

3 & 4 JUILLET 2018

LES JOURNÉES NATIONALES  
**GÉONUMÉRIQUES**  
DE L'AFIGÉO ET DÉCRYPTAGÉO

CARRÉ DES DOCKS - LE HAVRE - NORMANDIE

L'utilisation des données historiques  
pour  
comprendre l'évolution du littoral

**Corine Lochet pour ;  
Yann Ferret,  
Nicolas Weber  
Shom**



# INTÉRÊT DU "DATA-RESCUE" EN MARÉGRAPHIE : DES ARCHIVES PAPIERS À L'ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DU NIVEAU MARIN

*Exemple de la reconstruction de la série marégraphique de Saint-Nazaire depuis le 19ème siècle*

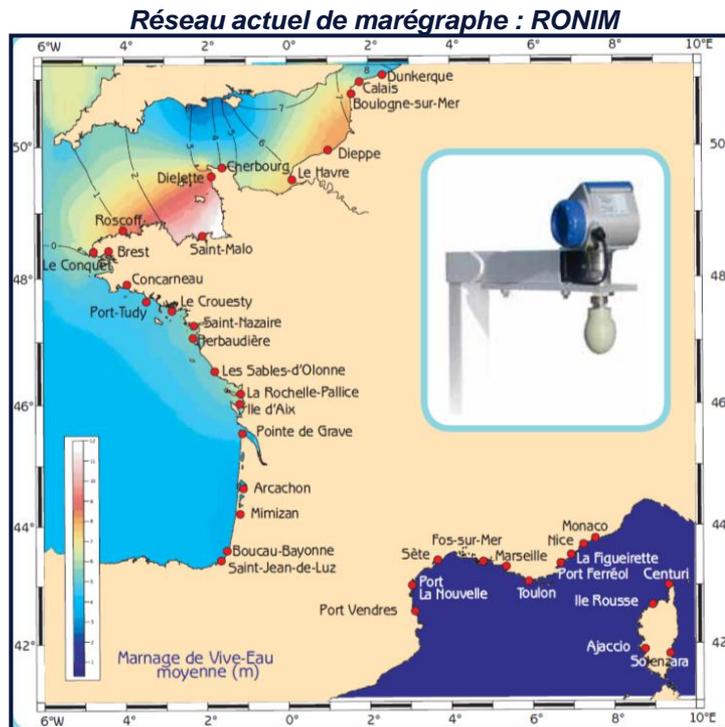
Corine Lochet pour;

Yann Ferret, Swann Lorrette-Riberolles, Vincent Donato, Nicolas Pouvreau



L'utilisation des données marégraphiques ponctuelles permet l'étude des différentes composantes du niveau marin :

- **Tendance du niveau marin** (échelle pluriannuelle ... décennale ... séculaire)
- **Evènements extrêmes** – Tempêtes, tsunamis (échelles de quelques heures - jours)
- **Evènements haute fréquence** (Seiches portuaires)
- ...

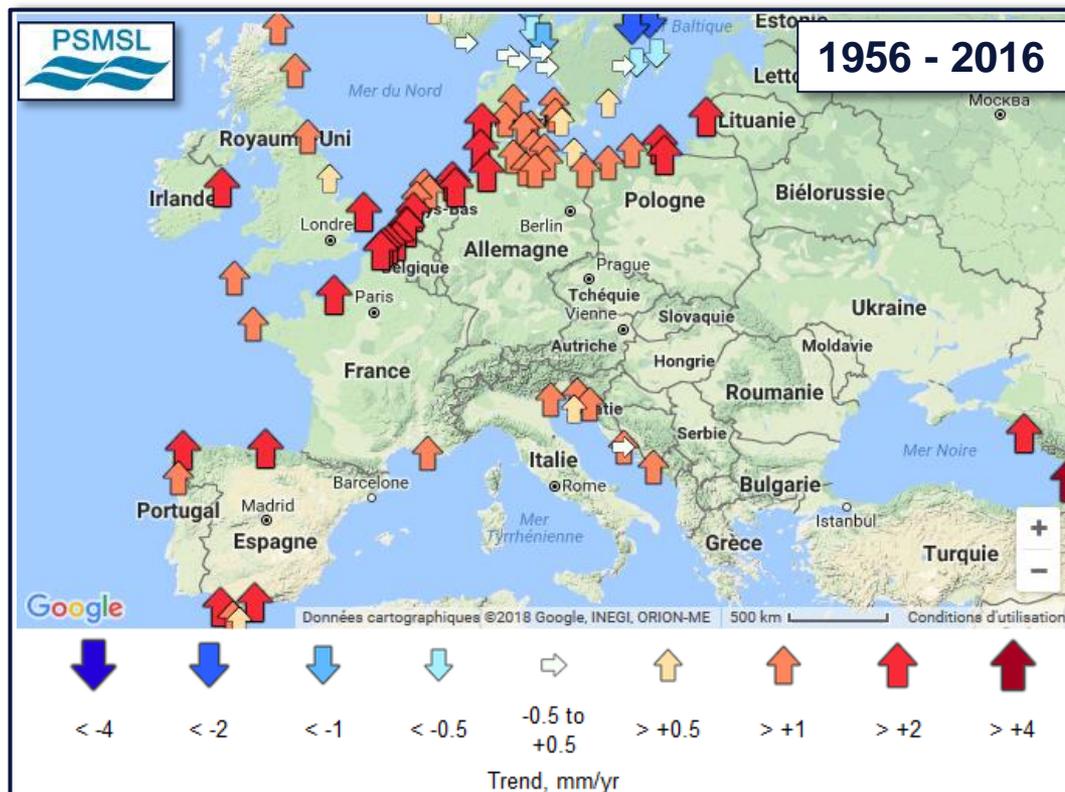


Données numériques depuis 1992 ([data.shom.fr](http://data.shom.fr))

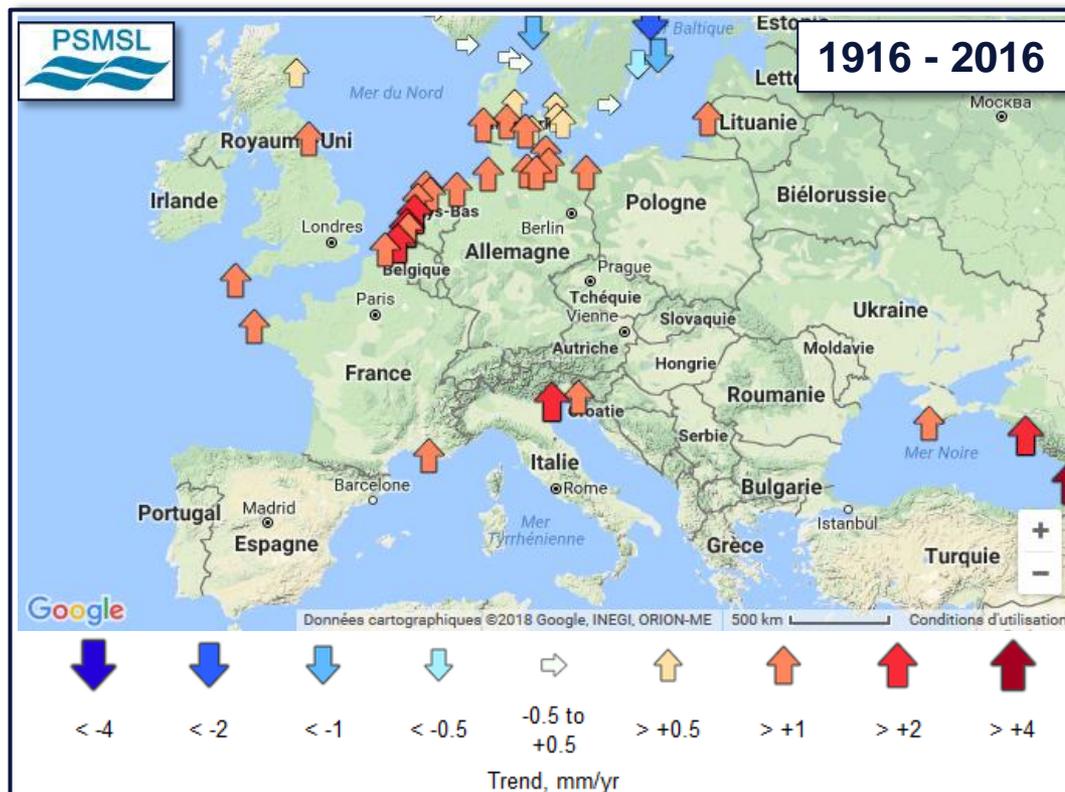
### Applications multiples :

- Prédiction de marée
- Gestion intégrée des zones côtières
- Réseaux d'alertes aux ondes de tempêtes et aux tsunamis
- Calibration des mesures satellitaires
- **Etude de l'évolution du niveau moyen des mers**
- **Nécessité d'avoir des mesures marégraphiques les plus longues et les plus continues possibles**

Tendances du niveau relatif de la mer en Europe occidentale :



Tendances du **niveau relatif** de la mer en Europe occidentale :



Seules les séries de Brest, Marseille et du pertuis d'Antioche, d'une durée supérieure à 100 ans, sont disponibles au format numérique

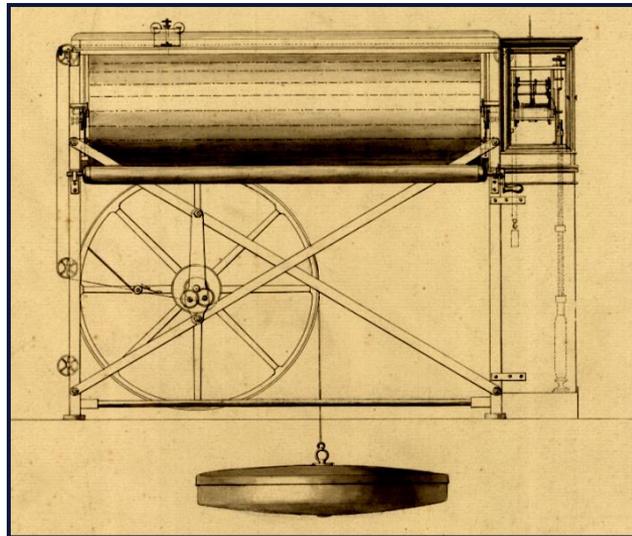
Peu de données exploitées ...

... **malgré un riche patrimoine français:**

Dès le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle:

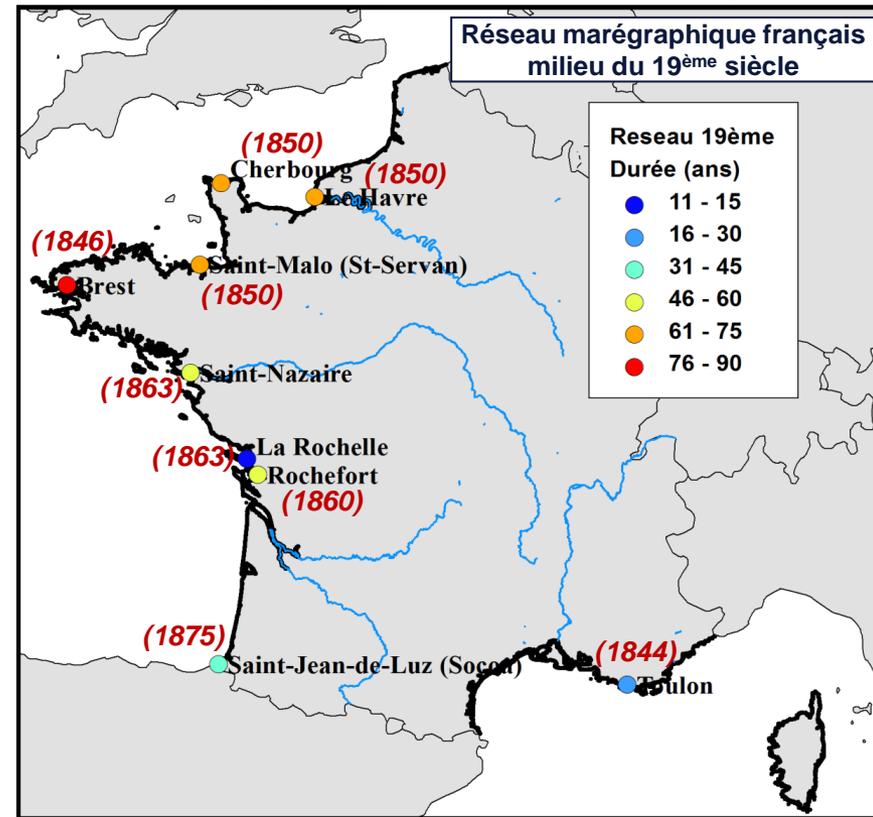
- mesure automatique et continue des hauteurs d'eau (marégraphe)
- Développement d'un réseau marégraphe

Plan du marégraphe Chazallon



(SHOM, cote 12-7-47-1)

Réseau de marégraphe géré par le Service Hydrographique



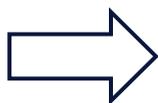
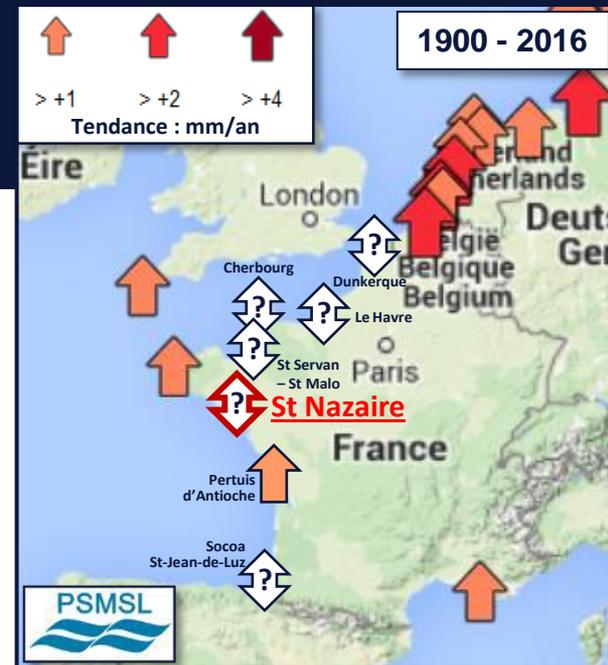
# CONTEXTE GÉNÉRAL

INTÉRÊTS DE LA DONNÉE HISTORIQUE : DATA RESCUE

**Or, à l'échelle de temps séculaire, peu de données sont actuellement exploitées car toujours au format papier.**

Besoin d'inventorier avec précision ces données (complément du travail de N. Pouvreau, 2008) et de les digitaliser afin de les rendre exploitables !!!

« Data Rescue » (Demande GLOSS)



**Inventaire détaillé des archives marégraphiques du Shom en cours !  
Appel aux stocks!**

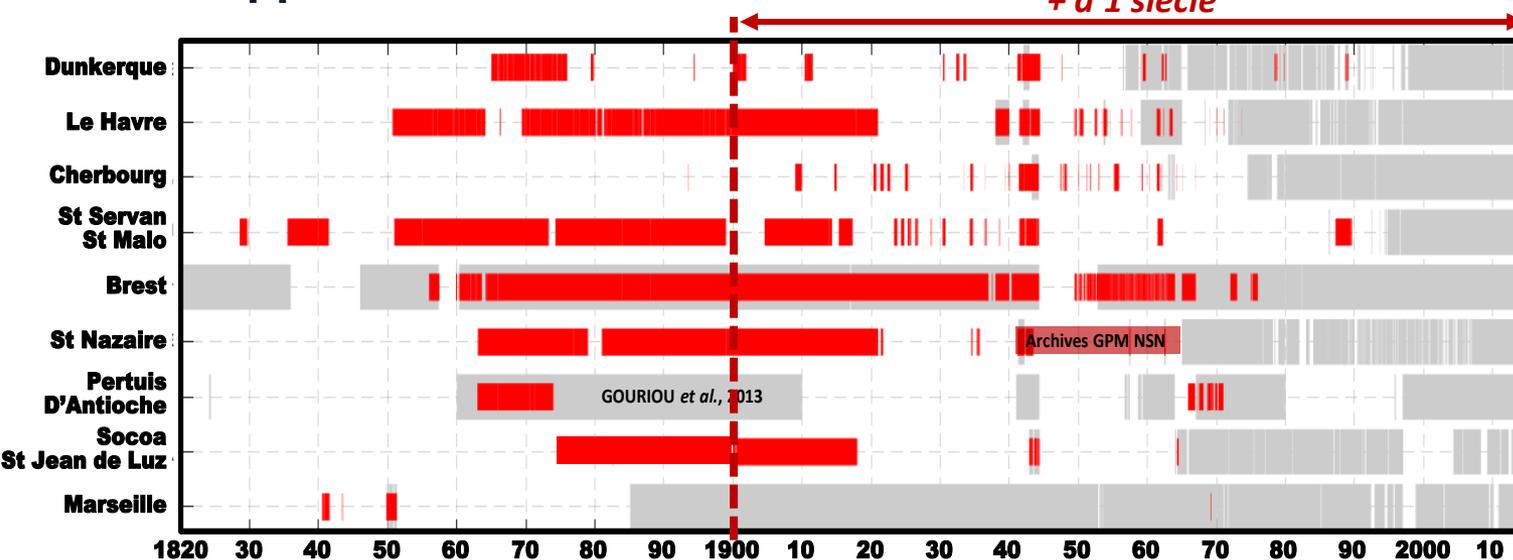


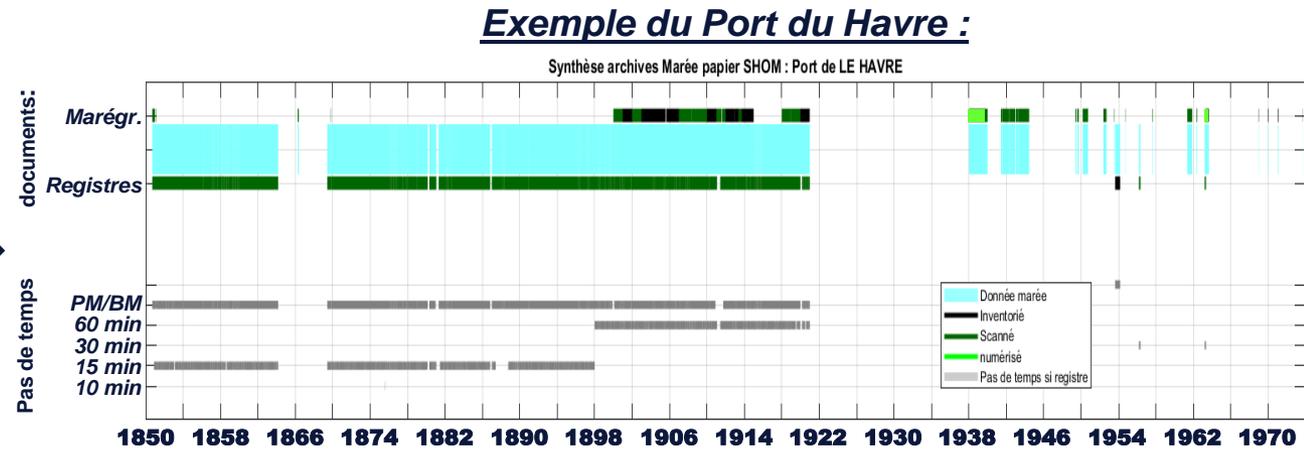
**Données num.**

+

SH M

**Archives papiers (Marégrammes, Registres, ... ) EN COURS D'INVENTAIRE**





### Registres de marée :

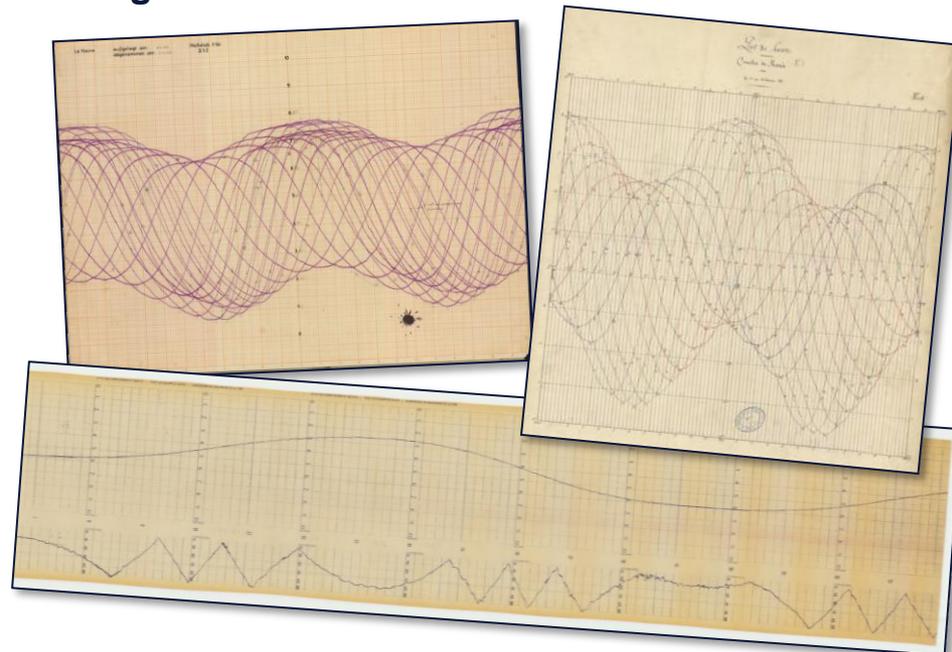


### Tableaux de mesures :

- Journaux bimensuels des marées (PM-BM,...)
- Hauteurs d'eau toutes les [5 - 60] minutes
- ...



### Marégrammes : **WANTED POST 1922 !**



+ de 50 000 documents inventoriés

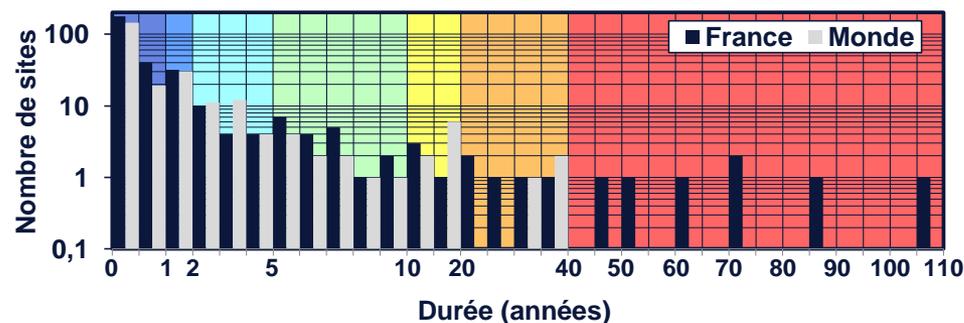
En France métropolitaine :

- environ 1000 années cumulées de mesures marégraphiques (~ 300 sites)

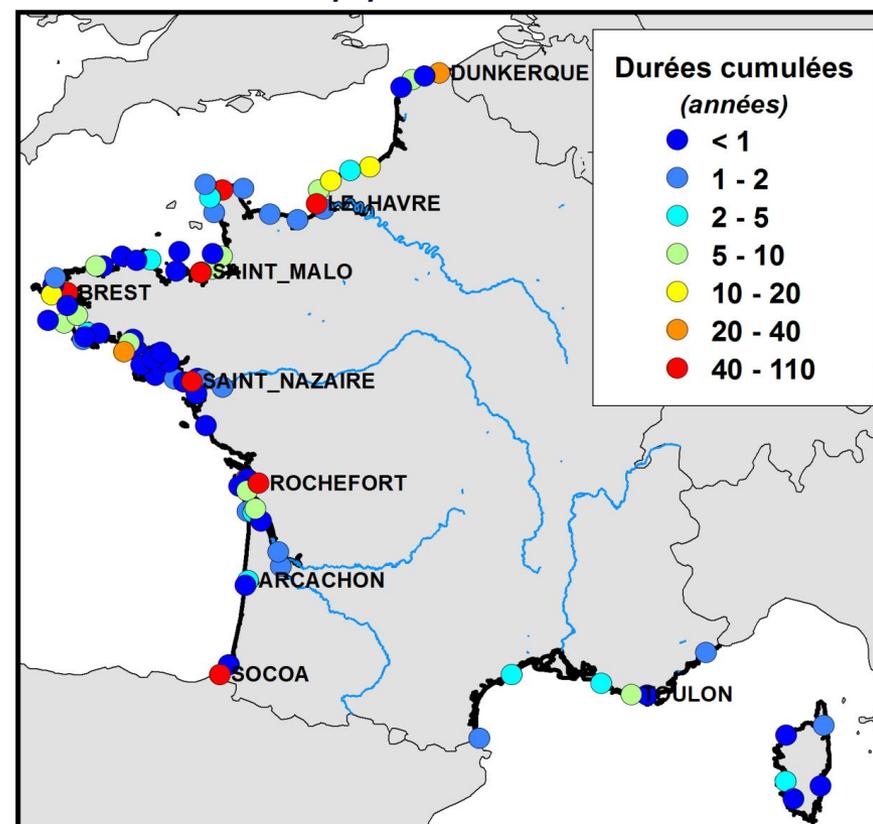
Ailleurs dans le monde :

(Sénégal, Nouvelle-Calédonie, Tunisie, Vietnam, Madagascar, Réunion, ...)

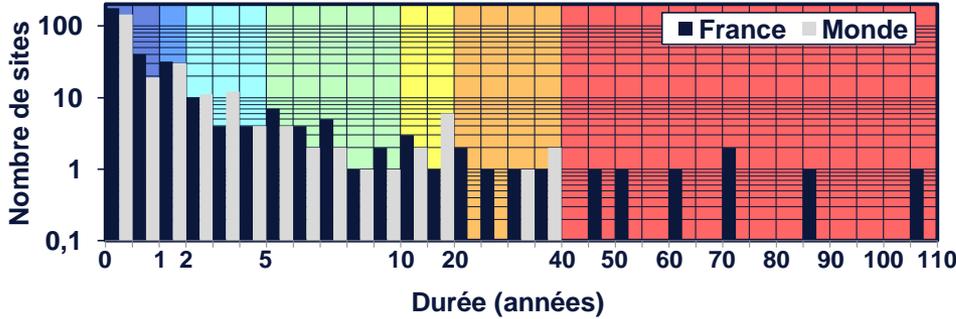
- Environ 470 années cumulées de mesures (~ 240 sites)



Distribution spatiale, en France métropolitaine, d'une partie des archives papiers inventoriées au Shom



Etude de l'évolution du niveau moyen des mers



## Identification et étude des événements extrêmes

## Poster de N. GILOY

### La base de données TEMPETES : un support pour une expertise collégiale et interdisciplinaire des informations historiques de tempêtes et de submersions

Au cours de la dernière décennie, la tempête Synthia et d'autres ont marqué l'actualité de par leur intensité et les dégâts causés lors de leur passage sur le territoire français. Ces événements peuvent donner l'impression qu'ils n'ont été "jamais vu par le passé", mais le recensement des tempêtes plus anciennes (1953, 1987, 1999...) montre que de tels phénomènes surviennent en fait régulièrement sur le littoral métropolitain. Dès lors, la collecte et l'analyse d'informations historiques apparaissent incontournables pour améliorer la prévention des risques littoraux, en particulier liés à la submersion marine. Afin de mutualiser les informations disponibles en France, une base de données relationnelle et spatiale a été développée au sein de l'IRSN. En parallèle à l'élaboration de cette base de données, un groupe de travail interdisciplinaire s'est constitué. Un axe majeur de travail est l'intégration de nouvelles données historiques issues de divers archives dans la base de données, ainsi que leur interprétation et la quantification des niveaux marins associés.

#### La base de données TEMPETES

Pour répondre aux besoins d'expertise en sûreté nucléaire, l'IRSN a créé en 2015 une base de données regroupant les données et documents disponibles et intégrés dans une base de données relationnelle à des tempêtes ou des submersions littorales sur le littoral Atlantique et Méditerranéen. Les données disponibles dans la base sont essentiellement publiques, la BDT TEMPETES est ouverte à la lecture open source.

**TEMPETES** : évènements pour lequel aucune mention d'inondation / franchissement existe dans la source

**SUBMERSION** : évènements pour lequel aucune source disponible ne fait mention d'inondation, mais qui est susceptible d'avoir causé une submersion

Base de données PostgreSQL avec extension spatiale via PostGIS

Structure de la base de données

Détails spatiaux dans la base de données

**Evénement** : information relative à la date d'un événement (tempête et/ou submersion)

**Source** : information relative à l'auteur et au document faisant mention d'un évènement, la qualification d'une source et la classification d'un évènement

**Contributeur** : nom de la table source, contenant les informations relatives aux contributeurs ayant accès à la table source, contenant les informations relatives aux contributeurs ayant accès à la base de données

**Niveau Marin** : extraction des informations stockées dans la table source afin de séparer l'information qualitative et l'information quantitative

**Région** : table spatiale, avec information géographique de type polygone

**Localité** : table spatiale, avec information géographique de type point, contenant les régions et pays touchés par un évènement

**Localité** : table spatiale, avec information géographique de type point, contenant les localités (municipalités, villes ou lieux-dits) touchés par un évènement

La structure de la base de données n'est pas figée, il est possible d'ajouter de nouvelles tables.

- Qualité des 1300 sources qui décrivent les évènements selon la classification proposée par Ferrel et al., 2017 (à revoir)
- La base de données est un référentiel de données publiques collectées sur divers supports (presse, livres, ouvrages, journaux, etc.)
- Informations collectées sur divers supports (presse, livres, ouvrages, journaux, etc.)
- Informations collectées sur divers supports (presse, livres, ouvrages, journaux, etc.)
- Informations collectées sur divers supports (presse, livres, ouvrages, journaux, etc.)
- Informations collectées sur divers supports (presse, livres, ouvrages, journaux, etc.)

En février 2016 la base de données compte 487 évènements sur une période qui s'étend à ce jour du 1er au 31er janvier 1953 à 2015 (soit 62 évènements et 227 tempêtes dans mention de submersion).

Repartition spatiale des évènements par région et pays.

Processus : si un évènement a touché une région française particulière, à la date, touche la région France.

#### Exemple: La Rochelle

Recherche : Sélection des évènements de submersion ayant touché la Rochelle

**Analyse des sources** pour différencier si la source est quantitative ou non et comprendre avec les données géométriques

**10 Août 1516** : La ville de La Rochelle fut envahie par les eaux de la mer. Les habitants furent obligés de fuir la ville et de se réfugier dans les vignes et champs.

**1606** : Le 10 Août 1606, la ville de La Rochelle fut envahie par les eaux de la mer. Les habitants furent obligés de fuir la ville et de se réfugier dans les vignes et champs.

**29 Janvier 1649** : Le 29 Janvier 1649, la ville de La Rochelle fut envahie par les eaux de la mer. Les habitants furent obligés de fuir la ville et de se réfugier dans les vignes et champs.

**29 Janvier 1890** : Le 29 Janvier 1890, la ville de La Rochelle fut envahie par les eaux de la mer. Les habitants furent obligés de fuir la ville et de se réfugier dans les vignes et champs.

#### Le Groupe de Travail

Lors des journées REFMAR 2016, l'objectif d'un groupe de travail pluridisciplinaire sur le sujet des submersions et tempêtes historiques a été défini. Ce groupe de travail pluridisciplinaire a été constitué et regroupe des experts en histoire, géographie, océanographie, et hydrologie. Le groupe de travail pluridisciplinaire a été constitué et regroupe des experts en histoire, géographie, océanographie, et hydrologie.

**Objectifs et Perspectives**

**Base de données :**

- Continuer l'alimentation de la base de données
- Possibilité d'élargir la zone d'étude et la fenêtre temporelle
- Possibilité d'ajouter de nouvelles tables dédiées à d'autres variables

Faciliter le renseignement ainsi que l'exploitation de la base de données

**Groupe de Travail :**

- Continuer l'alimentation de la base de données
- Intégrer les données historiques issues des travaux menés par les différents partenaires
- Mettre en place une démarche d'intégration de données historiques, en quantifiant et en validant de nouveaux niveaux marins et de sources ainsi que l'optimisation d'incertitudes associées
- Appliquer cette démarche sur des sites d'intérêt et disposer d'une analyse critique collective sur ces applications (ex : Fiches tempêtes)
- Intégrer à terme ces nouvelles connaissances dans la base de données publique TEMPETES

- **Pérenniser / sauvegarder le patrimoine historique** que sont les observations du niveau de la mer des décennies passées
- **Améliorer la connaissance de l'évolution du niveau marin**
- **Apporter des éléments primordiaux pour l'étude séculaire des niveaux extrêmes**
- **MODELES INTERNATIONAUX - CLIMATE CHANGE**

## Exemple de la reconstruction de la série marégraphique historique de Saint-Nazaire :

- **Illustration du travail à réaliser pour rendre ces données exploitables**
- **Appréhension de l'influence locale de la Loire et/ou des modifications anthropiques sur l'évolution des composantes du niveau marin observées.**



# RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE

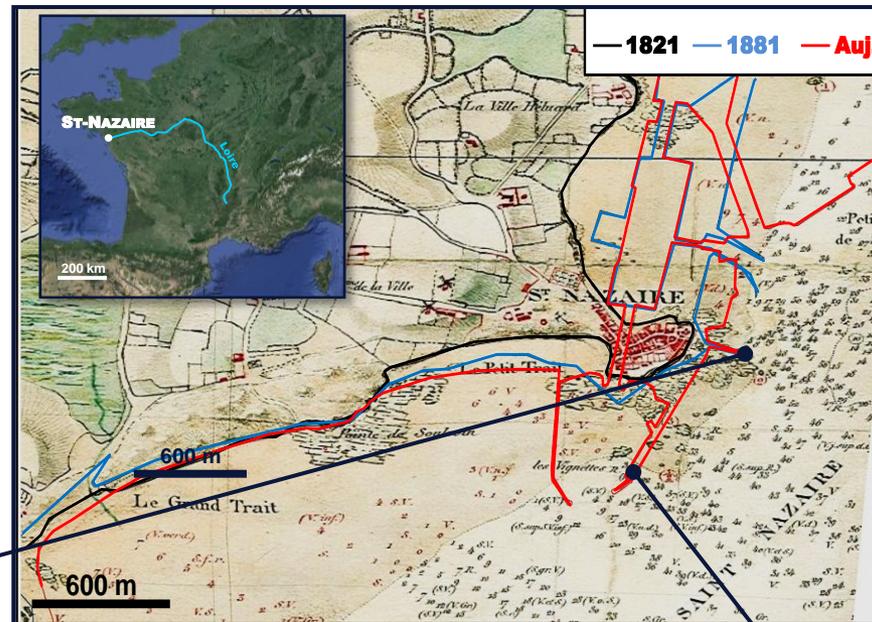
ZONE D'ÉTUDE : OBSERVATOIRE DE SAINT-NAZAIRE



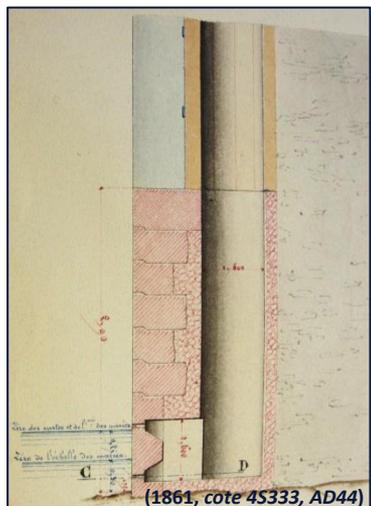
Depuis 1863, un marégraphe est installé à Saint-Nazaire, à l'embouchure de de la Loire (macrotidal)

Depuis le 19ème siècle :

- évolution du trait de côte due aux activités anthropiques (Développement portuaire)
- Changement de la localisation du marégraphe (1951 ... 2 sites)



Plan de la base du puits de tranquillisation

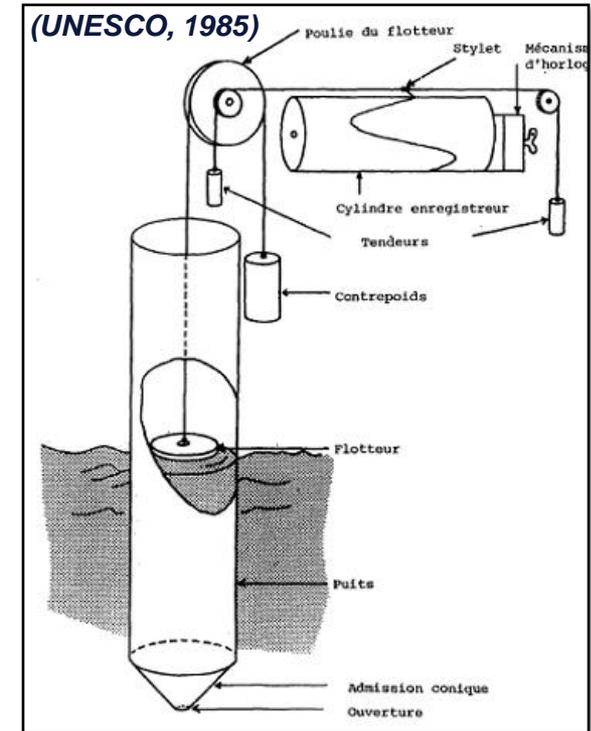


Observatoire marégraphe actuel, « avant port » (Mesures depuis 1951)

Depuis 1863, un marégraphe est installé à Saint-Nazaire, à l'embouchure de de la Loire (macrotidal)

Depuis le 19ème siècle :

- **évolution du trait de côte due aux activités anthropiques** (Développement portuaire)
- **Changement de la localisation du marégraphe** (1951 ... 2 sites)
- **Evolution du type d'instrument utilisé:**
  - Marégraphe à flotteur
  - Depuis 2007, marégraphe radar (réseau marégraphe RONIM)



Principe de fonctionnement d'un marégraphe à flotteur



Marégraphe radar  
à ondes guidées

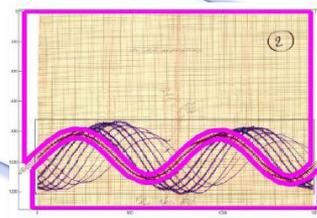
### Des archives marégraphiques papiers...



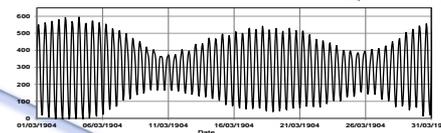
**Inventaire, recherches d'archives**  
(Shom, archives départementales, GPM, Collectivités, ...)



**Dématérialisation des documents**  
(Scannage)



**Extraction de la donnée de hauteur d'eau**  
(digitalisation)



**Qualification, mise en cohérence et validation des données digitalisées**

**... aux données numériques exploitables**

# RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE

## 1. RECHERCHE DES ARCHIVES MARÉGRAPHIQUES

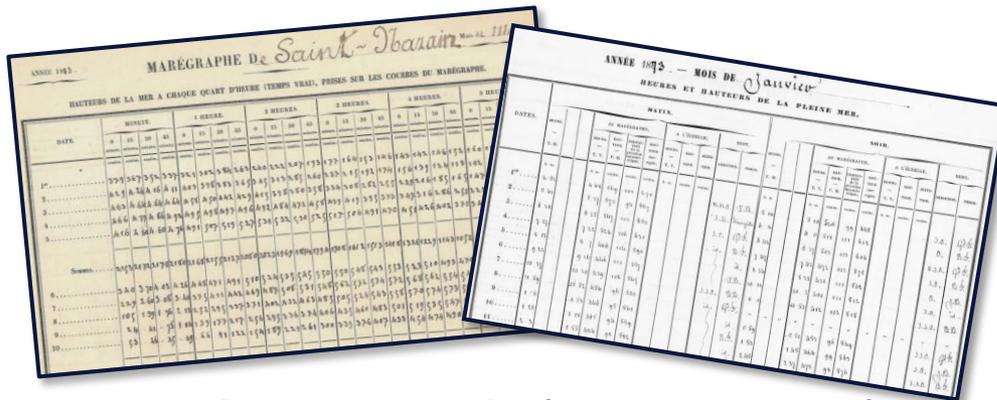


Documents existant relatifs à l'observation du niveau marin à Saint-Nazaire dispersés dans plusieurs centres d'archive en France



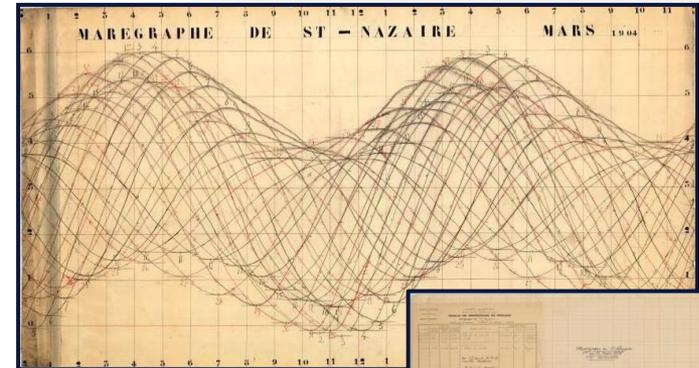
**1<sup>ères</sup> mesures identifiées : 1821**

Observations diurnes tous les  $\frac{1}{4}$  h sur une échelle de marée temporaire (pour réduction de sondes).



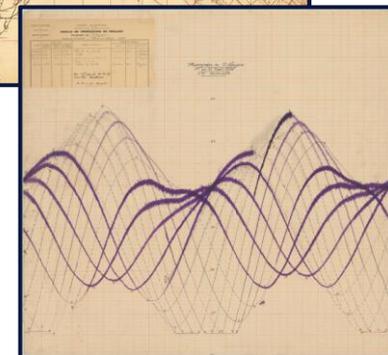
**Registres manuscrits (1863 – 1920; 1925):**

Extraction des hauteurs d'eau (pas de temps:  $\frac{1}{4}$ h – 1h)  
Journaux bimensuels des marées (PM-BM,...)



**Marégrammes  
(1932 – 1964):**

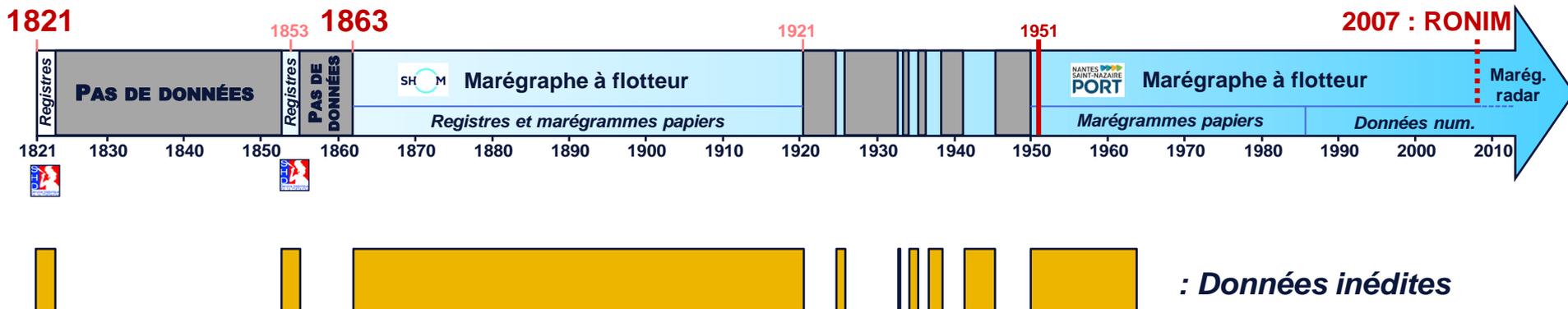
2 semaines à 1 mois de  
mesures continues



# RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE



## 1. RECHERCHE DES ARCHIVES MARÉGRAPHIQUES



### Localisation

Extrémité du Vieux Môle

Avant-port, jetée est

### Marégraphe

Type Chazallon

OTT

Brillié

Château

Pneumatique

Au total, les données recensées couvrent une période longue de 190 ans, incluant au moins 125 ans de mesures continues du niveau marin à Saint-Nazaire

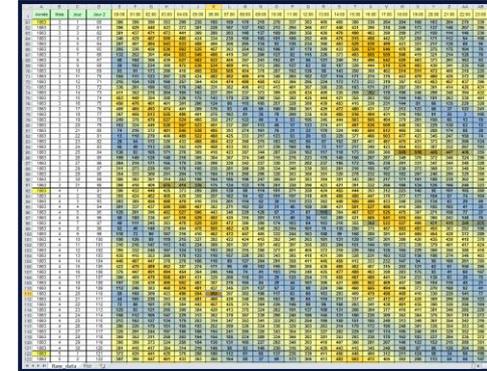
→ Plus de 80 années inédites

### Registres manuscrits:

Digitalisés manuellement

(~ 500.000 valeurs horaires)

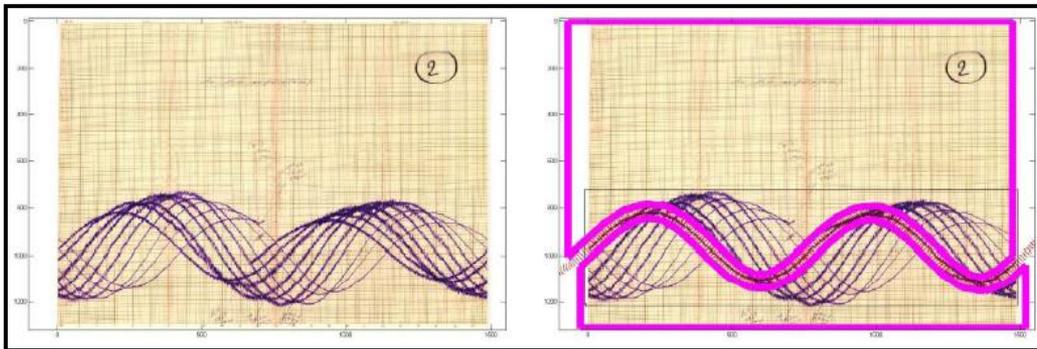
+ procédures de vérification pour identifier les erreurs de transcription lors de numérisation et/ou par observateurs



### Marégrammes papiers:

- Scannage (> 1 km de documents scanné)
- Numérisation : logiciel NUNIEAU (CEREMA)

Logiciel **NUNIEAU** (NUmérisation des Niveaux d'EAU) mis à disposition gratuitement pour numériser de façon **semi-automatique** les marégrammes papiers. Il se base sur un algorithme de reconnaissance des couleurs pour extraire le signal de marée (pas de temps paramétrable selon qualité du marégramme). 2 ANS NUM-VALIDATION 1AN



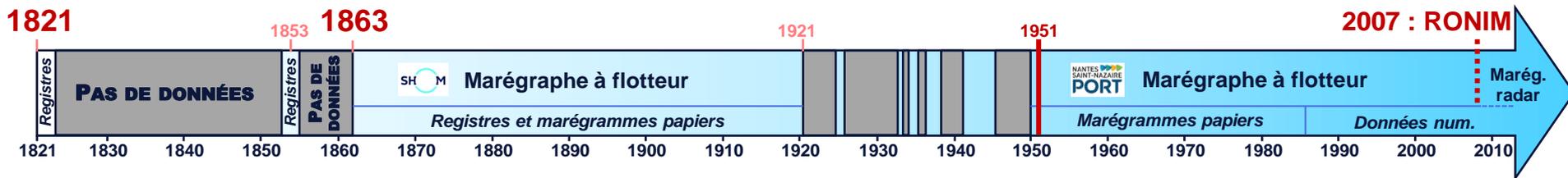
Environ 8000 courbes journalières de marée ont été extraites dans le cadre de ce projet

<http://www.mediterranee.cerema.fr/logiciel-de-numerisation-des-enregistrements-r57.html>

# RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE



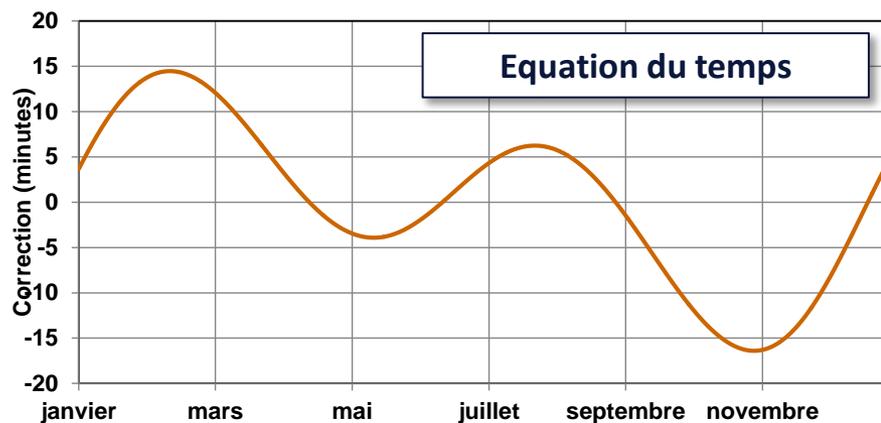
## 3. HOMOGENÉISATION DES DONNÉES DIGITALISÉES



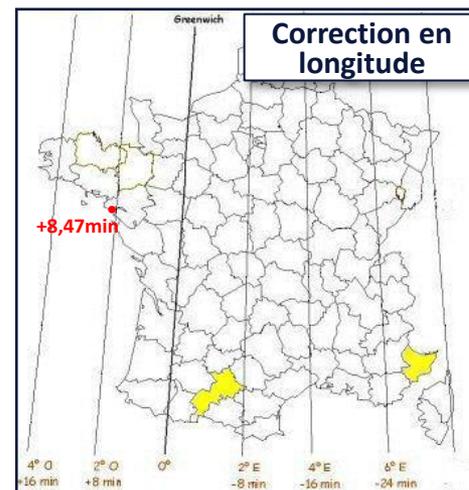
### Mise en cohérence temporelle (TSV → TSM → TU)



Systèmes de temps



TSV → TSM

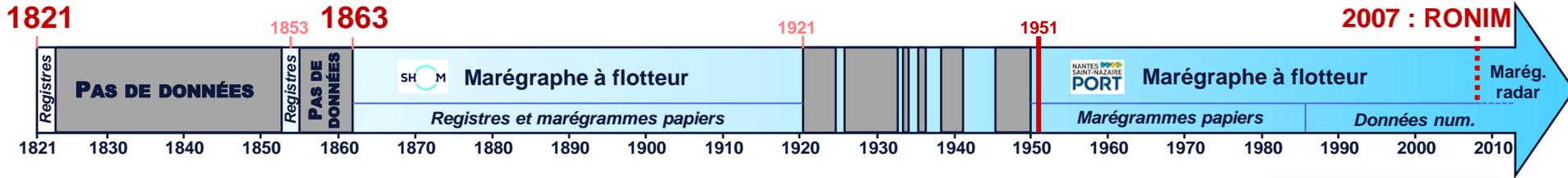


TSM → TU

# RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE



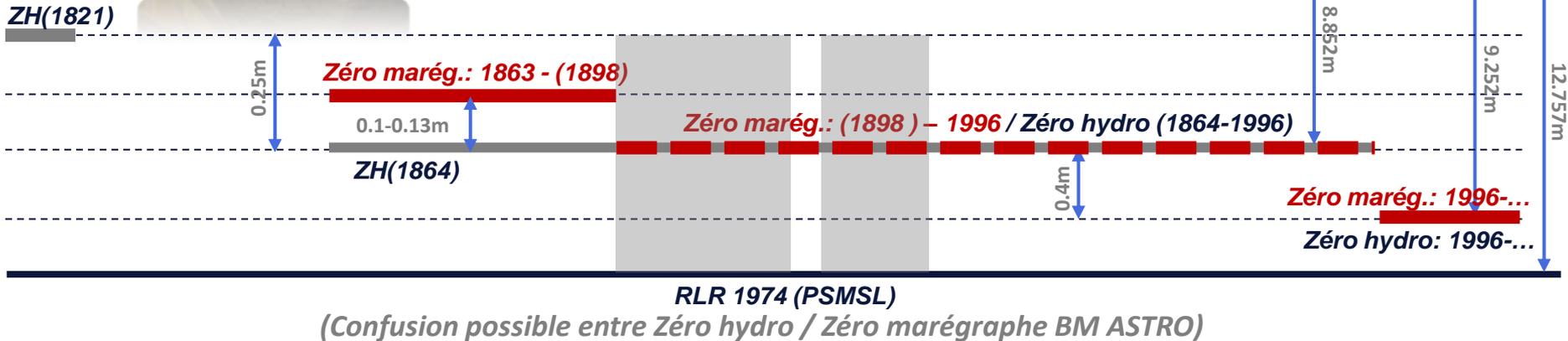
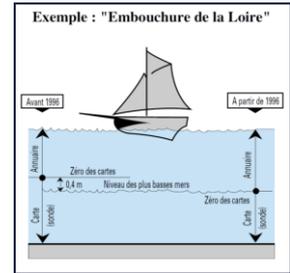
## 3. HOMOGENÉISATION DES DONNÉES DIGITALISÉES



### Mise en cohérence verticale (selon ZH96)



Repère IGN NGF OKS69



RLR 1974 (PSMSL)

(Confusion possible entre Zéro hydro / Zéro marégraphie BM ASTRO)



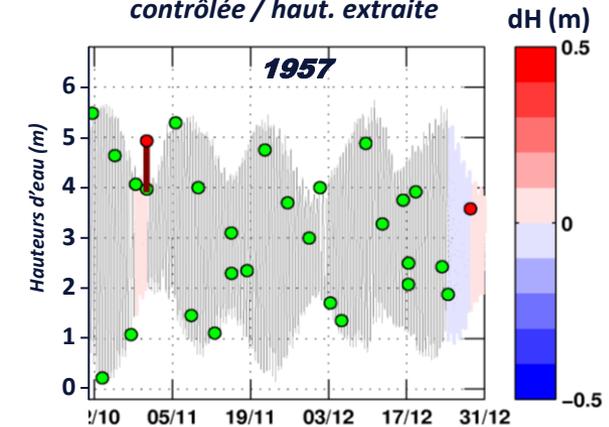
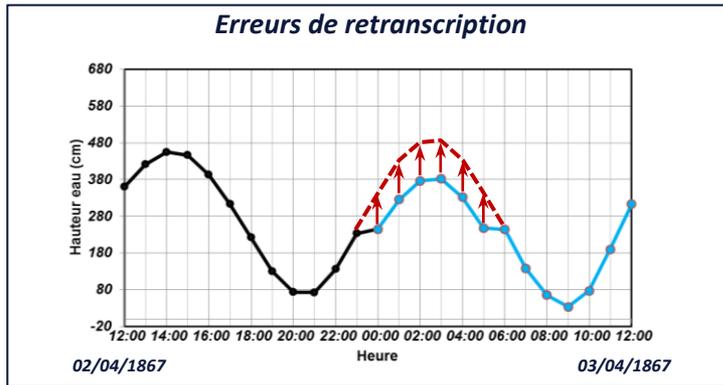
Pour certaines périodes, le zéro du marégraphe reste incertain  
ERREURS CALAGES PAR OPERATEURS

- **Prise en compte des contrôles lors des mesures**
- **Identifications des sauts verticaux et/ou temporels** (contrôles visuels, traitement du signal par filtrage de fréquence, ...)
- **Comparaison avec les prédictions** (étude des résidus)
- ...

Feuille de contrôle associée au marégramme

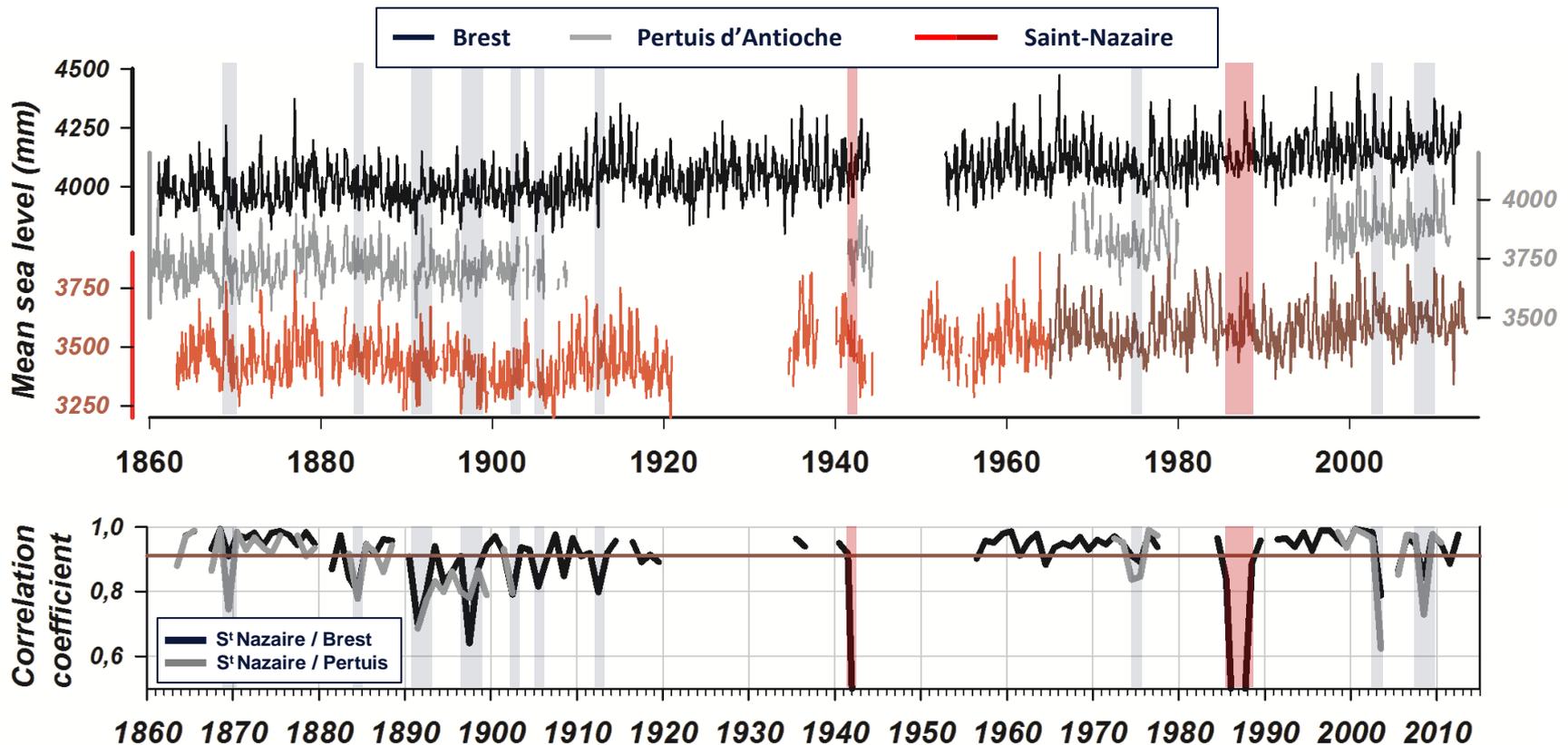
DATES	HEURES			HAUTEURS			OBSERVATIONS (1)
	exactes (T.U.)	enregistrées sur le graphique	indiquées par l'horloge du marégraphe	Echelle de marée	Ruban gradué	Diagramme enregistré	
15/6/57	13 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	1,24	1,24	1,24	non de la feuille

Comparaison hauteur contrôlée / haut. extraite



**Identification des erreurs, anomalies, ...**  
**Corrections / suppression, validation**

Qualité des mesures vérifiée en comparant des séries de hauteurs d'eau mesurées à proximité (stations régulièrement soumises aux mêmes conditions atmosphériques à large échelle) **CALAGE AVEC LES STATIONS VOISINES LORSQUE POSSIBLE**

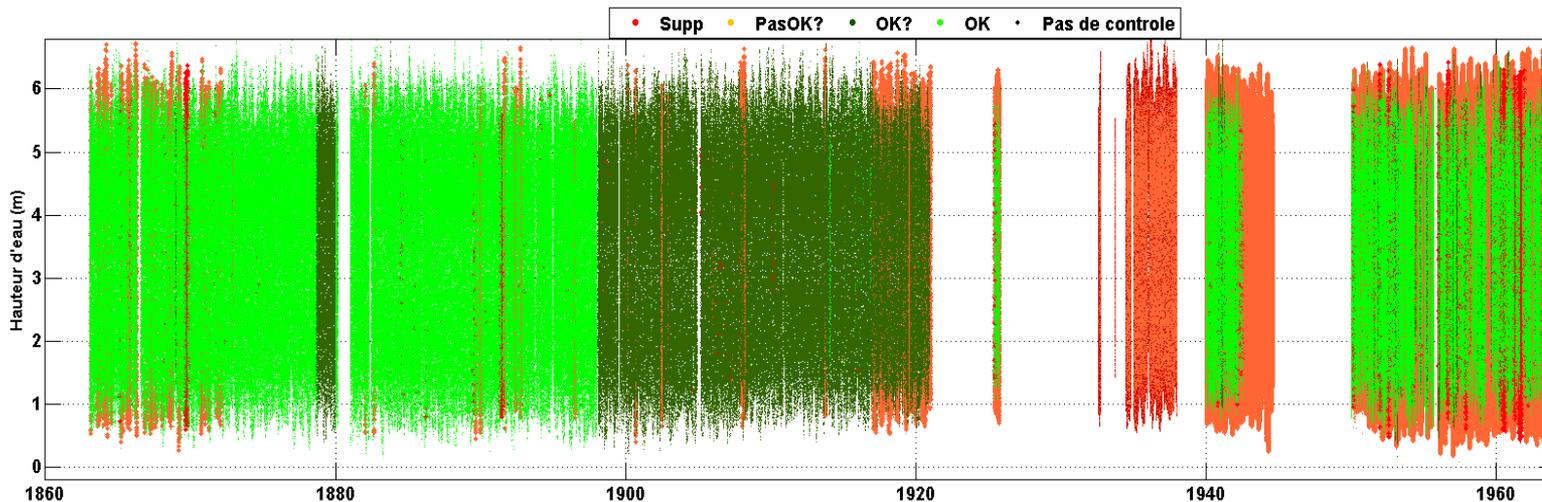


**GLOBALEMENT, DONNÉES DE BONNE QUALITÉ**



### Qualification des données digitalisées :

- Pas de contrôle
- Bonne (53%)
- Probablement bonne (30%)
- Probablement mauvaise (15%)  
(Suspicion d'envasement, mauvais calage...)
- Mauvaise = supprimée (1 %)

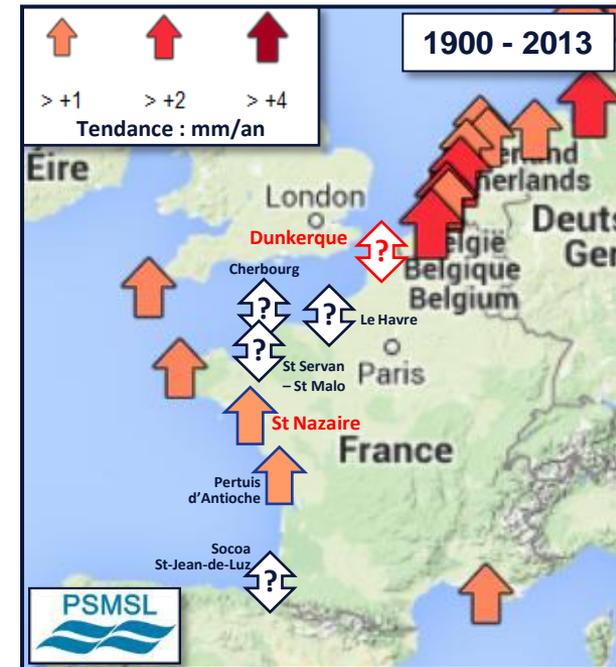


Calcul des niveaux moyens journaliers, mensuels et annuels à Saint-Nazaire à partir de la série marégraphique reconstruite qualifiée ; corrections temporelles et corrections en hauteurs appliquées pour rendre la série cohérente

*Niveau moyens annuels mesurés à Saint-Nazaire depuis 1863 :  
Calculs de tendances en fonction la durée considérée*

### Tendances de l'évolution du niveau moyen de la mer à St-Nazaire :

- [1863 – 2014] de l'ordre de  $+1.03 \pm 0.05$  mm/an
- [1950 – 2014] estimée à  $+1.59 \pm 0.22$  mm/an
- calculées avec moins de 30 ans de données ; très variables → fortement influencées par les régimes climatiques interannuels à large échelle.



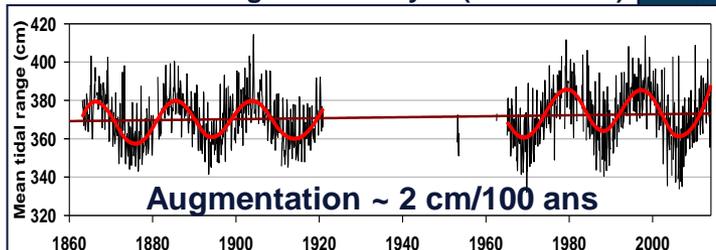
**Modifications anthropiques importantes en Loire lors du siècle dernier ! (dragage, chenaux de navigation, développement portuaire, ...)**

Impact modéré en aval !

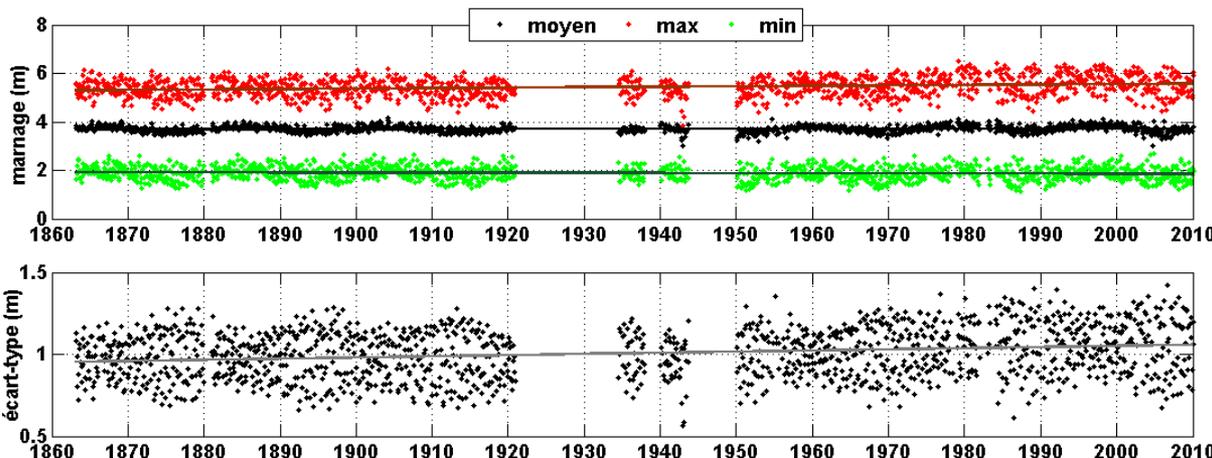
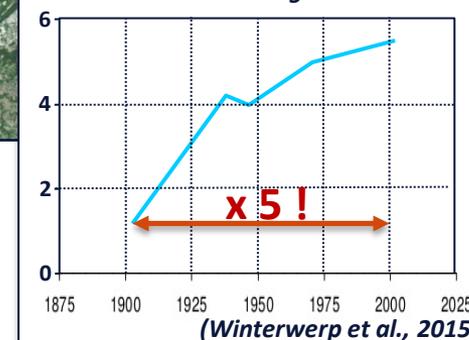
Impact fort sur le marnage en amont !



Evolution du marnage mens. Moyen (St -Nazaire)



Evolution du marnage à Nantes

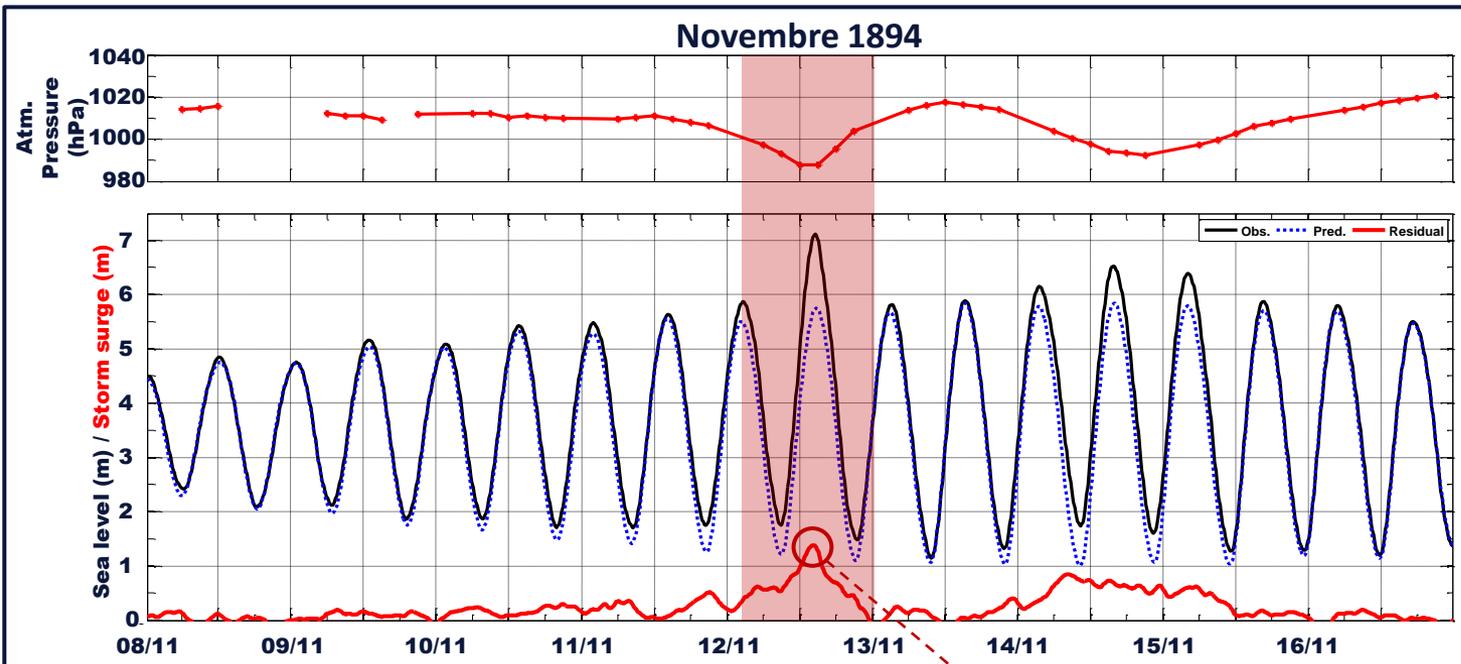


Dans le détail :

- l'écart-types des marnages mens. augmente (+0.71 mm / an)
- PM max de + en + hautes (+1.85 mm/an)
- BM min de + en + basses (-0.44mm/an)

### Etude des évènements exceptionnels :

L'identification et la prise en compte des **surcotes historiques, non-quantifiées jusqu'alors**, permet **d'améliorer les statistiques sur la tendances des niveaux marins extrêmes**.



*“Le 12 Novembre, de midi à 5h du soir, une violente tempête, ouragan même, s’est déchainé sur nos côtes de Bretagne. Le marégraphe de St-Nazaire [...] a été particulièrement éprouvé.”*  
A.Evain (Nov. 1894)

**Surcote de 1.38 m**

Aspect  
opérationnel



**Vraiment utile pour  
aider à une  
meilleure définition  
des PPRN  
(Risques littoraux  
(érosion, ...),  
Inondation, ...**

... cf. rapport d'étude téléchargeable

Rapport d'étude  
**SHOM**

Septembre  
2016

Reconstruction de la série marégraphique  
de Saint-Nazaire  
par Yann Ferret

Archives du GPM Nantes Saint-Nazaire

Recherche archives

Marigramme

Registres papiers

Signal historique numérique

Numérisation

Etapes inhérentes à la numérisation des données marégraphiques

Rapport Shom 2016 Reconstruction Saint-Nazaire

Service hydrographique et océanographique de la marine

# En savoir plus

[www.shom.fr](http://www.shom.fr)

[yann.ferret@shom.fr](mailto:yann.ferret@shom.fr)

[nicolas.weber@shom.fr](mailto:nicolas.weber@shom.fr)

