



## Niveaux et surcotes extrêmes sur le littoral Atlantique-Manche. Caractérisation des événements marquants de l'automne-hiver 2013-2014

Camille DAUBORD<sup>1</sup>, Virginie GOIRAND<sup>1</sup>, Gaël ANDRÉ<sup>1</sup>, Gwenaële JAN<sup>1</sup>

1. Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM),  
13 rue du Chatellier, CS92803, 29228 Brest, France.  
[camille.daubord@shom.fr](mailto:camille.daubord@shom.fr)

### Résumé :

Le littoral Atlantique-Manche-Mer du Nord a été balayé par une série de tempêtes remarquables durant l'automne-hiver 2013-2014 (CHRISTIAN, GODEHARD, XAVER, DIRK, PETRA sans compter les dépressions sans nom). Les observations de niveau de la mer disponibles au SHOM ont été analysées pour caractériser ces événements. L'analyse des mesures marégraphiques, ainsi que l'exploitation des niveaux extrêmes calculés statistiquement, ont permis d'estimer les périodes de retour des niveaux marins atteints pendant ces événements, sur l'ensemble des côtes. Conjointement, l'analyse des surcotes instantanées, et des surcotes de pleine et basse mer, a permis d'identifier l'extension spatiale et l'impact du passage des dépressions et leurs conséquences en terme de hauteur d'eau observée à la côte. La comparaison de ces événements aux événements de tempête de référence (1850-aujourd'hui) permet de dégager un certain nombre de similarités et de spécificités, et de rapprocher les événements entre eux en tirant profit de l'état de connaissance du passé.

**Mots-clés :** Tempêtes historiques, Niveaux marins statistiques, Surcote, Submersion marine.

### 1. Introduction

Cet automne-hiver 2013-2014, le littoral Atlantique-Manche-Mer du Nord a été traversé par une série de tempêtes remarquables (CHRISTIAN, GODEHARD, XAVER, DIRK, PETRA) engendrant parfois des dégâts considérables. Les mesures de hauteurs d'eau acquises par les marégraphes du Réseau d'Observation du Niveau de la Mer (RONIM) du SHOM ont été analysées afin d'identifier ces événements de tempêtes.

Parmi les différentes méthodes de calculs de niveaux extrêmes existantes (PINEAU GUILLOU *et al.*, 2010; SIMON, 2008 ; KERGADALLAN, 2013), la méthode utilisée pour cette étude est basée sur la loi statistique de Gumble appliquée aux surcotes de pleine mer et de hauteur de marée prédite (SIMON, 1994). La période de retour des niveaux marins extrêmes, résultat de ce calcul statistique, est un critère d'évaluation du caractère exceptionnel d'un niveau de hauteur de mer en fournissant une probabilité liée à l'observation d'une hauteur d'eau supérieure à une valeur donnée. En complément,

## Thème 7 – Risques côtiers

l'analyse des surcotes instantanées et des surcotes de pleine et basse mer permet d'identifier l'extension spatiale et l'impact du passage des dépressions et leurs conséquences en terme de hauteur d'eau observée à la côte. Les résultats de l'étude sont présentés pour le littoral Atlantique et Manche soumis aux 7 tempêtes étudiées.

Afin d'enrichir l'étude, une recherche d'évènements analogues en termes de marée parmi les tempêtes passées et répertoriées permet de compléter la caractérisation des évènements de l'hiver 2013-2014. La recherche des similitudes porte sur les critères de hauteur d'eau maximum, de surcotes maximales, de périodes de retour statistiques et de coefficients de marée.

### 2. Tempêtes récentes

Les mesures de hauteurs d'eau des marégraphes du Réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM) du SHOM en Mer du Nord, Manche et Atlantique ont été analysées pour chaque évènement référencé dans le tableau 1. Les marégraphes radars fournissent une donnée toutes les minutes. Ces données sont mises à disposition sur le portail REFMAR (site web <http://refmar.shom.fr/>).

Tableau 1. Récapitulatif des évènements étudiés.

	Nom de la tempête						
	CHRISTIAN	GODEHART	XAVER	DIRK	SANSNOMI	PETRA	QUMAIRA
Date	26/10/2013 - 29/10/2013	03/11/2013 - 06/11/2013	05/12/2013 - 08/12/2013	23/12/2013 - 27/12/2013	31/01/2014 - 03/02/2014	04/02/2014 - 05/02/2014	06/02/2014 - 07/02/2014
Informations relatives aux marées	Marées de morte eau	Marée de vive eau moyenne	Marée de vive eau	Marée moyenne à	Marées de vive eau équinoxiale	Marée moyenne à	Marées de morte eau
		à marée de vive eau équinoxiale moyenne	équinoxiale marée moyenne	marée morte eau	équinoxiale	marée de vive eau moyenne	
Coefficient de marée à Brest	31-40	93-101	72-102	43-61	101-114	71-94	42-63
Cmin-Cmax							

Toutefois dans cette étude, la mesure à 10 minutes est utilisée car il s'agit des données à plus haute résolution temporelle validées par le SHOM. D'autre part, les statistiques de référence de niveaux marins extrêmes (SHOM, 2012) ont été établies sur des analyses de données au pas de temps horaire. Il est ainsi souhaitable de se rapprocher de ces conditions afin de pouvoir établir des comparaisons entre hauteurs observées et hauteurs statistiques. Les hauteurs à 10 minutes sont donc le meilleur compromis entre précision sur les hauteurs maximales réellement atteintes et possibilité de comparaison sans trop de biais avec les statistiques.

Pour chaque évènement, les hauteurs d'eau maximales, les surcotes de pleine mer (PM) et de basse mer (BM) maximales, ainsi que les surcotes instantanées maximales ont été

relevées au niveau de tous les observatoires disponibles. Les hauteurs d'eau maximales ont ensuite été comparées aux niveaux de plus haute mer astronomique (PHMA) et/ou aux statistiques de niveaux marins extrêmes de référence (SHOM, 2012), (H<sub>k</sub>, niveau de période de retour k ans). Par exemple, le niveau de période de retour de 10 ans représente le seuil de hauteur d'eau qui est égalé ou dépassé lorsqu'un évènement se produit potentiellement tous les 10 ans.

Enfin, les évènements marquants en termes de hauteurs d'eau atteintes ont été rapprochés d'évènements analogues du passé, en exploitant les résultats intermédiaires du projet NIVEXT (projet DGPR/SHOM).

### 3. Analyse et impact de ces tempêtes à la côte

Parmi les 7 tempêtes étudiées, 4 ont eu un impact significatif en terme de hauteur maximale (tableau 2) ou de valeur de surcote (tableau 3) enregistrées aux ports.

*Tableau 2. Caractéristiques des hauteurs maximales enregistrées au niveau des différents observatoires pour l'ensemble des évènements étudiés. PHMA plus haute mer astronomique. H<sub>x</sub> : Hauteur associée à une période de retour de x ans.*

EVENEMENTS DE TEMPETES							
	CHRISTIAN	GODEHART	XAVIER	DIRK	SANSNOMI	PETRA	QUMAJRA
PORTS	26/10/2013 - 29/10/2013	03/11/2013 - 06/11/2013	05/12/2013 - 08/12/2013	23/12/2013 - 27/12/2013	31/01/2014 - 03/02/2014	04/02/2014 - 05/02/2014	06/02/2014 - 07/02/2014
DUNKERQUE	H<PHMA	PHMA<H<H5	H>H100	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA
CALAIS	H<PHMA	H10<H<H20	H>H100	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA
BOULOGNE S/M	H<PHMA	PHMA<H<H5	H10<H<H20	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA
DIEPPE	H<PHMA	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA
LE HAVRE	H<PHMA	H10<H<H20	PHMA<H<H5	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA
CHERBOURG	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA
ST MALO	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA
ROSCOFF	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA
LE CONQUET	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H10<H<H20	H<PHMA	H<PHMA
BREST	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H5<H<H10	H<PHMA	H<PHMA
CONCARNEAU	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H5<H<H10	H<PHMA	H<PHMA
PORT TUDY	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA
LE CROUESTY	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA
ST NAZAIRE	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA
SABL OLONNE	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA	H5<H<H10	H<PHMA	H<PHMA
LA ROCHELLE	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA
ILE D'AIX	H<PHMA	H>PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H>PHMA	H<PHMA	H<PHMA
PORT BLOC	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA	H5<H<H10	H<PHMA	H<PHMA
ARCACHON	/	/	/	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA
BAYONNE	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA	H20<H<H50	H<PHMA	H<PHMA
ST JEAN DE LUZ	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	H<PHMA	PHMA<H<H5	H<PHMA	H<PHMA

## Thème 7 – Risques côtiers

Par exemple, pour les surcotes :

- CHRISTIAN : enregistrement systématique de maxima de surcotes très élevées (0.9 m à 1.6 m) sur une zone concentrée entre St Malo et Dunkerque ;
- GODEHART : enregistrement de maxima élevés en Manche orientale ;
- XAVER : enregistrement de maxima élevés voire exceptionnels (Dunkerque, Calais) sur une zone concentrée entre Le Havre et Dunkerque ;
- QUMAIRA : enregistrement de maxima élevés en Manche orientale et Loire-Atlantique/Vendée/Charentes maritime.

Tableau 3. Maxima de surcotes instantanées enregistrées aux différents observatoires pour l'ensemble des événements étudiés (les valeurs négatives dans le tableau correspondent à des décotes. La tempête XAVER ayant plutôt affecté le Nord de la France, pour une partie des autres ports les prédictions sont restées supérieures aux observations).

PORTS	EVENEMENTS DE TEMPETES						
	CHRISTIAN	GODEHART	XAVER	DIRK	SANSNOMI	PETRA	QUMAIRA
	26/10/2013 - 29/10/2013	03/11/2013 - 06/11/2013	05/12/2013 - 08/12/2013	23/12/2013 - 27/12/2013	31/01/2014 - 03/02/2014	04/02/2014 - 05/02/2014	06/02/2014 - 07/02/2014
DUNKERQUE	1.13	0.99	2.35	0.79	0.47	0.47	1.04
CALAIS	0.91	1.29	1.87	0.74	0.74	0.70	0.88
BOULOGNE S/M	1.43	1.02	1.05	0.88	0.87	0.98	1.22
DIEPPE	1.56	0.86	0.78	0.91	0.72	0.93	1.10
LE HAVRE	1.41	0.89	1.02	0.69	0.63	0.77	1.46
CHERBOURG	0.88	0.53	0.44	0.65	0.46	0.90	0.59
ST MALO	1.04	0.65	0.34	0.87	0.79	0.81	0.95
ROSCOFF	0.67	0.40	-0.03	0.69	0.44	0.75	0.63
LE CONQUET	0.65	0.43	-0.08	0.81	0.43	0.77	0.67
BREST	0.74	0.33	-0.09	0.90	0.48	0.84	0.69
CONCARNEAU	0.64	0.53	-0.13	0.82	0.39	0.76	0.67
PORT TUDY	0.55	0.40	-0.16	0.81	0.37	0.73	0.72
LE CROUESTY	0.77	0.57	-0.12	0.96	0.51	0.99	0.98
ST NAZAIRE	0.99	0.96	0.04	1.12	0.68	1.06	1.23
SABL. OLONNE	0.58	0.64	-0.03	0.76	0.63	0.92	1.02
LA ROCHELLE	0.46	0.73	-0.08	0.75	0.54	0.77	1.04
ILE D'AIX	0.53	0.88	0.05	0.86	0.43	0.79	0.99
PORT BLOC	0.50	0.65	0.00	0.63	0.46	0.91	0.83
ARCACHON	/	/	/	0.84	0.41	0.97	0.78
BAYONNE	0.41	0.65	0.42	0.55	0.67	0.60	0.49
ST JEAN DE LUZ	0.28	0.38	-0.07	0.44	0.22	0.32	0.36

#### 4. Focus sur la tempête XAVER

Les résultats sont présentés ci-après en détail pour la tempête XAVER (figure 1). Le passage de la dépression, au nord des îles britanniques, a affecté le littoral de la Manche orientale et de la Mer du Nord, du Havre à Dunkerque. Des pics de surcote notables (0.78 m à 1.05 m) sont observables du Havre à Boulogne-sur-Mer, entre le 05/12/2013 au soir et le 06/12/2013 au matin, et des valeurs maximales exceptionnelles enregistrées à Calais (1.87 m) et Dunkerque (2.35 m). Cette période correspondant à des marées de vives eaux (coefficient de marée supérieur à 100), les hauteurs maximales atteintes à Calais et Dunkerque sont également exceptionnelles, supérieures aux niveaux statistiques de période de retour 100 ans.

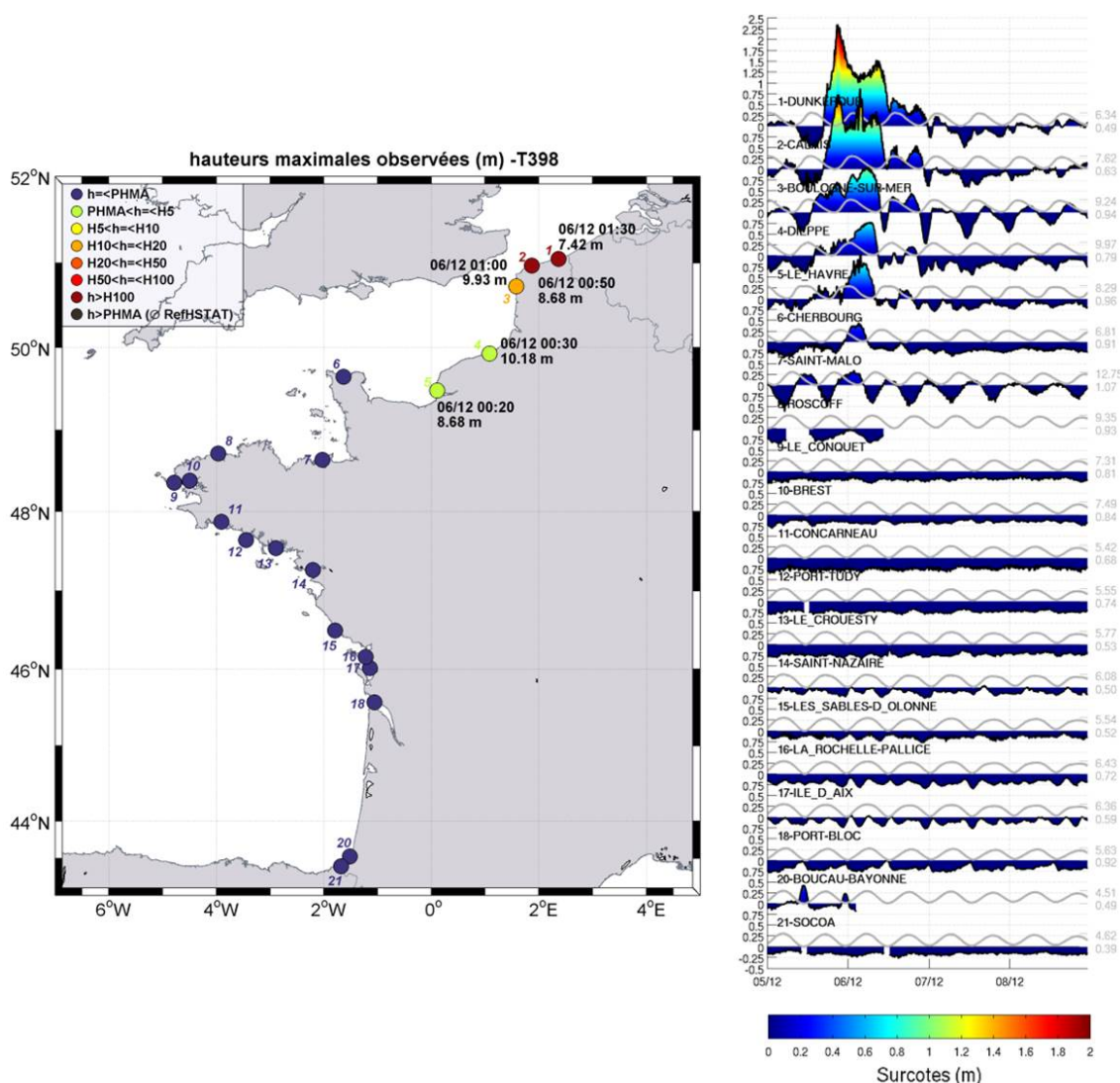


Figure 1. Hauteurs maximales observées (à gauche) et surcotes instantanées (à droite) pendant la tempête XAVER.

## Thème 7 – Risques côtiers

Il s'agit des plus fortes hauteurs mesurées depuis la mise en place des observatoires (respectivement 45 et 36 années de mesures effectives à Dunkerque depuis 1956 et Calais depuis 1941). Elles sont supérieures de 0.12 m et 0.42 m aux maxima respectivement relevés jusqu'alors à Dunkerque (12/01/1978) et à Calais (04/11/2013, GODEHART) : avant la tempête XAVER, les 5 plus fortes hauteurs mesurées à Dunkerque étaient : 7.30 m (12/01/1978), 7.29 m (02/02/1983), 7.11 m (14/12/1973), 7.06 m (10/12/1965), 6.98 m (03/01/1976) et les 5 plus fortes hauteurs mesurées à Calais étaient : 8.24 m (04/11/2013), 8.21 m (10/12/1965), 8.19 m (12/01/1978), 8.13 m (02/02/1983), 8.12 m (14/11/1993). Cet évènement peut être considéré comme un nouvel évènement de référence pour le littoral de la zone et notamment pour les observatoires de Dunkerque et Calais.

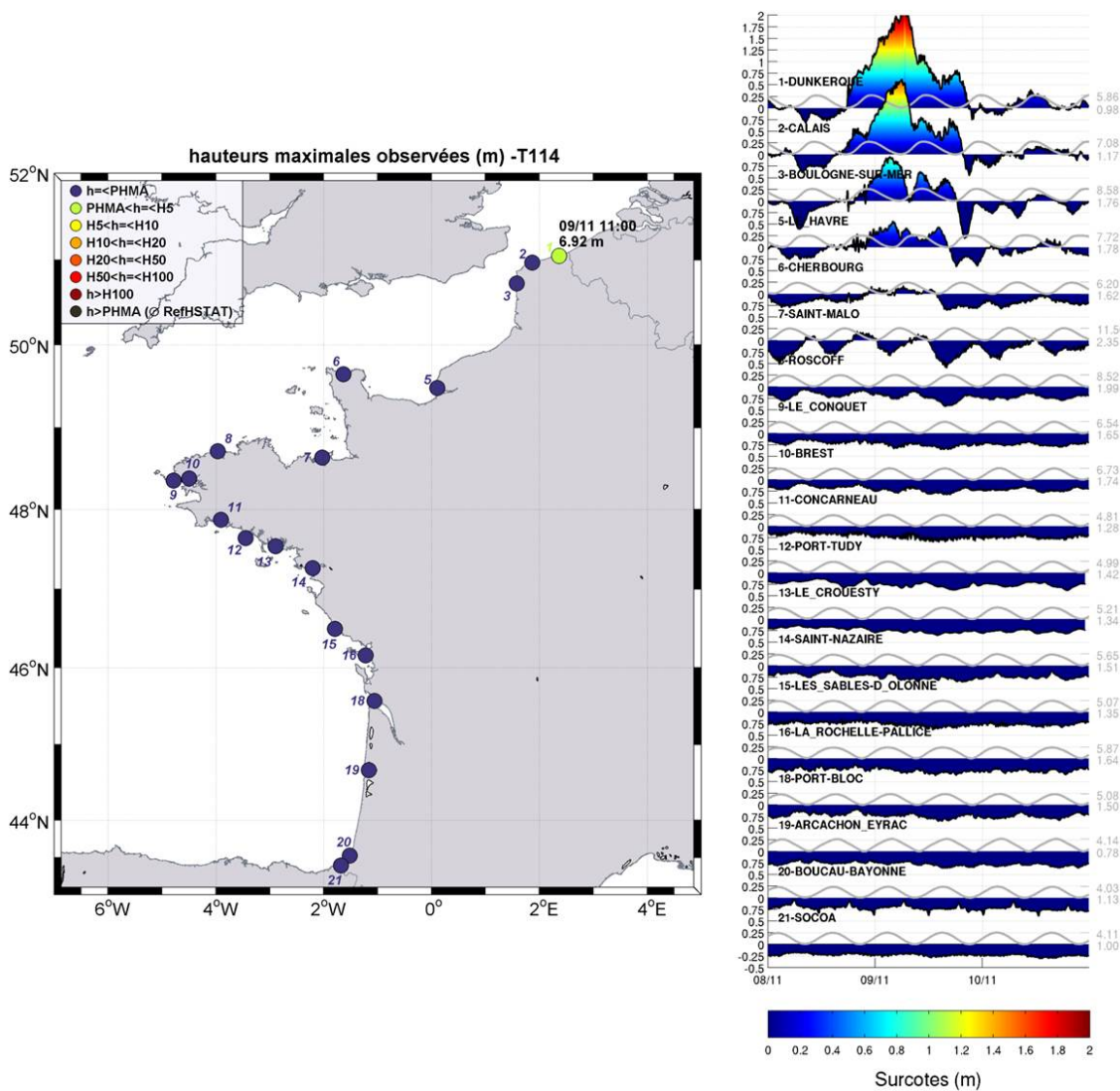


Figure 2. Hauteurs maximales observées (à gauche) et surcotes instantanées (à droite) pendant la tempête du 09/11/2007 (à rapprocher de XAVER).

En terme de hauteurs atteintes, l'évènement du passé le plus ressemblant est l'évènement du 9 novembre 2007 où les maxima de surcote atteints avaient été inférieurs mais comparables (2.20 m à Dunkerque et 1.60 m à Calais). En phase avec la marée basse et dans une période de coefficients de marée moyens (77), ces pics de surcote n'avaient alors pas généré de hauteurs particulièrement remarquables. La tempête du 9 novembre 2007 a été analysée par les mêmes outils statistiques. Les résultats sont présentés sur la figure 2.

## **5. Conclusion**

L'intensité des sept évènements de tempête entre octobre 2013 et début février 2014 a été caractérisée et des périodes de retour ont pu être indiquées pour chaque observation portuaire de hauteur d'eau et pour chaque évènement. Les évènements ont pu être comparés entre eux et avec des tempêtes de référence, permettant de dégager les situations les plus exceptionnelles en terme de hauteurs atteintes (GODEHART, XAVER, dépression du 1-2 février) ou d'intensité de pics de surcote (CHRISTIAN, GODEHART, XAVER, QUMAIRA). Les hauteurs remarquables observées sur le littoral ne sont pas toujours liées à des pics de surcote importants (XAVER) ou à la concomitance des maxima de surcote avec l'instant de pleine mer (GODEHART). Elles sont cependant systématiquement liées à une marée de vive-eau qui permet, même à de faibles surélévations de la mer provoquées par le passage des dépressions, de produire des hauteurs remarquables (dépression du 1-2 février 2014).

Tous ces résultats ne peuvent pas être directement mis en relation avec les dégâts constatés à la côte, pour plusieurs raisons. D'une part, la houle générée lors de ces dépressions successives a été très forte et les observations marégraphiques ne prennent pas en compte la surcote liée au déferlement des vagues. En effet, les observatoires se situent dans des ports, à des emplacements souvent abrités, et la mesure se fait dans un puits/tube de tranquillisation qui filtre les effets de clapot et de houle. D'autre part, les dégâts à la côte peuvent être provoqués par d'autres processus que la submersion par débordement, où la houle a un rôle très important (submersion par franchissements discontinus). Les dégâts sont également dépendants de la configuration du littoral, et de son état de fragilisation. Dans certaines zones littorales également sous influence fluviale, le contexte de crue des cours d'eau est un facteur aggravant.

## **6. Remerciements**

L'équipe-projet remercie la DGPR qui finance le projet NIVEXT.

## **7. Références**

- CARIOLET J.M., COSTA S., CASPAR R., ARDHUIN F., MAGNE R., GOASGUEN G. (2010). *Aspects météo-marins de la tempête du 10 mars 2008 en Atlantique et en Manche*. Norois, n° 215, pp 11-31. <http://dx.doi.org/10.4000/norois.3242>
- KERGADALLAN X. (2013). *Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes – Environnements maritime et estuarien*. Rapport CETMEF, 180 p. Disponible en ligne sur <http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/analyse-statistique-des-niveaux-d-a1096.html>
- PEDREROS P., GARCIN M., KREIN Y., MONTFORT CLIMENT D., MUGICA J., FRANCOIS B. (2010). *Tempête Xynthia : compte-rendu de mission préliminaire*. Rapport BRGM/RP-58261-FR. Disponible en ligne sur <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-58261-FR.pdf>
- PINEAU-GUILLOU L., LATHUILIERE C., MAGNE R., LOUAZEL S., CORMAN D., PERHERIN C. (2010). *Caractérisation des niveaux marins et modélisation des surcotes pendant la tempête Xynthia*. XI<sup>èmes</sup> Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, pp. 625-634. <http://dx.doi.org/10.5150/jngcgc.2010.073-P>
- SHOM (2012). *Guide du SHOM Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France, Manche Atlantique*. Edition 2012.
- SIMON B. (1994). *Statistique des niveaux marins extrêmes le long des côtes de France*. Rapport d'étude SHOM.
- SIMON B. (2008). *Les niveaux marins extrêmes le long des côtes de France et leur évolution*. CD-Rom, Produit commun SHOM-CETMEF.