

Sauvegarde et analyse des données historiques de hauteurs d'eau.

Exemple de la reconstruction de la série marégraphique de Saint-Nazaire depuis 1821

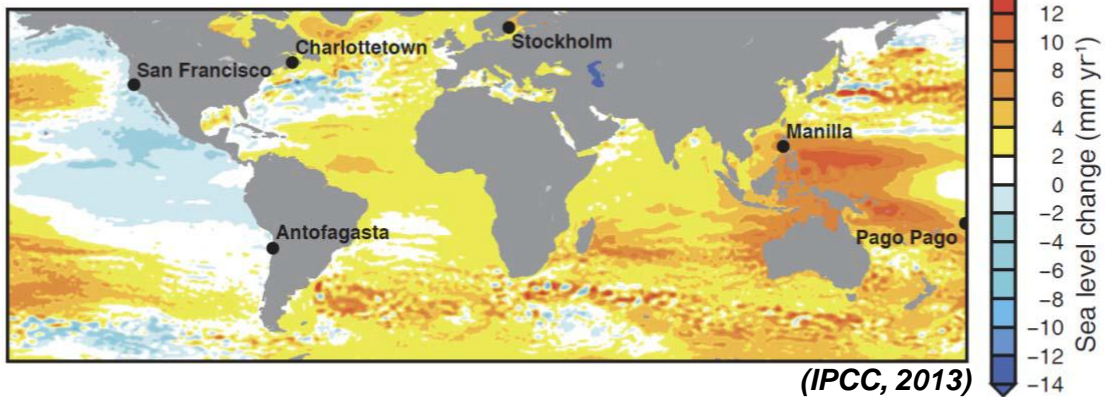
Y. Ferret, V. Donato, N. Pouvreau
SHOM, Brest (France)

CONTEXTE GÉNÉRAL

Etude du changement climatique : enjeu actuel (IPCC, 2013)

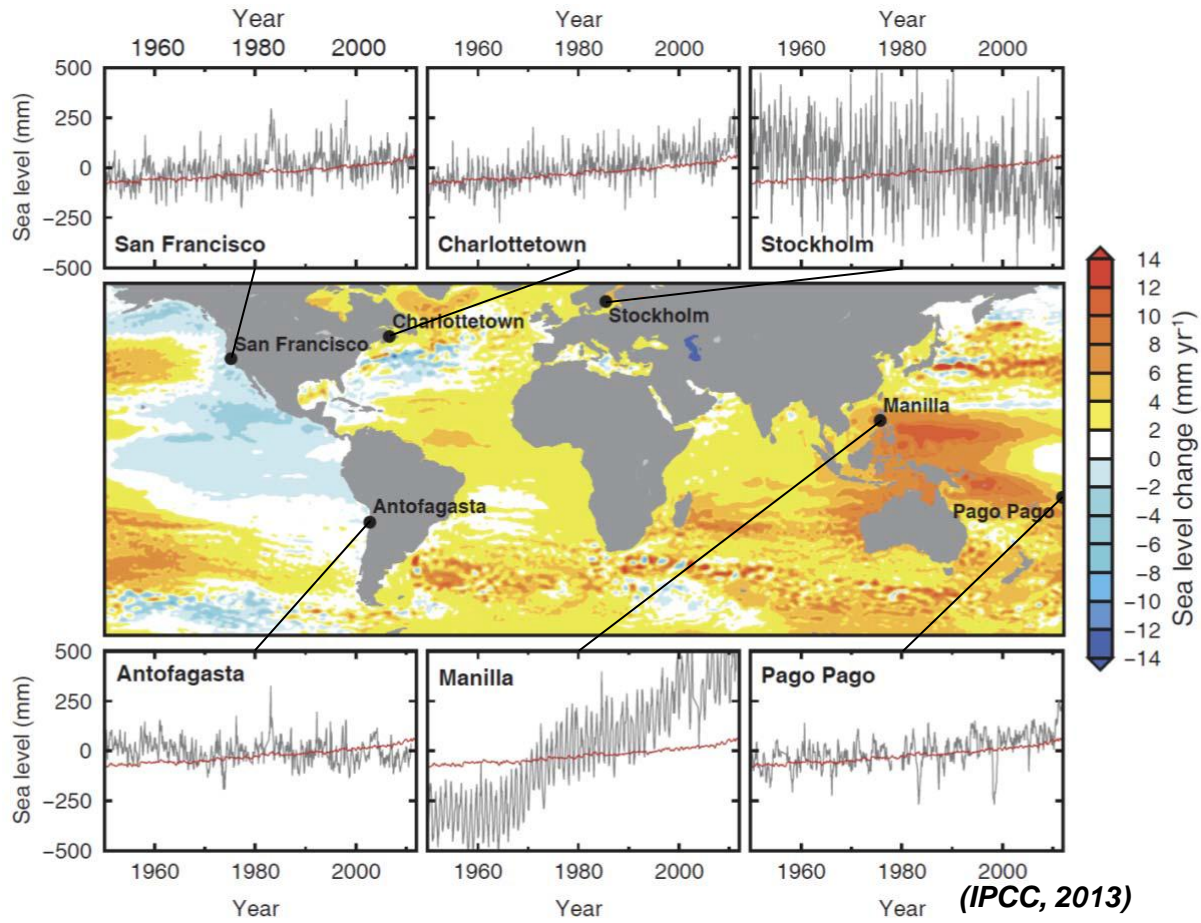
Evolution des températures (Océan/atmosphère), régimes climatiques, ...
... **Evolution du niveau marin**

Evolution du niveau marin géocentrique (1993-2012):

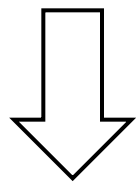


CONTEXTE GÉNÉRAL

Etude du changement climatique : enjeu actuel (IPCC, 2013)



Associées aux observations modernes, les mesures historiques permettent d'avoir accès à l'évolution séculaire du niveau de la mer



Mesures marégraphiques longues et continues primordiales

(IPCC, 2013)

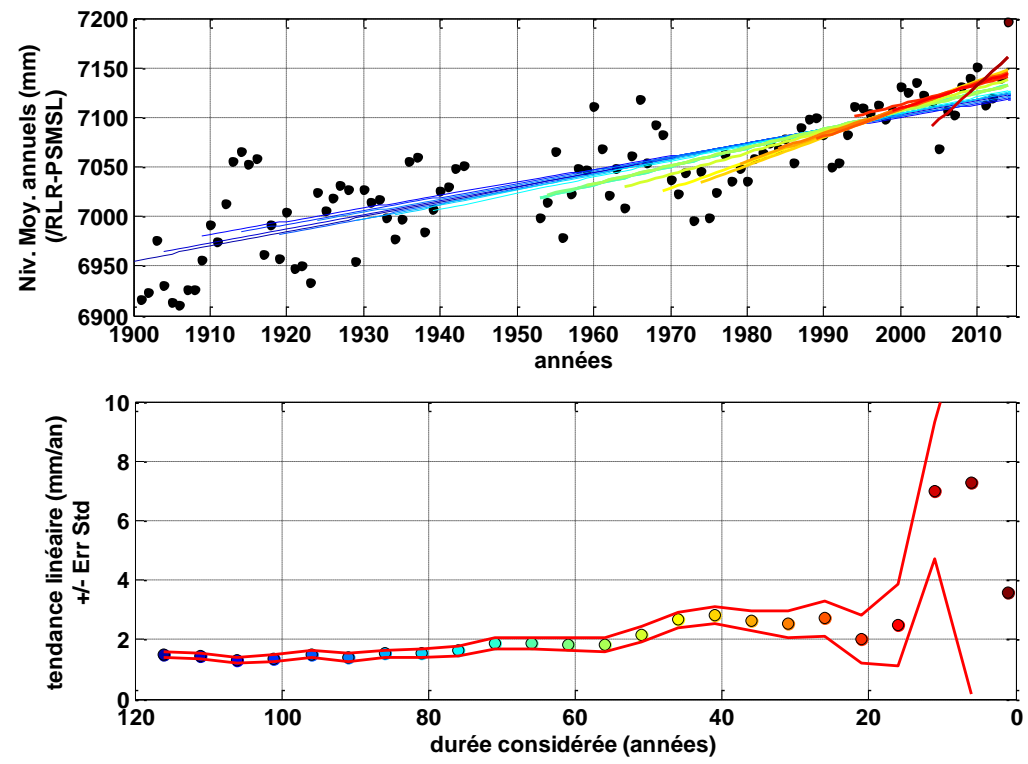
CONTEXTE GÉNÉRAL

Nécessité de chroniques les plus longues possibles

Les tendances calculées varient selon la durée de la chronique considérée et de sa qualité

60 ans d'enregistrement sont raisonnables pour **estimer les variations eustatiques actuelles et filtrer les contributions cycliques et irrégulières du signal marégraphique** (Douglas, 1991)

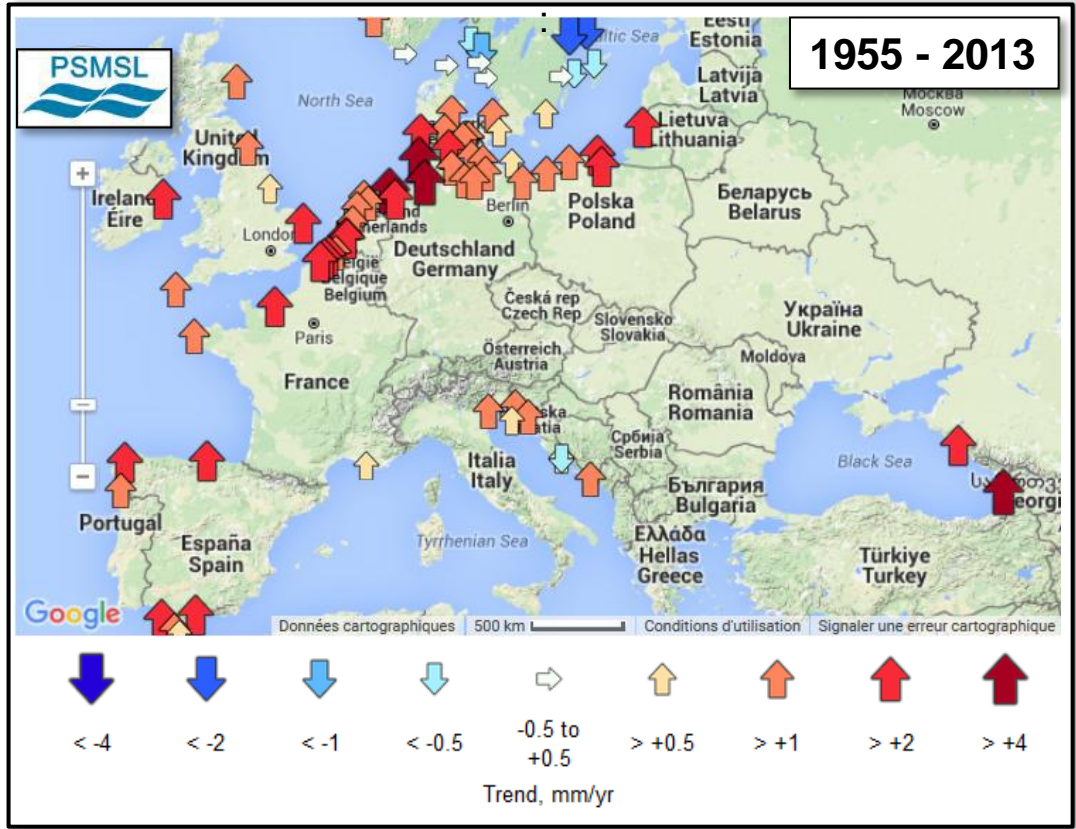
Niveau moyens annuels mesurés à Brest depuis 1900:
Calculs de tendances en fonction la durée considérée



CONTEXTE GÉNÉRAL

Répartition et tendances sur les 60 dernières années

Tendances du niveau relatif de la mer en Europe occidentale

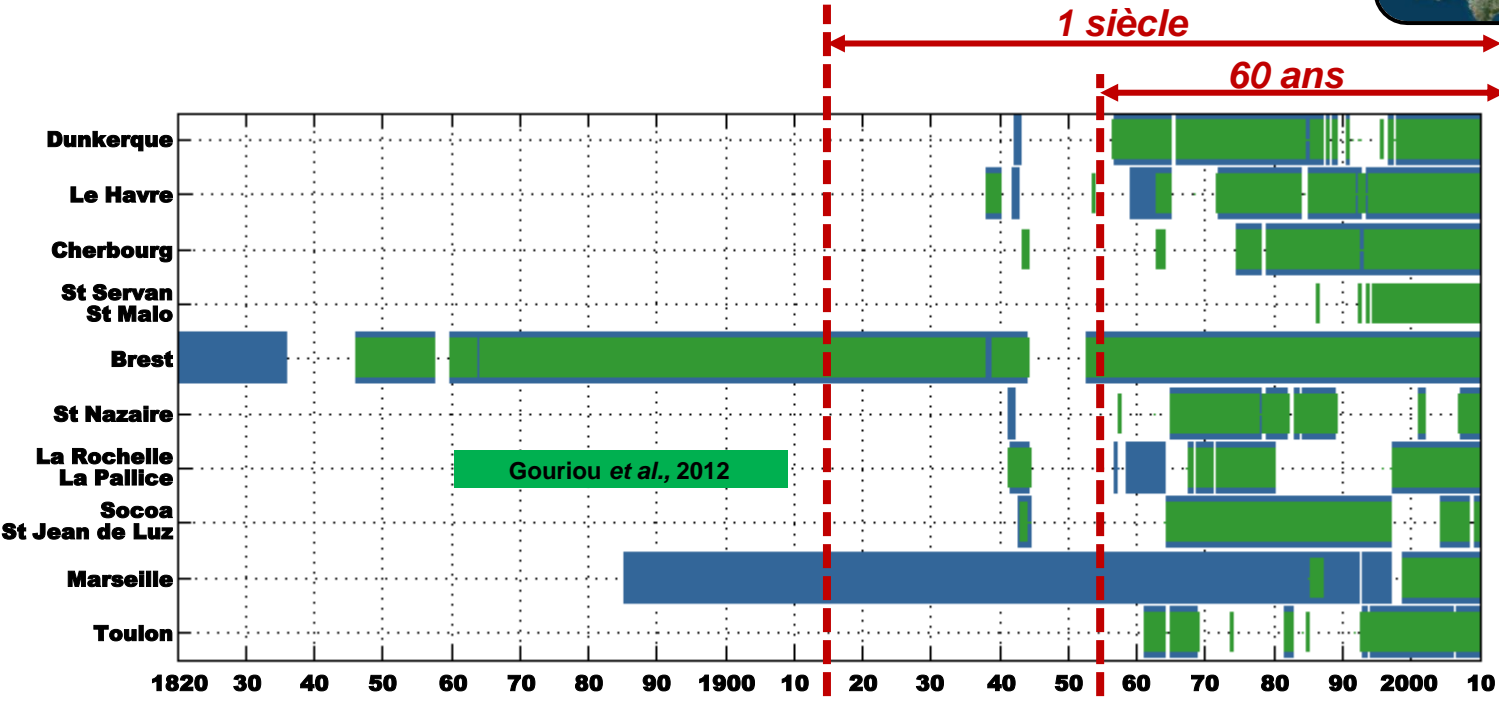


CONTEXTE GÉNÉRAL



Inventaire des chroniques disponibles en France

Actuellement, peu de série de mesures de hauteur d'eau permettent d'étudier l'évolution séculaire du niveau de la mer en France.

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



Données numériques

-  NM mensuels
-  NM journaliers



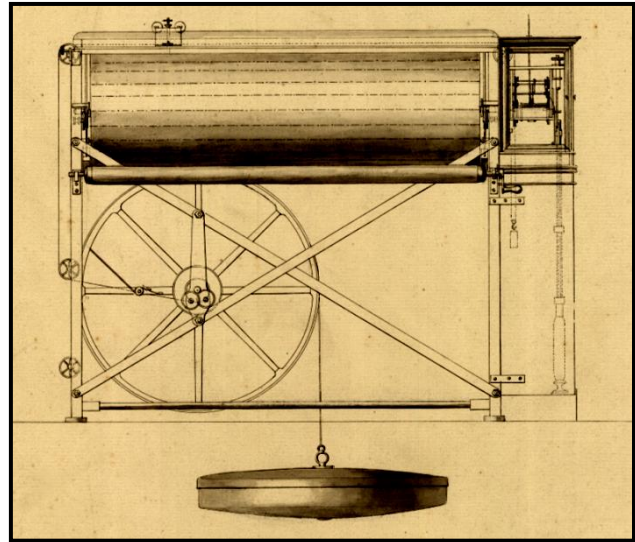
CONTEXTE GÉNÉRAL

Patrimoine « marégraphique » historique français

Peu de données exploitées ...
... **malgré un riche patrimoine français:**

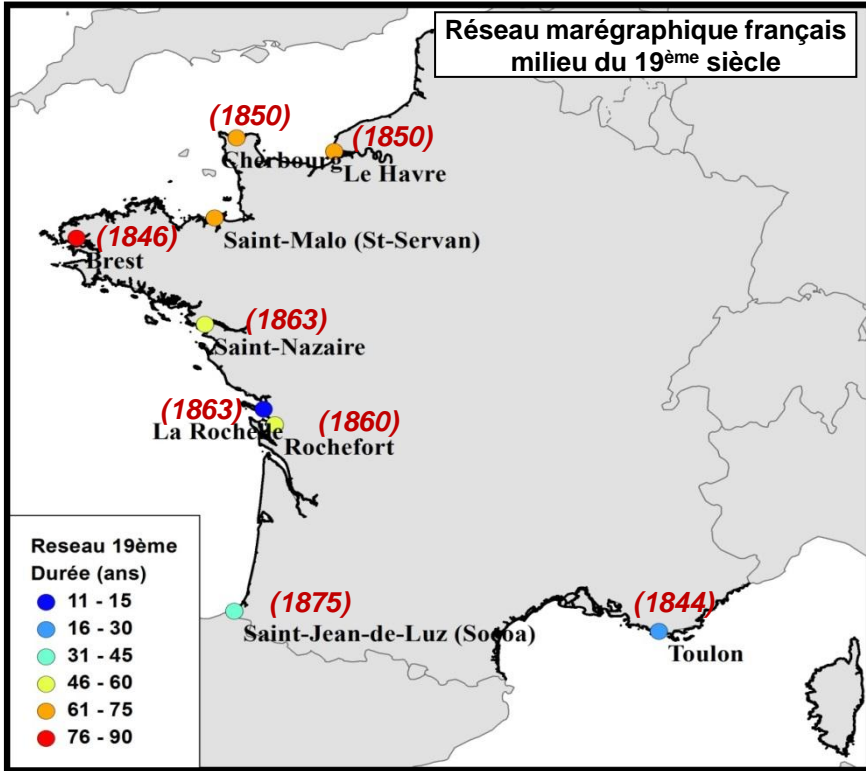
- Dès le milieu du 19ème siècle:
- mesure automatique et continue des hauteurs d'eau (marégraphe)
 - Développement d'un réseau marégraphique

Plan du marégraphe Chazallon



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

Réseau de marégraphe géré par le Service Hydrographique



CONTEXTE GÉNÉRAL

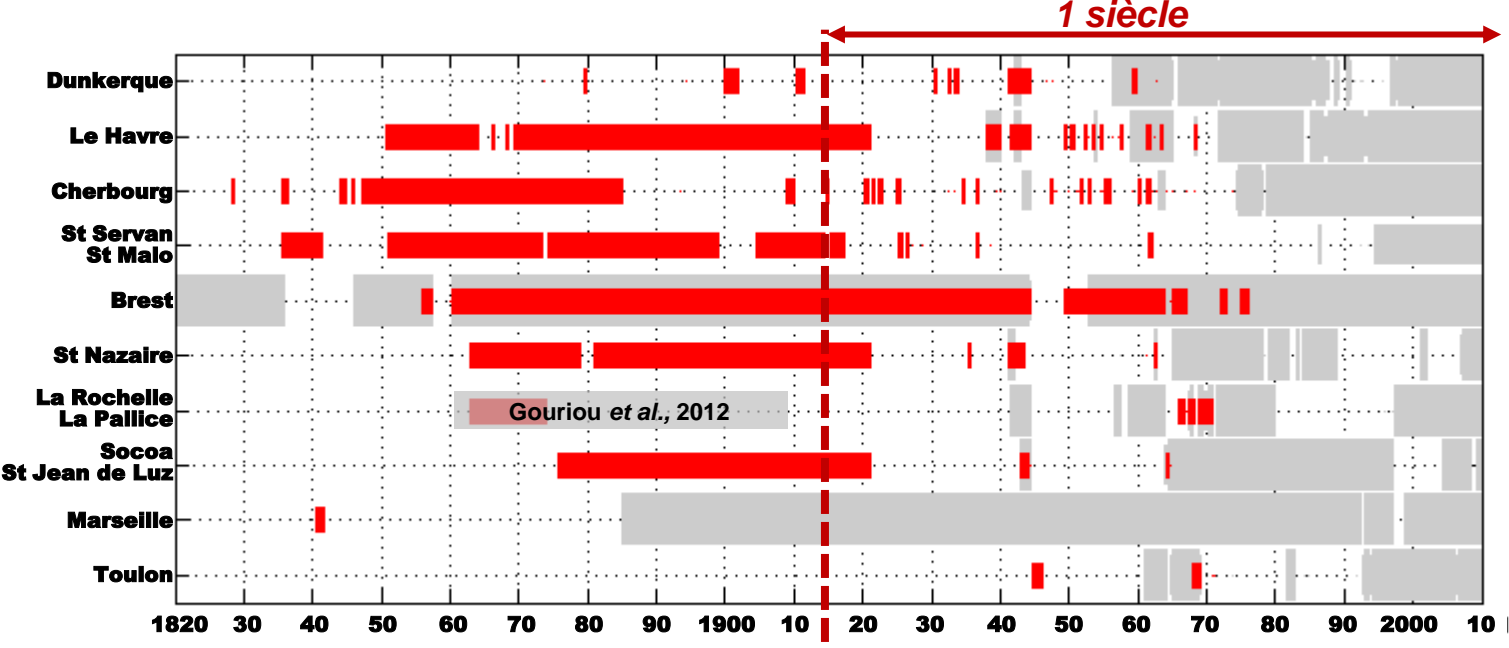
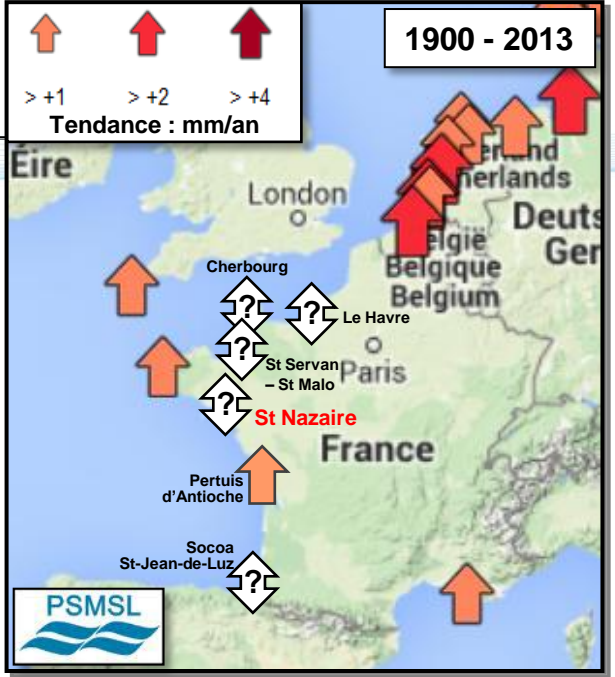
Nécessité du « Data Rescue »



Beaucoup de données inutilisées 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)



Données num.

+



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



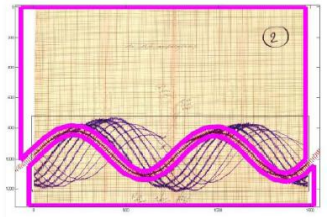
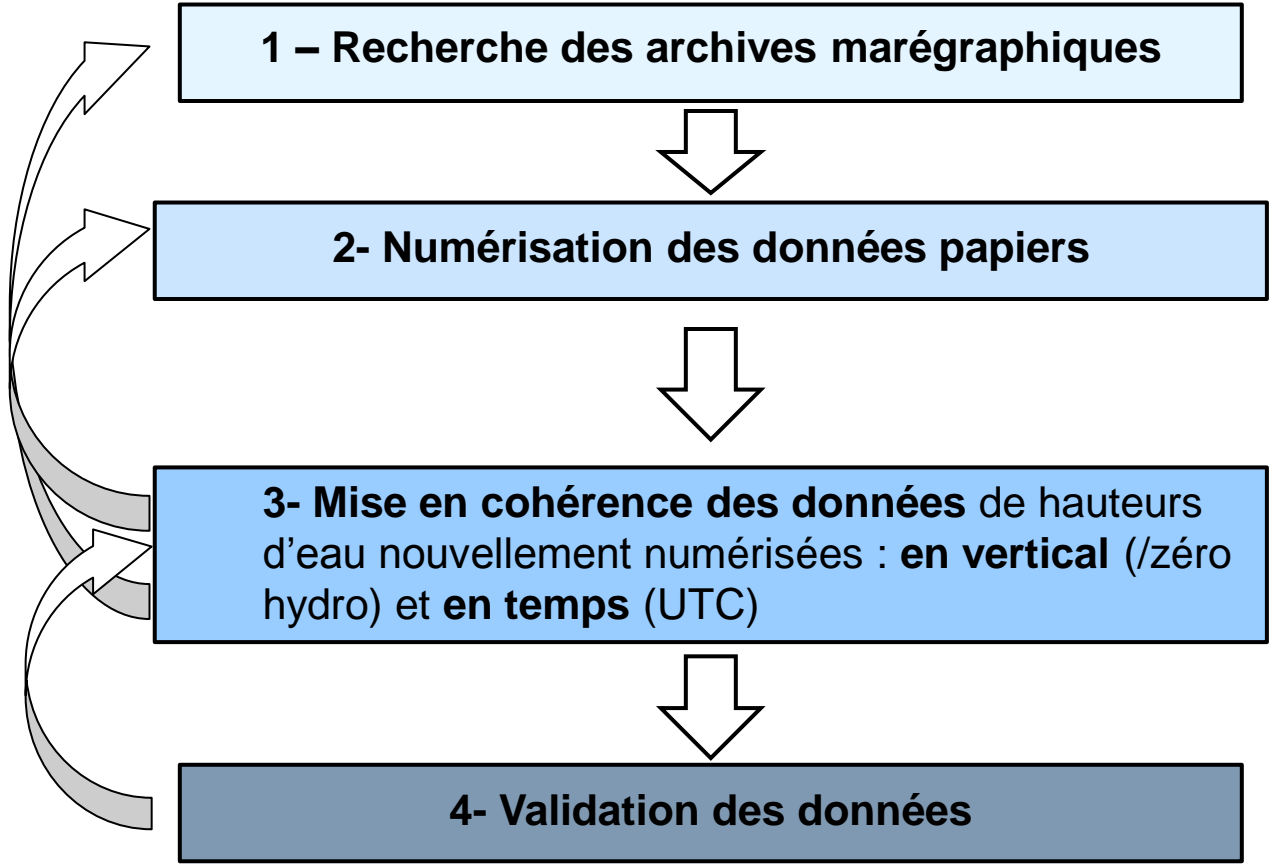
UTILITÉ DES SÉRIES HISTORIQUES DE MESURES DU NIVEAUX MARINS

Objectifs

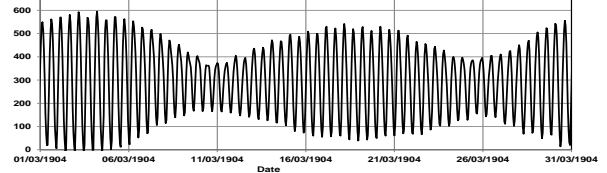
- **Sauvegarder le patrimoine historique** que sont les observations du niveau de la mer des décennies passées
- **Améliorer la connaissance de l'évolution du niveau marin** sur le littoral atlantique français, puis d'intercomparer les résultats avec d'autres séries pluriséculaires du niveau de la mer à l'échelle du littoral européen, voire mondial.
- **Appréhender l'influence locale de l'anthropisme sur l'évolution des composantes du niveau marin observées.**
- Apporter des éléments primordiaux pour **l'étude des niveaux extrêmes**
- *(Recenser et digitaliser les données météorologiques correspondantes)*

RECONSTRUCTION D'UNE SÉRIE HISTORIQUE DE HAUTEURS D'EAU

Stratégie générale



Signal numérique

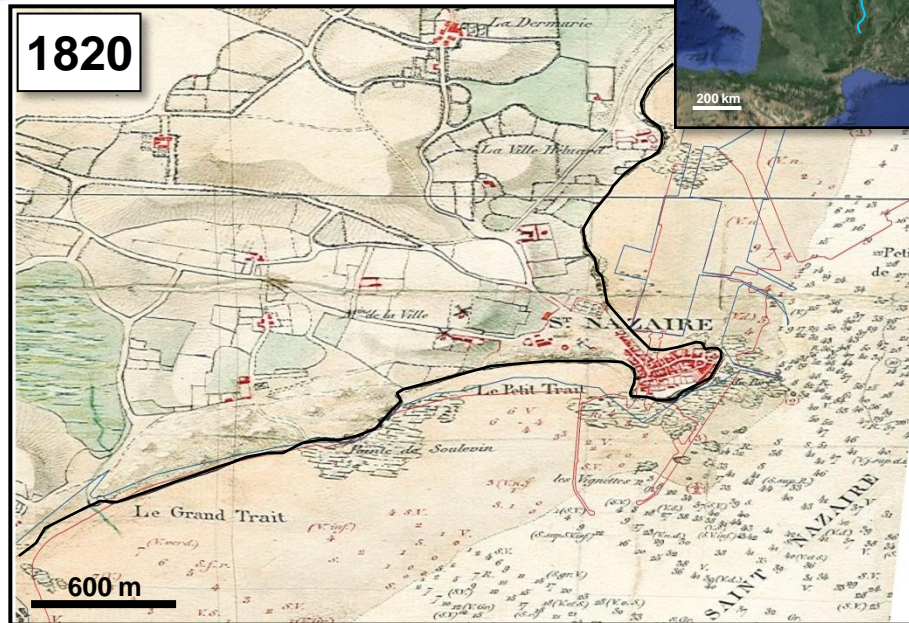


Observatoire marégraphique de Saint-Nazaire

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)



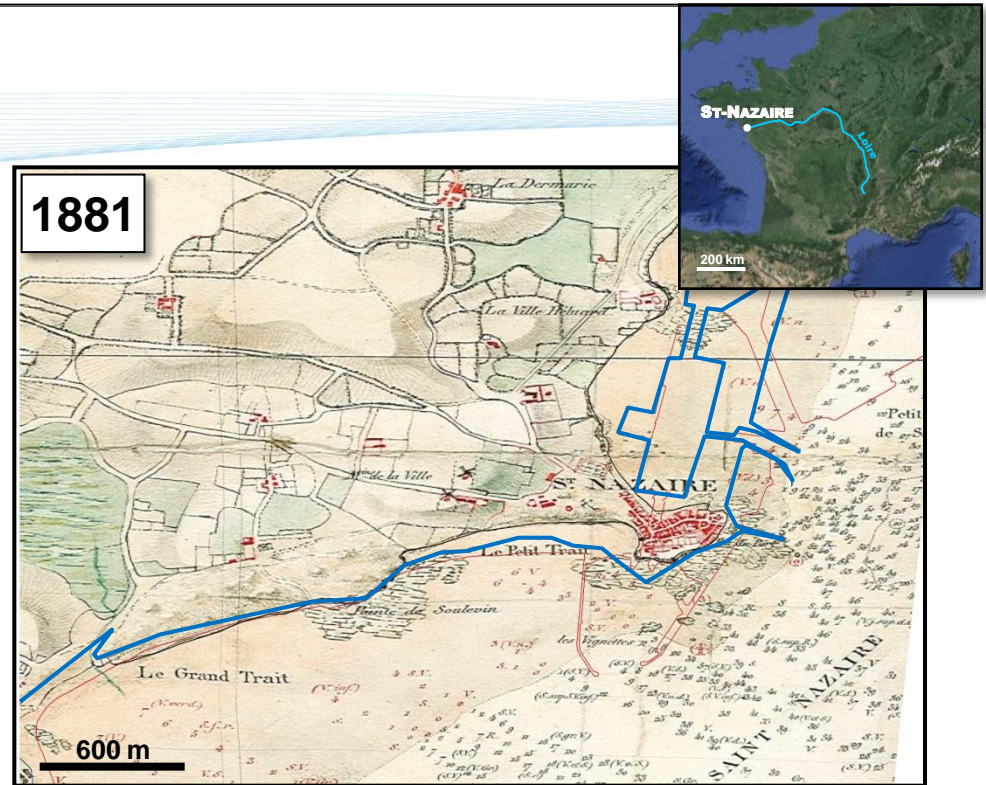
Beautemps-Beaupré 1820 (Source: SHOM)

Observatoire marégraphique 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)



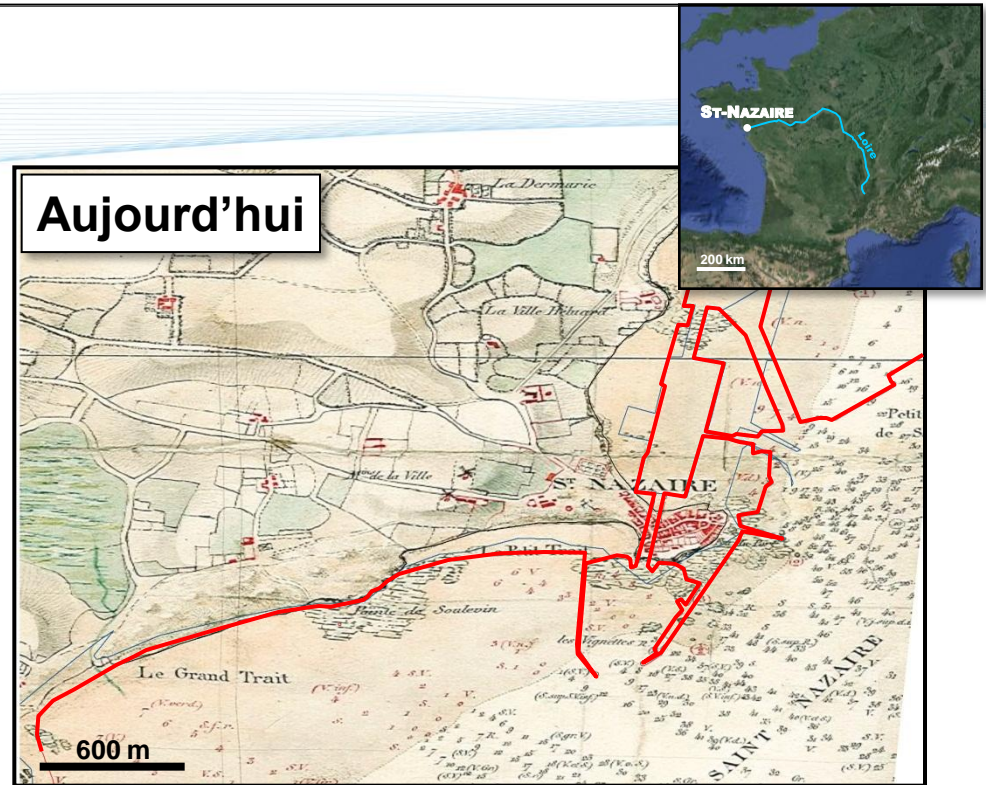
Bouquet de la Grye (Source: SHOM)

Observatoire marégraphique 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)



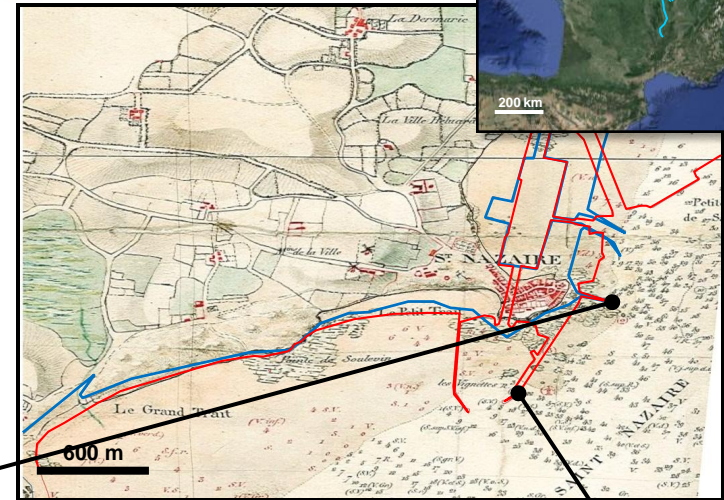
Trait de côte actuel (Source: SHOM)

Observatoire marégraphique de Saint-Nazaire

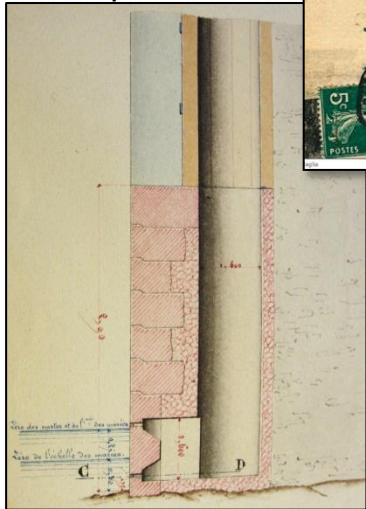
Depuis 1863, un marégraphe est installé à Saint-Nazaire, à l'embouchure de de la Loire (macrotidal)

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



(1861, cote 4S333, AD44)



Observatoire marégraphique de Saint-Nazaire

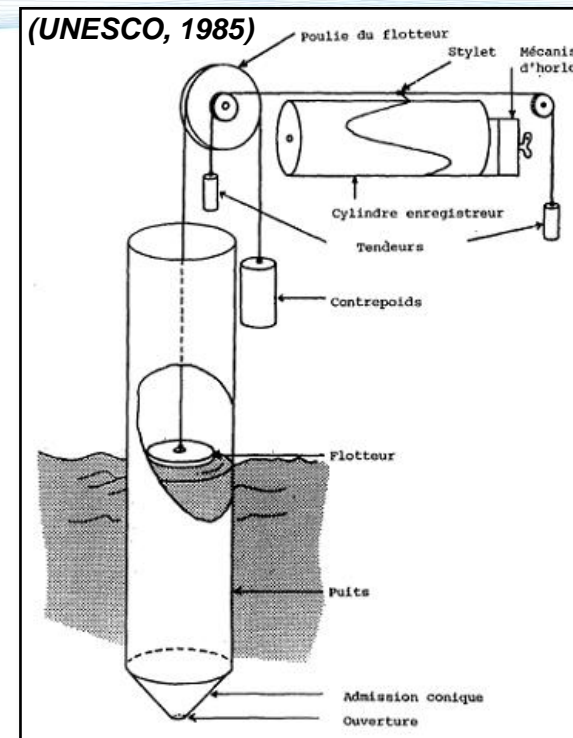
Depuis 1863, un marégraphe est installé à Saint-Nazaire, à l'embouchure de de la Loire (macrotidal)

Depuis le 19ème siècle :

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



Marégraphe radar à ondes guidées



Principe de fonctionnement d'un marégraphe à flotteur

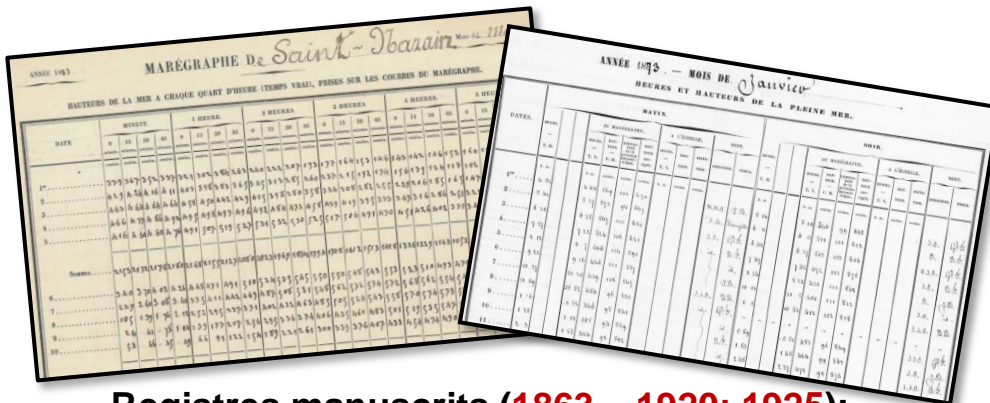
1 – Recherche des archives marégraphiques

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



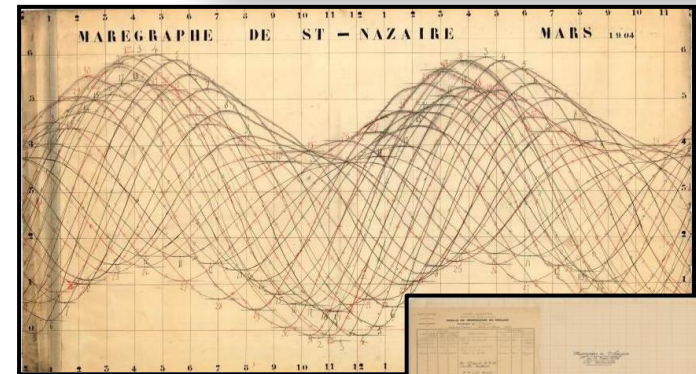
1ères mesures identifiées : 1821

Observations diurnes tous les ¼ h sur une échelle de marée temporaire (pour réduction de sondes).

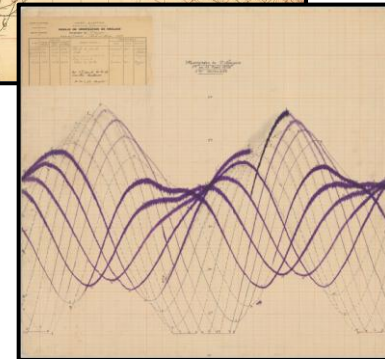


Registres manuscrits (1863 – 1920; 1925):

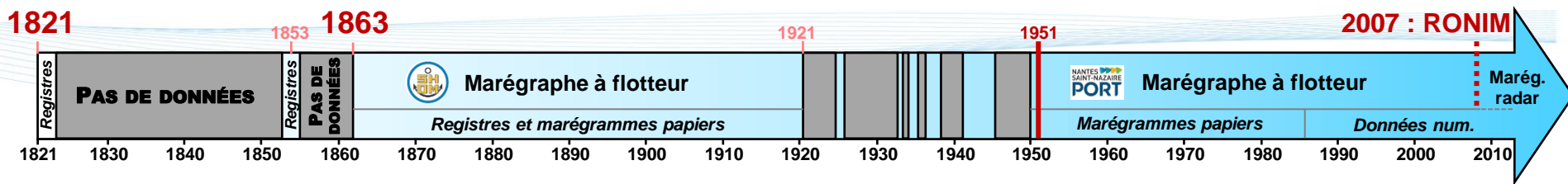
Extraction des hauteurs d'eau (pas de temps: ¼h – 1h)
Journaux bimensuels des marées (PM-BM,...)



Marégrammes (1932 – 1964):
2 semaines à 1 mois de mesures continues



1 – Recherche des archives marégraphiques



Nouvelles données :



**Intérêt de généralisation
du travail d'inventaire
aux collectivités,
Autorités portuaires, ...**

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

2- Numérisation des documents papiers

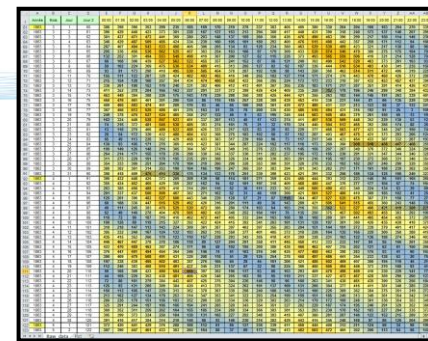
Travail long et fastidieux !

Registres manuscrits:

Digitalisés manuellement

(~ 500.000 valeurs horaires)

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

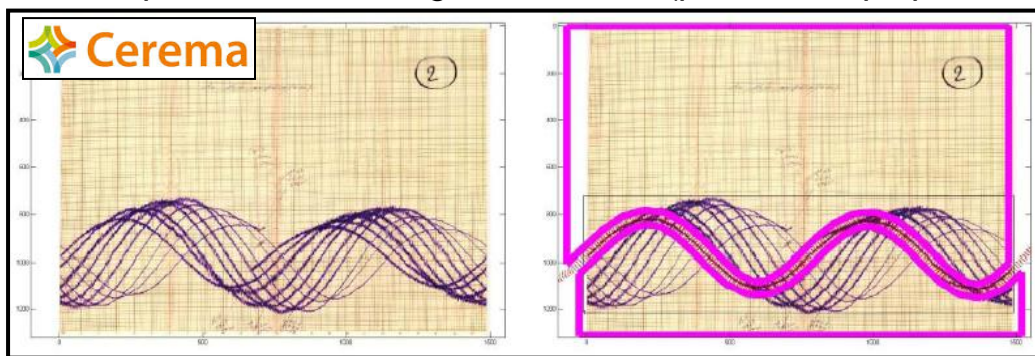


Marégrammes papiers:

- 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).



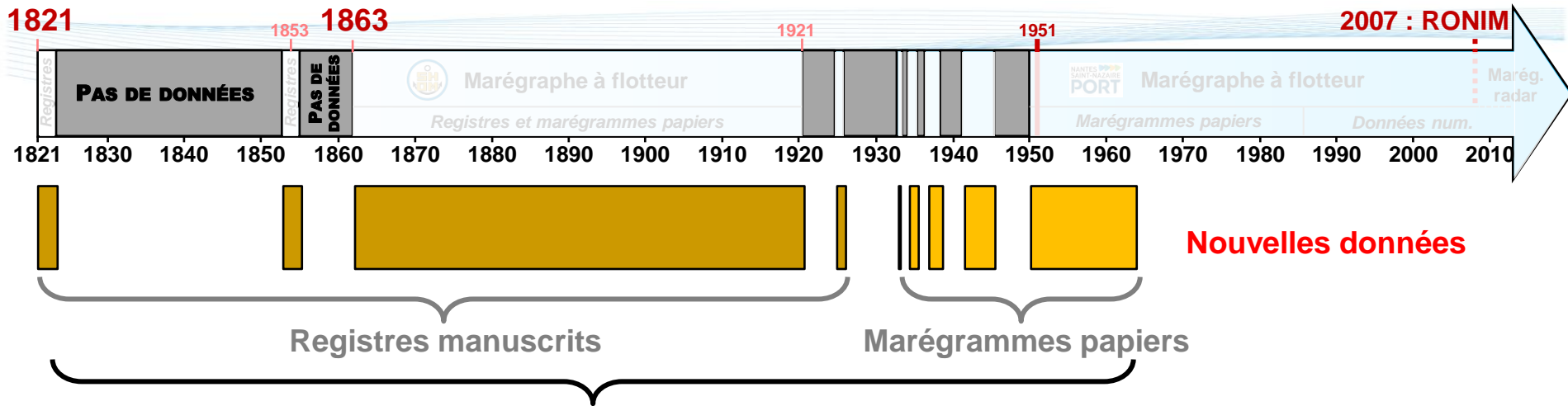
Environ 8000 courbes journalières de marée ont été extraites dans le cadre de ce projet

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

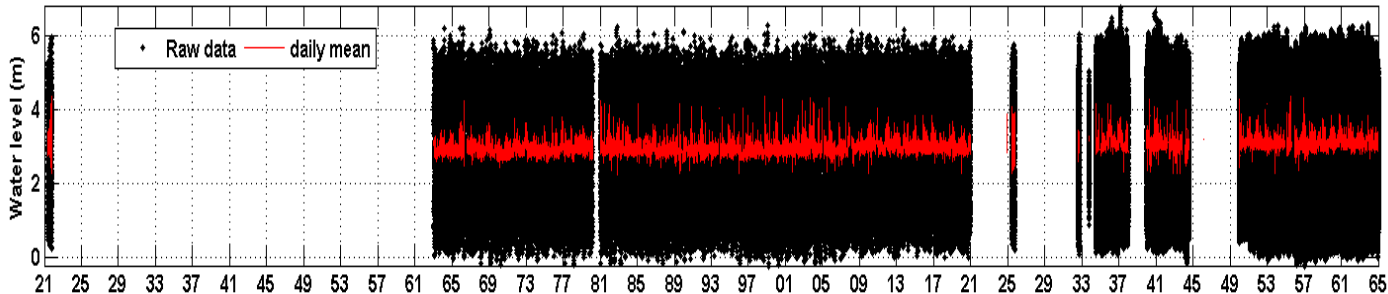
Reconstruction de la série de Saint-Nazaire

13/23

2- Numérisation des documents papiers



Données de hauteurs d'eau NUMERIQUES ... BRUTES



~ 80 ans de données nouvellement numérisées

Diurne
15min

1 heure

Diurn.
15min

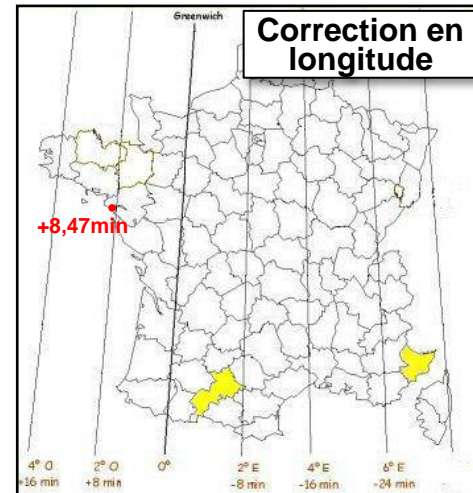
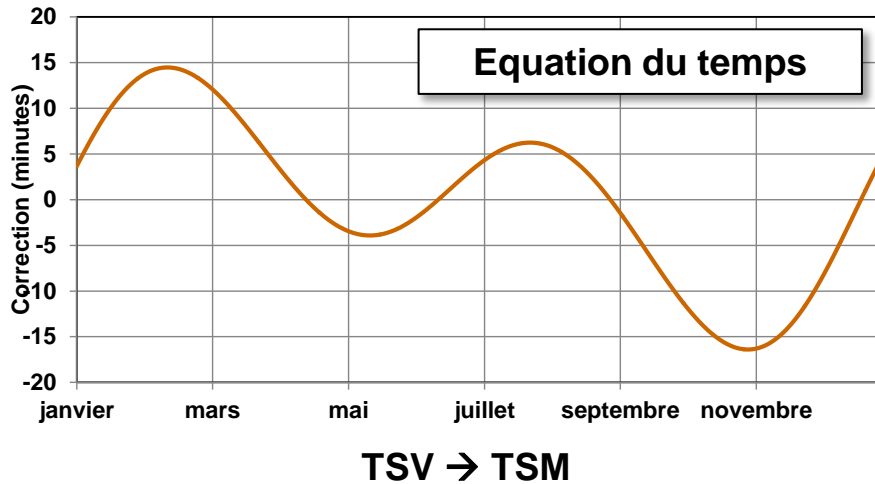
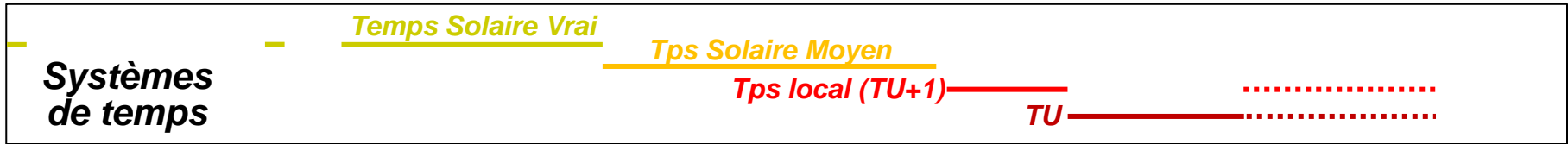
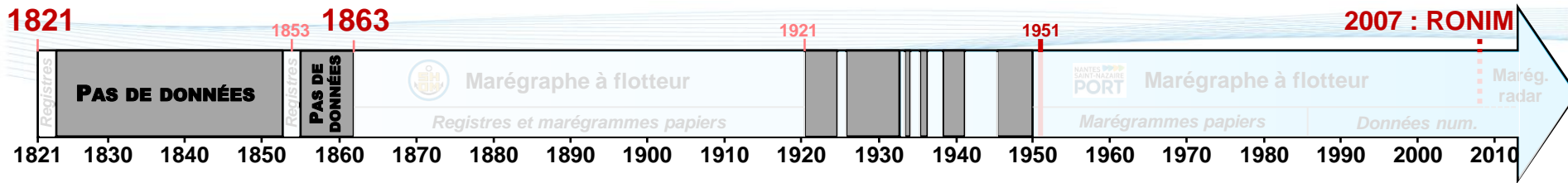
5 min.

Stratégie d'échantillonnage

Reconstruction de la série de Saint-Nazaire

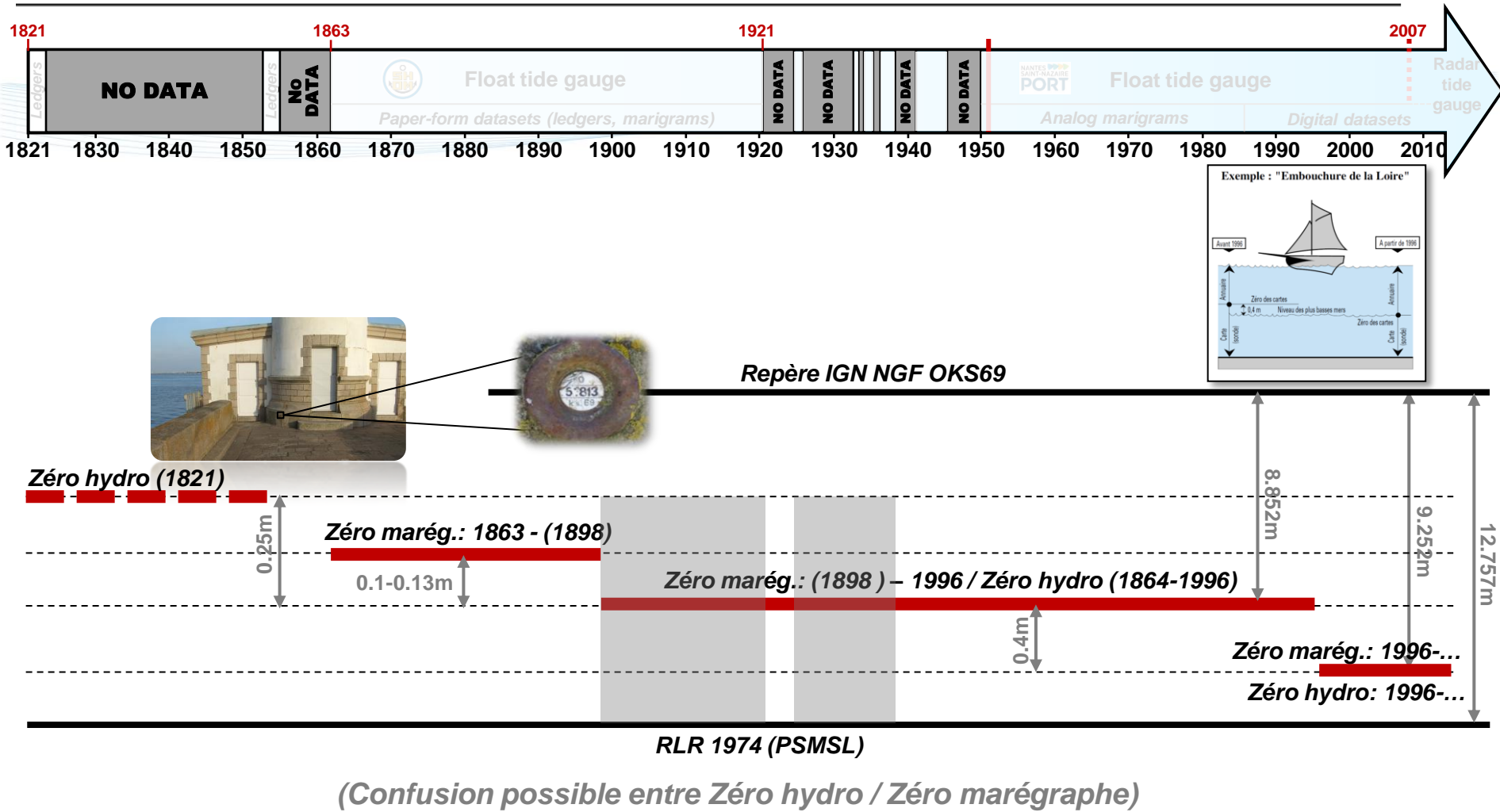
14/23

3- Mise en cohérence des données ... en terme de temps



TSM → TU

3- Mise en cohérence des données ... en terme de référence verticale



Beaucoup d'informations, parfois incohérentes à analyser

➔ **Pour certaines périodes, le zéro du marégraphe reste incertain!**

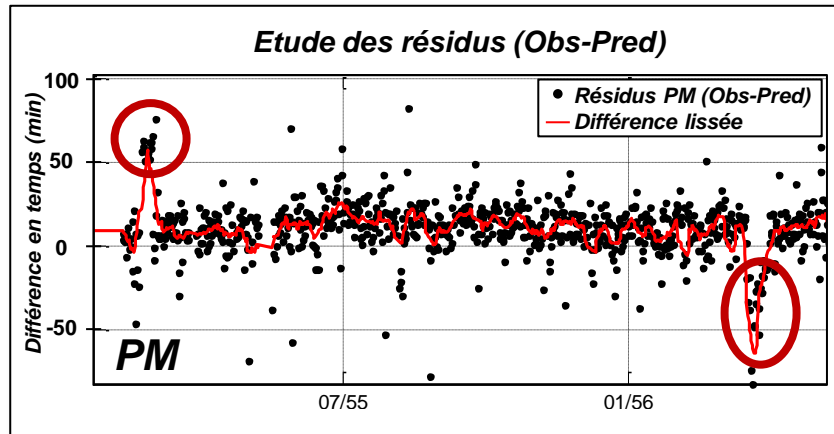
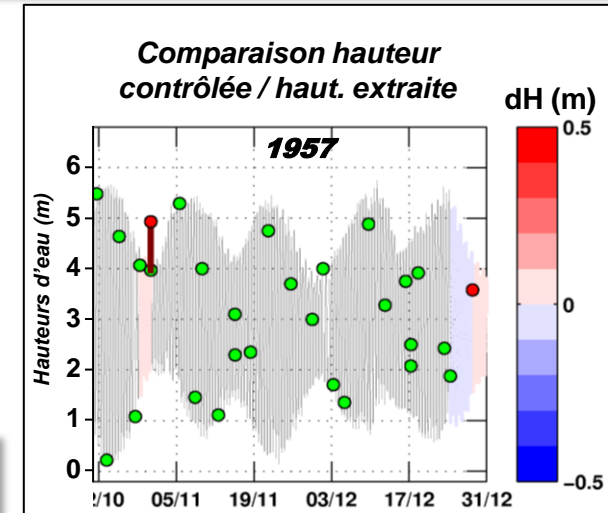
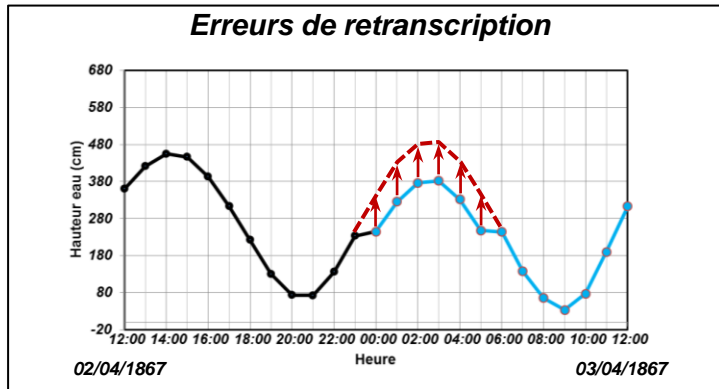
4- Correction / Suppression – Validation des données

Méthodes:

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

Feuille de contrôle associée au marégramme

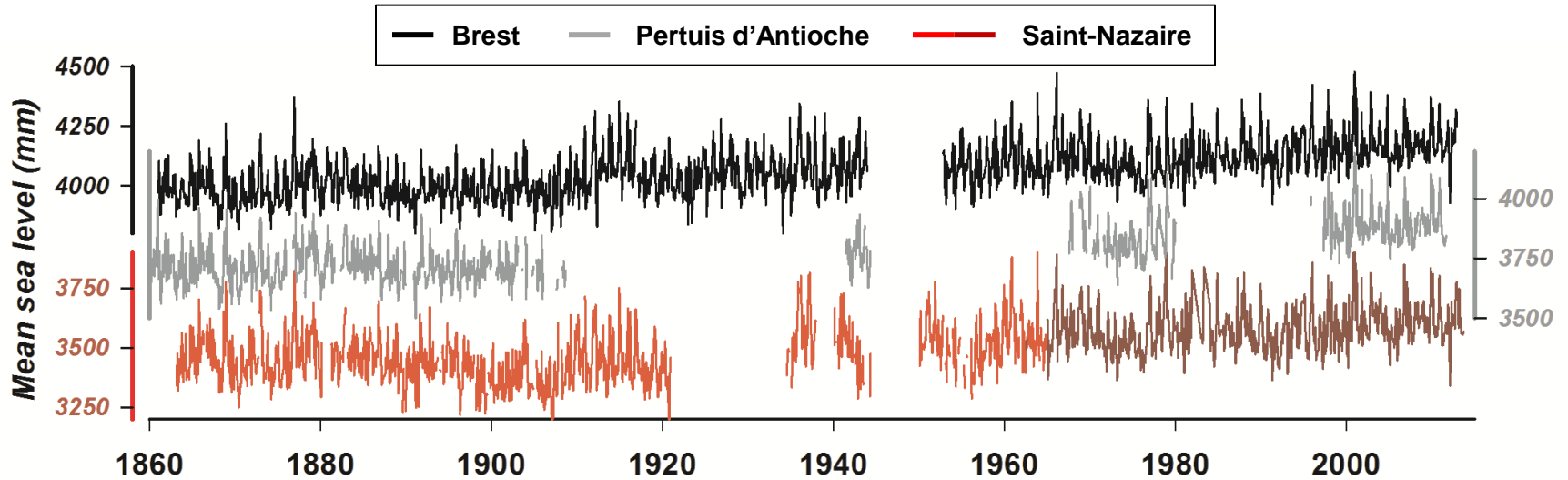
DATES	HEURES			HAUTEURS			OBSERVATIONS (1)
	exactes (T.U.)	enregistrées sur le graphique	indiquées par l'horloge du marégraphe	Echelle de marée	Ruban gradué	Diagramme enregistré	
25/11/57	13 ^h	13 ^h	13 ^h	1,24	1,24	1,24	pour de la feuille



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

4- Vérification de la qualité des mesures historiques

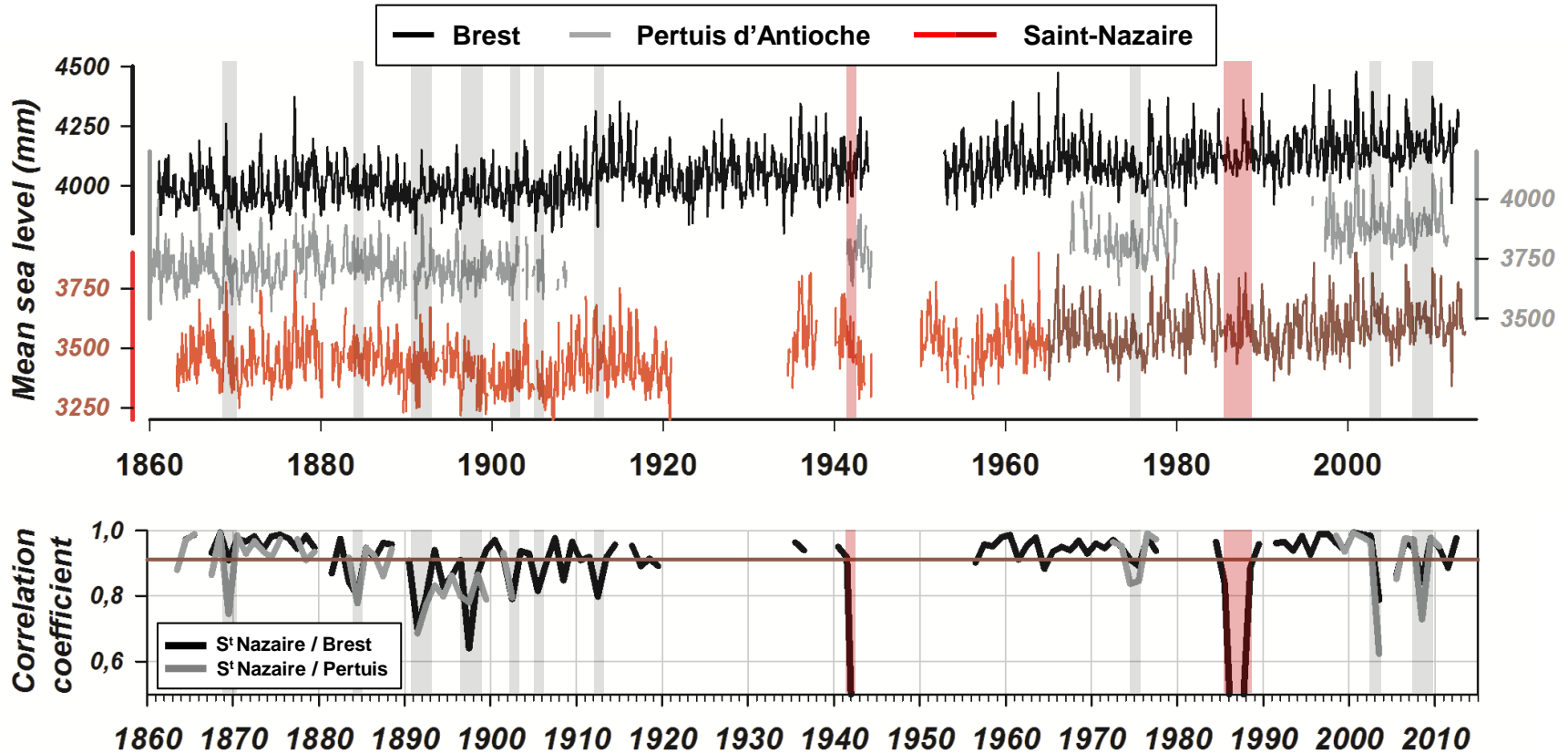
Qualité des mesures vérifiée en comparant des séries de hauteurs d'eau mesurées à proximité (stations régulièrement soumises aux mêmes conditions atmosphériques à large échelle)



➔ IDENTIFICATION DE PERIODES POTENTIELLEMENT DE MAUVAISES QUALITE !!

4- Vérification de la qualité des mesures historiques

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)



GLOBALEMENT, DONNÉES DE BONNE QUALITÉ ... A AFFINER!

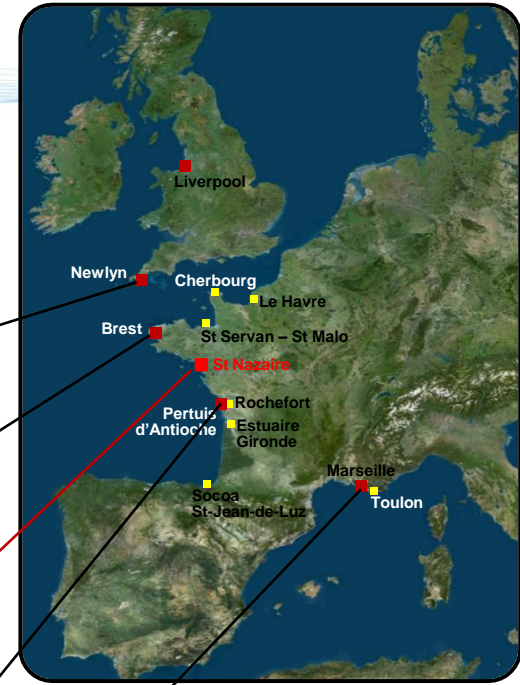
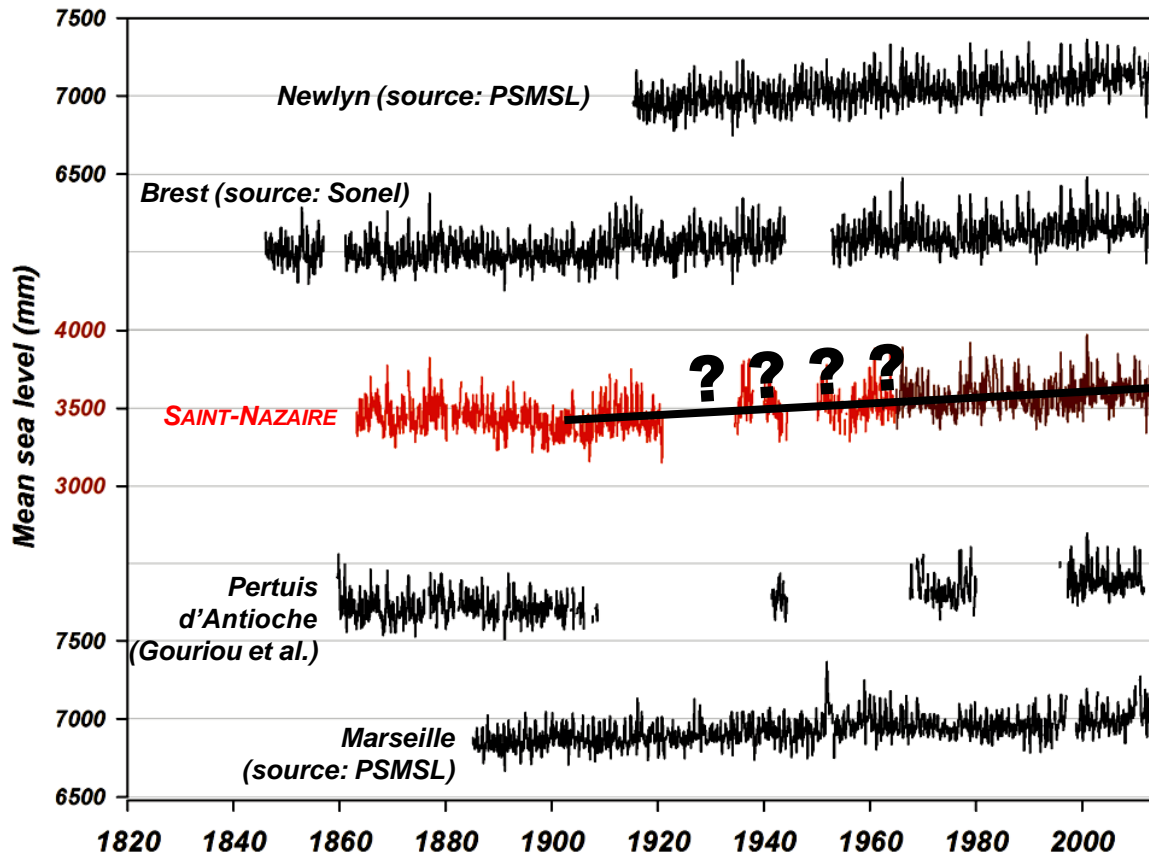
Intérêt de la reconstruction : Evolution du niveau marin

TRAVAIL EN COURS!!

La série reconstruite de St-Nazaire devient assez longue pour permettre l'étude de l'évolution du niveau marin!

Résultats attendus:

Comparaison avec d'autres séries pluriséculaires du niveau de la mer



Tendances à St-Nazaire selon le « 0 officiel » du marégraphe:

1953 -2013: 1.70+/-0.21 mm/an

1863-2013: 1.33+/-0.06 mm/an



A CONFIRMER!

Intérêt de la reconstruction : Evolution des caractéristiques de la marée

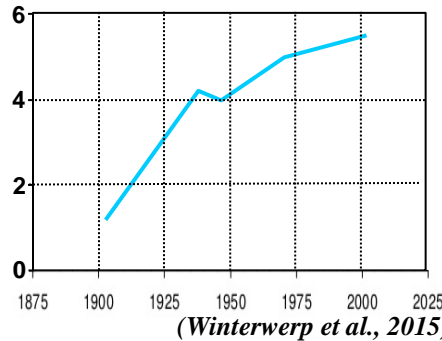
Evolution du marnage, modification des composantes harmoniques, ... / Influences anthropiques

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



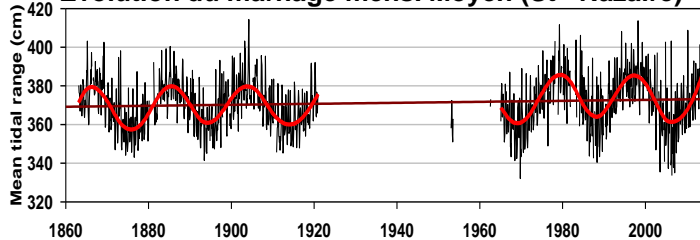
Impact fort sur le marnage en amont ...

Evolution du marnage à Nantes



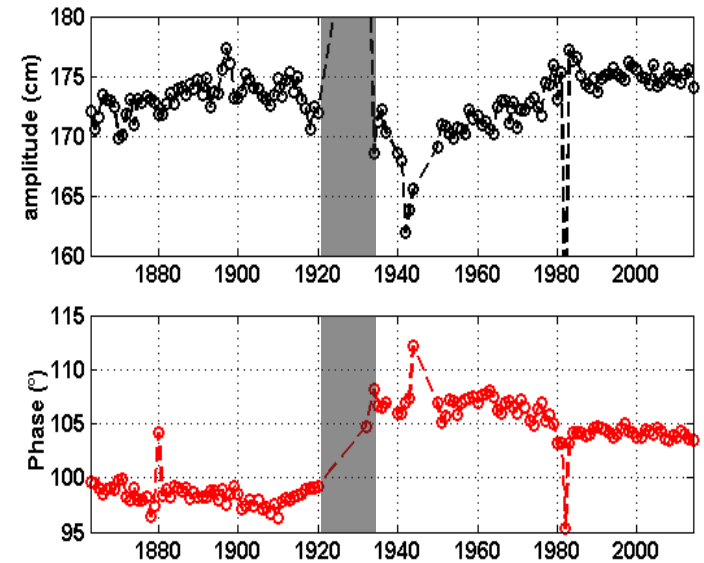
... En aval, impact pas complètement quantifié !

Evolution du marnage mens. Moyen (St -Nazaire)



Evolution des composantes harmoniques

Exemple de M2

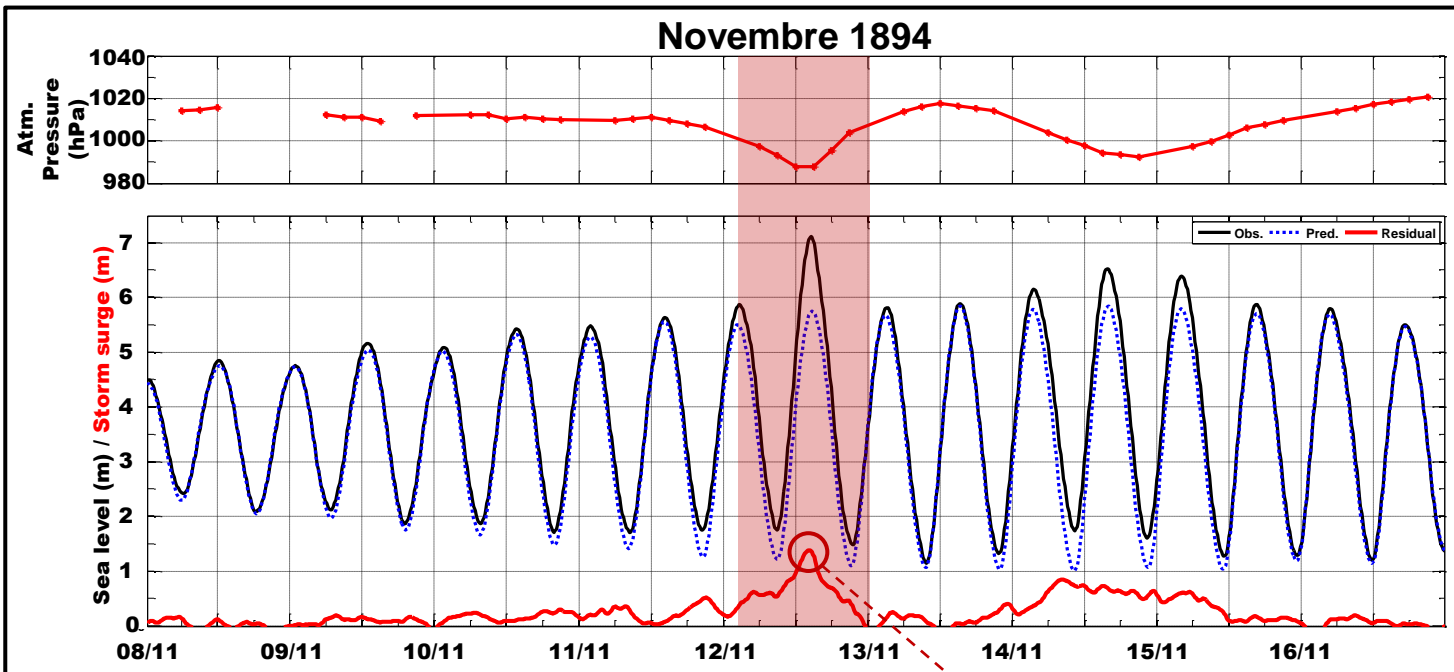


Développement portuaire, Nouveaux chenaux de navigation ???
Modification de l'observatoire (puits,...)???

Intérêt de la reconstruction : Prise en compte des tempêtes historiques

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)

« Aspect opérationnel »



meilleure définition des PPRN (Risques littoraux, Submersion, ...)

CONCLUSION

Aperçu du travail en cours sur la reconstruction de la série de St-Nazaire

Travail réalisé:

- Inventaire et recherche d'archives relatives à l'observation du niveau marin à Saint-Nazaire
- Digitalisation des données (500.000 valeurs horaires, 8.000 signaux tidaux journaliers)
→ Globalement, données de bonne qualité
- Travail à partir des mesures/métadonnées pour rendre la série reconstruite cohérente

... En cours de réalisation:

Travail encore nécessaire pour obtenir une série cohérente la plus sûre et complète possible

Néanmoins, il est déjà perceptible que des résultats prometteurs devraient être obtenus

Une fois la série reconstruite et validée, les données nouvellement numérisées seront **mises à disposition (REFMAR, SONEL, PSMSL, ...)**

data.shom.fr



www.sonel.org



Résultats attendus

Etude de l'évolution du niveau marin, comparaison avec des séries à proximité, travail sur niveaux extrêmes, évolution des caractéristiques de la marée,

Perspectives:

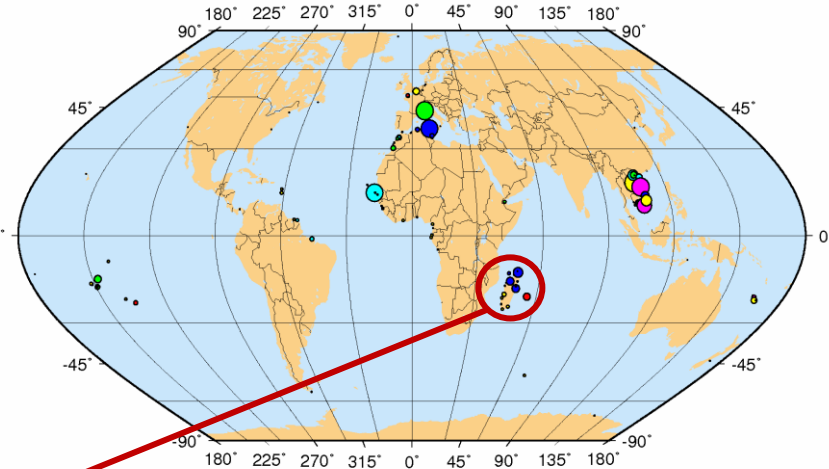
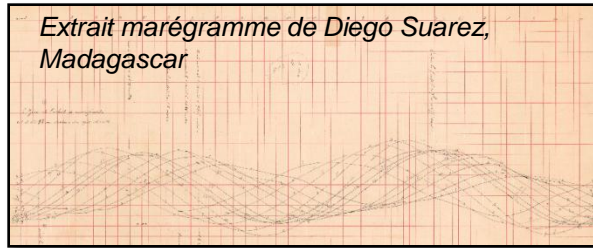
Données de pressions atmosphériques disponible en format papier (1863-1920), pourraient également être digitalisées : une probable meilleure caractérisation de la tendance long-terme du niveau marin pourrait être atteinte!

Reconstruction de la série de Saint-Nazaire

22/23

Possibilité / Nécessité de ne pas se limiter à la France ...

➔ **élargir l'emprise géographique du "Data Rescue"**



Localisation des mesures historiques du niveau de la mer

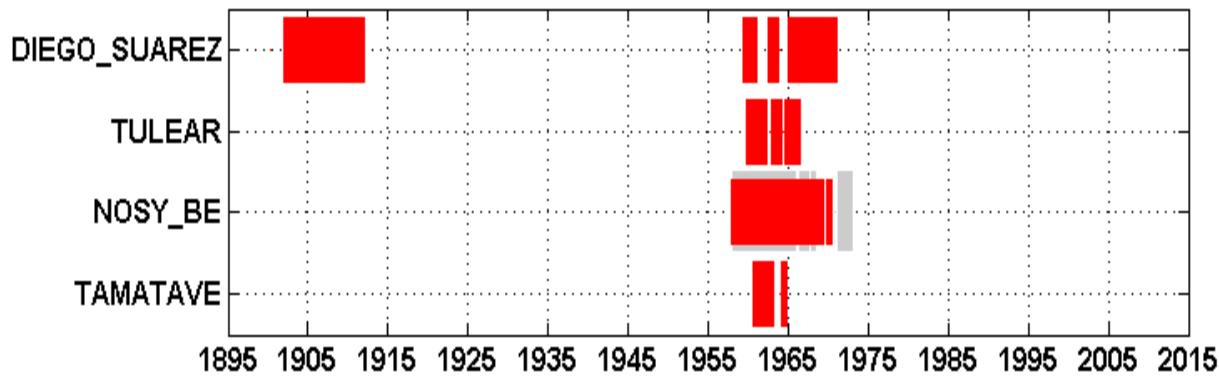
Couleurs déterminant la durée totale des observations (en années)

● 000-020	● 021-040	● 041-060	● 061-080	● 081-100	● sup. à 100
○ 005ans	○ 010ans	○ 015ans	○ 020ans	○ 025ans	○ 030ans

Taille des cercles proportionnelle au nombre d'années effectives

(Pouvreau, 2008)

Ex: MADAGASCAR



-  Données num.
-  **INVENTAIRE SHOM EN COURS**
-  Archives papiers (Marégrammes, Registres, ...)

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

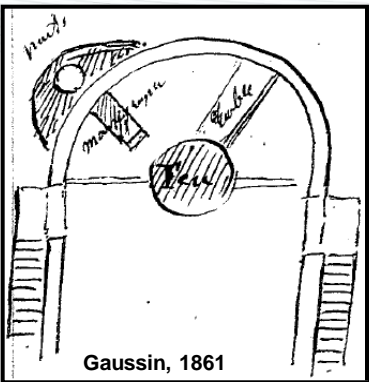
Questions???



http://refmar.shom.fr/applications_maregraphiques/programmes-projets/construction-analyse-series-coherentes-niveau-mer/port-de-saint-nazaire



MISE EN PLACE DE L'OBSERVATOIRE DES MARÉES AU « VIEUX MÔLE » (1861)

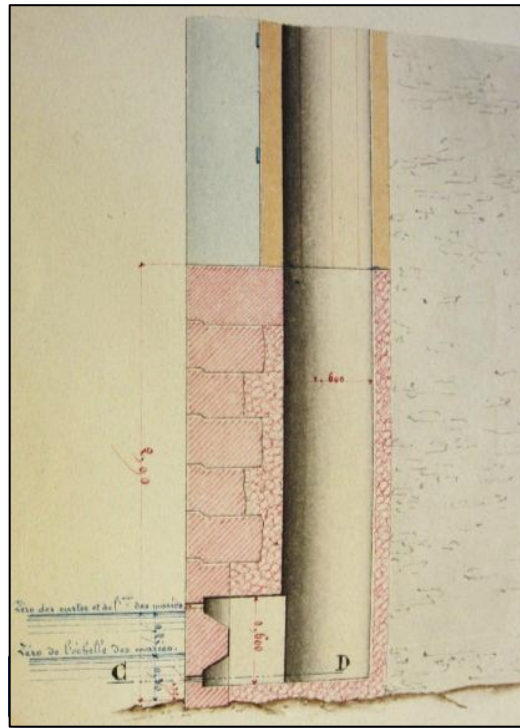


Note de l'Ingénieur hydrographe Gaussin, 1861 :

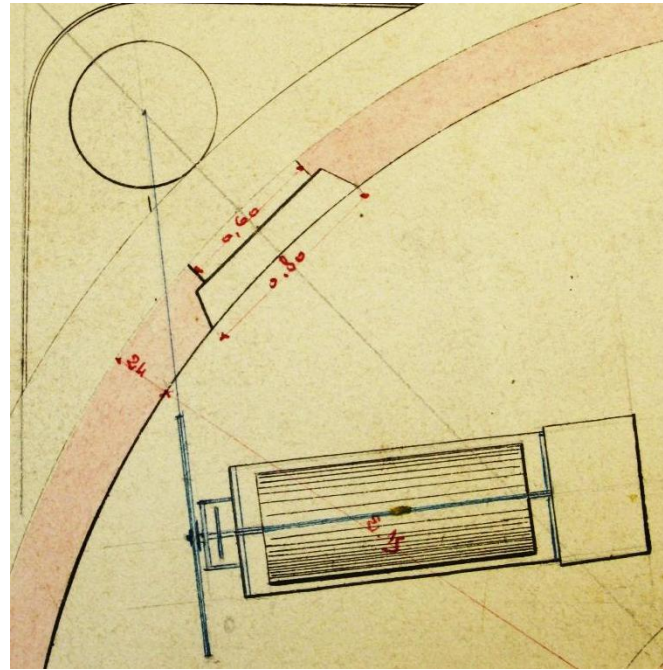
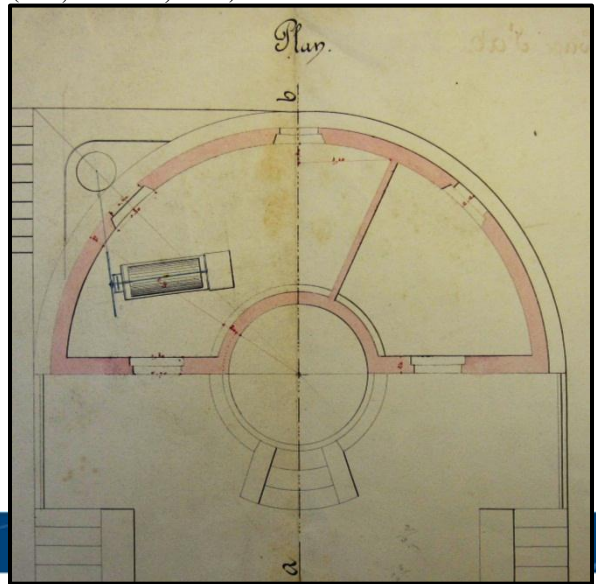
« Le puits du marégraphe est établi à l'extrémité du musoir de la jetée en pierre de St-Nazaire. Il est formé de pièces de bois de sapin, verticales appliquées contre un des côtés du musoir et fortement reliées par des bandes de fer [...] Dans ce massif de sapin est le puits circulaire de 60 centimètres de diamètre descendant verticalement jusqu'aux assises inférieures de la jetée en bas de la cale, à 1 m environ au dessus de la basse mer, puis dans les assises de la cale et dans le rocher inférieur où il est maçonné en briques et ciment avec le même diamètre, il descend ainsi m'a-t-on assuré jusque 30 ou 40 centimètres au dessous du zéro de l'échelle de l'extrémité de la jetée »



Carte postale, AD-44 (23 Fi 4438)



(1861, cote 4S333, AD44)



Numérisation des marégrammes papiers

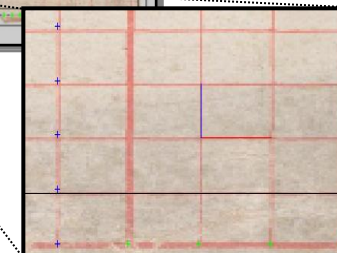
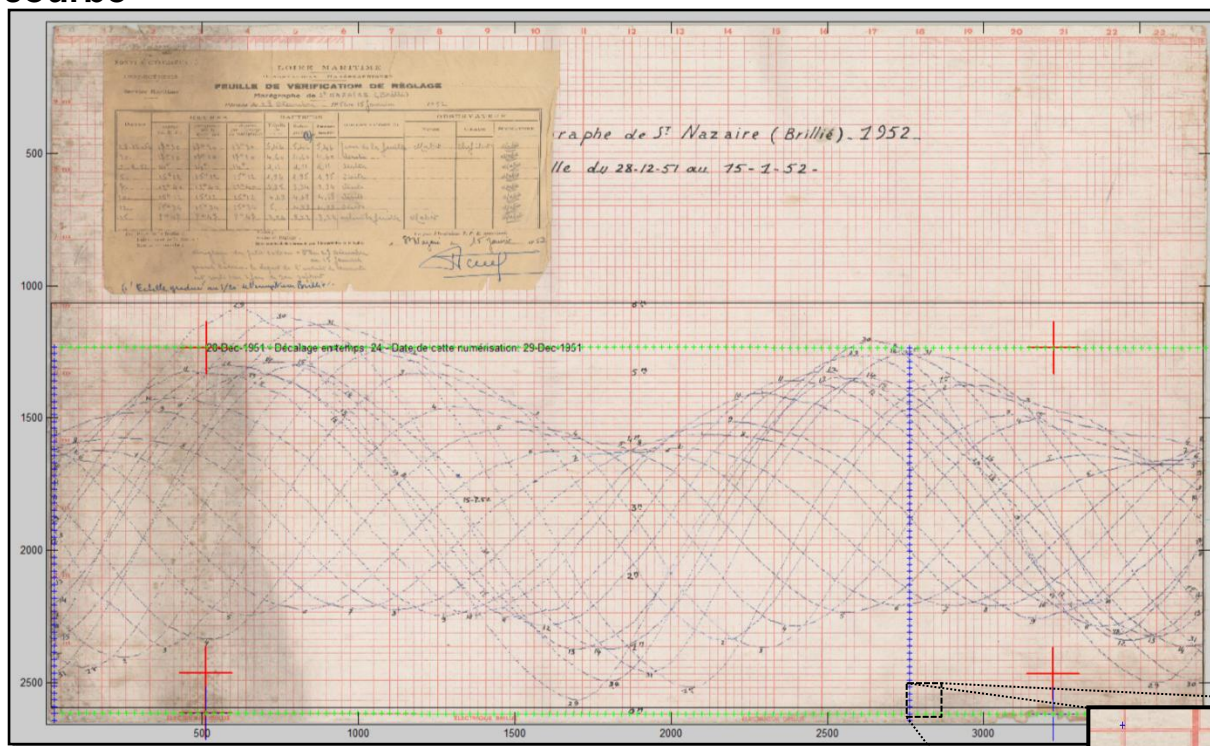
Logiciel NUNIEAU (CEREMA)



Vraiment efficace quand : Une courbe de marée par marégramme et la couleur dominante du fond est différente de celle de la courbe

Etapas

**CALAGE EN TEMPS
ET EN VERTICAL**



Numérisation des marégrammes papiers

Logiciel NUNIEAU (CEREMA)

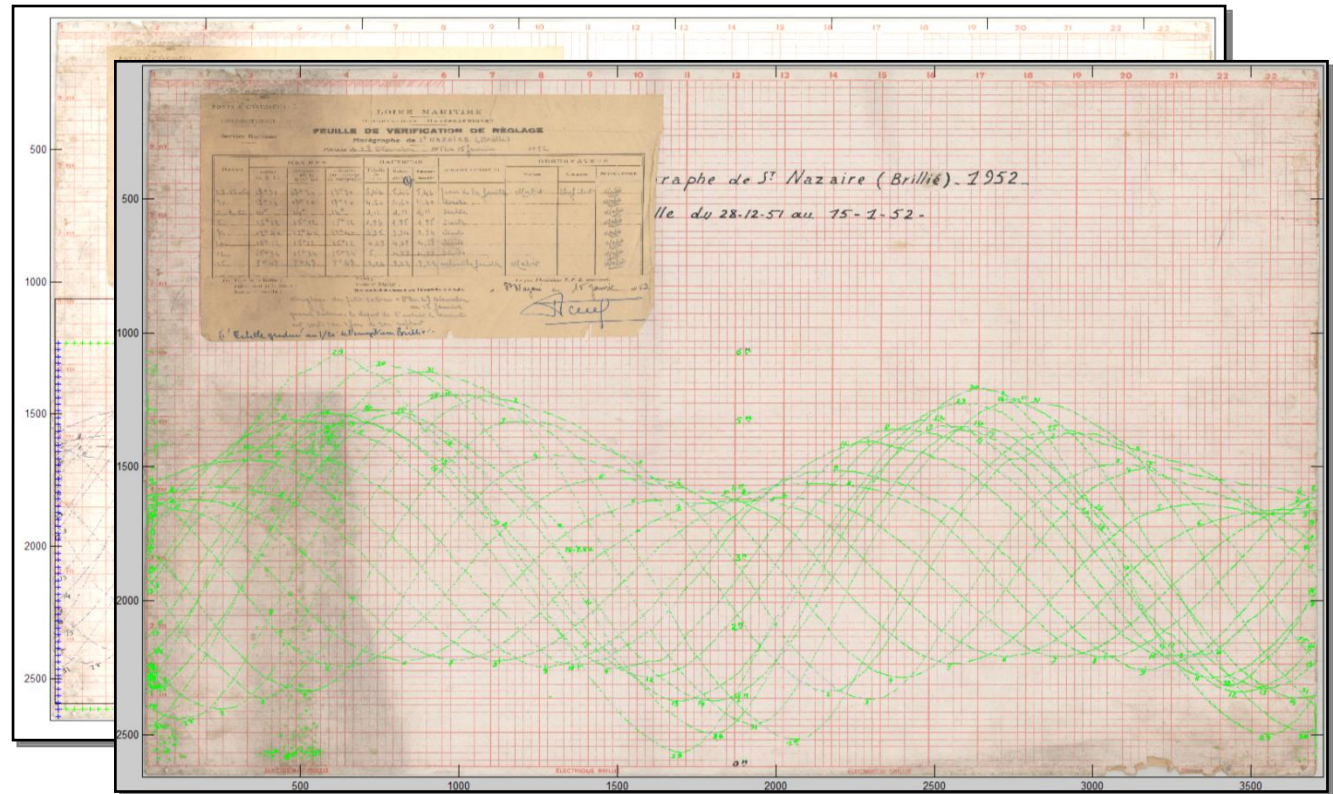


Vraiment efficace quand : Une courbe de marée par marégramme et la couleur dominante du fond est différente de celle de la courbe

Etapas

**CALAGE EN TEMPS
ET EN VERTICAL**

**DÉFINITION DE LA
COULEUR A EXTRAIRE**



Numérisation des marégrammes papiers

Logiciel NUNIEAU (CEREMA)



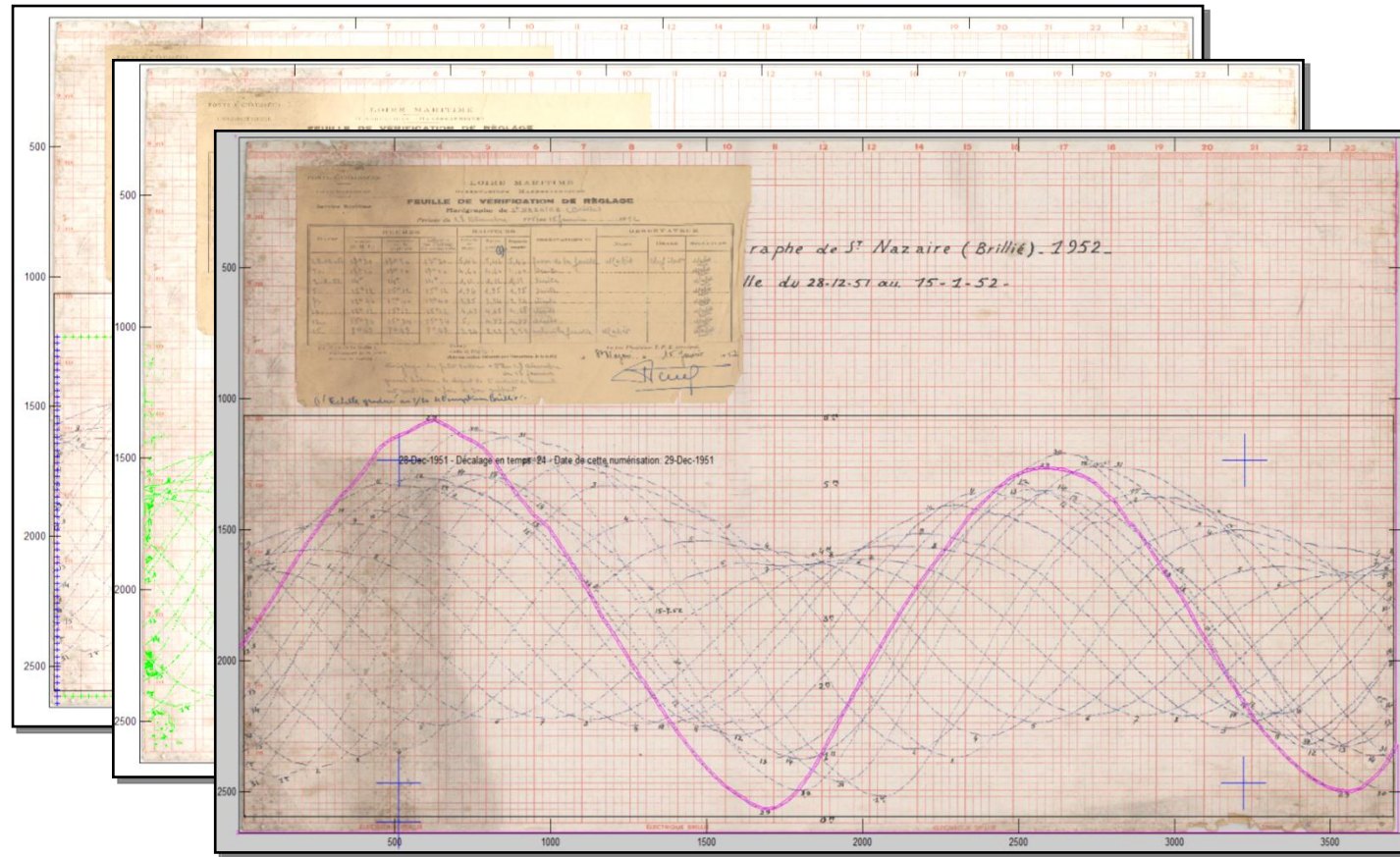
Vraiment efficace quand : Une courbe de marée par marégramme et la couleur dominante du fond est différente de celle de la courbe

Etapes

CALAGE EN TEMPS
ET EN VERTICAL

DÉFINITION DE LA
COULEUR A EXTRAIRE

NETTOYAGE DE
L'IMAGE



RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

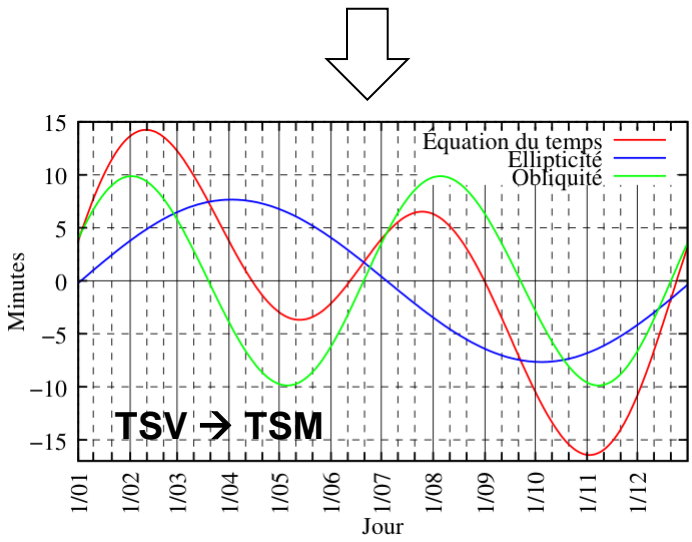
Du Temps Solaire Vrai au Temps Solaire Moyen ... au Temps Universel

Temps Solaire Vrai ou apparent

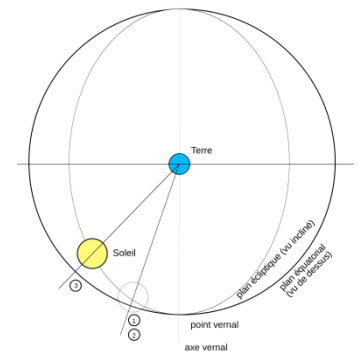
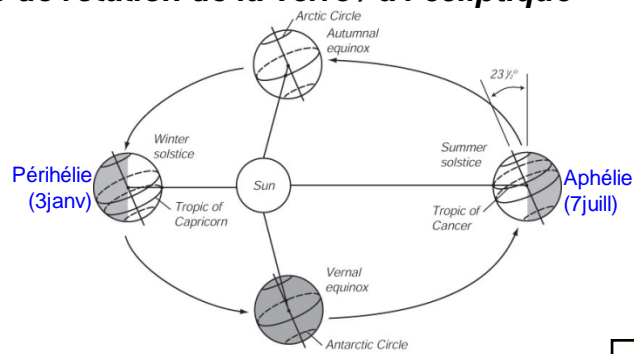
Mesure du temps basée sur le déplacement apparent du Soleil au cours de la journée pour un endroit donné. (angle horaire du Soleil) → **Heure du cadran solaire**

Durée du jour varie au cours de l'année, du fait de:

- L'obliquité, ou l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre / à l'écliptique
- L'ellipticité de l'orbite de la Terre

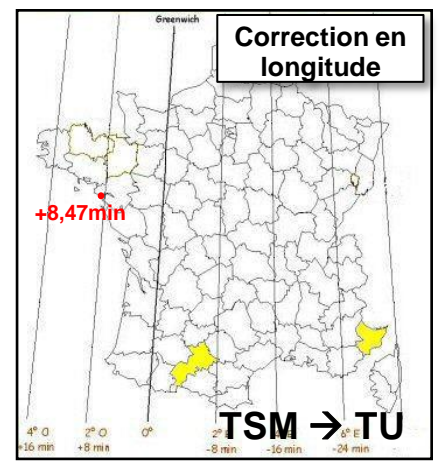


Soleil en retard - Soleil en avance



Temps Solaire Moyen

Mesure du temps basée sur un Soleil moyen qui se déplacerait sur l'équateur à vitesse constante (1 jour = 24h) tout au long de l'année



RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

PERSPECTIVES

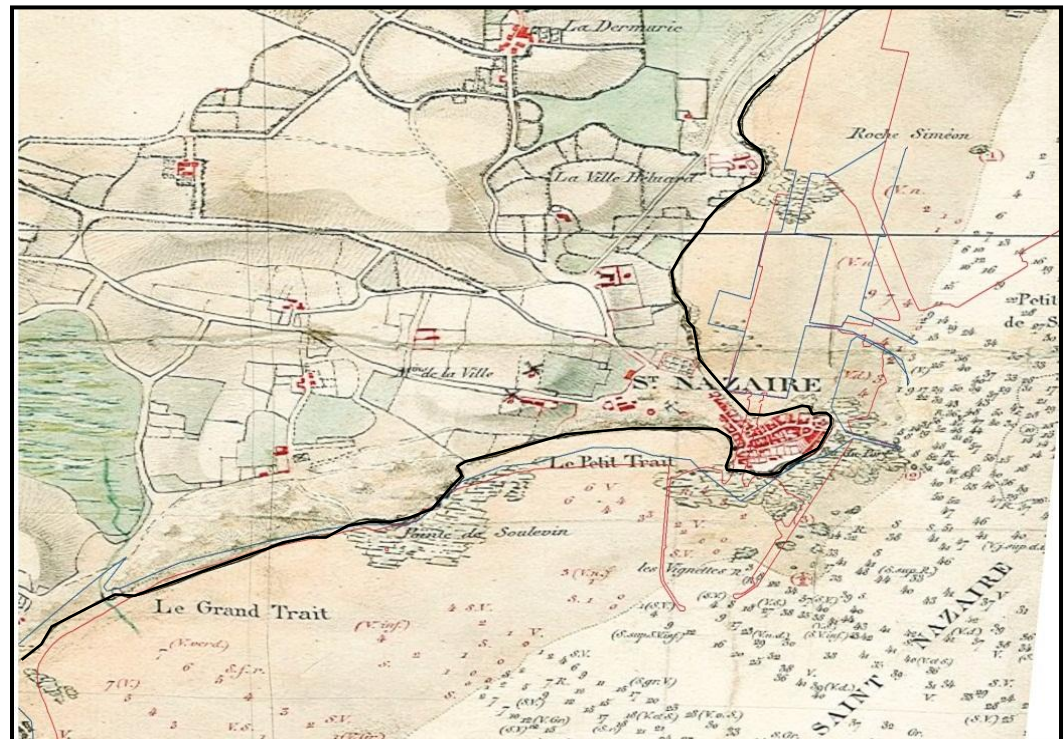
Evolution du trait de côte et de la bathymétrie sur des temps historiques

Le suivi de l'évolution du trait de côte et de la bathymétrie au cours du temps pourrait permettre de comprendre les modifications des caractéristiques de la marée au cours du 19^{ème} et 20^{ème} siècles.

Archives cartographiques du SHOM contient plusieurs minutes (papier):

- 1821
- 1853
- 1864
- 1881
- 1893
- 1901
- ...

Couvrant selon les cartes, la Loire jusqu'à Nantes, ou uniquement l'embouchure.



Minute Beautemps-Beaupré de 1821 (Source: SHOM)