

Vulnérabilité du bâti résidentiel pour leurs occupants : diagnostic et adaptation



Objectifs

Les retours d'expérience sur les **victimes liées aux inondations** montrent que seuls 6 % des décès sont localisés à l'intérieur des constructions résidentielles [1]. Toutefois, pour des **événements rares et intenses**, cette proportion augmente significativement : 46 % (12 des 26 victimes) lors des crues du Var en 2010 [2], 100 % (41 victimes par noyade) lors de la tempête Xynthia en 2010 [2], ou encore 53 % (pour 746 victimes identifiées) lors du cyclone Katrina aux Etats-Unis en 2005 [3].

Ces événements se caractérisent par une **montée brusque du niveau d'eau**, notamment par suite de défaillance d'un ouvrage de protection, ce qui crée un **effet de surprise** manifeste pour les personnes. La localisation et la configuration des **constructions résidentielles peuvent alors être un piège pour les occupants** ce qui peut donc exacerber la vulnérabilité humaine et conduire au décès dans les cas les plus extrêmes.

Alors que **18,5 millions de français vivent en zones potentiellement inondables** [4] et que **20 % des constructions exposées au risque de submersion marine sont dépourvues d'étage** [4], il apparaît nécessaire de mener un travail prospectif afin d'**agir dès aujourd'hui pour réduire la vulnérabilité humaine**. La méthode proposée dans cette fiche permet :

- d'établir un diagnostic fin de la vulnérabilité de ces territoires, à l'échelle de la construction résidentielle, afin d'**identifier les secteurs où il est nécessaire d'agir en priorité** afin de réduire la vulnérabilité humaine.
- de comparer la pertinence de **différentes stratégies de réduction de la vulnérabilité** au travers de l'analyse économique, pour proposer des pistes d'actions adaptées aux différents territoires analysés en matière de réduction de la vulnérabilité.

Cette méthode, centrée sur la **réduction de la dangerosité du bâti pour les occupants**, s'inscrit comme un **outil d'aide à la décision complémentaire** au « Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant » [5] et peut-être utile dans le cadre de l'élaboration des Plans d'Action et de Prévention des Inondations (PAPI) et particulièrement de l'axe 5 portant sur les actions de réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens.

A savoir

Différentes méthodes existent déjà pour évaluer la vulnérabilité du bâti [6 et 7] ou la vulnérabilité humaine [8] face au risque d'inondation, que ce soit à une échelle nationale ou internationale.

Le caractère novateur de la méthode présentée ici est lié à l'échelle d'analyse fine, celle de la construction résidentielle. Cela permet d'identifier finement les secteurs à traiter en priorité et de proposer des solutions au cas par cas.

- Ce travail s'est déroulé dans le cadre du programme de recherche COSELMAR (Compréhension des Socio-Ecosystèmes Littoraux et Marins – 2012-2017), financé par la région Pays de la Loire et porté par l'Université de Nantes et IFREMER.
- La méthode présentée ici a été développée dans le cadre de la thèse d'Axel CREACH (2011-2015), encadrée par Sophie Pardo (économiste, Univ. Nantes) et Denis Mercier (géographe, Univ. Paris-Sorbonne).
- Cette méthode a été appliquée à sept communes du littoral atlantique français mais est transposable à l'analyse de la vulnérabilité du bâti résidentiel dans un contexte de crue rapide (défaillance d'ouvrages).

→Axel CREACH
(Université Paris-Sorbonne)

axel.creach@paris-sorbonne.fr

En Bref

- Un outil d'aide à la décision pour la protection des personnes.
- Une approche par la vulnérabilité, complémentaire aux études d'aléa.
- Une analyse transposable aux inondations à la cinétique rapide.

Méthodologie

Etape 1 : diagnostic de la vulnérabilité des constructions pour les occupants

- ✓ Repose sur le calcul d'un indice composite : l'indice V.I.E.
- ✓ Permet un diagnostic à l'échelle de la construction
- ✓ Permet d'identifier de manière préventive les secteurs prioritaires pour la réduction de la vulnérabilité

La méthode de l'indice de Vulnérabilité Intrinsèque Extrême (V.I.E.) permet d'identifier les constructions résidentielles exposant leurs occupants à une situation de vulnérabilité importante en cas d'événement de submersion marine, pouvant conduire jusqu'au décès [9].

Il repose sur quatre critères de localisation et de configuration du bâti (Figure 1), dont le rôle dans la construction de la vulnérabilité a été démontré [2] :

- la hauteur d'eau potentielle à l'intérieur des constructions ;
- la distance des constructions aux ouvrages de protection ;
- l'architecture des constructions ;
- la proximité des constructions à des zones refuges.

Pour chacun de ces critères, une note de 0 (non vulnérable) à 4 (très vulnérable) est attribuée aux constructions. Une formule permet d'agréger et de pondérer ces critères. Afin de cartographier ce diagnostic de vulnérabilité, quatre classes sont proposées :

- Classe verte : non vulnérable.
- Classe jaune : vulnérabilité faible.
- Classe rouge : vulnérabilité importante, risque de décès pour les populations vulnérables.
- Classe noire : vulnérabilité « extrême », les occupants peuvent être piégés en cas d'inondation. Le risque de décès est important.

Une validation statistique a permis de confirmer la robustesse de l'indice. Les résultats ont également été confrontés avec les retours d'expérience de la tempête Xynthia et ont montré une grande cohérence entre les constructions identifiées en noir par l'indice et les constructions où des décès avaient effectivement été enregistrés lors de l'événement [9] (Fig. 3, carte de gauche).

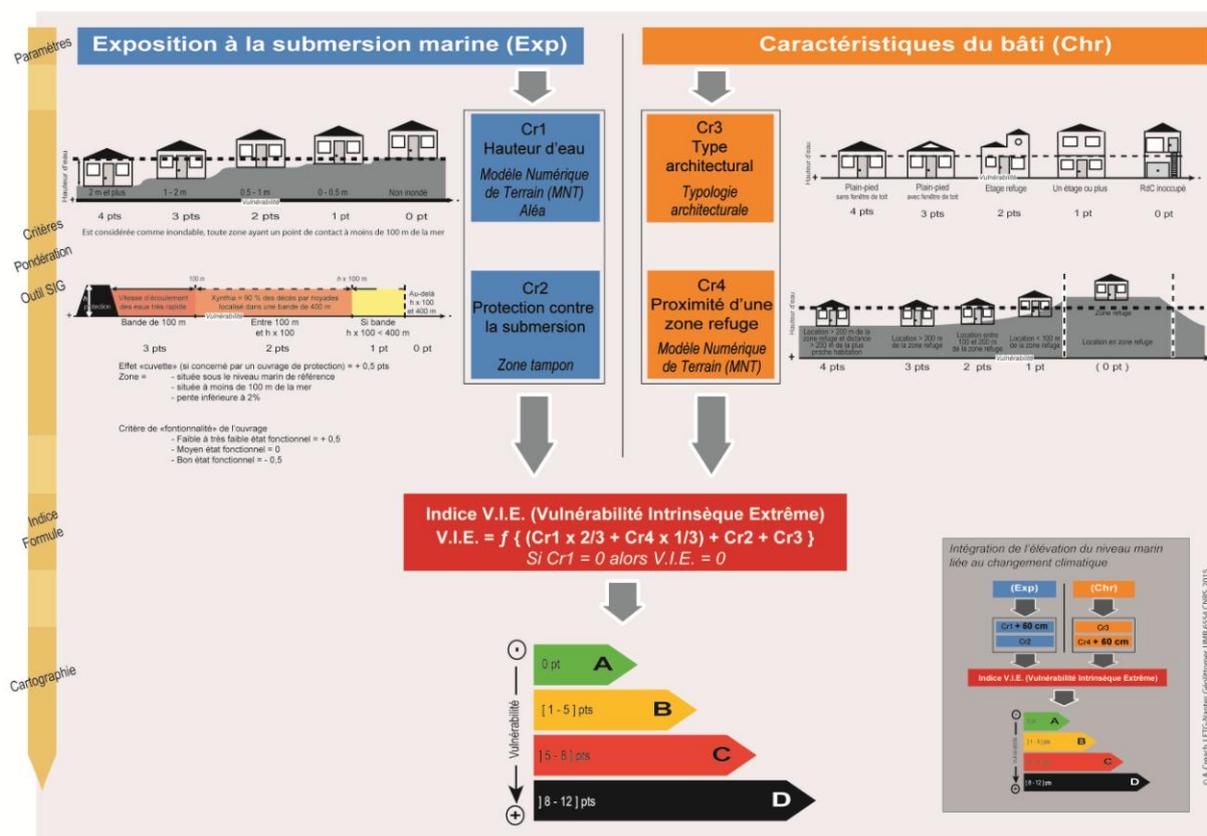


Figure 1 : méthodologie de l'indice V.I.E. (adaptée de [9])

Etape 2 : identification de la stratégie d'adaptation la plus pertinente

- ✓ Quatre stratégies d'adaptation identifiées
- ✓ Agissent sur l'un des critères de l'indice V.I.E.
- ✓ Possibilité de comparer l'efficacité en rapport au coût d'investissement et d'entretien

Afin de réduire la dangerosité du bâti pour les occupants, différentes stratégies de réduction de la vulnérabilité peuvent être mises en œuvre, à l'échelle de la construction ou du territoire (commune, EPCI).

Le tableau 1 donne un descriptif des stratégies identifiées ainsi que leurs coûts.

Tableau 1 : description de quatre mesures de réduction de la vulnérabilité du bâti résidentiel pour leurs occupants et coûts associés [10]

Mesures et coûts	Description	Coût d'investissement	Coût d'entretien (provision annuelle)	Source
 Mesure 1 Protection Rehaussement & confortement des digues	Rehaussement et confortements des ouvrages de protection existants (pas de nouveaux ouvrages).	Digue = 500 € par ml	Digue = 2 % du coût d'investissement (10 € par ml/an)	DOLLET & SYLLA (2015)
 Mesure 2 Accommodation Adaptation architecturale	Construction d'une pièce refuge pour les constructions de plain-pied. Mise en place d'une fenêtre de toit pour permettre une évacuation verticale.	19 265 € par construction	Considéré nul	FESTUOT & GUILLAUME (2015)
 Mesure 3 Accommodation Prévention & évacuation	Faciliter l'évacuation préventive de la population exposée en cas d'alerte en l'informant (documents réglementaire), en la formant (exercice d'évacuation), et offrir la possibilité de refuge en dernier recours (plateforme refuge).	Doc. d'information et de réglementation = 307 000 € Exercices d'évac. = 50 000 € Plateforme (unité) = 80 000 € Kit d'attente des secours pendant 3 jours (coût par foyer) = 250 €	Prévention = mise à jour des doc et réalisation d'exercice d'évac. tous les 5 ans = 71 450 € Plateforme = 1 % du coût d'investissement (800 € par an)	CDA LA ROCHELLE (2013) Entreprise TDEM
 Mesure 4 Déplacement Relocalisation	Suppression des constructions les plus exposées. Nécessite le rachat et la destruction de ces habitations.	Rachat = coût au m ² estimé par commune Déconstruction = 20 000 € par construction	Nul dans le temps	Sélection de sites internet http://www.renovationetravaux.fr

L'intérêt de ces différentes stratégies est qu'elles permettent d'agir sur l'un des critères de l'indice V.I.E. et donc de le recalculer et de produire de nouvelles cartes de vulnérabilité. Il est donc possible de comparer l'action de chacune de ces mesures par rapport au diagnostic initial de la vulnérabilité (cf. « Illustration », p. 4).

Il est également possible de mesurer l'efficacité de ces stratégies en nombre de vies humaines qu'elles permettent de sauvegarder, en recourant à la méthode hollandaise des « fonctions de mortalité » [11].

Connaissant le coût de mise en œuvre de ces différentes stratégies et leur efficacité à réduire la vulnérabilité des constructions pour les occupants, il est possible de mener une analyse économique de type Analyse Coût-Efficacité (ACE) afin d'en comparer l'intérêt. Ce résultat peut notamment être présenté sous la forme d'un plan coût-efficacité (Fig. 2) qui permet, visuellement, de positionner les mesures en fonction de l'intérêt qu'elles offrent à réduire la vulnérabilité.

Cela peut donc guider la décision pour agir préventivement sur la réduction de la vulnérabilité des zones les plus exposées.

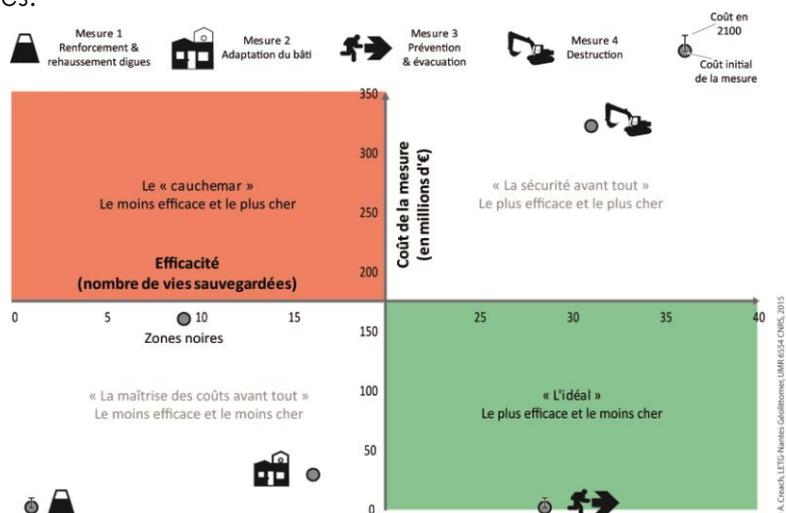


Figure 2 : exemple de plan coût-efficacité pour la commune de La Faute-sur-Mer (Vendée). Les stratégies d'adaptation sont positionnées selon leur coût de mise en œuvre (axe des ordonnées) et leur efficacité à protéger les populations (axe des abscisses).

Illustration

Application à la commune de La Faute-sur-Mer (Vendée)

La méthode a été appliquée à sept communes du littoral atlantique français : trois communes de la baie de l'Aiguillon (La Faute-sur-Mer, l'Aiguillon-sur-Mer et Charron) et les quatre communes de l'île de Noirmoutier (Noirmoutier-en-l'Île, L'Epine, La Guérinière, et Barbâtre).

Sont présentés ici les résultats pour la commune de La Faute-sur-Mer, inondée par le tempête Xynthia en 2010. A la suite de cet événement, l'Etat décide l'établissement d'une « zone de solidarité » à l'intérieure de laquelle sont rachetées puis détruites 552 constructions pour un coût total de 160 millions d'euros.

L'indice V.I.E. confirme la très grande vulnérabilité de la partie sud de la commune, concernée par le zonage de solidarité (Fig. 3, carte de gauche) ainsi que des lotissements au nord du bourg qui avaient également été jugés vulnérables par la mission d'expertise à l'origine des zones de solidarité [12]. L'indice V.I.E. indique qu'une construction sur deux présente le niveau de vulnérabilité le plus élevé.

Pour réduire cette vulnérabilité, les différentes stratégies identifiées n'offrent pas le même intérêt. Pour être réellement efficace, la relocalisation des biens les plus exposées nécessiterait un rachat de la moitié des résidences de la commune. L'alternative consiste en la construction d'étages aux maisons de plain-pied ce qui reviendrait à adapter 1 657 bâtiments pour un coût total de 32 millions d'euros. Cela permet de réduire la vulnérabilité des constructions de la commune, même si cela ne la supprime pas complètement (Fig. 3, carte de droite). Ainsi, une association des mesures est nécessaire pour optimiser le résultat, dans laquelle un volet prévention doit être systématique puisque c'est une mesure au coût d'investissement limité mais qui peut aboutir à un cercle vertueux en matière de conscience du risque.

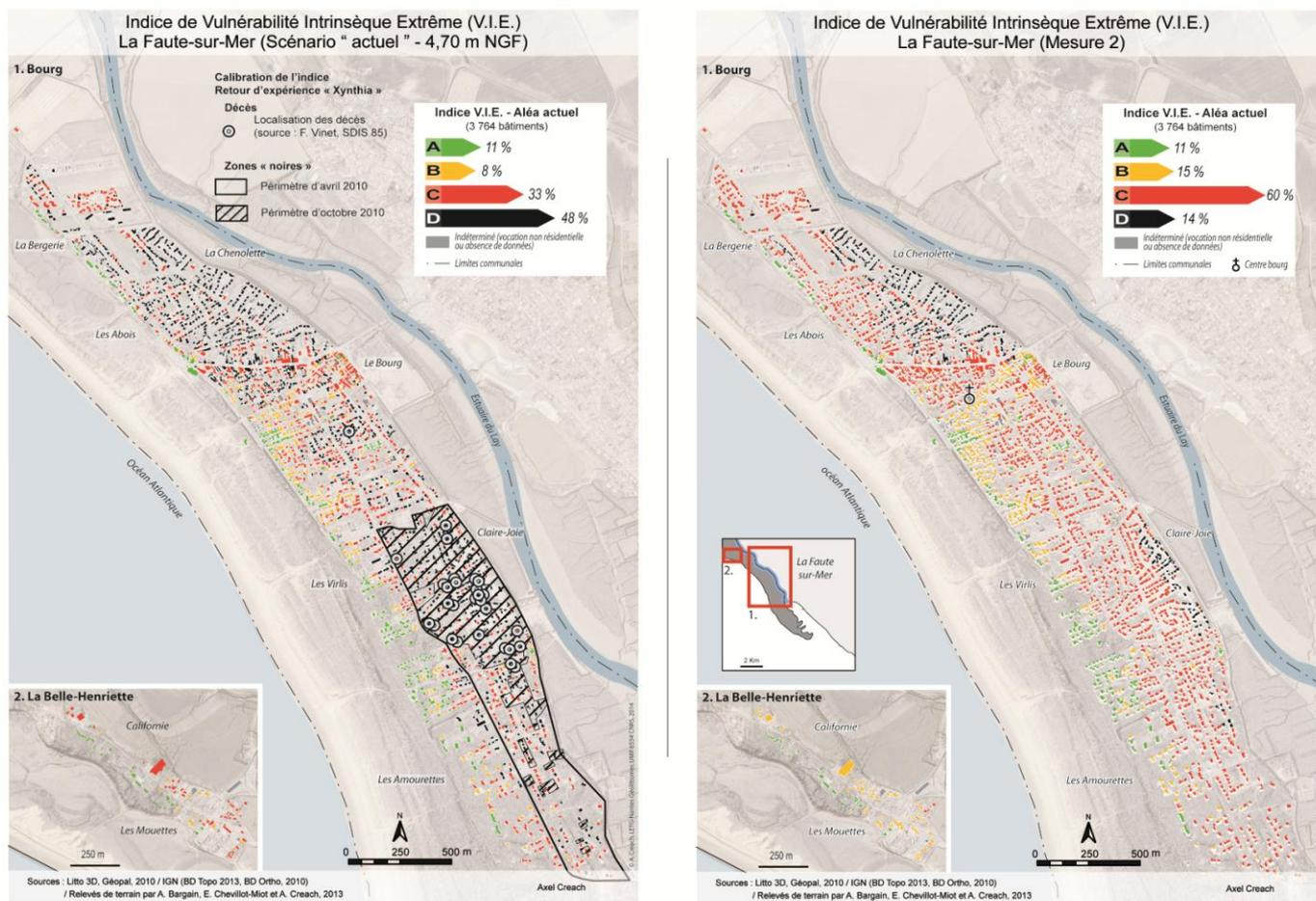


Figure 3 : cartes du diagnostic initial de vulnérabilité des constructions résidentielles (à gauche) et de la vulnérabilité en cas d'adaptation architecturale (à droite) pour la commune de La Faute-sur-Mer (Vendée)

Les étapes de l'indice V.I.E. : données et outils nécessaires

- ✓ Données nécessaires :
 - Géométrie des bâtiments : BD Topo (IGN)
 - Référentiel altimétrique : BD Alti (IGN) ou données LiDAR
 - Cotes d'inondation pour différentes occurrences d'aléa : PPR, TRI
 - Linéaire des ouvrages de protection : BD Topo (IGN)
 - Type architectural des constructions : données terrain ou données MAJIC (DGFIP)
- ✓ Outils et logiciels recommandés :
 - Outil SIG : ArcGIS (ESRI) + extension *Spatial Analyst*
 - Logiciel de mise en page : résultats cartographiques
- ✓ Etape 1 : calculer les hauteurs d'eau potentielles à l'intérieur des constructions
- ✓ Etape 2 : calculer la distance aux ouvrages de protection
- ✓ Etape 3 : caractériser l'architecture des constructions
- ✓ Etape 4 : calculer la distance au zones refuges
- ✓ Etape 5 : calcul de l'indice V.I.E.
- ✓ Etape 6 : classification et cartographie

Pour aller plus loin

- ✓ Cette question de la vulnérabilité des constructions pour leurs occupants a été présentée de manière ludique et pédagogique dans la web-série « Les Eclaireurs Mer & Littoral », dans l'épisode « Recherche maison en bord de mer » : leseclaireurs.coselmar.fr
- ✓ Ce travail fait l'objet d'une diffusion cartographique en ligne afin de rendre les résultats aisément accessibles : coselmar.fr
- ✓ L'ensemble de la méthode et des résultats (y compris cartographiques) sont accessibles en ligne (<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01275600/document>) et font l'objet de publications scientifiques (coselmar.fr/resultats)

Avantages :

- Une démarche simple, à une échelle fine et basée sur des données existantes et donc reproductible.
- Permet l'identification préventive des maisons « pièges ».
- Aide à la décision pour la réduction de la vulnérabilité des occupants.

Inconvénients :

- Les données architecturales sont difficilement accessibles.
- L'outil est non automatisé ce qui nécessite un certain nombre d'opérations manuelles

Références

- [1] Jonkman S. N. et Kelman I., 2005. An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters*. Vol. 29, n°1, p. 75-97.
- [2] Vinet F., Boissier L. et Defossez S., 2011a. 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*. Vol. 11, n°2, p. 1-28.
- [3] Jonkman S. N., Maaskant B., Boyd E. et Levitan M. L., 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: An Official Publication of the Society for Risk Analysis*. Vol. 29, n°5, p. 676-698.
- [4] MEDDE, 2012. *Mieux savoir pour mieux agir : Principaux enseignements de la première évaluation des risques d'inondation sur le territoire français - EPRI 2011*. MEDDE, 72p.
- [5] MEDDE et METL, 2012. *Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant*. MEDDE et METL, 81p.
- [6] Dominey-Howes D., et Papatoma M., 2007. Validating a Tsunami Vulnerability Assessment Model (the PTVA - Model) Using Field Data from the 2004 Indian Ocean Tsunami. *Natural Hazards*. Vol. 40, n°1, p. 113-136.
- [7] Leone F., Lavigne F., Paris R., Denain J.-C. et Vinet F., 2011. A spatial analysis of the December 26th, 2004 tsunami-induced damages: Lessons learned for a better risk assessment integrating buildings vulnerability. *Applied Geography*. Vol. 31, n°1, p. 363-375.
- [8] Di Mauro M., De Bruijn K.M. et Meloni M., 2012. Quantitative methods for estimating flood fatalities: towards the introduction of loss-of-life estimation in the assessment of flood risk. *Natural Hazards*. Vol. 63, n° 2, p. 1083-1113.
- [9] Creach A., Pardo S., Guillotreau P. et Mercier D. 2015. 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*, Vol. 77, n°3, p. 1679-1710.
- [10] Creach A., Bastidas-Arteaga E., Pardo S. et Mercier D., 2016. Comparaison du coût de différentes mesures de protection de la vie humaine face au risque de submersion marine. *Paralia*. Vol. 14 (2016), p. 631-640.
- [11] Jonkman S. N., Vrijling J.K. et Vrouwenvelder A.C.W.M., 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, p. 353-389.
- [12] Pitié C. et Puech P., 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*. CGEDD / MEEDDM, 80p.