

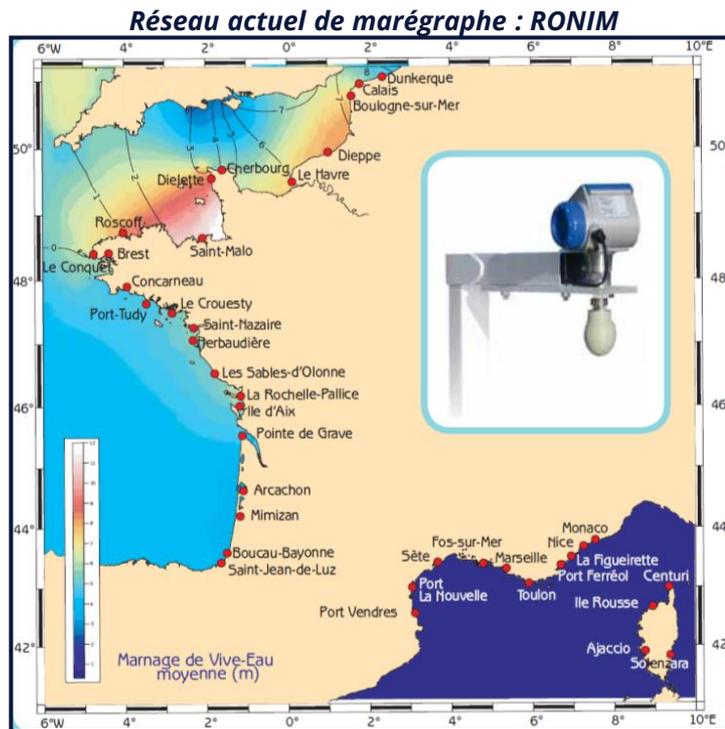


"DATA-RESCUE" EN MARÉGRAPHIE : DES ARCHIVES PAPIERS À L'ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DU NIVEAU MARIN.

Valorisation des archives historiques : les reconstructions marégraphiques

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)
- ...



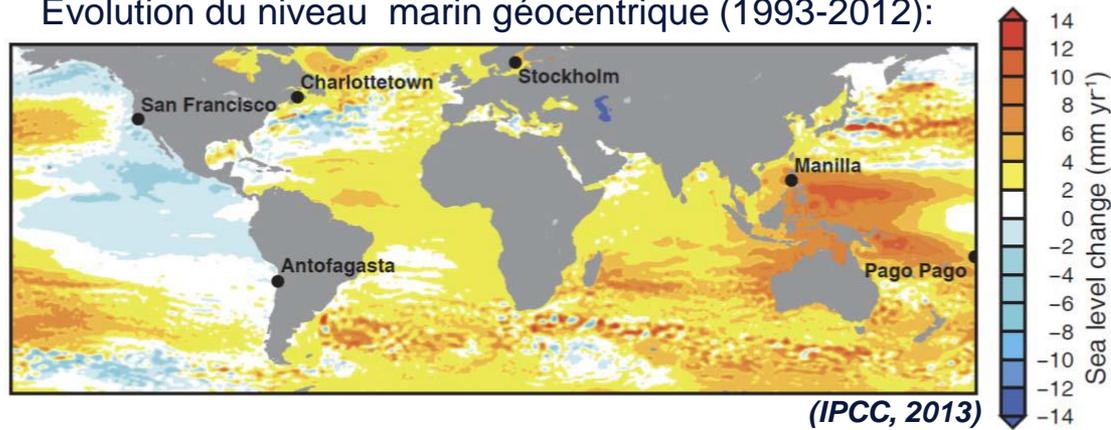
Données numériques depuis 1992 (data.shom.fr)

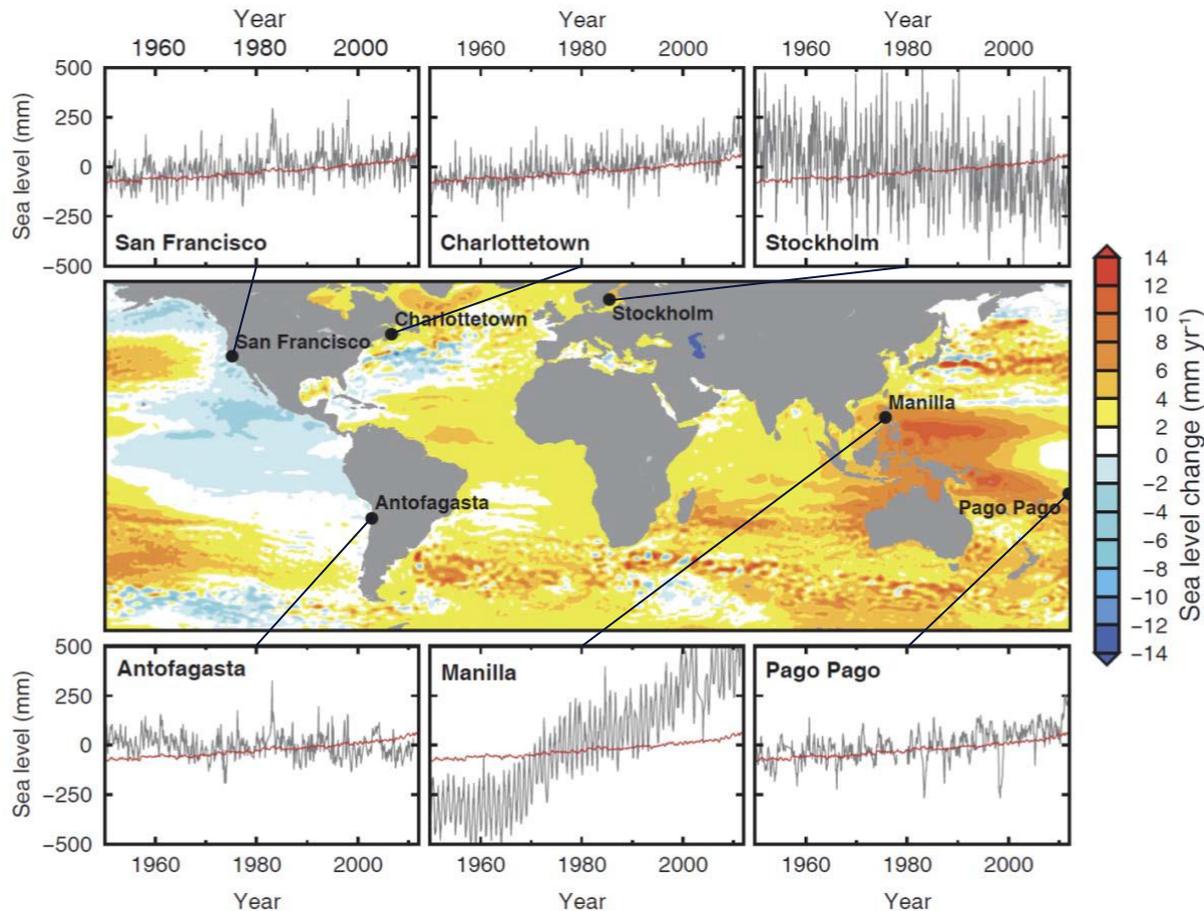
Applications multiples :

- 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**
- ...

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

Evolution du niveau marin géocentrique (1993-2012):





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

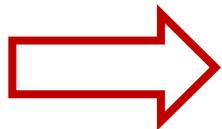
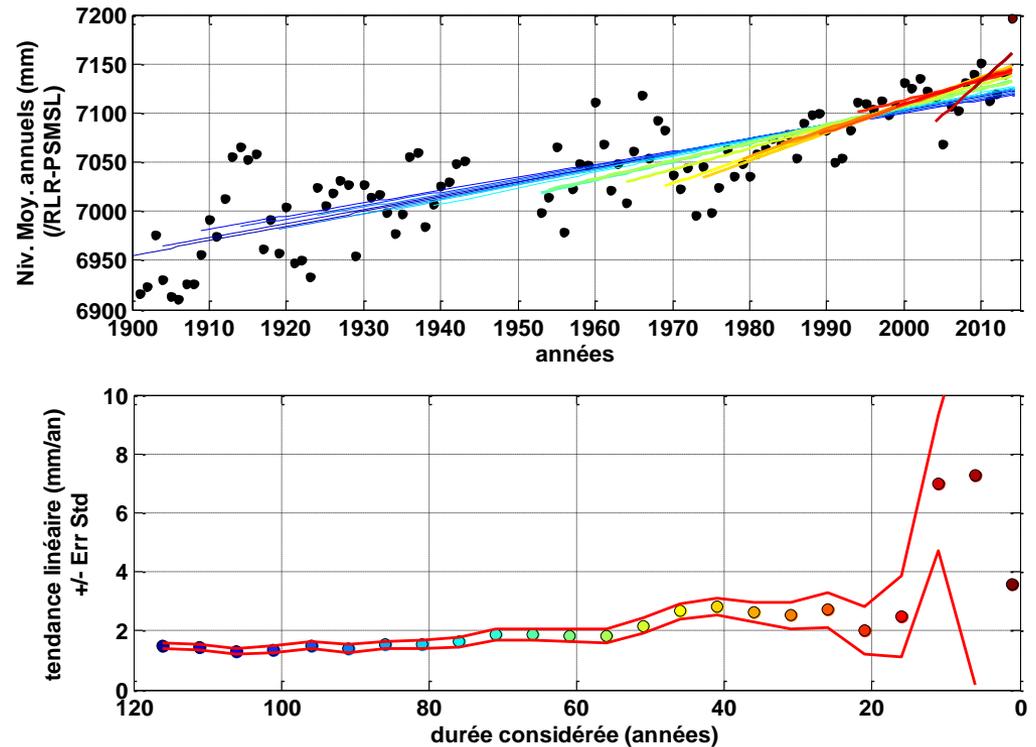


Mesures marégraphiques longues et continues primordiales

Les tendances calculées sont dépendantes de la durée de la chronique considérée et de sa qualité

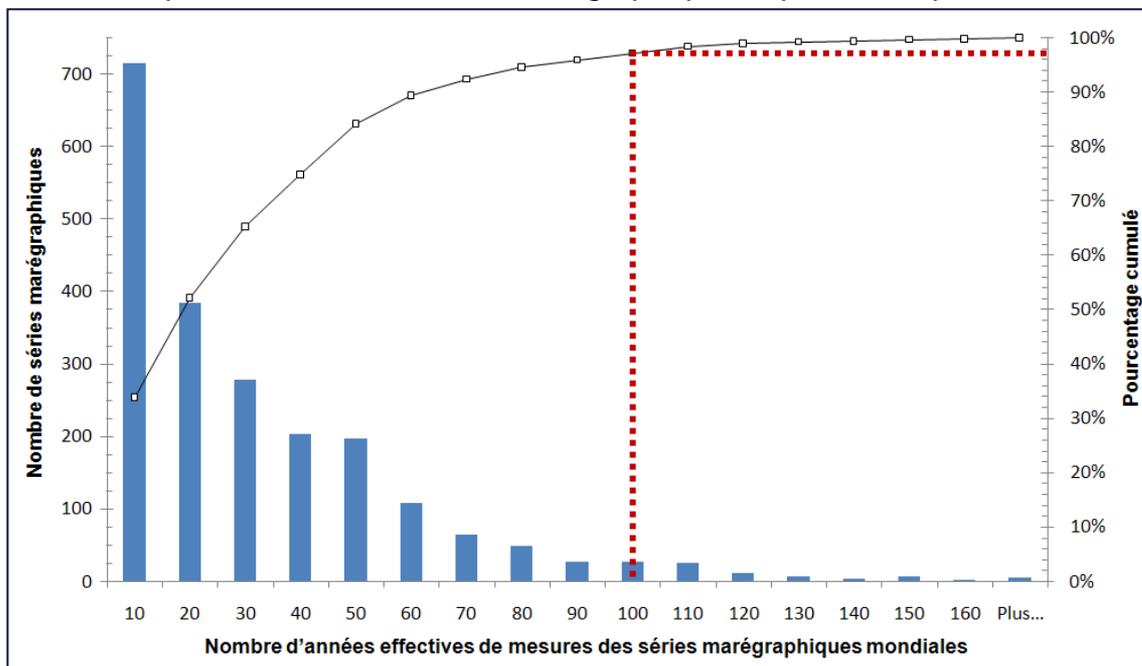
60 ans d'enregistrement sont raisonnables pour **estimer les variations eustatiques actuelles et filtrer les contributions cycliques et irrégulières du signal marégraphique** (Douglas, 1991)

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



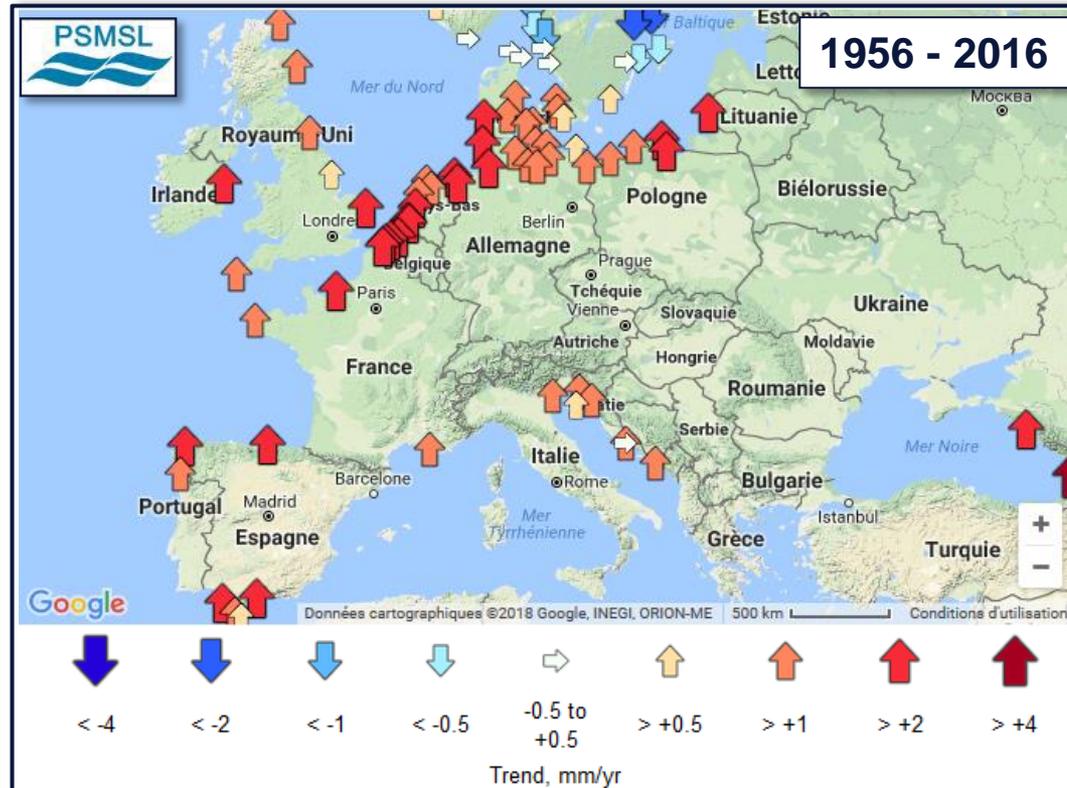
Nécessité d'avoir des mesures marégraphiques les plus longues et les plus continues possibles

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

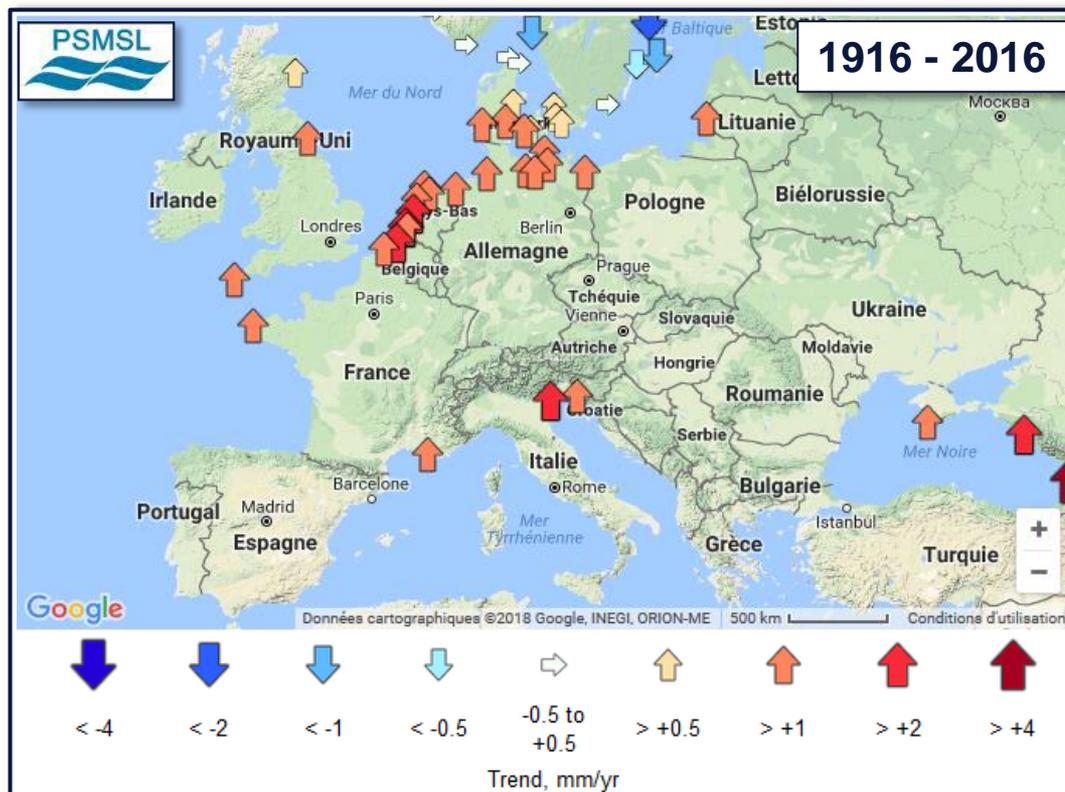


- de 3% des chroniques disponibles ont une durée supérieure à 100 ans

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

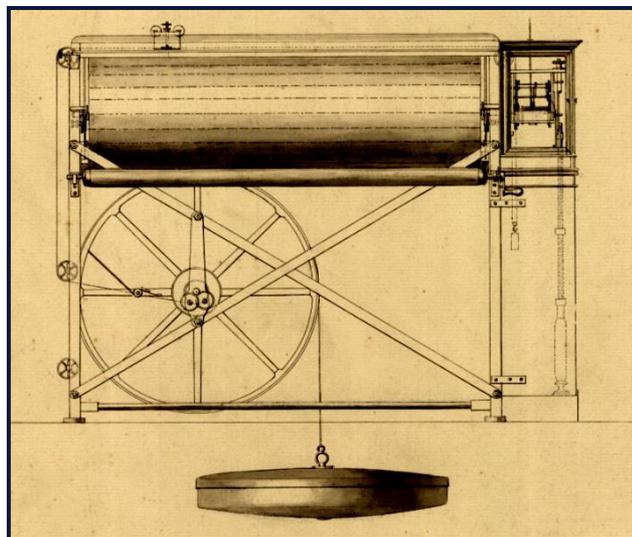
Peu de données exploitées ...

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

Dès le milieu du 19^{ème} siècle:

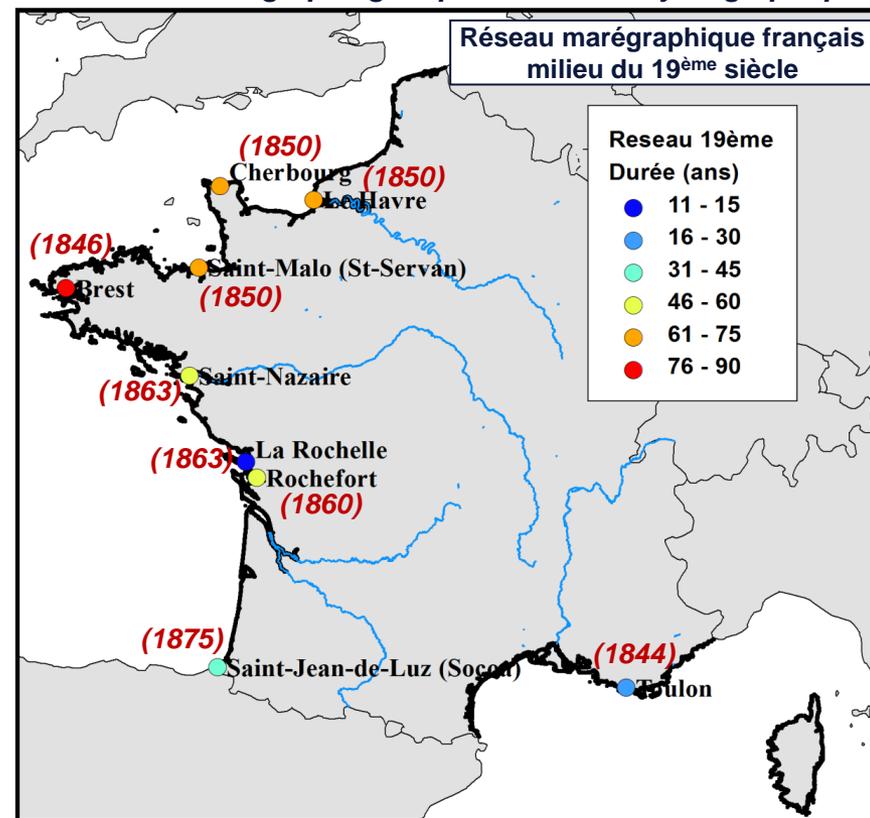
- mesure automatique et continue des hauteurs d'eau (marégraphe)
- Développement d'un réseau marégraphe

Plan du marégraphe Chazallon



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

Réseau de marégraphe géré par le Service Hydrographique



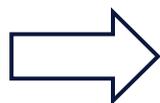
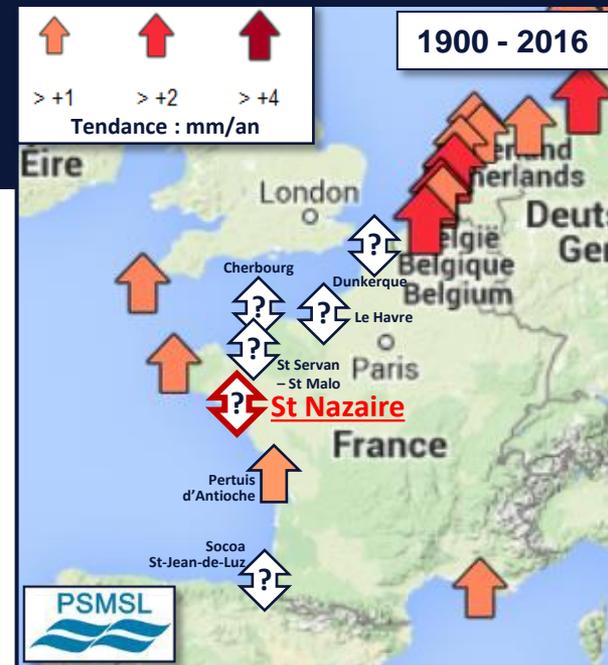
CONTEXTE GÉNÉRAL

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.

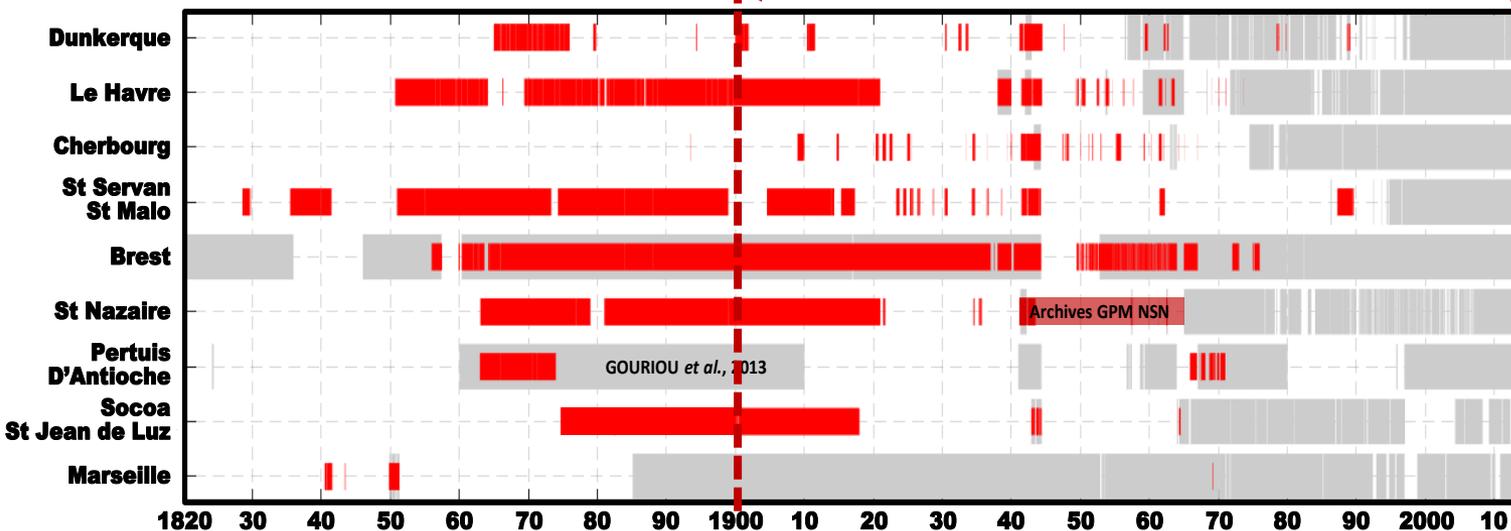
Besoin d'inventorier avec précision ces données (complément du travail de N. Pouvreau, 2008) et de les digitaliser afin de les rendre exploitables !!!

« Data Rescue » (Demande GLOSS)



Inventaire détaillé des archives marégraphiques du Shom en cours !

+ d'1 siècle



Données num.

+

SH M

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

+ de 60 000 documents inventoriés

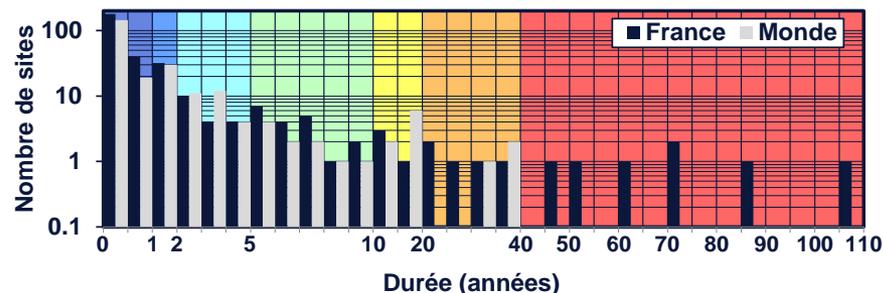
En France métropolitaine :

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

Ailleurs dans le monde :

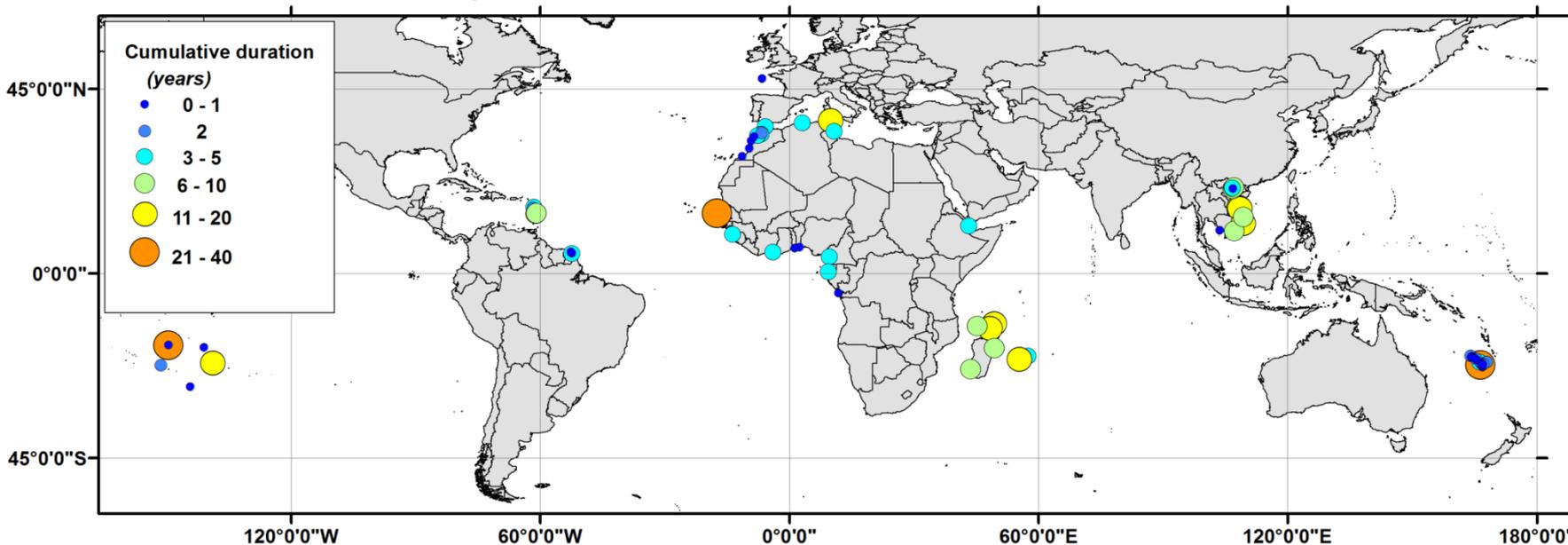
(Sénégal, Nouvelle-Calédonie, Tunisie, Vietnam, Madagascar, Réunion, ...)

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



Etude de l'évolution du niveau moyen des mers
Identification et étude des évènements extrêmes

Partial view of the spatial distribution of the sea level data around the world, from Shom archives



- **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**
- **Etude d'effet locaux (naturels / anthropiques) sur l'évolution des composantes du niveau marin observée**
- ...

PLAN

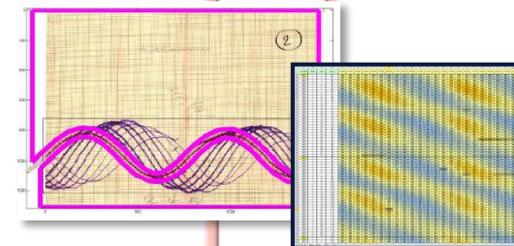
Approche générale (+ application à Saint-Nazaire)

Utilisation

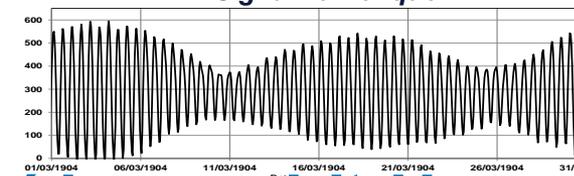
Focus Méthodologique (Nunieau)

Stratégie générale :

Des archives
marégraphiques
papiers...



Signal numérique



1 - Recherche des archives marégraphiques

2- Numérisation des données papiers

3- Homogénéisation des données de hauteurs d'eau nouvellement numérisées : **en vertical** (/zéro hydro) et **en temps** (UTC)

4- Validation des données

... aux données numériques exploitables

Stratégie générale:

1 – Recherche des archives marégraphiques



Difficultés :

- Recherches des documents non aisées
 - Identification des institutions conservant de la données / informations
 - Besoin d'inventaires les plus précis et exhaustifs possible
 - Connaissance de l'historique de l'observatoire
 - ...

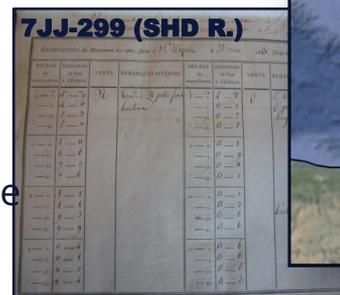


RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE

1. RECHERCHE DES ARCHIVES MARÉGRAPHIQUES

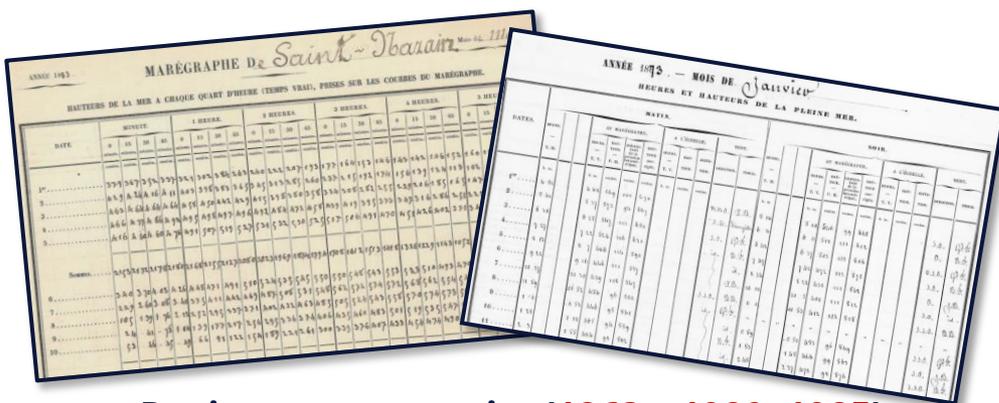


Documents existant relatifs à l'observation du niveau marin à Saint-Nazaire **dispersés dans plusieurs centres d'archive en France**



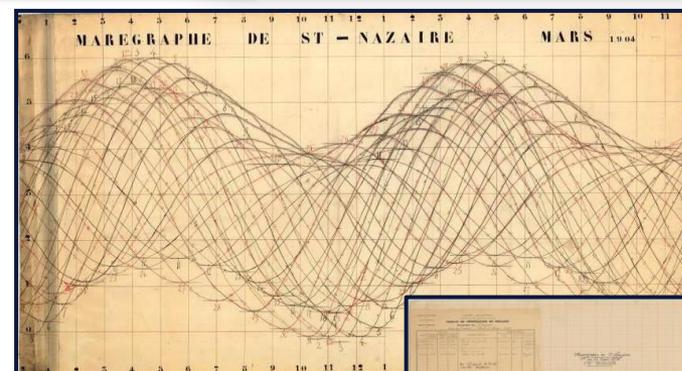
1^{ères} mesures identifiées : 1821

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



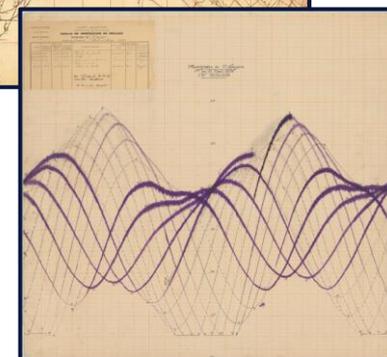
Registres manuscrits (1863 – 1920; 1925):

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



RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE

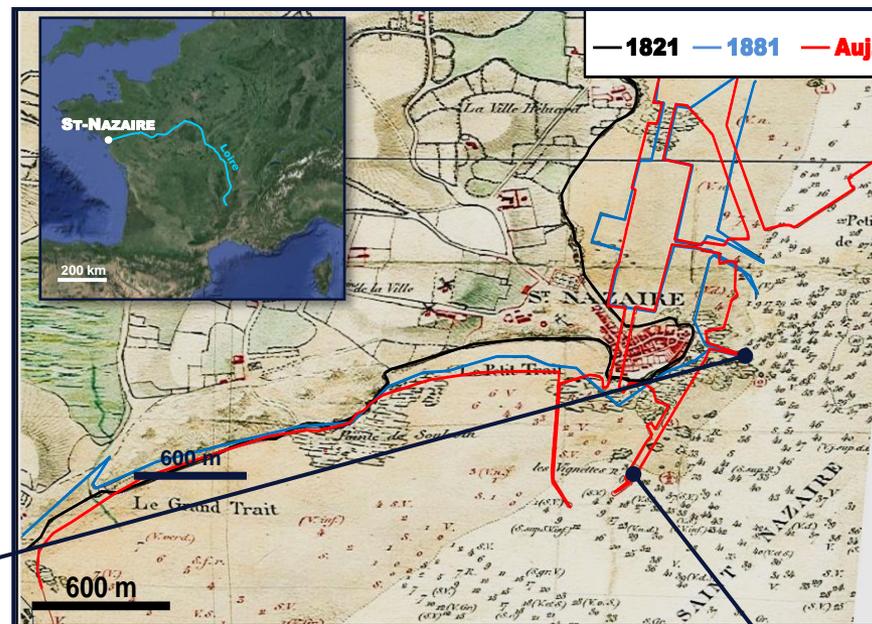
ZONE D'ÉTUDE : OBSERVATOIRE DE SAINT-NAZAIRE



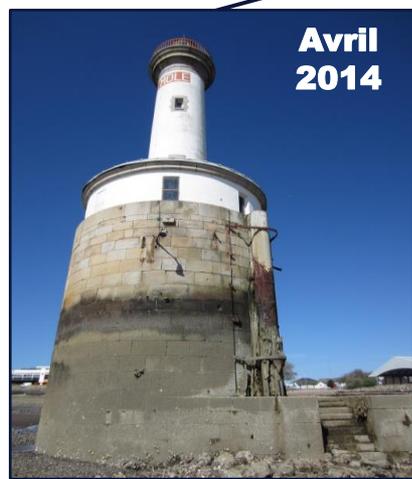
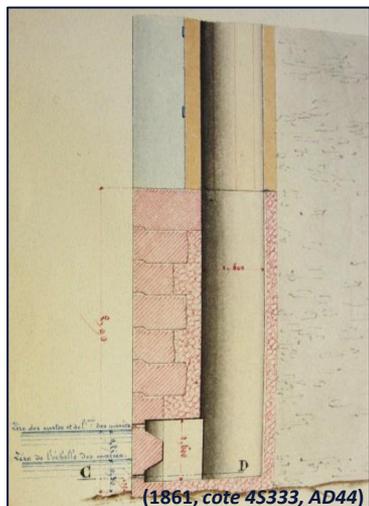
Depuis 1863, un marégraphe est installé à Saint-Nazaire, à l'embouchure de de la Loire (macrotidal)

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



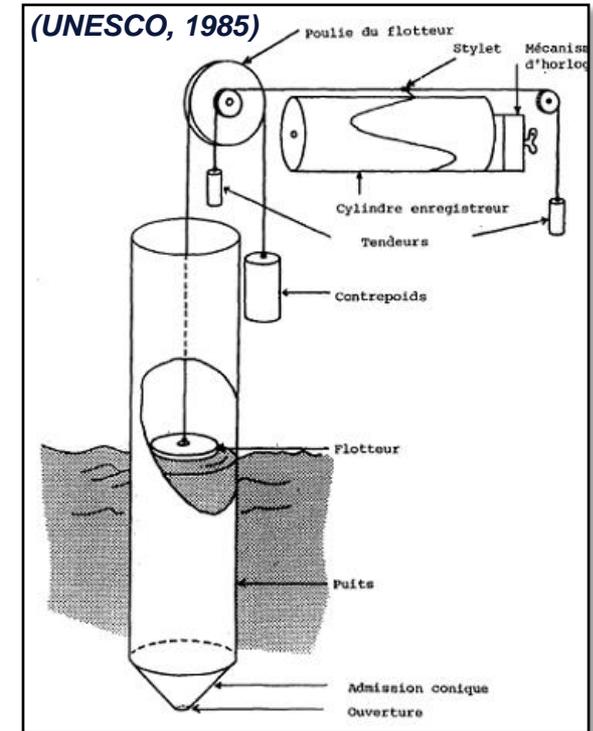
Depuis 1863, un marégraphe est installé à Saint-Nazaire, à l'embouchure de de la Loire (macrotidal)

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)



Marégraphe radar
à ondes guidées

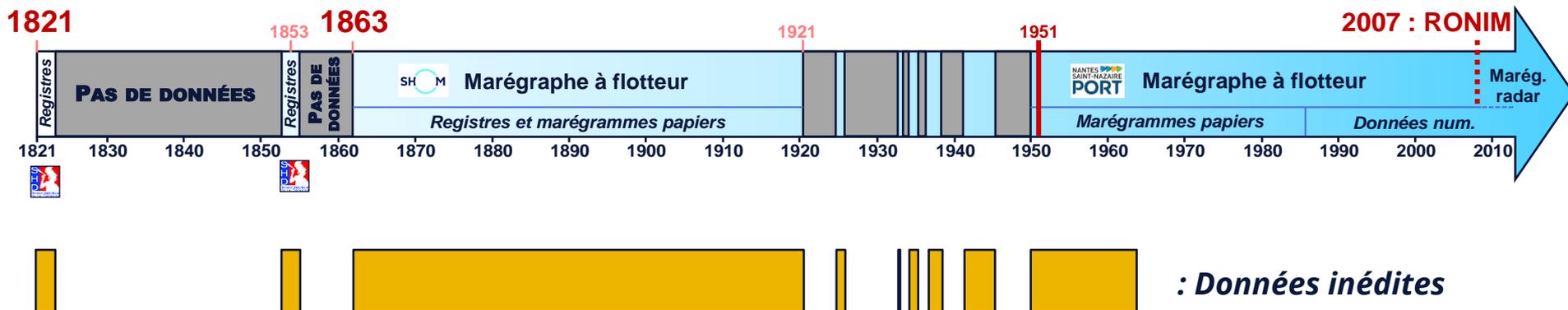


Principe de fonctionnement d'un
marégraphe à flotteur

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

RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE



2. NUMÉRISATION DES DOCUMENTS PAPIER : EXTRACTION DES MESURES DE HAUTEURS D'EAU

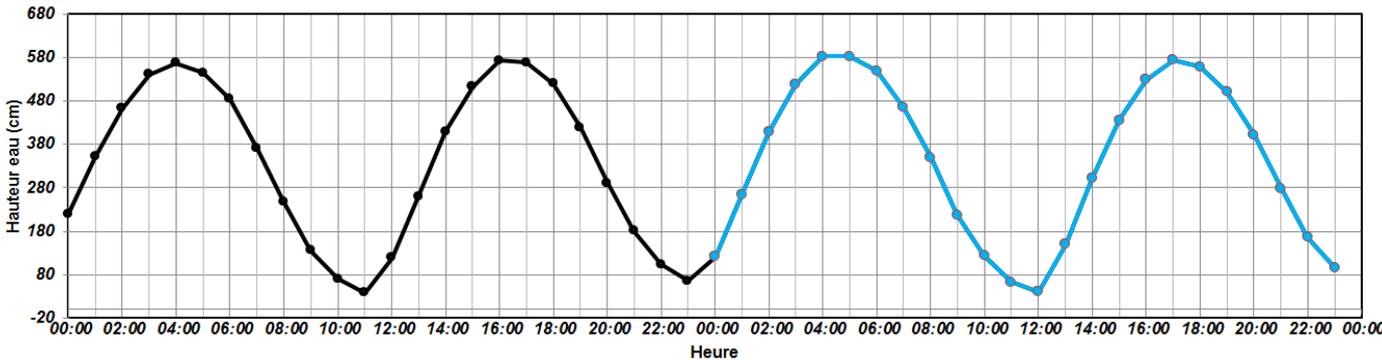
Registres manuscrits:

Digitalisés manuellement

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

Mois	Jour	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	
1863	3	1	60	398	398	390	353	299	235	185	159	170	219	278	337	383	405	405	380	330	264	204	168	163	204	270	338			
1863	3	2	61	396	429	440	423	373	301	228	187	137	153	213	294	366	417	440	431	390	318	240	173	137	146	207	295			
1863	3	3	62	391	437	471	473	441	369	290	203	148	137	199	260	356	426	476	490	463	390	299	217	150	114	146	236			
1863	3	4	63	348	429	487	509	485	424	334	238	160	105	104	180	292	400	476	515	498	442	357	259	171	112	84	166			
1863	3	5	64	287	407	494	543	533	488	406	306	205	134	93	126	234	360	463	529	539	499	423	321	217	138	88	96			
1863	3	6	65	208	338	456	536	563	525	457	363	254	183	108	97	119	200	433	526	546	500	380	273	184	104	70				
1863	3	7	66	132	252	391	494	553	540	488	419	307	200	127	82	116	226	373	483	565	650	600	419	321	214	128	70			
1863	3	8	67	68	168	306	439	527	562	522	465	357	241	162	87	96	124	249	392	490	542	520	463	373	263	163	83			
1863	3	9	68	59	102	228	359	475	536	524	489	415	313	206	127	82	92	187	236	444	518	534	493	430	241	236	168			
1863	3	10	69	93	94	173	298	415	485	530	505	454	378	287	192	126	88	120	260	462	514	511	472	402	319	225	188			
1863	3	11	70	156	111	123	207	328	424	482	492	465	416	348	265	182	127	114	171	274	376	443	470	460	426	372	298			
1863	3	12	71	216	154	128	160	257	364	434	474	480	458	422	366	295	224	172	233	319	387	432	453	467	437	396				
1863	3	13	72	336	281	190	153	176	248	331	382	406	412	413	401	387	305	235	183	171	217	287	351	391	414	426	431			
1863	3	14	73	411	352	278	204	165	163	227	291	337	372	399	426	434	409	335	269	228	178	196	246	299	348	384	432			
1863	3	15	74	453	448	384	308	226	176	143	178	239	290	350	388	425	444	421	365	263	192	144	145	191	263	338	401			
1863	3	16	75	450	476	461	401	301	200	124	96	116	195	257	328	389	339	453	495	536	621	644	611	661	638	629	626			
1863	3	17	76	409	465	493	474	401	289	176	93	45	65	160	268	381	429	470	480	431	372	213	123	56	37	122	241			
1863	3	18	77	367	466	513	526	486	401	276	163	81	35	78	200	335	420	485	595	694	431	316	192	91	25	3	106			
1863	3	19	78	240	376	470	527	524	465	358	217	122	49	9	63	196	345	444	563	666	664	379	261	150	66	53	19			
1863	3	20	79	162	324	449	528	567	523	451	337	207	113	45	17	123	274	411	497	536	509	448	352	229	130	63	12			
1863	3	21	80	74	216	372	481	545	538	485	393	274	161	76	21	32	170	324	440	504	512	465	392	288	174	88	26			
1863	3	22	81	13	118	276	406	468	522	488	426	313	217	123	63	29	63	229	377	466	503	477	423	345	247	158	74			
1863	3	23	82	28	64	172	320	432	488	484	432	368	275	183	102	50	67	152	287	403	467	475	431	373	293	206	124			
1863	3	24	83	65	49	113	226	352	429	488	433	383	317	239	160	96	73	117	247	340	423	454	433	387	332	267	195			
1863	3	25	84	130	93	165	171	276	369	418	423	387	344	287	224	162	117	118	173	269	360	446	466	466	466	466	466	259		
1863	3	26	85	199	148	126	148	216	305	364	387	374	349	315	276	223	176	145	156	267	347	419	376	372	346	324	286			
1863	3	27	86	264	214	171	155	179	236	298	330	342	337	330	311	282	237	195	172	262	320	291	331	347	344	340	328			
1863	3	28	87	311	273	218	170	185	235	281	308	336	334	340	330	303	261	216	185	197	230	272	308	331	346	344				
1863	3	29	88	354	333	300	251	204	178	184	219	260	296	328	353	368	357	330	278	232	192	127	147	200	290	329	358			
1863	3	30	89	380	382	361	314	263	198	164	165	196	247	305	351	383	394	381	343	282	217	171	161	188	239	302	358			
1863	3	31	90	390	418	409	366	316	256	175	154	153	176	251	330	390	423	421	391	332	258	186	134	125	160	240	323			
1863	4	1	91	390	432	446	425	373	289	209	139	88	114	181	271	359	424	455	444	382	312	223	145	95	101	165	268			
1863	4	2	92	356	424	462	465	429	359	257	162	94	62	101	197	318	409	468	480	447	376	277	177	104	57	74	164			
1863	4	3	93	283	385	456	488	470	410	314	201	116	52	30	111	233	362	449	500	480	433	344	224	134	63	29	89			
1863	4	4	94	201	337	437	506	506	467	362	271	162	82	31	48	166	300	421	501	527	486	410	309	185	102	41	25			

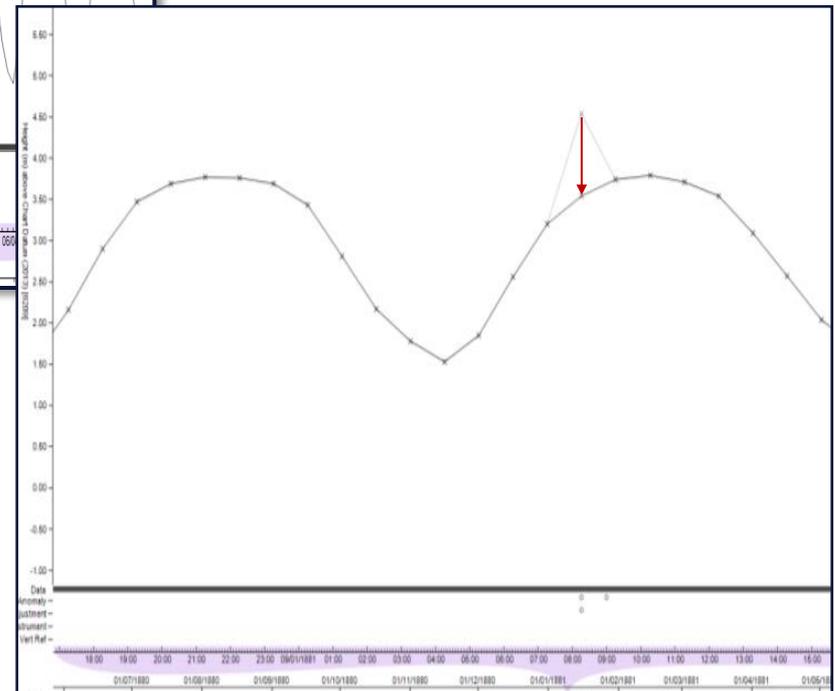
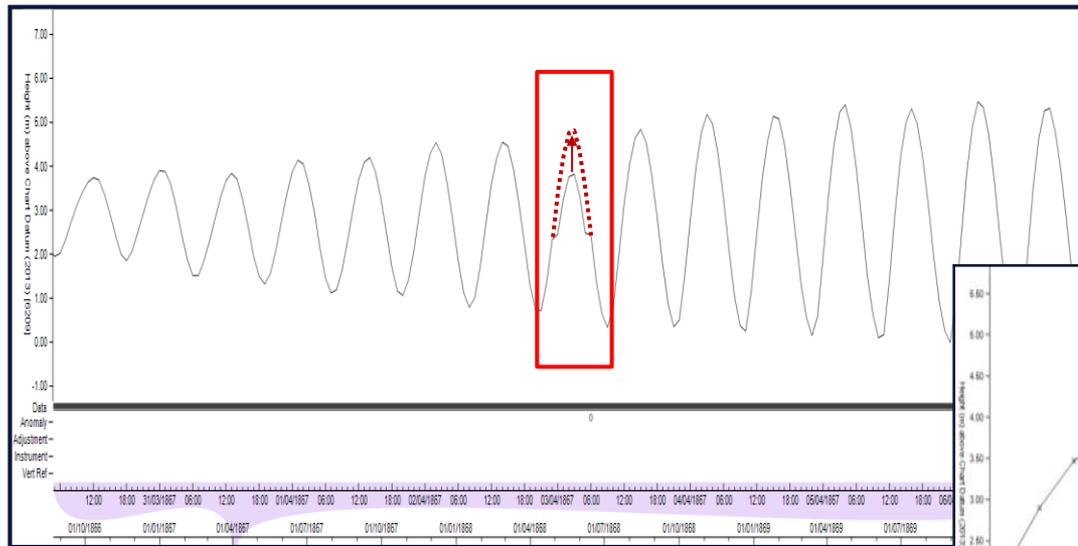
Vérification visuelle pour le jour n° ...



364	467	527	526	478	387	271	158	77	27				
143	289	421	500	541	515	485	380	242	166	78			
163	216	356	527	527	486	269	166	266	76				
135	250	375	457	502	493	455	383	292	190				
168	99	168	280	381	441	465	454	426	372	289			
181	111	129	197	301	390	420	430	416	379				
283	204	151	144	191	272	339	379	401	417	424			
372	310	226	164	136	165	229	300	350	388	414			
431	399	328	231	163	122	136	198	274	346	403			
445	450	412	333	232	147	84	95	168	281	355			
436	466	462	407	315	202	121	62	81	150	268			
435	477	488	463	388	283	175	93	41	60	167			
378	458	497	469	479	458	469	410	354	233	138	63	20	75
306	421	486	562	468	407	306	194	110	45	21			
232	366	460	585	586	446	371	270	168	92	41			
163	293	409	479	498	469	410	330	229	144	77			
110	211	337	427	472	467	428	369	290	200	123			
36	160	263	341	401	386	370	328	256	184				
109	131	206	304	377	416	411	391	340	285	220			
145	131	160	226	309	362	384	375	361	319	272			
199	159	151	185	249	313	349	361	364	342	316			
263	214	178	172	189	248	301	354	364	363	345			
327	282	229	167	174	195	240	291	329	352	366			
381	363	283	230	178	162	183	227	284	335	372			
418	407	360	281	207	146	122	152	215	289	361			
429	443	415											

Registres manuscrits: Ex. de Saint-Nazaire (Anomalies)

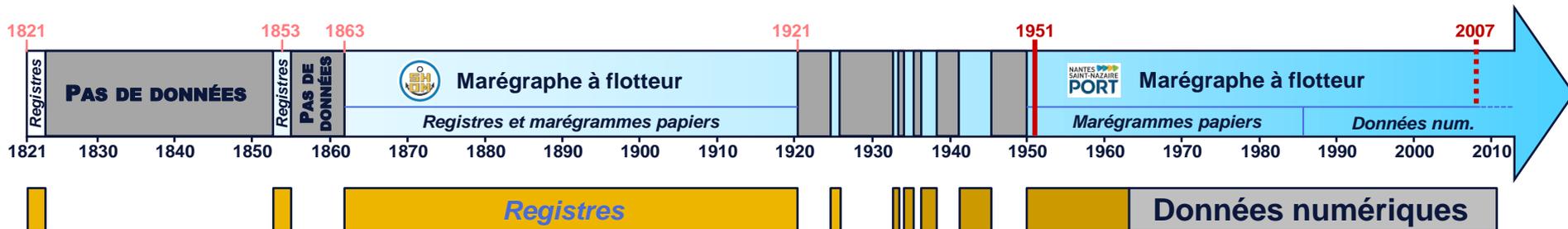
Erreur de lecture des marégrammes : corrections à apporter



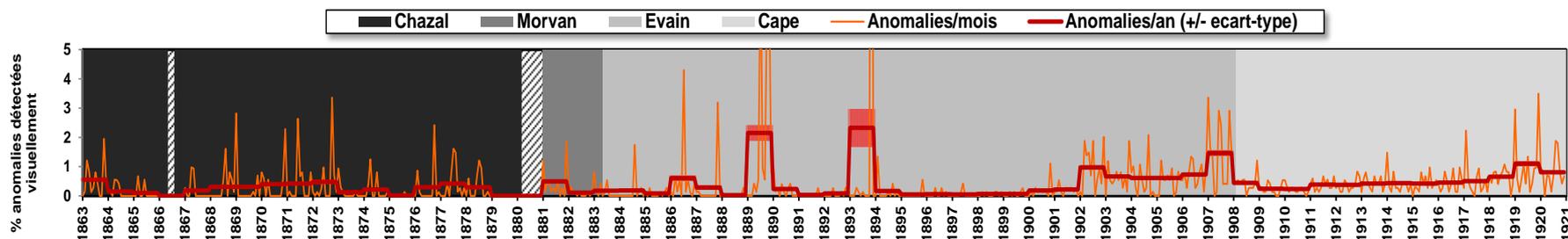
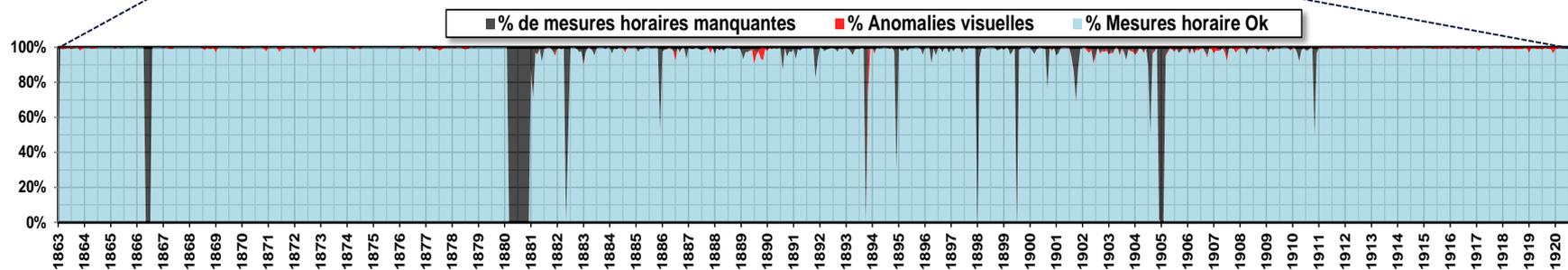
Erreurs de retranscription détectables pouvant être corrigées :

- Erreur de lecture sur l'échelle des hauteurs du marégrammes (ex : **423** au lieu de **323**)
- Erreur dans la date
- ...

Registres manuscrits: Ex. de Saint-Nazaire (Synthèse)



1863-1920



Marégrammes papiers: - Scannage (> 1 km de documents scanné)

La totalité des marégrammes a du être scannée pour être « digitalisée ».

Nécessité de préparer les documents papiers avants scannage (restauration, désagrafe, ...)

A l'exception de ceux correspondant à des rouleaux de plusieurs mètres de longs, l'ensemble des marégrammes papiers que nous avons à notre disposition a aujourd'hui été scanné.

Scanner à défilement A0

Scanner A3

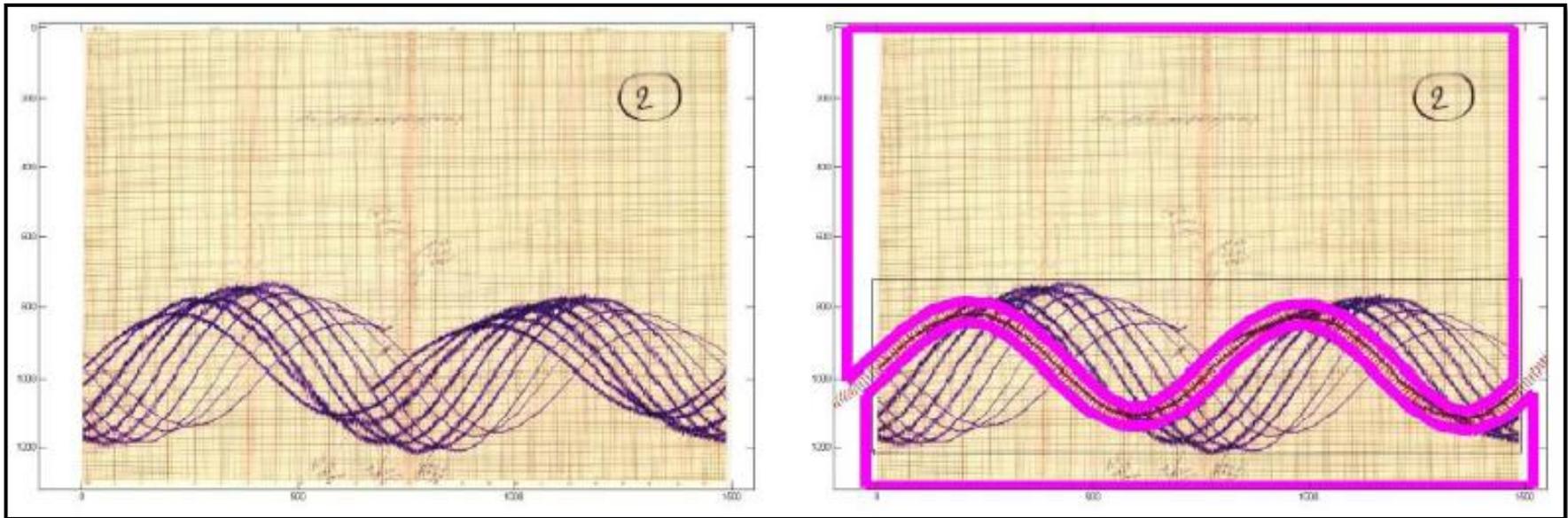
...



Marégrammes papiers : - Numérisation : logiciel NUNIEAU (CEREMA)

Logiciel **NUNIEAU (NUMérisation des Niveaux d'EAU)** développé au CETE Méditerranée (CEREMA depuis 2014) 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)

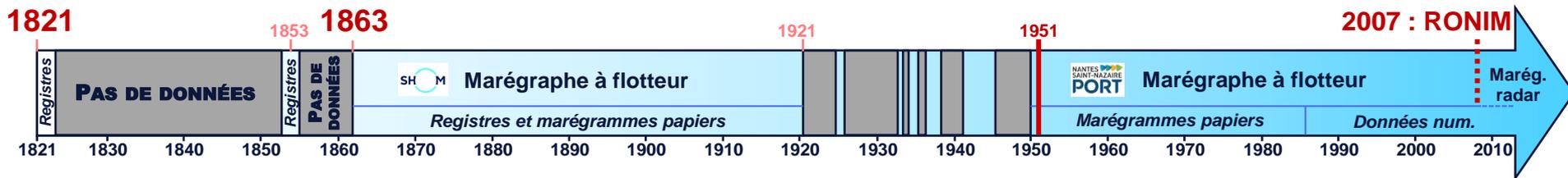


<https://www.cerema.fr/fr/actualites/logiciel-numerisation-enregistrements-graphiques-niveaux-eau>

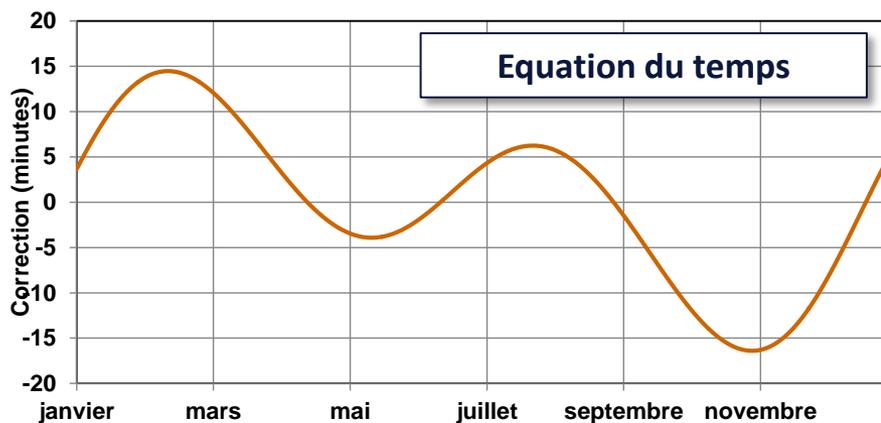
RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE



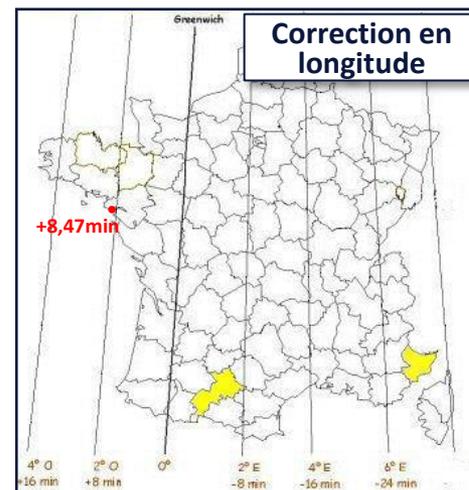
3. HOMOGENÉISATION DES DONNÉES DIGITALISÉES : CORRECTIONS TEMPORELLES



Mise en cohérence temporelle (TSV → TSM → TU)



TSV → TSM

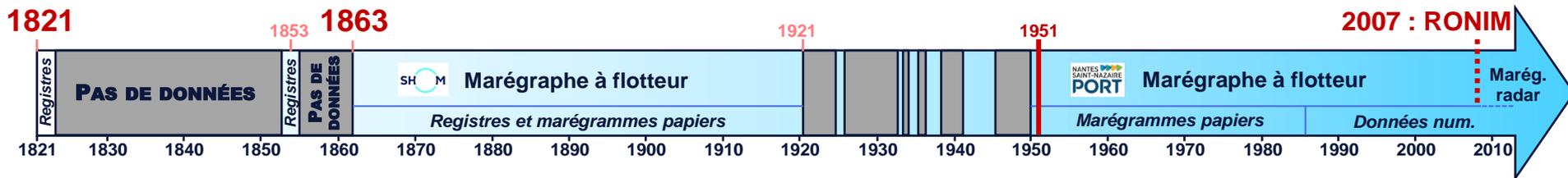


TSM → TU

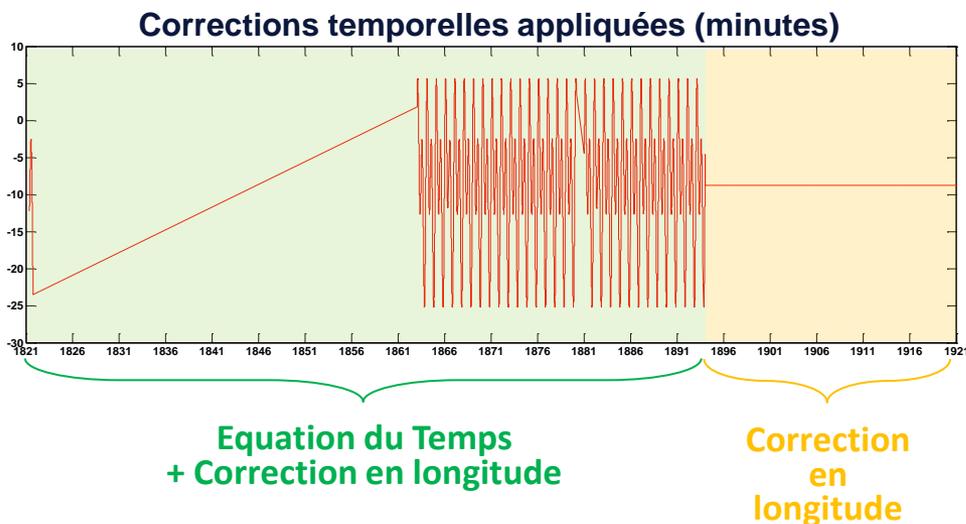
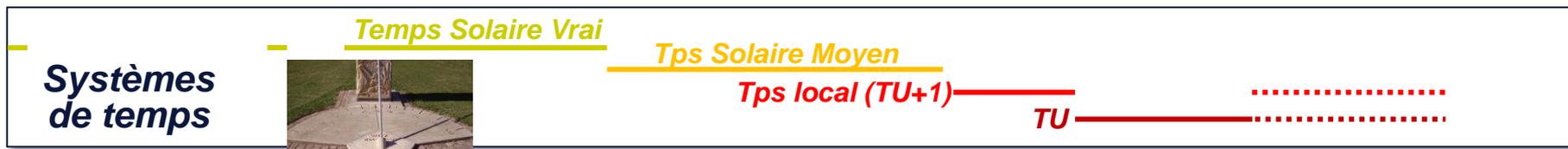
RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE



3. HOMOGENÉISATION DES DONNÉES DIGITALISÉES : CORRECTIONS TEMPORELLES



Mise en cohérence temporelle (TSV → TSM → TU)



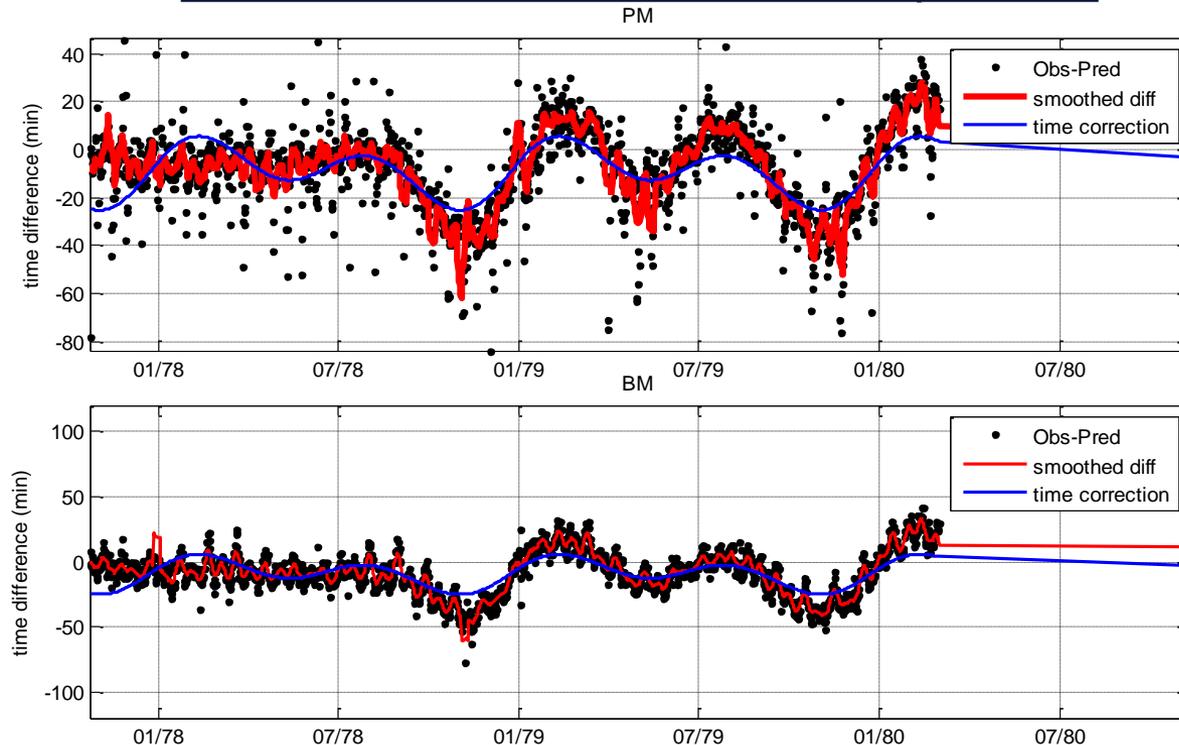
Vérifier les corrections temporelles effectuées (car pour l'instant, corrections conformes aux instructions données aux opérateurs de l'époque).



Comparaison entre date-heure des PM/BM mesurées et celles prédites et voir si déphasage coïncide avec corrections.

Vérifications et corrections

Etude des résidus : différence entre mesures et prédictions.

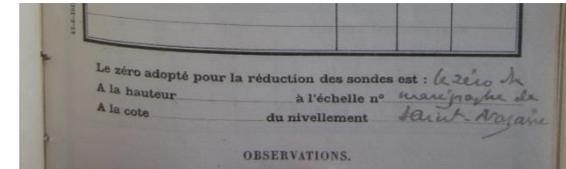
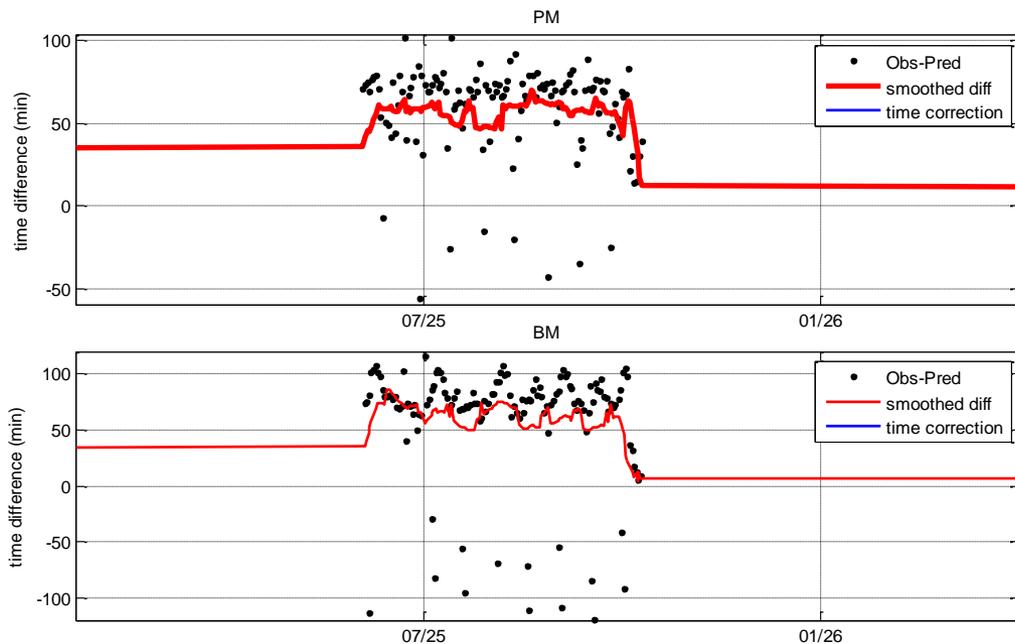


Permet de mettre en évidence des mesures qui ne sont pas en cohérence avec les instructions d'alors !

Dans cet exemple, l'observateur était censé exprimer les hauteurs d'eau selon le TSV (Ce n'est qu'en 1894 qu'une instruction est faite pour réaliser les mesures selon le TSM) . Or, les mesures sont en TSM, et la correction selon l'EdT n'a pas lieu d'être!

Vérifications et corrections

Etude des résidus : différence entre mesures et prédictions.



Observations des Marées faites à
 le MATIN du *27* *1900* (jour de la Lune)

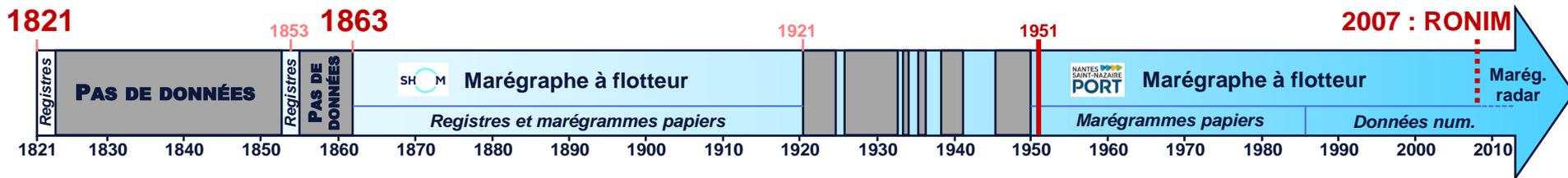
Éch. n°	HAUTEUR		VENT	SARRE	Éch. n°	HAUTEUR	
	OBSERVÉ	CONSTATÉ				OBSERVÉ	CONSTATÉ
4 ^h 0 ^m					8 ^h 0 ^m	1.45	
15					15	1.68	
30					30	1.68	
45					45	1.94	
5 ^h 0 ^m					9 ^h 0 ^m	2.00	
15					15	2.14	
30					30	2.30	
45					45	2.47	
6 ^h 0 ^m					10 ^h 0 ^m	2.64	
15					15	2.81	
30					30	2.97	
45					45	3.14	
7 ^h 0 ^m	1.54				11 ^h 0 ^m	3.28	
15	1.53				15	3.46	
30	1.54				30	3.69	
45	1.59				45	3.78	

Heure que marque la montre à _____

Changements d'échelles.	Heure.		
	N°	N°	N°
Hauteurs simultanées.	N°	N°	N°

Permet de déterminer le système de temps utilisé lorsqu'il n'en est pas fait mention sur les documents contenant les mesures!

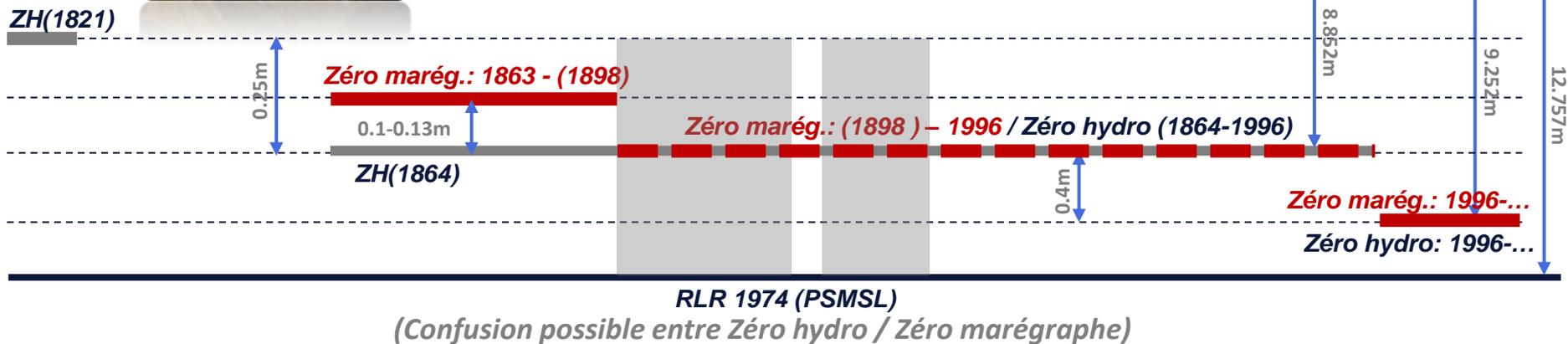
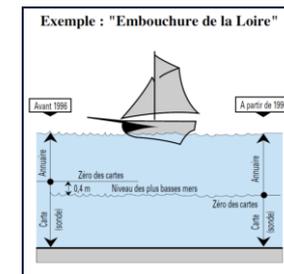
Dans cet exemple, aucune information concernant le système de temps utilisé n'était sur le registre !
 Grâce à l'étude des résidus, il est possible de voir que les erreurs sont centrées sur env. 60 min
 → Les mesures étaient vraisemblablement faites selon l'heur légale (TU+1)



Mise en cohérence verticale (selon ZH96)



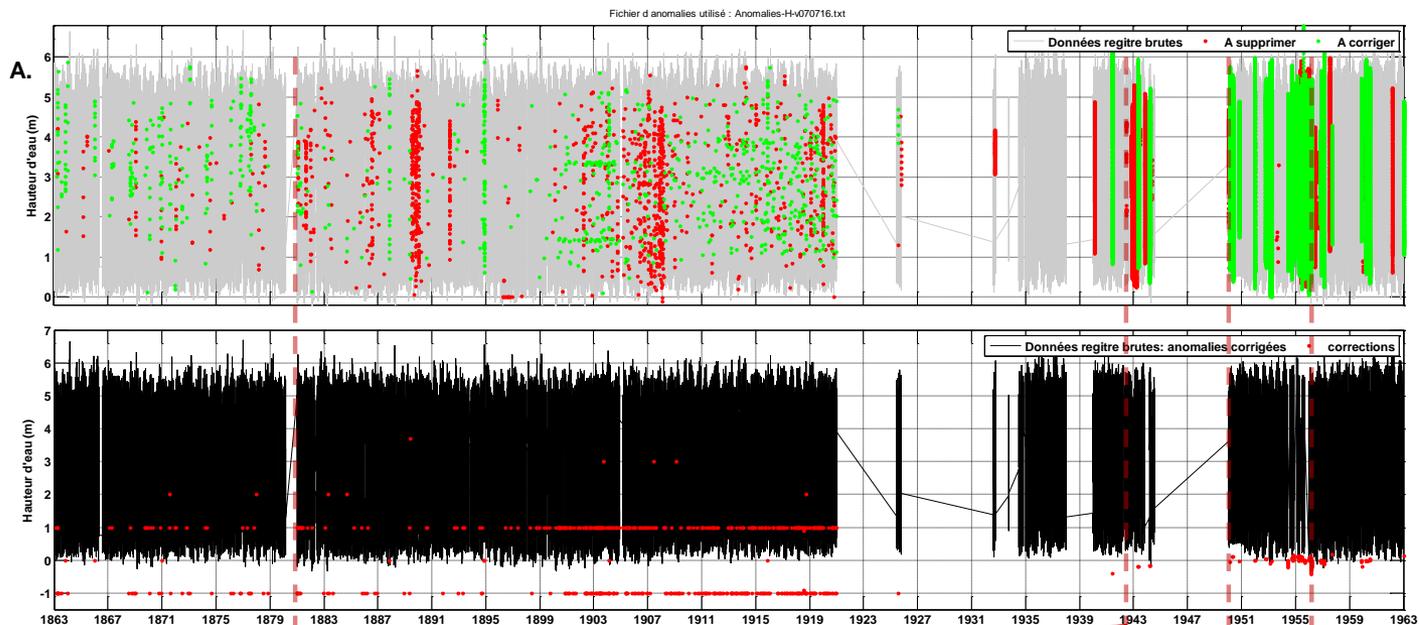
Repère IGN NGF OKS69



➡ Pour certaines périodes, le zéro du marégraphe reste incertain

RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE

3. HOMOGENÉISATION DES DONNÉES DIGITALISISÉES : CORRECTIONS VERTICALES

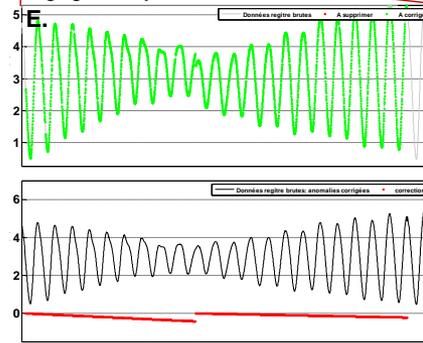
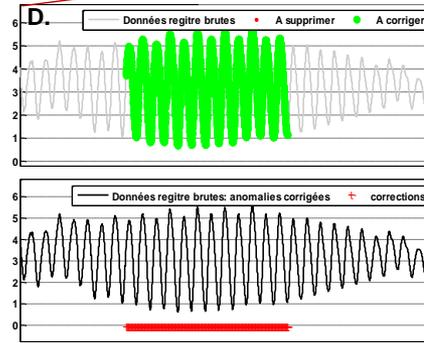
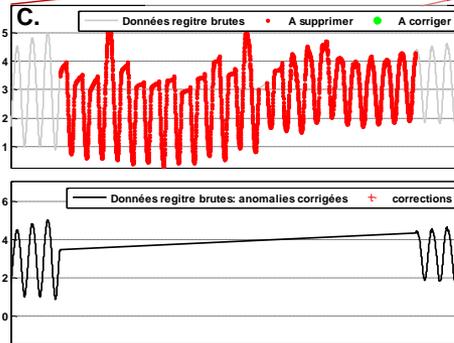
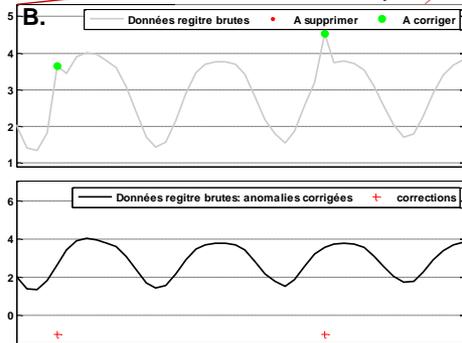


Erreurs de transcription

Problèmes dans mesures

Corrections indiquées sur feuille de contrôle

Réglages indiqués sur feuille de contrôle



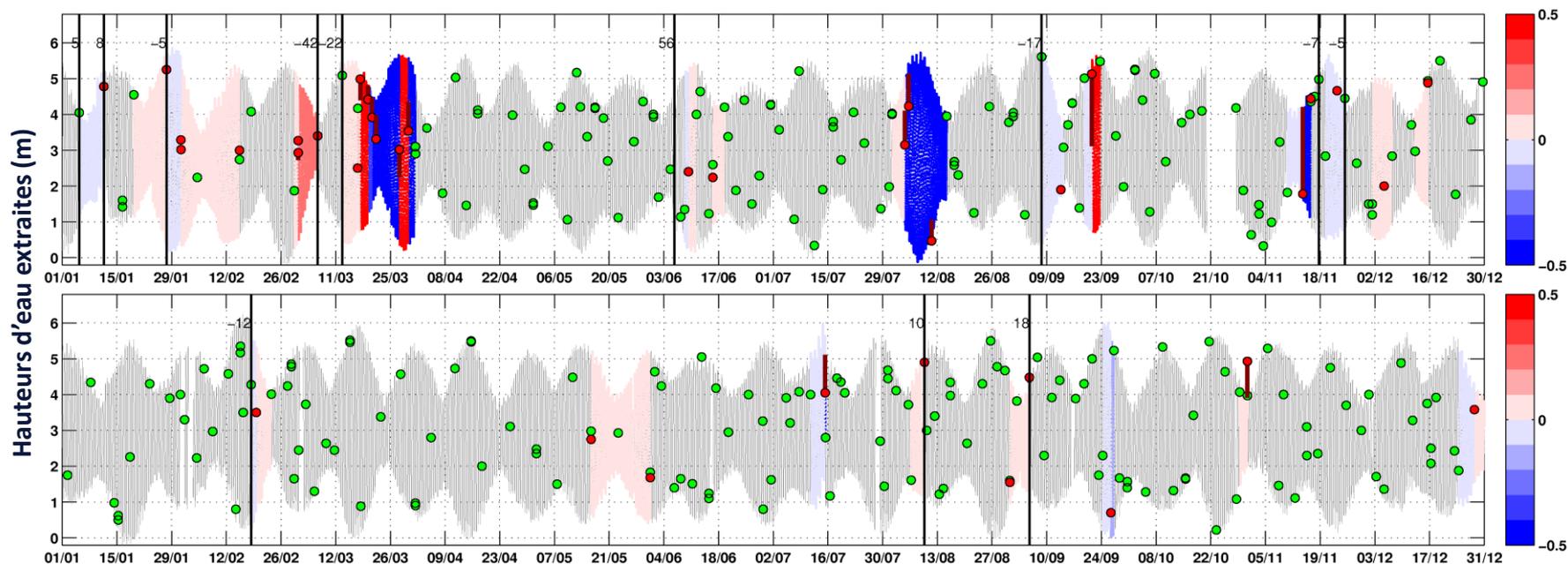
RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE

4. CORRECTION / SUPPRESSION - VALIDATION DES DONNÉES

- **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

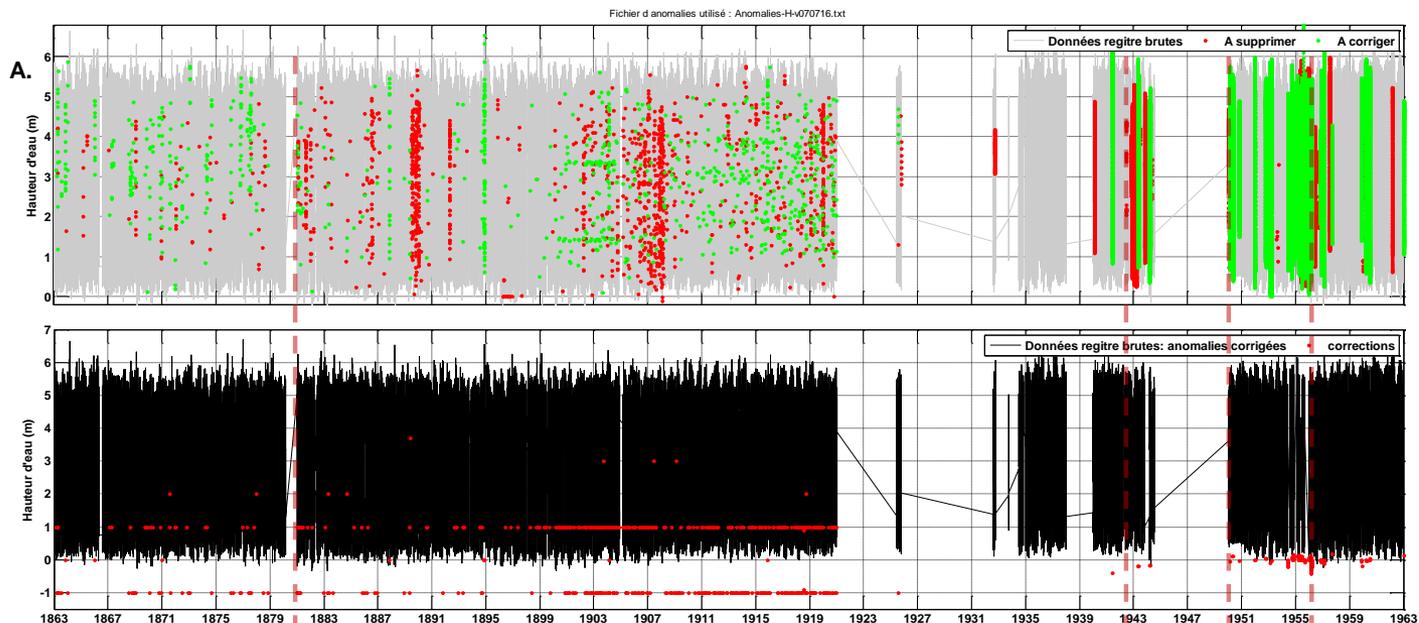
DATES	HEURES			HAUTEURS			OBSERVATIONS (1)
	exactes (T.U.)	enregistrées sur le graphique	indiquées par l'horloge du marégraphe	Echelle de marée	Ruban gradué	Diagramme enregistré	
25/6/57	13 ^h	13 ^h	13 ^h	1,24	1,24	1,24	non de la feuille



RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE

4. CORRECTION / SUPPRESSION - VALIDATION DES DONNÉES

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

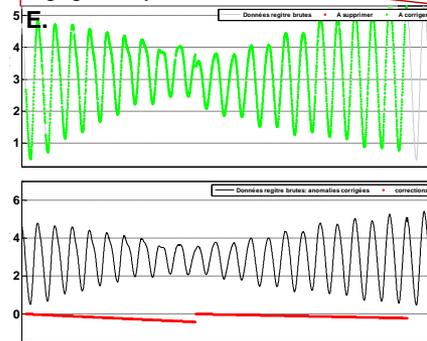
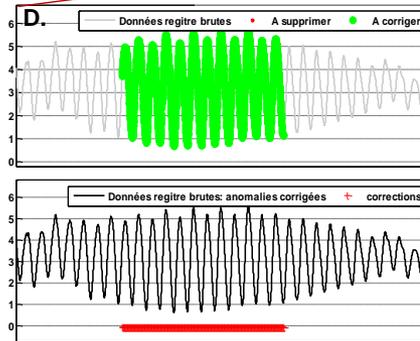
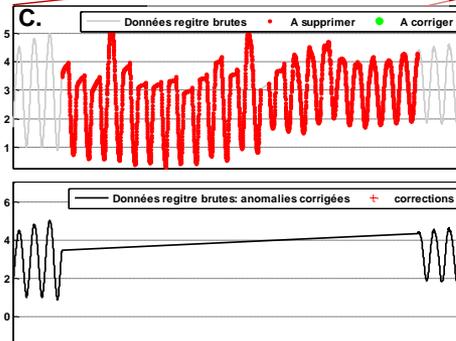
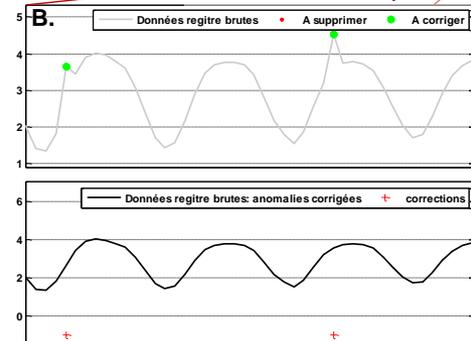


Erreurs de transcription

Problèmes dans mesures

Corrections indiquées sur feuille de contrôle

Réglages indiqués sur feuille de contrôle



- 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)
- ...

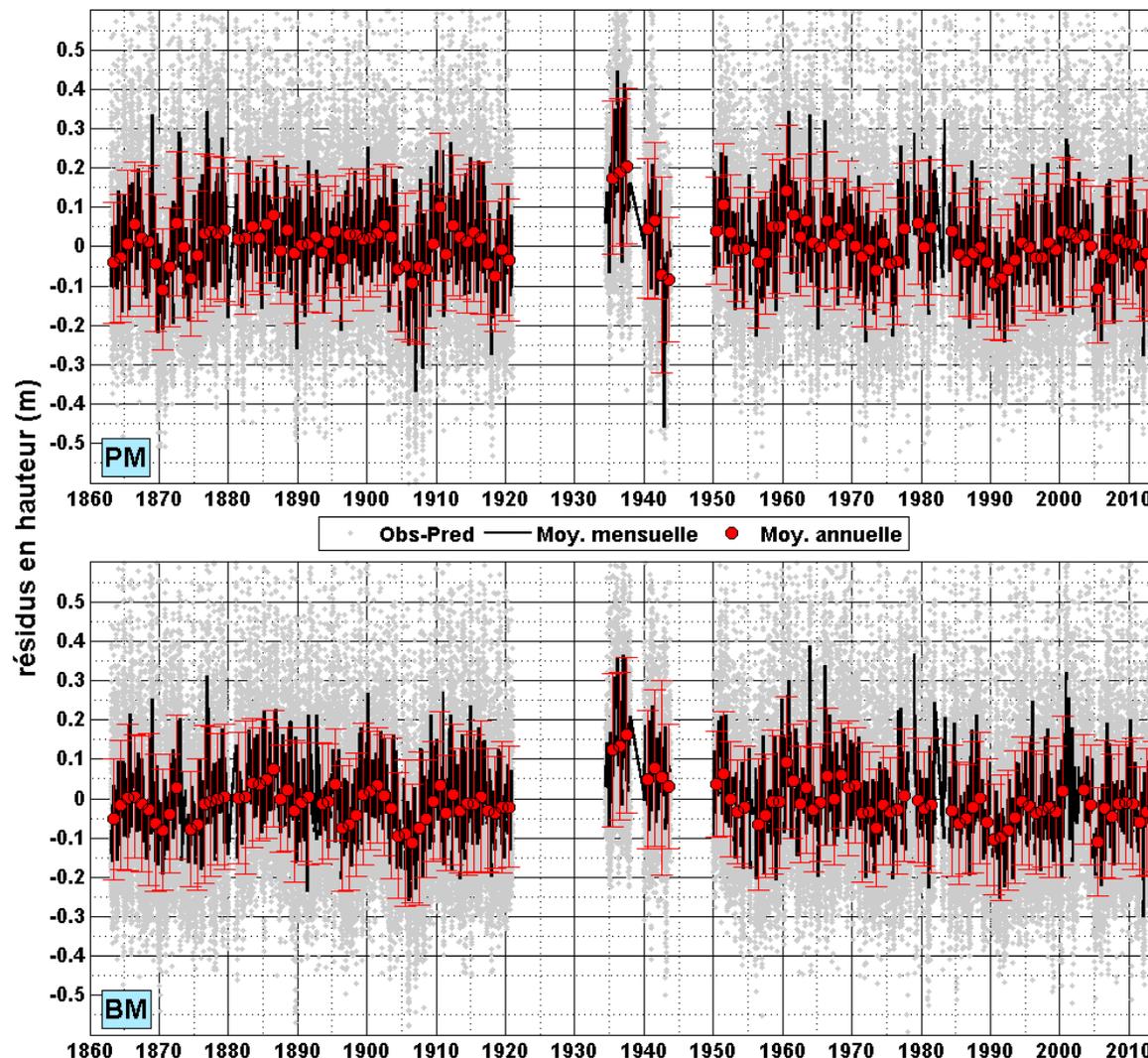
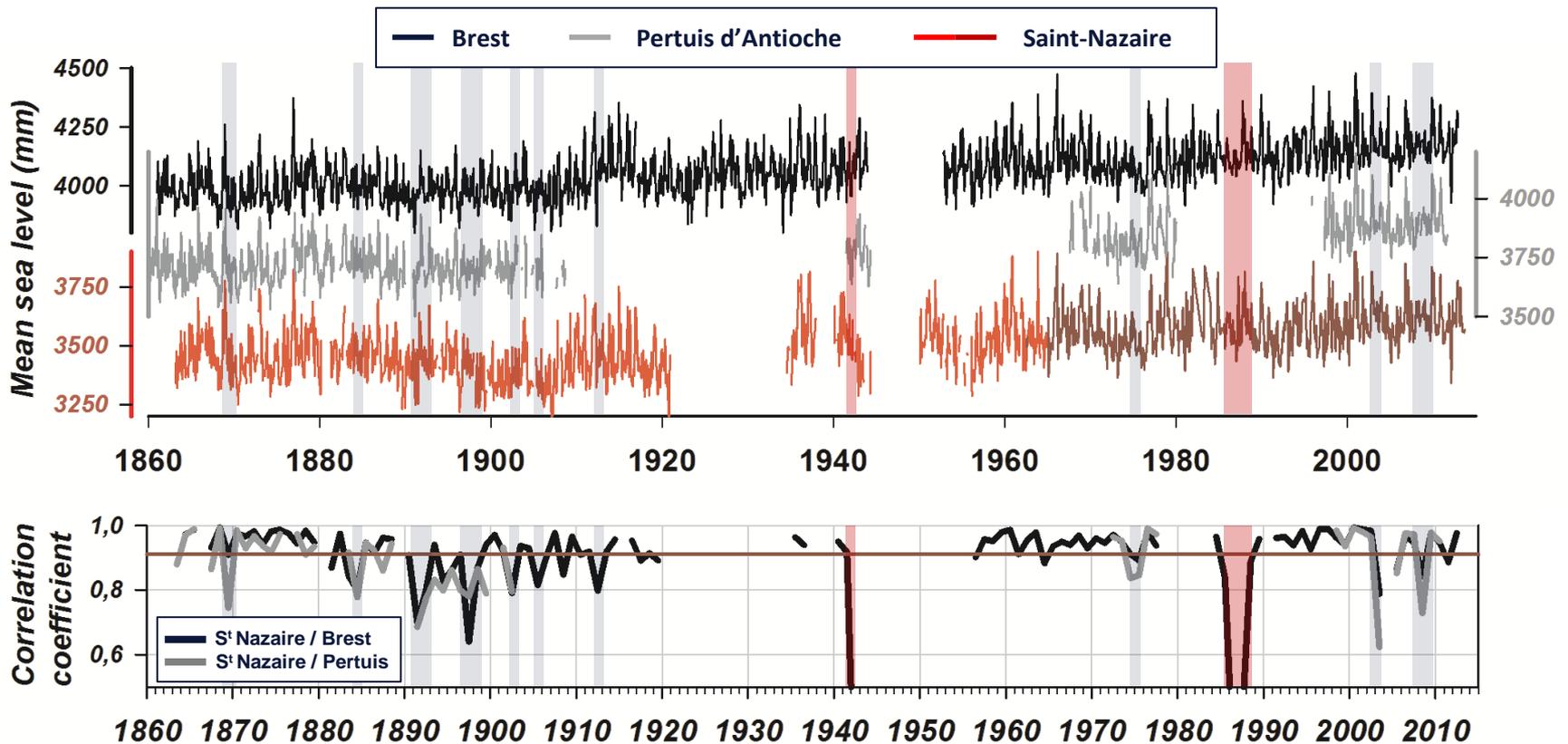


Figure 50 : Résidus sur les hauteurs de PM (haut) et BM (bas) à l'observatoire des marées de Saint-Nazaire. Prédictions réalisées sur périodes [1863-1882], [1883-1902], [1903-1920], [1932-1964], [1965-1984], [1985-2004] et [2005-2014].

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

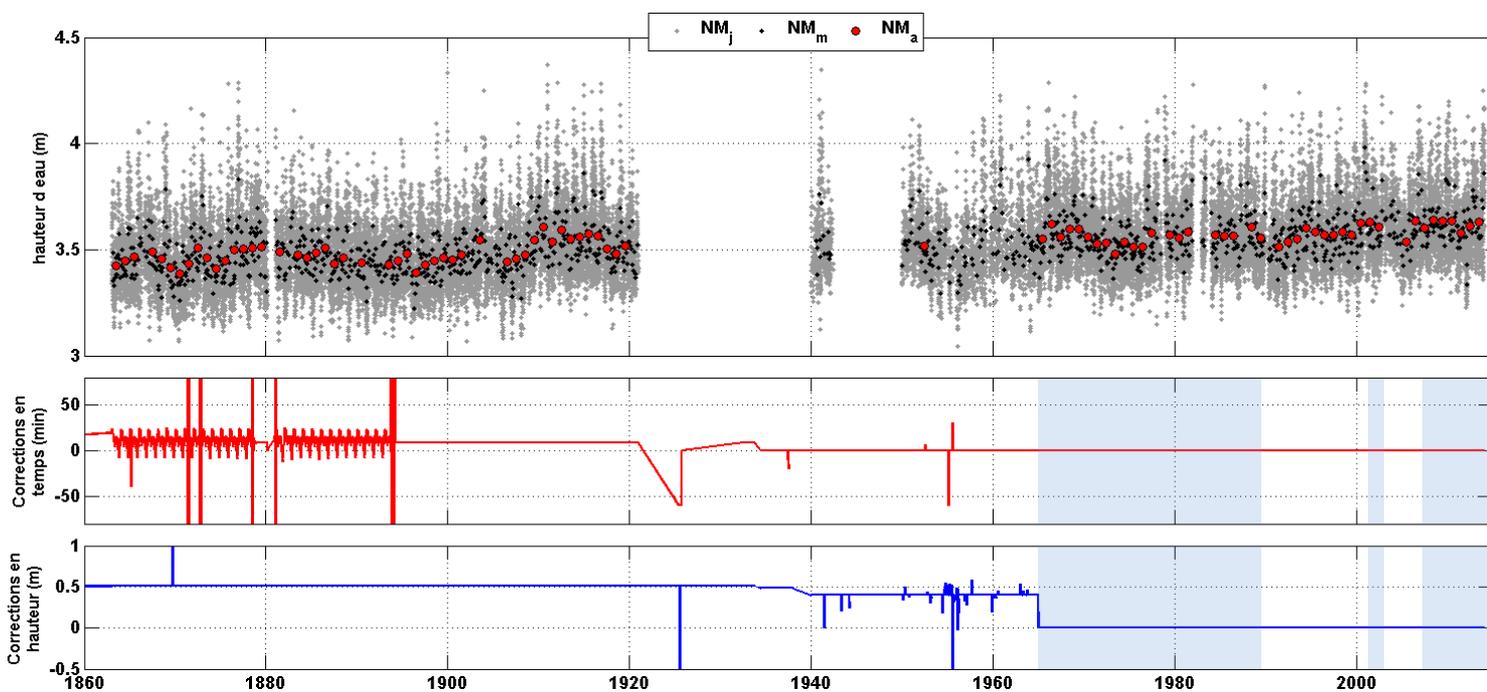
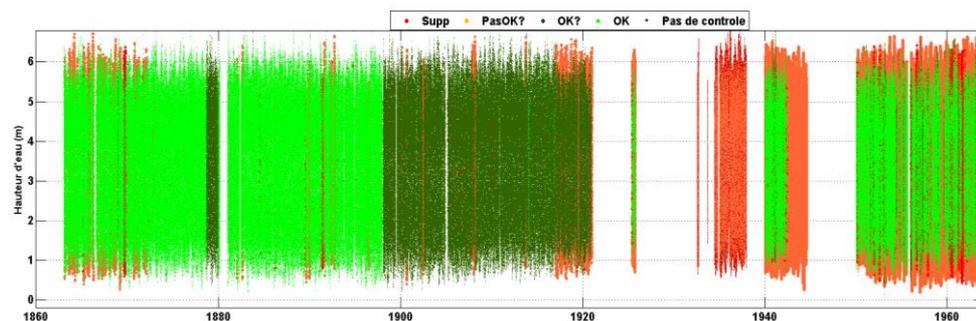
RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE

RÉSULTATS : OBTENTION D'UNE SÉRIE NUMÉRIQUE HISTORIQUE QUALIFIÉE



Qualification des données digitalisées :

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



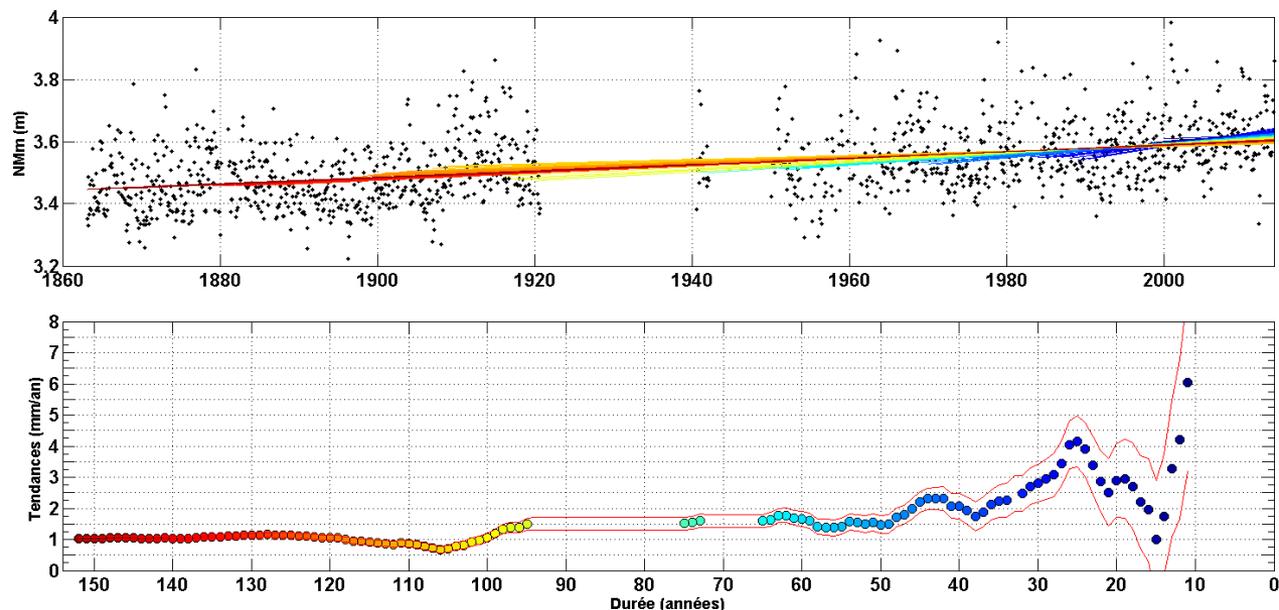
Calcul des niveaux moyens journaliers, mensuels et annuels à Saint-Nazaire à partir de la série marégraphique reconstruite qualifiée ; corrections temporelles et corrections en hauteurs appliquées pour rendre la série cohérente

RECONSTRUCTION MARÉGRAPHIQUE DE SAINT-NAZAIRE

RÉSULTATS : EVOLUTION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER À SAINT-NAZAIRE DEPUIS 1863

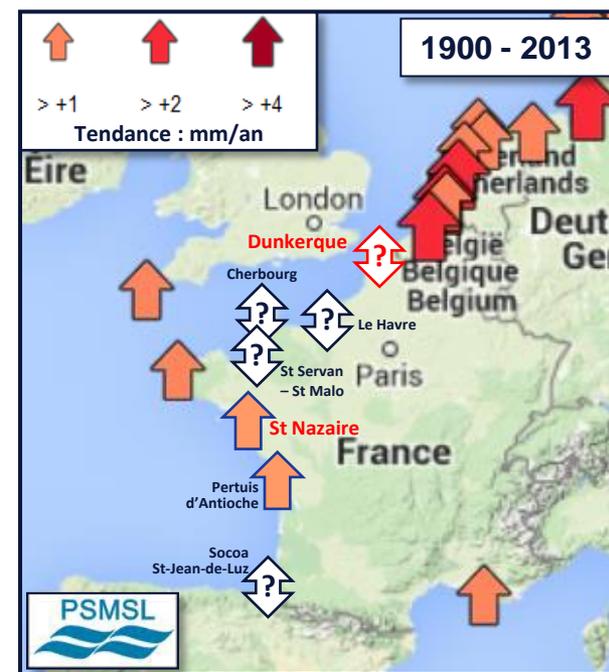


Niveaux moyens annuels mesurés à Saint-Nazaire depuis 1863 :
Calculs de tendances en fonction la durée considérée



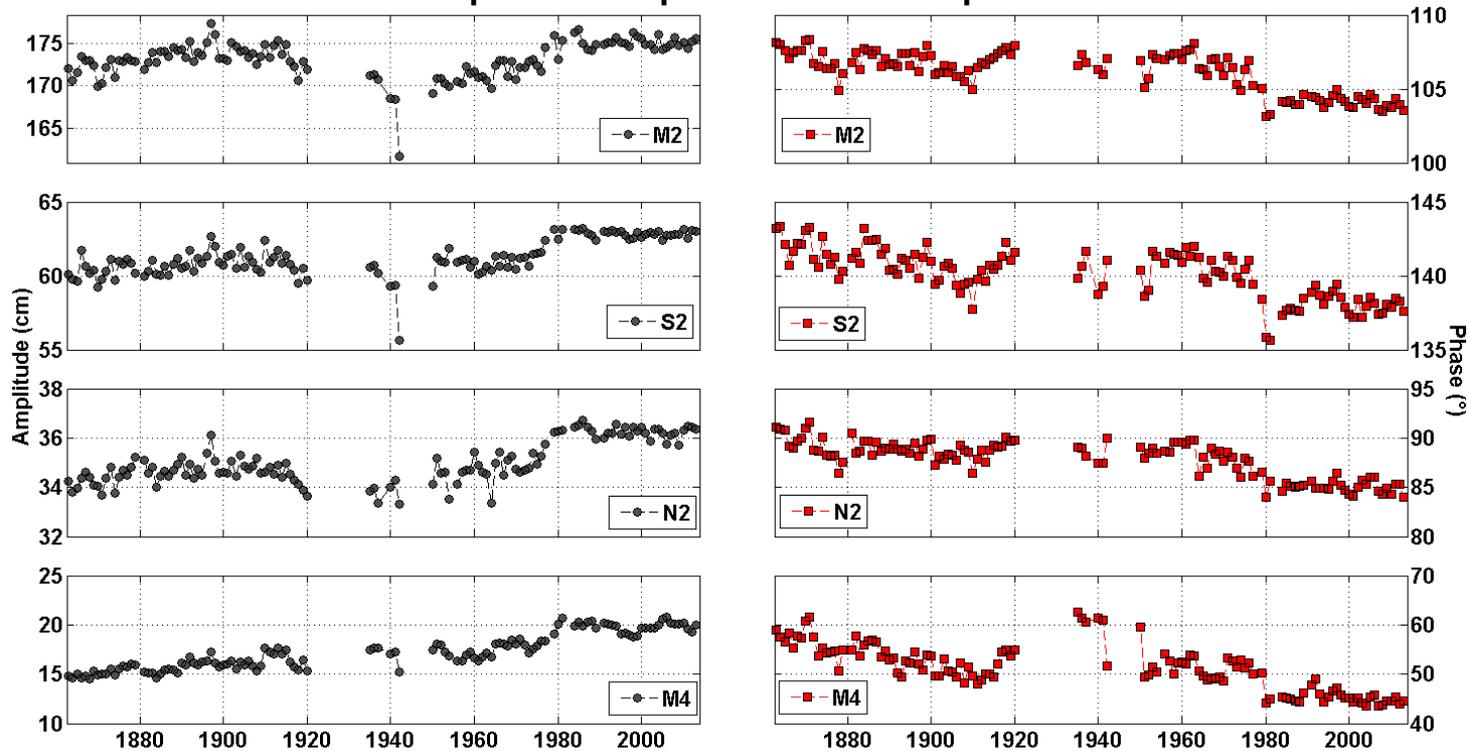
Tendances de l'évolution du niveau moyen de la mer à St-Nazaire :

- [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, ...)

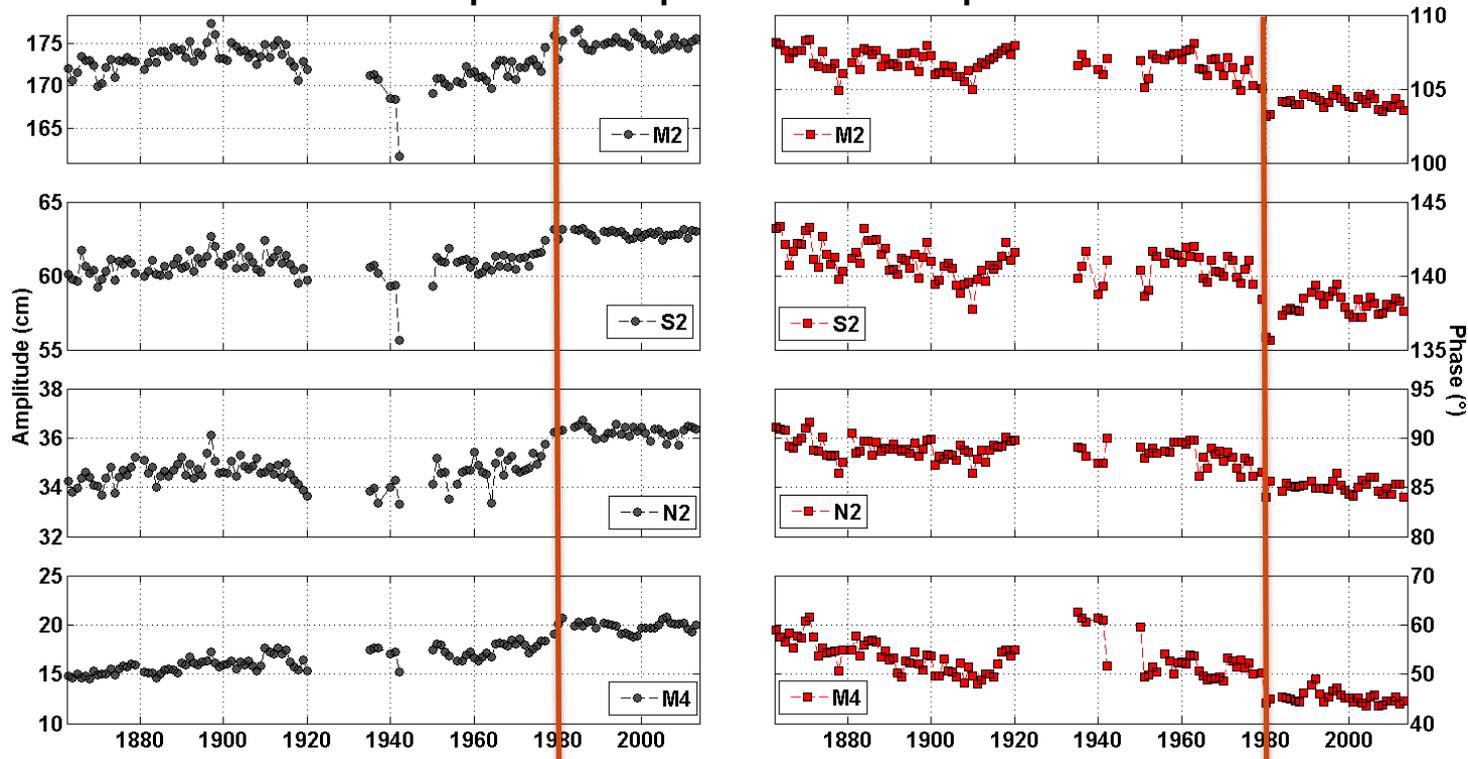
Evolution historique des composantes harmoniques à Saint-Nazaire



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

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

Evolution historique des composantes harmoniques à Saint-Nazaire



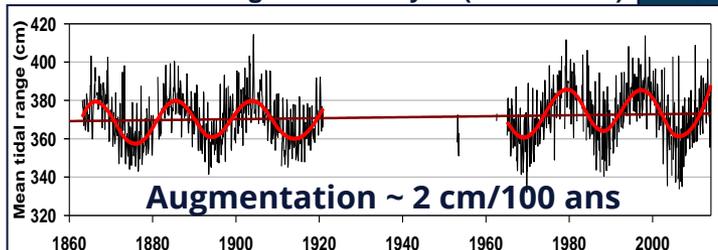
27 au 28 décembre 1979 : Destruction du local du marégraphe dans la nuit du suite à la collision d'un navire.

→ Mise en place d'un **nouveau puits de tranquillisation** lors de la reconstruction du marégraphe (diamètres du puits et de l'ouverture vers l'extérieur différents)

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

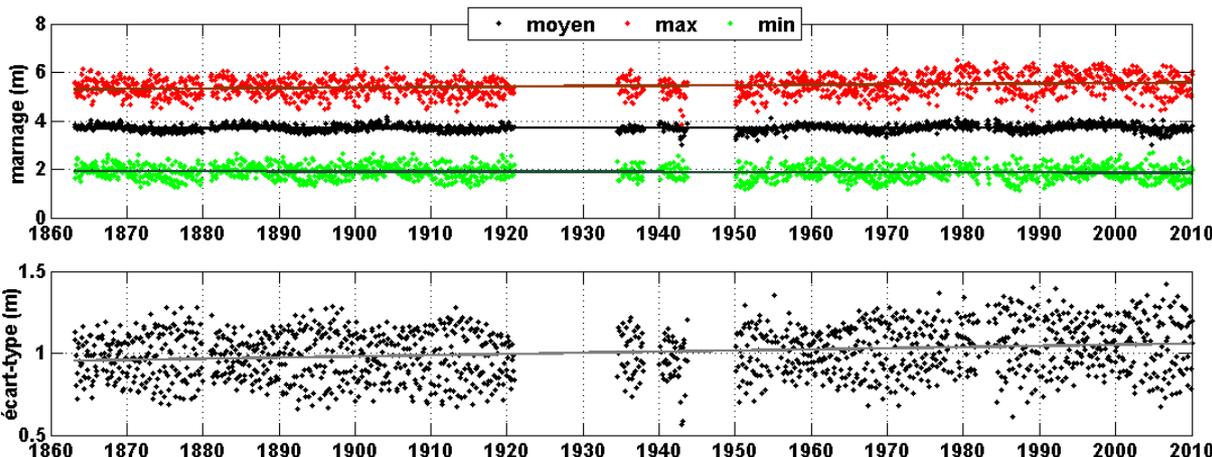
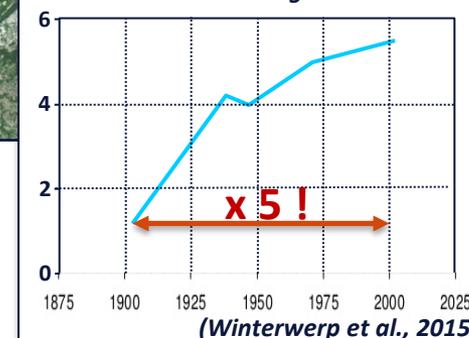
Impact modéré en aval !

Evolution du marnage mens. Moyen (St -Nazaire)



Impact fort sur le marnage en amont !

Evolution du marnage à Nantes

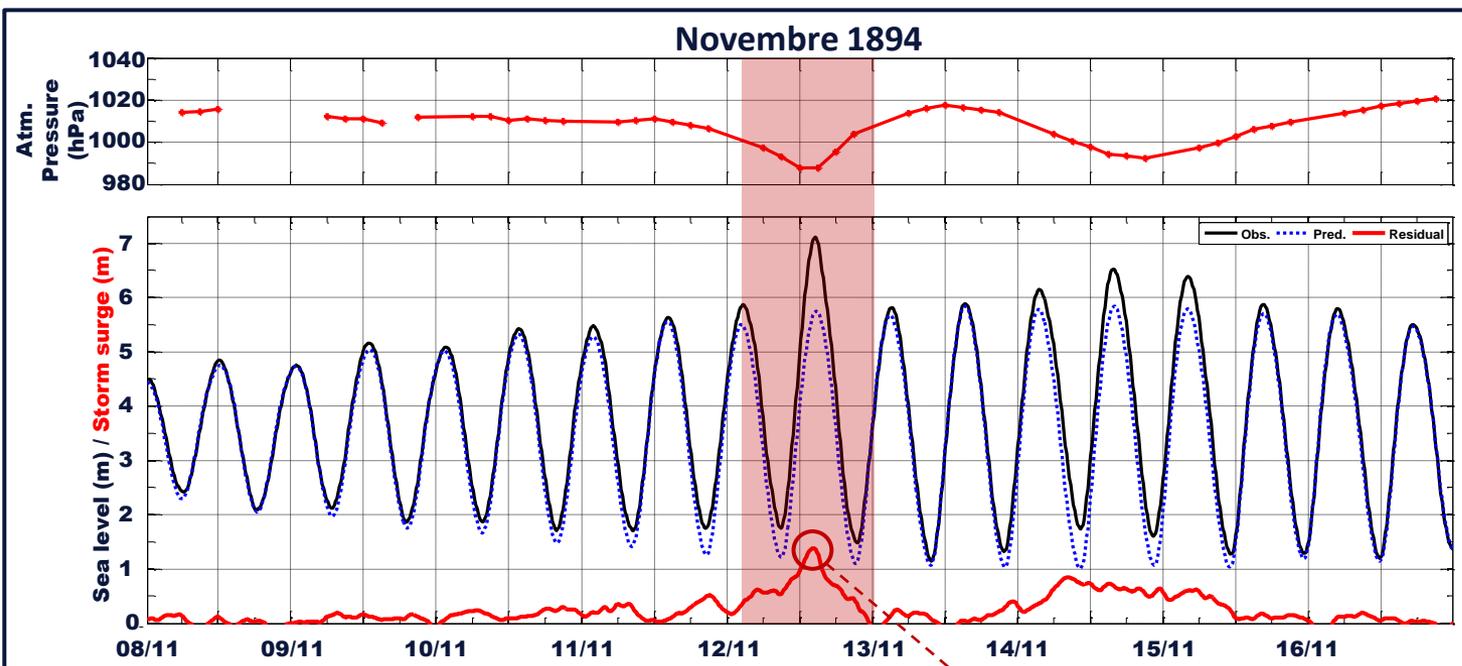


Dans le détail :

- 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, ...

Distribution des données

- Données haute-fréquence: Disponible et accessible au public (Data.shom.fr - REFMAR)
- Niveaux moyens Journaliers, Mensuels et Annuels : SONEL
- PSMSL : Global data bank for long term sea level change information from tide gauges and bottom pressure recorders



www.psmsl.org



www.sonel.org

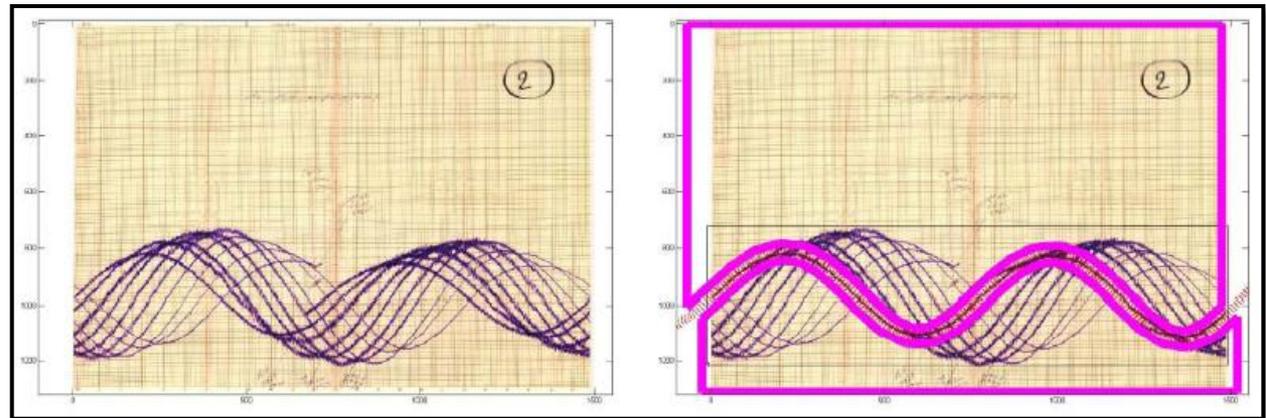
Présentation rapide de Nunieau

- Comment ça marche
- Intérêts / limites

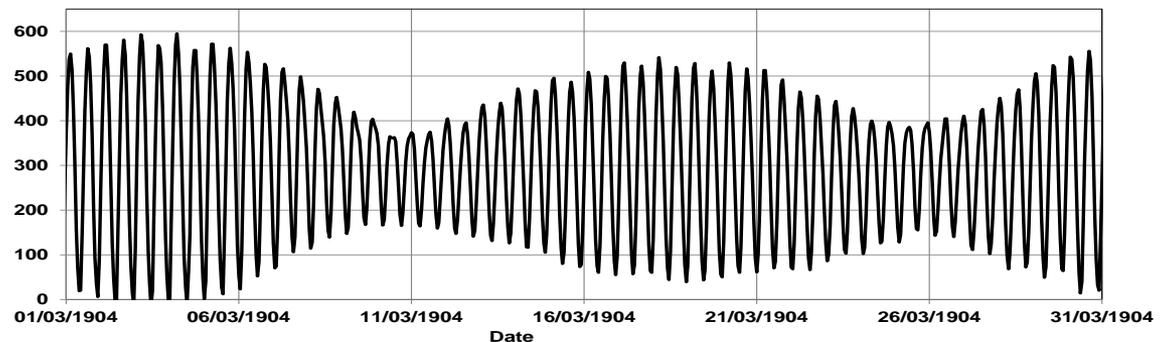
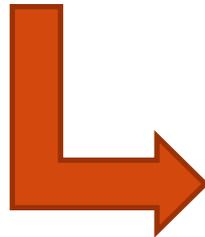
Logiciel **NUNIEAU (NUMérisation des Niveaux d'EAU)** développé au CETE Méditerranée (CEREMA depuis 2014) et mis à disposition gratuitement dans le but de **numériser** « **automatiquement** » les **marégrammes papiers**.

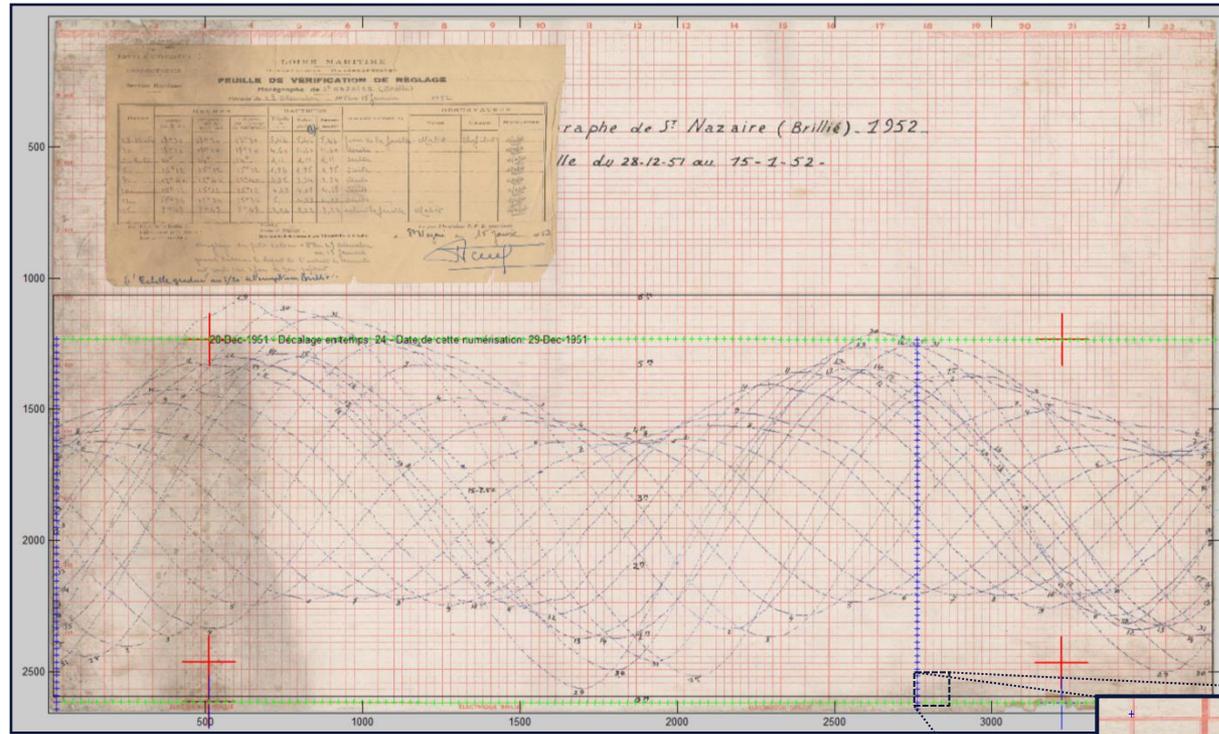
(algorithmes de traitement d'images pour la récupération des données anciennes)

**Des archives
marégraphiques
papiers...**



**... aux données
numériques
exploitables**

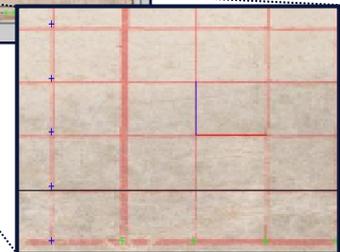


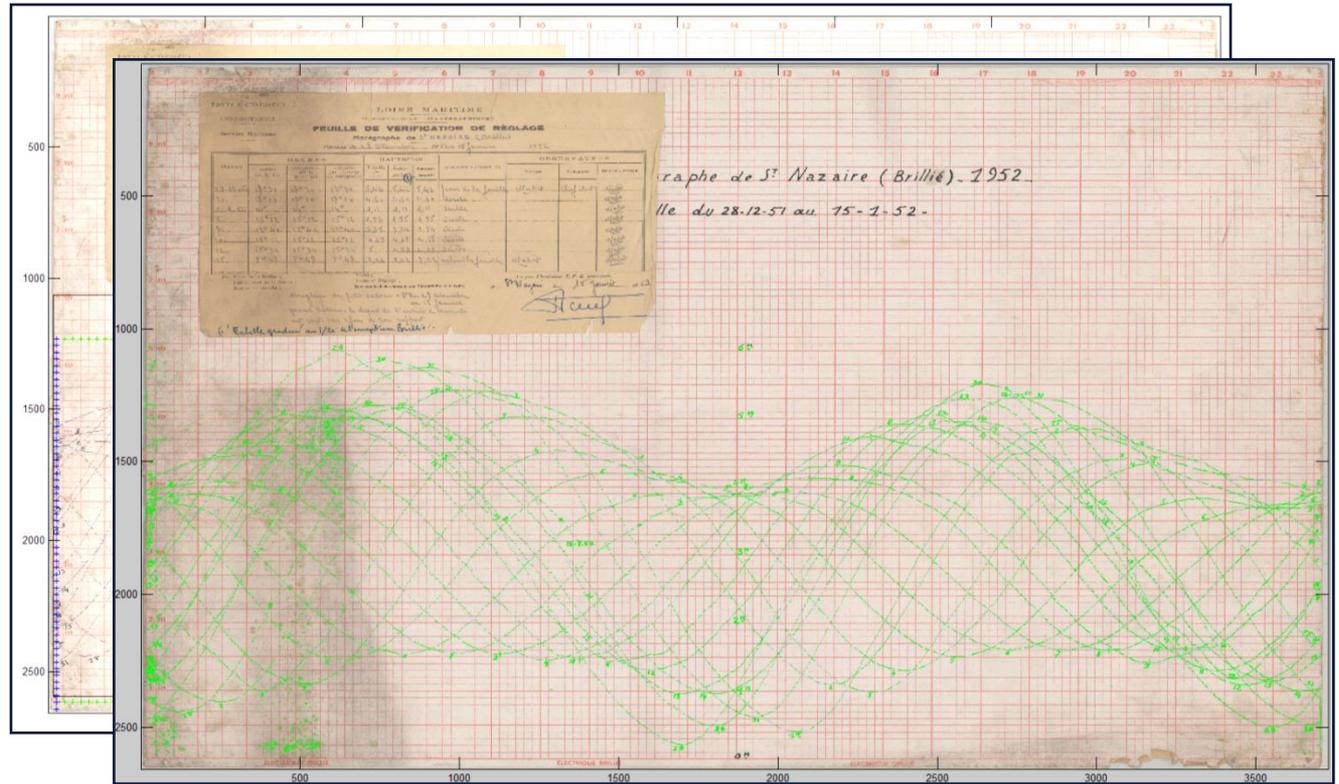


- CALAGE

Définition de :

- (Date de la feuille)
- Nombre de grille suivant x et y. Cela correspond au nombre de carreaux unitaires selon x et y.
- Echelles des carreaux selon x (en heure) et selon y (en centimètres)



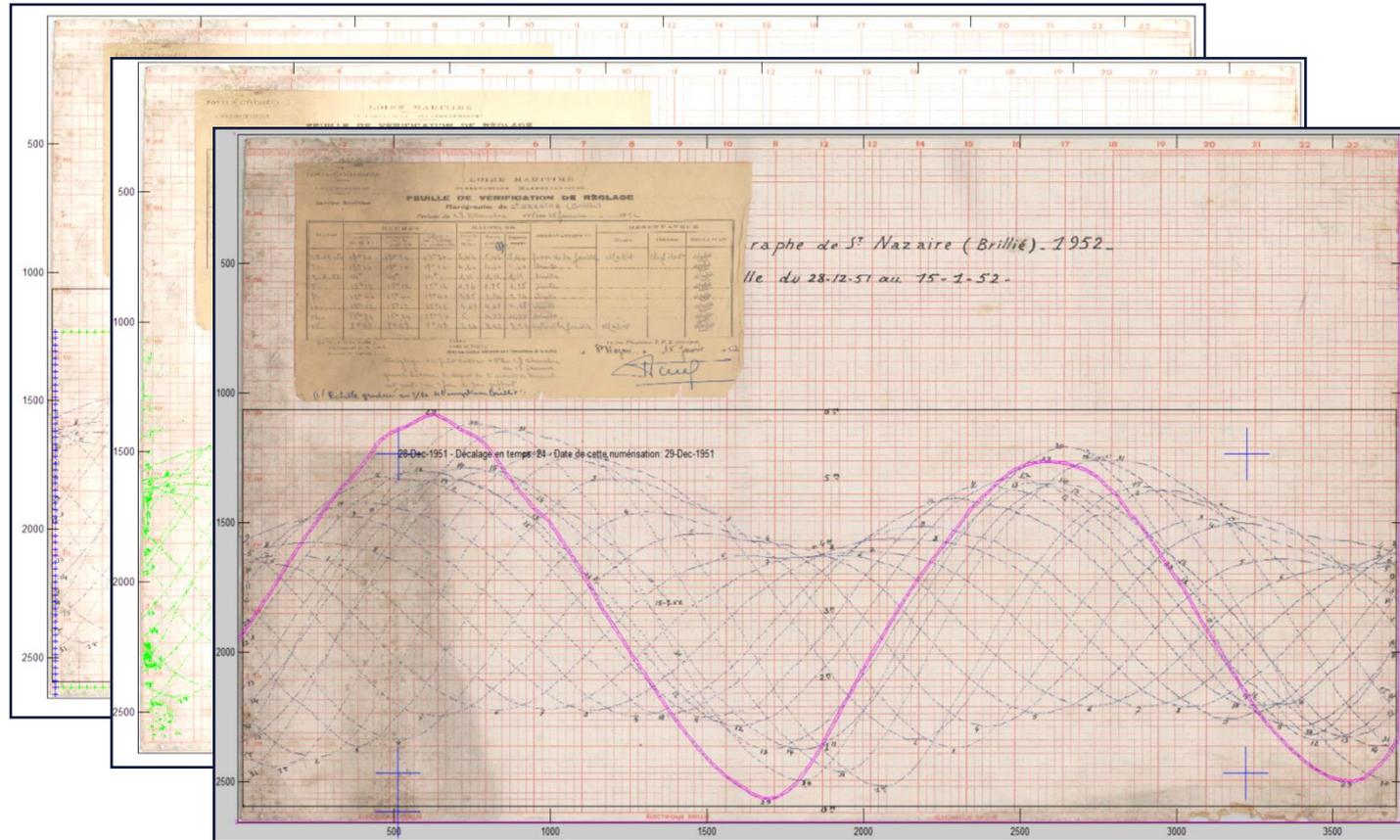


- CALAGE
- DEFINITION DE LA COULEUR A EXTRAIRE

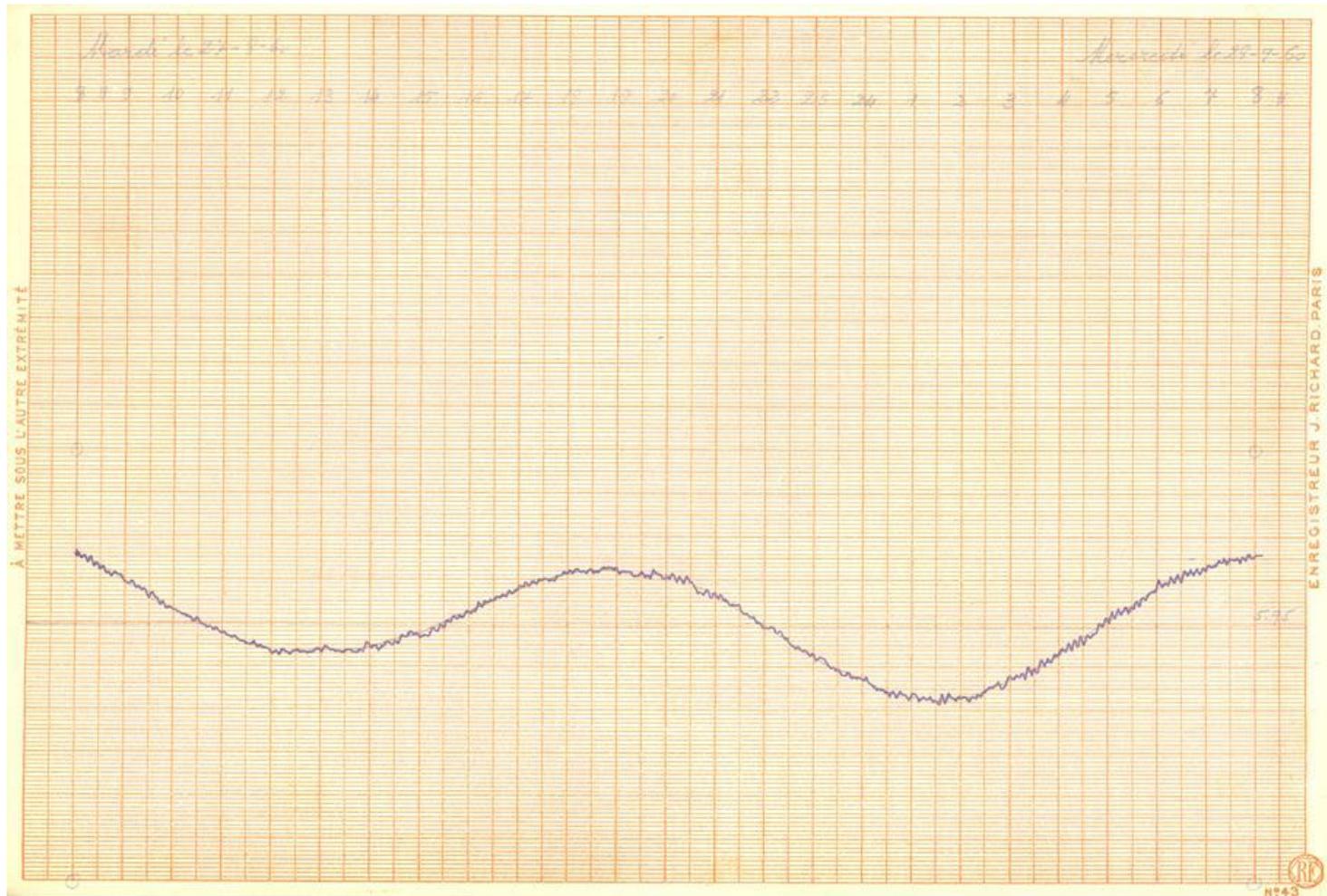
Définition de la limite du signal de couleur (RVB)

Couleur	Rouge	Vert	Bleu	
Blanc	255	255	255	
Gris	96	96	96	
Gris acier	175	175	175	
Noir	0	0	0	
Bleu	0	0	255	
Bleu foncé	0	50	100	
Rouge	255	0	0	
Groseille	207	10	29	
Vert	0	255	0	

- CALAGE
- DEFINITION DE LA COULEUR A EXTRAIRE
- NETTOYAGE DE L'IMAGE



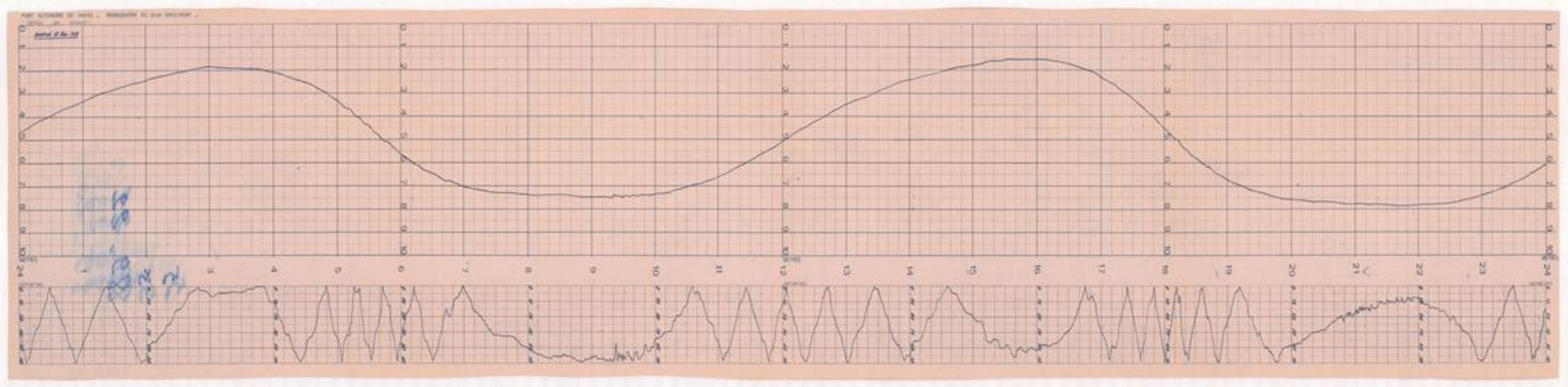
NUNIEAU développé initialement pour marégramme contenant 1 jour de mesures
→ Marche bien dans ce cas (automatique, à l'exception du calage)



NUNIEAU développé initialement pour marégramme contenant 1 jour de mesures

→ Marche bien dans ce cas (automatique, à l'exception du calage)

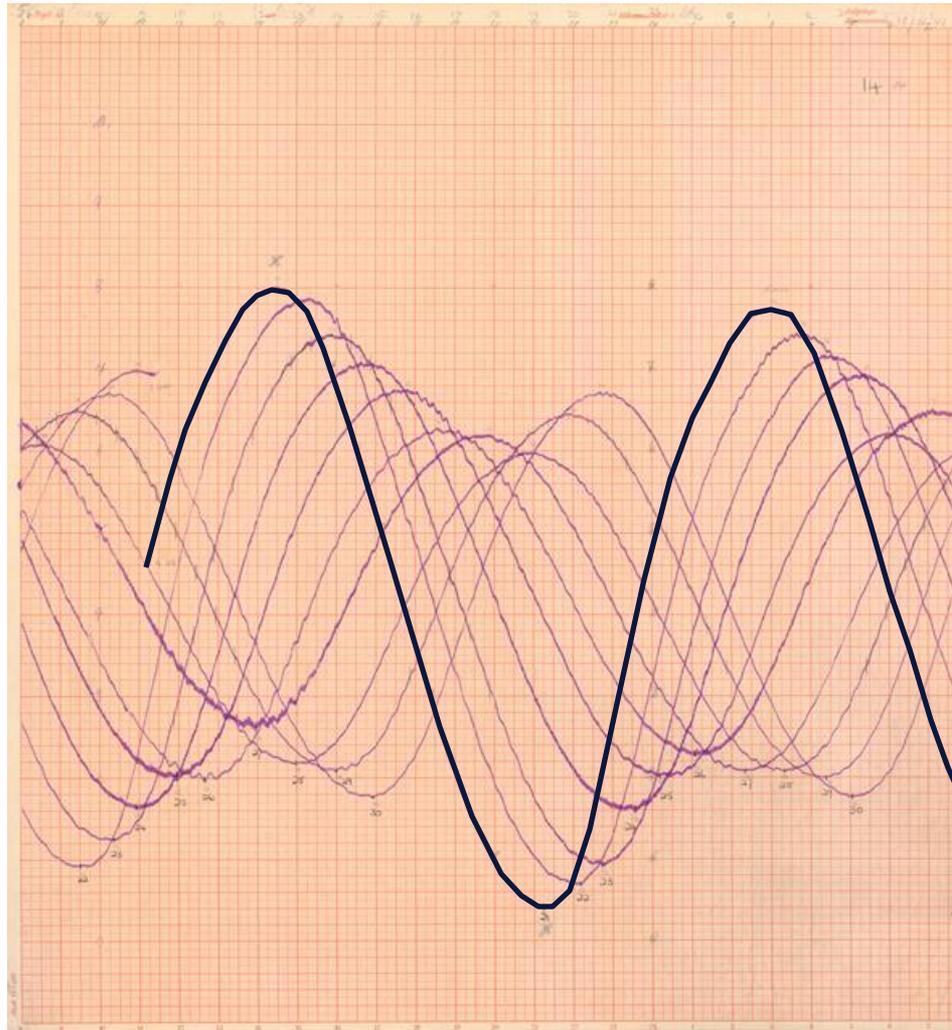
... sauf lorsque couleur axes, unités, ... difficilement discernable du signal à extraire!



... implique beaucoup de nettoyage (en pré- ou post-traitement !!)

Problème quand courbes multiples à extraire !!!

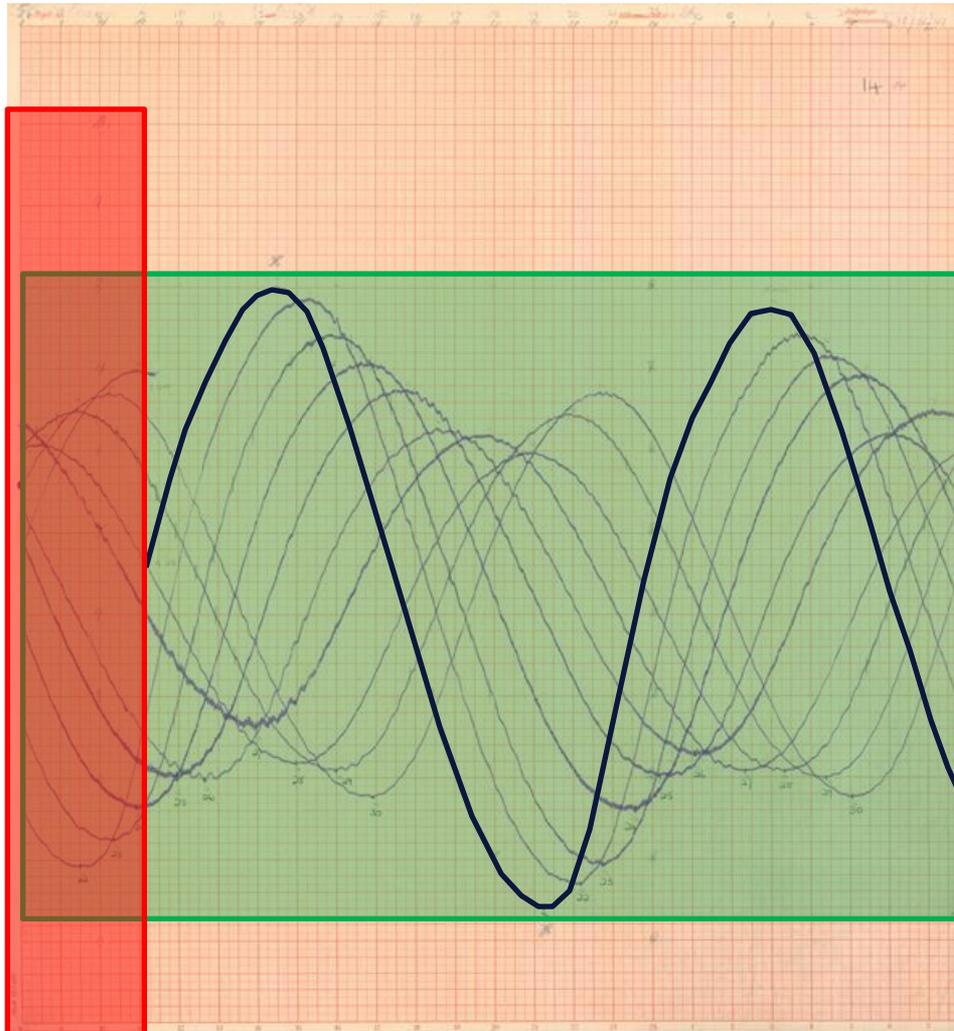
→ nécessité de définir un masque d'extraction, mauvaise gestion des croisements de courbes ...



Problème quand courbes multiples à extraire !!!

→ nécessité de définir un masque d'extraction, mauvaise gestion des croisements de courbes ...

- 1- Calage,
 - 2- Définition de la couleur
 - 3- Nettoyage de l'image :
- Zone à garder
 - Zone à exclure

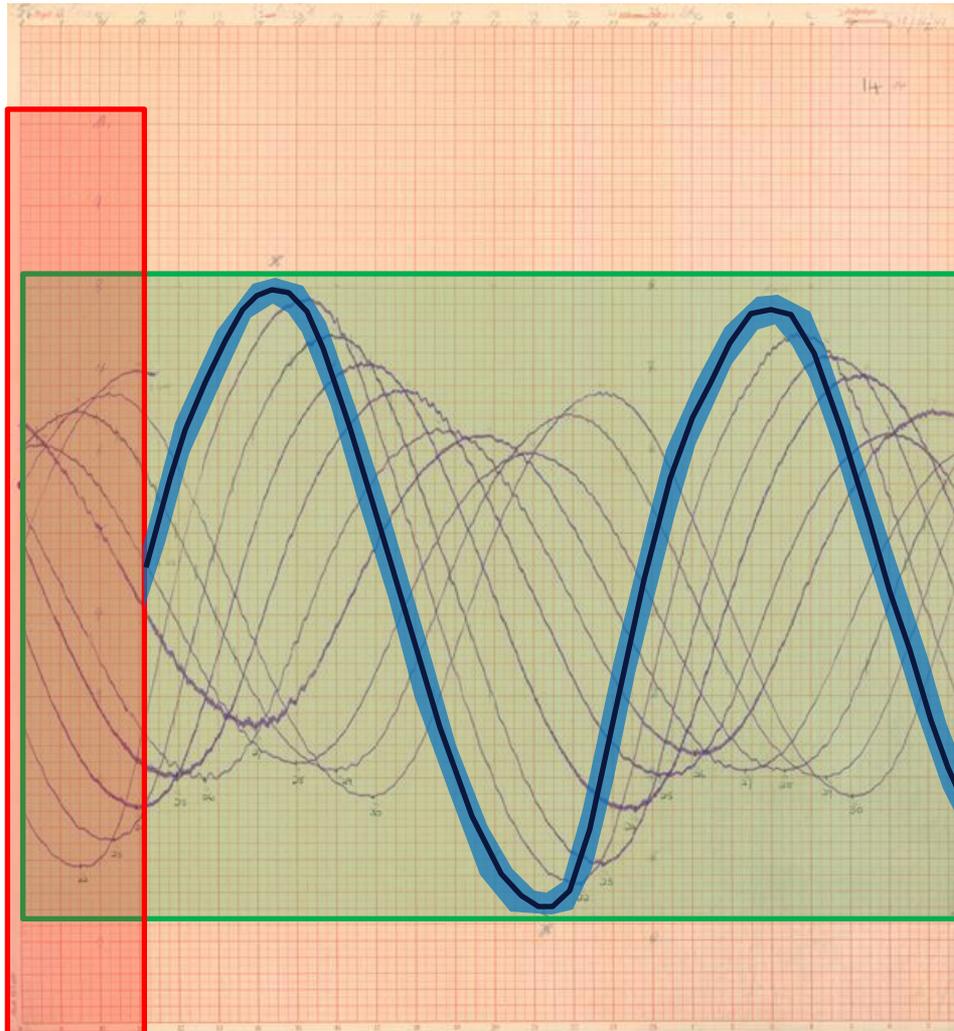


Problème quand courbes multiples à extraire !!!

→ nécessité de définir un masque d'extraction, mauvaise gestion des croisements de courbes ...

- 1- Calage,
- 2- Définition de la couleur
- 3- Nettoyage de l'image :

- Zone à garder
- Zone à exclure
- Masque d'extraction

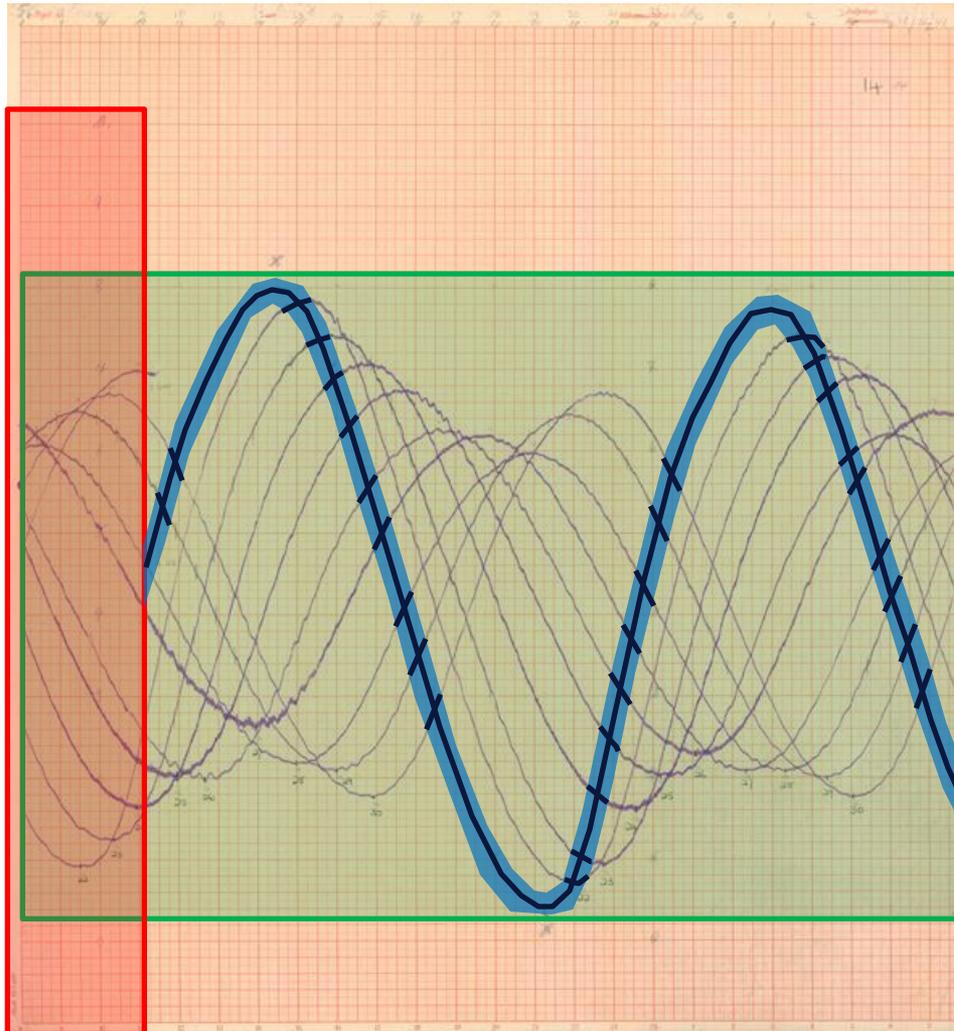


Problème quand courbes multiples à extraire !!!

→ nécessité de définir un masque d'extraction, mauvaise gestion des croisements de courbes ...

1- Calage,
2- Définition de la couleur
3- Nettoyage de l'image :

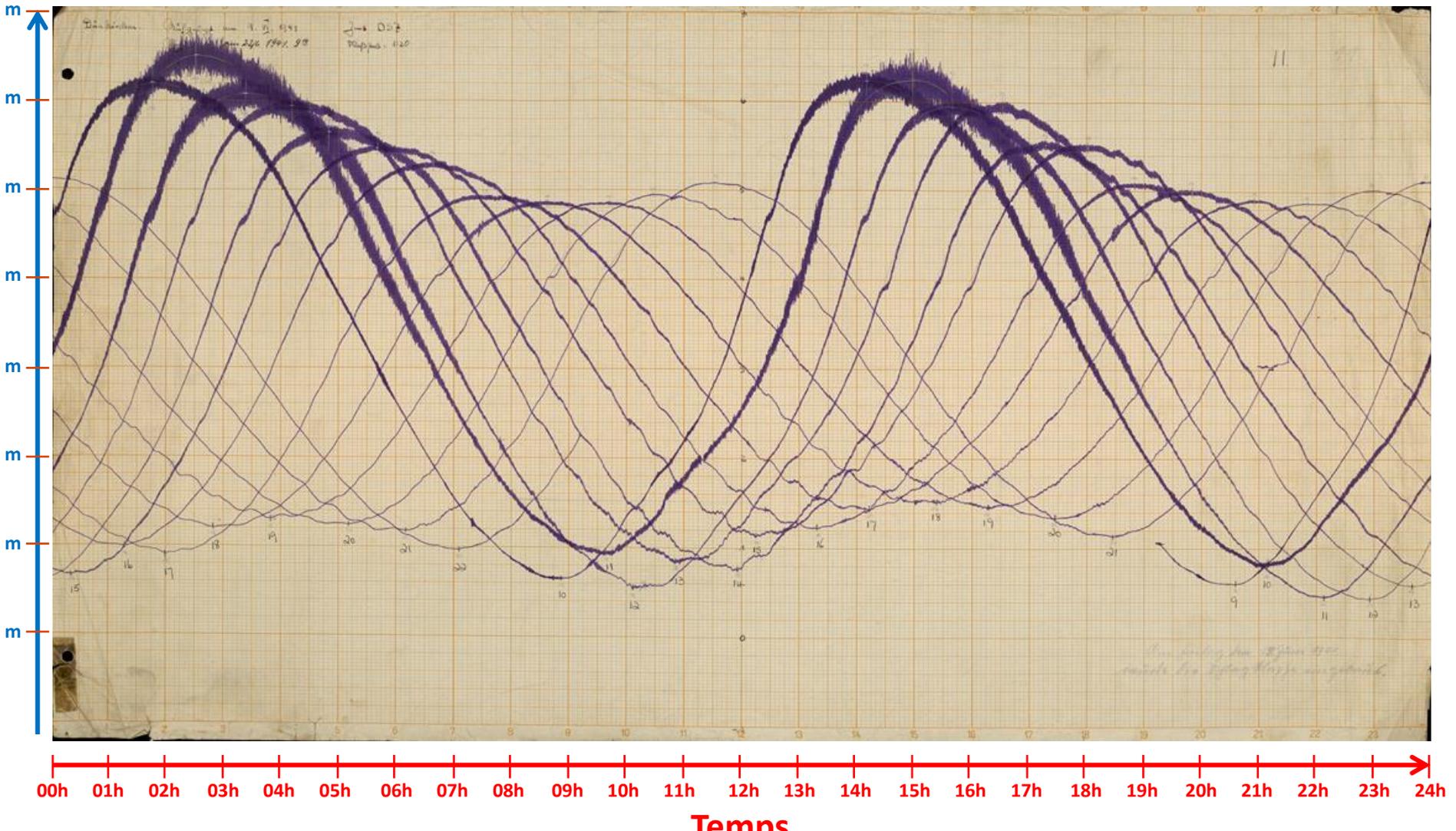
- Zone à garder
 - Zone à exclure
 - Masque d'extraction
- Long et pas idéal !



« Difficultés » quand courbes avec oscillations haute-fréquences

→ Information que l'on souhaite conserver

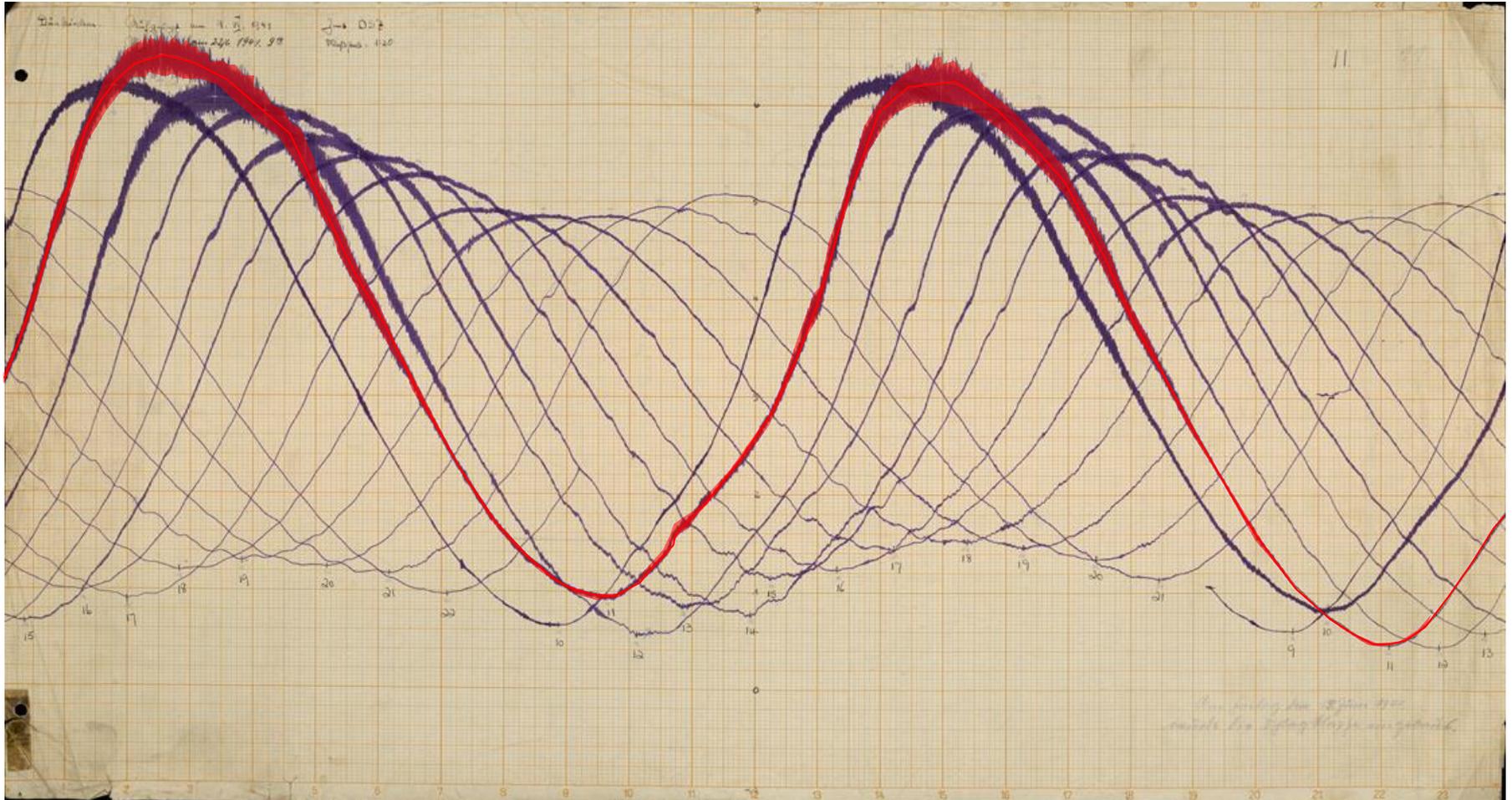
(seiche portuaire, tsunami, ... info sur précision du signal extrait)



« Difficultés » quand courbes avec oscillations haute-fréquences

→ Information que l'on souhaite conserver

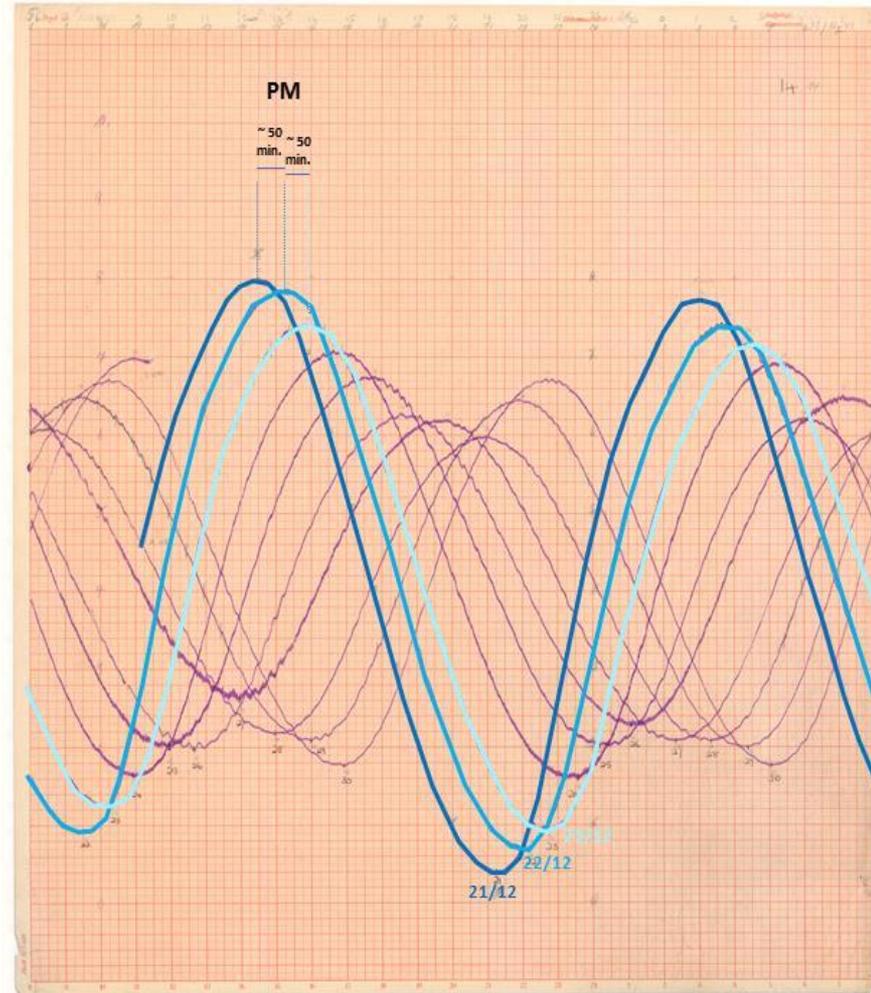
(seiche portuaire, tsunami, ... info sur précision du signal extrait)



Identifications des courbes

Le protocole à suivre pour identifier les courbes de marée est le suivant :

- les courbes correspondant au 1er jour et au dernier jour d'enregistrement sont en général partielles car il est rare que le changement de feuille sur l'instrument ait eu lieu à 00h00 exactement. Ces courbes sont donc très facilement identifiables et correspondent aux jours extrêmes de la période totale (généralement indiquée en haut de la feuille) ;
- l'identification des autres courbes se fait de proche en proche avec des considérations de base sur la marée. Par exemple, pour les marées de type semi diurne (cas en France métropolitaine), les heures de PM (ou BM) se décalent théoriquement d'environ 50 minutes d'un jour au suivant, et l'amplitude de marée suit une logique de croissance ou décroissance en fonction des phases lunaires : passage de marée de Morte-Eau (petits coefficients) à une marée de Vive-Eau (gros coefficients), ou inversement sur une période d'environ 14 jours) ;
- En cas de doute (lacunes dans les mesures, ...), le recours à des prédictions de marée sur la période de l'enregistrement peut permettre d'identifier les courbes : si le système horaire du marégramme est connu, l'identification se fait sur la correspondance des heures de PM/BM (Pleine Mer / Basse Mer) observées avec les heures de PM/BM théoriques prédites de chaque jour, sinon l'identification se fait en comparant l'enveloppe du signal de marée théorique sur la période à celle des courbes du marégramme.



MERCI !



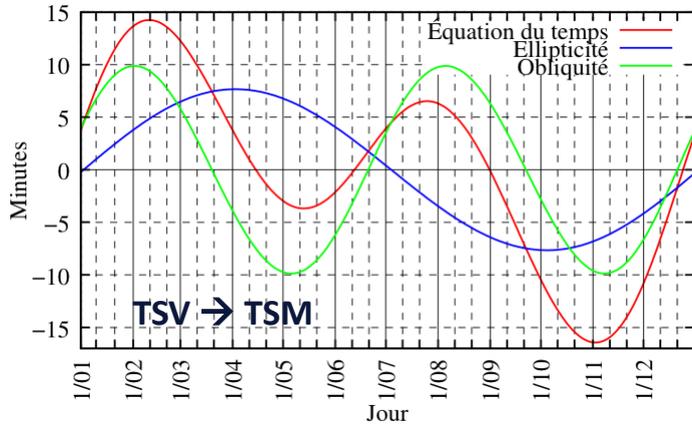


Temps Solaire Vrai ou apparent

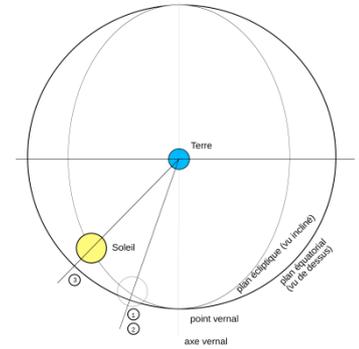
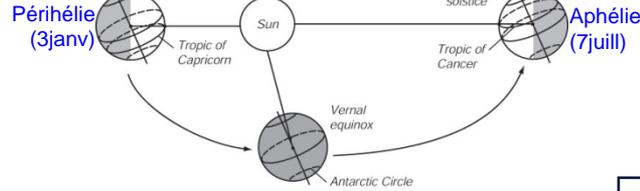
Mesure du temps basée sur le déplacement apparent du Soleil au cours de la journée pour un endroit donné. (angle horaire du Soleil) → **Heure du cadran solaire**

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

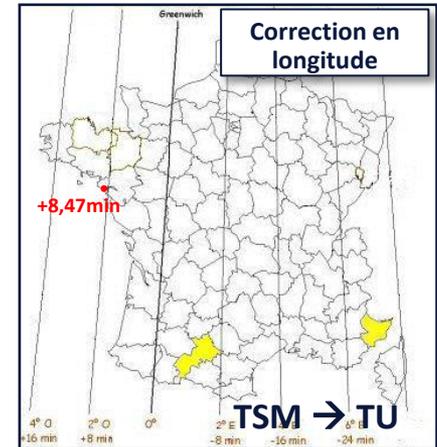


Soleil en retard – Soleil en avance



Temps Solaire Moyen

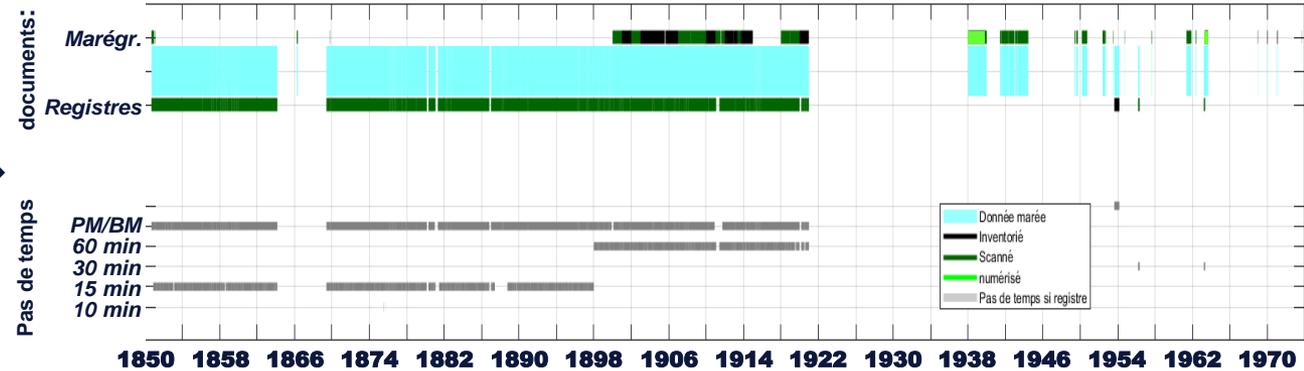
Mesure du temps basée sur un Soleil moyen qui se déplacerait sur l'équateur à vitesse constante (1 jour = 24h) tout au long de l'année





Exemple du Port du Havre :

Synthèse archives Marée papier SHOM : Port de LE HAVRE



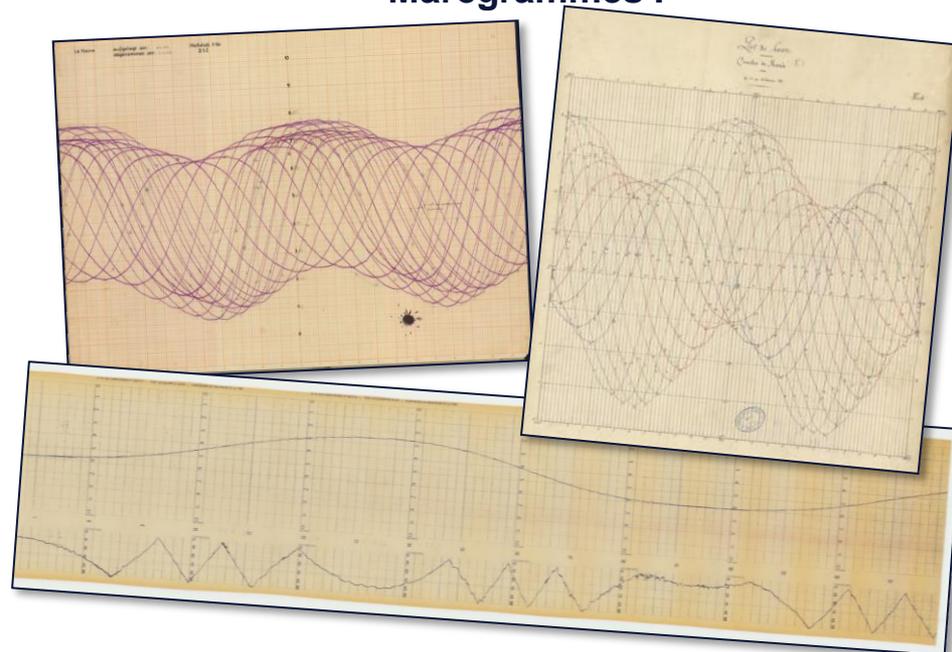
Registres de marée :



Tableaux de mesures :

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

Marégrammes :



+ de 60 000 documents inventoriés

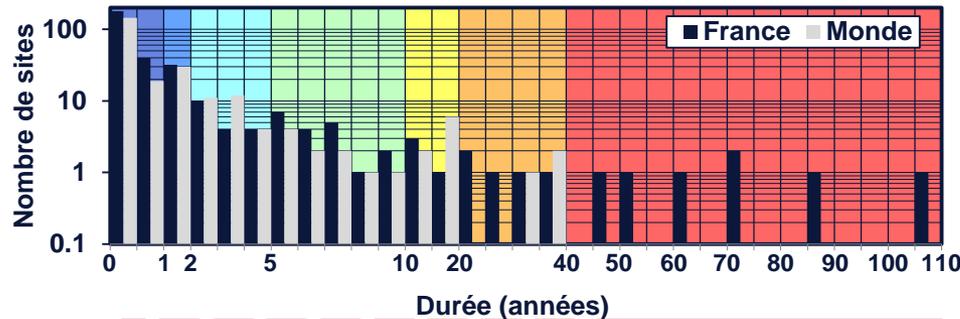
En France métropolitaine :

- 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)



Etude de l'évolution du niveau moyen des mers
Identification et étude des évènements extrêmes

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

