultats de l'indice V.I.E. pour l'aléa de référence actuel pour la commune de La Guérinière.



Source : Creach, 2015.

52 À l'échelle de l'île, 54 % des 16 438 constructions analysées sont comprises dans la classe verte et ne sont donc pas exposées au risque de submersion marine. La classe des constructions présentant le niveau de danger le plus important pour les occupants compte 5 % des constructions résidentielles, mais la classe rouge représente tout de même 26 % des constructions. Ainsi près de 2/3 des bâtiments peuvent exposer leurs occupants à un risque potentiellement mortel, même si celui-ci est relativement limité pour la classe rouge.

Discussion

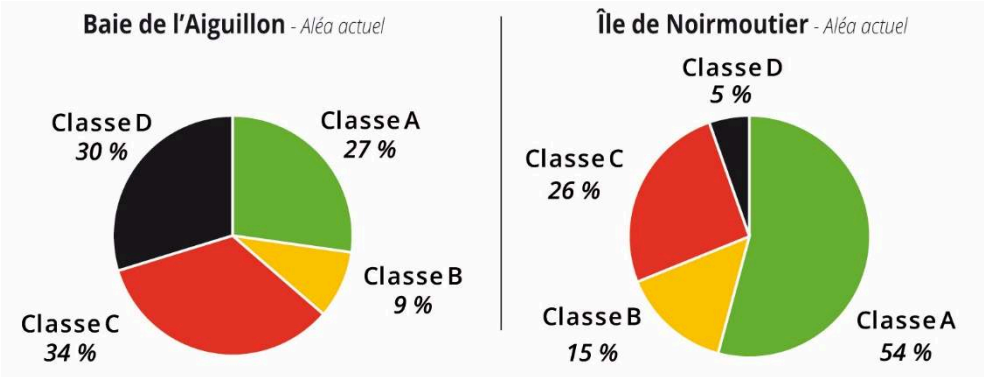
Un niveau de vulnérabilité relatif

53 Ces résultats peuvent être remis en perspective de plusieurs points de vue. Tout d'abord, il faut noter qu'ils sont sensiblement différents de ceux présentés par Chevillot-Miot et al. (2012) et Creach et al. (2015b). La première étude s'intéressait uniquement aux hauteurs d'eau potentielles à l'intérieur des constructions et faisait ressortir L'Épine comme commune la plus vulnérable avec 60 % de ses constructions (y compris celles situées hors zone inondable) susceptibles d'être inondées par un mètre d'eau ou plus, résultat que nous pouvons confirmer pour cet unique critère. À l'inverse, Noirmoutier-en-l'Île apparaissait comme la moins vulnérable. Le travail de Creach et al. (2015b) proposait de croiser hauteurs d'eau potentielles et type architectural. Cette étude présentait L'Épine et Barbâtre comme communes les plus vulnérables, notamment du fait de l'importance des constructions de plain-pied. Noirmoutier-en-l'Île ressortait également comme relativement épargnée. Dans les deux cas, La Guérinière n'apparaît pas comme étant la commune la plus vulnérable au risque de submersion marine. L'intégration de la distance des constructions aux points de faiblesses structurelles apparaît donc être un critère essentiel pour expliquer le résultat de l'indice V.I.E. Il apparaît logique que la montée rapide du niveau d'eau, suite à la rupture d'un ouvrage, soit un paramètre primordial pour expliquer la possibilité de survenue de décès en cas d'inondation.

54 Par ailleurs, ces résultats peuvent également être comparés avec les résultats de l'indice V.I.E. pour les communes de la baie de l'Aiguillon - La Faute-sur-Mer, l'Aiguillon-sur-Mer et Charron - déjà analysées par Creach et al. (2015a) La Faute-sur-Mer présente un très fort niveau de vulnérabilité avec 48 % de constructions identifiées dans la classe noire et 33 % dans la classe rouge. Seuls 11 % des constructions ne sont pas concernées par le risque de submersion marine (classe verte). Cela est dû au caractère bas de la commune et à la très grande proximité des constructions aux digues. On retrouve une configuration similaire à l'Aiguillon-sur-Mer, mais avec un degré de vulnérabilité moindre : 28 % des constructions sont identifiées dans la classe noire, 44 % dans la classe rouge et 20 % dans la classe verte. Charron présente un profil très différent : 70 % des constructions composent la classe verte, 18 % la classe rouge et seulement 1 % la classe noire. Ici, les constructions sont particulièrement éloignées des digues ; un à deux kilomètres en moyenne. Seules les plus proches peuvent présenter un risque potentiellement mortel pour les occupants, on les trouve à 500 m en retrait des ouvrages de protection. De manière générale, la vulnérabilité de ces trois communes apparaît donc élevée avec près de 1/3 des constructions en classe noire, 1/3 en classe rouge et un peu plus de ¼ en classe verte (Figure 7). Toutefois, comme

l'illustre la carte (Figure 8), où les communes sont identifiées selon la couleur de la classe de vulnérabilité prédominante (supérieures à 30 %), deux profils se distinguent : La Faute-sur-Mer et l'Aiguillon-sur-Mer avec un fort taux de vulnérabilité, lié à la proximité de l'urbanisation aux digues ; et Charron où très peu de constructions sont exposées, notamment du fait de leur retrait par rapport aux ouvrages de protection.

Figure 7. Comparaison des résultats de l'indice V.I.E. pour les trois communes de la baie de l'Aiguillon et les quatre communes de l'île de Noirmoutier (aléa de référence actuel).



Source : Creach, 2015.

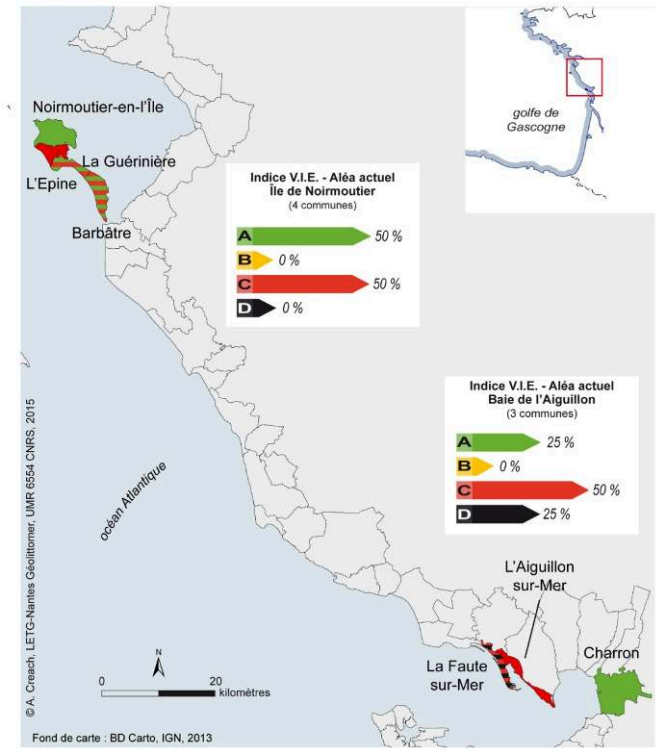
55 À la lumière de ces résultats, l'île de Noirmoutier apparaît globalement moins vulnérable à un événement de type Xynthia que les communes de la baie de l'Aiguillon puisque seuls 31 % des constructions peuvent présenter un risque potentiellement mortel pour les occupants (et moins de 5 % sont incluses dans la classe noire), contre 64 % pour les communes de la baie de l'Aiguillon (Figure 7). On peut néanmoins distinguer trois profils :

- La commune de Noirmoutier-en-l'Île se rapproche de Charron par la part importante de constructions non vulnérables au risque de submersion marine (classe verte) (Figure 8). Toutefois, les constructions qui y sont exposées sont plus proches des digues, ce qui peut expliquer la part plus importante de constructions composant la classe noire (13 % des constructions exposées au risque de submersion marine, contre 2 % à Charron).
- L'Épine et Barbâtre présentent également une forte analogie avec Charron. Bien que la proportion de constructions exposées à l'inondation soit beaucoup plus importante pour les deux communes de l'île de Noirmoutier (76 % des constructions de L'Épine et 52 % pour Barbâtre, contre 30 % pour Charron), ces trois communes se rapprochent par la faiblesse de la classe noire et l'importance de la classe rouge (Figure 8). La classe noire compte pour moins de 2 % des constructions exposées au risque de submersion marine (2 % à Charron, moins de 1 % à L'Épine et 1 % à Barbâtre) tandis que la classe rouge compte plus de 60 % des bâtiments (60 % à Charron, 70 % à L'Épine et 67 % à Barbâtre). La vulnérabilité des constructions pour les occupants est donc importante sur ces trois communes (les constructions de plain-pied y représentent entre 70 et 76 % des bâtiments, les bâtiments où les hauteurs d'eau potentielles peuvent être supérieures à un mètre représentent 58 et 83 % des constructions exposées à l'inondation), mais le risque mortel y est limité. On peut l'expliquer par l'éloignement de l'urbanisation aux digues : près de 2 km séparent les digues de la baie de Bourgneuf des premières constructions de L'Épine et Barbâtre, un kilomètre en moyenne pour celles de Charron. L'effet de surprise, lié à une augmentation rapide du niveau d'eau, en cas d'inondation par la mer, y serait donc moins important ce qui limite le caractère « extrême » de la vulnérabilité de ces trois communes.

- Enfin, on peut rapprocher le profil de La Guérinière de ceux de La Faute-sur-Mer et de l'Aiguillon-sur-Mer. Pour ces trois communes, la classe noire représente plus de 30 % des constructions exposées au risque d'inondation : 32 % pour La Guérinière, 35 % pour l'Aiguillon-sur-Mer et 54 % pour La Faute-sur-Mer. Ce sont également les trois communes où le bâti est le plus proche des digues : 89 % des constructions de La Faute-sur-Mer sont situées à moins de 600 m des digues, 70 % à l'Aiguillon-sur-Mer et 56 % à La Guérinière, contre moins de 4 % pour Charron, L'Épine et La Guérinière.

56 La proximité des constructions par rapport aux digues est donc le critère qui fait basculer les constructions de la classe vulnérabilité importante, mais non « extrême » (classe rouge) à la classe où un risque mortel existe (classe noire). L'effet de surprise que peut engendrer la montée rapide du niveau d'eau en cas de défaillance de l'ouvrage aggrave la vulnérabilité humaine, pouvant conduire jusqu'au décès. Cela vient à nouveau confirmer le rôle caduc des digues face aux événements extrêmes (Vinet, 2010 ; Rode, 2012).

Figure 8. Carte présentant la vulnérabilité des communes de l'île de Noirmoutier et de la baie de l'Aiguillon. Les communes sont colorées selon les classes de vulnérabilité prédominantes (supérieures à 30 %).



Source : Creach, 2015.

Les limites de la méthode employée

57 Si la méthode de l'indice V.I.E. est robuste et permet de comparer la situation de différents territoires entre eux, il convient d'en souligner les limites (Creach et al., 2015a), au-delà de celles associées à l'utilisation d'indice composite et exposées par Nardo et al. (2005).

58 La première concerne la mesure de l'aléa. La méthode d'inondation « statique » employée (superposition topographie/niveau marin), couplée à la transparence des digues, conduit à surestimer les hauteurs d'eau (Breilh et al., 2013), paramètre qui influe sur le nombre de constructions retenues dans le calcul de l'indice et qui majore le résultat du critère 1. Cela est particulièrement vrai pour des surfaces inondables importantes telles que des zones de marais (Breilh et al., 2013). Pour limiter cela, il faudrait recourir à l'utilisation de modèles hydrodynamiques intégrant la simulation des écoulements, couplés à des modèles probabilistes de rupture de digues (Di Mauro et Lumbroso, 2008 ; Bertin et al., 2014). Ces modèles sont plus réalistes, mais néanmoins onéreux et requièrent des compétences techniques (Ramirez et al., 2016). De plus, ils reposent sur des hypothèses qui peuvent différer selon les événements que l'on souhaite modéliser (coefficients de rugosité ; nombre, largeur et chronologie des brèches).

59 L'utilisation d'une méthode statique permet de s'affranchir de ces hypothèses. Elle permet de traiter de manière égalitaire l'ensemble des constructions situées en zone inondable et donc de centrer le diagnostic plus sur la vulnérabilité que sur l'aléa. Un compromis pourrait être l'utilisation de la méthode alternative proposée par Breilh et al. (2013), pour laquelle l'estimation des volumes franchissant permet une évaluation plus réaliste des surfaces inondées et des hauteurs d'eau.

60 Deux paramètres supplémentaires conduisent à surestimer les hauteurs d'eau à l'intérieur des constructions. La hauteur d'eau est estimée à partir de données LiDAR issues du programme Litto-3D (IGN et SHOM, 2012). Cooper et al. (Cooper et al., 2013) signalent un certain nombre d'incertitudes quant à l'utilisation de ces données, notamment dans le cas de marais où la présence d'eau dégrade la précision du signal laser. Les zones urbaines peuvent également perturber le signal par la géométrie complexe qu'elles forment. Pour les données utilisées pour ce travail, issues du programme Litto-3D (IGN et SHOM, 2012), la précision en altitude annoncée est de 20 cm. De plus, il convient de noter que l'altitude du terrain naturel ne correspond pas nécessairement au niveau du premier plancher à l'intérieur des constructions. La présence de vides sanitaires peut induire une surélévation de 20 cm à 60 cm du premier planche, ce qui limite d'autant la hauteur d'eau à l'intérieur du bâtiment par rapport au terrain naturel.

61 La seconde limite concerne la collecte des données de typologie architecturale des constructions. Jusqu'à présent, celles-ci ont été collectées directement sur le terrain. Ce travail chronophage peut-être source d'incertitudes : toutes les constructions ne sont pas visibles, parfois cachées par des murs ou de la végétation. Il existe donc une part de constructions non identifiées qui varie de 16 % à 31 % selon les communes. De plus, il serait nécessaire de refaire une collecte régulière afin de maintenir la donnée à jour. Afin de pouvoir optimiser l'exploitation de cette donnée, il faudrait pouvoir disposer de la base de données MAJIC (Mise à jour des informations cadastrales) proposée par la Direction générale des finances publiques. Son accès est restreint et pour le moment il n'a pas été possible de la consulter. La collecte manuelle n'a par ailleurs pas permis de s'intéresser à l'habitat précaire (cabanisation) ou mobile (mobil-home) pourtant source de vulnérabilité avérée en cas d'inondation (Vinet et al., 2011)

62 Enfin, il convient de noter que l'aspect « humain » a été volontairement écarté de cette approche. Si Xynthia a démontré que la localisation des victimes dépendait des caractéristiques du bâti résidentiel, la temporalité de l'événement (survenu en pleine

nuit contribuant à surprendre les individus), l'âge et la capacité physique des victimes furent également des critères prépondérants (Vinet et al., 2011). De la même manière, la très forte représentation des résidences secondaires a probablement été un facteur qui a limité le bilan humain de cet évènement. Néanmoins, des données fines sur l'occupation des logements sont extrêmement difficiles à obtenir, les données de l'INSEE étant agrégées à l'échelle communale ou, pour les communes d'une certaine taille, à l'échelle des IRIS. C'est pour cette raison que nous proposons un indice centré sur la vulnérabilité du bâti résidentiel pour ses occupants, quel que soit son occupation (principal/secondaire) ou sa composition (nombre d'occupants, âges). Cela permet d'appréhender toutes les constructions sur une base commune et de proposer un diagnostic initial pouvant ensuite déboucher sur des mesures d'adaptation différentes selon leurs occupations.

Conclusion

63 L'île de Noirmoutier, peu touchée par l'épisode Xynthia, fut en grande partie inondée en 1937, sans que cela ne provoque de dégâts majeurs au bâti du fait de son emprise moindre à l'époque (Garnier et al., 2012). Depuis lors, la situation a évolué et l'urbanisation a progressé de + 162 % depuis 1968 (INSEE, 2014), occupant de plus en plus d'espace dans les zones basses du territoire. Il est donc judicieux de s'interroger sur les conséquences éventuelles de tels événements s'ils venaient à se produire dans le contexte actuel, d'autant plus que l'élévation du niveau marin liée au changement climatique renforcera le risque de submersion marine.

64 L'application de la méthode de l'indice V.I.E. (Creach et al., 2015a) sur le territoire montre que 46 % des constructions de l'île sont susceptibles d'être inondées pour un événement de type Xynthia, cette proportion pourrait atteindre 52 % en 2100 du fait de l'élévation du niveau marin, ce qui ne tient pas compte d'un probable accroissement de l'urbanisation sur la période.

65 Parmi les constructions potentiellement inondables, la part de celles pouvant exposer leurs occupants à un risque mortel élevé représente 12 %. Cette proportion pourrait gagner 2 points d'ici à 2100.

66 Toutefois, cette proportion est variable d'une commune à l'autre, elle atteint 32 % des constructions à La Guérinière, et moins de 1 % à L'Épine. À Noirmoutier-en-l'Île, cela concerne 13 % des bâtiments, contre 1 % à Barbâtre. Cette différence tient avant tout à la configuration des communes et à la proximité de l'urbanisation aux digues. L'Épine et Barbâtre sont installées en arrière du cordon dunaire qui protège l'île face à la mer et sont éloignées des points de faiblesses du trait de côte. Cet éloignement limiterait l'élévation rapide du niveau d'eau en cas de défaillance des ouvrages, ce qui explique la faible part des constructions présentant un danger mortel pour les occupants. La Guérinière est également installée en arrière du cordon dunaire, mais dans la partie la plus étroite de l'île. Le cordon dunaire y présente des points de faiblesses et est renforcé par des perrés. Elle est donc soumise à un risque d'inondation en cas de rupture du cordon dunaire ou des digues de la côte est. L'effet de surprise pourrait donc y être notoire en cas de submersion marine ce qui explique que ce soit la commune qui compte le plus de constructions dangereuses. Noirmoutier-en-l'Île est installée sur un socle rocheux entrecoupé de zones basses protégées par un cordon dunaire, parfois renforcé par des perrés. Les constructions situées à proximité de ces

renforts pourraient être soumises à une élévation rapide du niveau d'eau en cas d'inondation, ce sont celles qui peuvent présenter un risque potentiellement mortel pour les occupants.

67 Ces résultats apportent des éléments factuels permettant d'alimenter la réflexion sur les conséquences possibles d'un événement de type Xynthia s'il venait à submerger l'île, et aux impacts que pourraient avoir une rupture de digue comme cela a pu se produire à La Faute-sur-Mer en 2010. Ces résultats permettent également de reposer la question du réel effet protecteur de ces ouvrages face aux événements extrêmes (Vinet, 2010 ; Rode, 2012 ; Pigeon, 2015) même si la vulnérabilité du territoire noirmoutrin doit être nuancée par rapport à La Faute-sur-Mer ou l'Aiguillon-sur-Mer (Creach et al., 2015a). Surtout, ces résultats posent la question de l'adaptation, dans un contexte d'élévation du niveau marin liée au changement climatique, afin de ne pas subir un tel événement de manière passive. Ce diagnostic ouvre la réflexion sur l'évolution de la vulnérabilité et sa réduction. La reconstitution des « trajectoires de vulnérabilité » permet d'appréhender la vulnérabilité passée pour anticiper la vulnérabilité future (Magnan et al., 2012) et ainsi proposer de possibles mesures d'adaptation afin d'éviter qu'un nouvel épisode Xynthia ait les mêmes conséquences qu'en 2010.

Remerciements

68 Les auteurs tiennent à remercier la communauté de Communes de l'île de Noirmoutier, et plus particulièrement Martin Paillart, pour le soutien logistique apporté lors de la collecte des données sur le terrain. Ces données n'auraient pu être collectées sans la participation active et précieuse d'Elie Chevillot-Miot, Denis Mercier, Etienne Ragaru, Martin Juigner, Yannick Leroy et Baptiste Le Mauff. Les données complémentaires ont été obtenues grâce à la plateforme Géopal. Les auteurs remercient également Laurent Pourinet pour les discussions constructives et les conseils avisés pour la cartographie. Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de recherche COSELMAR, financé par la région Pays de la Loire — pour plus d'informations : http://www.coselmar.fr/-.

69 Enfin, les auteurs remercient les deux relecteurs pour leurs remarques ayant permis d'améliorer ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

Anziani, A., 2010, Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur les conséquences de la tempête Xynthia (rapport d'étape), Rapport sénatorial, [En ligne] URL : http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/104000290/, consulté le 5 mars 2014

Bersani, C., P. Dumas, M. Rouzeau, F. Gérard, O. Gondran, A. Hélias, X. Martin, P. Puech, B. Fleury, M. Greff, R. Bougère et Y. Trepos, 2010, Tempête Xynthia : retour d'expérience, évaluation et propositions d'action, Rapport pour le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement

durable et de la mer, [En ligne] URL : http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/104000293/. Consulté le 5 mars 2014

Bertin, X, K. Li, A. Roland, Y. Zhang, J.-F. Breilh et E. Chaumillon, 2014, A modeling-based analysis of the flooding associated with Xynthia, central Bay of Biscay, Coastal Engineering, 94, pp. 80-89.

Boissier, L., 2013, La mortalité liée aux crues torentielles dans le sud de la France : une approche de la vulnérabilité humaine face au risque d'inondation, Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III, 215 p.

Boudou, M., 2015, Approche multidisciplinaire pour la caractérisation d'inondations remarquables - Enseignements tirés de neuf évènements en France (1910-2010), Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III, 463 p.

Breilh, J.-F., E. Chaumillon, X. Bertin et M. Gravelle, 2013, Assessment of static flood modeling techniques : application to contrasting marshes flooded during Xynthia (western France), Natural Hazards and Earth System Sciences, 13, 6, pp. 1595-1612.

Centre d'études techniques maritimes et fluviales (CETMEF), Centres d'études techniques de l'équipement Méditerranée (CETE Méditerranée) et Centres d'études techniques de l'équipement Ouest (CETE Ouest), 2009, Vulnérabilité du territoire National aux risques littoraux - France métroploitaine, [En ligne] URL : http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/vulnerabilite-du-territoire-a406.html, consulté le 28 septembre 2016

Chadenas, C., A. Creach et D. Mercier, 2013, The impact of storm Xynthia in 2010 on coastal flood prevention policy in France, Journal of Coastal Conservation, 18, 5, pp. 529-538.

Chauveau, E., C. Chadenas, B. Comentale, P. Pottier, A. Blanloeil, T. Feuillet, D. Mercier, L. Pourinet, N. Rollo et I. Tillier, 2011, Xynthia : leçons d'une catastrophe, CyberGeo : European Journal of Geography, 538, pp. 1-25, [En ligne] URL : https://cybergeo.revues.org/23763, consulté le 28 septembre 2016.

Chauveau, E. et L. Pourinet, 2015, Niveaux marins extrêmes sur les côtes atlantiques métropolitaines : modèle et observation, dans : Coll., Atlas Permanent de la Mer et du Littoral - Les risques littoraux et maritimes, Nantes, LETG-Nantes Géolittomer, UMR 6554 CNRS, pp. 25

Chauvet, A. et J. Renard, 1978, La Vendée. Le Pays. Les hommes, Les Sables-d'Olonne, Éditions du Cercle d'or, 181 p.

Chevillot-Miot, E., A. Creach et D. Mercier, 2013, La vulnérabilité du bâti face au risque de submersion marine : premiers essais de quantification sur l'île de Noirmoutier (Vendée), Les Cahiers Nantais, 2013, 1, pp. 5-14.

Chevillot-Miot, E. et D. Mercier, 2014, La vulnérabilité face au risque de submersion marine : exposition et sensibilité des communes littorales de la région Pays de la Loire (France), VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 14, 2, 23 p., [En ligne] URL : https://vertigo.revues.org/15110, consulté le 28 septembre 2016.

Clouzot, E., 1913, Les modifications littorales de l'île de Noirmoutier, La Géographie, 27, 1, 33 p.

Cooper, H., C. H. Fletcher, Q. Chen et M. M. Barbee, 2013, Sea-level rise vulnerability mapping for adaptation decisions using LiDAR DEM, Progress in Physical Geography, 37, 6, pp. 745-766.

Corbin, A., 1990, Le Territoire du vide : L'Occident et le désir du rivage, 1750-1840, Paris, Flammarion, 407 p.

Cour des Comptes, 2012, Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var. Rapport de la Cours des Comptes, URL : http://www.ccomptes.fr/fr./

Publications/Publications/Les-enseignements-des-inondations-de-2010-sur-le-littoral-atlantique-Xynthia-et-dans-le-Var, consulté le 28 septembre 2016

Creach, A., 2015, Cartographie et analyse économique de la vulnérabilité du littoral atlantique français face au risque de submersion marine (2 volumes), Thèse de doctorat, Université de Nantes, 570 p.

Creach, A, S. Pardo, P. Guillotreau et D. Mercier, 2015a, The use of a micro-scale index to identify potential death risk areas due to coastal flood surges : lessons from Storm Xynthia on the French Atlantic coast, Natural Hazards, 77, 3, pp. 1679-1710.

Creach, A., E. E. Chevillot-Miot, D. Mercier et L. Pourinet, 2015 b, Vulnerability to coastal flood hazard of residential buildings on Noirmoutier Island (France), Journal of Maps, 11p. [En ligne] URL : http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17445647.2015.1027041, consulté le 28 septembre 2016

Dauphiné, A. et D. Provitolo, 2013. Risques et catastrophes-Observer, spatialiser, comprendre, gérer, Paris, Armand Colin, 416 p.

Debaine, F et M. Robin, 2012, A new GIS modelling of coastal dune protection services against physical coastal hazards, Ocean & Coastal Management, 63, pp. 43-54.

Devaux, E., G. Désiré, C. Boura, J. Lowenbruck, N. Bérenger, N. Rouxel et N. Romain, 2012, La tempête Xynthia du 28 février 2010 – Retour d'expérience en Loire-Atlantique et Vendée - Volet hydaulique et ouvrages de protection, Rapport du CETE-Ouest /DREAL Pays-de-la-Loire/DDTM Loire-Atlantique/DDTM Vendée, [En ligne] URL : http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_REX_final.pdf, consulté le 28 septembre 2016

Di Mauro, M. et D. M. Lumbroso, 2008, Hydrodynamic and loss of life modelling for the 1953 Canvey Island flood, FLOODrisk 2008, p. 1117-11126, [En ligne] URL : http://eprints.hrwallingford.co.uk/230/, consulté le 16 janvier 2015.

Eugène, J.-L., 2010, Principales catastrophes et cataclysmes dans l'Île de Noirmoutier depuis le IIIe siècle : Répertoire – Causes – Remèdes - Vers l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques Naturel, Rapport pour l'association Vivre l'île 12 sur 12, [En ligne] URL : http://www.12sur12.org/wp-content/uploads/2016/06/CATASTROPHES-Juin-2016.pdf, consulté le 28 septembre 2016

Fattal, P., M. Robin, M. Paillart, M. Maanan, D. Mercier, C. Lamberts et S. Costa, 2010, Effets des tempêtes sur une plage aménagée et à forte protection côtière : la plage des Éloux (côte de Noirmoutier, Vendée, France), Norois, 215, 2, pp. 101-114.

Feuillet T., E. Chauveau et L. Pourinet, 2012, Xynthia est-elle exceptionnelle ? Réflexions sur l'évolution et les temps de retour des tempêtes, des marées de tempête, et des risques de surcotes associés sur la façade atlantique française, Norois, 222, 1, pp. 27-44.

Garnier E., N. Henry et J. Desarthe, 2012, Visions croisées de l'historien et du courtier en réassurance sur les submersions : recrudescence de l'aléa ou vulnérabilisation croissante ? dans : Pryzluski V. et S. Hallegatte (dir.), Gestion des risques naturels – Leçons de la tempête Xynthia, Versailles, Editions Quae, pp. 105-128

Garnier E. et F. Surville, 2010, La tempête Xynthia face à l'histoire ; submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Âge à nos jours, Saintes, Le Croît Vif, 176 p.

HR Wallingford, Middlesex University et Risk et Policy Analysts Ltd, 2006, Flood Risks to People - Phase 2 : The Flood Risks to People Methodology. Rapport Defra /Environment Agency, [En ligne] URL : http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx ?Document =FD2321_3436_TRP.pdf, consulté le 28 septembre 2016

Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM), 2012, Litto3D® – v 1.0 - Spécifications techniques, [En ligne] URL : http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_Litto3D.pdf, Consulté le 28 septembre 2016

Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), 2014, Recensement général de la population 2011, [En ligne] URL : http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/default.asp ?page =recensements.htm, consulté le 28 septembre 2016

Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM) et Haute autorité de santé (HAS), 2010, Analyse critique du développement d'indicateurs composites : le cas de l'infarctus du myocarde à la sortie de l'établissement de santé. Rapport pour Haute Autorité de Santé, [En ligne] URL : http://drees.social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/seriesource_method19.pdf, consulté le 5 avril 2017

Jonkman, S. N. et I. Kelman, 2005, An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths, Disasters, 29, 1, pp. 75-97.

Jonkman, S. N., J. K. Vrijling et A. C. W. M. Vrouwenvelder, 2008, Methods for the estimation of loss of life due to floods : a literature review and a proposal for a new method, Natural Hazards, 46, 3, pp. 353-389.

Jonkman, S. N., B. Maaskant, E. Boyd et M. L. Levitan, 2009, Loss of life caused by the flooding of New Orleans after Hurricane Katrina : analysis of the relationship between flood characteristics and mortality, Risk Analysis, 29, 5, pp. 676-698.

Klugman J., F. Rodriguez et H.-J. Chol, 2011, The HDI 2010 : new controversies, old critiques. The Journal of Economic Inequality. 9, 2, pp. 249-288.

Kolen, B., R. Slomp et S. N. Jonkman, 2013, The impacts of storm Xynthia February 27–28, 2010 in France : lessons for flood risk management, Journal of Flood Risk Management, 6, 3, pp. 261-278.

Léone, F., N. Meschniet de Richemond et F. Vinet, 2010, Aléas naturels et gestion des risques, Paris, Presses Universitaires Françaises, 288 p.

Magnan, A. et V. Duvat, 2014, Des catastrophes... « naturelles » ?, Paris, Editions Le Pommier, 316 p.

Magnan, A., V. Duvat et E. Garnier, 2012, Reconstituer les « trajectoires de vulnérabilité » pour penser différemment l'adaptation au changement climatique, Natures Sciences Sociétés, 20, 1, pp. 82-91.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Energie (MEDDE), 2012, Première évaluation nationale des risques d'inondation : Principaux résultats - EPRI 2011, Rapport MEDDE, [En ligne] URL : http://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/fiches/BO201115/met_20110015_0100_0021.pdf, consulté le 28 septembre 2016

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Energie (MEDDE), 2013, Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux. Rapport DGPR /MEDDE, [En ligne] URL : http://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/fiches/BO201115/met_20110015_0100_0021.pdf, consulté le 28 septembre 2016

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), 2011, Circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux, [En ligne] URL : http://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/fiches/BO201115/met_20110015_0100_0021.pdf, consulté le 28 septembre 2016

Mercier, D. et C. Chadenas, 2012, La tempête Xynthia et la cartographie des « zones noires » sur le littoral français : analyse critique à partir de l'exemple de La Faute-sur-Mer (Vendée), Norois, 222, 1, pp. 45-60.

Nardo, M., M. Saisana, A. Saltelli et S. Tarantola, 2005, Tools for Composite Indicators Building. Rapport de la Commission européenne, URL : http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC31473/EUR %2021682 %20EN.pdf, consulté le 5 avril 2017

Paskoff, R. P., 2004, Potential Implications of Sea-Level Rise for France, Journal of Coastal Research, 20, 2, pp. 424-434.

Péret, J. et T. Sauzeau, 2014, Xynthia ou la mémoire réveillée. Des villages charentais et vendéens face à l'océan (XVIIIe-XXIe siècles), La Crèche, Geste, 296 p.

Pigeon, P., 2012, Apports de la résilience à la géographie des risques : l'exemple de La Faute-sur-Mer (Vendée, France), VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 12, 1, [En ligne] URL : https://vertigo.revues.org/12031, consulté le 11 octobre 2016

Pigeon, P., 2015, Risque digue : une justification à la relecture systémique et géopolitique des risques environnementaux, L'Espace Politique, Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique,24, 2014-3, [En ligne] URL : http://espacepolitique.revues.org.gate3.inist.fr/3256, consulté le 10 mars 2015

Pineau-Guillou, L., 2012, Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique), Rapport technique SHOM /CETMEF, [En ligne] URL : http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/statistiques-des-niveaux-marins-a414.html, consulté le 16 avril 2014

Pitié, C., P. Bellec, H. Maillot, J. Nadeau et P. Puech, 2011, Expertise des zones de solidarité Xynthia en Charente-Maritime. Rapport CGEDD / MEEDDM, [En ligne] URL : http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/114000094, consulté le 28 septembre 2016

Pitié, C. et P. Puech, 2010, Expertise complémentaire des zones de solidarité délimitées en Vendée suite à la tempête Xynthia survenue dans la nuit du 27 au 28 février 2010, Rapport CGeDD / MEEDDM, [En ligne] URL : www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/104000642/index.shtml, consulté le 28 septembre 2016

Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), 1990, Human Development Report – 1990, Rapport du Programme des Nations unies pour le développement, [En ligne] URL : http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/219/hdr_1990_en_complete_nostats.pdf, consulté le 5 avril 2017

Ramirez, J. A., M. Lichter, T. Coulthard et C. Skinner, 2016, Hyper-resolution mapping of regional storm surge and tide flooding : comparison of static and dynamic models, Natural Hazards, 82, 1, pp. 571-590

Renard, J., 2005, La Vendée : un demi-siècle d'observation d'un géographe, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 308 p.

Rode, S., 2012, Le chêne ou le roseau : quelles stratégies de gestion du risque d'inondation en France ? CyberGeo : European Journal of Geography, 603, pp. 1-22, [En ligne] URL : https://cybergeo.revues.org/25299, consulté le 28 septembre 2016

SOGREAH, 2010, Éléments de mémoire sur la tempête Xynthia du 27 et 28 février 2010 en Charente-Maritime, Rapport commandé par la Préfecture de la Charente-Maritime/DDTM 17, [En ligne] URL : http://www.charente-maritime.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-risques-naturels-et-technologiques/Risques-naturels-et-technologiques/Generalites-sur-la-

prevention-des-risques-naturels/Elements-de-memoire-Xynthia/Elements-de-memoire-sur-la-tempete-Xynthia-du-27-et-28-fevrier-2010, consulté le 28 septembre 2016

Verger, F., 2010, Xynthia, zones d'ombre sur les zones noires, Études foncières, 145, pp. 6-9.

Verger, F., 2011, Digues et polders littoraux : réflexions après la tempête Xynthia, Physio-Géo. Géographie, physique, et environnement, 5, 2011, pp. 95-105.

Vinet, F., 2010, Le risque inondation. Diagnostic et gestion, Paris, Lavoisier, 318 p.

Vinet, F., L. Boissier et S. Defossez, 2011, La mortalité comme expression de la vulnérabilité humaine face aux catastrophes naturelles : deux inondations récentes en France (Xynthia, Var, 2010), VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement, 11, 2, [En ligne] URL : https://vertigo.revues.org/11074, Consulté le 28 septembre 2016

Vinet, F., D. Lumbroso, S. Defossez et L. Boissier, 2012a, A comparative analysis of the loss of life during two recent floods in France : the sea surge caused by the storm Xynthia and the flash flood in Var, Natural Hazards, 61,3, pp. 1179-1201.

Vinet, F., S. Defossez, T. Rey et L. Boissier, 2012 b, Le processus de production du risque « submersion marine » en zone littorale : l'exemple des territoires « Xynthia », Norois, 222, 1, pp. 11-26.

NOTES

1. Document téléchargeable à l'adresse suivante : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01275600/document. Ce document comporte deux volumes dont le second prend la forme d'un atlas où les résultats de l'indice V.I.E. sont présentés de manière détaillée.

RÉSUMÉS

En février 2010, la tempête Xynthia génère une submersion marine sur les côtes atlantiques françaises, à l'origine de 41 noyades. Les retours d'expérience pointent la configuration et la localisation des constructions résidentielles comme facteur aggravant de la vulnérabilité humaine. Face à ce constat, l'État décide la destruction des constructions les plus dangereuses. Néanmoins, cette politique des « zones noires » n'a été appliquée que sur les territoires les plus impactés par Xynthia. Or, il existe d'autres secteurs vulnérables à la submersion marine en France. Ce travail propose de mener un diagnostic préventif de la vulnérabilité des constructions résidentielles pour leurs occupants sur l'île de Noirmoutier. Peu touchée par Xynthia, l'île présente une configuration propice à la submersion marine et a déjà été durement touchée par le passé. À partir de la méthode de l'indice V.I.E., les résultats montrent une inégale exposition des communes pour un événement de type Xynthia. 46 % des constructions résidentielles de l'île seraient exposées en cas d'inondation avec des disparités selon les communes, la part du bâti exposé allant de 28 % à 76 %. Toutefois, les communes qui comptent la part la plus importante de constructions les plus vulnérables pour leurs occupants sont celles où l'urbanisation est proche des digues. S'il faut relativiser la vulnérabilité de l'île de Noirmoutier vis-à-vis de La Faute-sur-Mer (29 décès lors de Xynthia), cela confirme le rôle des digues comme facteur aggravant de la

vulnérabilité. Ce diagnostic ouvre la réflexion sur l'adaptation afin de prévenir les conséquences d'un futur évènement de submersion marine sur l'île.

Abstract : Storm Xynthia (2010) was responsible for the death by drowning of 41 people along the French Atlantic coast. Review of the event highlighted how housing buildings increase human vulnerability. Consecutively, French government decided to demolish the most dangerous houses. Nevertheless, it was applied only on the Xynthia's most impacted areas. However, other vulnerable territories to coastal floods are identified along French coast. The assumption of this work is to provide a preventive diagnosis of vulnerability of housing building for people on Noirmoutier Island. This territory has similar features than those impacted by Storm Xynthia and was severally struck by coastal floods event in the past. Using V.I.E. index methodology, results show that the four towns of the island are not equally exposed to coastal flood. 46 % of housing buildings of the island could potentially be flooded but there are differences between towns from 28 % to 76 %. But towns which have the most important part of dangerous buildings are the one where urbanization is close to dikes. All in all, Noirmoutier Island is less vulnerable than La Faute-sur-Mer (29 deaths during Xynthia) but it confirms that closeness to dikes increase vulnerability. This diagnosis is a way to promote adaptation measures in order to prevent consequences of future coastal floods on the island.

INDEX

Mots-clés : risques littoraux, submersion marine, Xynthia, vulnérabilité, bâti résidentiel, indice de vulnérabilité, côte atlantique française
Keywords : coastal risks, coastal flood, storm Xynthia, vulnerability, residential buildings, vulnerability index, french atlantic coast

AUTEURS

AXEL CREACH

Post-doctorant, Centre François Viète d'histoire des sciences et des techniques, UFR des sciences et des techniques de Nantes, 2, rue de la Houssinière, BP 92 208 - 44322 Nantes, et membre associé Laboratoire LETG-Nantes Géolittomer, UMR 6554, CNRS, Institut de géographie régionale de l'Université de Nantes, Campus Tertre, BP 81227 - 44312, Nantes cedex 3, France, courriel : Axel.Creach@univ-nantes.fr

SOPHIE PARDO

Maître de conférences, Laboratoire d'économie et de management de Nantes-Atlantique, IEMN-IAE, Bâtiment Erdre, Université de Nantes, Campus Tertre, BP 52231 - 44322, France, Nantes, courriel : Sophie.Pardo@univ-nantes.fr

DENIS MERCIER

Professeur des Universités, Laboratoire ENeC, UMR 8185, CNRS, UFR de géographie et d'aménagement, Université Paris-Sorbonne (Paris IV), 191, rue Saint-Jacques - 75 005 Paris, France, courriel : denis.mercier@paris-sorbonne.fr