



# Reconstruction et analyse des mesures de hauteurs d'eau observées à Saint-Nazaire depuis 1863

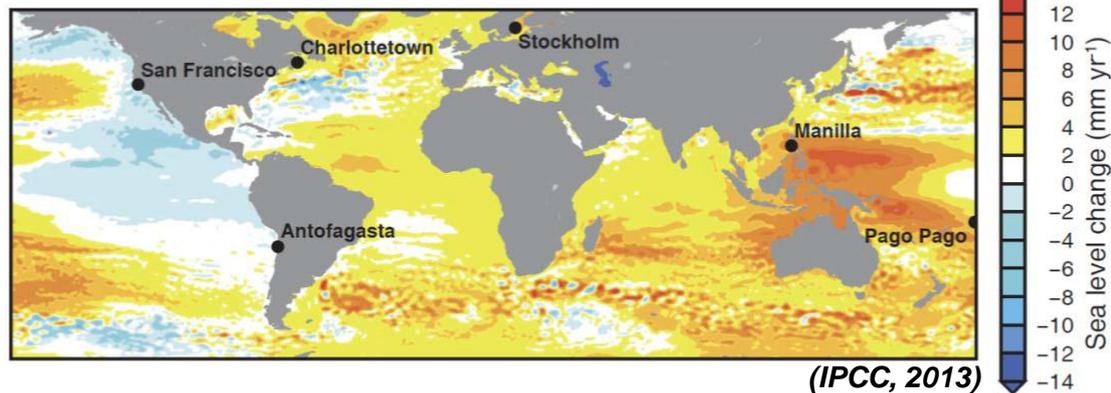
Yann Ferret, Nicolas Pouvreau & Camille Daubord

# CONTEXTE GÉNÉRAL

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

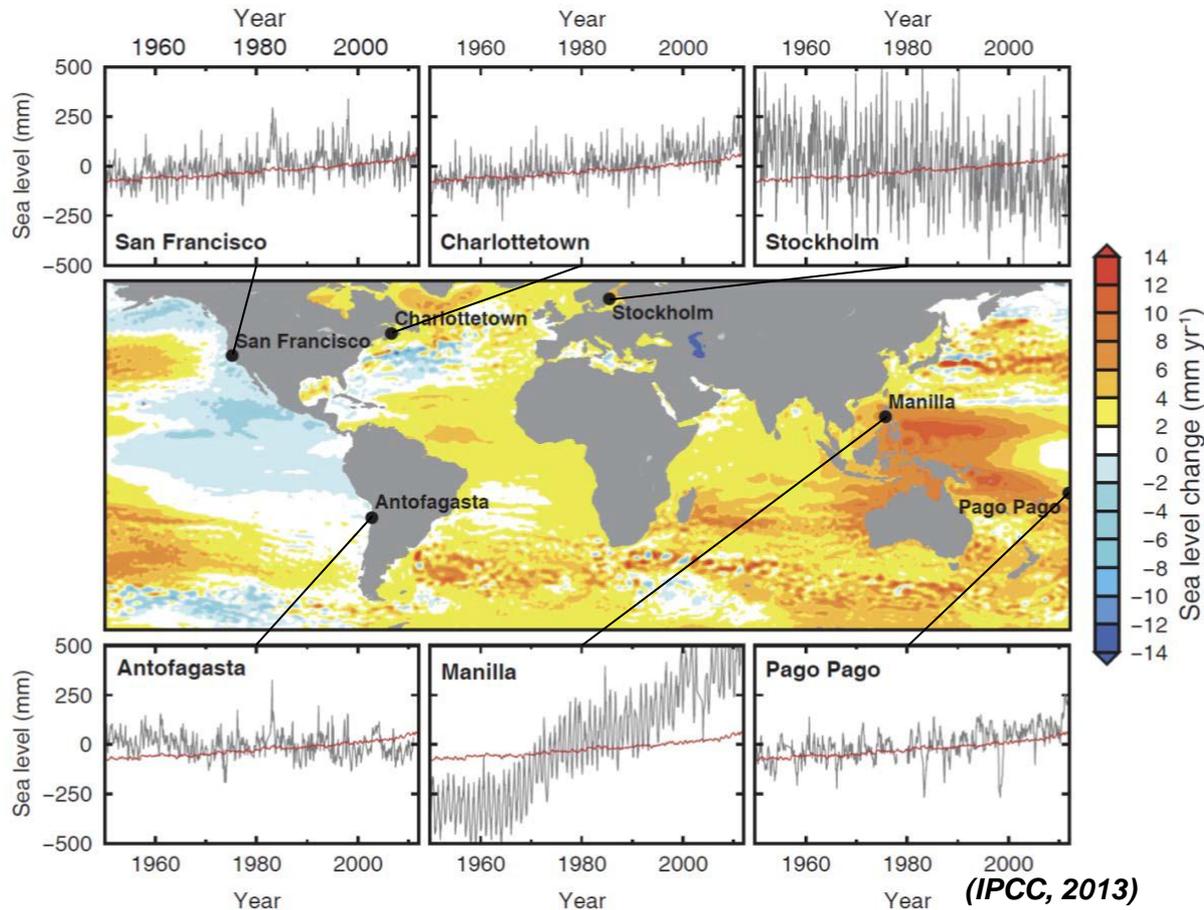
Evolution des températures (Océan/atmosphère), régimes climatiques, ...  
... Evolution du niveau marin

Evolution du niveau marin géocentrique (1993-2012):



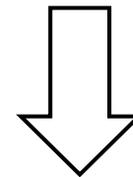
# CONTEXTE GÉNÉRAL

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



(IPCC, 2013)

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

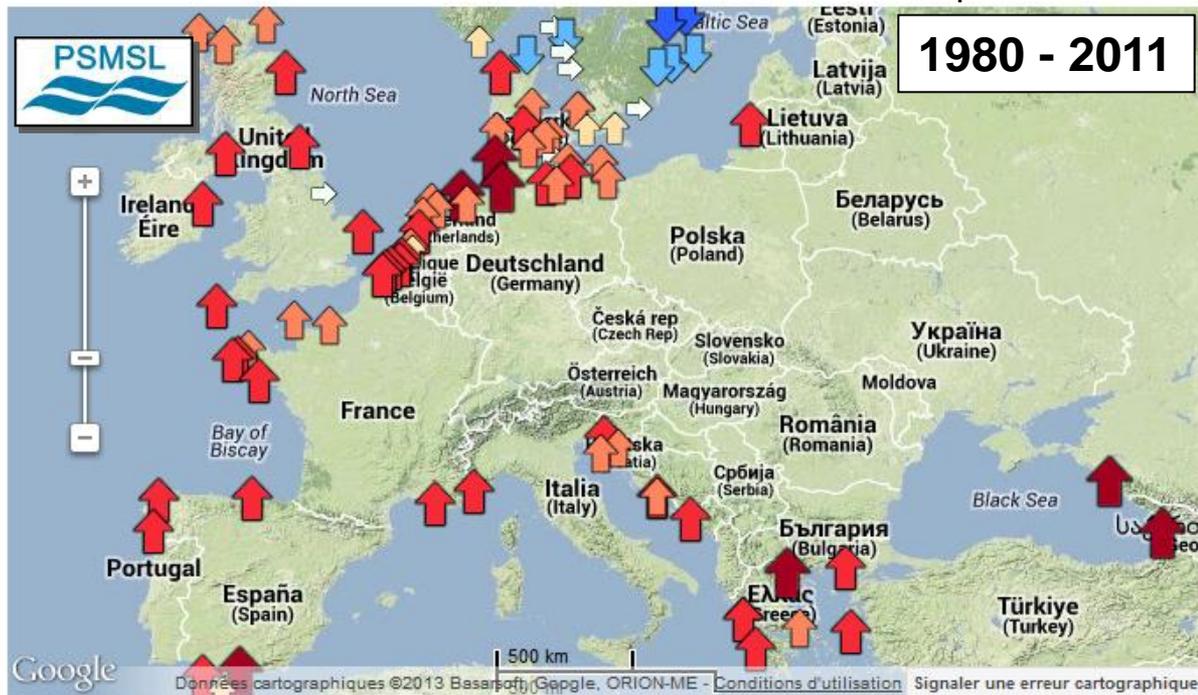


Mesures marégraphiques longues et continues primordiales

# CONTEXTE GÉNÉRAL

## Répartition et tendances sur les 30 dernières années

Tendances du niveau relatif de la mer en Europe :



# CONTEXTE GÉNÉRAL

## Répartition et tendances depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle

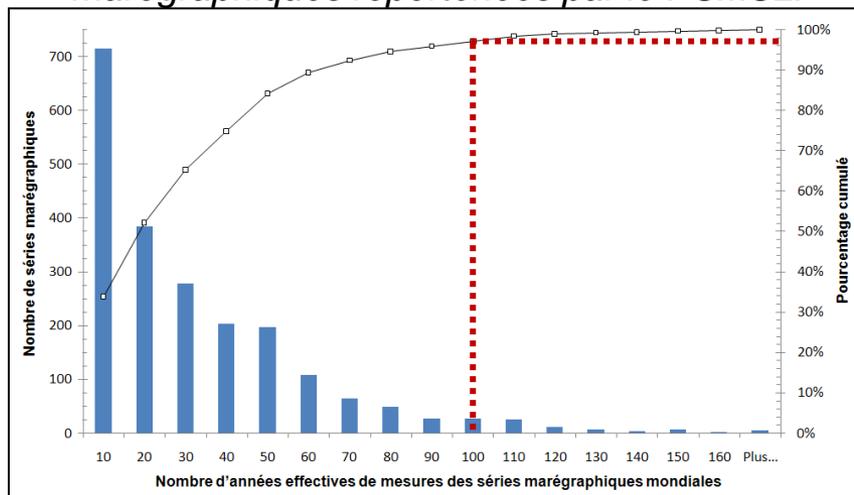
Tendances du niveau relatif de la mer en Europe :



# CONTEXTE GÉNÉRAL

## Inventaire des chroniques disponibles

Réalisé à partir des 2 111 stations marégraphiques répertoriées par le PSMML.



(Douglas 2001, actualisé par Gouriou, 2012)

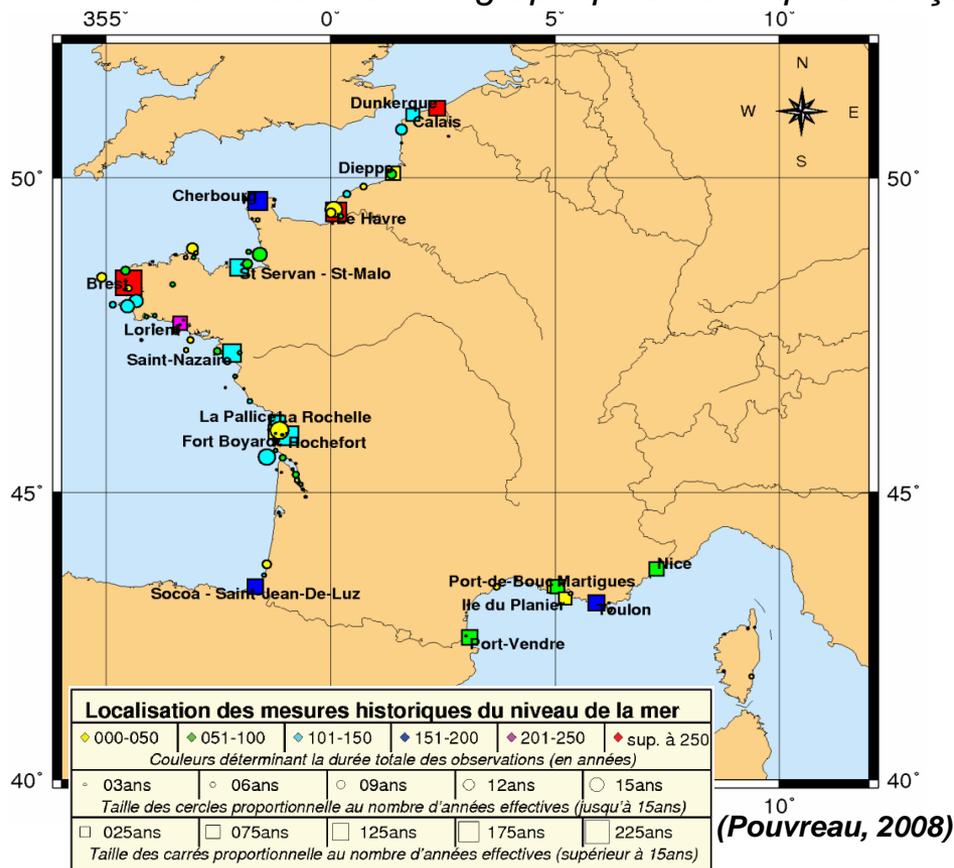
**60 ans d'enregistrement sont raisonnables pour estimer les variations eustatiques actuelles et filtrer les contributions cycliques et irrégulières du signal marégraphique (Douglas, 1991)**

**- de 3% des chroniques disponibles ont une durée supérieure à 100 ans**

# CONTEXTE GÉNÉRAL

## Inventaire des chroniques disponibles en France

Localisation des mesures marégraphiques historiques françaises



### CONSTAT :

Actuellement, **seules les séries de Brest, Marseille et du littoral charentais**, d'une durée supérieure à 100 ans, sont disponibles au format numérique

... malgré un patrimoine marégraphique français conséquent

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Objectifs

---

- **Sauvegarder le patrimoine historique** que sont les observations du niveau de la mer des décennies passées à Saint-Nazaire
- Apporter des éléments primordiaux pour **l'étude séculaire des niveaux extrêmes** (amélioration des statistiques dans le cadre de mise en place des PPRL – PPRI par exemple).
- **Améliorer la connaissance de l'évolution du niveau marin** sur le littoral atlantique français, puis d'intercomparer nos résultats avec d'autres séries pluriséculaires du niveau de la mer à l'échelle du littoral européen, voire mondial.
- **Appréhender l'influence locale de la Loire** et/ou des modifications anthropiques sur l'évolution des composantes du niveau marin observées.
- **Mettre à disposition sur le portail internet REFMAR** les données numérisées
- *(Recenser et digitaliser les données météorologiques correspondantes)*

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

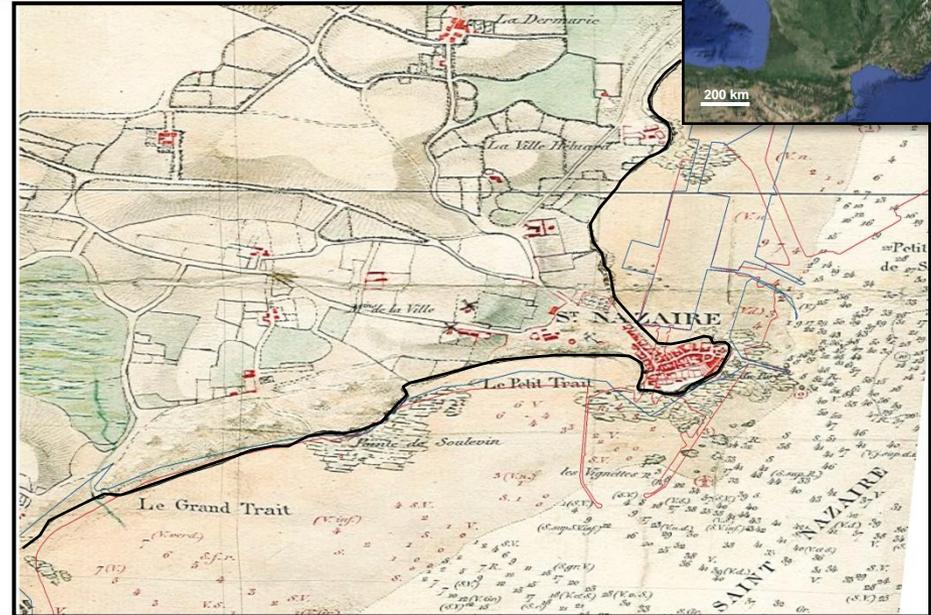
## Site de Saint-Nazaire

Marégraphe situé à l'embouchure de la Loire

Depuis le 19<sup>ème</sup> siècle :

- Evolution du trait de côte

1820



Minute Beautemps-Beaupré de 1820 (Source: SHOM)

7/21

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

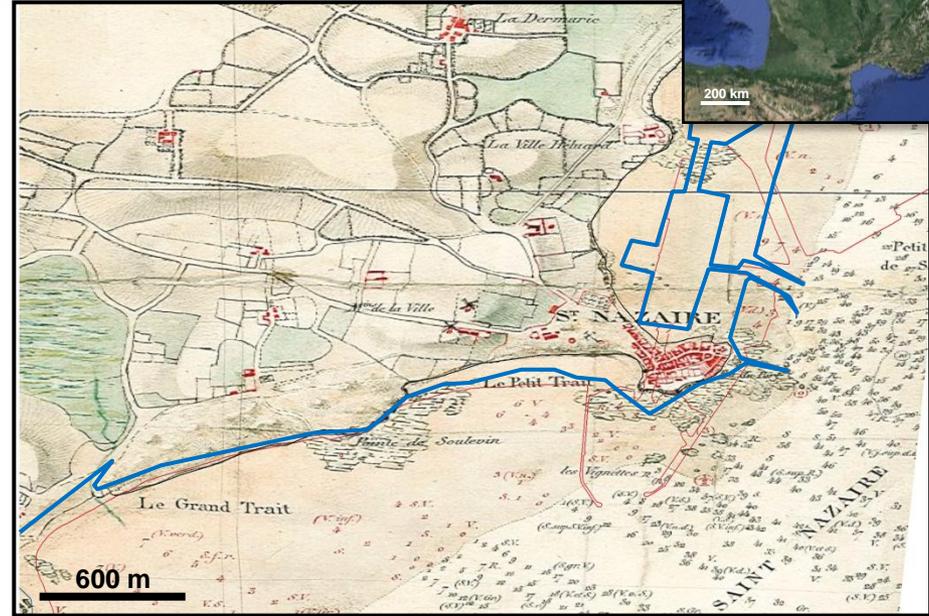
## Site de Saint-Nazaire

Marégraphe situé à l'embouchure de la Loire

Depuis le 19<sup>ème</sup> siècle :

- Evolution du trait de côte

1881



Trait de côte relevé en 1881 par Bouquet de la Grye  
(Source: SHOM)

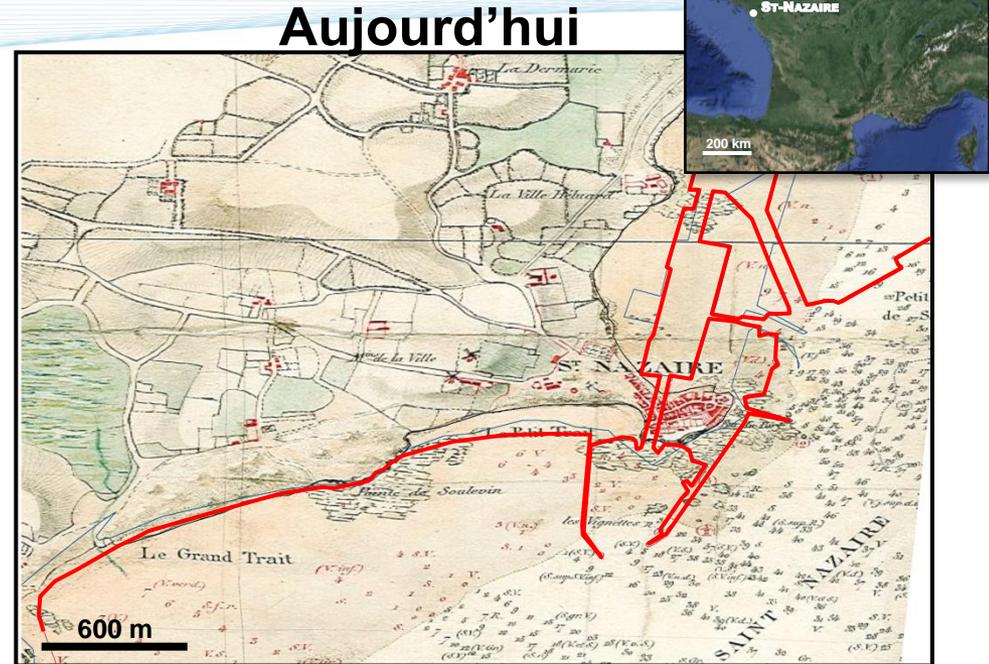
# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Site de Saint-Nazaire

Marégraphe situé à l'embouchure de la Loire

Depuis le 19<sup>ème</sup> siècle :

- Evolution du trait de côte



Trait de côte actuel (Source: SHOM)

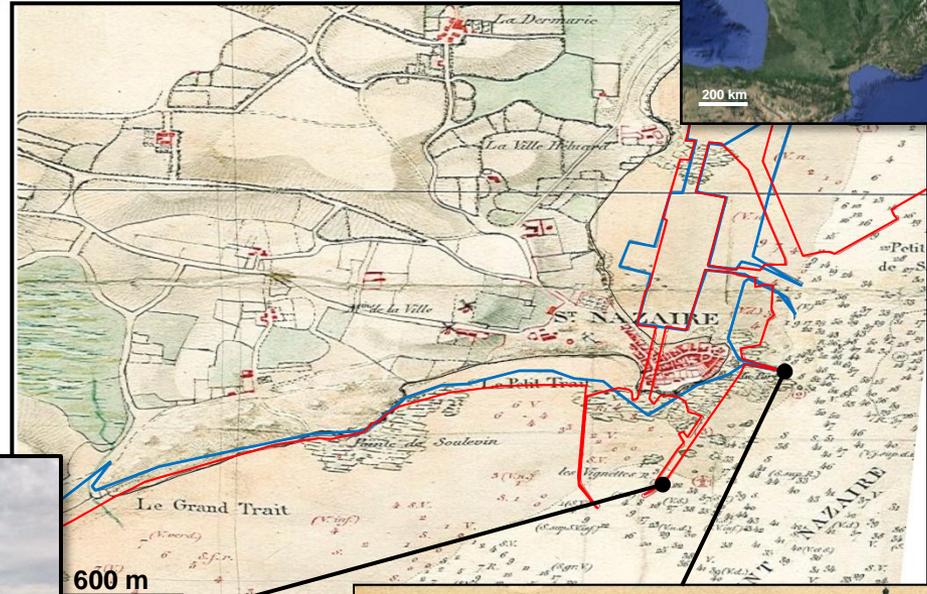
# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Site de Saint-Nazaire

Marégraphe situé à l'embouchure de la Loire

Depuis le 19<sup>ème</sup> siècle :

- Evolution du trait de côte
- Changement de la localisation du marégraphe (2 sites)



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



Carte postale du Vieux Môle (début 20<sup>ème</sup> s.)

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Site de Saint-Nazaire

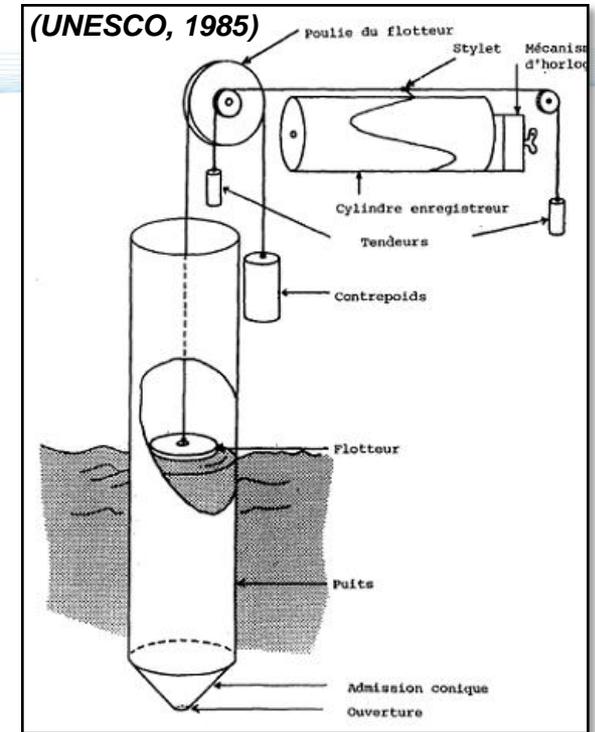
Marégraphe situé à l'embouchure de la Loire

Depuis le 19<sup>ème</sup> siècle :

- Evolution du trait de côte
- Changement de la localisation du marégraphe (2 sites)
- Evolution du type d'instrument utilisé:
  - Marégraphe à flotteur
  - Depuis 2007, marégraphe radar (réseau RONIM)



Marégraphe radar  
à ondes guidées



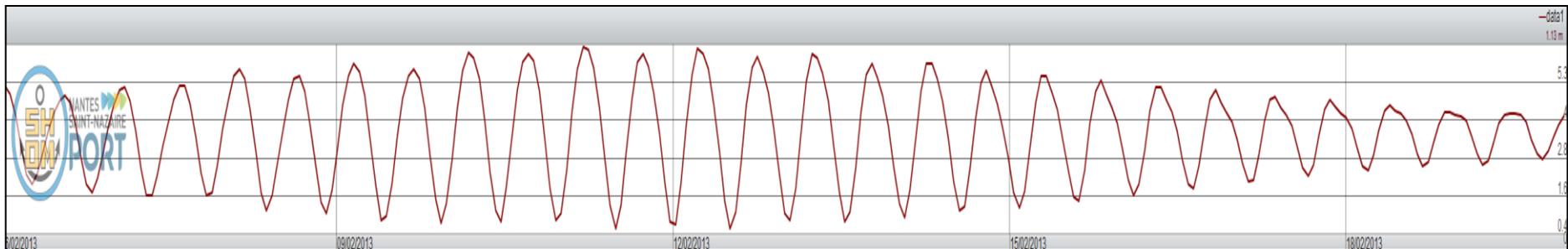
Principe de fonctionnement d'un  
marégraphe à flotteur

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Marée à Saint-Nazaire

- Marée semi-diurne
- Macrotidal : marnage [ 2 m – 6 m ]

*Visualisation des hauteurs d'eau mesurées à Saint-Nazaire.*



**Période: du 06/02/2013 au 21/02/2013**

**(Source: REFMAR ; propriétaires des données : SHOM & GPM Nantes Saint-Nazaire)**

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

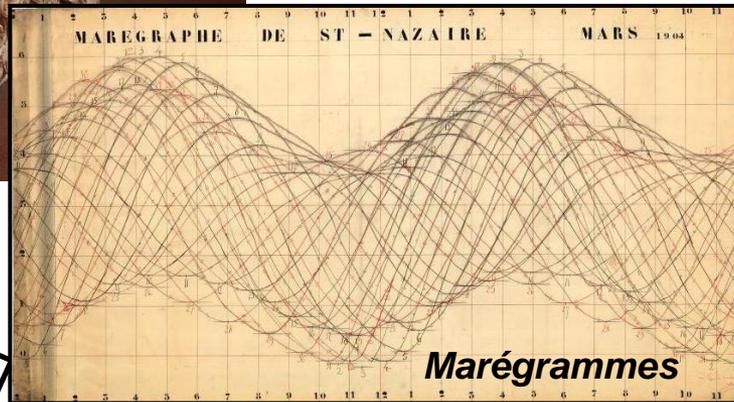
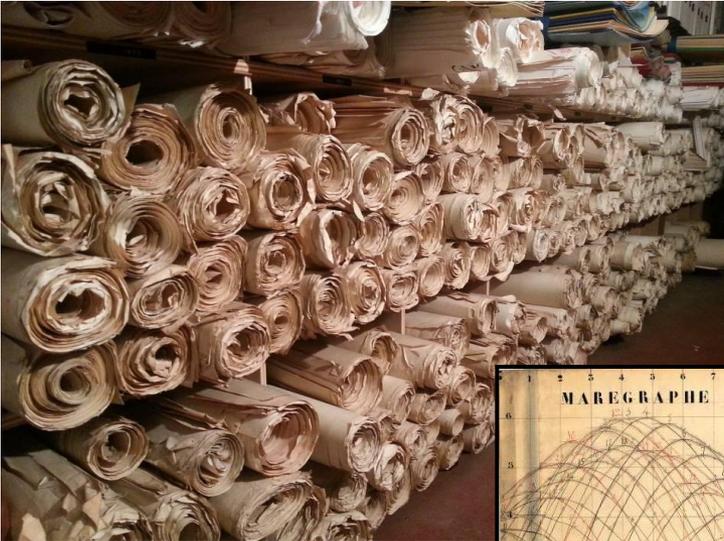
## Etapes successives pour cette reconstruction

---

- Recherche des archives marégraphiques
- Numérisation des données
- Recherche dans les **métadonnées des références en hauteurs et en temps** des mesures
- **Uniformisation** des données de hauteurs d'eau :
  - en vertical (/ au zéro hydrographique)
  - en temps (UTC)
- **Application des contrôles qualités**, vérification du calage en temps et en hauteur

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Recherche des archives



ANNÉE 1905. MOIS de MARS.

MAREGRAPHE de Saint-Nazaire.

TABLEAU

De la hauteur de la mer à chaque quart-d'heure (temps vrai), prise sur les courbes de Maregraphie.

DATE.	Mars.																			
	0 <sup>h</sup>	15 <sup>m</sup>	30 <sup>m</sup>	45 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup>	15 <sup>m</sup>	30 <sup>m</sup>	45 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup>	15 <sup>m</sup>	30 <sup>m</sup>	45 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup>	15 <sup>m</sup>	30 <sup>m</sup>	45 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup>	15 <sup>m</sup>	30 <sup>m</sup>	45 <sup>m</sup>
1 <sup>er</sup> ...	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95

**Registres papiers**  
(ex: Extraction de la hauteur d'eau tous les ¼ heures, Journal bi-mensuel des marées, ...)

SHOM : 1863 – 1920

GPM Nantes Saint-Nazaire : 1934 – 2007

Réseau RONIM : depuis 2007

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Numérisation des registres papiers

ANNÉE 1865 BUREAU DE STYLO. MAIRIE DE Saint-Nazaire.

TABLEAU  
De la hauteur de la mer à chaque quart-d'heure (depuis 1861), prise sur les registres de Saint-Nazaire.

A la main!  
Long et fastidieux ... mais NÉCESSAIRE !

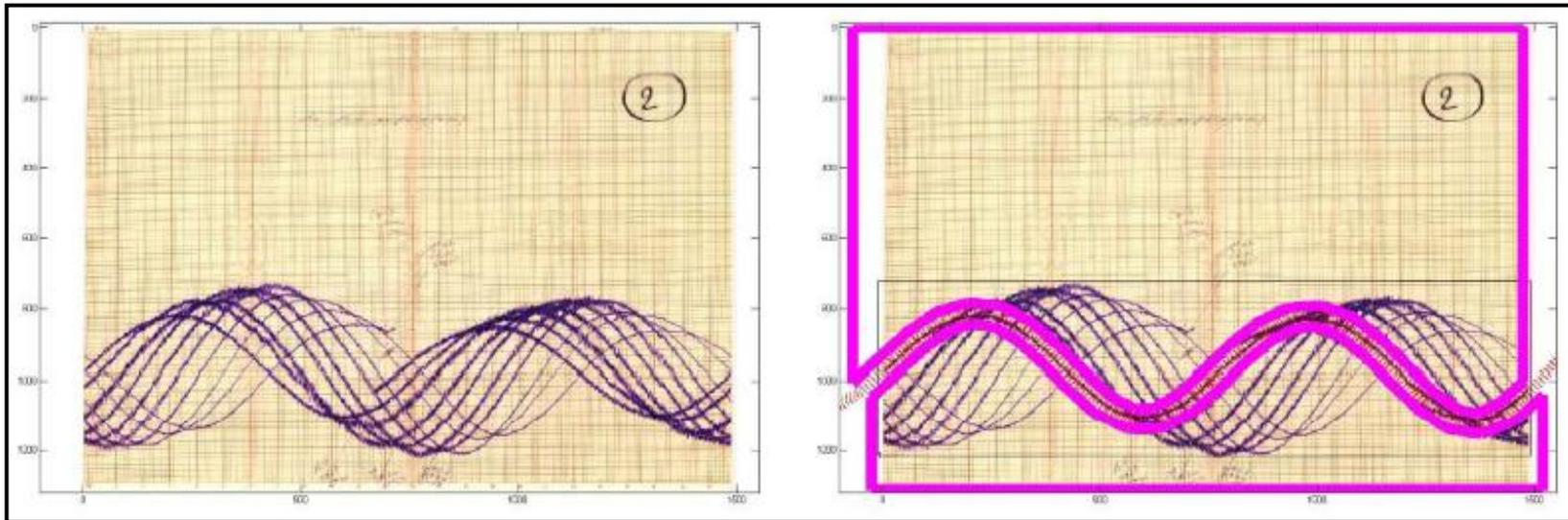
Année	Jour	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
1863	1	60	366	398	390	353	299	235	165	159	170	219	278	337	383	405	406	390	330	264	204	166	163	204	270	339
1863	2	61	396	420	440	423	373	301	228	167	137	153	213	284	366	417	440	431	390	318	247	173	146	207	296	
1863	3	62	381	437	474	473	441	369	280	203	148	137	169	260	356	426	476	490	463	390	299	217	150	114	146	226
1863	4	63	346	429	487	509	485	424	334	239	160	105	101	180	292	400	476	515	498	442	357	259	171	112	94	166
1863	5	64	287	407	494	543	533	480	406	306	205	134	93	126	234	360	463	526	539	499	423	321	217	138	85	94
1863	6	65	205	336	456	536	562	525	457	363	254	183	106	97	179	309	433	526	574	546	479	380	275	175	104	70
1863	7	66	132	252	381	494	553	540	498	419	307	200	127	82	115	226	373	483	556	559	506	419	321	214	128	70
1863	8	67	66	168	306	436	527	562	522	465	357	241	152	87	96	121	249	392	486	542	520	463	373	261	163	93
1863	9	68	59	102	224	359	476	536	534	489	415	312	205	127	82	92	187	326	444	516	534	483	430	341	235	150
1863	10	69	93	91	173	298	418	495	530	505	454	378	287	192	126	98	143	250	368	462	510	511	472	406	319	225
1863	11	70	165	111	123	207	328	424	482	492	465	416	348	265	182	127	114	171	274	376	447	501	460	426	372	298
1863	12	71	215	154	128	160	257	364	434	474	480	458	422	366	295	224	172	173	233	319	387	432	453	457	437	396
1863	13	72	336	261	190	153	176	248	331	382	406	412	413	401	367	305	235	163	217	287	343	401	414	426	431	
1863	14	73	411	352	278	204	165	163	227	291	372	399	426	434	409	335	259	182	178	196	246	299	348	394	432	
1863	15	74	463	449	394	308	226	175	143	179	239	298	350	388	425	444	421	385	263	192	144	145	191	263	339	401
1863	16	75	450	461	401	301	200	124	86	115	165	227	328	399	439	453	415	336	231	144	91	66	135	228	338	
1863	17	76	409	465	493	474	401	289	176	93	45	65	160	268	391	429	472	480	431	337	213	122	56	37	122	241
1863	18	77	367	456	513	526	486	401	276	163	81	35	78	200	335	430	485	516	494	431	316	192	91	25	3	105
1863	19	78	249	376	470	527	524	465	358	217	122	48	9	53	195	345	444	503	505	454	379	261	150	65	13	19
1863	20	79	162	324	446	526	521	481	337	207	113	45	17	123	274	411	497	536	509	446	352	229	130	53	12	
1863	21	80	74	216	372	481	545	538	485	383	274	161	76	21	32	170	324	440	504	512	465	392	288	174	88	28
1863	22	81	13	118	270	406	489	522	488	425	333	217	123	53	20	93	229	377	466	503	477	423	345	247	160	74
1863	23	82	28	54	172	320	432	488	484	432	388	275	183	60	57	152	287	403	461	475	431	373	283	206	124	
1863	24	83	65	49	113	226	352	429	458	433	317	239	160	96	73	117	217	340	423	454	433	367	332	267	193	
1863	25	84	130	93	105	174	276	369	418	423	387	344	287	224	162	117	118	173	269	360	424	444	444	444	444	269
1863	26	85	199	149	126	148	216	305	354	387	374	349	315	276	223	176	145	196	207	287	349	376	372	346	324	296
1863	27	86	264	214	174	155	179	236	298	330	342	337	326	314	291	251	195	172	185	230	291	335	347	344	246	330
1863	28	87	311	273	229	191	178	195	235	261	308	326	334	340	330	303	281	216	195	197	230	272	308	331	346	354
1863	29	88	344	333	300	251	204	178	184	219	260	296	328	353	360	351	320	278	192	182	207	246	290	329	359	
1863	30	89	390	392	361	314	263	180	164	165	196	247	305	351	383	394	381	343	282	217	171	161	168	239	302	358
1863	31	90	398	418	409	366	314	222	175	134	133	178	224	290	330	423	421	391	332	296	186	134	125	166	240	323
1863	1	91	390	432	446	425	373	289	209	139	98	114	181	271	359	424	455	444	393	312	223	144	95	101	165	260
1863	2	92	365	424	462	465	429	359	257	162	94	62	101	197	316	409	468	480	447	376	277	177	104	57	74	164
1863	3	93	303	365	456	488	470	410	314	201	116	82	30	111	233	352	449	500	499	433	340	224	134	63	29	89
1863	4	94	249	337	437	500	509	467	382	271	162	92	21	48	159	300	421	501	527	486	410	309	185	102	41	25
1863	5	95	126	261	396	482	527	508	442	348	229	128	57	21	87	188	364	467	525	475	367	271	158	77	27	
1863	6	96	60	188	336	447	516	529	492	420	316	201	111	49	36	143	289	441	505	541	515	455	360	243	148	76
1863	7	97	49	114	245	383	470	528	520	472	388	280	174	103	64	103	216	355	395	522	527	488	388	288	188	
1863	8	98	62	48	146	278	404	478	505	482	428	348	252	164	101	76	135	250	375	457	502	483	455	353	292	190
1863	9	99	118	72	90	187	316	410	462	472	405	332	244	163	108	99	168	280	381	441	465	454	428	372	289	
1863	10	100	196	126	89	119	215	327	392	422	424	415	392	341	263	181	131	129	197	301	380	420	435	430	418	379
1863	11	101	310	218	147	113	143	224	309	361	387	397	402	397	335	283	204	151	144	191	272	339	379	401	417	424
1863	12	102	396	332	240	167	124	132	193	262	315	350	377	401	405	372	320	246	135	165	229	300	350	388	418	
1863	13	103	435	415	353	260	178	123	110	157	228	293	343	385	410	431	399	328	241	163	122	136	198	274	346	403
1863	14	104	446	467	447	378	278	186	118	89	127	204	284	356	411	445	406	412	333	232	147	94	95	165	261	356
1863	15	105	422	470	485	462	391	274	171	86	98	102	195	300	390	436	466	462	407	315	202	121	62	61	150	266
1863	16	106	376	447	491	484	364	246	146	74	41	103	216	340	425	477	488	463	398	283	175	93	41	60	167	
1863	17	107	300	409	479	508	491	431	329	268	118	51	29	125	254											

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Numérisation des marégrammes: logiciel NUNIEAU (CETE Méditerranée)

Logiciel **NUNIEAU** (NUMérisation des Niveaux d'EAU) développé au CETE Méditerranée et mis à disposition gratuitement dans le but de numériser « automatiquement » les marégrammes papiers.

(algorithmes de traitement d'images pour la récupération des données anciennes)



<http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Nunieau>

[http://www.cete-mediterranee.fr/fr/rubrique.php3?id\\_rubrique=113](http://www.cete-mediterranee.fr/fr/rubrique.php3?id_rubrique=113)

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Recherche des références en hauteurs et en temps des mesures

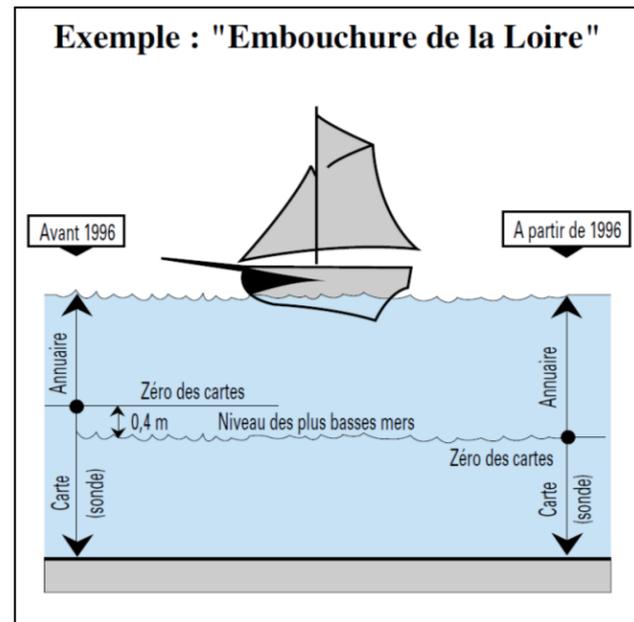
Travail à réaliser grâce aux métadonnées afin **d'uniformiser les données**

**Homogénéisation du temps :**

du **Temps solaire vrai à l'UTC** (Equation du temps, correction en longitude)

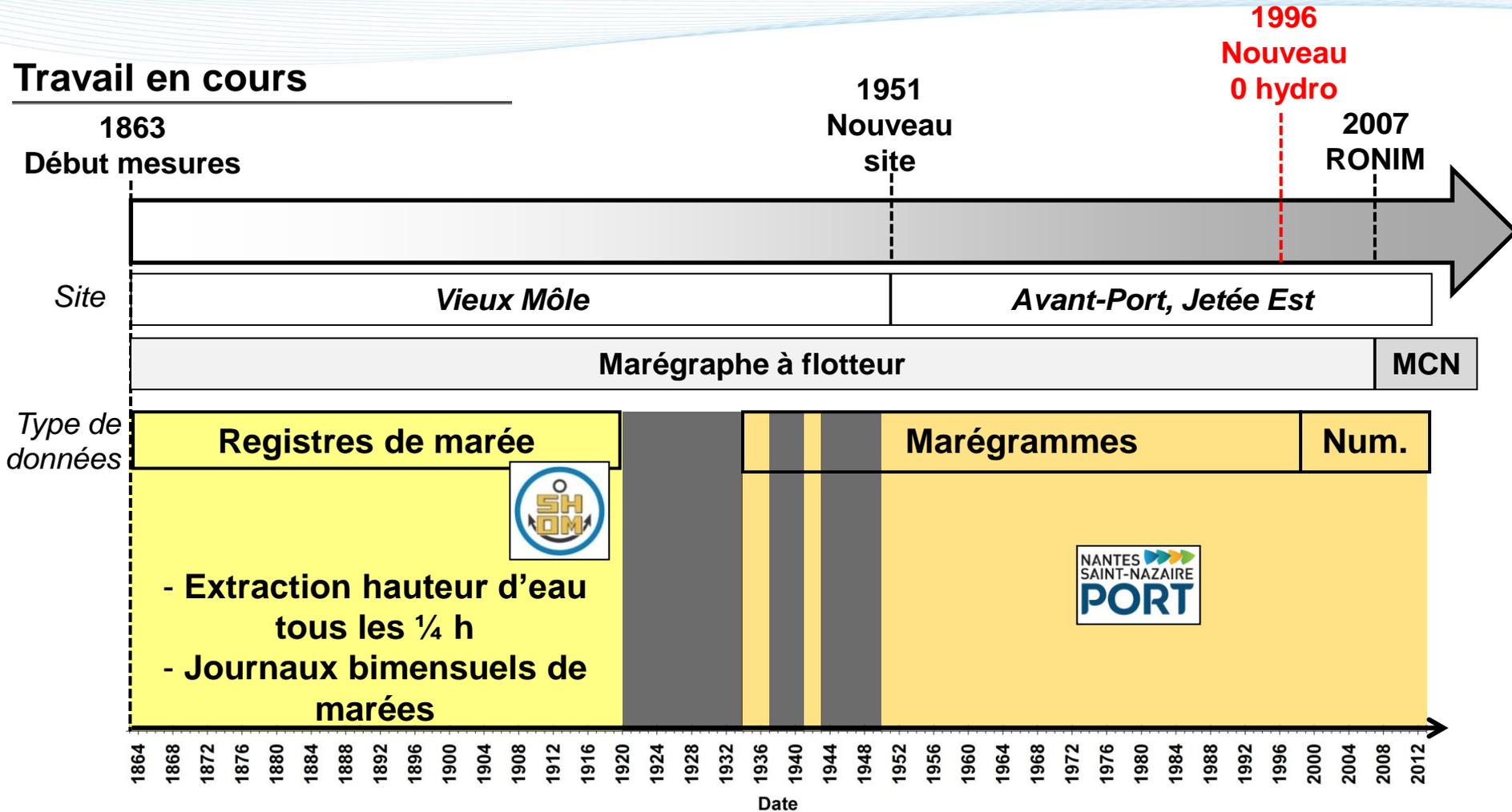
**Référence verticale :**

- Zéro hydrographique
- Nivellement



# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

Travail en cours



# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

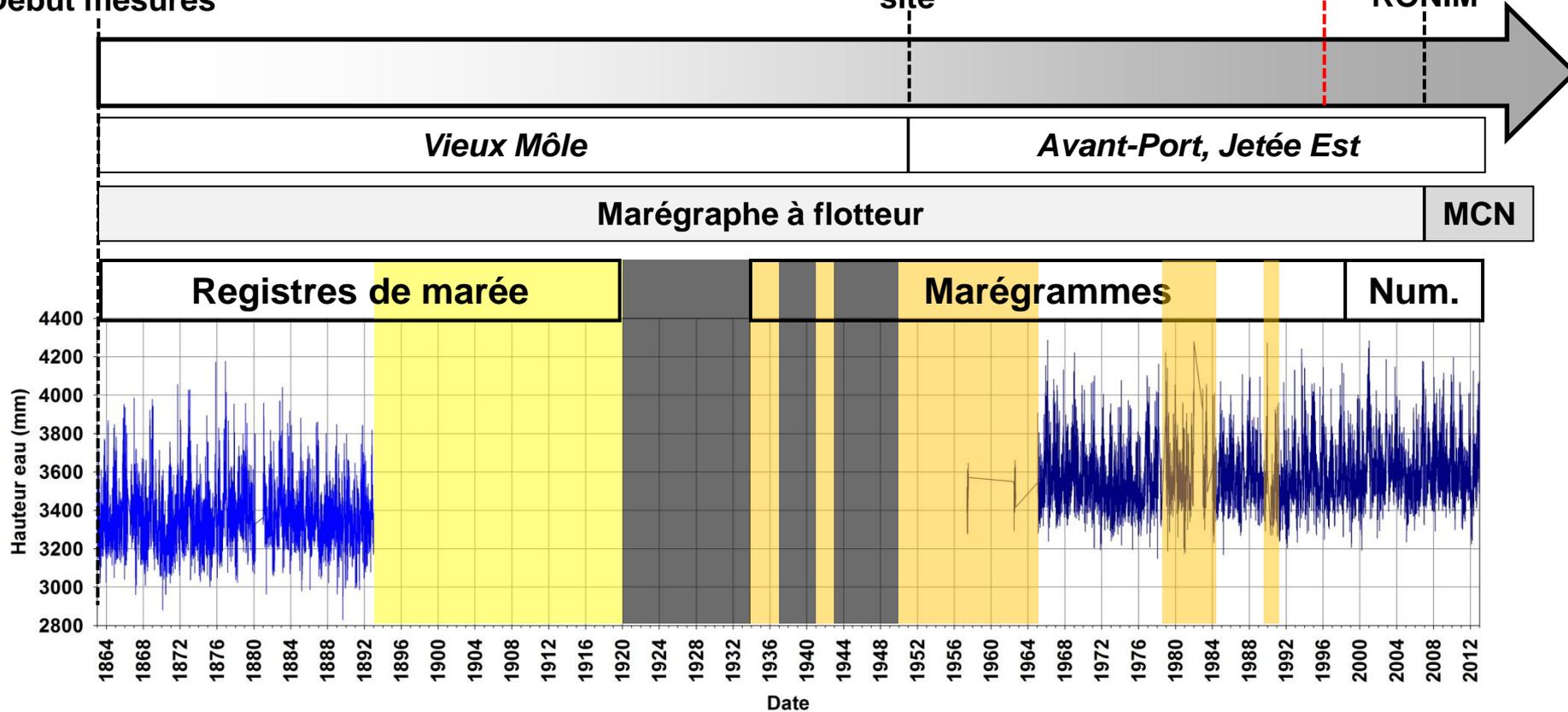
Travail en cours

1863  
Début mesures

1951  
Nouveau site

1996  
Nouveau  
0 hydro

2007  
RONIM



Vieux Môle

Avant-Port, Jetée Est

Marégraphe à flotteur

MCN

Registres de marée

Marégrammes

Num.

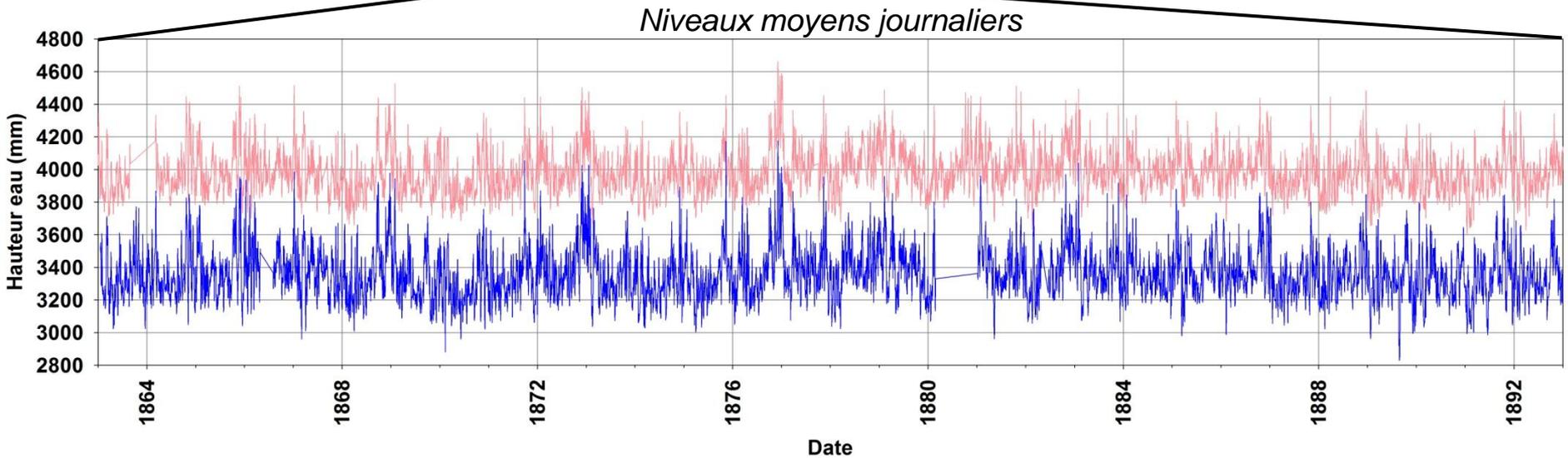
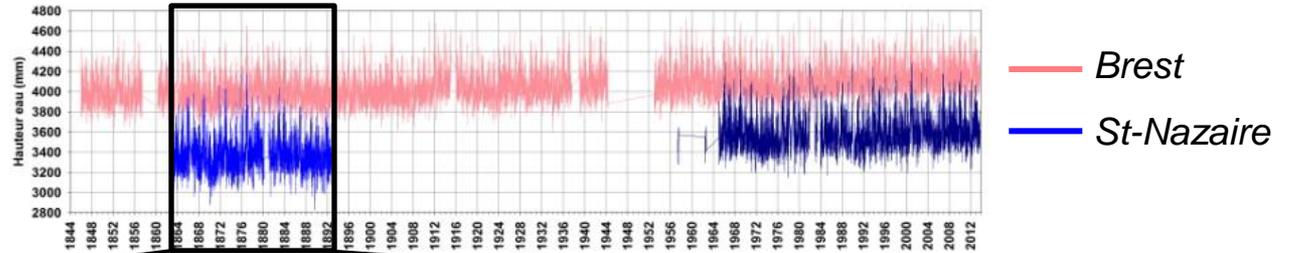
Hauteur eau (mm)

Date

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

Travail en cours : Evaluation de la qualité des données

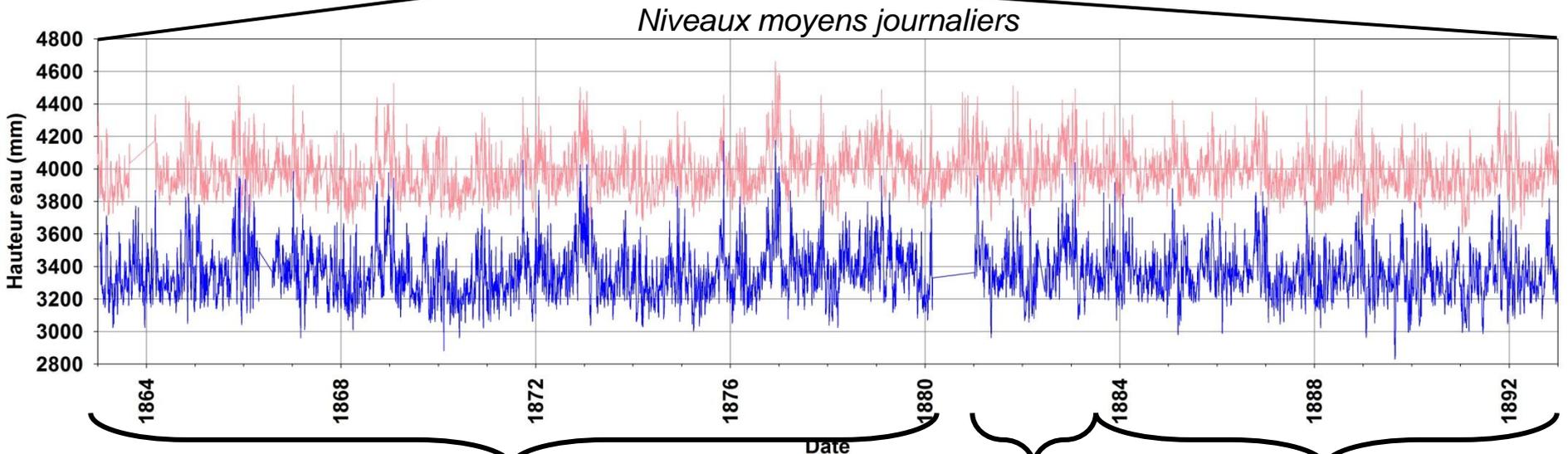
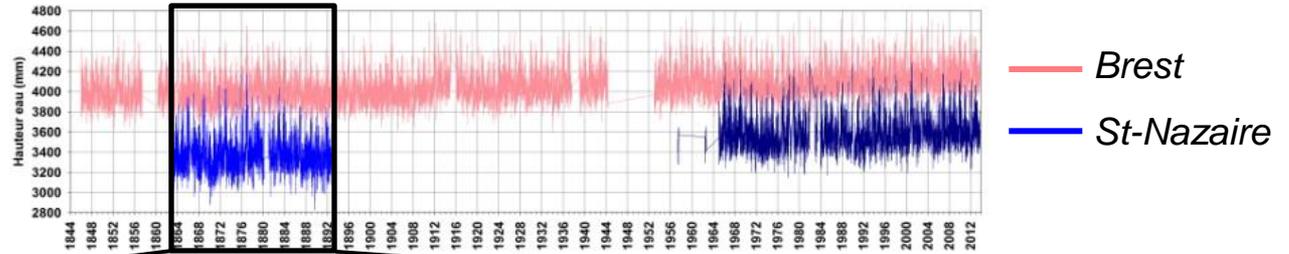
Comparaison avec série de référence de Brest



# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

Travail en cours : Evaluation de la qualité des données

Comparaison avec série de référence de Brest



Succession observateurs

Chazal

Morvan

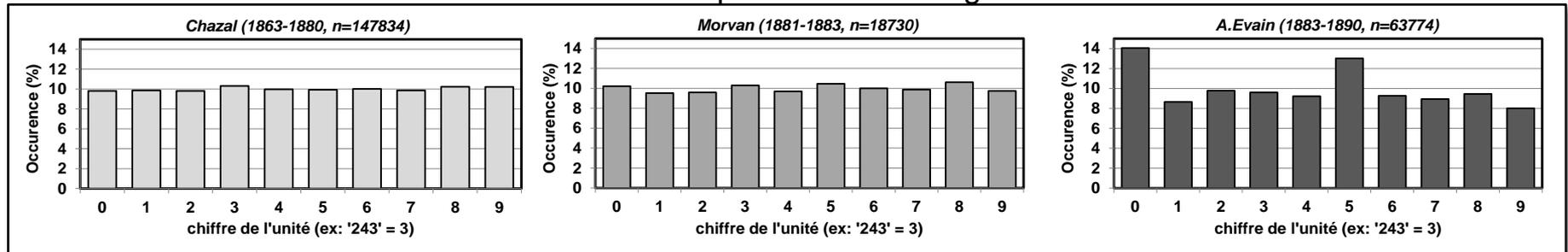
Evain

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

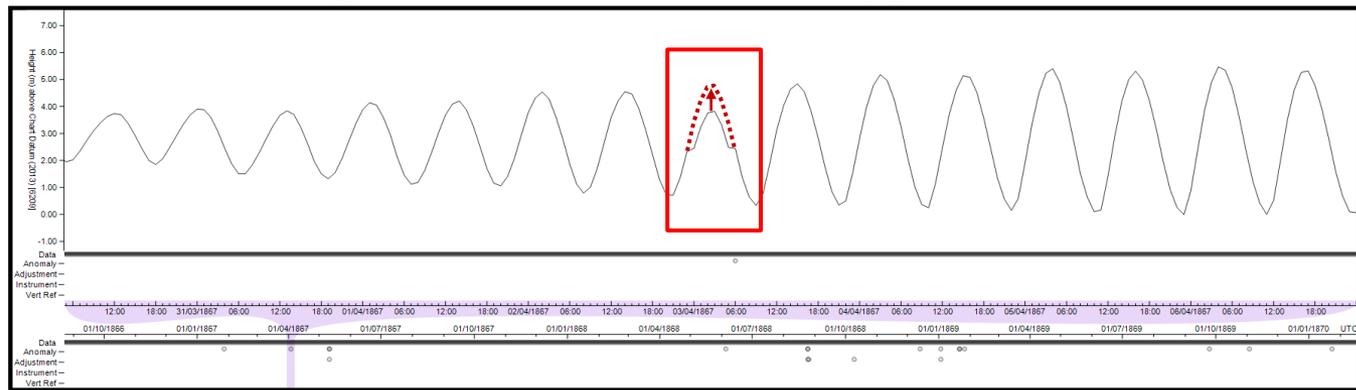
Travail en cours : Evaluation de la qualité des données

Qualité de l'observateur : détermine la qualité de la série

Distribution des valeurs des unités en cm reportées sur les registres en fonction des observateurs



Erreur de lecture des marégrammes : corrections à apporter

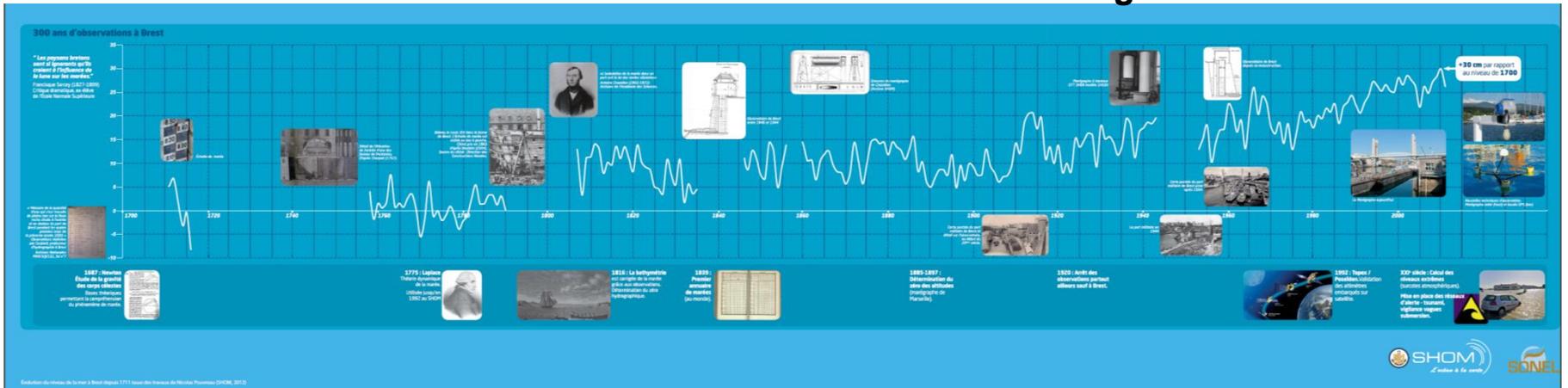


# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Résultats attendus à terme

Une série de hauteur d'eau uniforme, bien renseignée en métadonnées...  
... Bref, un série valide et sûre, complétant les séries de référence

*A l'image de la série de Brest ...*



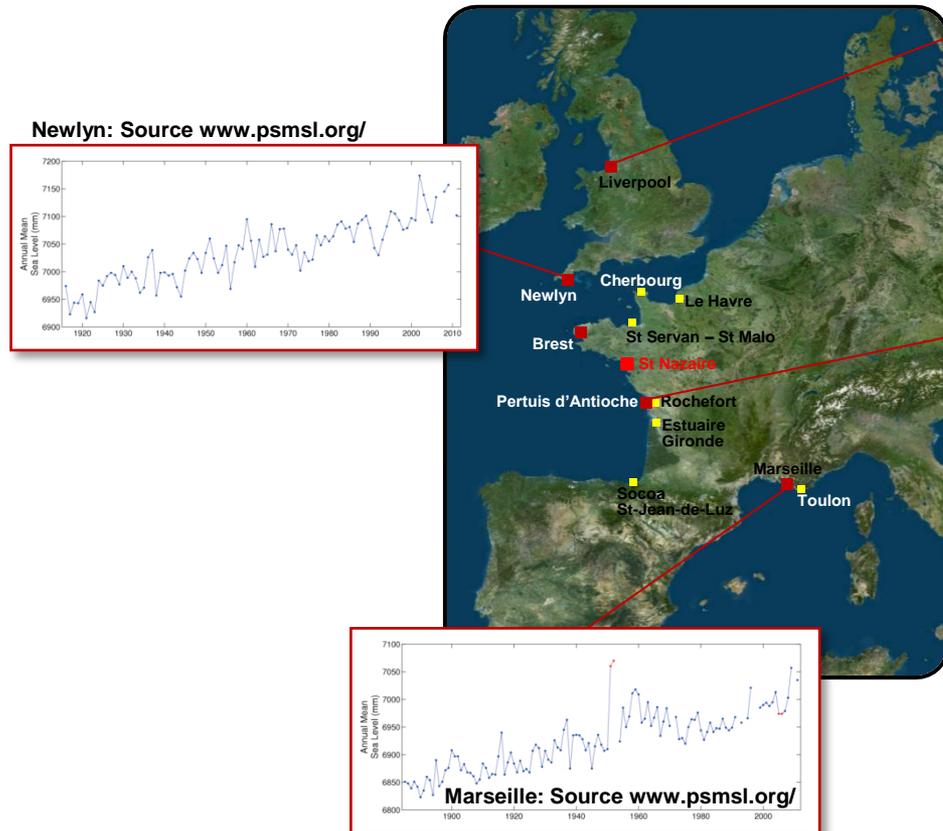
*Evolution du niveau de la mer à Brest depuis 1711 issue des travaux de Nicolas Pouvreau (SHOM, 2012)*

17/21

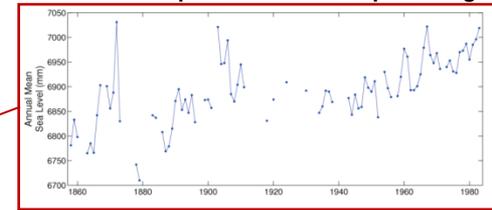
# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Résultats attendus à terme

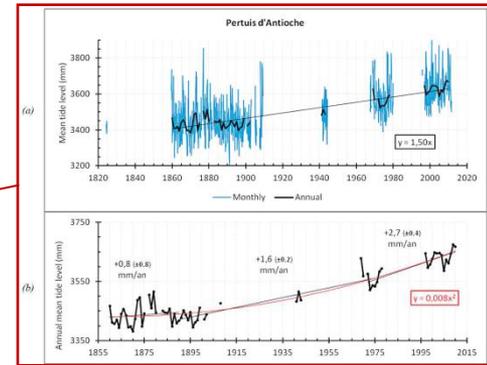
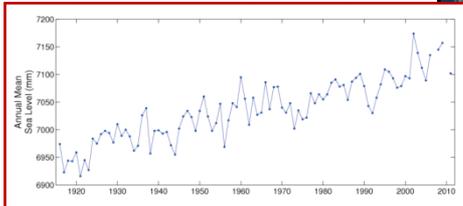
Comparaison avec d'autres séries pluriséculaires du niveau de la mer



Liverpool: Source [www.psmsl.org/](http://www.psmsl.org/)

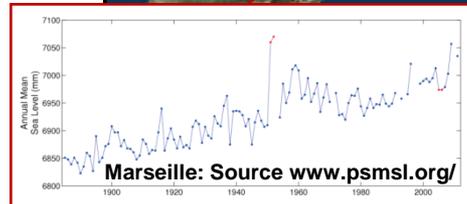


Newlyn: Source [www.psmsl.org/](http://www.psmsl.org/)



Pertuis d'Antioche, 1824-2011 : (a) évolution des niveaux marins moyens MTL mensuels (bleu) et annuels (noir) ; (b) zoom sur le niveau moyen MTL annuel et accélération de l'élévation du niveau de la marin (Gouriou, 2012)

Marseille: Source [www.psmsl.org/](http://www.psmsl.org/)

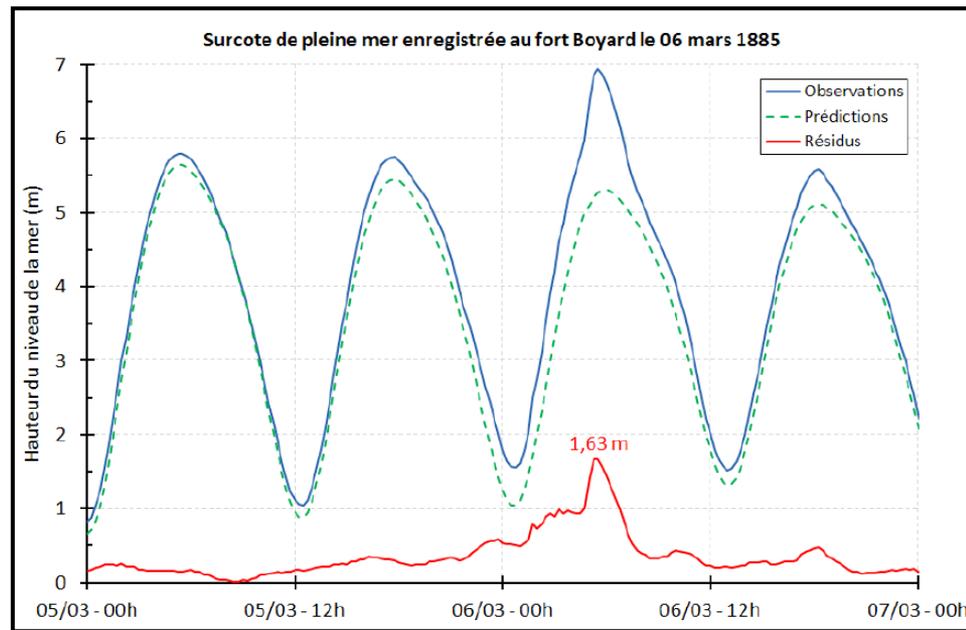


# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

## Résultats attendus à terme

### Etude des évènements exceptionnels :

L'identification et la prise en compte des **surcotes historiques** permet **d'améliorer les statistiques sur la tendances des niveaux marins extrêmes**



Surcote de PM du 6 Mars 1885 à Fort-Boyard

(Gouriou, 2012)

19/21

# RECONSTRUCTION DES HAUTEURS D'EAU HISTORIQUES À SAINT-NAZAIRE

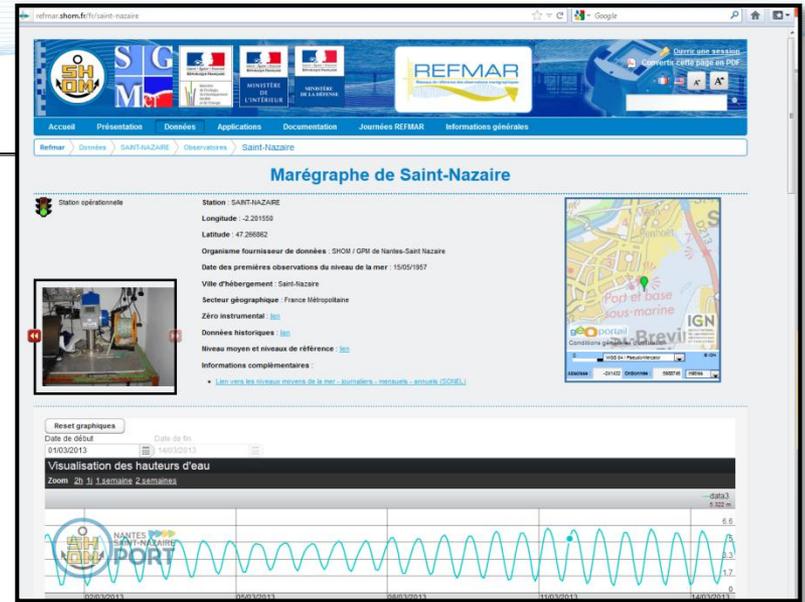
## Distribution des données à terme

- Données haute-fréquence: Disponible et accessible au public (REFMAR)

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

- Niveaux moyens Journaliers, Mensuels et Annuels : SONEL

[www.sonel.org](http://www.sonel.org)



# CONCLUSION... A FAIRE

**Continuer les recherches dans les archives** (départementales, municipales, sociétés savantes, DREAL, ...)

**Poursuivre la numérisation :**

- Travail long et fastidieux mais primordial
- Contrôles qualité
- Uniformisation des données
- Contrôle de la cohérence (t, h) des données (/ prédictions, autres séries)

**Répondre au questionnement scientifique:**

- **Améliorer la connaissance de l'évolution du niveau marin** sur le littoral atlantique français, puis européen voire mondial

- **Appréhender l'influence locale de la Loire** et/ou des modifications anthropiques **sur l'évolution des composantes du niveau marin observées.**

...



**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

**QUESTIONS ???**