



Science et Société

Pour l'adaptation des territoires
aux changements climatiques

Bordeaux, 21-24 juin 2017



Changement climatique, élévation du niveau marin et submersions marines

Eric Chaumillon

Professeur en Géologie marine

UMR CNRS 7266 LIENSs

Université de La Rochelle





Contents lists available at ScienceDirect

Earth-Science Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/earscirev



Invited review

Storm-induced marine flooding: Lessons from a multidisciplinary approach



Eric Chaumillon ^{a,*}, Xavier Bertin ^a, André B. Fortunato ^b, Marco Bajo ^c, Jean-Luc Schneider ^d, Laurent Dezileau ^e, John Patrick Walsh ^f, Agnès Michelot ^g, Etienne Chauveau ^h, Axel Créach ^h, Alain Hénaff ⁱ, Thierry Sauzeau ^j, Benoit Waeles ^k, Bruno Gervais ^l, Gwenaële Jan ^m, Juliette Baumann ^a, Jean-François Breilh ⁿ, Rodrigo Pedreros ^o

Bertin, X., Bruneau, N., Breilh, J.F., Fortunato, A.B., Karpytchev, M., 2012. Importance of wave age and resonance in storm surges: the case Xynthia, Bay of Biscay. *Ocean Model* 42, 16–30.

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

Breilh, J.-F., Chaumillon, E., Bertin, X., Gravelle, M., 2013. Assessment of static flood modeling techniques: application to contrasting marshes flooded during Xynthia (western France). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 1595–1612.

Breilh, J.-F., Bertin, X., Chaumillon, E., Giloy, N., Sauzeau, T., 2014. How frequent is storm-induced flooding in the central part of the Bay of Biscay? *Glob. Planet. Chang.* 122, 161–175.

Introduction : Les niveaux marins

- * Long terme / Global = Eustatique

Depuis 6500 ans : + 1 mm/an
(France)

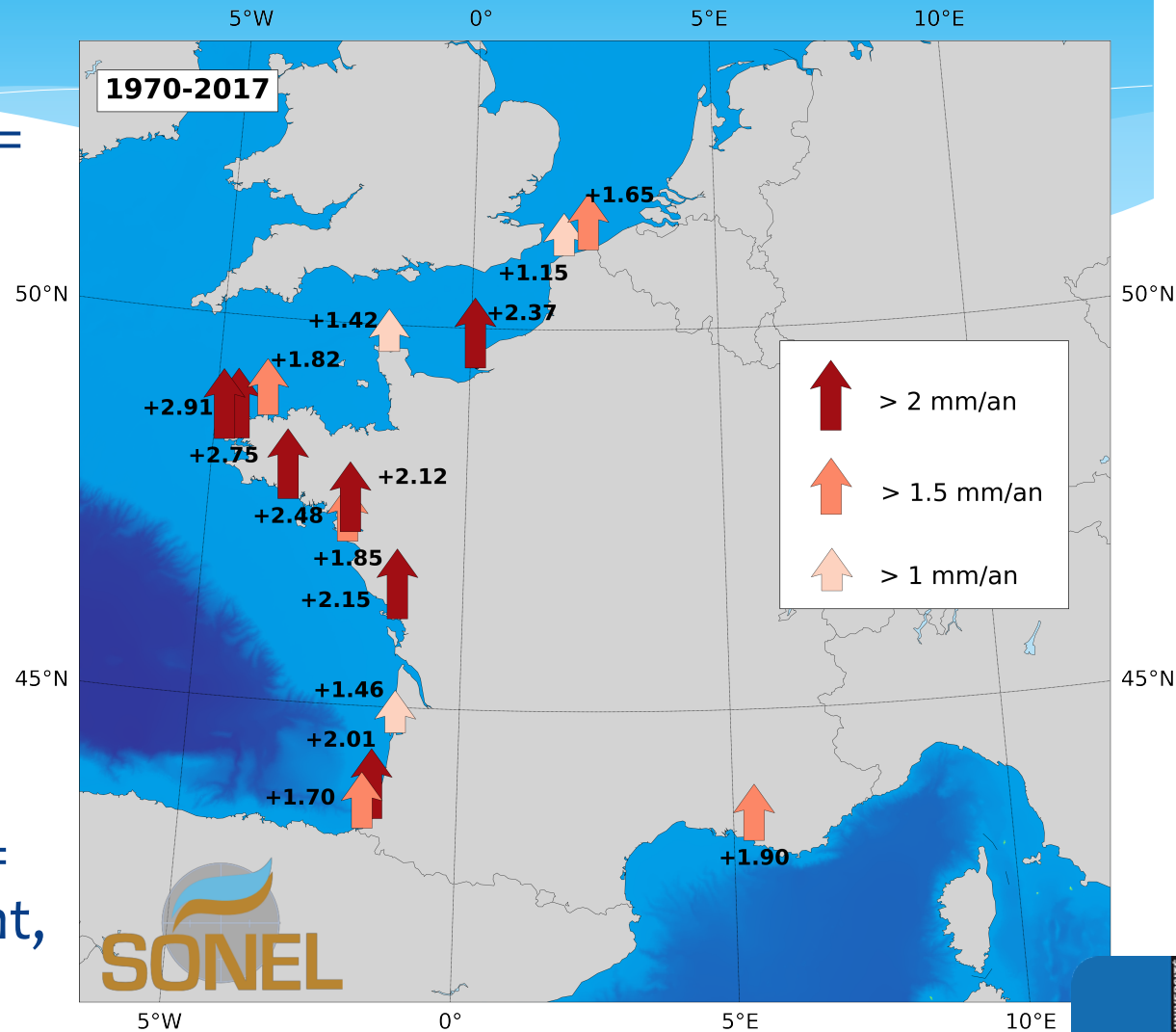
1901-2010 : 1.7 mm/an

1971-2010 : 2.0 mm/an

1993-2010 : 3.2 mm/an.

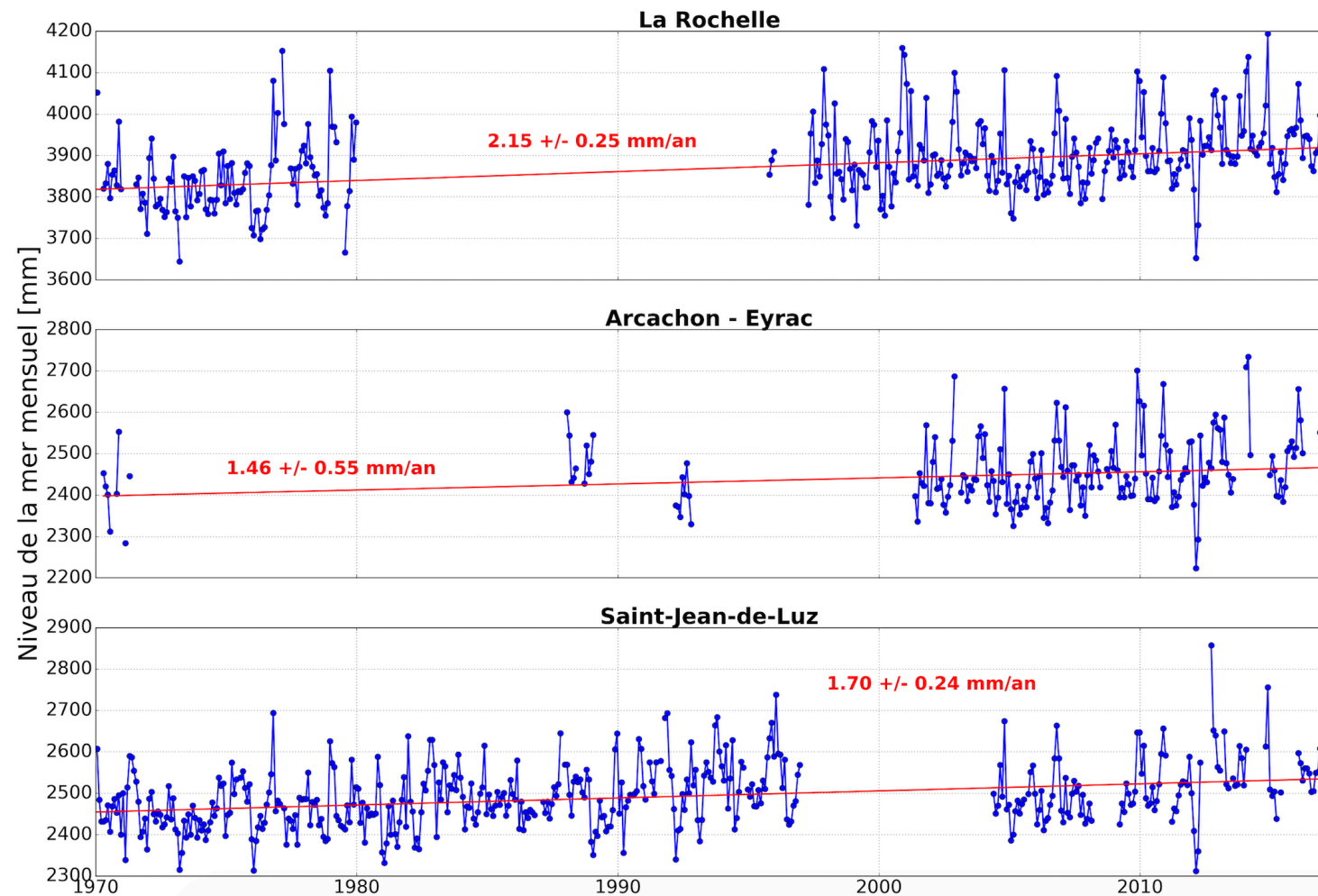
Prévisions pour 2081-2100
(par rapport à 1986-2005) =
+0,26 à +0,98 m.

- * Court terme / Local =
Marée, Pression, Vent,
Vagues

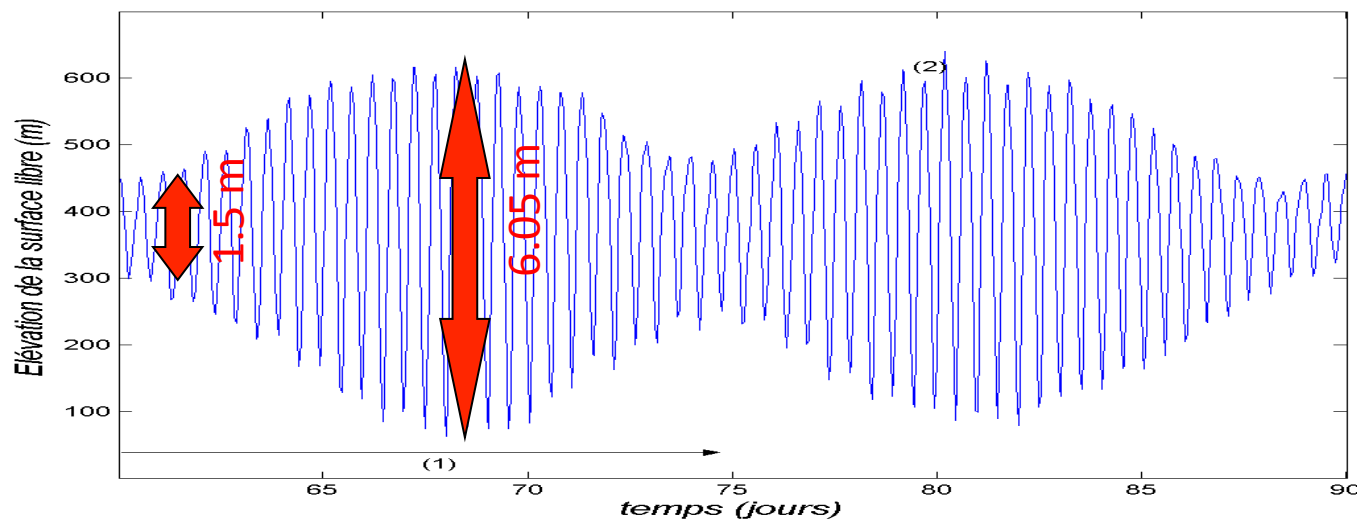


Marégraphie – Géodésie

Critère qualité 70% de données sur la période de calcul -> pas de tendance pour LR et Arcachon



Les grandes vive eaux : quelques jours /an



2 VE/28j, 1GVE/28j, 3% d'une année

Marée Haute de VE



Niveau moyen de la mer

Samedi 21 Mars 2015 5h14 (118) : 6.80 m CM $\Leftrightarrow$ 6,80 – 3,5 = 3,3 m NGF

Xynthia (102) : 3 m NGF

Martin (77) : 1,9 m NGF

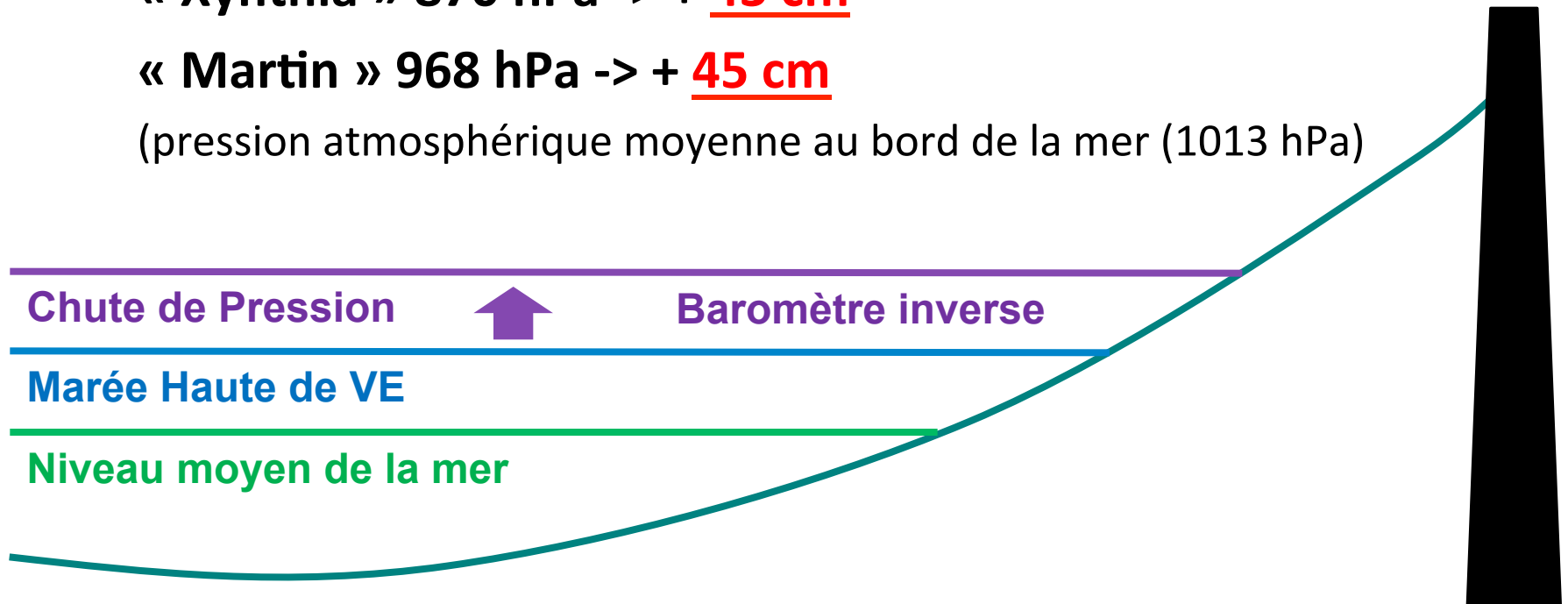
Le plus connu : Baromètre inverse

Une chute de 1 hPa = élévation du plan d'eau de 1 cm

« Xynthia » 870 hPa -> + 43 cm

« Martin » 968 hPa -> + 45 cm

(pression atmosphérique moyenne au bord de la mer (1013 hPa))



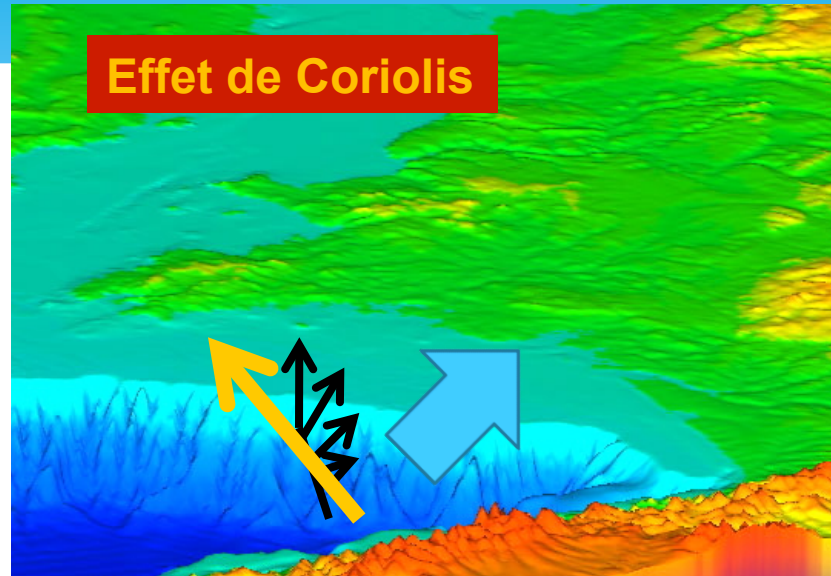
Le plus efficace : Wind Setup

Contrainte liée au vent

Inversement

proportionnelle à la
profondeur d'eau

Zones peu profondes
extensives : plus
vulnérables



Chute de Pression

Marée Haute de VE

Niveau moyen de la mer

Difficile à quantifier car dépend:

- de sa vitesse
- de sa durée
- du fetch
- de la profondeur d'eau
- de la rugosité du plan d'eau

Le vent – Echelle de Saffir-Simpson

- * Cat. 1 – 119 - 153 km/h
- * Cat. 2 – 154 - 177 km/h – Isabel (2003), Sandy (2012), Xynthia (en France)
- * Cat. 3 – 178 – 208 km/h – Martin (1999)
- * Cat. 4 – 209 – 251 km/h
- * Cat. 5 – > 252 km/h – Katrina (2005)

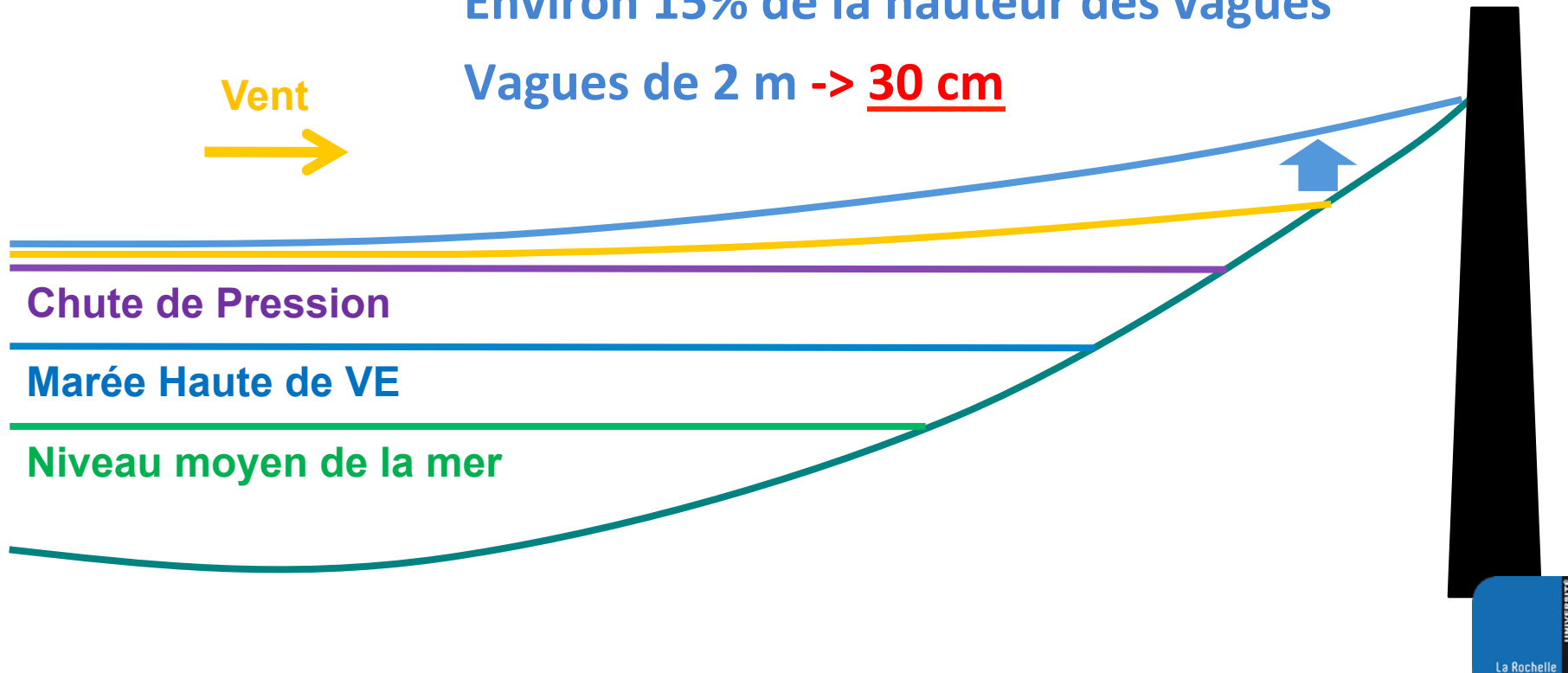
Le moins connu : Wave Runup

$$\text{RUNUP} = \text{SETUP} + \text{SWASH}$$

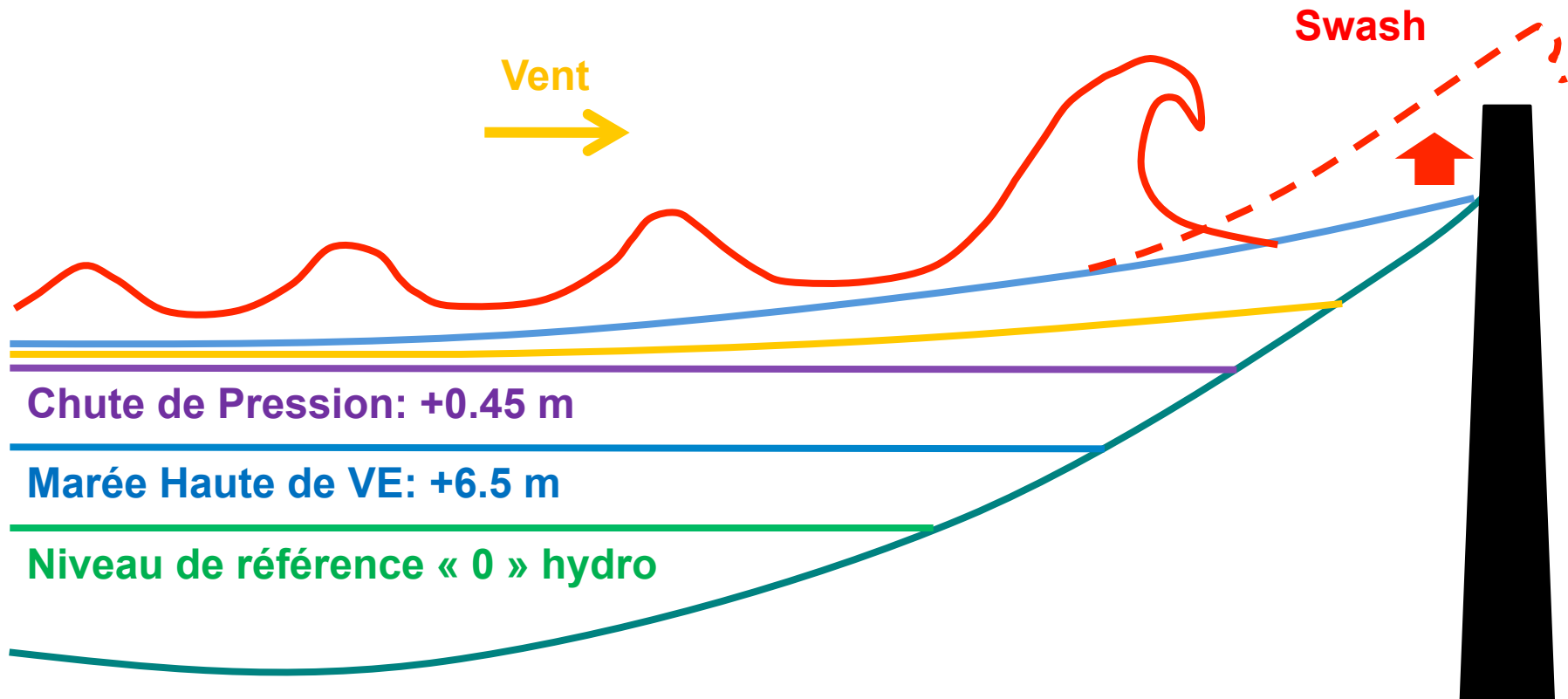
SETUP = Élévation liée au déferlement
des vagues

Environ 15% de la hauteur des vagues

Vagues de 2 m -> 30 cm



RUNUP = SETUP + SWASH



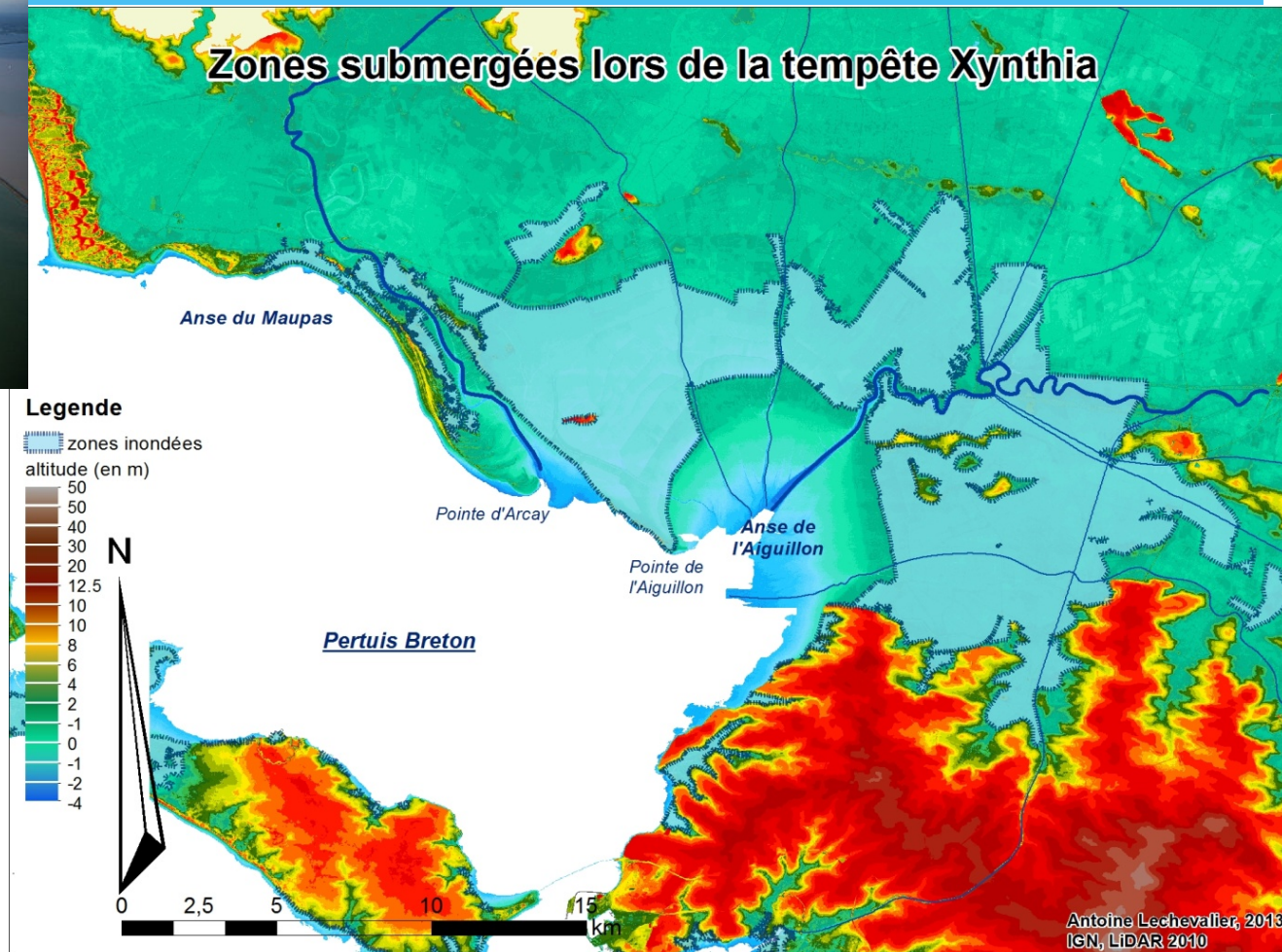
Xynthia (28 février 2010)

41 décès par noyade suite à la submersion des zones basses



La Faute-sur-Mer et L'Aiguillon-sur-Mer, 03/03/2010

Géomorphologie extension de la submersion pendant Xynthia

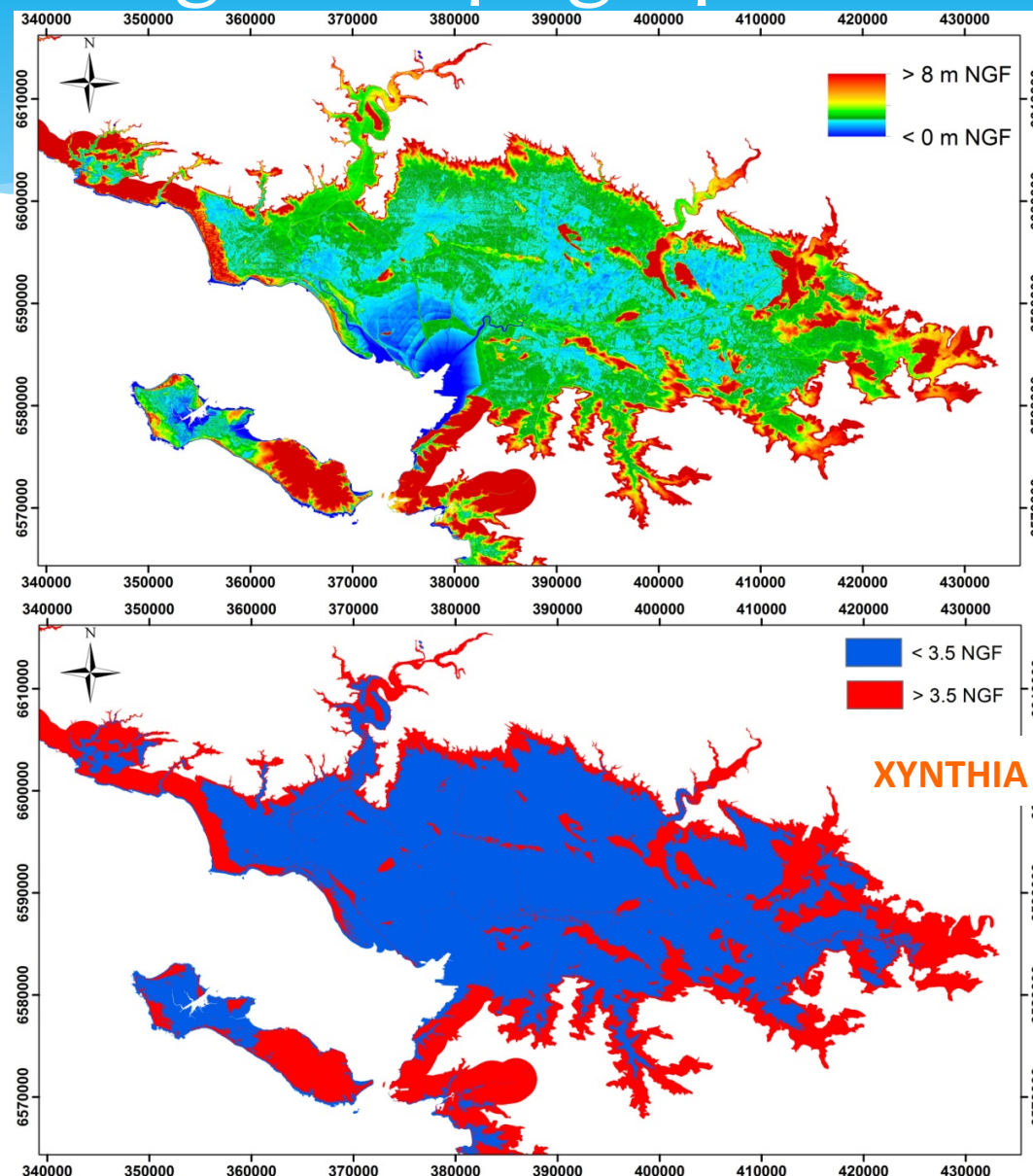


A. Lechevallier,
Intechmer,
UMR CNRS 7266
LIENSs,
Sous la direction
d' E. Chaumillon

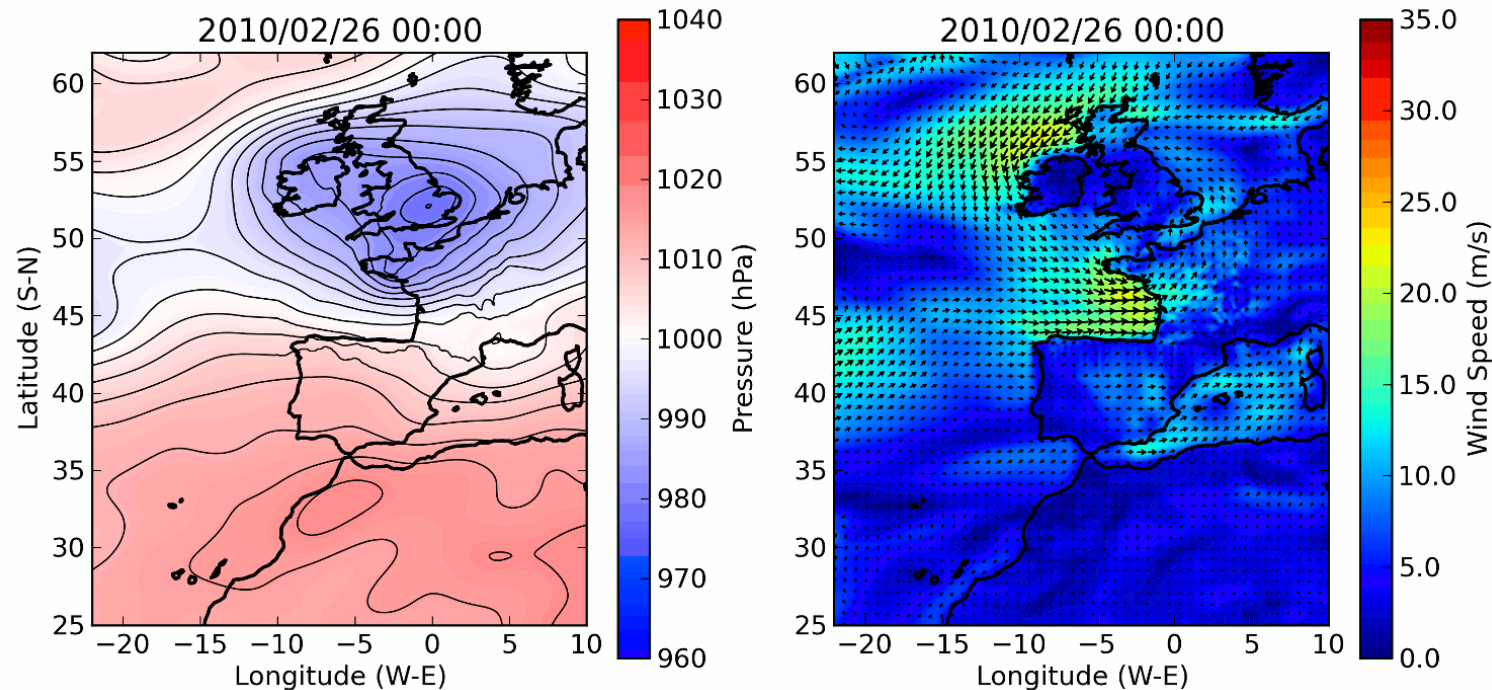
Géomorphologie – Topographie Lidar

Pourquoi de
telles surfaces
inondées?

**Charente-
Maritime = 50%
d'une bande
côtière de 10 km
sous les plus
hautes eaux
marines**



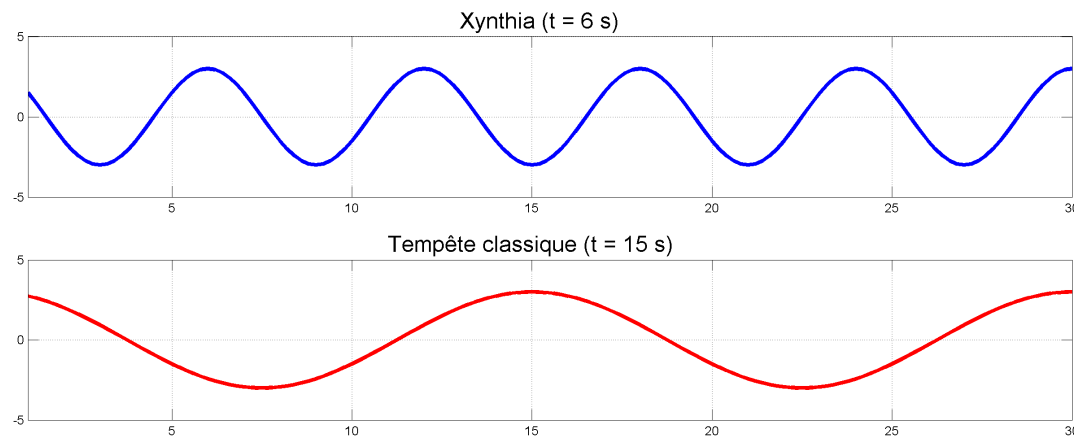
Océanographie - Importance des vagues dans le wind setup



- La prise

- Les vagues très courtes ($H_s = 7\text{m}/T_p = 7\text{-}10\text{ s}$) pendant Xynthia augmentent fortement la rugosité de l'Océan

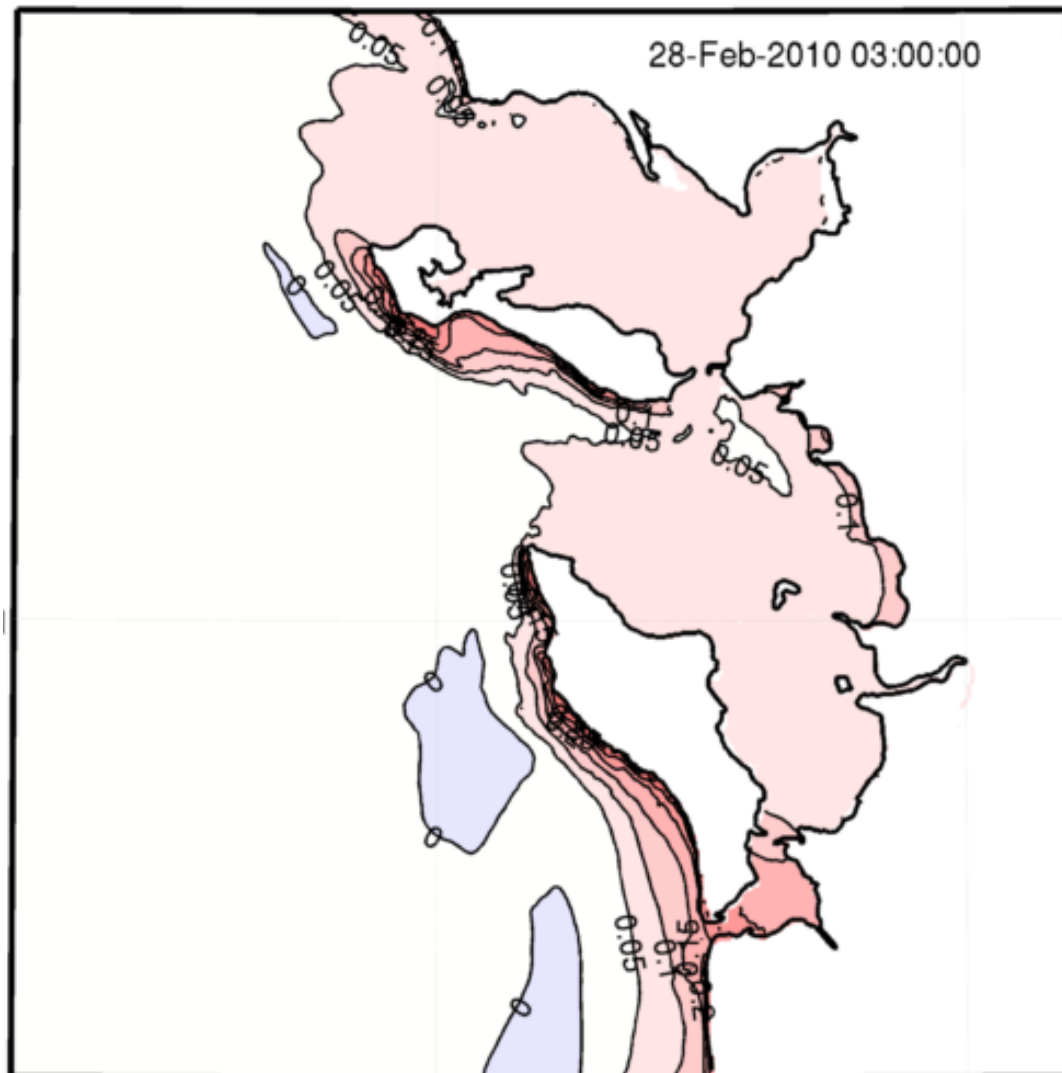
- Cet état de mer t



Bertin, X.,
Bruneau, N.,
Breilh, J.F.,
Fortunato, A.B.,
Karpytchev, M.,
2012. Ocean
Model. 42, 16–30.

Océanographie - Importance du wave setup

Différence
entre une
simulation
avec et sans
setup des
vagues



Histoire – 1 submersion marine / 11 ans

- Archives Départementale (ADCM)
- Presse locale
- Photographies ou cartes postales
- Ouvrages



Carte Postale, com. pers. SURVILLE



N	Date	N	Date
1	10/08/1518	24	20/02/1879
2	01/01/1525	25	27/10/1882
3	22/08/1537	26	06/03/1885
4	01/04/1579	27	23/01/1890
5	24/02/1591	28	11/02/1895
6	04/10/1591	29	06/12/1896
7	31/12/1598	30	09/01/1924
8	13/01/1645	31	16/03/1930
9	29/01/1645	32	30/10/1932
10	07/12/1682	33	23/02/1935
11	15/01/1699	34	02/03/1935
12	10/12/1711	35	14/03/1937
13	01/07/1738	36	16/11/1940
14	22/02/1788	37	16/02/1941
15	24/01/1791	38	15/02/1957
16	09/11/1798	39	12/11/1957
17	18/11/1808	40	04/04/1962
18	26/02/1811	41	06/02/1974
19	22/10/1820	42	24/10/1980
20	22/10/1822	43	23/12/1995
21	25/02/1838	44	08/02/1996
22	01/01/1860	45	27/12/1999
23	29/01/1869	46	28/02/2010

➔ 46 submersions marines
entre 1500 et 2010



Sud Ouest, 16 Février 1957

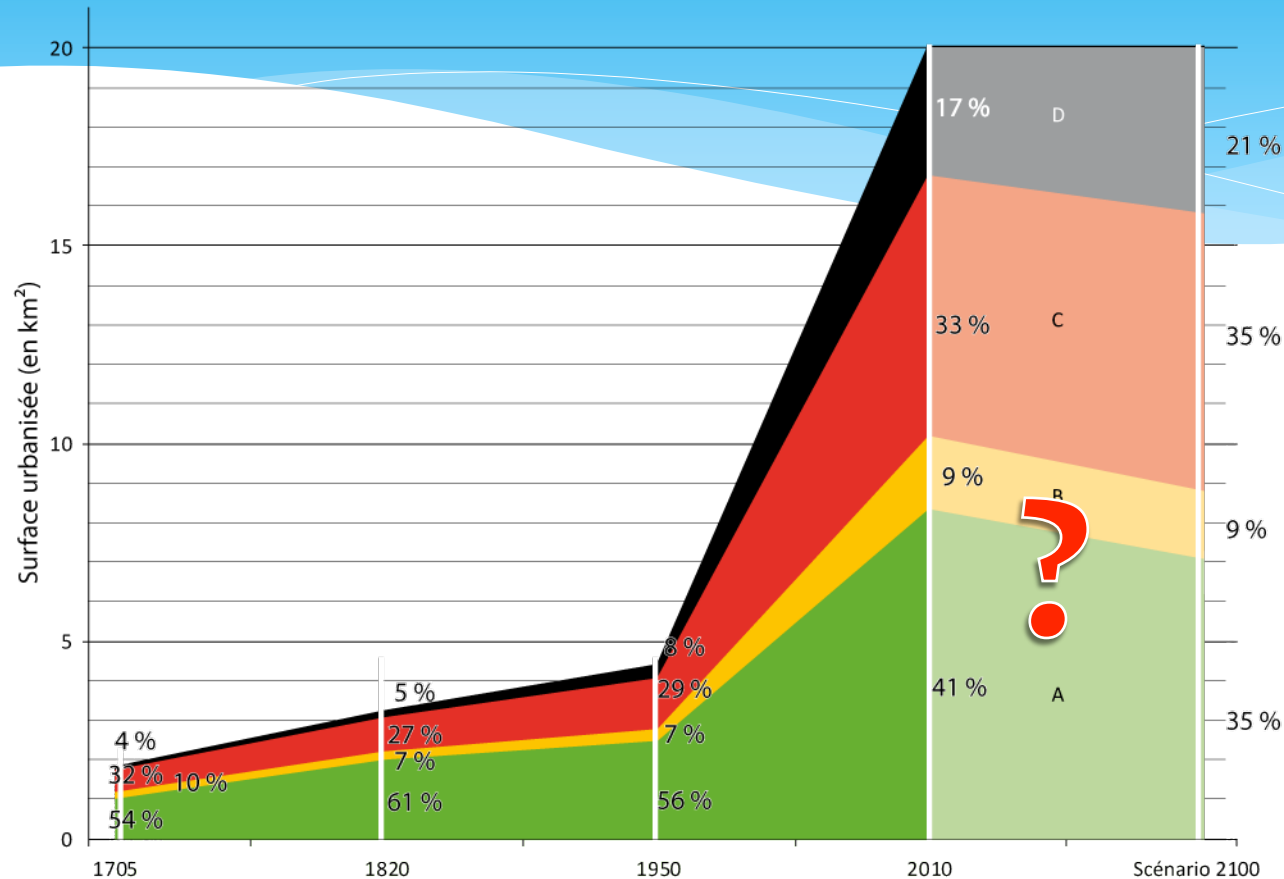


Paramètres



Géographie - Analyse diachronique des résultats

Evolution de la vulnérabilité entre 1705 et 2010



Axel CREACH

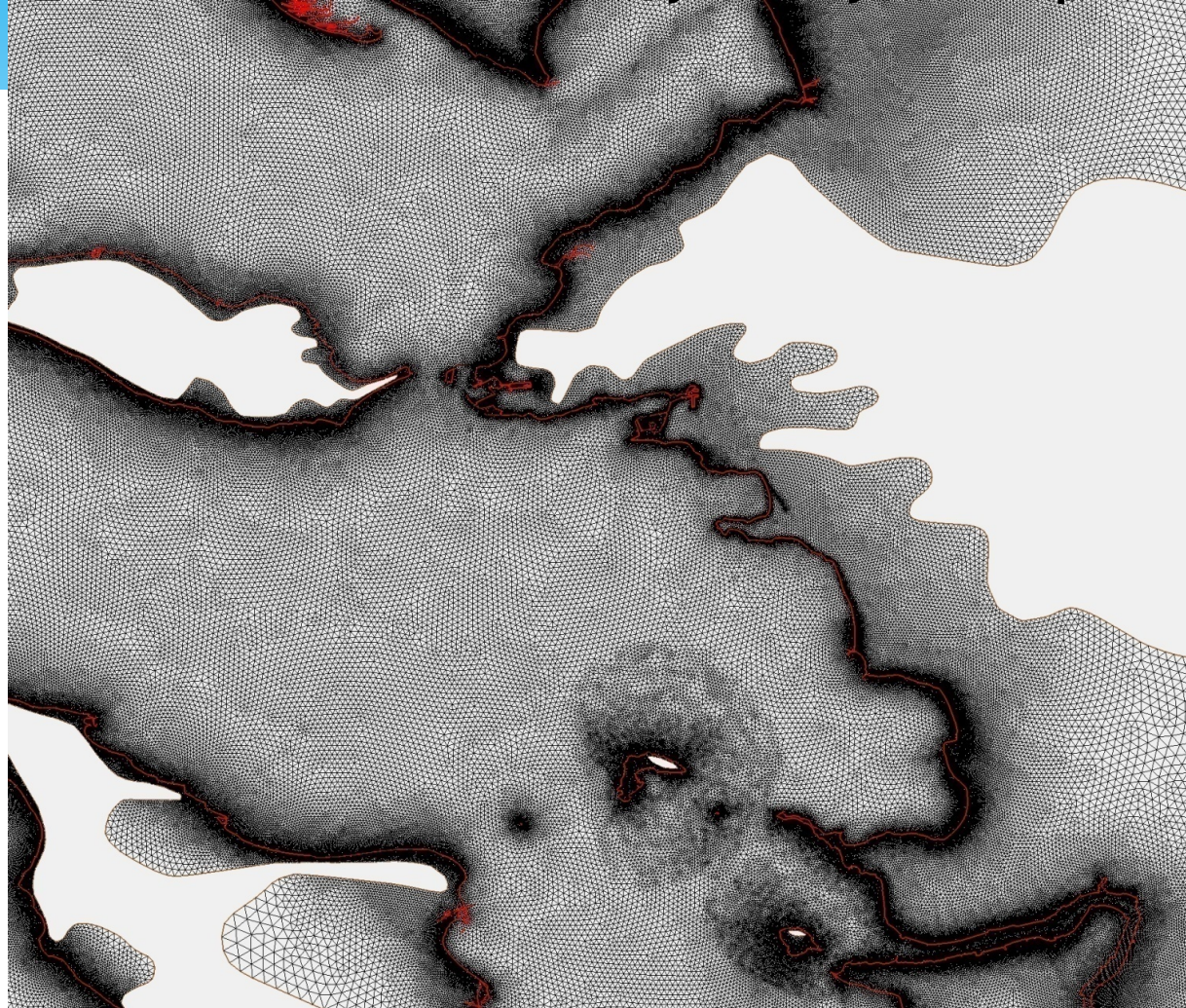
Explosion de l'urbanisation (X 4)

Augmentation de la vulnérabilité avec élévation du niveau marin

Géomorphologie / Océanographie

Nécessité d'une modélisation hydrodynamique à terre

Challenge :
densité du
nombre de
nœuds de
calcul pour
représenter les
digues

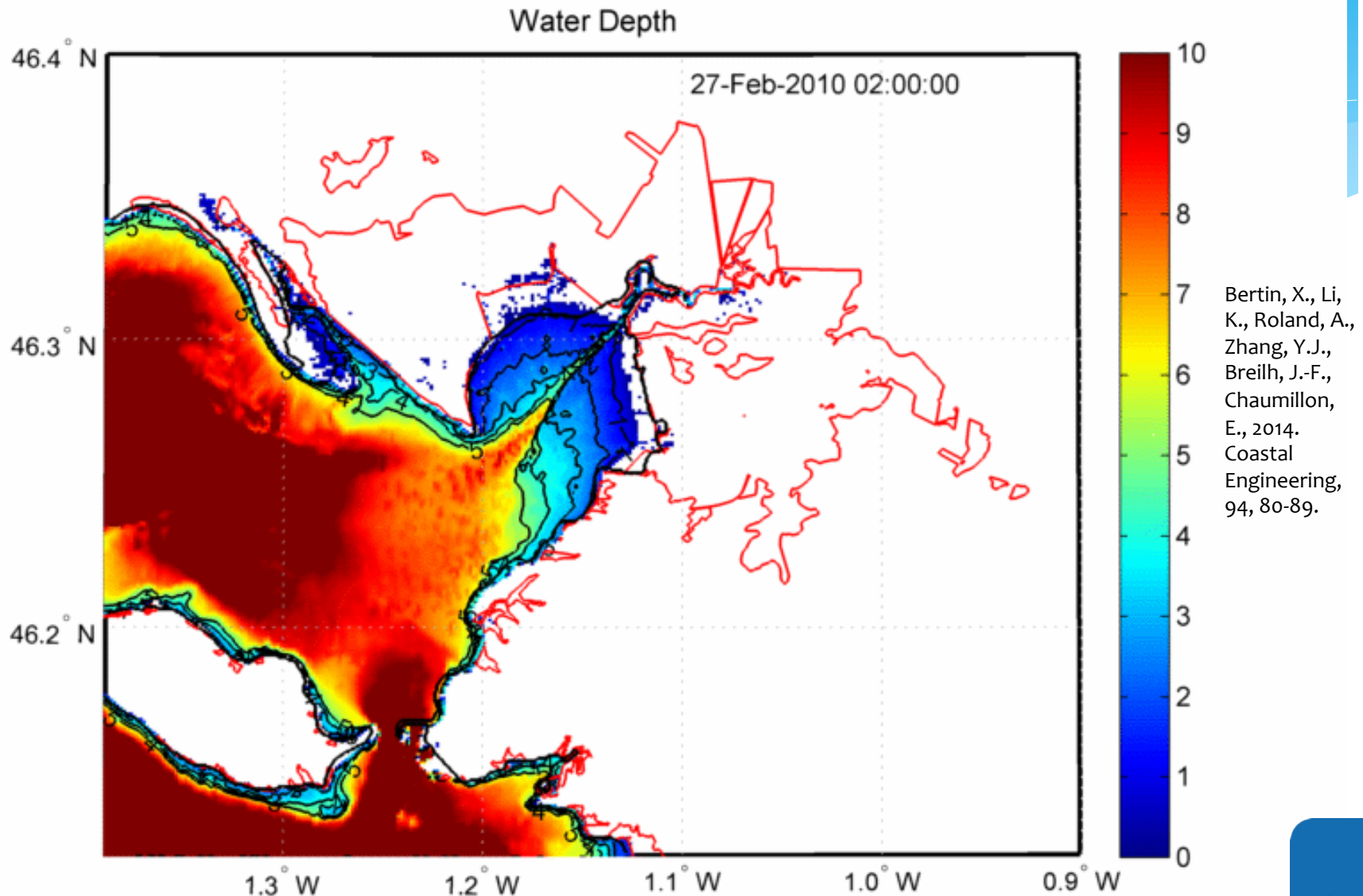


1 765 765
éléments

30 km
dans
l'océan
profond
5 m pour
les digues

Nécessité d'une modélisation hydrodynamique

Inondation principalement par débordement (jusqu'à 1 m)



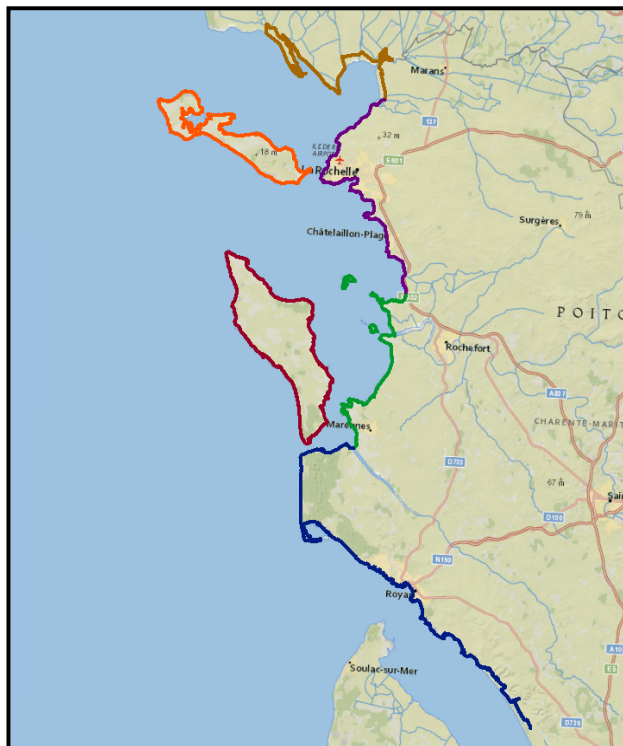
Histoire / Géomorphologie/ Océanographie

- Critère de sélection :
emprise géographique
de la submersion

≥ 4 /6 zones
touchées

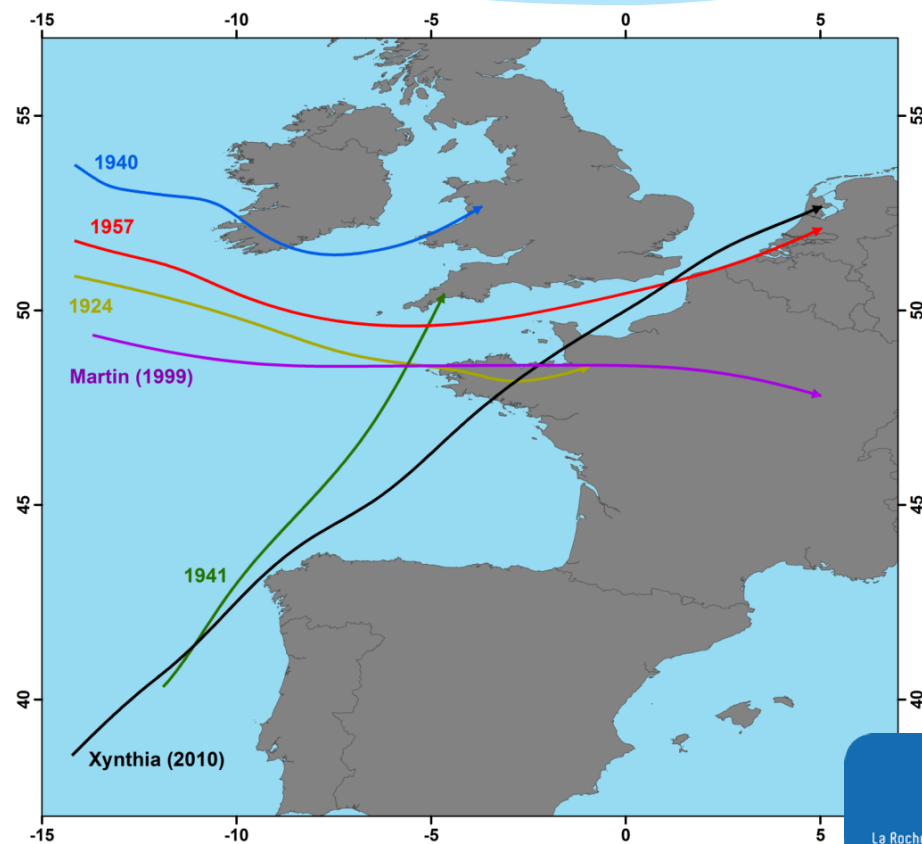
**Submersion
majeure** → 6 évènements
majeurs depuis
1900 :

- 28/02/2010 : Xynthia
- 27/12/1999 : Martin
- 15/02/1957
- 16/02/1941
- 16/11/1940
- 09/01/1924



Breilh, J.-F.,
Bertin, X.,
Chaumillon, E.,
Giloy, N. and
Sauzeau, T.,
2014. Global
and Planetary
Change, 122,
161-175.

→ 6 portions de trait de côte

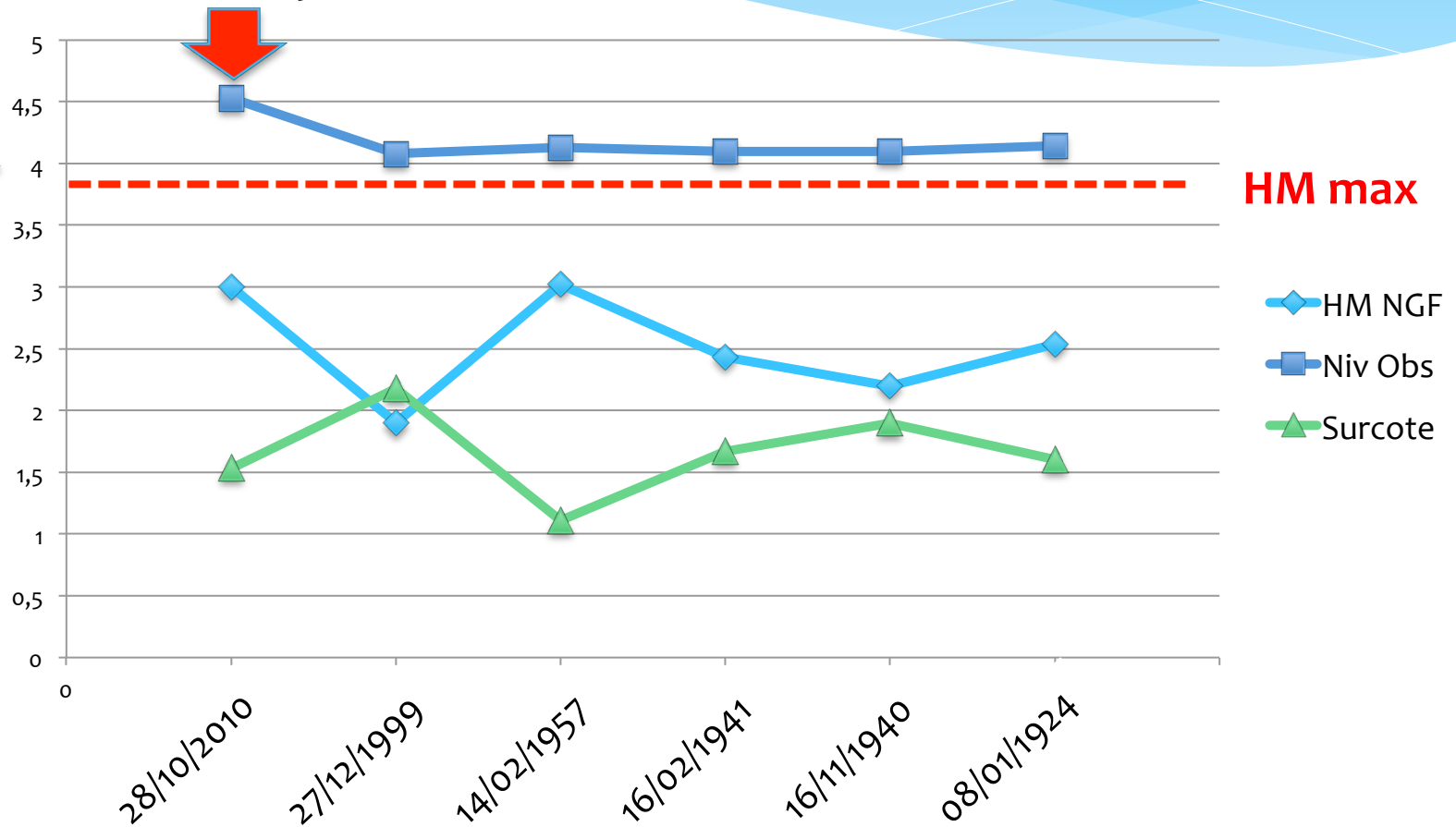


Histoire / Géomorphologie/ Océanographie

Depuis 1900, le niveau +4 m NGF a été dépassé 6 fois!

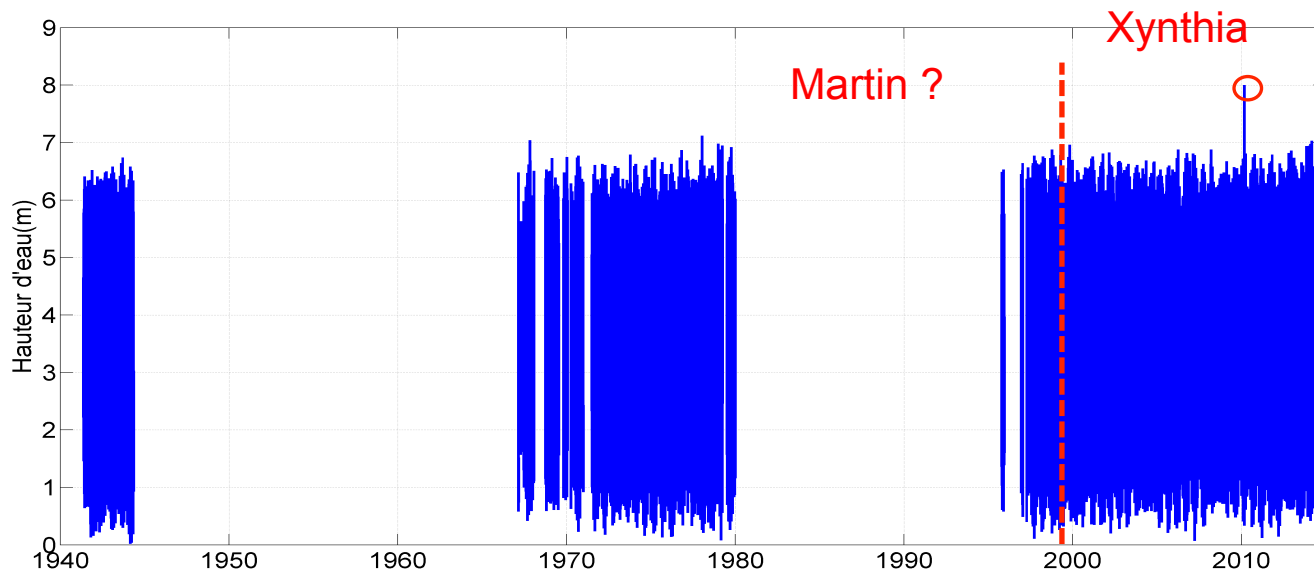
Référence Xynthia

Digues



Données instrumentales

Période de retour* des niveaux +3,8 à 3,9 m NGF = 100 ans!



*: temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée



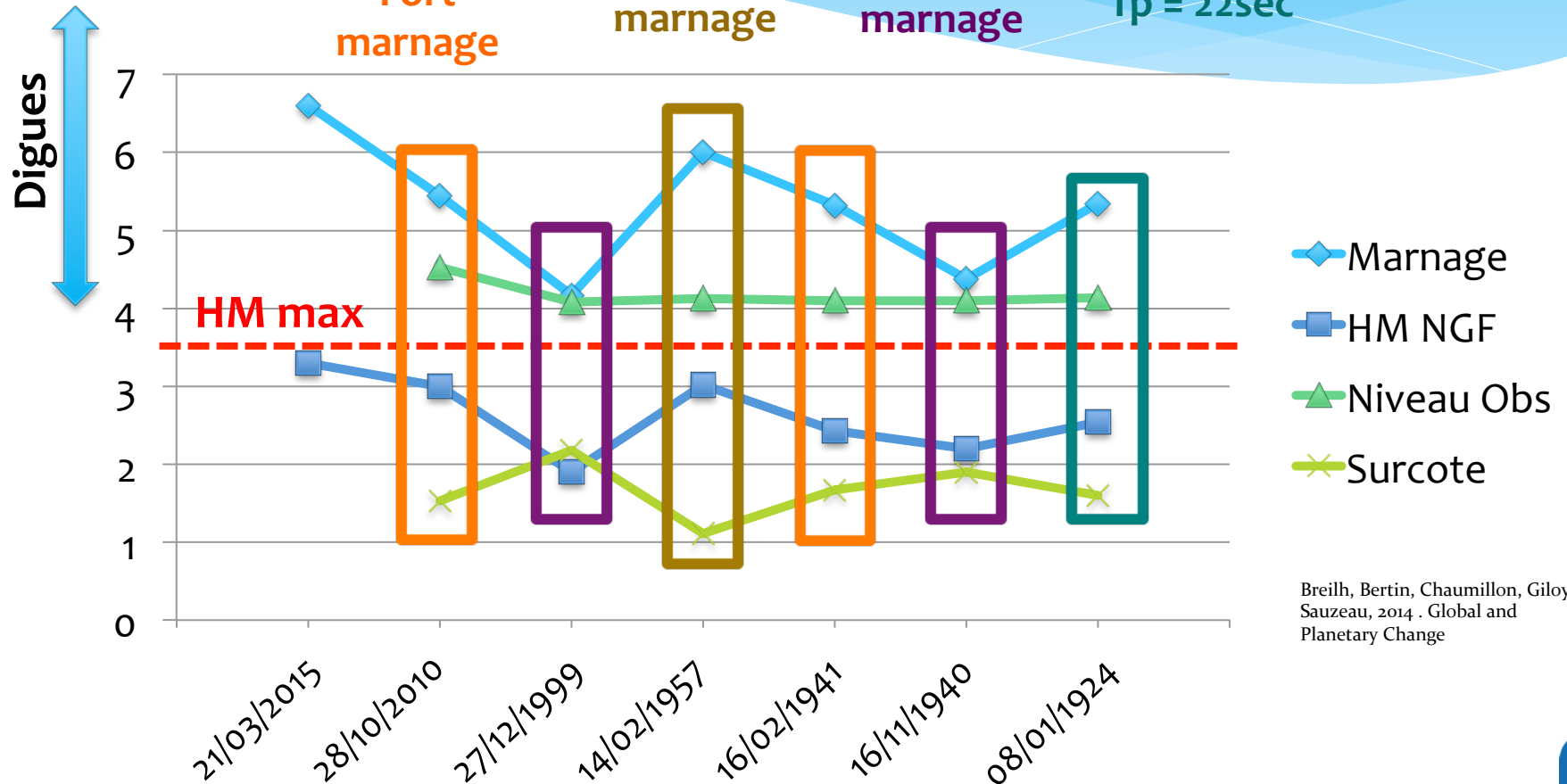
Typologie des submersions du 20^e s.

SW => NE,
mer jeune
Fort
marnage

Petite
surcote
Très fort
marnage

W => E,
Vent
extrême
Fort
marnage

Vagues
extrêmes
Hs = 25 m ;
Tp = 22sec



Breilh, Bertin, Chaumillon, Giloy,
Sauzeau, 2014 . Global and
Planetary Change

Wave Setup (m) during the storm of 1924

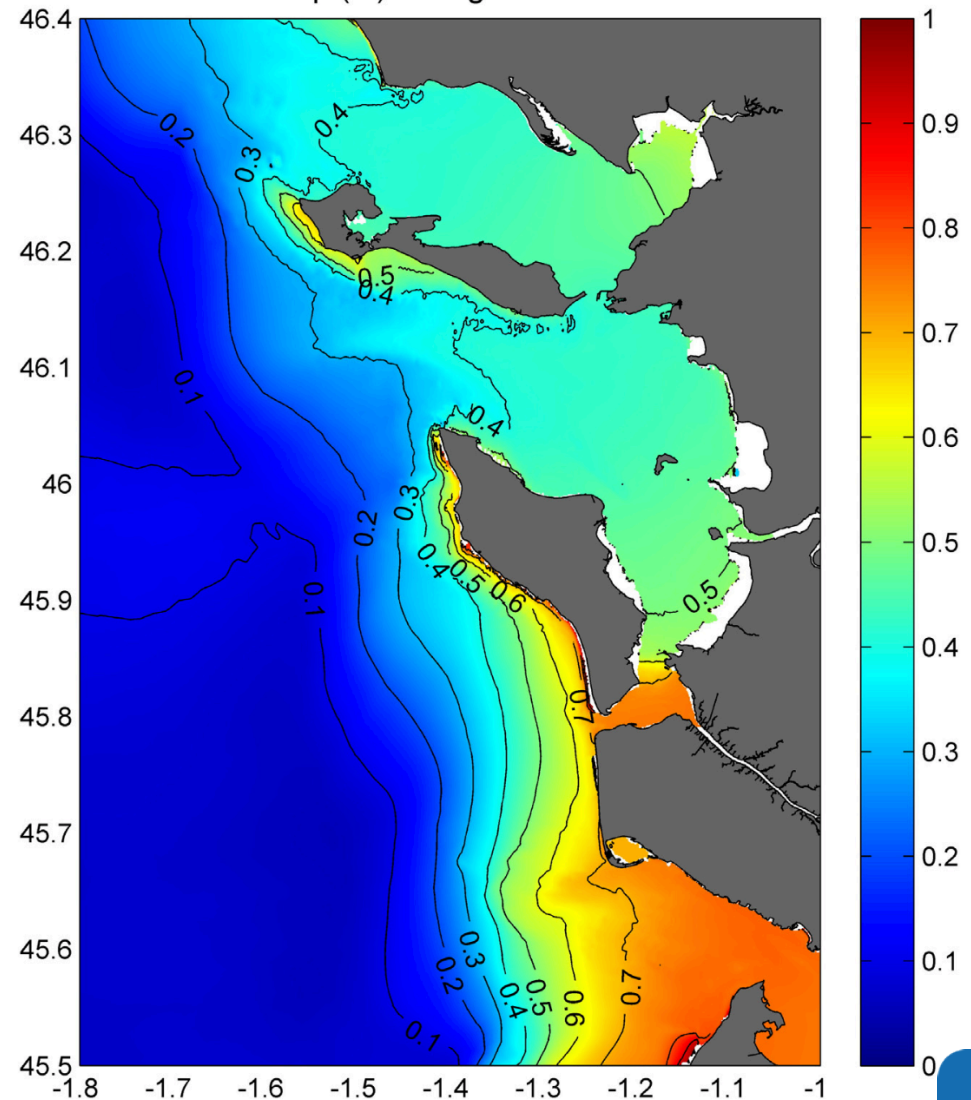
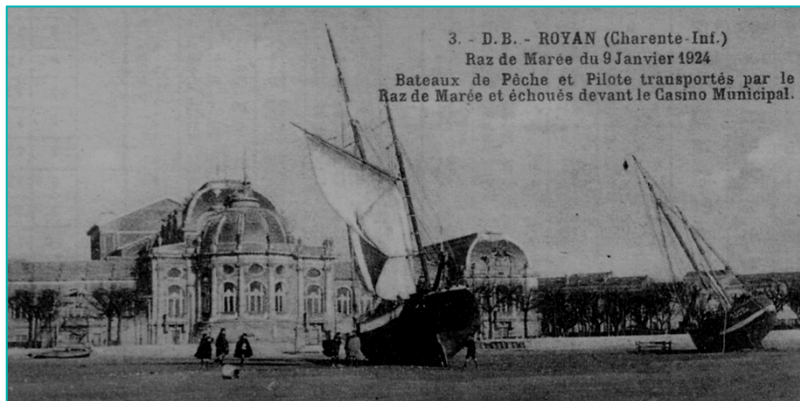


Fig. 10. Setup induced by the waves in the Pertuis Charentais during the storm of 1924.

Heureusement, il n'y a jamais eu la conjonction:

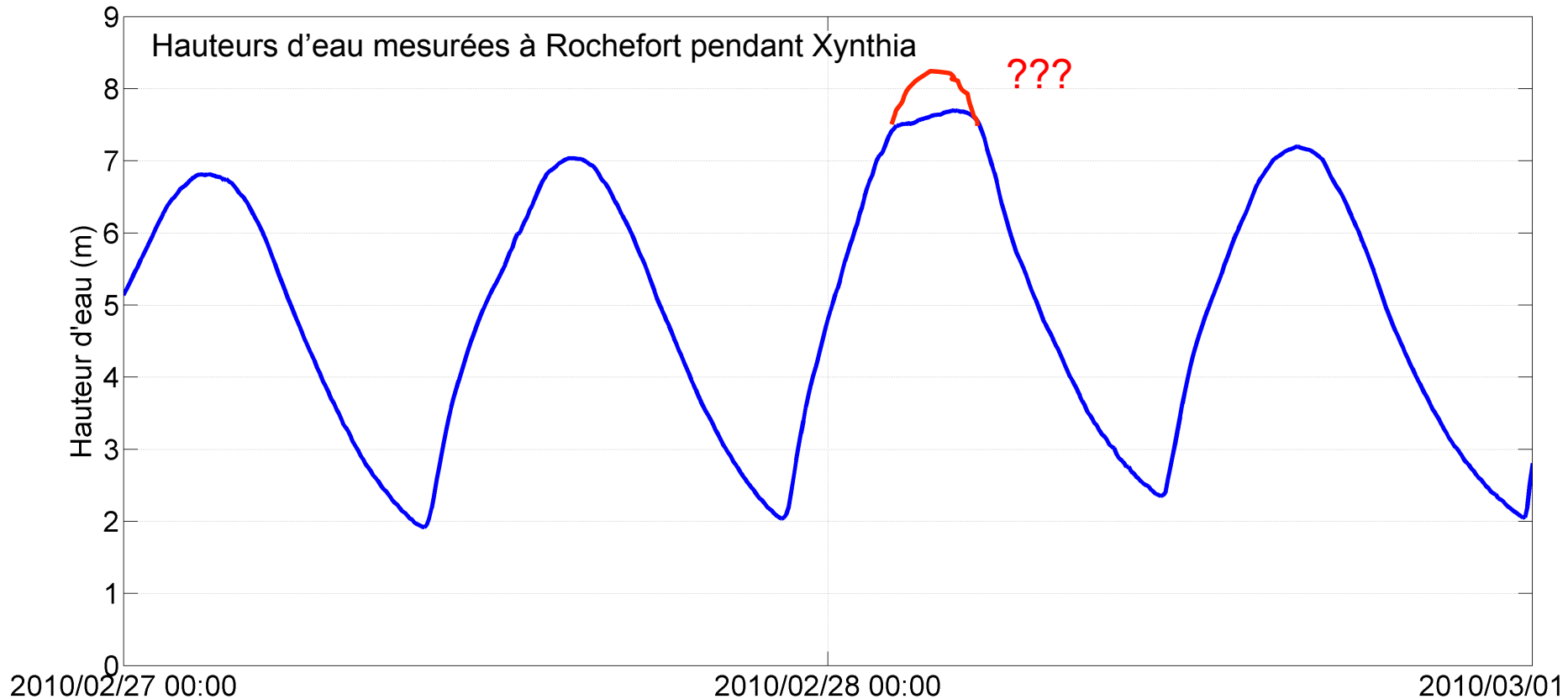
- Très forte marée haute
- Vent de SW exceptionnel (200 km/h ou plus)
- Vagues énormes



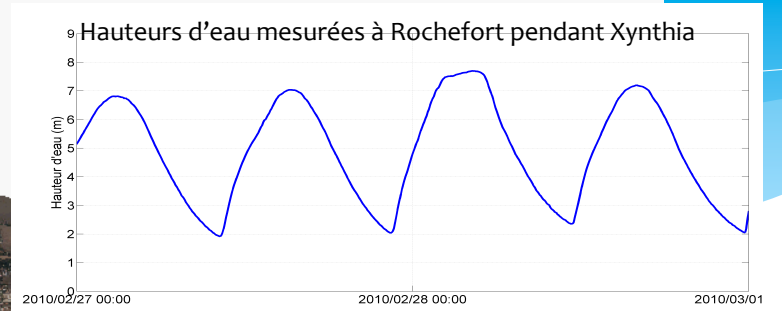
Carte Postale, com. pers. SURVILLE

Impact du débordement

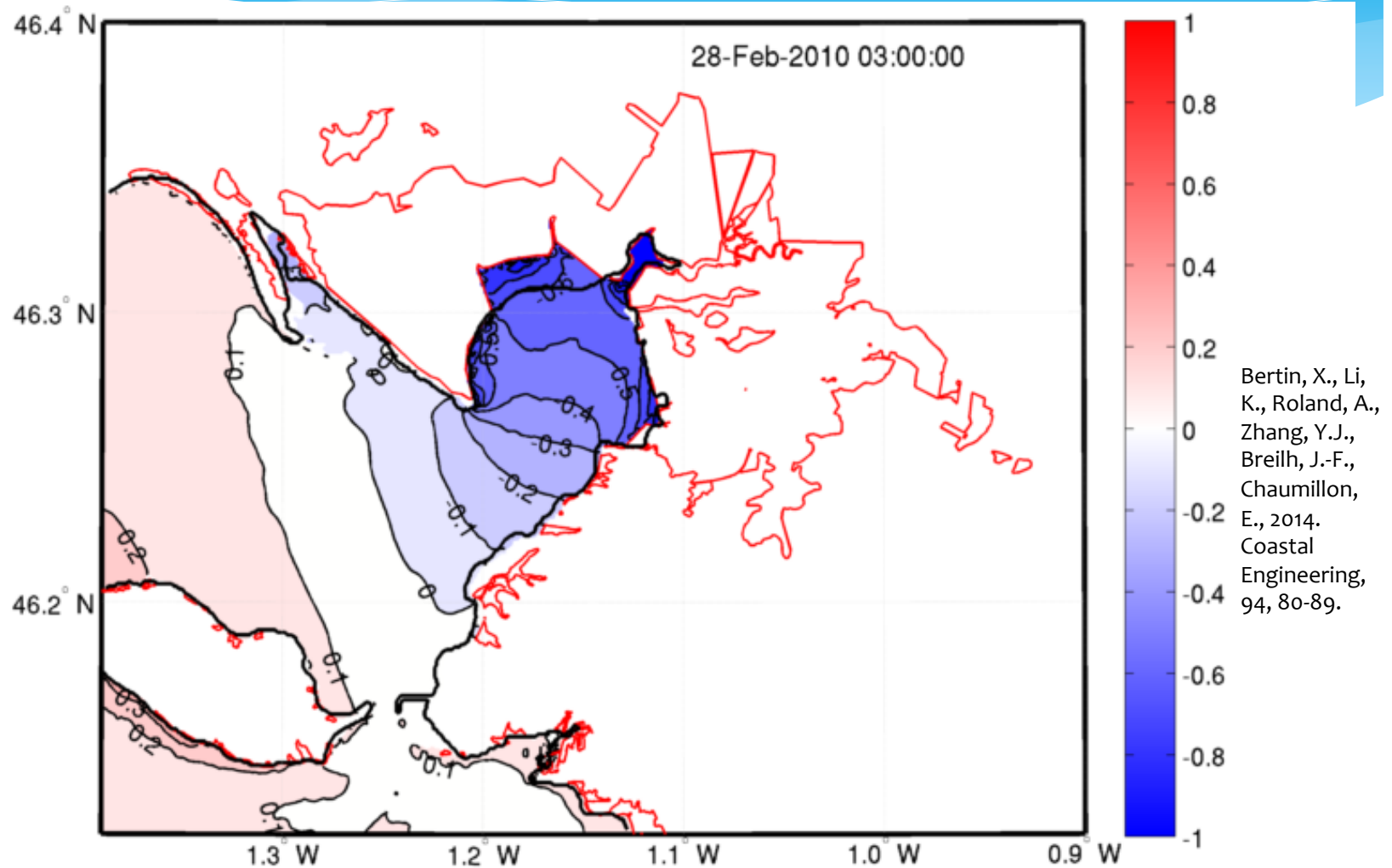
Hauteurs d'eau mesurées à Rochefort pendant Xynthia



Quelle est l'origine de « l'écrêtage » du pic de hauteur d'eau dans la Charente?

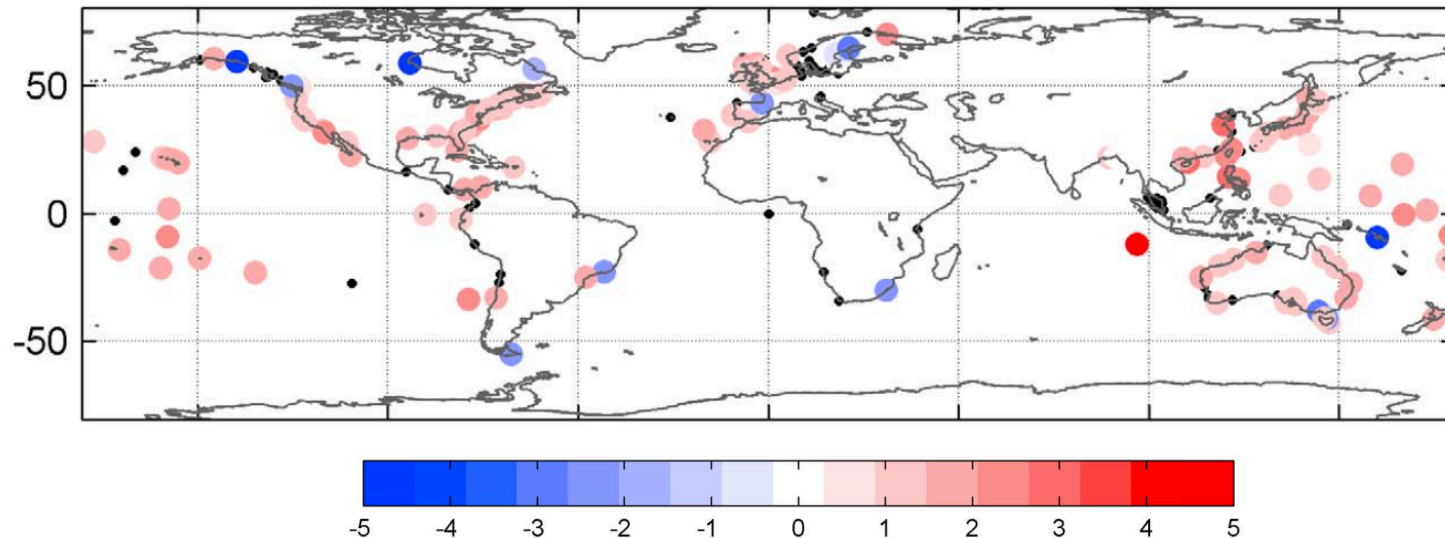


Impact du débordement



Différence entre simulations avec / sans débordement

Submersion / Changement Climatique



Menéndez
and
Woodworth,
2010,
JOURNAL OF
GEOPHYSICAL
RESEARCH, 115

Changements dans la fréquence des événements extrêmes

(% annuels d'augmentation/diminution des occurrences des niveaux extrêmes par rapport à l'occurrence moyenne)

Augmentation des niveaux extrêmes à l'échelle globale depuis 1970

L'élévation du niveau marin est la cause principale de l'augmentation des niveaux extrêmes

Merci pour votre attention

Remerciements:

Xavier Bertin, André Fortunato, Marco Bajo, Jean-Luc Schneider, Laurent Dezileau, John Patrick Walsh, Agnès Michelot, Etienne Chauveau, Axel Créach, Alain Hénaff, Thierry Sauzeau, Benoit Waeles, Bruno Gervais, Gwenaële Jan, Juliette Baumann, Jean-François Breilh, Rodrigo Pedreros

- CG 17
- Région Poitou Charente
- Fundação para a Ciencia e a Tecnologia
- CMOP (Portland)
- S.H.O.M./REFMAR
- C.E.T.M.E.F.
- UMR LEGOS
- Météo France
- Centre européen ECMWF