



# Projet NIVEXT

## Amélioration de la connaissance des tempêtes passées sur le littoral Atlantique – Manche (1850- )

Inventaire des niveaux extrêmes observés au niveau des marégraphes  
Analyses et ré-analyses des enregistrements

Gael ANDRE, Virginie GOIRAND, Camille DAUBORD

3 février 2016 – *Journées Refmar*

contact: [camille.daubord@shom.fr](mailto:camille.daubord@shom.fr)

# Contexte et Objectifs



## Objectif

Contribuer à l'amélioration de la connaissance des événements de tempête du passé

## Cadre

Projet SHOM-DGPR d'une durée de 2 ans. Coopération avec Météo-France

Associé à la démarche de la DGPR via le plan de Submersion Rapide interministériel

## Étude proposée

Volet 1: étude d'«événements tempêtes» ciblés entre 1850 et 2010 à partir des **données marégraphiques du SHOM** (archives et base de données numérique)

- évaluer le potentiel des archives du SHOM pour l'étude des niveaux marins extrêmes
- fournir un état des lieux de la connaissance des niveaux marins mesurés lors des principaux événements de tempête passés
- dégager des événements de «référence» (niveaux d'eau ou pics de surcote)

Volet 2: caractérisation des particularités des observatoires de marée (RONIM), et réponse au tempêtes ↔ étude spécifique des **seiches portuaires**.

## 1/ Cadrage des évènements de tempête à étudier entre 1850 et 2010

Selection d'un certain nombre d'évènements (dates)

## 2/ Travail prospectif aux archives SHOM axé sur les évènements cadrés

Recherche de données marégraphiques « nouvelles » (relevés de hauteurs d'eau ou marégrammes, et metadonnées associées)

Recherche des données météorologiques associées (*non exploitées dans l'étude*)

## 3/ Traitement des données d'archive

Sauvegarde sous forme d'images numériques, numérisation des séries de hauteurs d'eau (manuelle ou semi automatique), référencement des séries de hauteurs d'eau.

## 4/ Analyse des évènements à partir des données disponibles et exploitables (issues d'archive et base de données numériques)

Comparaison des séries d'observation aux séries de prédiction, calcul des paramètres maximaux (hauteur, surcote de PM, surcote instantanée) et [synthèses](#) par évènement

Recherche de tempêtes de « référence » par région

# Couverture de l'étude



## Zone d'étude

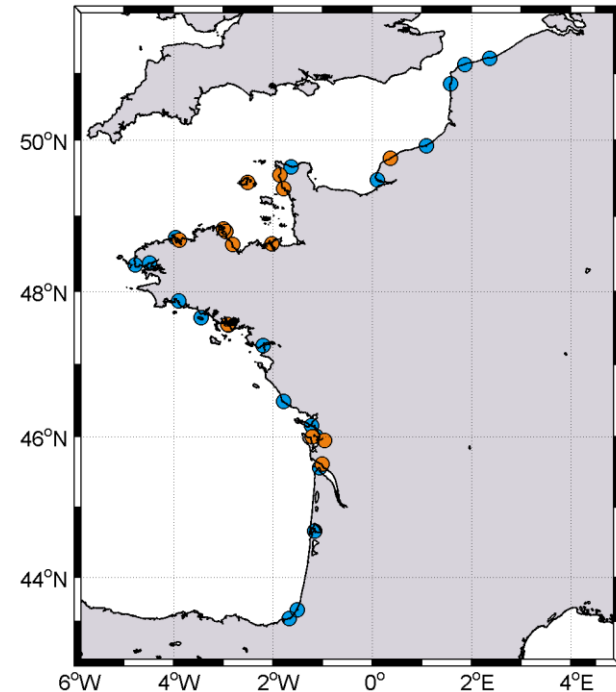
Littoral Atlantique–Manche de Socoa à Dunkerque

Sites étudiés:

**21 ports** du réseau RONIM

+ sites de mesures anciens (Fort Boyard, Rochefort, St Servan)

+ sites de mesures ponctuels (opportunités, campagnes hydrographiques du passé)

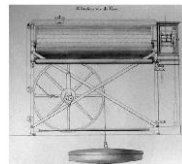


## Période couverte

1850-2010

1er marégraphe analogique permanent (Toulon)

1844



SHOM: 1er marégraphe numérique permanent

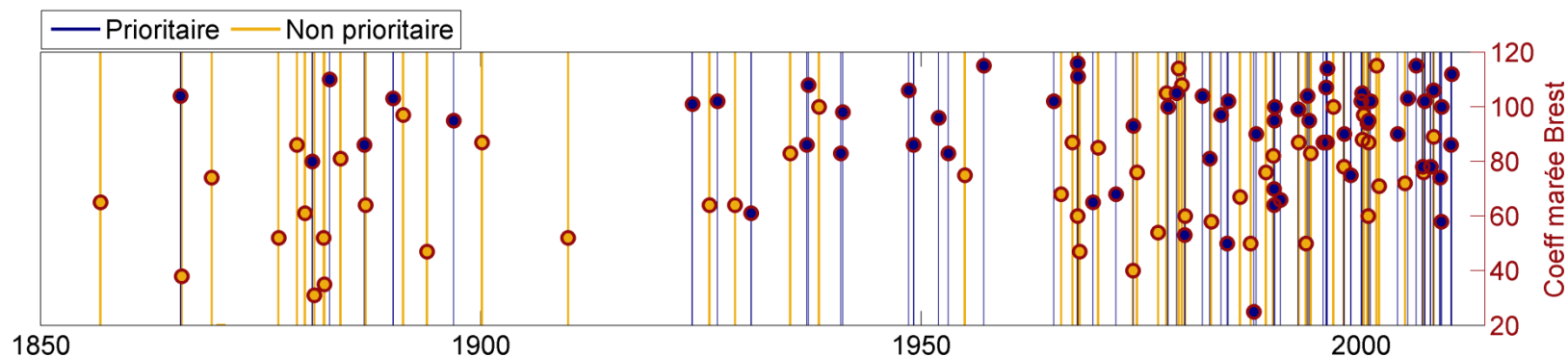
1992



SHOM: 1er marégraphe numérique permanent à cadence acquisition 1 min

2000

# Évènements de tempête étudiés



## Sélection des évènements

- « inventaire VVS » fourni par Météo France
- inventaire Bessemoulins « les tempêtes en France » (2002)
- + études universitaires localisées : bassin d'Arcachon, Vendée, Charente,...
- + articles scientifiques

► 120 dates retenues de 1856 à 2010, coefficients de marée variables (30 à 115), répartition sur l'ensemble le littoral étudié.

dont 70 évènements priorisés

Critères de choix → coefficient de marée, dégâts relatés, conditions météorologiques, représentativité géographique des tempêtes, diversité des cas,...

# Bilan du travail mené aux archives



- ▶ 12 mois de travail à plein temps de recherche aux archives et de traitement des données
- ▶ 150 données marégraphiques dans le périmètre de l'étude sauvegardées au format numérique
- ▶ 39 données « nouvelles » (registres du 19<sup>e</sup> siècle essentiellement)
- ▶ 111 marégrammes scrutés pour évaluer la plus value d'une numérisation à un pas de temps plus fin que l'heure, et relever les surélévations liées aux phénomènes haute-fréquence.
- ▶ Inclut la recherche et consolidation des informations de référencement associées (meta données)



Données de référencement nécessaires à l'exploitation des données d'archive :

- zéro de référence des mesures et correspondance avec le zéro hydrographique actuel
- référence temporelle des mesures (TSV, TSM, TU, TU+1, TU+2)

## ▶ In fine

1 bilan exhaustif des données d'archive SHOM disponibles, exploitables, nouvelles ou re-analysables pour les 70 évènements de priorité 1

33 nouvelles séries de hauteurs d'eau constituées et référencées (TU, zéro hydrographique)

5 séries de hauteurs d'eau re-numérisées à un pas de temps plus fin que l'heure (1 ou 5 minute(s)) : meilleure localisation temporelle du pic de surcote ou/et meilleure estimation des oscillations haute fréquence.





# Focus sur le traitement des données d'archives



## ► Exemple de traitement :

Registre de **Cherbourg** (17-19 nov 1880) T7

Numérisation manuelle des dates/valeurs

Vers un référencement en temps (TU)

Système horaire associé au registre: temps solaire vrai (TSV)

Outils de correction

Equation du temps (TSV → TSM)

Correction de longitude (TSM → TU)

Appliquer une correction en temps pour  
exprimer les données en temps universel

$$\text{date}_{\text{TU}} = \text{date}_{\text{TSM}} + \text{eqt}(\text{date}_{\text{TSM}}) + \text{CLon}_{\text{Cherbourg}}$$

Vers un référencement en hauteur (ZH)

Recherche de la correspondance du zéro du marégraphe  
en date de nov 1880 avec le zéro hydro actuel

Consultation

- \* documents d'archive
- \* annales hydrographiques
- \* correspondances
- \* annuaires des marées

Relier les différents zéros/repères historiques afin  
de raccorder le zéro des mesures étudiées au  
zéro hydrographique actuel

Entre 1845 à 1881  
Zéro des mesures au marégraphe = Zéro hydro actuel



# Analyse des événements - Données utilisées



## Observations de hauteurs d'eau

→ données issues de la **base de données** du SHOM:

- séries de hauteurs d'eau au pas de temps 1 heure (marégraphes flotteur)
- séries de hauteurs d'eau au pas de temps 10 minutes (marégraphes numériques)

→ **données « nouvelles »** issues du travail prospectif aux **archives** du SHOM

- 33 nouvelles séries de hauteurs d'eau (pas de temps 15 minutes ou 5 minutes)

## Prédictions de hauteurs d'eau

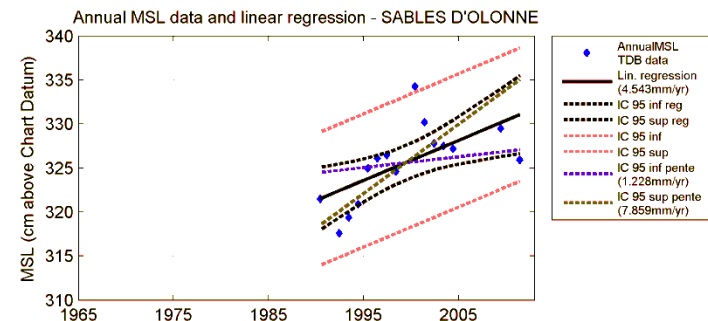
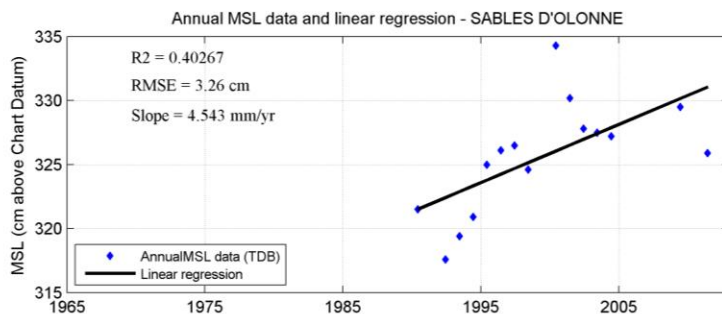
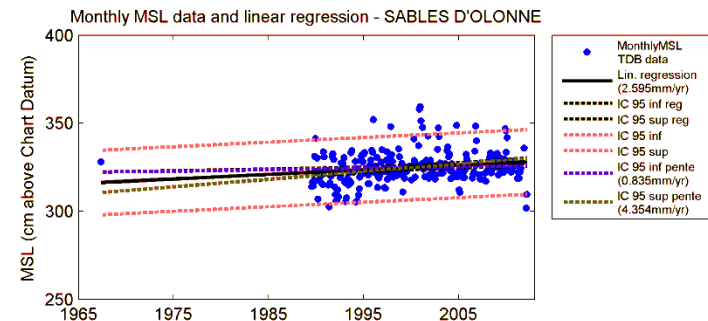
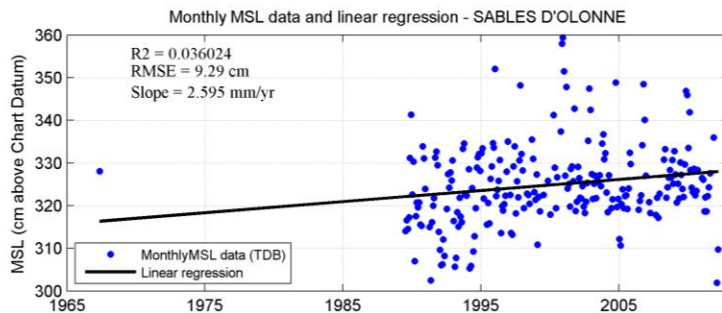
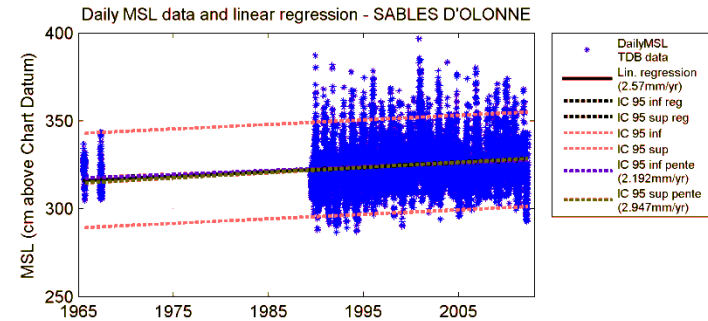
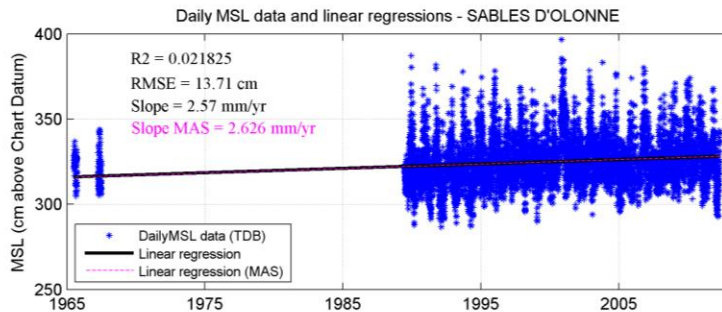
→ à partir du **module MAS** du **SHOM** et des **constantes harmoniques** datées de oct. 2011, avec application d'une correction de niveau moyen

**Correction de niveau moyen:** remplacement du niveau moyen des constantes harmoniques par une estimation du niveau moyen à la date d'intérêt pour la prédiction

# Focus sur le calcul des « surcotes »



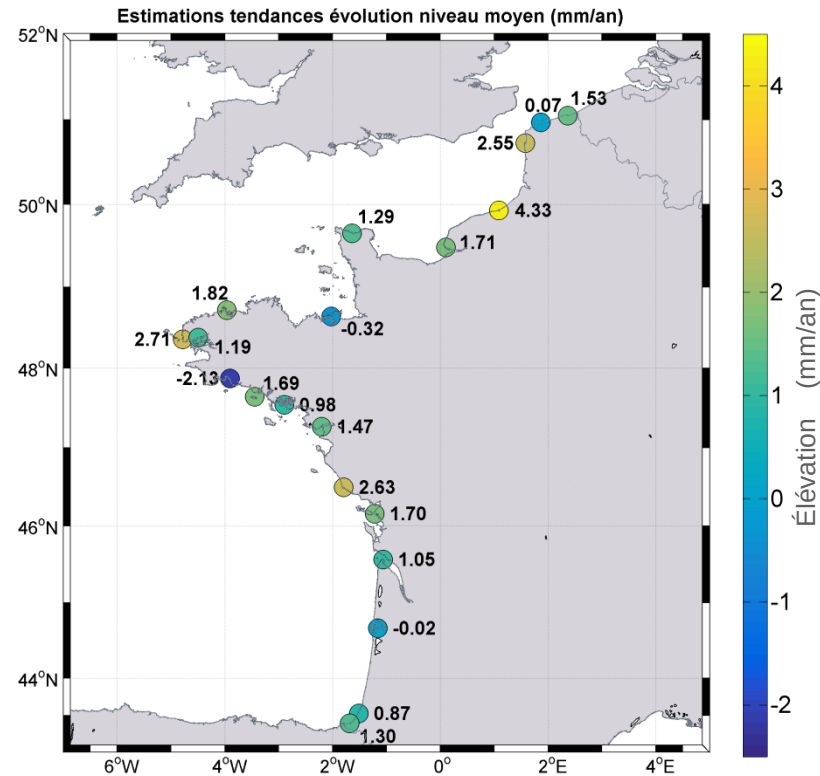
Estimation de l'évolution du niveau moyen en chaque site: choix d'un **ajustement linéaire** sur les **niveaux moyens journaliers**



# Focus sur le calcul des « surcotes »



Application d'une correction de niveau moyen aux constantes harmoniques selon les tendances calculées



→ Pas de correction pour les sites disposant de moins de 10 années « utiles » de mesure

Exemple: Port Navalo

→ Correction avec de larges IC pour des sites ~ 10 ans de mesure

Exemple: Concarneau; IC pente =  $[-3.18, -1.04]$  mm/an

# Analyse des événements



Pour chaque **événement de tempête T** (121)

Pour **l'ensemble des ports/sites** disposant de **données**  
Série de hauteurs d'eau **observées** & série de hauteurs d'eau **prédites**

Calcul des **paramètres météo-marins** suivants sur la période [  $T_{\min} - 1 \text{ jour}$  ;  $T_{\max} + 1 \text{ j}$  ]

**Hauteur maximale** observée, date, surcote de PM et surcote instantanée associées

**Surcote de PM maximale** observée, date et hauteur de PM associées

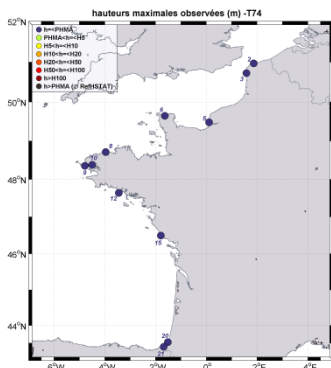
**Surcote de BM maximale** observée, date et hauteur de BM associées

**Surcote instantanée maximale** observée, (phase de la marée)

**Vue d'ensemble** ↓ sur l'évènement

Comparaison des hauteurs maximales observées  
aux **niveaux extrêmes statistiques de référence**  
(SHOM-CETMEF 2012)

→ indication du **caractère extrême des hauteurs mesurées**



# Valorisations

## ► Fiches de synthèse par évènement (exemple du 11-13 février 1978 – T55)

| NIVEXT - Fiche Tempête |                              |  |
|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| T 55                   |                              |                                                                                   |
| Date                   | Coefficient de marée (Brest) |                                                                                   |
| 11-13 janvier 1978     | 108 à 88                     |                                                                                   |

### 1. Tableau de synthèse

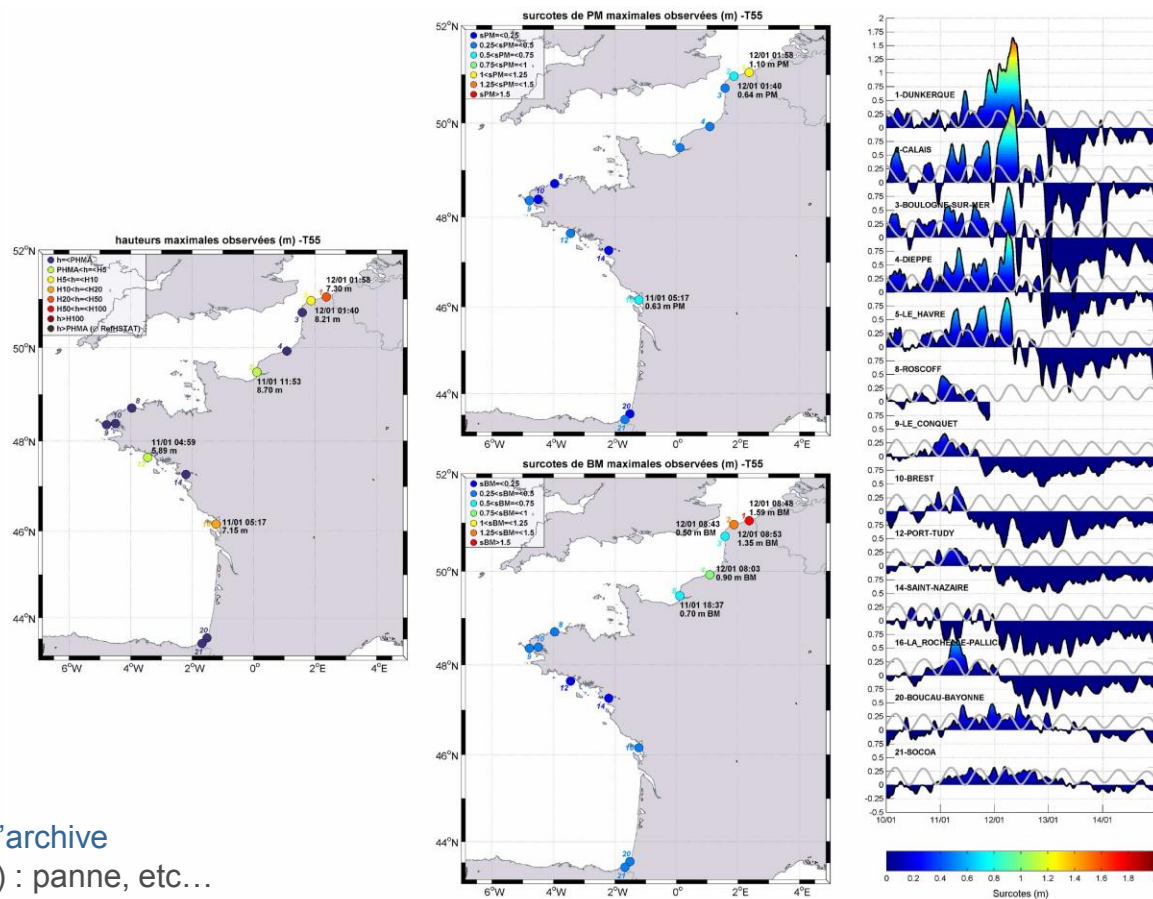
| T55 - 1978 |                     |                     |                 |            |         |          |                            |                       |         |          |                      |
|------------|---------------------|---------------------|-----------------|------------|---------|----------|----------------------------|-----------------------|---------|----------|----------------------|
| PORT       |                     |                     | HAUTEUR MAX     |            |         |          | SURCOTE INSTANTANÉE MAX    |                       |         |          |                      |
| Ref port   | nom port            | pas de temps mesure | hauteur max (m) | indice     | jour    | heure TU | surcote de PM associée (m) | surcote inst. max (m) | jour    | heure TU | hauteur associée (m) |
| 1          | DUNKERQUE           | 60 min              | 7.30            | H20<H<=H50 | 12-janv | 01:58    | 1.10                       | 1.65                  | 12-janv | 08:09    | 2.06                 |
| 2          | CALAIS              | 60 min              | 8.21            | H5<H<=H10  | 12-janv | 01:40    | 0.64                       | 1.42                  | 12-janv | 08:01    | 2.01                 |
| 3          | BOULOGNE-SUR-MER    | 60 min              | 9.45            | H<PHMA     | 12-janv | 00:49    | 0.29                       | 0.92                  | 12-janv | 06:08    | 3.32                 |
| 4          | DIEPPE              | 60 min              | 10.00           | H<PHMA     | 10-janv | 23:54    | 0.32                       | 1.12                  | 12-janv | 05:56    | 2.66                 |
| 5          | LE HAVRE            | 60 min              | 8.70            | PHMA<H<=H5 | 11-janv | 11:53    | 0.39                       | 0.91                  | 12-janv | 05:35    | 2.52                 |
| 8          | ROSCOFF             | 60 min              | 9.69            | H<PHMA     | 11-janv | 06:19    | 0.21                       | 0.48                  | 11-janv | 00:58    | 1.34                 |
| 9          | LE CONQUET          | 60 min              | 7.65            | H<PHMA     | 11-janv | 05:16    | 0.26                       | 0.42                  | 11-janv | 01:47    | 3.37                 |
| 10         | BREST               | 60 min              | 7.83            | H<PHMA     | 11-janv | 05:41    | 0.17                       | 0.45                  | 11-janv | 07:09    | 6.74                 |
| 12         | PORT-TUDY           | 60 min              | 5.89            | PHMA<H<=H5 | 11-janv | 04:59    | 0.29                       | 0.33                  | 11-janv | 06:47    | 5.09                 |
| 14         | SAINT-NAZAIRE       | 60 min              | 6.25            | H<PHMA     | 10-janv | 04:18    | 0.02                       | 0.24                  | 10-janv | 11:30    | 0.82                 |
| 16         | LA ROCHELLE-FALLICE | 60 min              | 7.15            | H10<H<=H20 | 11-janv | 05:17    | 0.63                       | 0.66                  | 11-janv | 07:55    | 5.22                 |
| 20         | BOUCAU-BAYONNE      | 60 min              | 4.78            | H<PHMA     | 11-janv | 05:04    | 0.10                       | 0.48                  | 11-janv | 23:03    | 1.12                 |
| 21         | SOCOA               | 60 min              | 4.88            | H<PHMA     | 12-janv | 05:15    | 0.26                       | 0.34                  | 12-janv | 04:35    | 4.73                 |

### 2. Illustrations graphiques

Voir page ci-contre

### 3. Remarques

CHERBOURG | Pas de données. Il existe des mesures (marégramme), mais le référencement en hauteur n'a pas pu être réalisé de manière fiable.



Informations tirées de l'analyse des données d'archive

- précision sur les enregistrements (ou relevés) : panne, etc...
- évaluation de l'amplitude des oscillations HF dans le cas de marégrammes re exploités (111 avec données en base)

# Valorisations



## ► Fiches de **synthèse par port** (exemple de Cherbourg)

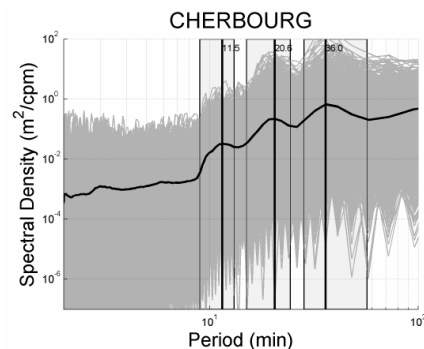
| NIVEAUX MAXIMUM OBSERVES ENTRE AVRIL 1943 ET FEVRIER 2015                          |                  |                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Liste des 10 hauteurs de pleine mer maximales mesurées au niveau de l'observatoire |                  |                                                                               |
| HAUTEUR (cm/ZH)                                                                    | DATE             | REMARQUE                                                                      |
| 741                                                                                | 10-03-2008       | Voir évènement <b>T116</b> de ce projet                                       |
| 721                                                                                | 23-12-1995       | Voir évènement <b>T86</b> de ce projet                                        |
| 721                                                                                | 07-04-1985       | Hauteur de PM2 le 07-04-1985 : 716 cm                                         |
| 720                                                                                | 01-02-2014       |                                                                               |
| 720                                                                                | 17-10-2012       |                                                                               |
| 718                                                                                | 02-03-2014 (PM1) | Hauteur de PM2 le 02-03-2014 : 712 cm<br>Hauteur de PM le 03-03-2014 : 718 cm |
| 718                                                                                | 03-01-2014       |                                                                               |
| 717                                                                                | 23-11-1984       | Voir évènement <b>T67</b> de ce projet                                        |
| 717                                                                                | 06-10-1979       |                                                                               |
| 715                                                                                | 28-02-2010       | Voir évènement <b>T120</b> de ce projet                                       |
| 715                                                                                | 10-03-2001       |                                                                               |
| 715                                                                                | 08-03-1981       |                                                                               |
| 715                                                                                | 25-09-1976       |                                                                               |
| 714                                                                                | 08-10-2006       |                                                                               |
| 713                                                                                | 10-02-1997       |                                                                               |
| 713                                                                                | 02-11-1963       |                                                                               |
| 712                                                                                | 30-03-2006       | Voir évènement <b>T110</b> de ce projet                                       |
| 712                                                                                | 26-02-1990       | Voir évènement <b>T77</b> de ce projet                                        |
| 711                                                                                | 08-10-2014       |                                                                               |
| 711                                                                                | 24-12-1999       | Voir évènement <b>T96</b> de ce projet                                        |
| 711                                                                                | 07-10-1987       |                                                                               |
| 711                                                                                | 26-09-1980       |                                                                               |
| 711                                                                                | 28-02-1979       |                                                                               |

10 hauteurs de PM maximales mesurées au niveau de l'observatoire (parmi évènements étudiés ou non)

### Oscillations haute-fréquence observables (seiches) :

| AMPLITUDES <sup>2</sup> « TYPE » DES OSCILLATIONS HF OBSERVEES ENTRE DECEMBRE 2009 ET MAI 2015 |                                                                                  |                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Amplitude moyenne des oscillations d'amplitude > au 50 <sup>e</sup> centile (cm)               | Amplitude moyenne des oscillations d'amplitude > au 95 <sup>e</sup> centile (cm) | Amplitude maximale observée (cm) |
| 7                                                                                              | 18                                                                               | 80                               |

| CARACTERISTIQUES FREQUENTIELLES DES OSCILLATIONS HF OBSERVEES ENTRE DECEMBRE 2009 ET MAI 2015 |                        |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| Période (min)                                                                                 | Amplitude moyenne (cm) | Amplitude max (cm) |
| 35-40                                                                                         | 14                     | 69                 |
| 18-20                                                                                         | 9                      | 35                 |
| 10-12                                                                                         | 3                      | 11                 |



Estimation de la surélévation du niveau de la mer liée à la présence de « seiches »



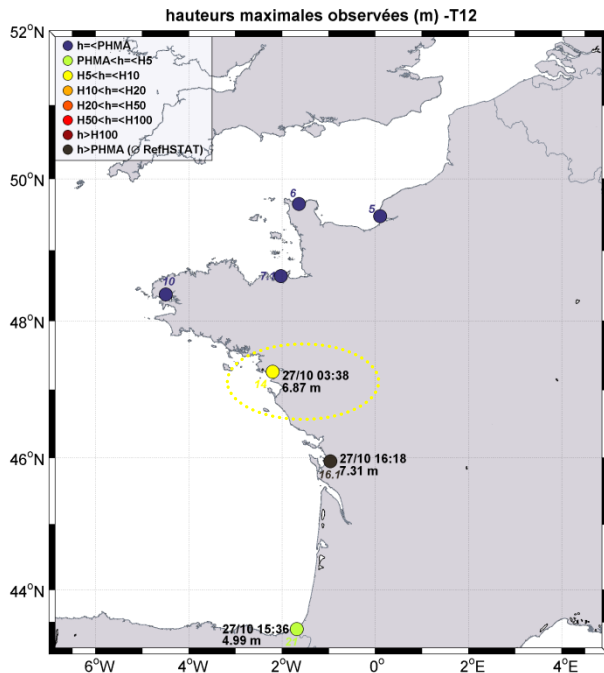
# Valorisations



## ► Identification des événements marquants en terme de hauteurs atteintes

→ hauteurs d'eau atteintes > H5 : 9% des événements étudiés. Peu d'événements anciens. Hauteurs les + extrêmes: événements connus (janv1978, Vivian, Lothar,..., Xynthia) ou événements récents (Xaver,...)

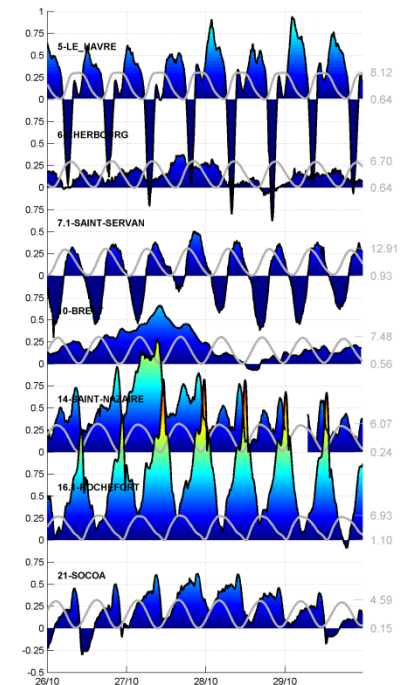
| Evènement |               | Caractéristiques de l'évènement          |                                                                                    |                                                                                |                                   |
|-----------|---------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| N° ou Ref | Date          | Observation de hauteurs supérieures à H5 | Secteur concerné par des hauteurs exceptionnelles                                  | Facteur(s) de submersion prépondérant(s) pour le secteur concerné              | Remarques                         |
| 12        | 27-28/10/1882 | H5-H10 : St Nazaire                      |  | Période de marée de VE (EM)<br>+<br>concomitance du pic de surcote avec une PM | Pic de surcote élevé à St Nazaire |



hauteur max observée = 687 cm

• 4<sup>e</sup> + haute hPM observée (1999, 2008, 2010: 734 cm)

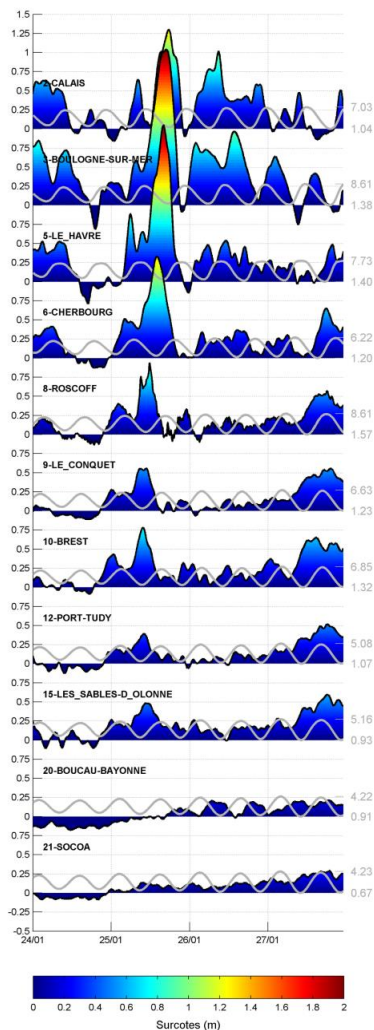
• surcote de PM observée : 95 cm



# Valorisations



- Identification des **événements marquants** en terme de pics de surcote instantanée
- **pics de surcote instantanée > 1m** : 65% des événements : identification et synthèse des événements marquants

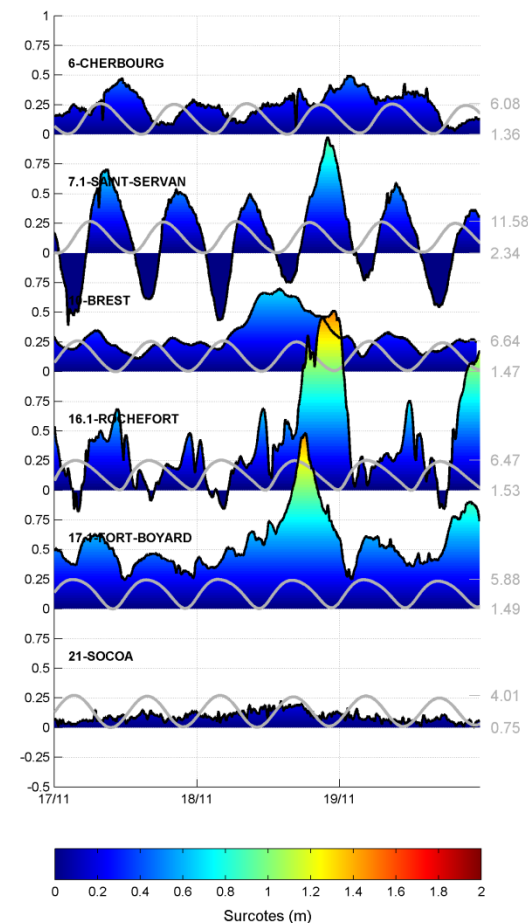


← Exemple Manche orientale  
25-26 janvier 1990

- pics de SI exceptionnels à Boulogne-sur-Mer (200 cm) et au Havre (200 cm)
- hauteurs observées par ailleurs < PHMA (concomitance pics avec BM)

Exemple Atlantique Nord Gironde  
18 novembre 1880

- pics de SI notables en Charente maritime: Rochefort (150 cm) et Fort Boyard (150 cm)



# Bilan du volet 1



## Travail exploratoire aux archives

- ▶ **Bilan complet** des données de niveaux extrêmes historiques à disposition au SHOM
- ▶ Plus-value modeste des données d'archive:
  - une seule **valeur extrême** de niveau d'eau **révélée** parmi les données traitées (H5-H10)
  - pannes fréquentes des instruments (rupture fil du flotteur) lors des événements de tempête
  - disponibilité partielle des données aux dates de tempêtes
  - difficulté à reconstruire les informations de référencement des données (sites et dates multiples): beaucoup de données anciennes rendues inexploitable de ce fait.

### ▶ Enseignement

Privilégier la valorisation de données d'archive pour la **reconstruction de séries marégraphiques « uniques »** (projet SHOM-DGPR St Nazaire, Y. Ferret ) à partir desquelles l'identification de valeurs de niveaux extrêmes jusqu'alors méconnues pourra être réalisée

# Bilan du volet 1



## Étude des 120 évènements

- ▶ Peu de hauteurs d'eau exceptionnelles: **maxima > H5 pour 11 évènements** seulement
  - problème de criblage des évènements?
  - houle: paramètre déterminant pour certains des évènements qui sont répertoriés comme dévastateurs?
- ▶ Évènements remarquables par leurs pics de surcote instantanée:
  - $\epsilon$  bien à la population de tempêtes météorologiques qui ont atteints la côte mais conjonction avec la marée non favorable à produire des niveaux d'eau extrêmes
  - support pour orienter des **modélisations hydrodynamiques d'évènements extrêmes fictifs plausibles**
- ▶ A confronter aux données météorologiques et données d'états de mer (houle).

## Étude des 120 évènements - Limites des données utilisées

- ▶ Données d'observations hétérogènes (archives, données numériques, données re-numérisées à haute fréquence).
- ▶ Prédiction de marée dans le passé conditionnées par les tendances d'évolution du niveau moyen calculées.

# Bilan du volet 1



## Valorisation dans d'autres projets

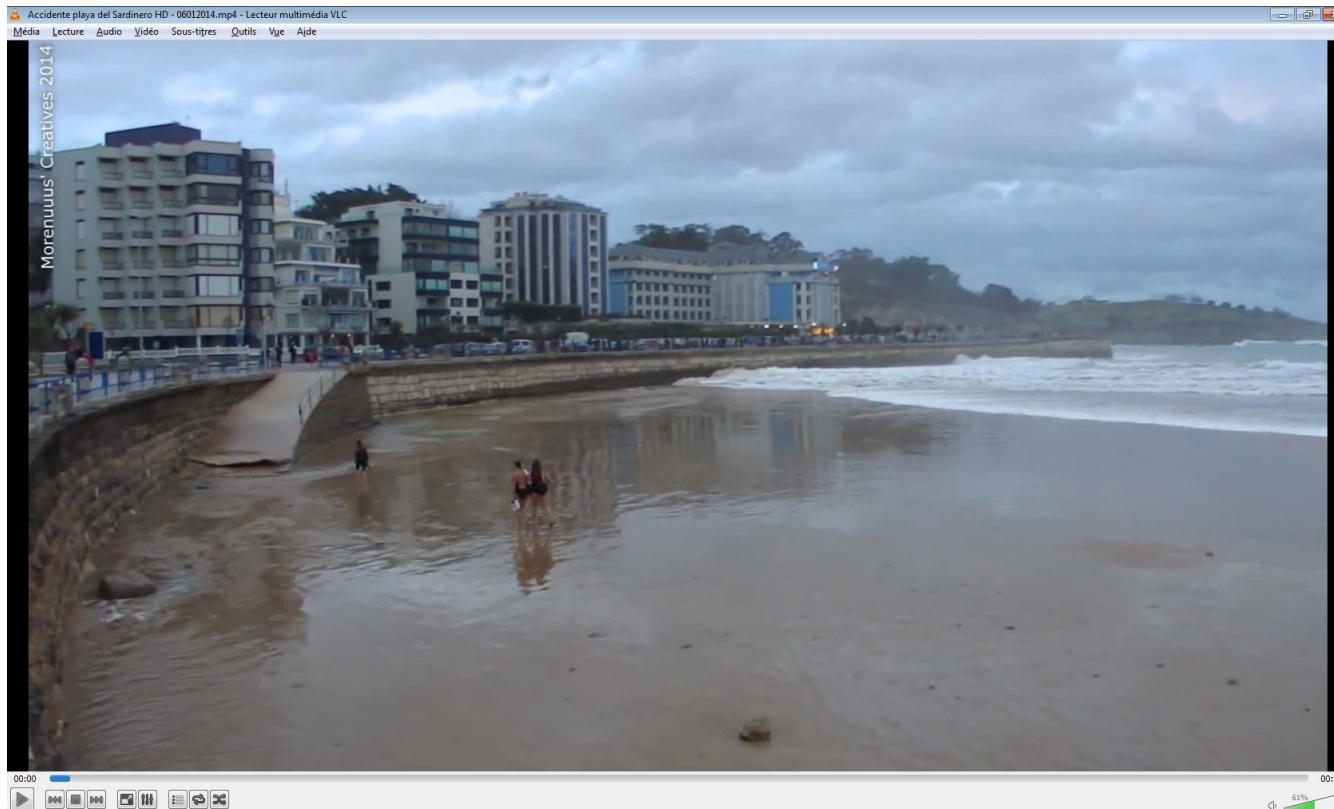
- ▶ Intégration de la partie « Bretagne » du VIMERS-1 : fiches « tempêtes » pluridisciplinaires
- ▶ Support pour orienter le WP202 du projet IncREO (Météo France) : une 10aine d'évènements NIVEXT retenus → rejeux météorologiques avec des forçages HR.

## Volet 2



### Caractérisation des particularités des observatoires de marée en période de tempêtes

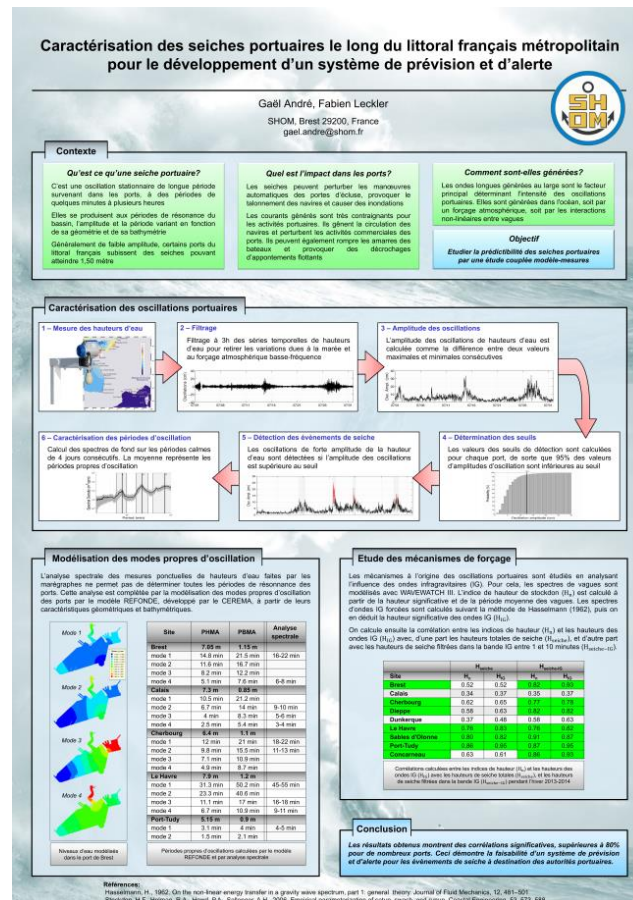
- Amélioration de la connaissance des niveaux extrêmes sur le littoral Atlantique–Manche et des facteurs d'amplification





## Etude des seiches portuaires

- Caractérisation des périodes de résonance et des amplitudes liées aux oscillations HF dans les ports par une étude couplée modèle-mesures
- Analyse des mécanismes de forçage pour étudier la prédictibilité des phénomènes de seiche





# Merci pour votre attention

Le rapport du projet NIVEXT  
« NIVeaux marins EXTrêmes », Camille DAUBORD, 2015  
est téléchargeable sur le portail REFMAR:  
<http://refmar.shom.fr/documents/10227/382855/Rapport-NIVEXT.pdf>

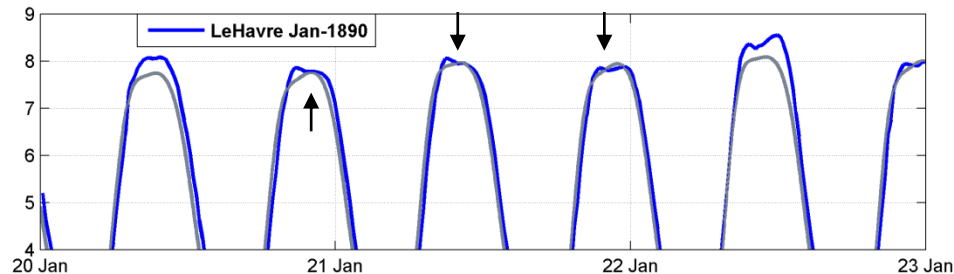
# Analyse des événements - Focus sur le calcul des « surcotes »



Calcul de surcote instantanée  calcul de prédiction de marée

Constantes harmoniques officielles du SHOM en un point donné sont représentatives du niveau moyen local actuel et des conditions hydrodynamiques locales actuelles.

Prédictions de marée « idéales » pour l'étude: analyse harmonique dédiée à chaque site et chaque date T à partir d'un an de données centré sur la date de tempête ciblée puis prédiction à partir de ces constantes -> pas systématiquement possible (données sporadiques)



*En gris : prédictions avec CH actuelles*

Asymétrie des PM mal représentée : évolution entre le 19<sup>e</sup> s et aujourd'hui

Mode de calcul choisi : prédiction à partir des constantes harmoniques actuelles avec correction de niveau moyen

Correction de niveau moyen  existence de références ?

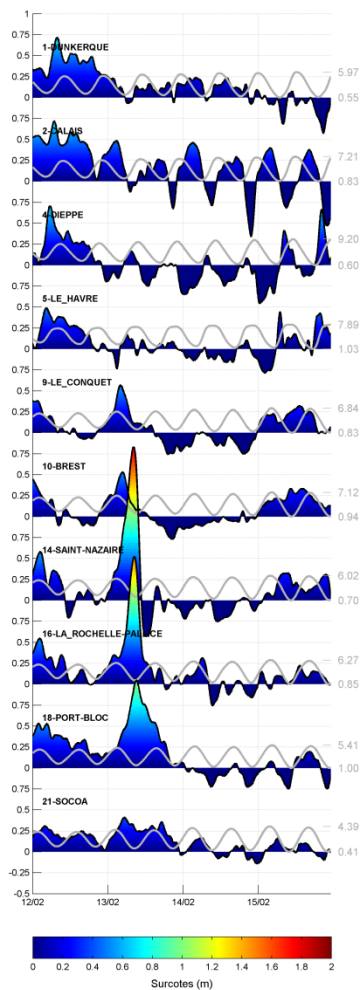
Evolution du niveau moyen d'un site → « tendances » d'évolution

Pas de préconisations officielles pour le choix des tendances locales -> choix à faire pour l'étude (ajustement linéaire sur les niveaux moyens journaliers, tendances régionales, ... )

# Valorisations



- Identification des **événements marquants** en terme de pics de surcote instantanée
- **pics de surcote instantanée > 1m** : 65% des événements : identification et synthèse des événements marquants par zone (Manche orientale, Manche occidentale, Atlantique Nord Gironde, Atlantique Nord Aquitaine)

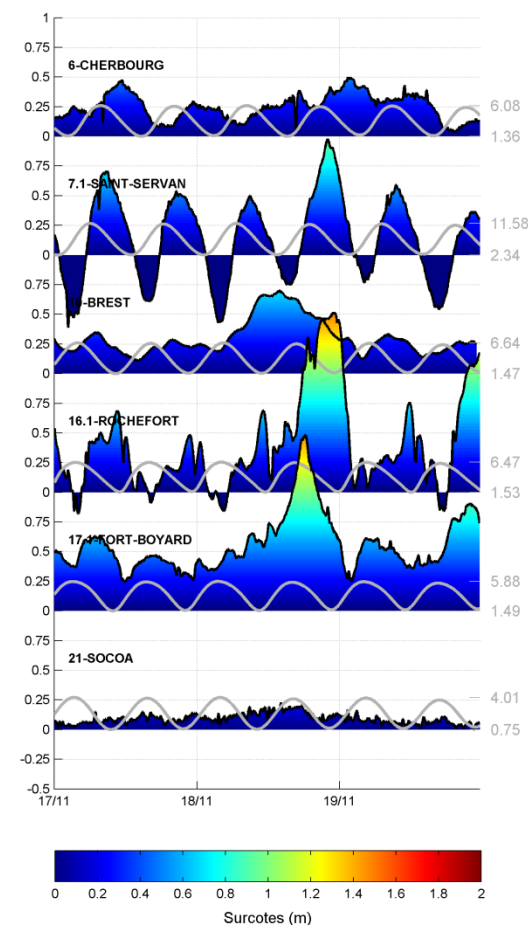


← Exemple Atlantique Nord Gironde  
13-14 février 1972

- secteur concerné de Port Bloc à St Nazaire
- pics de *si* exceptionnels/étroits à la Rochelle (155 cm) et St Nazaire (185 cm, pic le plus intense parmi les 120T)

Exemple Atlantique Nord Gironde  
18 novembre 1880

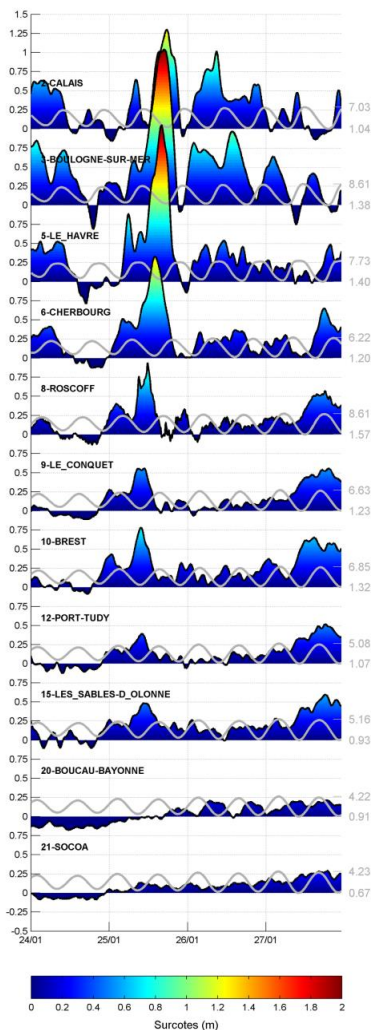
- pics de *si* notables en Charente maritime: Rochefort (150 cm) et Fort Boyard (150 cm)



# Valorisations



- Identification des **événements marquants** en terme de pics de surcote instantanée
- **pics de surcote instantanée > 1m** : 65% des événements : identification et synthèse des événements marquants par zone (Manche orientale, Manche occidentale, Atlantique Nord Gironde, Atlantique Nord Aquitaine)



← Exemple Manche orientale

25-26 janvier 1990

- pics de SI exceptionnels à Boulogne-sur-Mer (200 cm) et au Havre (200 cm)
- hauteurs observées par ailleurs < PHMA (concomitance pics avec BM)

Exemple Littoral Atlantique-Manche

1-2 décembre 1976

- maximas de SI >~ 100 cm sauf Bretagne.
- maintien d'une SI > 60 cm pendant 60h à Port Bloc et Bayonne.

A mettre en relation avec les données météorologiques

