



**HAL**  
open science

## La vulnérabilité face au risque de submersion marine : exposition et sensibilité des communes littorales de la région Pays de la Loire (France)

Elie Chevillot-Miot, Denis Mercier

### ► To cite this version:

Elie Chevillot-Miot, Denis Mercier. 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*, 2014, 14 (2), pp.1-23. 10.4000/vertigo.15110. hal-01158193

**HAL Id: hal-01158193**

**<https://hal.science/hal-01158193>**

Submitted on 27 May 2021

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

---

## La vulnérabilité face au risque de submersion marine : exposition et sensibilité des communes littorales de la région Pays de la Loire (France)

Elie Chevillot-Miot et Denis Mercier

---



### Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/vertigo/15110>  
DOI : 10.4000/vertigo.15110  
ISBN : 978-2-924372-14-2  
ISSN : 1492-8442

### Éditeur

Les Éditions en environnement Vertigo

Ce document vous est offert par Université de Caen Normandie



### Référence électronique

Elie Chevillot-Miot et Denis Mercier, « 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* [En ligne], Volume 14 Numéro 2 | septembre 2014, mis en ligne le 10 septembre 2014, consulté le 27 mai 2021. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/15110> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.15110>

---

Ce document a été généré automatiquement le 27 mai 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.

---

# *La vulnérabilité face au risque de submersion marine : exposition et sensibilité des communes littorales de la région Pays de la Loire (France)*

Elie Chevillot-Miot et Denis Mercier

---

## Introduction

- 1 La tempête Xynthia a frappé le littoral de la façade atlantique de la France dans la nuit du 27 au 28 février 2010 entraînant la mort de 41 personnes par submersion marine et des dégâts évalués à 2,5 milliards d'euros (Chauveau et al., 2011a ; 2011b ; Mercier et Acerra, 2011 ; Feuillet et al., 2012 ; Vinet et al., 2011a ; 2011b ; 2012 ; Génovese et al., 2012 ; Kolen et al., 2010). Cette tempête a permis à la population, aux élus locaux, aux services de l'État et à l'État lui-même, de se souvenir qu'il existe des territoires vulnérables face au risque de submersion marine en France. En plus d'éviter le déni, cette tempête a permis aux décideurs d'intégrer davantage dans la gestion des risques côtiers un raisonnement à long terme avec l'élévation du niveau moyen des mers, lié aux changements climatiques (MEDDTL 2011 ; Chadenas et al., 2013). Ce dernier a été revu à la hausse dans le rapport du GIEC de 2013 et retient une élévation de 17 à 38 cm pour 2050, et de 26 cm à près d'un mètre d'ici 2100, avec des disparités spatiales notables (Intergovernmental panel on climate change, 2013).
- 2 Des interrogations et des débats furent relancés quant aux connaissances et récurrence de ces aléas, à leurs conséquences, au développement non planifié de l'urbanisation sur les territoires littoraux français, situés sous la cote des 4,50 m NGF, dits « zones basses » et des contraintes en matière de hauteur de construction dictées dans les plans d'occupation des sols (POS) et les plans locaux d'urbanisme (PLU) (Garnier, 2010 ; Pigeon, 2012 ; Renard, 1980 ; 2005). Néanmoins, on remarque une absence d'événement marquant

depuis le début de la Seconde Guerre mondiale, qui a eu pour conséquence la perte de connaissance de l'aléa de submersion marine. Les effets de mobilité résidentielles ont certainement dû concourir à un manque d'interrogations sur la mémoire des anciens, alors même qu'il existe des photographies aériennes et des cartes postales sur ce type de risque (Garnier, 2010 ; Acerra et Sauzeau, 2012). Le développement des résidences et l'évolution démographique de ces zones potentiellement submersibles entraînent un accroissement des enjeux et un accroissement de la production du risque de submersion marine (Vinet et al., 2012).

- 3 La présente étude a pour objectif d'identifier les communes les plus vulnérables au risque de submersion marine, en région Pays de la Loire, en fonction de critères d'exposition et de sensibilité tels que : des critères topographiques, d'enjeux humains et fonciers, de récurrence des événements de submersion marine, et d'éléments de gestion.
- 4 La définition de la vulnérabilité retenue dans cette étude est celle proposée par Auly et al. (2012) et « désigne les effets possibles d'un phénomène naturel dangereux (aléa naturel) sur les populations, les biens et l'environnement. Elle est fonction de la densité des populations, des biens exposés et du degré de dommages possibles lors d'une catastrophe naturelle. Mais elle dépend aussi de la capacité d'une société à résister à la crise et à retrouver un fonctionnement normal après la catastrophe (résilience) ». D'après cette définition, la vulnérabilité se centre sur les conditions d'exposition des communes, la sensibilité et sa résilience (Décamps, 2007). La vulnérabilité face au risque de submersion marine s'intéresse ici à l'exposition et la sensibilité des communes de la région Pays de la Loire, à travers une analyse statistique dite "ACM", analyse des correspondances multiples. Celle-ci met en valeur les relations entre les communes sélectionnées des départements littoraux de la région Pays de la Loire et les critères de vulnérabilités cités ci-dessus, c'est-à-dire de caractériser des liens entre elles, et aboutit à une cartographie de la vulnérabilité face au risque de submersion marine.

## Les critères de vulnérabilité et leurs sources

- 5 L'étude porte sur 120 communes littorales, insulaires et rétro-littorales des départements de la Loire-Atlantique et de la Vendée (Figure 1). Les communes retenues ont été déterminées en fonction de plusieurs facteurs de vulnérabilité face au risque de submersion marine. Tous ces critères utilisés dépendent des sources de données dont la fiabilité peut être discutée. Les aspects physiques constituent le premier critère d'ordre 1, avec les sous-critères de topographie et de géomorphologie des côtes qui forment les critères d'ordre 2 (Figure 2).

Figure 1. Localisation des communes retenues dans cette étude pour la région Pays de la Loire.

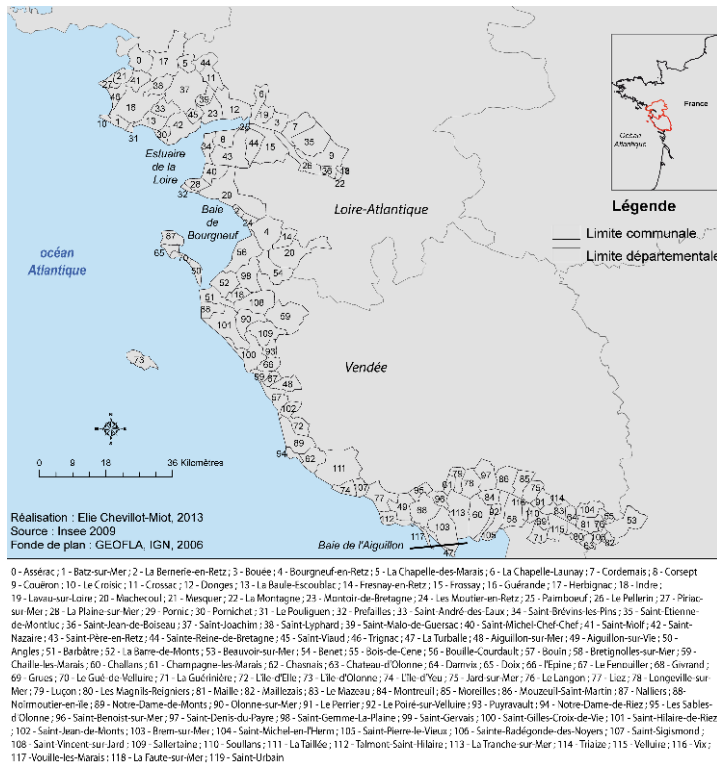
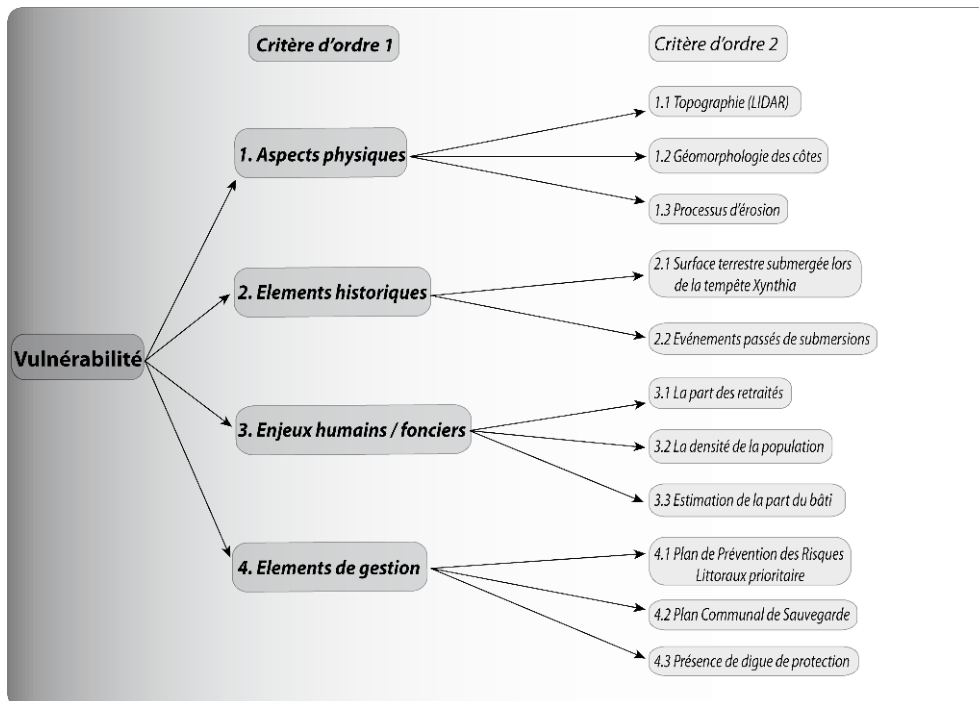


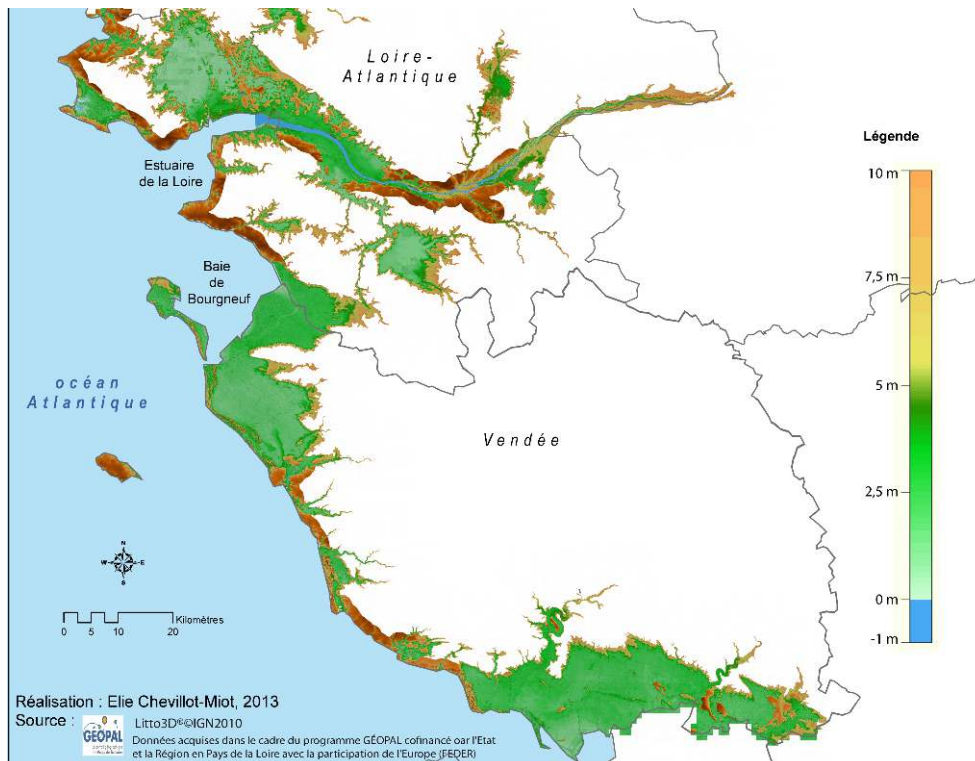
Figure 2. Les critères de vulnérabilité retenus.



6 Le premier critère de vulnérabilité d'ordre 2 (1.1) fait référence à la cartographie LIDAR, acquise en 2010, d'une résolution spatiale de 1 mètre sur 1 mètre du programme Litto-3D de GEOPAL<sup>1</sup> (Figure 3). Celui-ci met en lumière, et de manière très fiable, les zones basses

(sous la cote de 4,50 m NGF) des communes qui ont été submergées lors de la tempête Xynthia. Cette cartographie a permis de délimiter dans un premier temps le champ de l'étude. La cote de 4,50 m NGF choisie représente un compromis entre les plus hautes eaux connues (PHEC), lors de la tempête Xynthia, c'est-à-dire la cote de 4,20 m NGF et la cote relevée au plus fort de la tempête à l'Aiguillon-sur-Mer de 4,70 m (Mercier et Chadenas, 2012).

Figure 3. Carte LIDAR du programme Litto-3D de Géopal de la région Pays de la Loire.



- 7 La géomorphologie des côtes, critère d'ordre 2 (1.2), fut également relevée sur chacune des communes littorales et insulaires (côte basse ou haute, cordon dunaire) d'après des observations cartographiques effectuées sur les cartes topographiques et scan littoral de l'Institut Géographique National (IGN).
- 8 La question d'intégrer le critère d'ordre 2 « érosion » (1.3) s'est posée lors des prémices de l'analyse. Les données ont été extraites des travaux réalisés par le CETE de l'Ouest (2012b) en ce qui concerne les processus d'érosion. La mesure est en centimètres par an, mais par secteur de plage, et non à l'échelle du linéaire côtier de la commune. Le processus d'érosion ne se produisant pas sur tout le linéaire côtier, et parfois sans aucun enjeu à proximité, il a été décidé de réaliser une ACM avec et sans ce critère d'ordre 2 (Chevillot-Miot, 2013). Le choix s'est porté sur la suppression du critère « érosion » dans l'analyse présentée ici, car son échelle ne correspond pas à l'échelle communale de cette analyse et n'apporte pas d'information pertinente sur la vulnérabilité des communes étudiées.
- 9 Les critères qui suivent font référence à la sensibilité face au risque de submersion marine, et s'orientent vers la récurrence des événements de submersion marine, les enjeux et les éléments de gestion. Le critère portant sur les éléments historiques d'ordre 1 intègre les surfaces terrestres submergées lors de la tempête Xynthia (2.1) et les événements de submersions passés (2.2).

- 10 Les surfaces terrestres submergées lors de Xynthia (2.1) en km<sup>2</sup> sont ramenées à une valeur relative afin de reconsidérer l'importance du phénomène. L'objectif est en effet de se rendre compte de l'étendue de la submersion marine dans le territoire communal (Figure 4). D'autre part, on a considéré le nombre d'événements de submersion marine passés (de l'ordre de 0 à 14 phénomènes de submersions de l'an 567<sup>2</sup> à 2012) afin de relever des prédispositions de certaines communes à être touchée par ce type d'aléa (Figure 5), notamment à La Faute-sur-Mer et l'Aiguillon-sur-Mer.

Figure 4. Surface terrestre submergée lors de la tempête Xynthia (2010) en région Pays de la Loire.

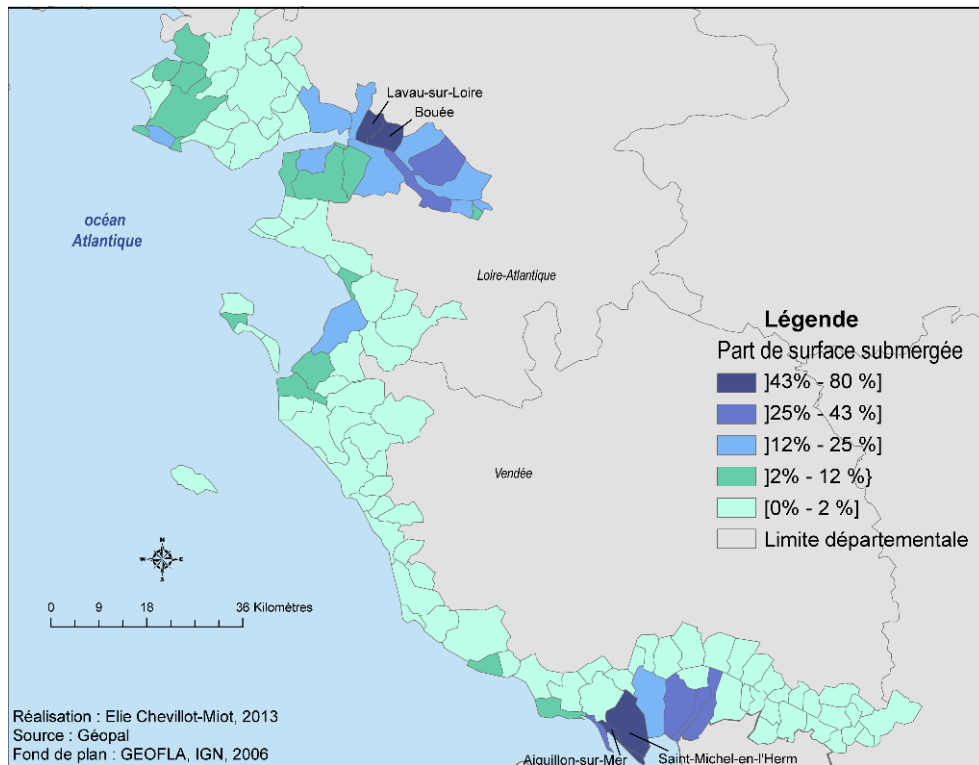
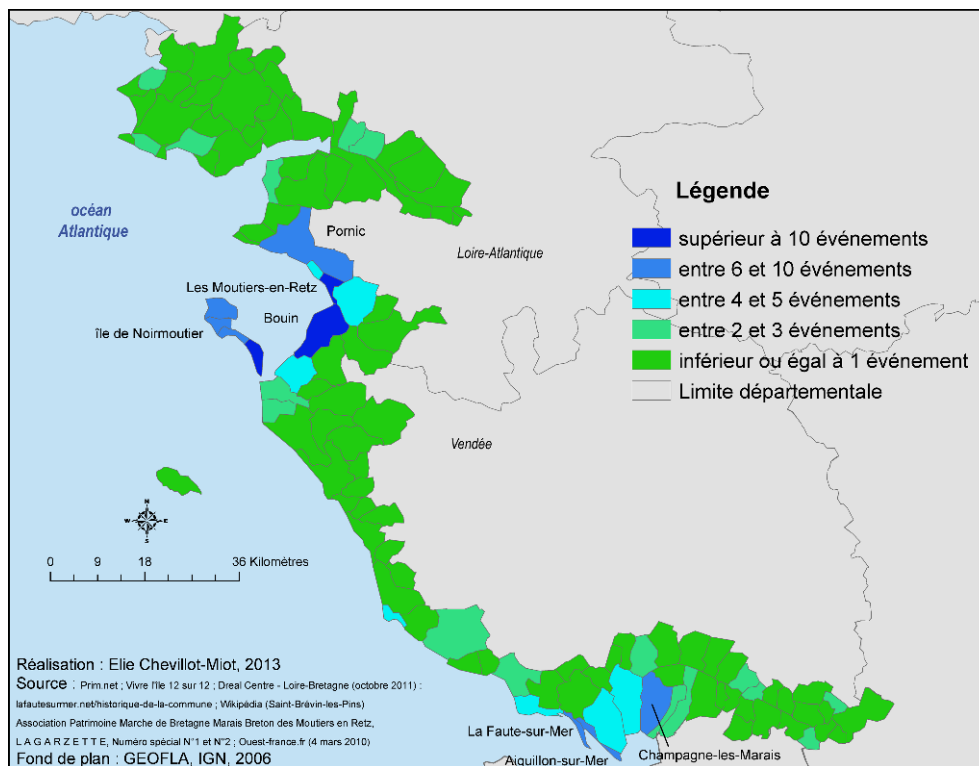


Figure 5. Nombre de submersions marines en région Pays de la Loire de l'an 567 à 2012.



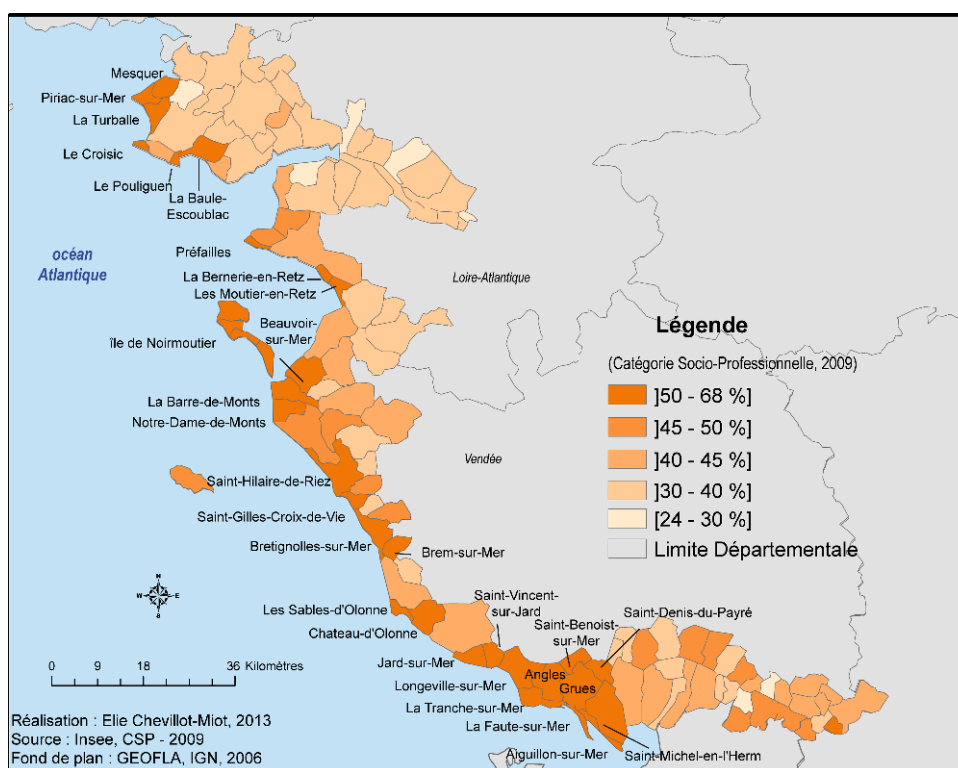
- 11 Le critère « événements de submersions passés » (2.2) est dépendant des travaux des historiens (Garnier et Surville, 2010 ; Sarrazin, 2012). Les documentations et les récits d'événements catastrophiques recensés sont nombreux, surtout à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, plus riches, plus denses et plus précis (Sarrazin, 2012). Les sources de données proviennent également de sites en ligne dédiés à des communes comme La Faute-sur-Mer, les Moutiers-en-Retz ; à des associations environnementales telles que « Vivre l'île 12 sur 12 », de l'île de Noirmoutier, ou encore l'« Association Patrimoine Marche de Bretagne Marais Breton des Moutiers en Retz ». Ces sources recensent parfois les événements de submersion marine avec des descriptions précises (date, heure de la submersion, coefficient de marée, vitesse et orientation du vent, hauteur d'eau, surface submergée, dégâts causés). Cependant, d'autres sources n'indiquent qu'une simple date. À partir de 1982, les informations relevées émanent du site internet Prim.net, qui fait état pour l'ensemble du territoire français de tous les arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle par commune. Ici, l'arrêté concerne l'aléa "chocs mécaniques liés à l'action des vagues", faisant référence à la submersion marine.
- 12 Néanmoins, ces données historiques posent deux questions principales. La première vient de la documentation qui est certes, très exhaustive, mais très peu détaillée quant aux territoires réellement impactés et les dommages causés, sur les territoires de baies (Bourgneuf et Aiguillon) aux phénomènes physiques particuliers (comme la seiche), mais très peu détaillée. Par exemple, quelles sont les communes submergées, et selon quelle ampleur. Les sources sont également très diverses (travaux de chercheurs, associations environnementales, presse quotidienne comme Ouest-France) et très fournies sur les communes de l'île de Noirmoutier, les Moutiers-en-Retz et La Faute-sur-Mer. La seconde réserve vient des données issues des arrêtés Catnat. Ceux-ci sont déclenchés à l'échelle départementale par le préfet. Il a été constaté, en comparant avec la surface terrestre



submergée par commune lors de la tempête Xynthia, que certaines d'entre elles étaient sous arrêtés Catnat sans pour autant avoir été inondées, telles que Montoir-de-Bretagne, Préfailles, Pornichet, Piriac-sur-Mer, La Plaine-sur-Mer, Saint-Michel-Chef-Chef, en Loire-Atlantique, et Aiguillons-sur-Vie, Angles ainsi que toutes les communes en marais Poitevin et insulaires en Vendée. Elles forment un intervalle "inférieur ou égal à un événement" de submersion. Cette source de données est donc à prendre avec beaucoup de précautions. Il serait utile de comparer les surfaces submergées à la date de l'événement et les arrêtés Catnat, dans le but d'identifier les communes réellement impactées par une submersion marine.

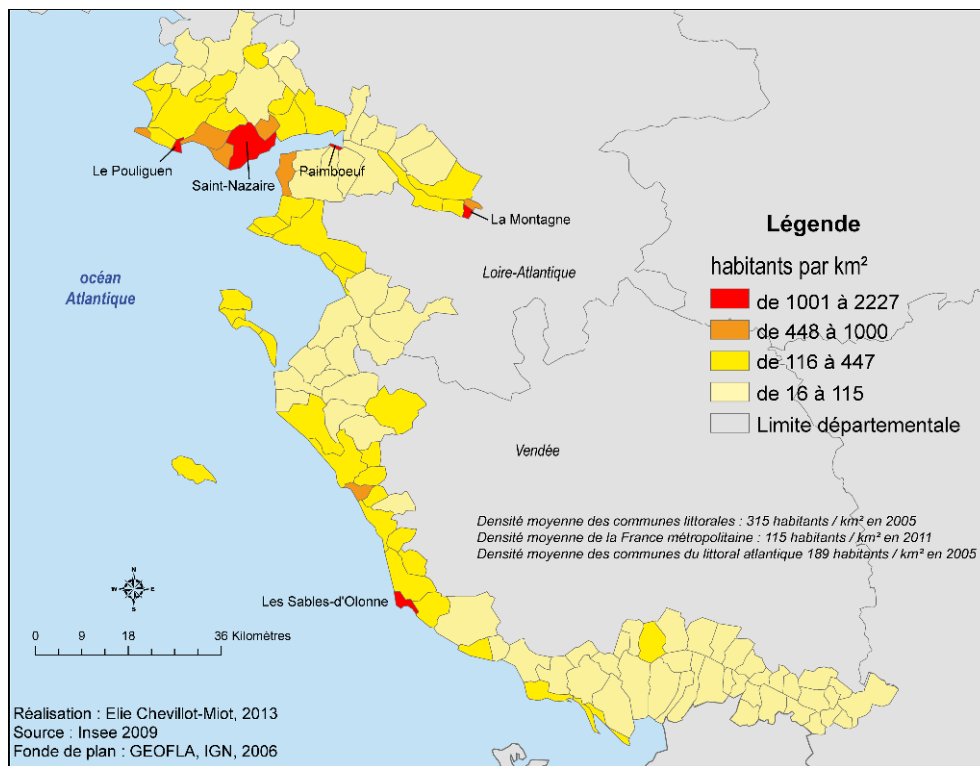
- 13 Le troisième critère d'ordre 1 de vulnérabilité s'oriente sur les enjeux humains et fonciers, avec trois critères d'ordre 2 : la part des retraités (3.1), qui fait référence ici à la catégorie socioprofessionnelle en 2009 ; la densité de population (3.2) de ces 120 communes en 2009 (Insee) et, enfin, l'estimation de la part de bâtis sous la cote 4,50 m NGF (3.3).
- 14 Le critère « retraité » (Figure 6) est basé sur l'âge des victimes lors de la tempête. En effet, les travaux de Vinet et al. (2011b) ainsi que Knabb et al. (2005) ont montré que l'âge était un facteur aggravant la vulnérabilité, et que 75 % des victimes de Xynthia avaient plus de 60 ans. La population âgée serait plus vulnérable face au risque de submersion marine, en raison de sa mobilité restreinte, ajouté à des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm (Mercier et Chadenas, 2012). La part des retraités fait ici référence à la catégorie socioprofessionnelle en 2009 (INSEE), et non à la tranche d'âge. L'âge de la retraite fluctue entre 55 à 65 ans, voire plus, selon les directives politiques et le métier exercé. Le problème de ce critère est qu'il ne fait pas la différence entre les personnes mobiles ou à mobilité réduite. Tous les retraités n'ont pas des difficultés à se déplacer lors d'un événement de type Xynthia. Récupérer cette donnée semble difficile à première vue. Il serait nécessaire d'établir un recensement auprès des services hospitaliers, maisons de retraite et particuliers, des personnes ayant des difficultés de mobilité, précieux pour les services de secours en cas de crise. Il existe une base de données concernant des informations sommaires (adresse, contact, capacité d'accueil), mais uniquement pour les établissements de services hospitaliers et maisons de retraités, détenue par l'Agence Régionale de la Santé (ARS). Cette catégorie n'est pas la seule à être vulnérable, les jeunes enfants le sont également (Vinet et al., 2012). Il semblerait intéressant également de recenser le nombre d'enfants dans les sources INSEE. Néanmoins, le nombre de ces personnes âgées à mobilité réduite et des jeunes enfants est bien plus important en période estivale. Obtenir leur nombre approximatif semble aboutir à la réalisation d'une étude sur la capacité d'accueil maximale, en période estivale, de ces communes (Chadenas et al., 2009).

Figure 6. Part des retraités en région Pays de la Loire en 2009.



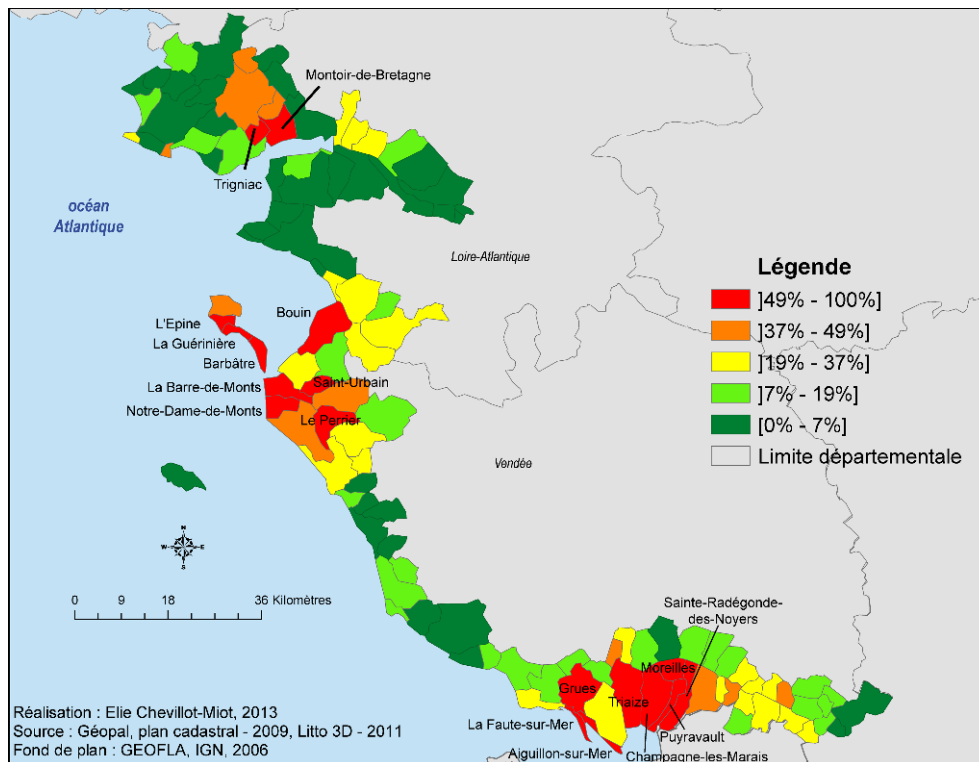
- 15 Le choix du critère « densité de population » (Figure 7 - 3.2) est équivoque, car il paraît évident que plus la population sera nombreuse sur un espace restreint en zone basse, plus elle sera vulnérable. Néanmoins, cette information n'est connue qu'à l'échelle de la commune et non à celle des quartiers situés en zones basses, et uniquement sur la population permanente. L'afflux des touristes occasionnels en période de vacances, ou encore les habitants de résidences secondaires n'y figurent pas. En effet, la population communale en période estivale est multipliée par 5, voire 10 dans certaines communes littorales (Chevillot-Miot, 2012). L'acquisition de cette donnée changerait quelque peu les résultats, les enjeux humains étant plus importants que les enjeux matériels pour les services de secours. Une analyse de la capacité d'accueil de ces communes pourrait être intégrée dans une étude ultérieure. Ce manque de précision est une limite majeure de ce critère. Nous avons donc estimé le nombre de bâtis situé en zone basse pour pallier cette limite.

Figure 7. Densité de population en région Pays de la Loire en 2009



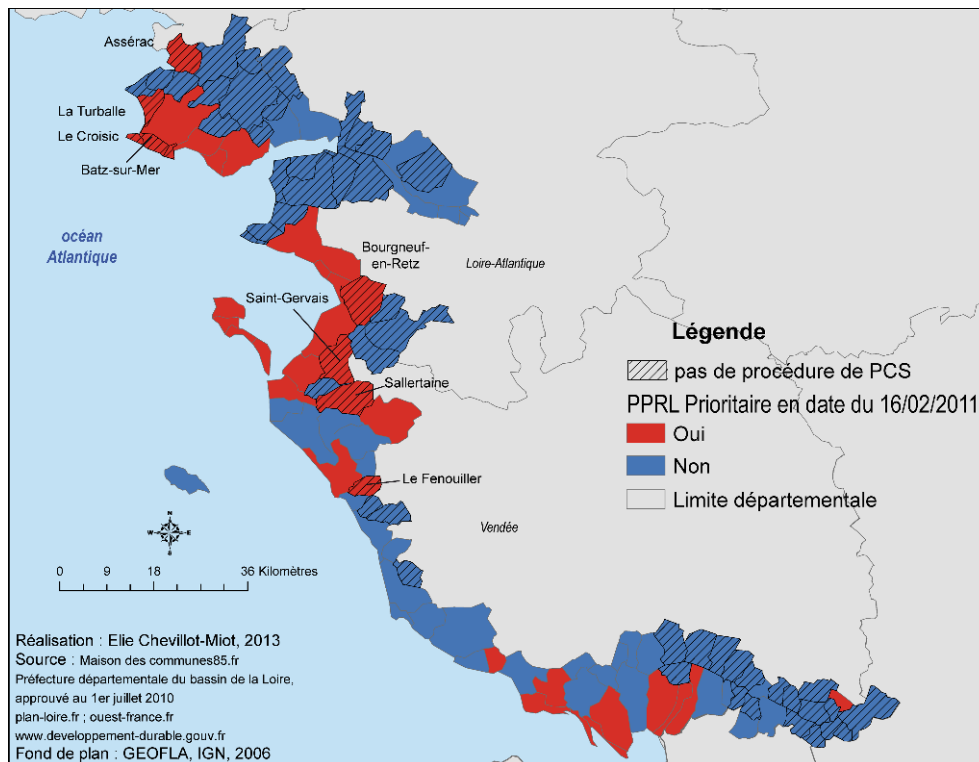
- 16 Le critère « foncier » (3.3) a ici été retenu (Figure 8), avec l'estimation de la part du bâti situé en zone basse. Une étude comparable a été réalisée, en évaluant le nombre de bâtis inondés lors de la tempête Xynthia. Il s'agit du rapport REX (retour d'expérience de Xynthia) réalisé par le CETE de l'Ouest (2012a). Cette estimation a été réalisée via une requête SQL dans un logiciel de Système d'Informations Géographiques (ArcGis 9.3) avec le plan cadastral informatisé (PCI) et la cartographie LIDAR. Néanmoins, il s'agit ici de tous les types de bâtis, indépendamment, de leur superficie. Il y a donc des bâtis de types industriels, commerciaux, résidentiels, ou agricoles ainsi que les postes de transformateurs électriques qui y sont recensés. Une nouvelle estimation pourrait être réalisée en prenant en compte la BD TOPO de l'IGN. Elle permet de différencier les types de bâtiments, leur hauteur et le nombre exact de bâtis en zone basse. Cependant, des études comme celle de Le Berre et al. (2013) ont noté que le plan cadastral n'était pas toujours mis à jour. Certains bâtis ont subi des transformations, des agrandissements ou bien ont été détruits, par exemple dans les communes impactées par la tempête Xynthia, qui ont vu des habitations détruites par décision de l'État. Ce dernier critère (3.3) et le critère « retraité » (3.1) ont été transformés en valeur relative, de façon à faciliter les comparaisons, en les ramenant à une même échelle d'importance.

Figure 8. Estimation de la part du bâti situé en zone basse (sous la cote de 4,50 m NGF) en région Pays de la Loire.



- 17 Le dernier critère d'ordre 1 concerne les éléments de gestion comprenant trois critères d'ordre 2 : les communes possédant ou non un Plan de Prévention des Risques littoraux (PPRL) prioritaire (4.1), fixé par les services de l'État en date du 16 février 2011, les communes possédant ou non un Plan communal de Sauvegarde (PCS - 4.2), et le recensement des digues de protection (4.3). Les deux premiers éléments de gestion des risques naturels permettent une meilleure connaissance des aléas littoraux, identifient les communes soumises à ces risques littoraux - dont la submersion marine - et améliorent et préparent la gestion de crise.
- 18 Une réflexion s'est portée sur le critère « Plan de Prévention des Risques littoraux prioritaire » (Figure 9). En effet, les communes concernées sont déjà désignées comme vulnérables. Dans le cas de notre analyse, cette donnée pourrait s'avérer redondante. Néanmoins, dans les ACM réalisées, il a été prouvé que ce critère n'était en aucune manière redondant, puisqu'il permettait à d'autres critères comme les « surfaces terrestres submergées lors de Xynthia » (2.1) et la « part de bâtis situés en zones basses » (3.3) d'avoir plus de poids dans l'analyse statistique. Lors de la suppression du critère « PPRL Prioritaire » (4.1), c'est le critère de la « densité de population » (3.1) qui avait le plus de poids dans l'analyse. Or, cette donnée est peu précise quant à la part de la population en zone basse, contrairement à l'estimation réalisée sur le bâti.

Figure 9. Plan de prévention des risques littoraux prioritaire et plan communal de sauvegarde en région pays de la Loire.



- 19 Le recueil du critère sur les « Plans communaux de Sauvegardes » (Figure 9 – 4.2) pose des questions. En effet, cette donnée est normalement téléchargeable sur la base de données GASPARD, sur le site du Ministère de l'Environnement. Mais en réalité, cette base de données n'est pas mise à jour<sup>3</sup>. Par conséquent, la recension des PCS par commune s'est effectuée sur d'autres sites internet, tels que la "Maison des communes 85.fr", "Plan-Loire.fr", mais aussi sur le site de "Ouest-France.fr" qui communique sur les réunions des conseils municipaux ou état d'avancement des procédures réglementaires.
- 20 Pour le critère « digue » (4.3), la même problématique que pour l'érosion (1.3) s'est posée. La donnée provient du site GEOPAL, qui recense les grandes digues en béton<sup>4</sup>, et non celles en perrés<sup>5</sup>. Certaines communes ne possédant qu'une partie de leur linéaire côtier endigué, l'analyse à l'échelle des communes ne peut donc prendre en compte ce critère à sa juste valeur. De plus, la donnée concernant l'état des digues n'y figure pas et peut, dans le cas où elles sont en mauvais états, aggraver la vulnérabilité, si des enjeux se trouvent à proximité (Vinet et al., 2012). L'analyse de la vulnérabilité dépend donc avant tout des données recueillies, de leur fiabilité et de la façon dont elle a été réalisée.

## La vulnérabilité des communes au risque de submersion marine par l'analyse des correspondances multiples

- 21 L'analyse de la vulnérabilité s'est effectuée en plusieurs étapes. La première fut de délimiter la zone d'étude via la cartographie LIDAR, et les surfaces terrestres submergées lors de la tempête Xynthia, en région Pays de la Loire. La deuxième étape fut de

sélectionner les autres critères de vulnérabilité et de les renseigner dans un tableau Excel (2007). Celui-ci est donc constitué de 120 individus (communes) et de 10 variables (critère) qualitatives et quantitatives. Une fois le tableau de données complété, la troisième étape fut de transformer les données brutes, les valeurs quantitatives, comme les « enjeux humains/fonciers », et les « surfaces terrestres submergées », en valeurs qualitatives, en créant des intervalles de valeurs. Ensuite, une Analyse en composantes multiples (ACM) a été réalisée sur le tableau de données transformé, sous le logiciel libre R (3.0.1).

- 22 L'objectif de l'analyse est de mettre en valeur des relations entre les variables et les individus. Elle permet de décrire le jeu de données, d'en sortir un résumé, ou bien d'en réduire les *dimensionnalités* (Factominer ; R-Project). L'objectif de cette méthode est de caractériser les liens potentiels entre les communes et les critères de vulnérabilité. Sous le logiciel R, une fois l'analyse lancée, deux graphiques de nuage de points ressortent. Le premier est centré sur les variables : les critères de vulnérabilité et leurs liaisons linéaires. Il s'agit d'un résumé de la matrice des corrélations. Elle cherche notamment les variables synthétiques, celles qui sont les plus structurantes (Figure 10). Le second graphique, concerne les individus projetés. Si les communes sont proches, cela signifie qu'elles sont semblables, c'est-à-dire qu'elles ont les mêmes caractéristiques de vulnérabilité. L'ACM montre donc les similarités entre les individus sur toutes les variables. Il est possible par la suite d'établir des profils de communes, selon leur variabilité (Figure 11).

Figure 10 : Projection des variables - 10 critères de vulnérabilité.

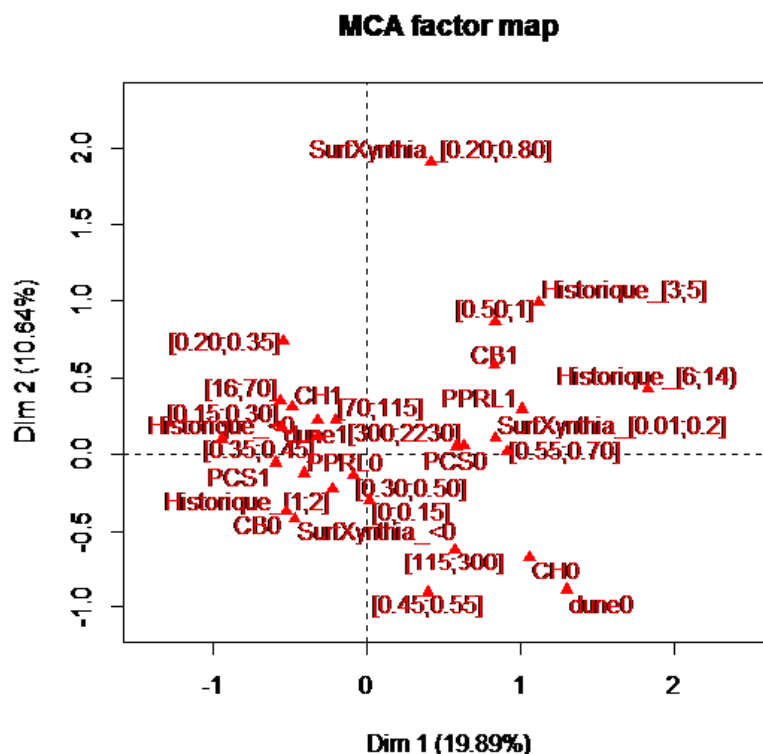
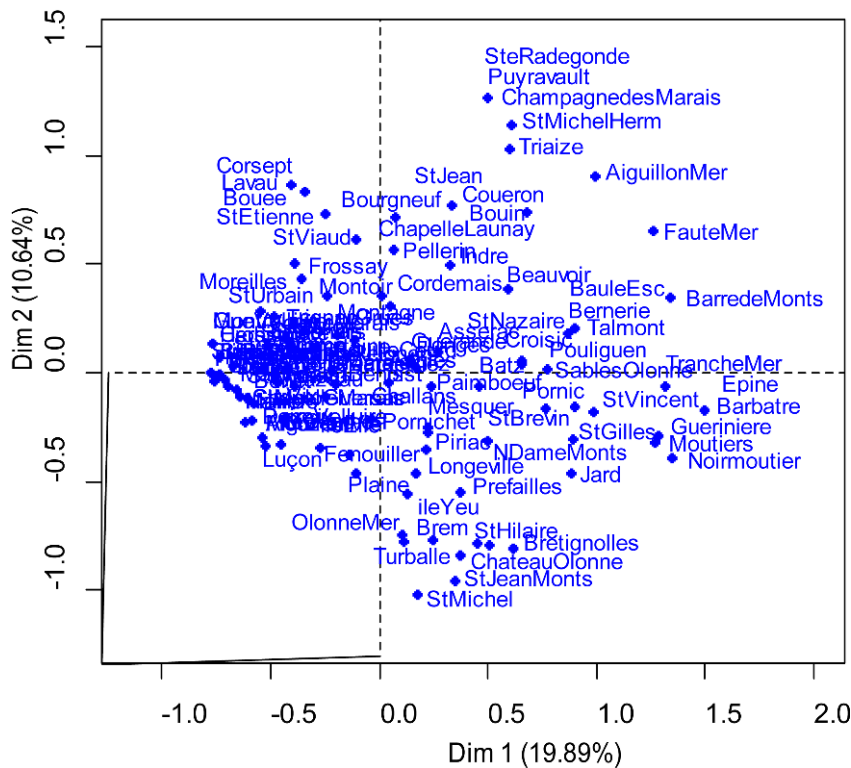


Figure 11. Projection des individus - 120 communes



- 23 L'étape suivante a consisté à mettre en lien ces deux graphiques de nuage de points, c'est-à-dire de caractériser des groupes de communes par les critères de vulnérabilité. Les caractéristiques des groupes de communes sont regroupées dans un tableau (Tableau 1), puis un indicateur de vulnérabilité a été attribué à chacun de ces groupes, en fonction des critères de vulnérabilité. La dernière étape consiste à l'exportation des coordonnées des points communs du graphique de nuage de points, dans un tableur Excel ; et en l'attribution d'un indicateur de vulnérabilité à chaque commune en fonction de ses caractéristiques. Le nouveau tableau a ensuite été exporté dans un SIG (ArcGis 9.3) pour réaliser une cartographie de la vulnérabilité des communes face au risque de submersion marine.

Tableau 1. Les caractéristiques par indicateurs de vulnérabilité.

Caractéristiques	Descriptif des caractéristiques	Indicateur de vulnérabilité
1	- Surface terrestre submergée par Xynthia entre 20 et 80 % - Événements de submersions entre 3 et 4 - Part de bâtis en zones basses par commune entre 50 à 100 % - Présence d'un PPRL prioritaire et d'un PCS - Présence de côte basse, quasiment aucune côte haute et dune	Très fort
2	- Entre 6 et 14 événements survenus - Surface submergée lors de Xynthia inférieure à 20 % par commune - Part des retraités entre 55 et 70 % de la population totale - Présence d'un PPRL prioritaire et d'un PCS - Présence de côte basse, côte haute et dune	Fort
3	- Surface submergée par Xynthia entre 20 et 80 % - Part des retraités entre 20 et 35 % - Côte basse - Parfois présence d'un PCS, pas de PPRL prioritaire	Moyen
4	- Part des retraités compris entre 45 et 55 % de la population totale par commune - Densité de la population supérieure à la moyenne en France métropole - Présence de dune et côte haute - Bâtis en zones basses entre 30 et 50 %	Faible
5	- Faible densité de population - Bâtis en zones basses entre 15 et 30 % - Pas d'historique de submersion - Pas de surface submergée par Xynthia	Très faible

## Le tableau des indicateurs de vulnérabilité

- 24 L'analyse statistique a permis de catégoriser ces communes en différents indicateurs de vulnérabilité, en fonction de caractéristiques similaires (Tableau 1). Le premier groupe de communes a pour caractéristiques des éléments historiques forts, car ce sont des critères qui structurent l'ACM. On note des surfaces terrestres submergées par Xynthia entre 20 à 80 % du territoire communal et ayant subi par le passé entre 3 et 4 submersions marines. La part de bâtis en zones basses est de l'ordre de 50 à 100 % par commune, celles-ci sont concernées par un PPRL prioritaire, mais aussi par un PCS. Les communes de ce groupe ont majoritairement des côtes basses. Ces caractéristiques constituent le premier indicateur de vulnérabilité jugé « très fort » (en rouge).
- 25 L'indicateur de vulnérabilité « fort » (en orange) se centre également sur les éléments historiques, mais davantage sur les événements passés de submersions (entre 6 et 14 submersions marines), et des surfaces submergées lors de Xynthia (inférieur à 20 %). On note l'apparition de critère d'enjeux humains et fonciers, avec une part des retraités en moyenne entre 55 et 70 % de la population totale, mais aussi, la présence d'élément de gestion (PPRL prioritaire et PCS). Les communes de ce groupe présentent des côtes basses, mais ont également une partie de leur linéaire côtier à falaise ou dunaire.
- 26 L'indicateur de vulnérabilité moyen (jaune) présente des communes qui ont été plus ou moins fortement submergées lors de Xynthia (entre 20 et 80 %), avec une part des retraités de l'ordre de 20 à 35 % de la population communale. Les communes possèdent un linéaire côtier bas et ne sont pas toutes concernées par un PPRL prioritaire et non pas toutes un PCS.
- 27 Pour les communes avec un indicateur « faible » (vert), ce sont les enjeux humains qui ont leur importance, avec une part des retraités compris en moyenne entre 45 et 55 % de la population totale, une densité de population supérieure à la moyenne de la France métropolitaine (115 habitants/km<sup>2</sup>), des zones bâtis en zones basses estimées en moyenne



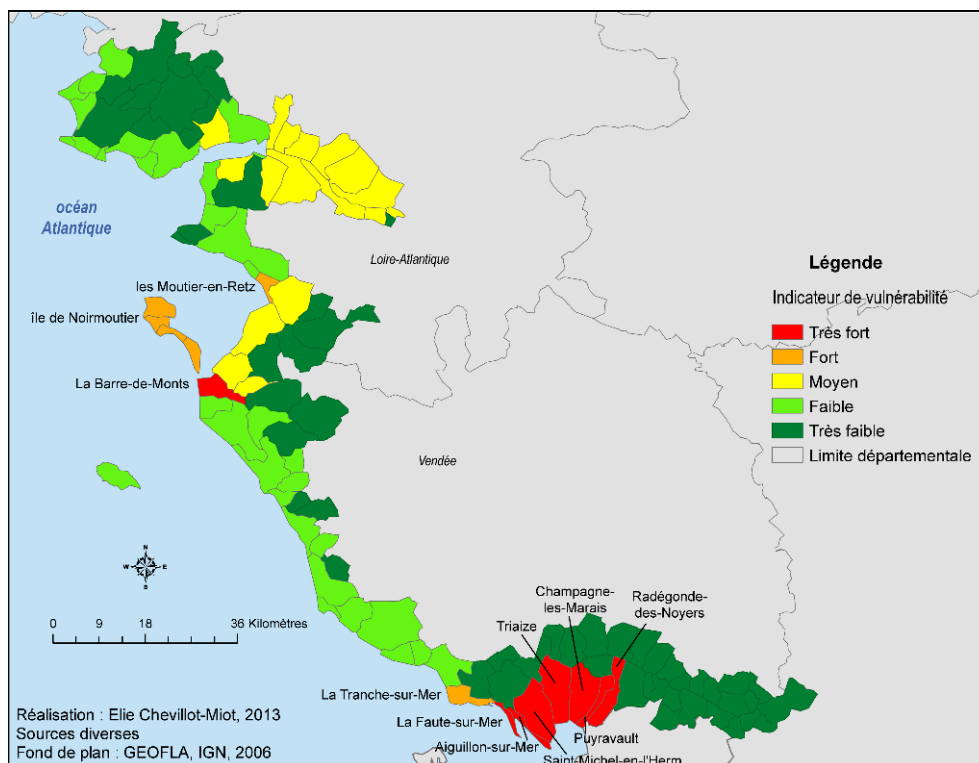
entre 30 et 50 %. Néanmoins ces communes possèdent un linéaire côtier à falaise et/ou dunaire.

- 28 Et enfin les communes à indicateur « très faible » de vulnérabilité (en vert clair) ont pour caractéristiques d'avoir globalement une faible densité de population, des zones bâties en zones basses de l'ordre de 15 à 30 %, aucun événement de submersion marine noté et aucune surface terrestre submergée lors de Xynthia.

## Résultats cartographiques

- 29 Les résultats du tableau 1 sont cartographiés à l'échelle communale (Figure 12).

Figure 12. La vulnérabilité de la région Pays de la Loire relativement au risque de submersion marine d'après l'analyse des correspondances multiples.



- 30 Le premier groupe de communes à la vulnérabilité jugée « très forte » (en rouge) concerne toutes les communes de la baie de l'Aiguillon, ainsi que la commune de La Barre-de-Monts. Elles sont toutes situées dans le département de la Vendée. La densité de population de ces communes est inférieure à la densité moyenne en France métropolitaine (115 habitants/km<sup>2</sup>), exceptée pour les communes de La Faute-sur-Mer (138,81 habitants/km<sup>2</sup>) et l'Aiguillon-sur-Mer (253,29 habitants/km<sup>2</sup>). La part des retraités est comprise entre 37 % et 65 % pour cette catégorie de commune. Quant à la part des bâties situés en zones basses, elle est supérieure à 50 %, à l'exception de Saint-Michel-en-l'Herm avec 34 % de son bâti en zone basse. La Barre-de-Monts et La Faute-sur-Mer ont la plus grande part, avec 82 % et 84 % de leur bâti sous la cote de 4,50 m NGF, ce qui représente 3 608 bâties en zones basses sur 4 386 au total à La Barre-de-Monts, et 4 215 sur un total de 5 029 bâties à La Faute-sur-Mer. De plus, cette catégorie de communes fait partie de celles qui ont été les plus submergées lors de la tempête Xynthia. L'Aiguillon-

sur-Mer a été la plus touchée, avec 80 % de son territoire inondé. La commune la moins submergée dans cette catégorie de commune est Triaize avec 16 % de ses terres inondées. Cet aléa submersion marine n'est pas un phénomène nouveau sur ces communes, puisqu'elles ont toutes connu au moins 3 phénomènes depuis 1738. Les communes de l'Aiguillon-sur-Mer et La Faute-sur-Mer ont cependant vécu un plus grand nombre de submersions marines, car on n'en dénombre pas moins de 9 entre 1738 et 2010.

- 31 Le deuxième groupe de communes avec un indicateur de vulnérabilité « fort » (en orange) concerne les communes de l'île de Noirmoutier, les Moutiers-en-Retz en baie de Bourgneuf, ainsi que La Tranche-sur-Mer dans le sud-ouest de la Vendée. La densité de population est plus élevée que pour les communes très fortement vulnérables (en rouge). En effet, leur densité est comprise entre 127 et 236 habitants/km<sup>2</sup> (respectivement pour La Tranche-sur-Mer et Noirmoutier-en-île). La catégorie socioprofessionnelle des retraités est majoritaire, puisqu'elle dépasse la moitié de la population communale. Quant aux bâtis en zones basses, il est compris entre 26 % et 77 %. La commune de l'Épine possède la plus grande part de bâtis sous la cote des 4,50 m NGF, soit l'équivalent de 3 435 bâtis sur 4 472 au total. La commune Les Moutier-en-Retz est celle qui comporte la part de bâtis en zones basses la plus faible dans cette catégorie de commune (soit 26 %), alors qu'elle a été la plus submergée lors de la tempête Xynthia. Elle a connu pas moins de 11 événements de submersion, depuis 1751. On constate que les communes de la baie de Bourgneuf ont connu plus d'événements de submersion que celles de l'anse de l'Aiguillon, dans sa partie nord-est (Figure 5). Ces deux indicateurs de vulnérabilité importants regroupent des communes situées en fond de baie et sont donc sensibles au vu de leurs critères d'historicité et d'enjeux fonciers.
- 32 Néanmoins, on constate que des communes de l'indicateur de vulnérabilité « moyen » sont également localisées, en partie, en fond de baie de Bourgneuf. La commune de Bouin a un passif de submersion marine très important. Elle aurait vécu pas moins de 14 événements de submersions depuis l'an 567, suivie par Beauvoir-sur-Mer (5 submersions marines) et Bourgneuf-en-Retz (4 submersions marines). Les deux premières (Bouin et Beauvoir-sur-Mer) ont également été impactées par la tempête Xynthia avec près de 14 % et 11 % de surfaces terrestres submergées. Selon ce critère de l'historicité, ces communes auraient pu être classées dans le groupe à l'indicateur de vulnérabilité « fort » voire « très fort », mais les enjeux humains et fonciers sont globalement de moindre importance. En effet, la densité de population est inférieure à la moyenne de la France métropolitaine (115 habitants/km<sup>2</sup>), alors que le pourcentage de retraités est compris entre 30 % et 53 % de la population communale sur certaines communes (53 % de retraité à Beauvoir-sur-Mer, 45 % à Bouin), et avec une zone bâtie située en zone basse estimée à 95 % pour Bouin, ou encore 66 % à Saint-Urbain en arrière-pays. En somme, ces communes ont été fortement exposées aux submersions marines, avec des enjeux fonciers très importants, mais leur densité de population reste faible. Par conséquent, le critère densité de population (3.1) est déterminant et concourt à former ce groupe de communes. Celles-ci ne sont pas bordées uniquement par des côtes basses, mais également protégées par des digues, ce qui est également le cas pour le groupe de communes de l'indicateur « moyen », situées dans l'estuaire de la Loire. La part de bâtis située en zones basses pour ces communes estuariennes est comprise entre 1 et 54 % (à Saint-Jean-de-Boiseau et Montoir-de-Bretagne, respectivement). La densité de population est plus ou moins importante (450 habitants/km<sup>2</sup> à Saint-Jean-de-Boiseau et 35 habitants/km<sup>2</sup> à Bouée). La part des retraités est inférieure à 35 % de la population communale (Saint-Etienne-de-

Montluc). Néanmoins, elles ont majoritairement été submergées lors de Xynthia, par exemple Bouée à 59,8 % de son territoire, Lavau-sur-Loire à 53 %, Le Pellerin à 43 %. Cependant, il semblerait qu'elles aient peu connu de submersions marines par le passé.

- 33 Le groupe à la vulnérabilité « moyenne » comprend des communes du fond de la baie de Bourgneuf et des communes de l'estuaire de la Loire. Elles auraient pu être séparées en deux, au vu de leurs caractéristiques différentes (aspects physiques, enjeux humains/fonciers, historicité), mais l'ACM regroupe ces communes d'après la projection des individus. Elles n'ont pas assez d'enjeux humains et fonciers combinés pour être intégrées dans l'indicateur de vulnérabilité « fort », et inversement dans l'indicateur de vulnérabilité « faible ».
- 34 L'indicateur de vulnérabilité « faible » (en vert) s'applique à des communes situées en majorité à proximité du littoral, quatre sont en arrière-pays, et une est insulaire (l'île d'Yeu). Les enjeux humains peuvent être conséquents pour certaines d'entre elles. La densité de population est supérieure à la moyenne de la France métropolitaine, comme au Croisic (1 001 habitants/km<sup>2</sup>), aux Sables-d'Olonne (1 767habitants/km<sup>2</sup>) et à Paimboeuf (2 226 habitants/km<sup>2</sup>). Assérac est la commune à la plus faible densité de population avec 34 habitants/km<sup>2</sup>. La part des retraités varie entre 31 % (à Notre-Dame-de-Riez) à 68 % (à Jard-sur-Mer). Concernant les bâtis situés en zones basses, on relève qu'une seule commune contient la totalité de ses bâtis communaux sous la cote des 4,50 m NGF : la commune rétrolittorale de Le Perrier. Celle qui suit, avec 56 % de ses bâtis en zones basses, est Notre-Dame-de-Monts. Trois communes ne contiennent aucun bâti sous cette cote, il s'agit de la Bernerie-en-Retz, Saint-Michel-Chef-Chef et Château-d'Olonne. Ces dernières, n'ont pas été impactées par la tempête Xynthia, puisqu'on ne dénombre aucune surface terrestre submergée, sur 14 autres communes, alors qu'elles sont directement exposées à la mer. En effet, ces communes ont en partie, ou en totalité, un linéaire côtier à falaise et/ou dunaire. On note également la présence de digue de protection sur certaines d'entre elles. La commune la plus submergée est Batz-sur-Mer (à 18,70 %), située au nord de l'estuaire de la Loire, sur la côte Sauvage, suivie par Donges submergée à 14,5 %, sur la Rive-Nord de l'estuaire de la Loire. Les submersions passées sont moins nombreuses que dans les communes de fond de baie. Pornic, en Loire-Atlantique a tout de même vécu 7 submersions marines. Lors de la tempête Xynthia, elle n'a eu que 0,04 % de son territoire submergé. C'est une commune à côte à falaise, protégée par des digues de protection. Ce groupe à l'indicateur de vulnérabilité « faible » ne compte pas que des communes concernées par un PPRL prioritaire, ni en possession d'un PCS. Elles sont en grande majorité directement exposées aux aléas météo-marins, mais sont peu sensibles, grâce à la géomorphologie des côtes (falaises et/ou dunes), qui joue le rôle de barrière de « protection » naturelle.
- 35 Le dernier indicateur de vulnérabilité « très faible » (en vert foncé) relève de communes situées en zone rétrolittorale, à l'exception de Préfailles et la Plaine-sur-Mer, au sud de la côte de Jade. Ces communes, en majorité situées en arrière-pays, n'ont été nullement affectées par la tempête Xynthia (soit 52 communes sur 56). Les quatre communes les plus submergées sont Saint-Molf (4,52 %), Guérande (6,44 %), Saint-Père-en-Retz (7,55 %) et la Montagne (10,14 %). Dans l'histoire des submersions marines, quelques-unes ont vécu deux submersions marines. Elles sont situées en marais Poitevin en Vendée (Bouillé-Courdault, Damvix, Luçon, Le Poiré-sur-Velluire et Velluire) et ont connu d'une part la tempête Xynthia en 2010, et d'autre part une submersion datant de 1936, à l'exception de Luçon qui a connu une submersion en 1740.

- 36 Pour les enjeux humains, la plus forte densité de population se trouve à La Montagne (1 689 habitants/km<sup>2</sup>), qui fait partie de l'aire urbaine de Nantes. Quant à la plus faible densité de population, elle concerne la commune de Grues (16,87 habitants/km<sup>2</sup>). Néanmoins, cette dernière contient la part de retraités la plus élevée avec 61,46 %. La plus faible part s'observe à Montreuil dans le marais Poitevin, avec 24,69 % de retraités. De plus, la commune de Grues compte le plus de bâtis sous la cote de 4,50 m NGF avec plus de 87 % de ses bâtis communaux. Elle n'est pas concernée par un PPRL prioritaire, mais possède un PCS. Cependant, il existe des communes rétro littorales qui sont concernées par un PPRL prioritaire telles que Guérande (en Loire-Atlantique), Angles, Bouillé-Courdault, Challans, Saint-Gervais et Sallertaine (en Vendée). Deux d'entre elles n'ont pas de PCS (Saint-Gervais et Sallertaine). Ce groupe de communes fait partie de l'indicateur de vulnérabilité « très faible ». Elles sont situées en zone rétro littorale, dans les marais Poitevin, Breton-Vendéen et de la Grande Brière, qui sont des territoires topographiquement bas - ce qui peut expliquer la part importante de bâtis sous la cote des 4,50 m NGF - mais leurs enjeux humains restent relativement faibles.
- 37 Cette cartographie de synthèse démontre d'une part, que le critère historicité, comprenant les surfaces terrestres submergées (2.1) et les événements de submersions passés (2.2), participe à la répartition des critères et des communes dans l'ACM. Ces critères structurent les deux premiers axes factoriels et sont représentatifs de l'information totale. Et d'autre part, ce travail révèle une certaine logique géographique des indicateurs de vulnérabilité. Les communes les plus vulnérables sont situées en fond de baie (Aiguillon et Bourgneuf), puis dans l'estuaire de la Loire, ensuite le long du linéaire côtier à falaises et/ou à dunes, et enfin en zone rétro littorale basse.

## Discussion

- 38 La logique géographique mise en lumière par cette analyse, démontre surtout l'importance des effets de site, ici les fonds de baie qui sont davantage soumis au risque de submersion marine engendré par un phénomène météorologique de type Xynthia en février 2010. Les échancrures marquées<sup>6</sup> présentent en effet une topographie basse, des côtes sableuses et peuvent conduire lors de tempête à un phénomène de résonance des vagues. Celles-ci sont prises au piège, les unes après les autres, ce qui conduit à une surélévation du niveau d'eau dans une baie peu profonde (Perherin, 2007).
- 39 Ces phénomènes de submersions marines se produisent également dans d'autres régions du monde. L'exemple de La Nouvelle-Orléans, submergée après le passage de l'ouragan Katrina (de catégorie 3) en 2005, en est un exemple. La ville en forme de cuvette, est située au niveau de la mer, entourée de digues de protection s'élevant à quatre mètres de hauteur à proximité du fleuve Mississippi. Elle se localise dans la baie de St-Louis et dans le Golfe du Mexique. Il s'agit d'un territoire poldérisé, prisé par les touristes (Jonkman et al., 2009), similaire aux territoires littoraux et insulaire, le long de la côte Atlantique française.
- 40 Les Philippines offrent un autre exemple illustrant cette logique spatiale. En novembre 2013, le typhon Haiyan (catégorie 5) a entraîné des vagues de submersions de cinq mètres de hauteur sur la ville de Tacloban (Mori et Mase, 2013), la plus peuplée de la région des Visayas orientales des Philippines. Cette commune littorale est topographiquement basse

(l'aéroport de Tacloban s'élève à deux mètres d'altitude), et se situe dans la baie de San Pedro et San Pablo (Observatoire français des tornades et orages violents, 2013).

- 41 Ces aspects physiques renforcent la vulnérabilité face au risque de submersion marine, puisque les enjeux humains, fonciers et économiques se retrouvent exposés, à des degrés divers, et pourraient l'être davantage avec les changements climatiques à venir.
- 42 Ces territoires ont accru leurs enjeux au fil du temps. Par le passé, les terres submergées étaient des terres agricoles, devenues avec le « boom touristique », des zones urbanisées. En effet, en région Pays de la Loire, dans les années 1950-1960, les constructions de bâtis s'effectuaient sur les terrains les plus hauts topographiquement. Puis, par effet de raréfaction de terrains hors zone inondable, les résidences furent construites en zones basses, potentiellement inondables, comme ce fut le cas sur l'île de Noirmoutier dans le département de la Vendée (Chevillot-Miot et al., 2013). Jean Renard (2005) explique que ce développement urbain des communes littorales dans la région s'est effectué sous la pression touristique, activité économique majeure, notamment dans le département de la Vendée. Cette activité s'est accrue dans les années 1960, et a entraîné des conséquences parfois difficilement réversibles, comme le recul, voire la disparition d'activités traditionnelles artisanales et agricoles, un afflux de vacanciers lors de la période estivale pouvant se multiplier par 5 ou 6 dans les années 1960 (Renard, 2005), voire 10 comme sur l'île de Noirmoutier en 2010 (Chevillot-Miot, 2012). Autres conséquences de cette évolution séculaire liée aux activités touristiques, la multiplication des résidences secondaires ou occasionnelles, des difficultés de circulation (accroissement du nombre de véhicules) et un étalement urbain brutal (Renard, 1980). Ces mutations socio-spatiales conduisent à un déséquilibre prononcé de la population des communes littorales et insulaires, avec une surreprésentation de la part des personnes âgées. En 2009, le département de la Loire-Atlantique comptait en moyenne 31,38 % de retraités (Insee). Le département de la Vendée présentait une moyenne de 39,40 % de retraités (Insee). À l'échelle nationale, les plus de 60 ans représentaient 23,04 % en 2011 (Insee). Cet écart est dû au nombre de propriétaires de résidences secondaires qui finissent par s'y installer définitivement à l'âge de la retraite (Renard, 2008 ; Vinet et al., 2012). D'autre part, ces mutations entraînent une multiplication de conflits entre les acteurs institutionnels, scientifiques, professionnels du tourisme, entreprises privées, élus locaux et citoyens (Renard, 2008), ce qui amène assurément à des complications en cas de gestion de crise, ou dans l'élaboration de PPRL et de PCS.
- 43 La politique de gestion des risques naturels dans les pays développés devient alors de plus en plus complexe à mettre en œuvre au vu de la pression foncière et économique qui découle de ce phénomène de "littoralisation". Kolen et al. (2010) évoquent les communes de la Faute-sur-Mer et de l'Aiguillon-sur-mer qui ont accordé des autorisations de constructions dans des zones basses, potentiellement inondables, au cours des années 2000, sous l'effet de cette pression foncière et économique. Les pays développés, face à l'accroissement des enjeux dus à la dynamique littorale, ont globalement recours à l'analyse coût-bénéfice, afin d'évaluer la rentabilité d'actions, de prises de décisions, ou encore la nécessité de construction d'infrastructure de protection par exemple (CEPRI, 2011), sur les territoires prédisposés à être submergés. D'un point de vue historique, on ne relève aucun événement de submersion marine majeur durant cette période de « boom touristique » dans les années 1960 en région Pays de la Loire (Garnier, 2010 ; Legal, 2008). Le dernier événement marquant, excepté Xynthia en 2010, remonte à 1937. Cette submersion marine fut très semblable à Xynthia, en raison d'une violente tempête de

force 11 (force 10 pour Xynthia) avec des vents de NE-SW (SW-NE pour Xynthia), et d'un fort coefficient de marée de 103 (102 pour Xynthia), dans la nuit des 13 et 14 mars 1937. L'île de Noirmoutier en Vendée fut protégée par son cordon dunaire sur sa façade ouest, mais la houle pénétra dans la baie de Bourgneuf sur l'autre façade Est endiguée. Les digues furent rompues sur l'île, du Nord au Sud et sur le continent à Bouin et Beauvoir-sur-Mer. Néanmoins, on ne déplora aucune victime lors de l'événement brutal et très étendu, grâce à un bon dispositif d'alerte et de prévention, ainsi qu'à une bonne réactivité de la population locale qui s'explique par une perception du risque réaliste à l'époque (Garnier, 2010). Cependant, ce même territoire a connu une autre submersion en 1979. À Barbâtre sur l'île de Noirmoutier et à Bouin, on mesure 2,5 mètres d'eau sur plus de 500 hectares. Cet événement n'a pas pour autant marqué les esprits des territoires similaires à l'île de Noirmoutier, quant au danger de la mer sur des zones basses et urbanisées, malgré les photographies aériennes, comme on aurait pu le croire (Garnier, 2010). La tempête Xynthia, médiatisée, avec des prises de vues obliques des zones submergées dès le lendemain, va-t-elle marquer les esprits et accélérer la mise en place de PPRL, PCS, et autres documents réduisant les vulnérabilités des communes exposées au risque de submersion marine (Mercier, 2012) ?

- 44 L'étude présentée ici sur les départements littoraux, rétrolittoraux et insulaires de la région Pays de la Loire est une première étape d'aide à la décision pour les PPRL à venir. Cette analyse permet également d'identifier, par des variables qualitatives et quantitatives, les enjeux sensibles face au risque de submersion marine, à l'échelle communale. Des études similaires ont été réalisées en France, par le CETE de l'Ouest (2012a) dans le rapport REX, où il est fait mention du nombre de bâtis inondé par la submersion à l'échelle locale. Une autre étude a été réalisée par le CETMEF (2009) sur la vulnérabilité du territoire aux risques littoraux, mais à l'échelle nationale. Par ailleurs, il existe des études sur le changement climatique qui ont pour but de cibler les mesures de prévention et de secours, et ce quelles que soient les échelles spatiales et temporelles, afin de considérer les perspectives d'évolution, tout en limitant les pertes d'informations entre les diverses échelles (Adger et al., 2004).
- 45 Dans ces études de vulnérabilité, on distingue bien une analyse liée à l'exposition du territoire face à un aléa et une analyse liée à la sensibilité d'enjeux humains, économiques et environnementaux, qui comprend des données de la littérature, quantitatives, qualitatives et de modélisation. L'objectif final est de coordonner et exécuter des actions de réduction de la vulnérabilité à l'échelle d'un pays ou d'une ville (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2013). Cette étude montre une autre méthode pour parvenir à ce type de résultat. Cependant, on remarque une inégalité dans les sources de données selon les pays développés et moins développés. L'accès à ces données est primordial pour réaliser une étude de la vulnérabilité quelles que soient les échelles spatiale, temporelle et la méthode utilisée. On note également une autre difficulté future pour évaluer le niveau de risque. Il s'agit d'une discordance entre la mesure de l'aléa qui est réalisée à l'échelle d'un bassin-versant, et la quantification de la vulnérabilité effectuée à l'échelle communale, retenue aussi pour établir les PPR (Liégeois et al., 2005).

## Conclusion

- 46 L'analyse de la vulnérabilité, à travers une ACM sur 10 critères et 120 communes littorales, rétrolittorales et insulaires de la région Pays de la Loire, met en lumière

certaines d'entre elles comme étant potentiellement vulnérables face au risque de submersion marine. Cette vulnérabilité n'est pas nouvelle, au vu des événements de submersions passés. Les prédispositions de ces communes à être impactées par une submersion marine sont dues majoritairement à leurs aspects physiques, tels qu'une topographie basse, des côtes sableuses et une localisation en fond de baie.

- 47 Ce qui a changé la vulnérabilité de ces communes, c'est l'accroissement des enjeux humains et fonciers au cours de ces dernières décennies. Ces communes agricoles se sont tournées vers l'activité touristique, entraînant une urbanisation à proximité de la mer, dans des zones basses et par conséquent potentiellement inondables. En France, on estime que cinq millions de personnes vivent en zone inondable (avec une montée des eaux de deux mètres) sur la zone côtière (Kolen, 2010). L'absence d'événement de submersion marquant les esprits pendant cette même période a certainement contribué à cet accroissement des enjeux.
- 48 La question de l'avenir de ces communes se pose. Jusqu'où sont-elles prêtes à accepter le risque de submersion marine (Tranchant, 2010), en termes de moyens financiers et sur le plan psychologique ? Quelle est leur capacité de résilience ? Faut-il reconstruire comme avant la catastrophe, ou bien apprendre de ces événements et aller de l'avant, en apportant des améliorations, en s'adaptant ? La prévention et la culture du risque de submersion marine sont-elles suffisantes (Reghezza-Zitt, 2013) ?
- 49 Les solutions du recul stratégique et de l'abandon progressif de propriété dans le domaine public et privé littoral sont-elles vraiment envisagées par les services de l'État, les collectivités locales et la population (Lambert, 2013 ; Mercier, 2012) ? Ces communes vulnérables ont-elles encore conscience du risque de submersion marine après la catastrophe Xynthia ? Comment se représentent-elles sur le long terme les risques côtiers ? Ces interrogations demeurent.

## Remerciements

- 50 Les auteurs remercient le projet de recherche COSELMAR (compréhension des socio-écosystèmes littoraux et marins), financé par la région Pays de la Loire et porté par l'Ifremer et l'Université de Nantes, qui a subventionné cette étude dans le cadre d'un stage d'une période de 5 mois, de Master 2 Géographie et Aménagement des Espaces Maritimes. Nous remercions également Sophie Pardo (LEMNA), Patrice Guillotreau (IEMN-IAE) et Laurent Godet (LETG Nantes Géolittomer) pour leur aide et les conseils concernant les méthodes statistiques.

---

## BIBLIOGRAPHIE

Acerra, M. et T Sauzeau, 2012, « Zones construites, zones désertes sur le littoral atlantique. Les leçons du passé », *Revue Norois*, n°222, pp. 103-114.

Adger, W-N., N Brooks, G Bentham, M Agnew et S Eriksen, 2004, "New indicators of vulnerability and adaptive capacity", Technical Report, n°7, Tyndall Centre For Climate Change Research, University of east Anglia, Norwich, 128 p.

Association patrimoine marche de Bretagne marais breton des Moutiers-en-Retz, 2010, *La Gazette*, numéro spécial n°1, « Historique des vimers, tempêtes et inondations aux Moutiers-en-Retz et sur les côtes de la Baie de Bourgneuf, par J-P Rivron », [En ligne] URL : <http://ampri.perso.sfr.fr/Documents/garzettespecialeN1.pdf>

Auly, T., P Laymond, M-C. Prat et J Veiga, 2012, « Petit vocabulaire des risques et des catastrophes d'origine naturelle », Auly T et Prat M-C (coord), Edition Confluences, p 64.

Centre européen de prévention du risque inondation (CEPRI), 2011, « L'ACB (analyse coût-bénéfice) : une aide à la décision au service de la gestion des inondations. Guide à l'usage du maître d'ouvrage et de leurs partenaires », 42 p.

CETE de l'Ouest., 2012a, « La tempête Xynthia du 28 février 2010. Retour d'expérience en Loire-Atlantique et en Vendée. Volet hydraulique et ouvrages de protection », 78 p. [En ligne] URL : <http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr>

CETE de l'Ouest., 2012b, « Rapport d'étude de faisabilité pour la mise en place d'un observatoire régional du trait de côte, partie II: Évaluation des besoins et des priorités régionales », 45 p.

CETMEF., 2009 « Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux, France métropolitaine », 163 p.

Chadenas, C., P Pottier, A Pouillaude, J-F. Struillou et L Després, 2009, « Pour une meilleure adéquation entre pression humaine et ressource littorales : évaluer la capacité d'accueil du territoire », Cahiers nantais, n°2, pp. 57-68.

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: planning and management*, DOI : 10.1007/s11852-013-0299-3.

Chauveau, É., C Chadenas, B Comentale, P Pottier, A Blanlœil, T Feuillet, D Mercier, L Pourinet, N Rollo, I Tillier et B Trouillet, 2011a, « Xynthia : leçons d'une catastrophe », *Cybergeo : european journal of geography*, article 538, p. 21. URL : [<http://cybergeo.revues.org/23763>].

Chauveau, É., P Pottier, C Chadenas, D Mercier, L Pourinet, T Feuillet, B Comentale et A Blanlœil, 2011b, « La catastrophe Xynthia : un processus d'urbanisation littorale face à un fait de nature », *Les Cahiers Nantais*, n°1, pp. 37-51.

Chevillot-Miot, É., 2012, « La Vulnérabilité du bâti face au risque de submersion marine sur l'île de Noirmoutier », *Mémoire de Master 1 Géographie et Aménagement*, Université de Nantes, 120 p.

Chevillot-Miot, É., 2013, « Analyse de la vulnérabilité de la région Pays de la Loire au risque de submersion marine », *Mémoire de Master 2 Géographie et Aménagement des Espaces Maritimes*, Université de Nantes, 80 p.

Chevillot-Miot É., 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*, n°1, pp. 5-14.

Décamps, H., 2007, « La vulnérabilité des systèmes socioécologiques aux événements extrêmes : exposition, sensibilité, résilience ». *Nature Sciences Sociétés*, pp. 48-52. [En ligne] URL : <http://dx.doi.org/10.1051/nss:2007023>



- DREAL pays de la Loire : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement, [En ligne] URL : <http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr>
- Factominer : Package R dédié à l'analyse exploratoire multidimensionnelle de données (à la Française). Il a été développé et il est maintenu par F. Husson, J. Josse et S. Lê d'Agrocampus Rennes, et J. Mazet.: [Factominer.free.fr]
- Feuillet, T., É 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 associées sur le littoral atlantique français », *Norois*, n°222, pp. 27-44.
- Garnier, É., 2010, « 500 ans de vimers sur le littoral de Poitou-Charentes : risque et vulnérabilité des sociétés », dans SAUZEAU T.(dir), *Comprendre Xynthia, expliquer un phénomène*, Journée d'étude de la région Poitou-Charente, Poitiers, pp. 11-17. [En ligne] URL : <http://www.poitou-charentes.fr>
- Garnier, É. et F Surville, 2010, « La tempête Xynthia face à l'histoire, submersion et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Age à nos jours : L'exemple du littoral aunisien et de ses prolongements d'entre Loire et Gironde », *La Croît Vif*, 174 p.
- Genovese, É., V Przulski, T-F. Vinit et M Deque, 2012, « Xynthia : le déroulement de la tempête et ses conséquences en France », Przulski V. et Hallegatte S. (dir.), *Gestion des risques naturels – Leçons de la tempête Xynthia*, Versailles, Éd. Quae, pp. 17-44.
- Géopal : Programme commun de l'information géographique, [En ligne] URL : <http://www.geopal.org>
- Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2013, “Comparative analysis of climate vulnerability assessments: lessons from Tunisia and Indonesia”, Federal Ministry for the environment, Nature Conservation and Nuclear Safety of the Federal Republic of Germany, 41 p. [En ligne] URL : <http://www.giz.de>
- Intergovernmental panel on climate change, 2013, Working Group 1 Contribution to the IPCC Fifth Assessment report Climate Change: The Physical Science Basis. 27 p. [En ligne] URL : <http://www.ipcc.ch>
- Insee : L'Institut national de la statistique et des études économiques, [En ligne] URL : <http://www.insee.fr>
- 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*, Vol 29, n°5, pp. 676 - 698.
- Knabb, R-D, J-R Rhome et D-P Brown, 2005, “Tropical cyclone report, Hurricane Katrina” National Hurricane Center, [En ligne] URL : <http://www.nhc.noaa.gov>
- Kolen, B., R Slomp, W Van Balen, T Terpstra, M Bottema et S Nieuwenhuis, 2010, “Learning from French experiences with storm Xynthia: Damages after a flood”, *Ministerie van Verkeer en Waterstaat, MKV Consultants*, 89 p.
- La Faute-sur-Mer: site internet officiel de la ville, [En ligne] URL : <http://www.lafautesurmer.fr>
- Lambert, M-L., 2013, « GIZC et élévation du niveau marin : vers une gestion innovante des littoraux vulnérables », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors-série 18, [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/14331>; DOI : 10.4000/vertigo.14331

Le Berre, I., M Philippe et H Villerme, 2013, « Partager une base d'information géographique pour évaluer la vulnérabilité à la submersion marine : approche économique et géographique », Colloque 14, Risques littoraux et maritimes, Journées scientifiques de l'Université de Nantes.

Legal, P-Y., 2008, « L'urbanisation, de Merlin-Plage à la loi littorale », Les Vendéens et la mer, de la grande pêche au Vendée Globe, La Roche-sur-Yon, Éditions du CVRH, pp. 649-662.

Les Services de l'Etat en Loire-Atlantique, [En ligne] URL : <http://www.loire-atlantique.equipement.agriculture.gouv.fr>

Liégeois, M., P Arnould et S Wicherek, 2005, « Tous vulnérables ? Le diagnostic de vulnérabilité aux aléas de l'érosion : un outil pour l'action collective », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 6, N°3. [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/3628>; DOI : 10.4000/vertigo.3628

Maison des communes 85 : Structure regroupant 5 entités juridiques travaillant au service des collectivités, des élus et des agents, site d'information et de partage sur le département de la Vendée [maisonsdescommunes85.fr]

MEDDTL - Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement., 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 », 19 p.

Mercier, D., 2012, « Après Xynthia : vers un repli stratégique et un État fort ? », Norois, n°222, pp. 7-9.

Mercier, D. et M. Accera, (coord.), 2011, « Xynthia : une tragédie prévisible », Place Publique, 65 p.

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, n° 222, pp. 45-60.

Mori, N. et H. Mase (coord), 2013, "Analysis of coastal disaster by typhoon Haiyan". Coastal disaster research section, Disaster prevention research insitut Kyoto university. [En ligne] URL : <http://goo.gl/Aoy1PI>

Observatoire français des tornades et orages violents., 2013, « Haiyan, le plus puissant cyclone tropical de l'histoire récente à toucher terre ». [En ligne] URL : <http://www.keraunos.org/actualites/fil-infos/2013/novembre/super-typhon-haiyan-philippines-novembre-2013.html>

Ouest-France : Site internet du journal [ouest-france.fr]

Perherin, C., 2007, « Contribution à l'analyse des phénomènes de surcotes et de submersion marines. Secteur du Pertuis Breton (Vendée) », École Nationale des Travaux Publics de l'État, Rapport de stage, 94 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, volume 12, n°1, [En ligne] URL : <http://vertigo.org/12031>; DOI : 10.4000/vertigo.12031

Plan-Loire : plan d'aménagement global qui vise à concilier la sécurité des personnes, la protection de l'environnement, le développement économique dans une perspective de développement durable. Site de partage et d'information. [plan-loire.fr]

Prim.Net : Site national d'information, de partages relatifs aux risques naturels et technologiques [www.prim.net]

Przyluski, V et Hallegattes. (dir.), 2012 « Gestion des risques naturels – leçon de la tempête Xynthia », Versailles, Éd. Quae, pp. 17-44.

Reghezza-Zitt, M., 2013, « Utiliser la polysémie de la résilience pour comprendre les différentes approches du risque et leur possible articulation », *EchoGéo*, 24, [En ligne] URL : <http://echogeo.revues.org/13401>

Renard, J., 1980, « Bref historique du rôle des collectivités locales dans le développement et l'aménagement touristique littoral vendéenne », *Cahier Nantais*, n° 17, pp. 7-21.

Renard, J., 2005, « La Vendée : un demi-siècle d'observation d'un géographe », *Presse Universitaire Rennes*, 308 p.

Renard, J., 2008, « L'impact du tourisme sur les évolutions des populations du littoral vendéen (1954-2007) », *Les Vendéen et la mer, de la grande pêche au Vendée Globe*, La Roche-sur-Yon, Édition du CVRH, pp. 663-686.

R-Project : site dédié au logiciel R, téléchargement des packages [R-Project.org]

Sarrazin, J-L., 2012, « "Vimer de mer" et sociétés littorales entre Loire et Gironde (XIV<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> siècle) », *Noroi*, n° 222, pp. 91-102.

Tranchant, M., 2010, « Culture du risque et résilience dans l'histoire de l'Occident », dans Sauzeau T (dir), *Comprendre Xynthia, expliquer un phénomène*, Journée d'étude de la région Poitou-Charentes, Poitiers, pp 7-11.

Vinet, F., S Defossez et J-R. Leclere, 2011a, « Comment se construit une catastrophe ? », *Place Publique*, Hors-série, pp. 9-19.

Vinet, F., L Boissier et S Defossez, 2011b, « 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*, Volume 11 Numéro 2, [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/11074>

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

Vivre l'île 12 sur 12 : Association agréée de défense de l'environnement l'île de Noirmoutier [www.12sur12.org]

## NOTES

1. Litto3D®©IGN2010 - Cofinancé par l'État et la Région Pays de la Loire, avec la participation de l'Europe (FEDER)
2. Événement relaté le plus ancien dans Association Patrimoine Marche de Bretagne marais Breton des Moutiers-en-Retz, 2014 et Sarrazin, 2012
3. « La base Gaspar, mise à jour directement par les services instructeurs départementaux, réunit des informations sur les documents d'information préventive ou à portée réglementaire » [En ligne] URL : <http://www.onrn.fr/site/basesdedonnees/medde---gaspar.html>
4. Une digue côtière est « un ouvrage longitudinal [ou transversal] situé au niveau du trait de côte ou en arrière côtes et est caractérisé par un apport de matériaux constituant un obstacle à l'écoulement de l'eau [...] peu perméable et surélevé par rapport au terrain naturel » Roche A et Perherin C., 2010. *Méthodologie de recensement des ouvrages de protection contre les aléas côtiers*. *Revue Paralia*, Vol 3, pp. 9. - 9.11
5. Les perrés sont « caractérisés par une pente oblique simple ou multiple et constitués d'un revêtement [en pierres ou galets] recouvrant un talus autostable [...] construits contre le terrain

naturel » Roche A et Perherin C., 2010. *Méthodologie de recensement des ouvrages de protection contre les aléas côtiers*. Revue Paralia, Vol 3, pp 9. – 9.11

6. C'est-à-dire qui prend la forme d'une baie, d'un golfe

---

## RÉSUMÉS

Cet article analyse la vulnérabilité des communes littorales de la région des Pays de la Loire (France) face au risque de submersion marine. Ce travail s'inscrit à la suite des études menées après la tempête Xynthia du 28 février 2010 (Mercier et Acerra, 2011 ; Przyluski et Hallegattes, 2012 ; CETE de l'Ouest, 2012a), qui avait submergé de nombreux territoires aux reliefs bas (sous la côte des 4,50 m NGF), provoqué des dommages considérables sur les habitations et entraîné la mort de 41 personnes dans les départements de la Charente-Maritime et de la Vendée. Cet article cherche à identifier parmi 120 communes des départements de la Loire-Atlantique et de la Vendée, les territoires les plus vulnérables au risque de submersion marine par l'étude des facteurs de vulnérabilité, à travers une analyse des correspondances multiples (ACM).

La typologie des communes est fonction de critères de vulnérabilité : la topographie, les enjeux humains/fonciers, l'historique des submersions marines ainsi que des éléments de gestion propre aux risques naturels (plan de prévention des risques, plans communaux de sauvegarde, recensement des digues de protection). Les résultats, présentés sous forme cartographique, permettent de retenir les facteurs topographique et historique comme éléments déterminant la prédisposition de ces communes à subir des submersions marines.

This article analyses the vulnerability of coastal communities facing coastal flooding hazard, in the region Pays de la Loire (France). This work is related to studies lead after storm Xynthia, 28 February 2010 (Mercier et Acerra, 2011; Przyluski et Hallegattes, 2012; CETE de l'Ouest, 2012a), which submerged many low reliefs (under the altitude of 4,50 m NGF). Xynthia caused considerable damages on habitations and the death of 41 people in Charente-Maritime and Vendée. This article aims to identify, among 120 municipalities in Loire-Atlantique and Vendée, the most vulnerable to coastal flooding hazard. The study intends to understand what make these municipalities potentially vulnerable using a statistical analysis: multiple correspondance analysis (MCA). A typology of municipalities is built according to criteria of vulnerability, such as topography, human and real estate stakes, coastal flooding archives, elements of natural hazards management. Cartographic results show that topographical and historical factors are key elements to determine vulnerable municipalities to coastal flooding hazard.

## INDEX

**Mots-clés :** vulnérabilité, submersion marine, tempête Xynthia, urbanisation, littoral, analyse des correspondances multiples, Loire-Atlantique, Vendée, France

**Keywords :** vulnerability, coastal, flooding hazard, storm Xynthia, coastline, urbanization, multiple correspondence analysis

**Index géographique :** Europe

## AUTEURS

### **ELIE CHEVILLOT-MIOT**

Doctorante, Université de Nantes, Laboratoire LETG-Nantes-Géolittomer UMR 6554 CNRS Campus du Tertre, BP 81 227, 44 312 Nantes cedex 3, France, courriel : [Elie.Chevillot-Miot@univ-nantes.fr](mailto:Elie.Chevillot-Miot@univ-nantes.fr)

### **DENIS MERCIER**

Professeur, Université de Nantes, Laboratoire LETG-Nantes-Géolittomer UMR 6554 CNRS, Campus du Tertre, BP 81 227, 44 312 Nantes cedex 3, Institut Universitaire de France, France, courriel : [Denis.Mercier@univ-nantes.fr](mailto:Denis.Mercier@univ-nantes.fr)