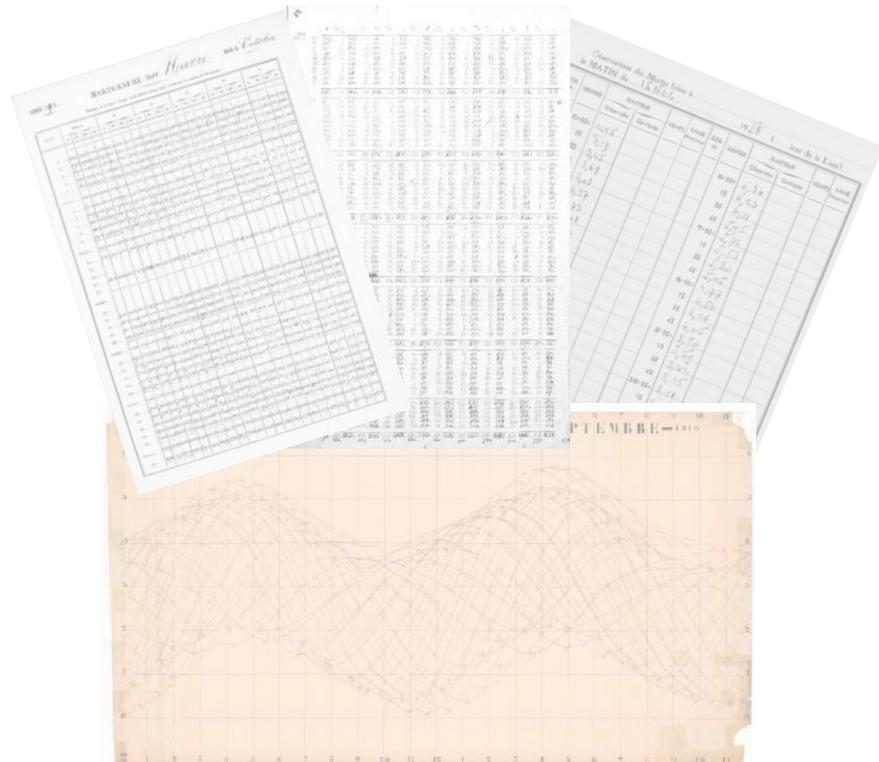




# LES ACTIVITÉS DE RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE EN FRANCE



**Nathalie Giloy**

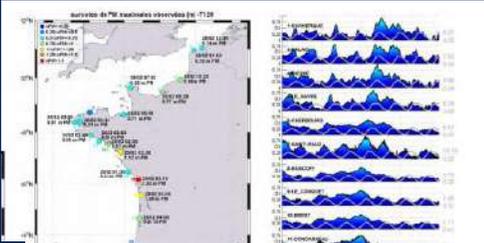
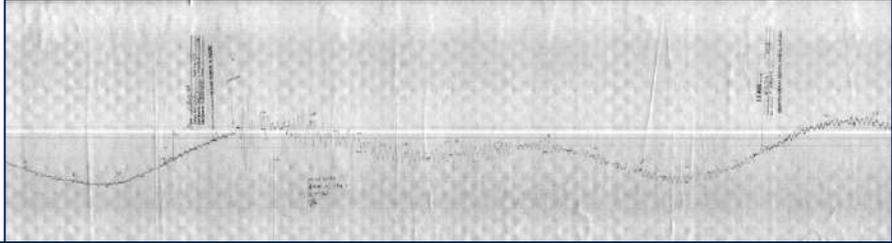
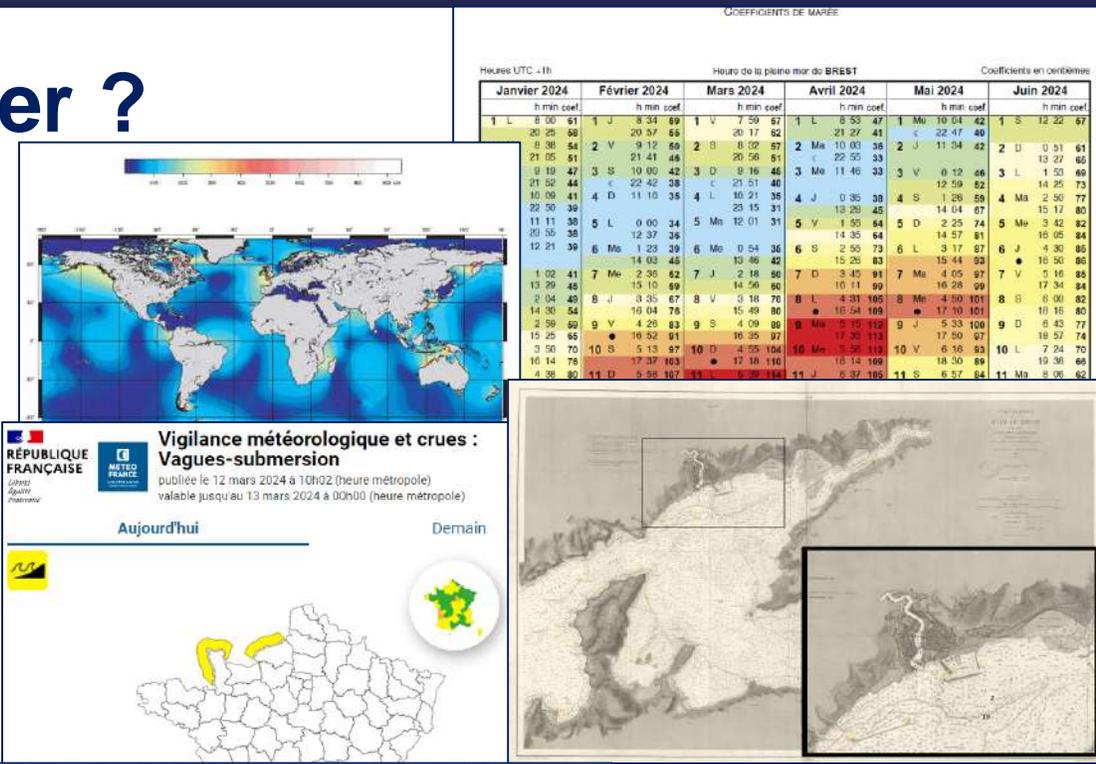
Inge van den Beld, Alexa Latapy, Nicolas Pouvreau

[nathalie.giloy@shom.fr](mailto:nathalie.giloy@shom.fr)



## Pourquoi mesurer le niveau de la mer ?

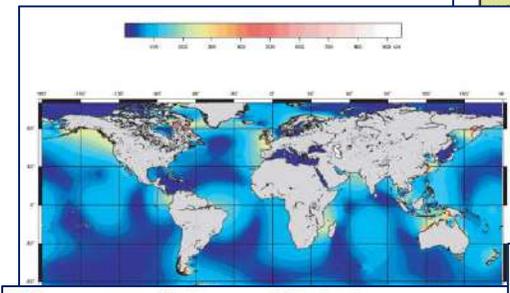
1. Prédications de Marée
2. Étude de la Marée et de son évolution dans le temps
3. Sécurité de la Navigation
4. Hydrographie
5. Contribution à la Vigilance Vagues Submersion
6. Études des Niveaux Extrêmes
7. Évolution du Niveau de la Mer
8. Calibration altimètres radars
9. Calibration et calage de modèles hydrodynamiques
10. Réseau d'alerte au tsunami





## Pourquoi mesurer le niveau de la mer ?

1. Prédications de Marée
2. Étude de la Marée et de son évolution dans le temps
3. Sécurité de la Navigation
4. Hydrographie
5. Contribution à la Vigilance Vagues Submersion
6. Études des Niveaux Extrêmes
7. Évolution du Niveau de la Mer
8. Calibration altimètres radars
9. Calibration et calage de modèles hydrodynamiques
10. Réseau d'alerte au tsunami



COEFFICIENTS DE MAREE

Heures UTC -1h

Heure de la pleine mer de BREST

Coefficients en centièmes

Janvier 2024		Février 2024		Mars 2024		Avril 2024		Mai 2024		Juin 2024	
h	min coef	h	min coef	h	min coef	h	min coef	h	min coef	h	min coef
1	L 8 00 61	1	J 8 34 69	1	V 7 59 67	1	L 8 53 47	1	Me 10 04 42	1	S 12 22 67
2	20 26 68	2	V 9 12 66	2	S 20 17 62	2	Ma 10 27 41	2	J 11 34 40	2	D 0 51 61
3	21 05 61	3	S 21 41 48	3	D 20 56 51	3	Je 22 52 33	3	V 0 12 46	3	L 12 27 65
4	21 52 44	4	D 22 42 38	4	L 21 51 40	4	J 10 21 36	4	Ma 0 12 46	4	Ma 14 25 73
5	22 50 39	5	L 11 10 35	5	M 23 15 31	5	V 12 29 45	5	D 14 04 67	5	Je 15 17 80
6	23 58 38	6	M 12 37 36	6	Me 12 01 31	6	S 14 35 64	6	J 2 25 74	6	Me 16 28 82
7	24 56 38	7	Me 14 03 45	7	D 13 46 42	7	D 15 25 73	7	L 3 17 67	7	J 18 05 84
8	25 54 41	8	D 15 03 45	8	L 14 56 46	8	L 16 25 83	8	Ma 4 05 67	8	J 19 50 85
9	26 52 45	9	L 16 04 76	9	V 15 49 80	9	J 17 11 99	9	Je 5 05 97	9	L 21 34 84
10	27 50 49	10	V 16 52 91	10	S 16 35 87	10	S 18 04 108	10	Me 6 06 97	10	V 23 18 80
11	28 48 53	11	S 17 37 103	11	D 17 18 110	11	D 19 14 109	11	J 7 08 80	11	S 25 02 70
12	29 46 57	12	D 18 30 107	12	L 18 01 114	12	L 20 14 109	12	J 8 00 62	12	D 26 46 66

Vigilance météorologique et autres

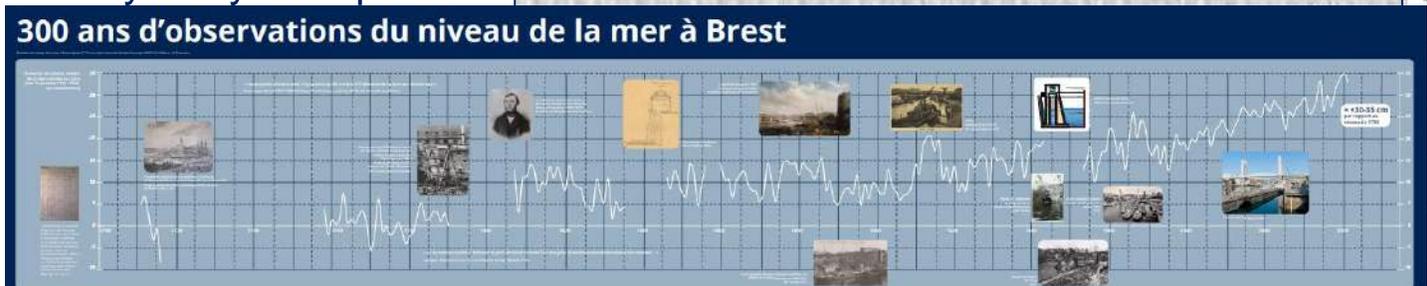
### Vagues-submersion

publiée le 12 mars 2024 à 10h02 (heure métropole)  
valable jusqu'au 13 mars 2024 à 09h00 (heure métropole)

Aujourd'hui

Demain

Nécessite de disposer de longues séries pour des analyses fiables





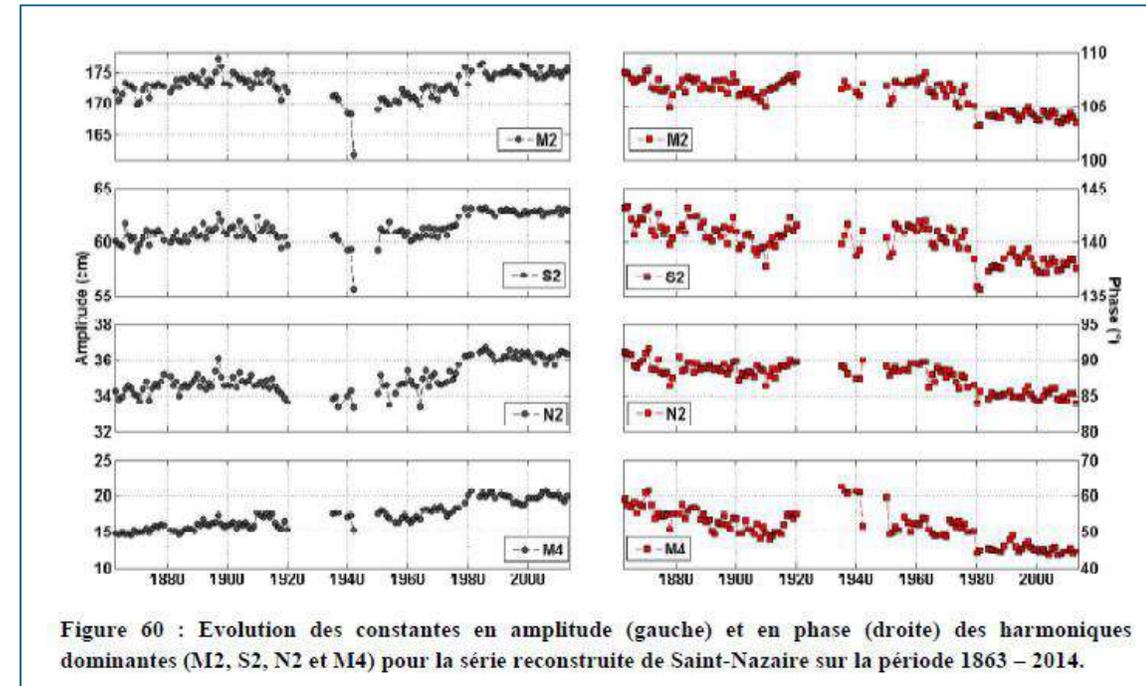
# Pourquoi mesurer le niveau de la mer ?

Études sur du long terme: Nécessité d'avoir des séries longues

**Études sur les caractéristiques de la marée et son évolution :**

- Analyse de l'évolution des constantes harmoniques à long terme à Saint-Nazaire (Ferret, 2016) →
- Analyse de l'amplitude de marée en fonction du temps à Saint-Malo (*Livrable 3, PAPI Saint-Malo Action 1. II*) ↓

Saint-Malo	
Variable	Tendance [1850-2022]
Marnage moyen	-0,79 mm.an <sup>-1</sup> ± 0,18
Marnage Max	-1,00 mm.an <sup>-1</sup> ± 0,92
Marnage Min	-0,74 mm.an <sup>-1</sup> ± 0,88
Niveau moyen de la mer	+ 0,61 mm.an <sup>-1</sup> ± 0,11





# Pourquoi mesurer le niveau de la mer ?

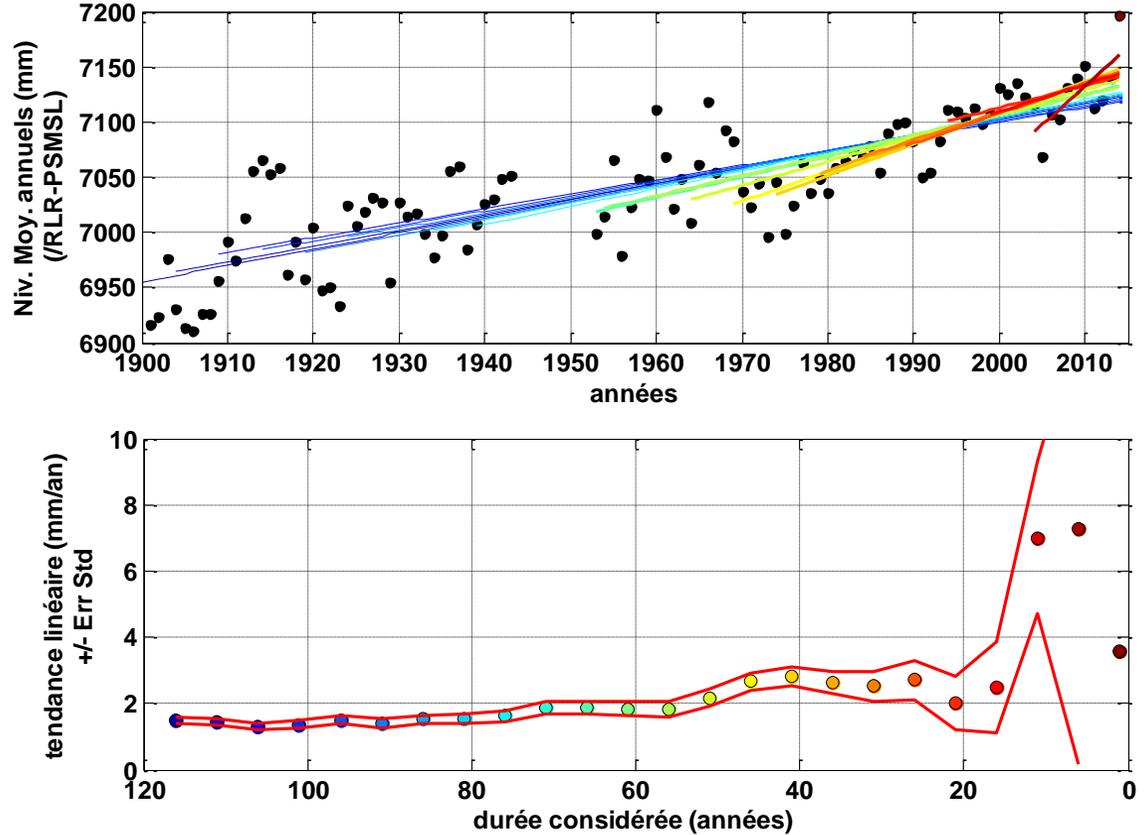
Études sur du long terme: Nécessité d'avoir des séries longues

## Évolution du niveau de la mer

- variabilité des niveaux annuels sous influence des effets atmosphérique à grande échelle (NAO, El Niño)
- l'estimation de tendance séculaire nécessite minimum 60 ans de données (Douglas, 1991)



*Niveaux moyens annuels de la mer à Brest depuis 1900 et régressions linéaires obtenues en fonction de la durée d'observation*



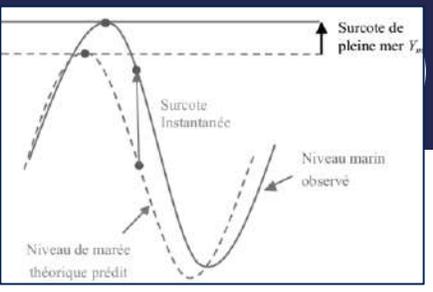


Schéma définissant la surcote de pleine mer (SPM) à partir des observations et des prédictions de marée

# Pourquoi mesurer le niveau de la mer ?

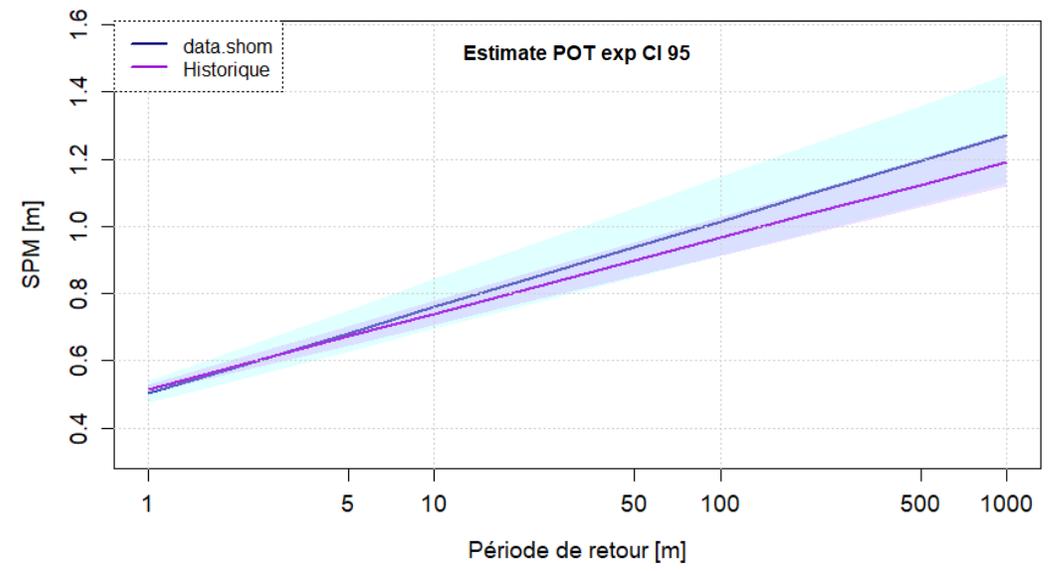
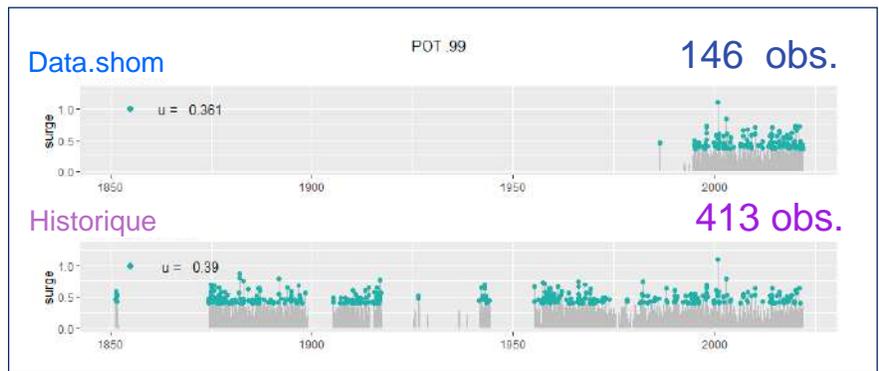
Études sur du long terme: Nécessité d'avoir des séries longues

## Études des niveaux extrêmes

→ Étude statistique à Saint-Malo **sans (série data.shom)** et **avec (série historique)** la série reconstruite

*Livrable 3, PAPI Saint Malo Action 1. II)*

Echantillon	SPM centennale (période de retour 100 ans) ± intervalle de confiance 95%	SPM millénale (période de retour 1000 ans) ± intervalle de confiance 95%
Data.shom	1,02 ±0,11 m	1,35 ±0,16 m
Historique	0,97 ±0,05 m	1,19 ±0,08 m





# Mesures du niveau de la mer en France

Premières mesures « systématiques » en 1679 à Brest

Faites par M Picard & De la Hire

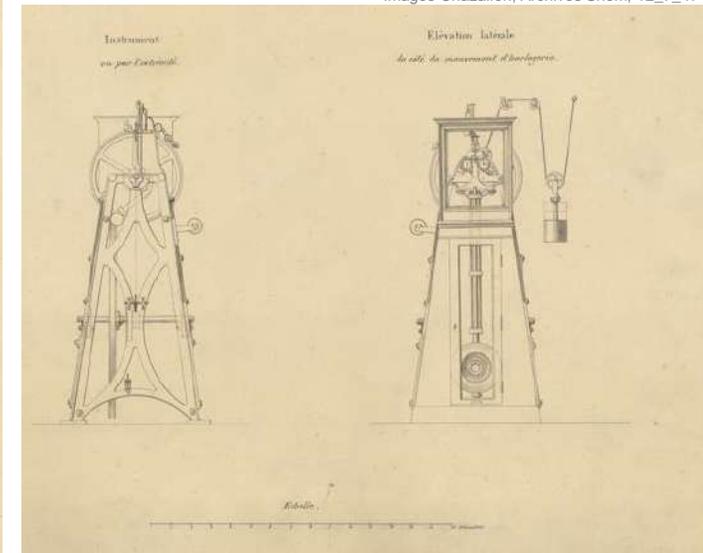
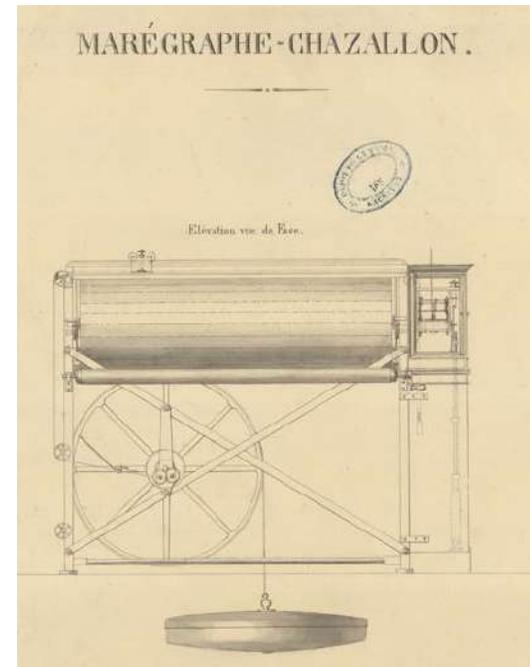
Marégraphe Chazallon

A.M.R Chazallon (1802-1872), ingénieur hydrographe, initiateur du premier réseau marégraphique en France

*OBSERVATIONS POUR LES MAREES.*

LE Jardin du Roy où nous observions à Brest ayant été sur le Port où la mer est ordinairement fort en repos, cela nous donna occasion de faire quelques Observations sur les Marées.

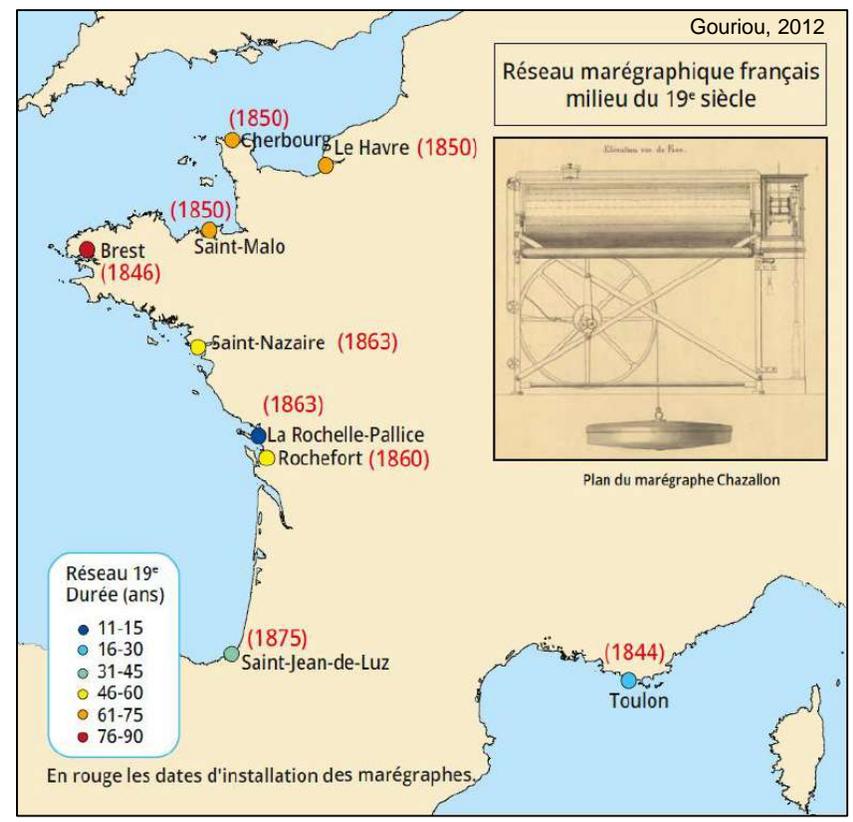
328 OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES			
Septembre.	H. M. S. du Soleil.	H. M. S. de la Lune.	
Vent d'Ouest, 18	2. 25. 30. du soir.	3. 51. 10. Orient.	Haute mer.
Vent d'Ouest, 19	3. 23. 30. du soir.	3. 43. 30. Orient.	Haute mer.
Vent de Nord, 21	10. 29. 30. du matin.	9. 17. 10. Occid.	Basse mer.
Vent de Nord, 22	11. 41. 45. du soir.	9. 8. 0. Orient.	Basse mer.
Calme, 24	0. 25. 30. du matin.	8. 52. 30. Orient.	Basse mer.
	0. 46. 30. du soir.	8. 46. 30. Occid.	Basse mer.
25	7. 72. 30. du matin.	8. 43. 0. Orient.	Basse mer.
	1. 34. 30. du soir.	8. 36. 10. Occid.	Basse mer.
Vent d'Ouest, 26	1. 56. 40. du matin.	8. 37. 0. Orient.	Basse mer.
	8. 6. 45. du matin.	2. 28. 30. Occid.	Basse mer.
27	3. 38. 30. du matin.	9. 18. 30. Orient.	Basse mer.
	9. 16. 30. du matin.	2. 45. 0. Occid.	Haute mer.
10. 9. 30. du soir.	3. 6. 30. Orient.		Haute mer.
Calme, 28	10. 47. 0. du matin.	3. 23. 0. Occid.	Haute mer.



Images Chazallon, Archives Shom, 12\_7\_47

# Mesures du niveau de la mer en France

Réseau marégraphique métropolitain du milieu du 19<sup>ème</sup> siècle



Réseau RONIM métropolitain en 2024





## Mesures du niveau de la mer en France

Réseau marégraphique métropolitain du milieu du 19<sup>ème</sup> siècle

Réseau RONIM métropolitain en 2024



Mesures récentes  
réel sur data.shom.fr

DATA.SHOM.FR

Marégramme LA, ROCHELLE, LA, PALLICE

Hauteur d'eau: 2

Succées-Décou

Marégrammes

Le Shom dispose d'un patrimoine historique important dans ses archives, stocké encore en format papier et non exploité

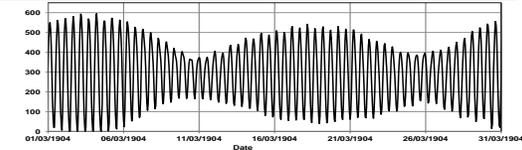
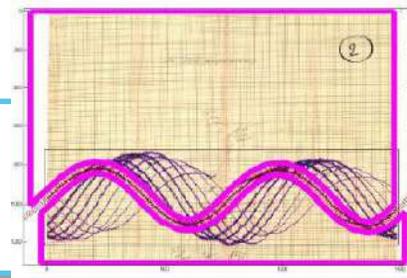




# Méthodologie de reconstructions marégraphiques

Des archives marégraphiques papiers...

... aux données numériques exploitables



**Inventaire, recherches d'archives**  
(Shom, archives départementales, GPM, Collectivités, ...)  
Plusieurs types de données recherchés (registres, marégrammes) et métadonnées (liées à la mesure)

**Dématérialisation des documents**  
(Scannage)  
Potentiellement difficile en fonction des dimensions des documents et de l'état de conservation

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

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

REVIEW  
Geoscience Data Journal | RMetS | WILEY

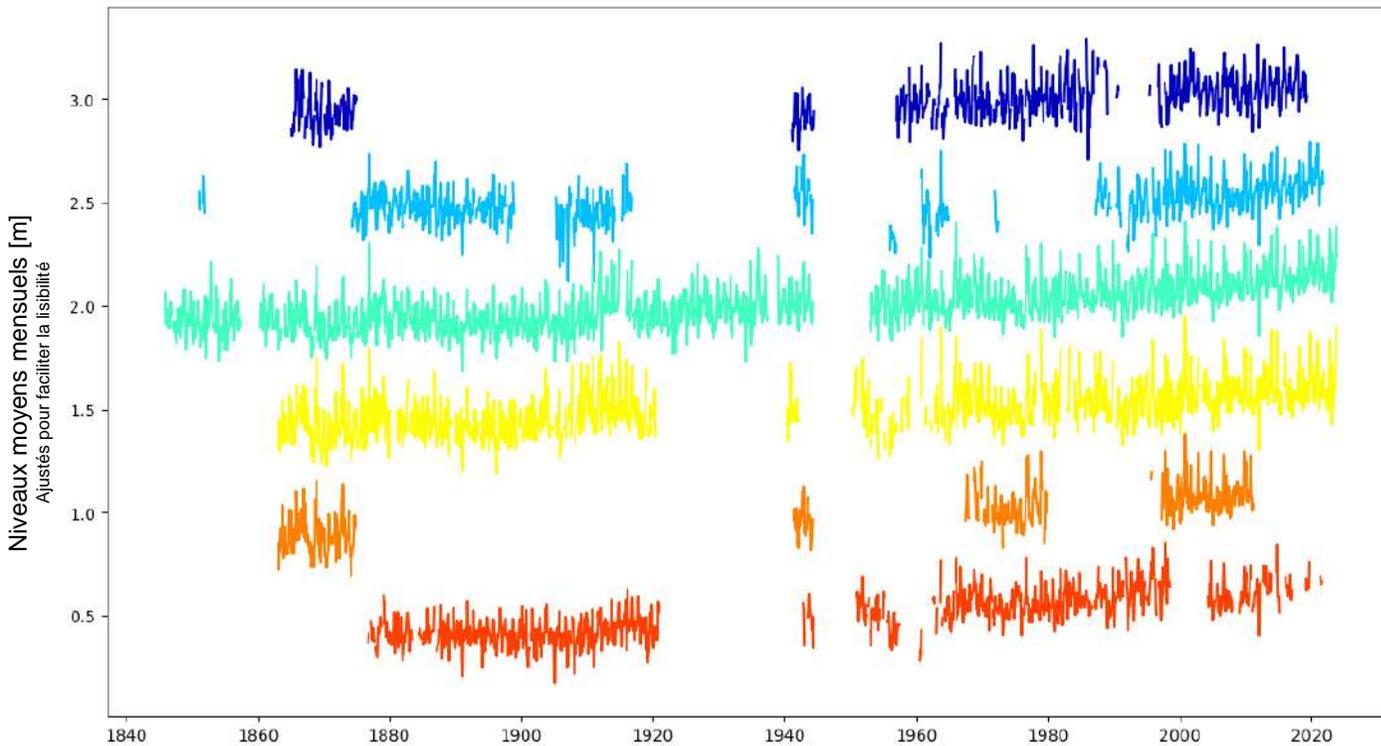
**Data rescue process in the context of sea level reconstructions: An overview of the methodology, lessons learned, up-to-date best practices and recommendations**

Alexa Latapy<sup>1</sup> | Yann Ferret<sup>1</sup> | Laurent Testut<sup>2</sup> | Stefan Talke<sup>3</sup> | Thorkild Aarup<sup>4</sup> | Frederic Pons<sup>5</sup> | Gwenaële Jan<sup>1</sup> | Elizabeth Bradshaw<sup>6</sup> | Nicolas Pouvreau<sup>1</sup>



# Projets réalisés

## Projets menés par le Shom avec ses partenaires



\* PAPI St. Malo: I. V.D. BELD, R. KERMOAL, A. LATAPY  
\*\* Projet EZPONDA: I. V.D. BELD, Y. FERRET, A. LATAPY

**Dunkerque (Thèse Latapy, 2020)**  
[1865-actu]



**St Malo / St Servan (2022) \***  
[1850-actu]



**Brest (Thèse Pouvreau, 2008)**  
[1846-actu]



**Saint-Nazaire (Ferret, 2016)**  
[1863 – actu]



**Pertuis Charentais (Thèse Gouriou, 2012)**  
[1850s-actu]



**Socoa/Saint-Jean-de-Luz (2021) \*\***  
[1875 – actu]



**Estuaire de la Seudre (Bourcefranc-Le-Chapus)**  
[1878– actu]



**Douala (Cameroun) (Fossi Fotsi, 2022)**  
[1950s-actu]

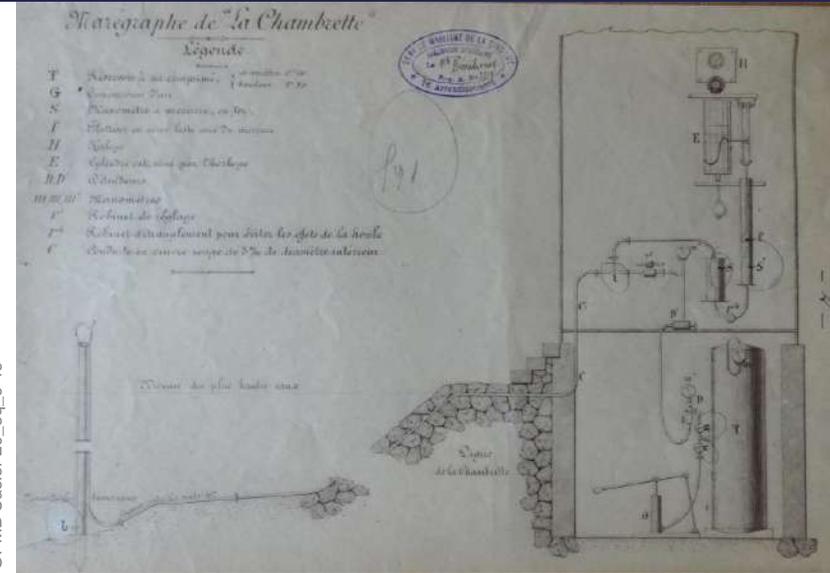


**Abidjan (Côte d'Ivoire) (Rokyatou, 2018)**  
[1949-actu]





## Projets en cours



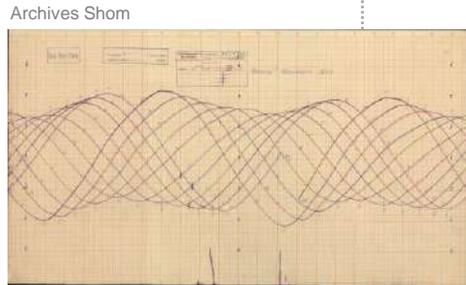
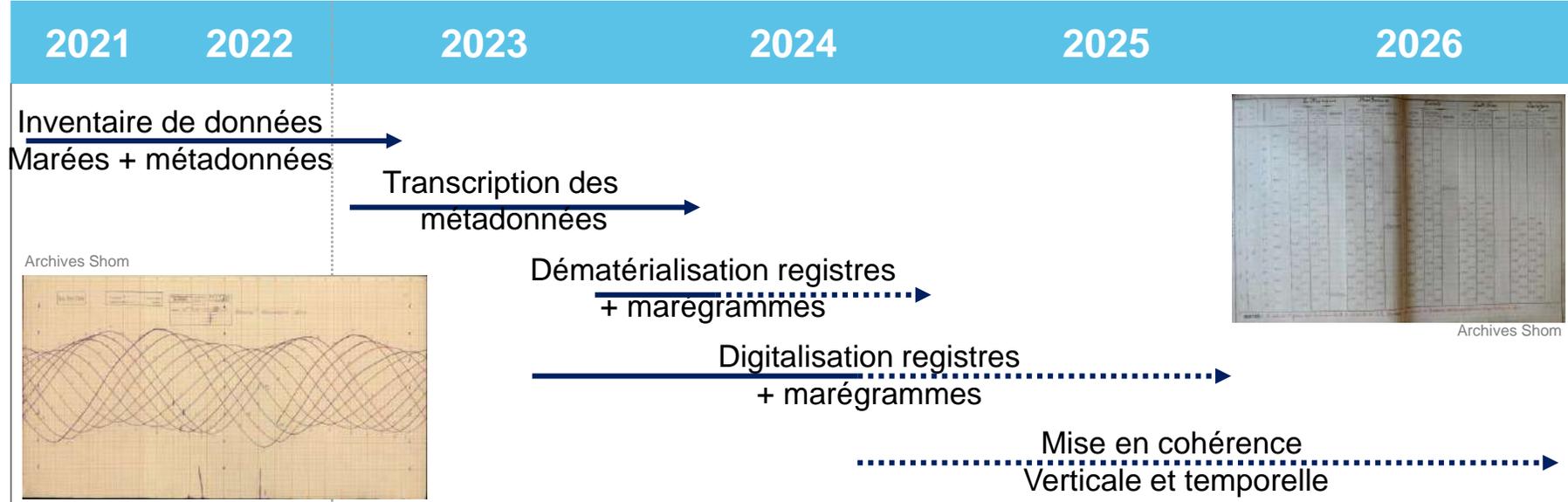
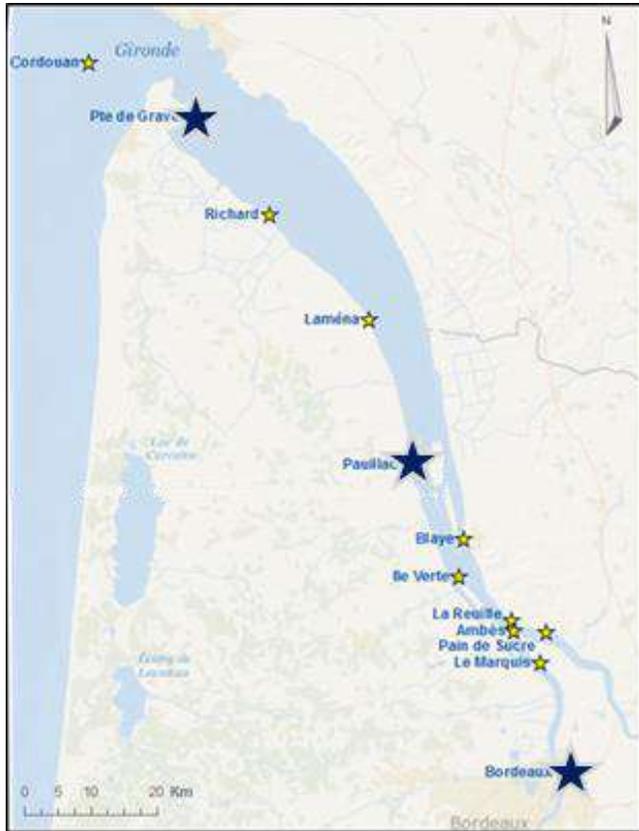
GPMB Casier 20\_8q\_9-19

### 2023-2027: Reconstruction des séries de de l'estuaire de la Gironde

Technicienne: Inge van den Beld

Financement à 80% par la DGPR et 20% par le Shom pour la reconstruction des stations

- Pointe de Grave (> 92 ans cumulés)
- Pauillac (> 88 ans cumulés)
- Bordeaux (> 92 cumulés)





# Projets en cours



2024-2028: Reconstruction des séries de Cherbourg, du Havre et Dématérialisation des archives marégraphiques



## Projets en cours



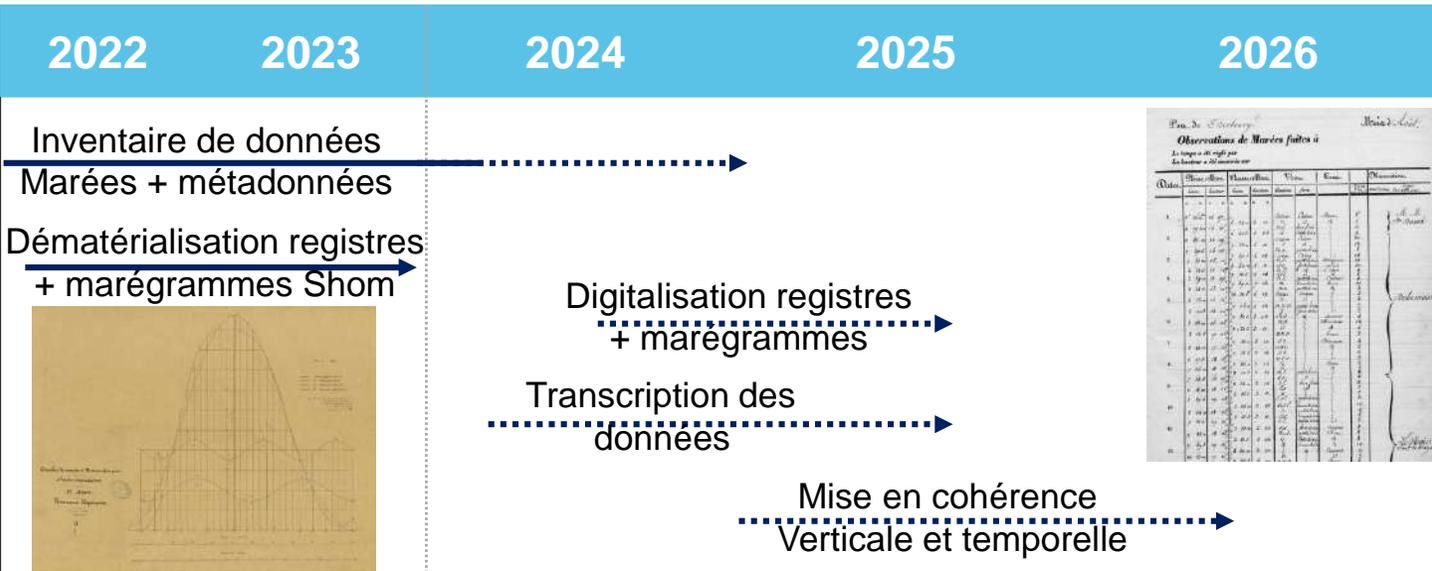
### 2024-2028: Reconstruction des séries de Cherbourg, du Havre et Dématérialisation des archives marégraphiques

Financement à 80% par la DGPR et 20% par le Shom.

Techniciens: Salomé Ferre, Titouan Hamon

#### Reconstruction des séries (2024-2026)

- Cherbourg: 1700 marégrammes et registres → 100 ans inédits
- Le Havre: 1800 marégrammes et registres → 90 ans inédits



Tempête dans le Cotentin (10-11 janvier 1866) illustration de P. Féray- Petit





## Projets en cours



### 2024-2028: Reconstruction des séries de Cherbourg, du Havre et **Dématérialisation des archives marégraphiques**

Financement à 80% par la DGPR et 20% par le Shom

Dématérialisation des archives marégraphiques du Shom (2026-2028)

Inventaire Shom (2024) : 62 000 marégrammes  
8 400 registres



70 % des documents ont déjà été dématérialisés

→ Il reste 30 % soit environ 30 000 pages / feuilles

- Rouleaux
- petit à moyens ouvrages (A4, A3)
- ouvrages grand formats (A0, A0+)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
		N° du docum ent CANON	Nommage FICHER (Port_DateDeb_DateFin I)										
1		Id											
4804	4803		LE_HAVRE_19010101_190	1201_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19010101	19010201	MM	MM	
4805	4804		LE_HAVRE_19010201_190	1301_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19010201	19010301	MM	MM	
4806	4805		LE_HAVRE_19010301_190	1401_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19010301	19010401	MM	MM	
4807	4806		LE_HAVRE_19010401_190	1501_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19010401	19010501	MM	MM	
4808	4807		LE_HAVRE_19010501_190	1601_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19010501	19010601	MM	MM	
4809	4808		LE_HAVRE_19010601_190	1701_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19010601	19010701	MM	MM	
4810	4809		LE_HAVRE_19010701_190	1801_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19010701	19010801	MM	MM	
4811	4810		LE_HAVRE_19010801_190	1901_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19010801	19010901	MM	MM	
4812	4811		LE_HAVRE_19010901_190	2001_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19010901	19011001	MM	MM	
4813	4812		LE_HAVRE_19011001_190	2101_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19011001	19011101	MM	MM	
4814	4813		LE_HAVRE_19011101_190	2201_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19011101	19011201	MM	MM	
4815	4814		LE_HAVRE_19011201_190	2301_MM	1610422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19011201	19020101	MM	MM	
4816	4815		LE_HAVRE_19030101_190	1201_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19030101	19030201	MM	MM	
4817	4816		LE_HAVRE_19030201_190	1301_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19030201	19030301	MM	MM	
4818	4817		LE_HAVRE_19030301_190	1401_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19030301	19030401	MM	MM	
4819	4818		LE_HAVRE_19030401_190	1501_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19030401	19030501	MM	MM	
4820	4819		LE_HAVRE_19030501_190	1601_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19030501	19030601	MM	MM	
4821	4820		LE_HAVRE_19030601_190	1701_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19030601	19030701	MM	MM	
4822	4821		LE_HAVRE_19030701_190	1801_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19030701	19030801	MM	MM	
4823	4822		LE_HAVRE_19030801_190	1901_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19030801	19030901	MM	MM	
4824	4823		LE_HAVRE_19030901_190	2001_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19030901	19031001	MM	MM	
4825	4824		LE_HAVRE_19031001_190	2101_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19031001	19031101	MM	MM	
4826	4825		LE_HAVRE_19031101_190	2201_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19031101	19031201	MM	MM	
4827	4826		LE_HAVRE_19031201_190	2301_MM	2210422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19031201	19040101	MM	MM	
4828	4827		LE_HAVRE_19060101_190	1201_MM	2104422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19060101	19060201	MM	MM	
4829	4828		LE_HAVRE_19060201_190	1301_MM	2104422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19060201	19060301	MM	MM	
4830	4829		LE_HAVRE_19060301_190	1401_MM	2104422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19060301	19060401	MM	MM	
4831	4830		LE_HAVRE_19060401_19060501_MM	2104422015	FRANCE	FRANCE	LE_HAVRE	19060401	19060501	MM	MM		
4832	4831		LE_HAVRE_19060501_19060601_MM	2104422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19060501	19060601	MM	MM		
4833	4832		LE_HAVRE_19060601_19060701_MM	2104422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19060601	19060701	MM	MM		
4834	4833		LE_HAVRE_19060701_19060801_MM	2104422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19060701	19060801	MM	MM		
4835	4834		LE_HAVRE_19060801_19060901_MM	2104422015	NON(CR)	FRANCE	LE_HAVRE	19060801	19060901	MM	MM		



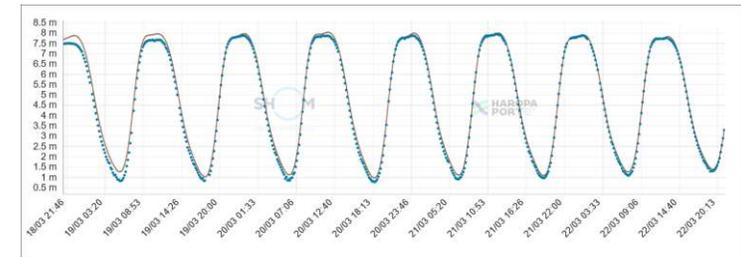


# Bilan et perspectives

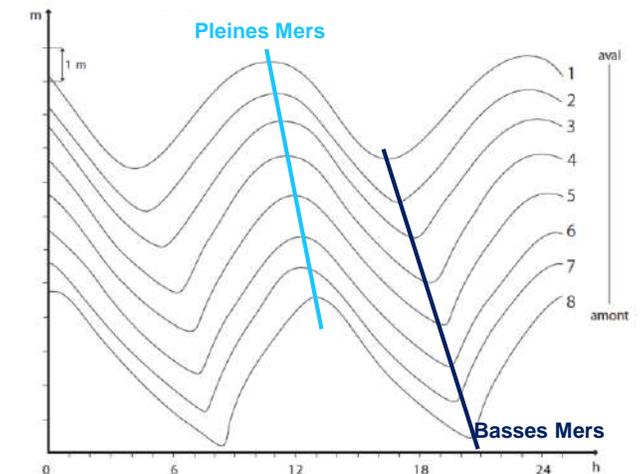
- Le Shom dispose d'un patrimoine marégraphique historique important, souvent méconnu
- > 10 reconstructions réalisées dans le cadre de différents projets
- Extensions importantes pour obtenir des séries longues de plus de 100 ans de durée effective, qui permettent
  - d'analyser les caractéristiques de la marée sur du long terme
  - de s'affranchir de la variabilité climatique et de dégager des tendances d'évolution séculaire
  - d'améliorer l'estimation de grandes périodes de retours de phénomènes extrêmes
- 3 projets reconstructions en cours (2023-2028)
- Dont un focus sur les estuaires de la Gironde (3 ports) et de la Seine
  - Amélioration des connaissances sur la marée en zone estuarienne



Tenue du plein de la marée haute au Havre

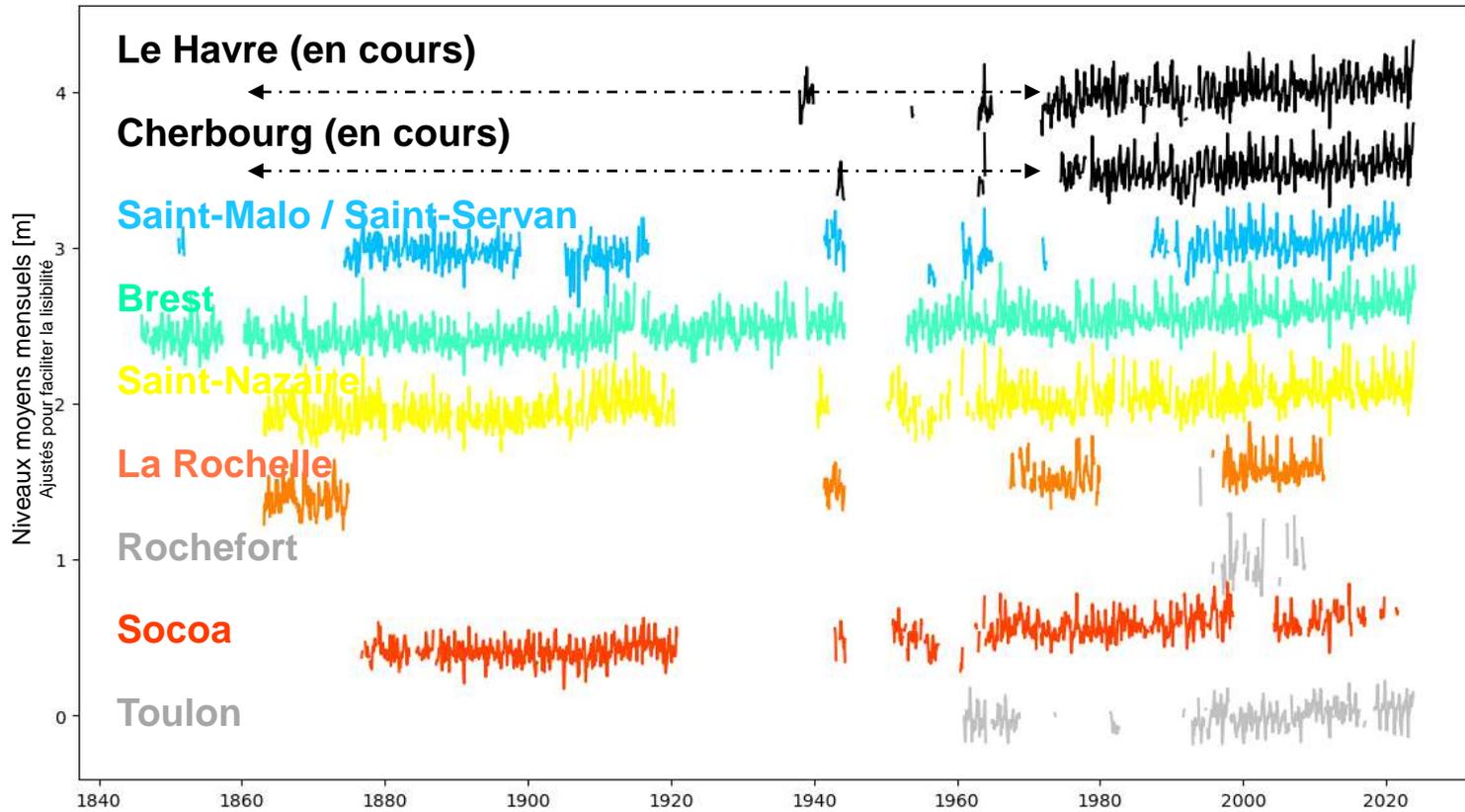


Déformation de la marée en Estuaire

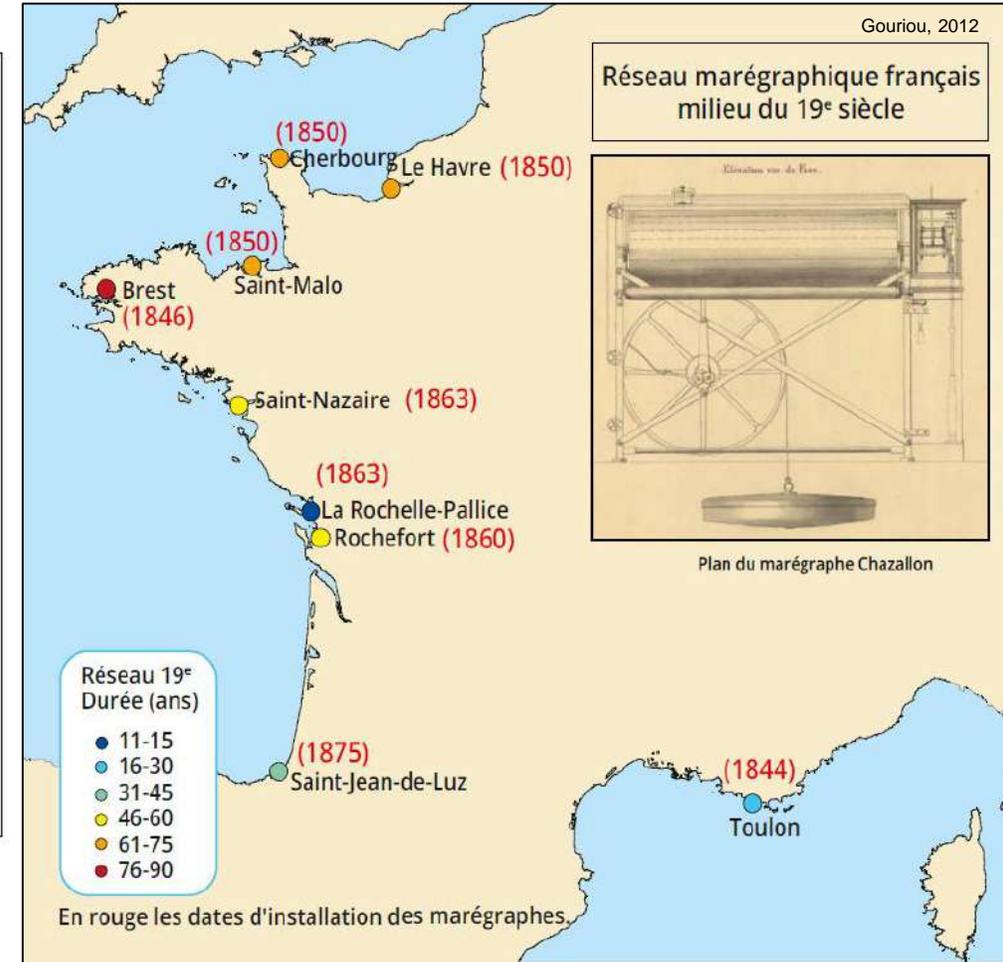




## Bilan et perspectives



En 2026 il restera 2 stations (Toulon et Rochefort) pour restaurer la totalité des données du réseau marégraphique du 19<sup>e</sup> siècle



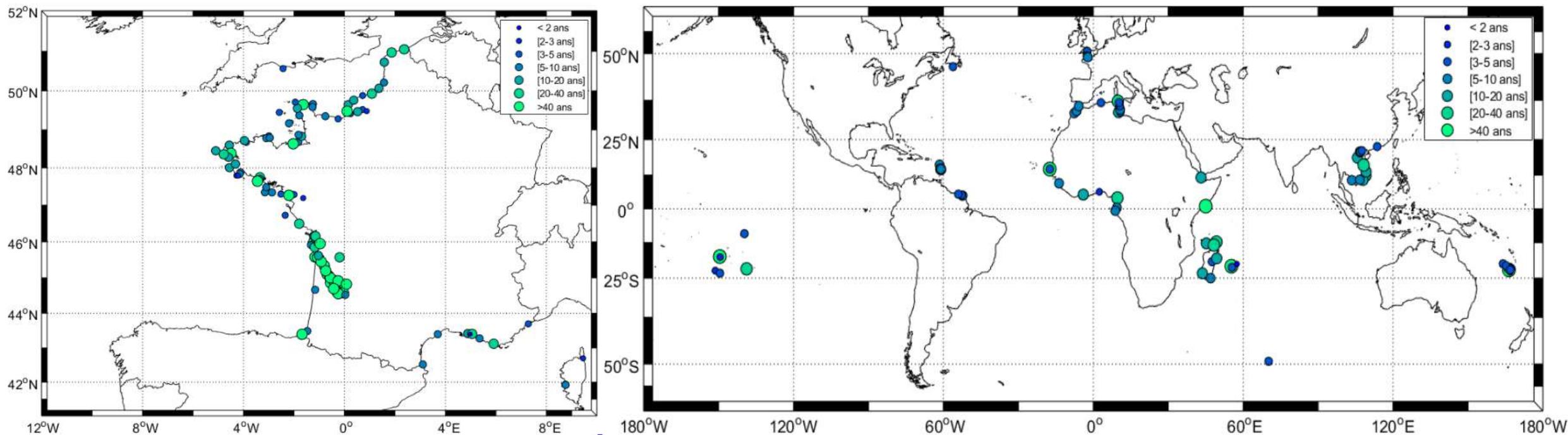


## Bilan et perspectives

Potentiel important également dans les territoires ultra-marins

Thèse Mathieu HUYEZ 2023-2026: Étude de la Vulnérabilité et de l'Adaptation au risque Cyclonique à Madagascar

Représentation spatiale des observations historiques disponibles et durées effectives correspondantes





## RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



# Merci de votre attention !

En savoir plus sur nos activités :

<http://refmar.shom.fr/>

<https://refmar.shom.fr/dataArchaeology>

PORT	PAYS	Coordonnées (WGS84)	Année initiale	Année finale	Durée effective (ans)	Nombre de documents (Pourc. scannée)	Couverture temporelle synthétique
<a href="#">ABER WRACH</a>	FRANCE	48.60°N 4.56°O	1835	1939	12	86 (20 %)	
<a href="#">ADOUR</a>	FRANCE	43.48°N 1.47°O	1899	1904	6	298 (100 %)	
<a href="#">AJACCIO</a>	FRANCE	41.92°N 8.76°E	1978	1998	6	195 (100 %)	
<a href="#">AMBES</a>	FRANCE	45.04°N 0.60°O	1893	2004	20	75 (0 %)	
<a href="#">ANTIFER</a>	FRANCE	49.85°N 0.15°E	1974	1996	10	301 (17 %)	
<a href="#">ARCACHON (EYRAC)</a>	FRANCE	44.68°N 1.16°O	1892	1992	9	107 (28 %)	
<a href="#">AUDIERNE</a>	FRANCE	48.01°N 4.66°O	1835	1967	13	160 (63 %)	





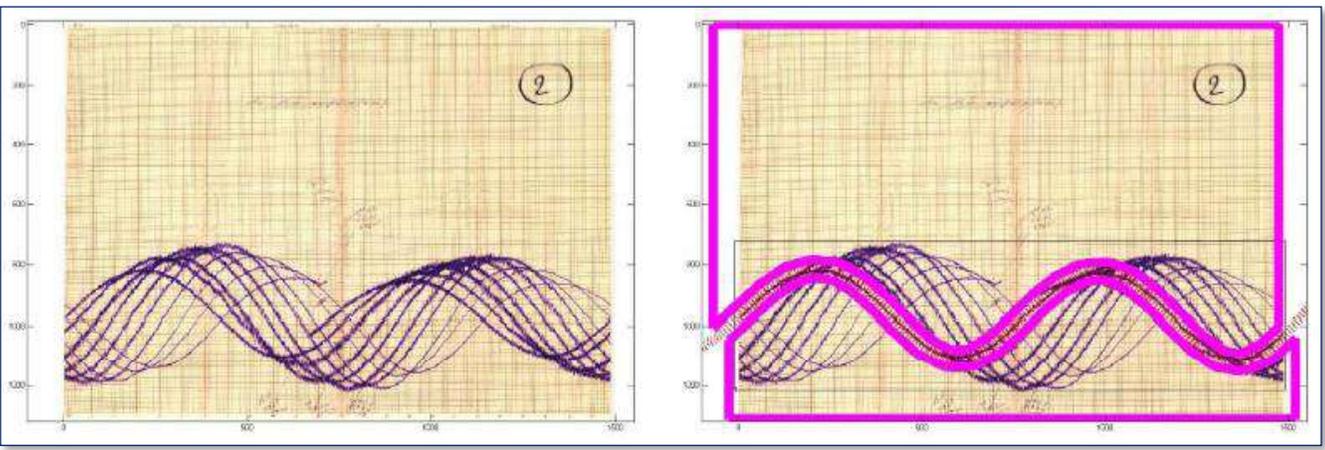
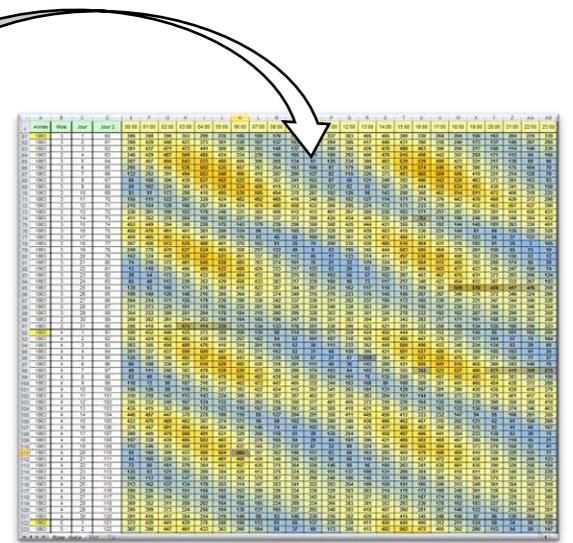
# Comment fait-on une « reconstruction » ?

Stratégie générale pour la reconstruction marégraphique – numérisation des données

**Dématérialisation** : Scan/photographies des documents papiers

**Numérisation** : extraire le signal de marée.

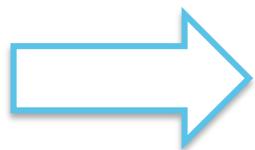
- Retranscrire les valeurs du registres de marée sous un tableur numérique (opération manuelle car mauvaise reconnaissance des écritures manuscrites) ;
- Semi-automatique avec la reconnaissance des courbes (détection de couleurs) mais des marégrammes délicats nécessiteront une numérisation manuelle.

# Comment fait-on une « reconstruction » ?

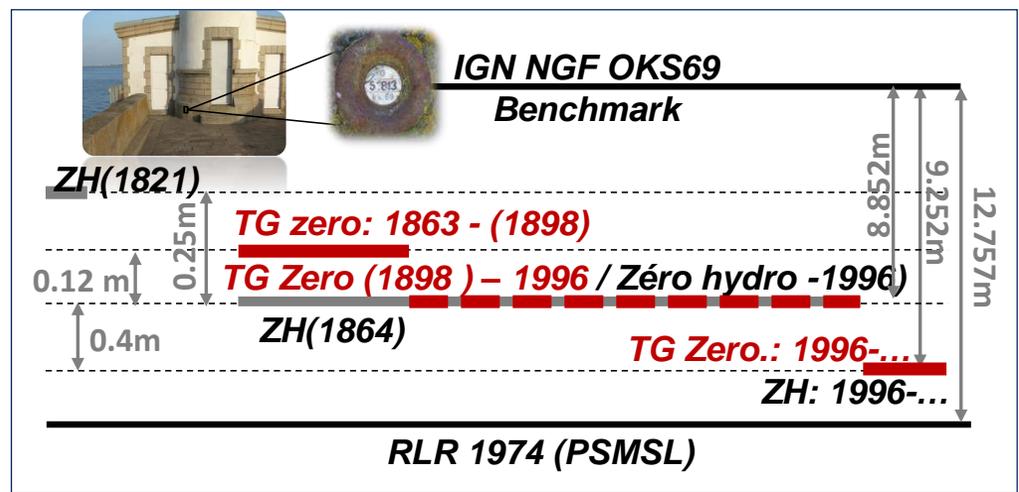
Stratégie générale pour la reconstruction marégraphique – mise en cohérence de la série de données

Rendre les **données cohérentes** en termes de **référence verticale** et de **systèmes temporels** en analysant les archives historiques complémentaires (métadonnées liées aux mesures, rapports de nivellement, notes d'observateurs, plans, lettres, etc.)



Être en mesure de connaître précisément les différents niveaux utilisés comme zéro du marégraphe et/ou comme référence cartographique au cours du temps.

Exemple de l'évolution des zéros de mesure pour Saint-Nazaire (Ferret, 2016)  
Rapport n° 27 SHOM/DOPS/HOM/MAC/NP 2016)

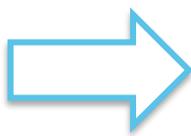
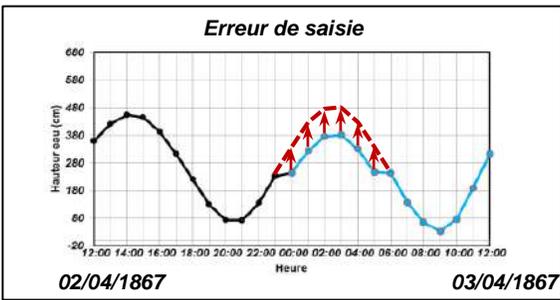
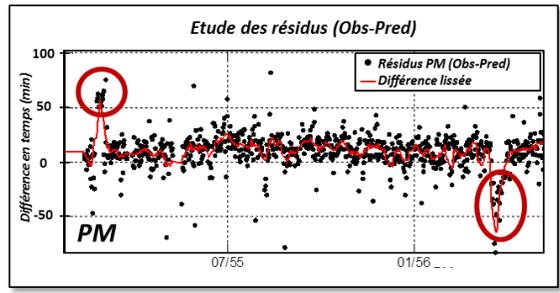


*Plus difficile pour les périodes anciennes car de nombreuses informations, parfois incohérentes, doivent être analysées.*

# Comment fait-on une « reconstruction » ?

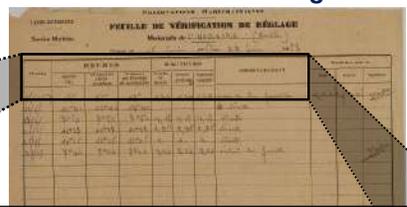
Stratégie générale pour la reconstruction marégraphique – mise en cohérence de la série de données

- Prise en compte des **contrôles** effectués par l'observateur lors des mesures
- Identification de **sauts verticaux et/ou temporels** (contrôles visuels, traitement du signal par filtrage de fréquence, etc.)
- **Comparaison avec les prédictions de marée** (analyse du résidu de marée)
- « **Buddy checking** » (comparaison avec les stations voisines)
- ...

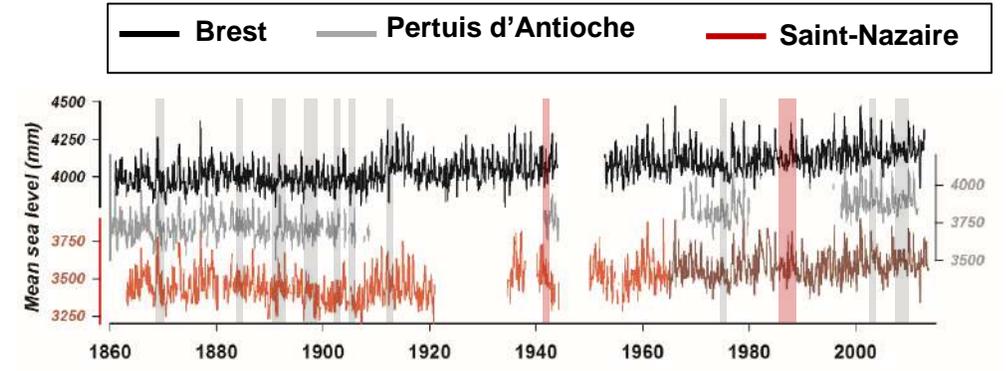


**Contrôle de la qualité des données**  
Suppression, correction, attribution d'une étiquette qualité

Feuille de contrôle associée au marégramme



DATES	HEURES			HAUTEURS			OBSERVATIONS (1)
	exactes (T.U.)	enregistrées sur le graphique	indiquées par l'horloge du marégramme	Echelle de marée	Ruban gradué	Diagramme enregistré	
15/6/54	13 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>	1,24	1,24	1,24	un de la famille





Retrouvez toutes les présentations de l'atelier



**DONNÉES, MÉTHODES & SERVICES POUR LE LITTORAL**



Sur <https://www.theia-land.fr/littoral/littoral2024>  
et sur <https://www.odatis-ocean.fr/?id=617>

