

Evolution des composantes du niveau marin à partir d'observations de marégraphie depuis la fin du 18^e siècle en Charente-Maritime

Thomas Gouriou

Soutenance de thèse de doctorat
La Rochelle - 26 mars 2012



Sommaire

1. Introduction

2. Présentation géographique

3. Sauvetage et séries temporelles

4. Evaluation qualitative

5. Résultats

6. Conclusion

1. Introduction

1 2 3 4 5 6 - Introduction

Pourquoi s'intéresser encore au niveau marin ?

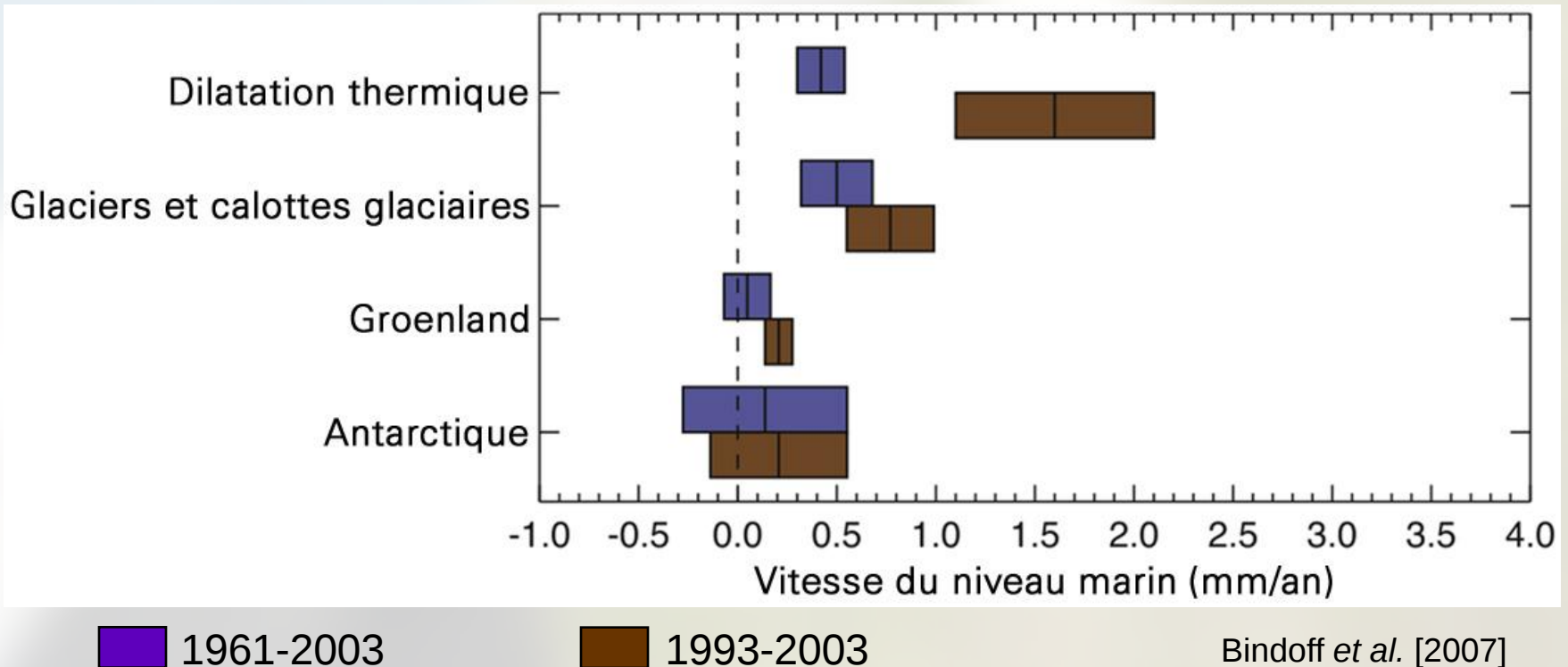
⇒ Indicateur indirect, mais important, des changements climatiques [*e.g.* Church et al. 2008]

1 2 3 4 5 6 - Introduction

Pourquoi s'intéresser encore au niveau marin ?

⇒ Indicateur indirect, mais important, des changements climatiques [e.g. Church et al. 2008]

Estimations de différentes contributions à l'élévation globale du niveau marin :

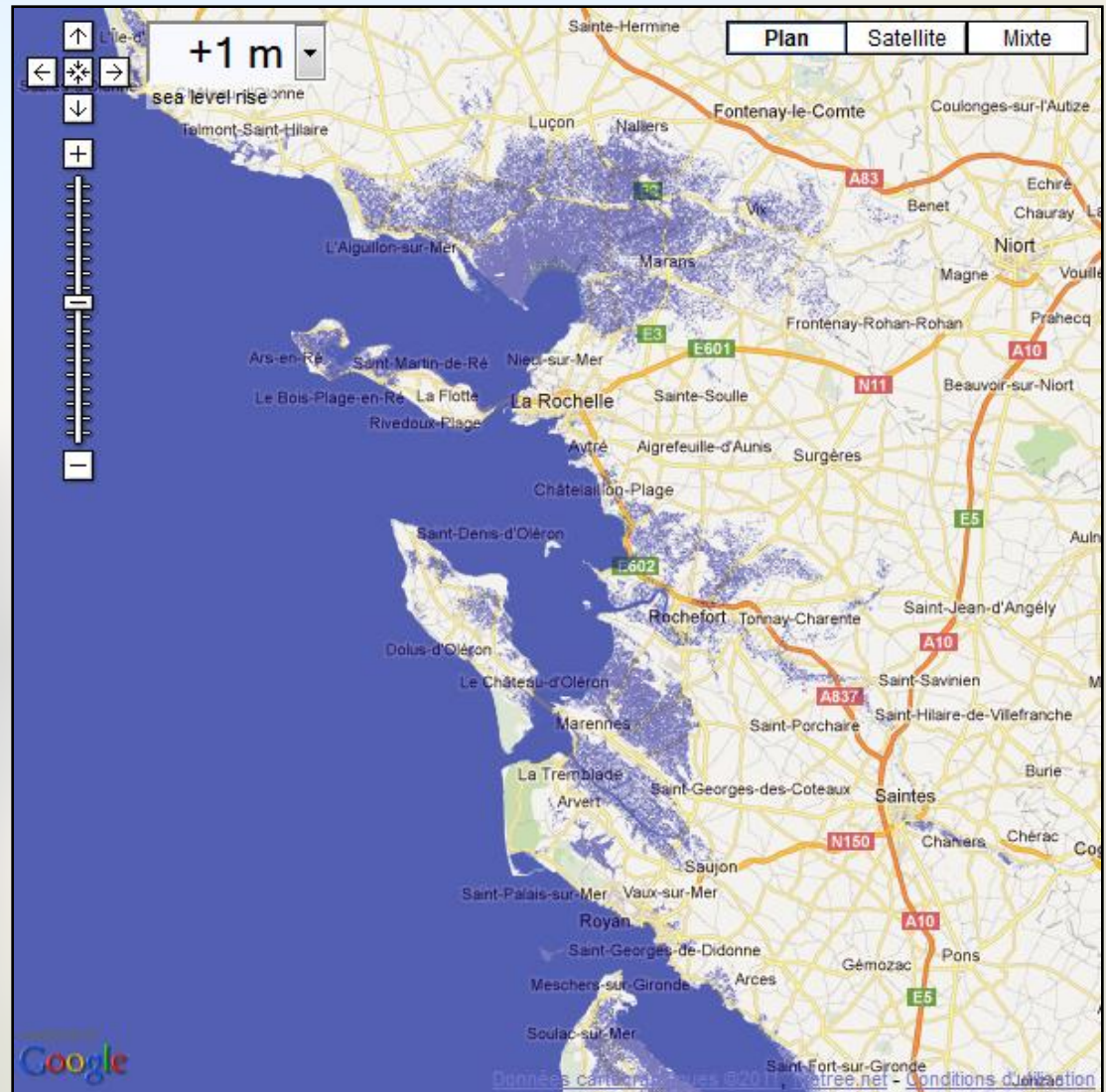


1 2 3 4 5 6 - Introduction

Élévation du niveau marin : un enjeu sociétal important

⇒ impact direct sur les populations côtières

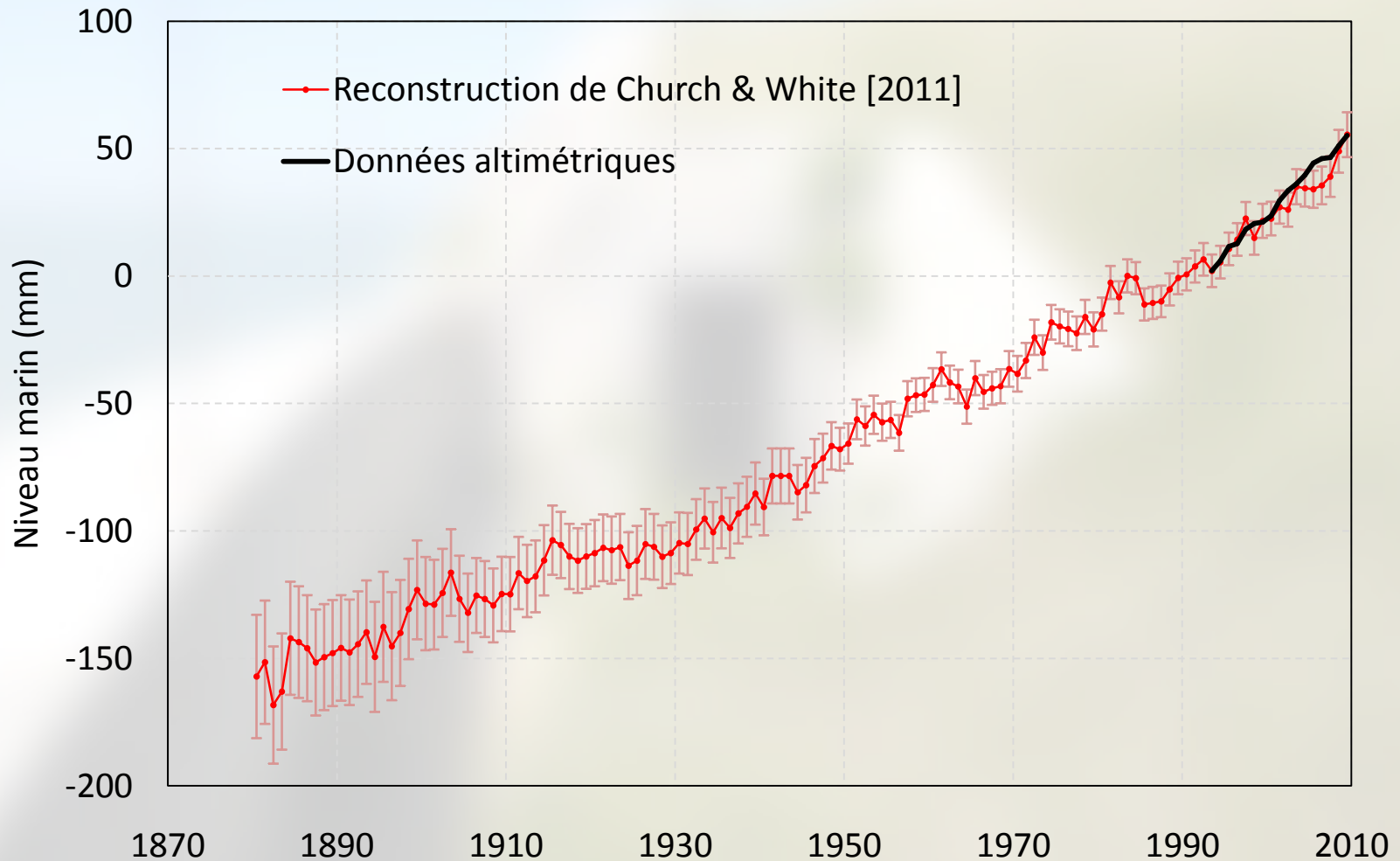
[e.g. Nicholls & Cazenave, 2010]



Source : <http://mondedurable.science-et-vie.com>

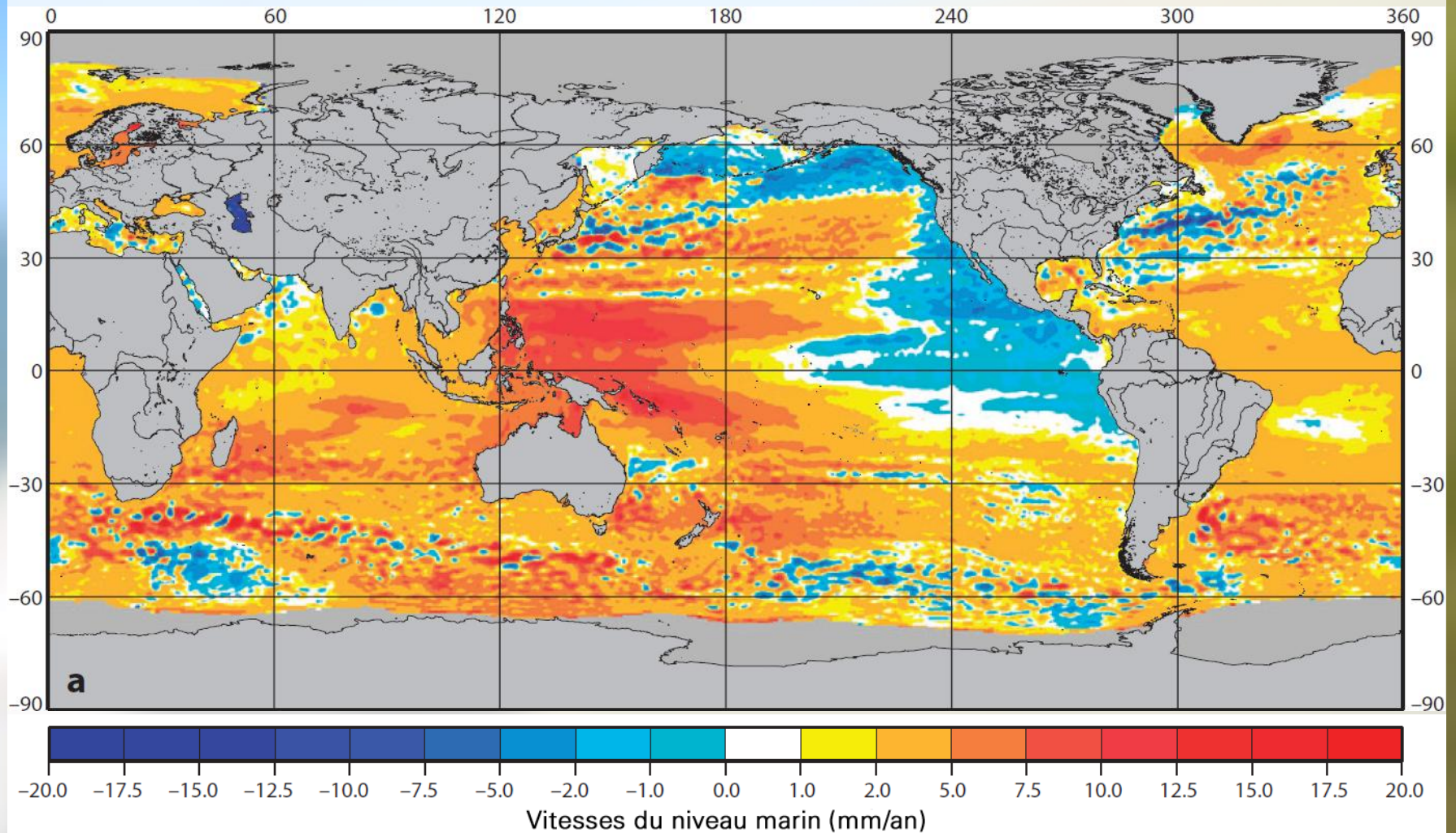
1 2 3 4 5 6 - Introduction

Élévation globale du niveau moyen de la mer estimée à
 $+ 1,7 \pm 0,2$ mm/an au 20^e siècle [Church & White, 2011]



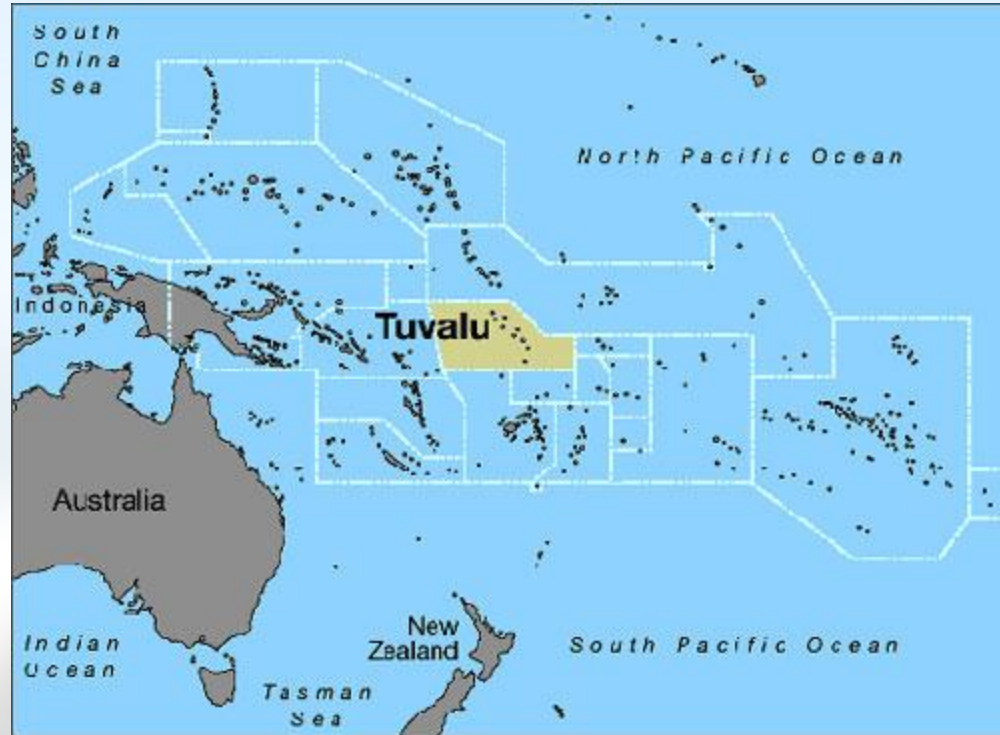
1 2 3 4 5 6 - Introduction

Variabilité spatiale :



1 2 3 4 5 6 - Introduction

Un exemple : île de Funafuti (archipel des Tuvalu)



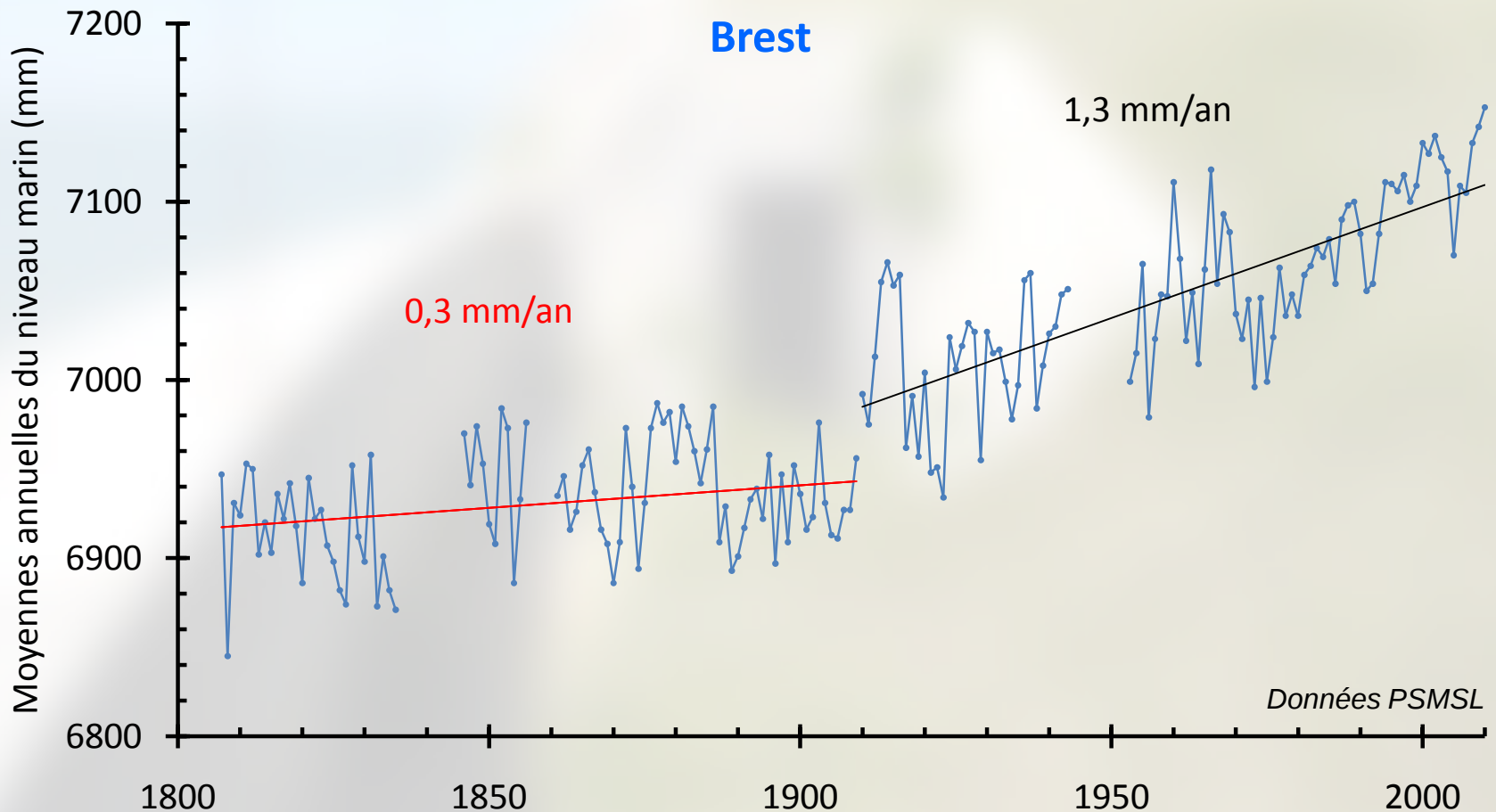
Élévation du niveau marin estimée à 30 ± 4 cm depuis 1950

⇒ près de trois fois supérieure à la moyenne mondiale
[Becker et al., 2012]

1 2 3 4 5 6 - Introduction

Variabilité temporelle :

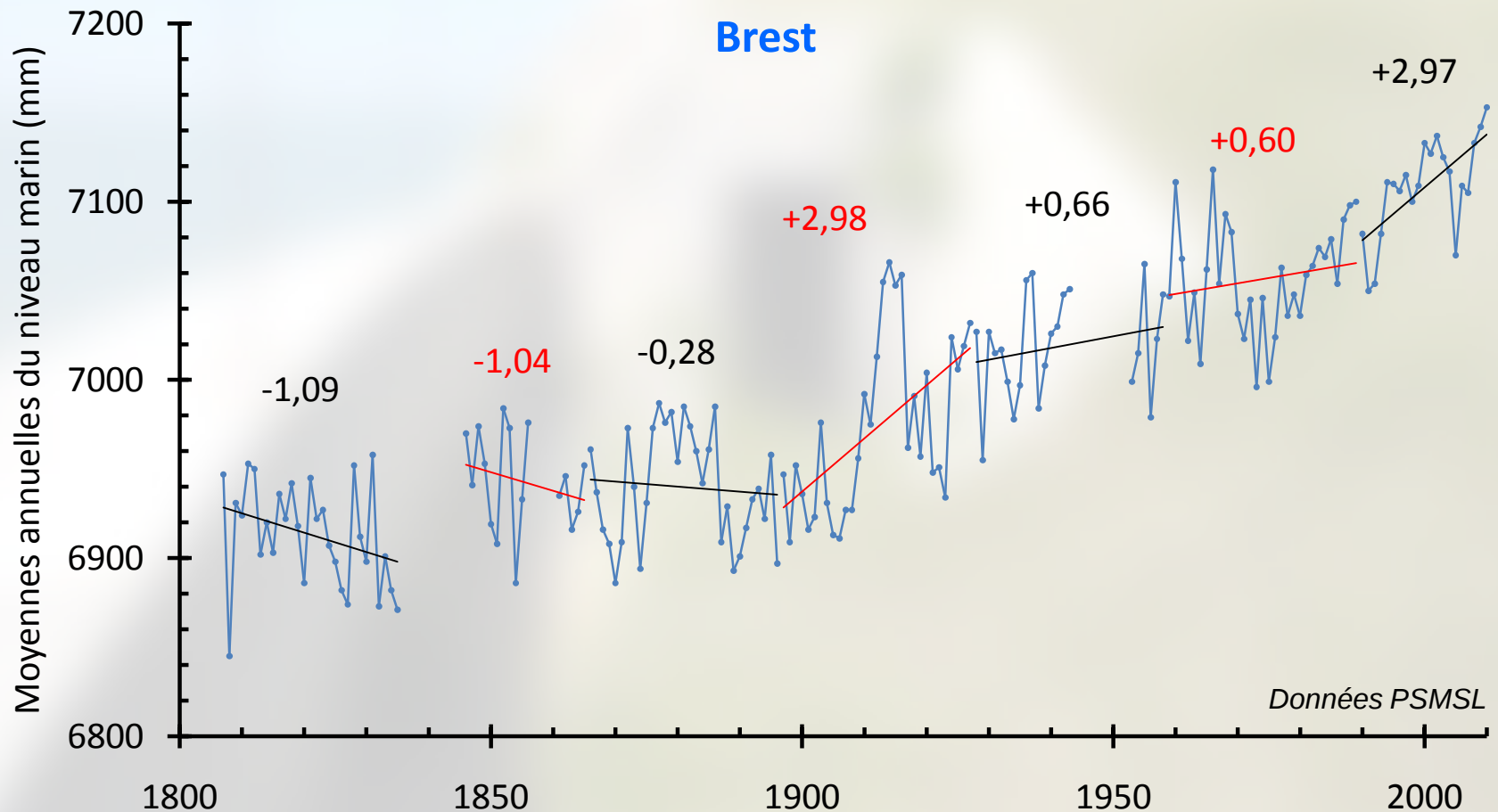
Objectif $\Rightarrow$ estimer une tendance à long-terme fiable



1 2 3 4 5 6 - Introduction

Variabilité temporelle :

Quelle doit être la durée minimale d'une série ?

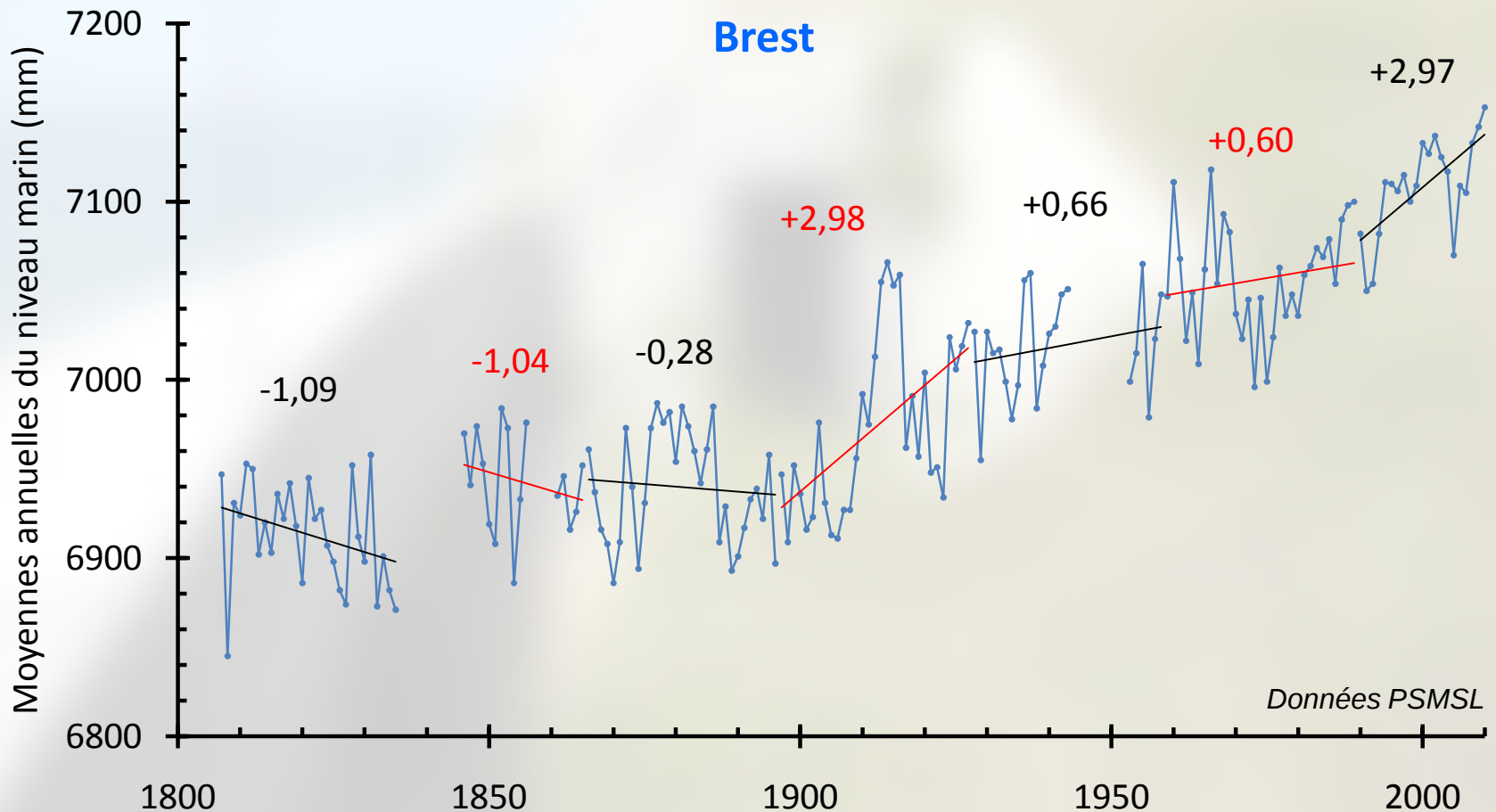


1 2 3 4 5 6 - Introduction

Variabilité temporelle :

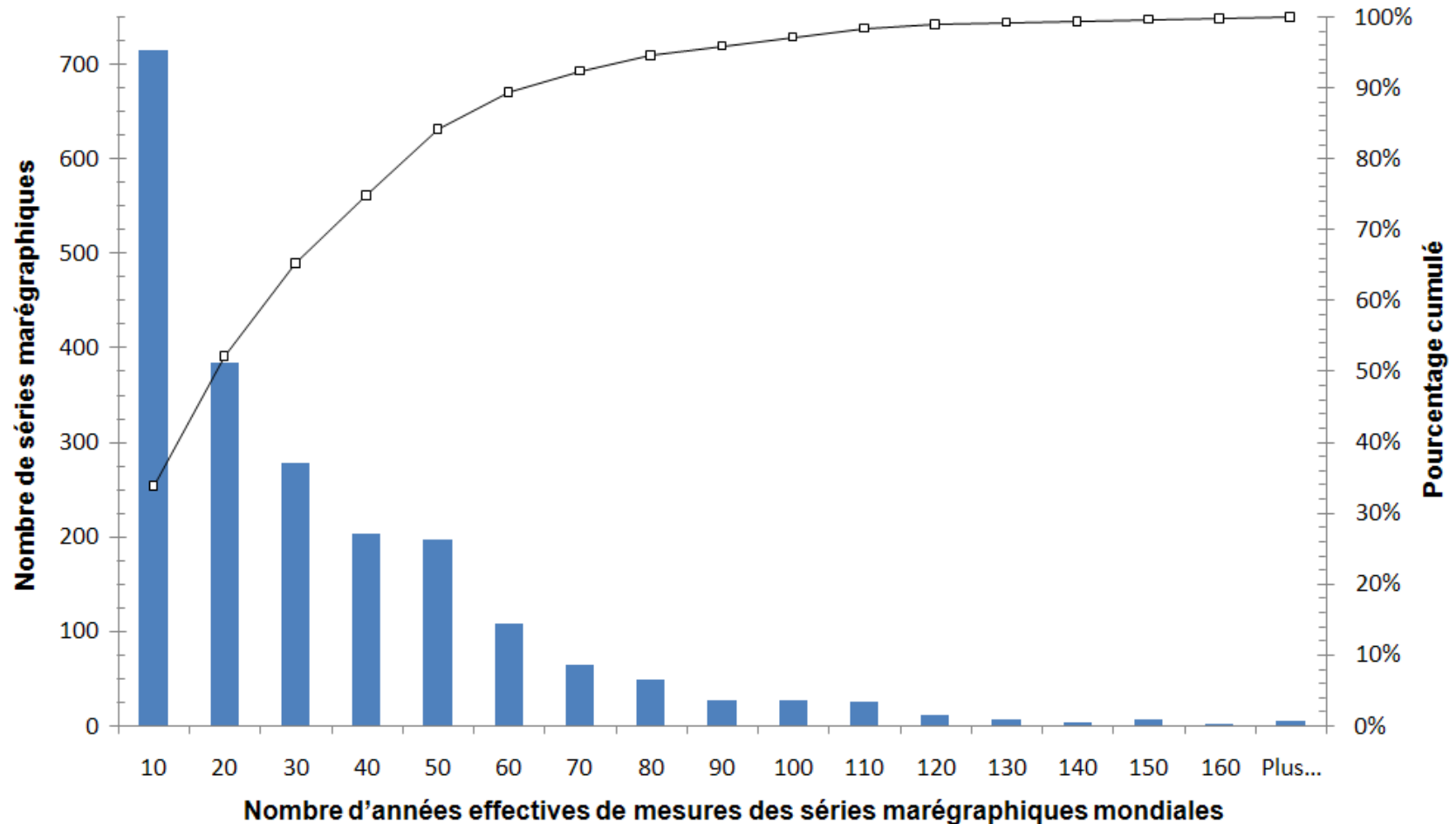
Quelle doit être la durée minimale d'une série ?

40 - 50 ans



1 2 3 4 5 6 - Introduction

Séries longues : une ressource rare

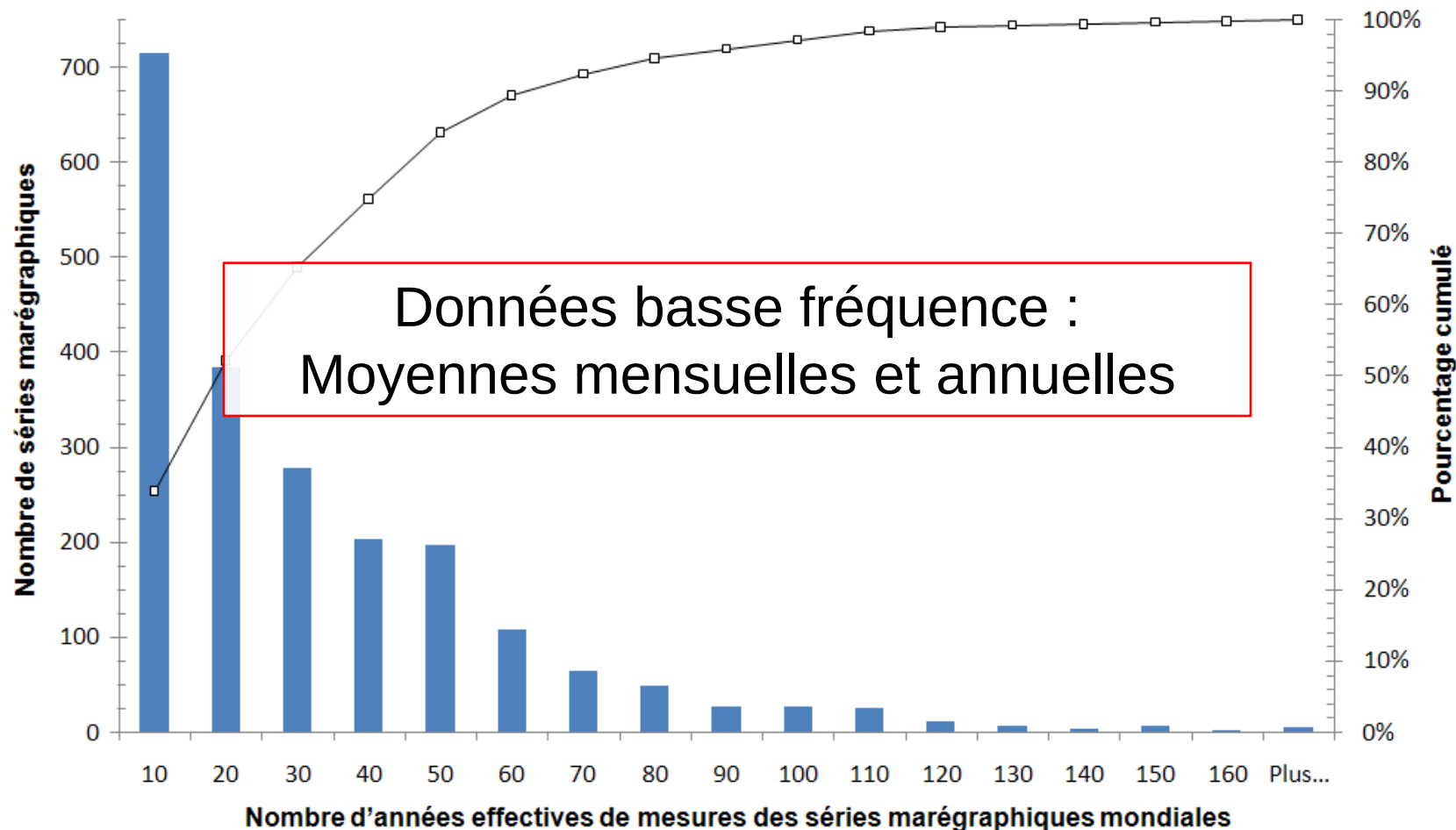


⇒ 75% des séries mondiales inférieures à 40 ans

⇒ Moins de 3% des séries supérieures à 100 ans

1 2 3 4 5 6 - Introduction

Séries longues : une ressource rare



⇒ 75% des séries mondiales inférieures à 40 ans

⇒ Moins de 3% des séries supérieures à 100 ans

1 2 3 4 5 6 - Introduction

Données historiques basse fréquence en France ?

En France : Brest et Marseille
d'après la banque de données du PSMSL
[Woodworth & Player, 2003]

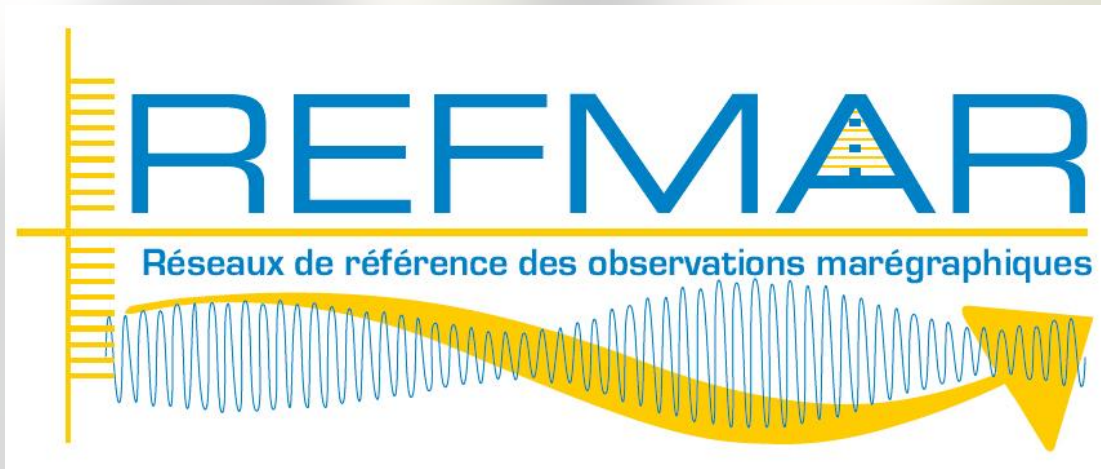


<http://www.psmsl.org>

1 2 3 4 5 6 - Introduction

Et les données historiques haute fréquence ?

En France : Brest
données horaires depuis 1846



<http://refmar.shom.fr>

1 2 3 4 5 6 - Introduction

⇒ Grand potentiel archivé, encore inexploité
(cf. *inventaire de Pouvreau* [2008])

Observatoire	Potentiel total de mesures (années)
Brest	194
Cherbourg	129
Le Havre	125
Marseille	120
Saint Servan - Saint Malo	95
Saint-Nazaire	94
...	...
La Rochelle	69
Cordouan	66
Aix - Enet - Boyard	55

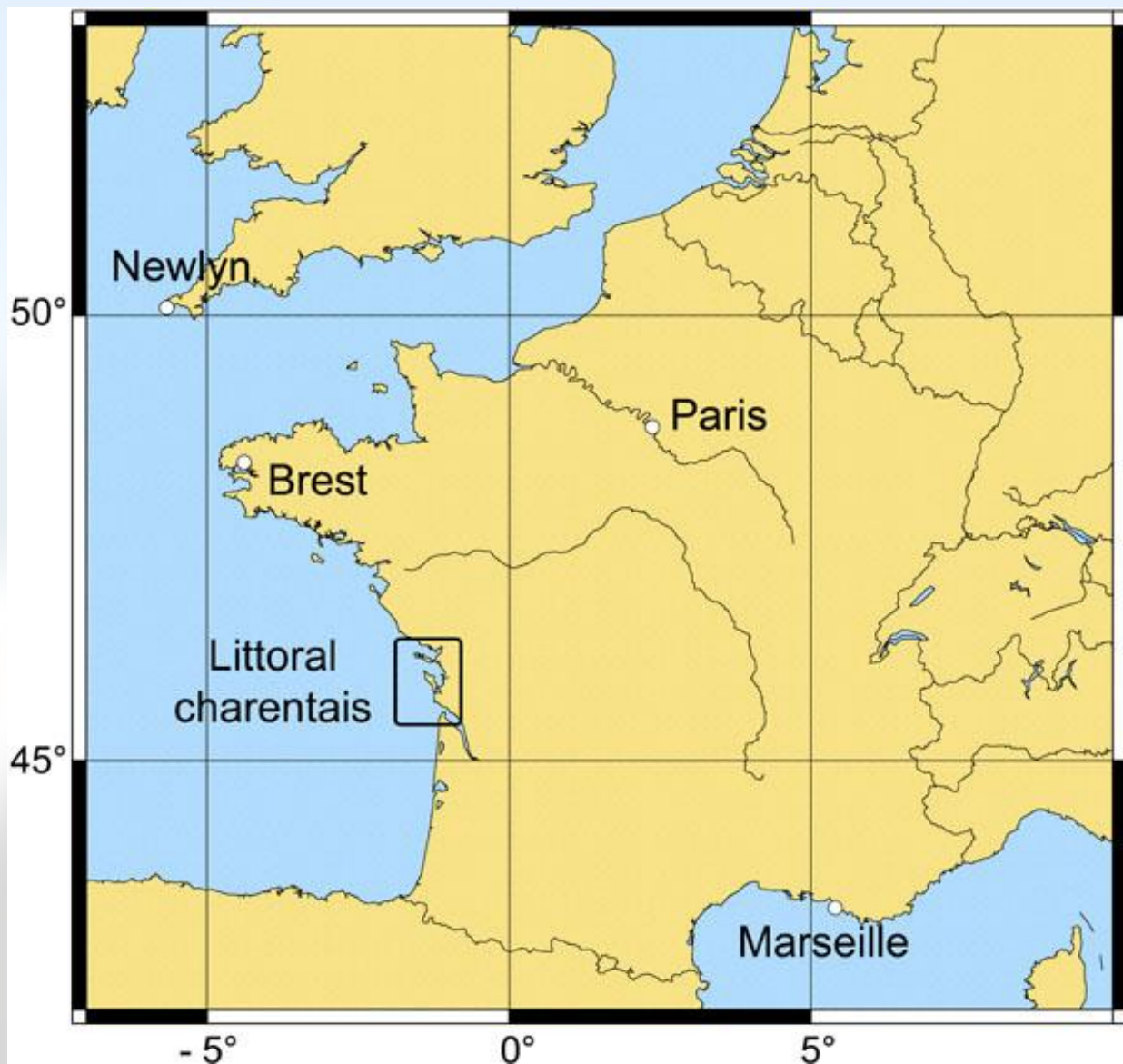
Objectifs :

Exercice de « *data archaeology* » sur le littoral charentais

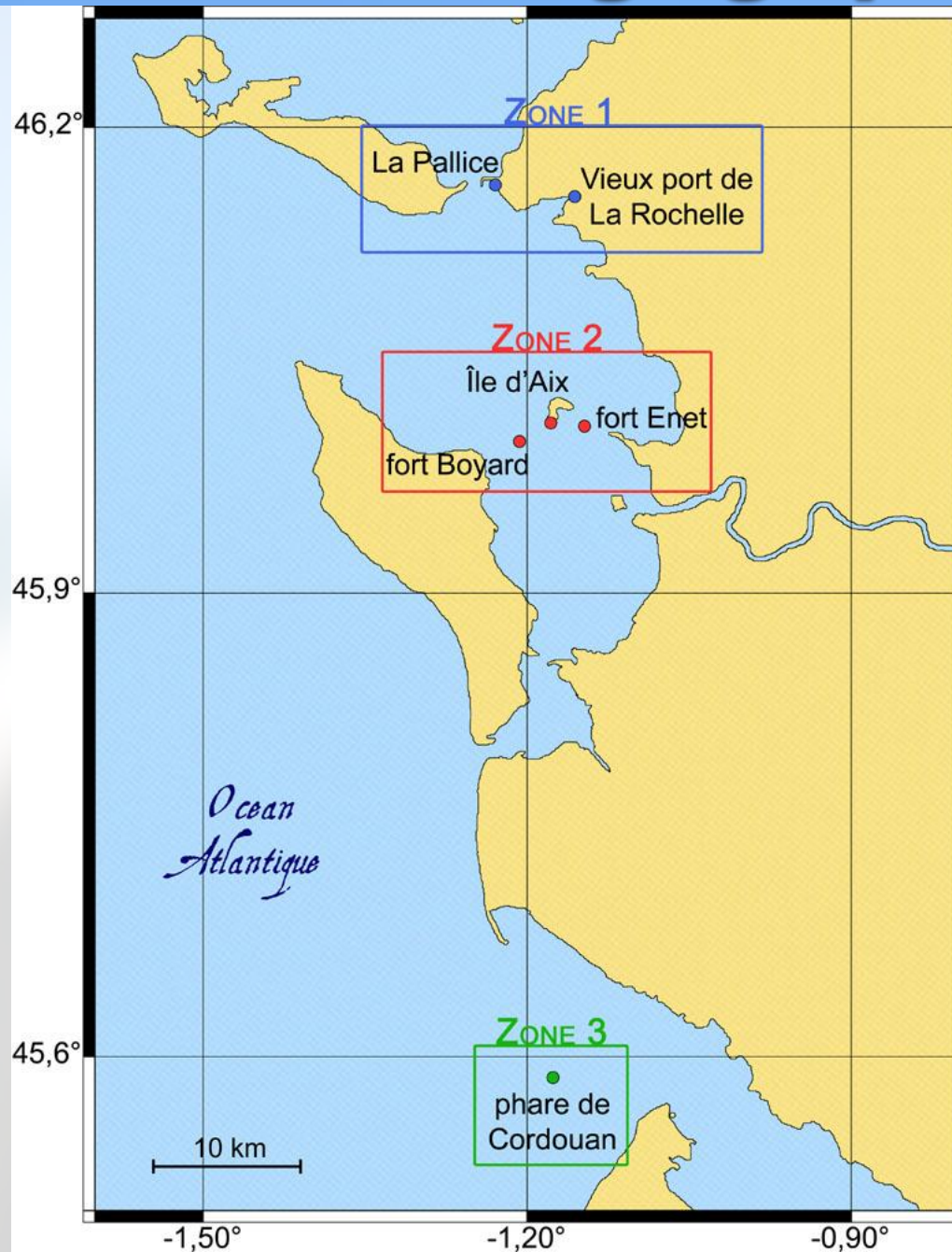
- ⇒ Sauvetage et numérisation de données historiques archivées
 - ⇒ Construction de séries temporelles
- ⇒ Etude des variations des composantes du niveau marin

2. Présentation géographique

1 2 3 4 5 6 - Présentation géographique



1 2 3 4 5 6 - Présentation géographique



LA PALLICE



33 ans
1885 - 2011

Vieux
port

0 1 km

Image issue du Géoportail IGN



1775 - 1776
Canal Maubec

1824
Bassin à flot intérieur

1863 - 1874
Bassin à flot extérieur

1887 - 1892
Bassin à flot extérieur

0 100 m

LA PALLICE



33 ans
1885 - 2011

Vieux
port

0 1 km

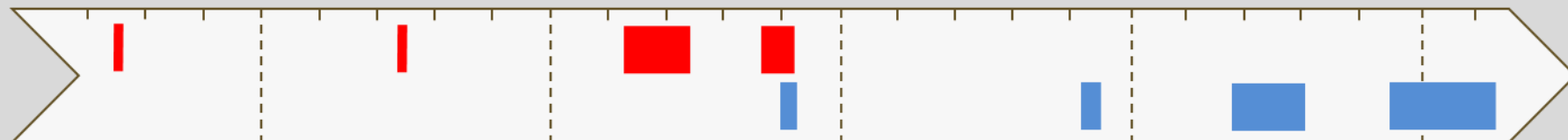
1800

1850

1900

1950

2000



ILE D'AIX



2 ans
1824 - 1974

FORT BOYARD



32 ans
1873 - 1909

FORT ENET



14 ans
1859 - 1873

Trace des satellites
altimétriques Jason

1 km

ILE D'AIX



2 ans
1824 - 1974

FORT BOYARD



32 ans
1873 - 1909

FORT ENET



14 ans
1859 - 1873

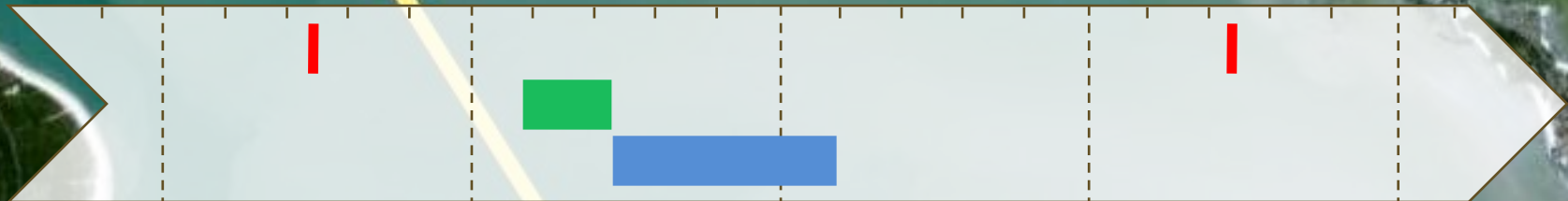
1800

1850

1900

1950

2000



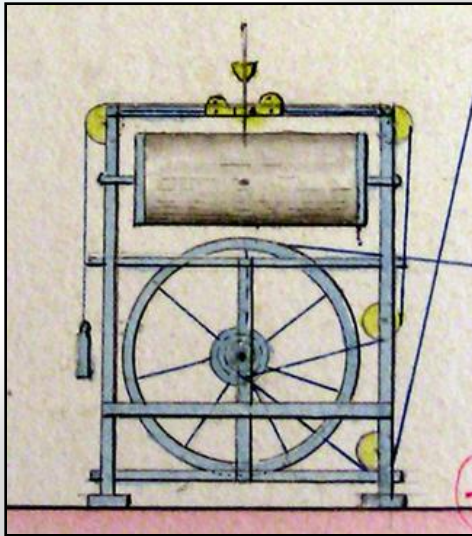
1 km

3. Sauvetage et séries temporelles

1 2 3 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles



Echelle de marée



Marégraphe

1 2 3 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles



Echelle de marée



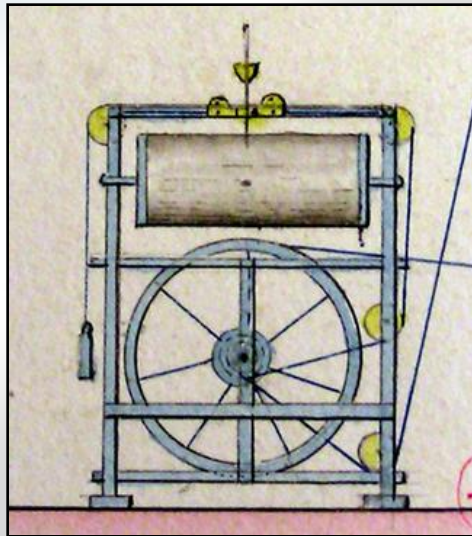
MARÉGRAPHE du Fort Boyard

MOIS de Février

Hauteurs de la mer à chaque quart d'heure (temps vrai), prises sur les courbes du Marégraphe.

1 HEURE					2 HEURES					3 HEURES					4 HEURES					5 HEURES				
0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°					
76	314	356	392	437	466	498	528	560	585	606	626	641	651	657	663	663	661	657	654	650	645			
86	218	254	292	333	371	414	459	496	520	549	579	604	625	642	652	658	662	662	658	654	648			
97	142	166	195	228	263	300	337	377	413	445	463	519	542	566	587	605	615	621	626	627	624			
50	152	151	150	177	199	217	259	297	333	370	403	438	470	497	522	544	561	576	586	592	596			
36	215	199	188	182	182	192	207	229	259	283	313	347	376	406	434	459	489	499	514	525	534			
62	10	41	112	205	314	431	547	660	768	866	954	1025	1078	1112	1128	1129	1105	1065	1008	945	864			
70	309	285	265	247	231	219	217	218	229	237	257	279	303	322	356	382	404	427	444	461	475			
87	333	373	412	450	482	512	537	564	585	600	614	625	630	627	626	623	614	619	626	635	646			
95	451	475	498	520	540	558	574	589	600	607	610	614	617	618	618	615	610	604	597	589	581			
70	500	499	495	494	497	499	470	464	454	439	427	413	400	386	371	356	341	324	309	294	282			
60	245	207	170	130	91	57	18	14	17	59	119	163	164	162	163	164	163	161	157	147	131			

Registre de marée



Marégraphe

1 2 3 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles



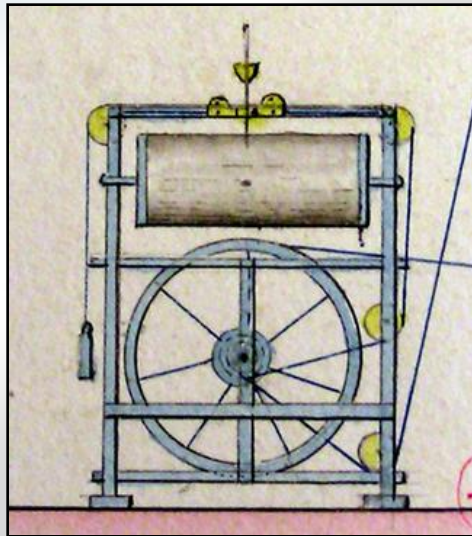
Echelle de marée

MARÉGRAPHE du Fort Boyard MOIS de Février

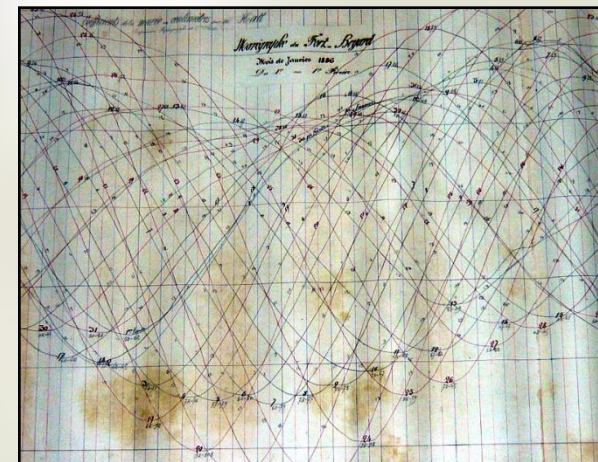
Hauteurs de la mer à chaque quart d'heure (temps vrai), prises sur les courbes du Marégramme.

1 HEURE					2 HEURES					3 HEURES					4 HEURES					5 HEURES				
0°	15°	30°	45°	60°	0°	15°	30°	45°	60°	0°	15°	30°	45°	60°	0°	15°	30°	45°	60°	0°	15°	30°	45°	60°
76.314	35.639	2.437	4.66	498.528	560.585	606.626	641.651	657.663	663.661	657.654	650.645	642.636	634.627	626.618	618.609	610.600	602.591	594.582	586.573	578.564	570.555	562.546	554.537	546.528
86.218	2.54	2.92	3.33	3.71	4.14	4.61	5.10	5.60	6.11	6.63	7.16	7.70	8.25	8.81	9.38	9.96	10.54	11.13	11.72	12.31	12.90	13.49	14.08	14.67
2.7142	1.66	1.55	1.44	1.33	1.22	1.11	1.00	0.89	0.78	0.67	0.56	0.45	0.34	0.23	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.7152	1.51	1.50	1.77	1.99	2.17	2.59	3.27	3.53	3.79	4.03	4.28	4.70	4.97	5.22	5.44	5.61	5.76	5.86	5.92	5.96	5.98	5.99	6.00	6.00
3.6215	1.93	1.88	1.82	1.82	1.87	1.89	1.85	1.83	1.83	1.87	1.87	1.86	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79	1.78	1.77	1.76	1.75	1.74	1.73
62.1041	11.26	13.25	15.53	18.81	22.31	26.04	29.82	33.66	37.47	41.25	45.00	48.72	52.41	56.07	59.70	63.30	66.87	70.41	73.92	77.40	80.85	84.28	87.69	91.08
70.303	2.85	2.65	2.47	2.31	2.17	2.18	2.25	2.37	2.57	2.79	3.03	3.28	3.56	3.82	4.04	4.27	4.44	4.61	4.75	4.88	4.99	5.09	5.18	5.27
87.333	3.73	3.52	3.32	3.12	2.95	2.81	2.69	2.61	2.57	2.59	2.62	2.70	2.83	2.98	3.16	3.32	3.49	3.66	3.84	3.97	4.09	4.20	4.30	4.39
62.454	4.42	4.20	4.12	3.97	3.84	3.65	3.50	3.37	3.24	3.14	3.05	3.00	2.97	2.96	2.93	2.94	3.19	3.20	3.35	3.48	3.58	3.67	3.75	3.83
95.451	4.73	4.68	4.59	4.50	4.38	4.26	4.11	3.99	3.86	3.73	3.61	3.49	3.36	3.25	3.12	3.04	2.97	2.92	2.87	2.82	2.77	2.72	2.67	2.62
70.500	4.99	4.95	4.94	4.97	4.99	4.70	4.61	4.54	4.53	4.27	4.13	4.00	3.86	3.71	3.56	3.41	3.24	3.09	2.94	2.82	2.70	2.58	2.46	2.34
62.2457	9.07	9.20	9.41	9.67	9.94	10.21	10.48	10.75	11.02	11.29	11.56	11.83	12.10	12.37	12.64	12.91	13.18	13.45	13.72	13.99	14.26	14.53	14.80	15.07

Registre de marée



Marégraphe



Marégramme

ANNEE 1885.

MARÉGRAPHE du Fort Boyard

MOIS de Février

Hauteurs de la mer à chaque quart d'heure (temps vrai), prises sur les courbes du Marégraphe.

DATE.	6 HEURES DU MATIN				7 HEURES				8 HEURES				9 HEURES				10 HEURES				11 HEURES			
	0"	15"	30"	45"	0"	15"	30"	45"	0"	15"	30"	45"	0"	15"	30"	45"	0"	15"	30"	45"	0"	15"	30"	45"
	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.
1 ^{re}	665	640	608	574	536	502	458	416	374	331	292	252	213	182	146	119	101	090	084	084	092	108	130	161
2.....	662	653	641	625	600	578	553											182	154	134	118	107	107	115
3.....	657	649	640	631	618	602	585											277	244	215	185	161	143	127
4.....	624	616	602	602	596	590	582											384	354	326	295	266	235	211
5.....	593	596	595	593	590	583	575											448	430	412	390	368	342	316
SOMMES.	31.98	31.54	30.93	30.25	29.40	28.55	27.53	26.48	25.30	24.11	22.83	21.56	20.25	18.95	17.54	16.25	14.99	13.81	12.66	11.71	10.80	10.10	9.57	9.30
6.....	511	518	524	527	529	528	527	525	521	517	513	507	500	494	485	477	469	460	450	444	432	419	405	390
7.....	464	475	484	489	493	496	497	498	497	495	492	491	489	487	486	485	480	477	475	471	468	465	457	450
8.....	390	404	416	428	438	446	451	455	457	459	460	462	462	461	460	461	462	464	467	469	472	473	475	473
9.....	324	339	352	366	378	388	397	403	412	415	421	425	427	432	438	442	446	454	460	466	474	479	483	486
10.....	281	281	284	290	299	310	323	334	346	357	367	375	385	391	400	409	420	430	441	452	462	472	481	489
SOMMES.	19.70	20.17	20.60	20.99	21.37	21.68	21.95	22.15	22.33	22.43	22.53	22.60	22.63	22.65	22.69	22.74	22.77	22.85	22.93	23.02	23.08	23.08	23.01	22.88
11.....	281	270	262	255	251	250	250	256	265	276	291	305	322	340	357	373	390	405	421	434	448	460	471	480
12.....	301	283	265	250	234	224	217	214	214	215	222	234	248	266	286	305	326	348	369	388	408	426	443	457
13.....	352	328	303	282	259	239	220	205	193	185	181	181	186	195	212	232	254	279	306	331	358	384	410	433
14.....	417	392	363	336	308	282	255	230	208	190	173	157	156	160	172	191	213	240	268	299	328	361	390	
(archives du SHOM, Brest)																								

Hauteurs d'eau toutes
les 15 minutes

— 11 —
 ANNEE 1863 . — MOIS DE *Février*
OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES.

DATES.	Mérid.	3 heures.	6 HEURES.				9 HEURES.				MIDI.				3 HEURES.				6 HEURES.				9 HEURES.			
	PRES-	PRES-	PRESSION.				PRESSION.				PRESSION.				PRESSION.				PRESSION.				PRESSION.			
	SION.	SION.	VENT.				VENT.				VENT.				VENT.				VENT.				VENT.			
	Eau.	Eau.	MER- CURE.	EAU.	DIREC- TION.	FORCE.	MER- CURE.	EAU.	DIREC- TION.	FORCE.	MER- CURE.	EAU.	DIREC- TION.	FORCE.	MER- CURE.	EAU.	DIREC- TION.	FORCE.	MER- CURE.	EAU.	DIREC- TION.	FORCE.	MER- CURE.	EAU.	DIREC- TION.	FORCE.
	mm.	mm.	10° de mm.	mm.			10° de mm.	mm.			10° de mm.	mm.			10° de mm.	mm.			10° de mm.	mm.			10° de mm.	mm.		
1 ^{er}	1041	1041	7631	1041	Calm.	0	7631	1068	SS6	8	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½
2 ^e	1147	1147	7631	1041	Calm.	0	7631	1068	SS6	8	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½
3 ^e	1147	1147	7631	1041	Calm.	0	7631	1068	SS6	8	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½
4 ^e	1147	1147	7631	1041	Calm.	0	7631	1068	SS6	8	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½
5 ^e	1147	1147	7631	1041	Calm.	0	7631	1068	SS6	8	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½	7631	1068	Sud	13½
6 ^e	1173	1172	7729	1172	Calm.	0	7729	1172	Calm.	0	7729	1172	Calm.	0	7729	1172	Nord	2	7729	1172	Calm.	0	7719	1139	Calm.	0
7 ^e	1153	1133	7700	1133	Nord	13½	7690	1120	Nord	8	7690	1120	NN6	8	7690	1120	NN6	8	7690	1120	NN6	8	7680	1107	Est	13½
8 ^e	1093	1074	7640	1033	Calm.	0	7640	1033	Calm.	0	7640	1033	Calm.	0	7640	1033	Calm.	0	7640	1033	Nord	4	7640	1033	Nord	8
9 ^e	1067	1074	7660	1080	Nord	13½	7660	1080	Nord	8	7670	1093	Nord	4	7680	1107	Nord	8	7690	1120	Calm.	0	7690	1120	Calm.	0
10 ^e	1120	1120	7690	1120	Calm.	0	7690	1120	Calm.	0	7700	1133	Calm.	0	7710	1147	NN6	4	7710	1133	Est	8	7690	1120	Est	13½
11 ^e	1120	1120	7690	1120	Est	13½	7690	1120	Est	4	7690	1120	Calm.	0	7690	1120	Calm.	0	7690	1120	Calm.	0	7690	1120	Est	4
12 ^e	1120	1120	7700	1133	Est	13½	7710	1147	Est	8	7710	1147	Est	8	7710	1147	Calm.	0	7710	1147	Calm.	0	7710	1147	NN6	8
13 ^e	1147	1147	7710	1147	NN6	21	7710	1147	NN6	21	7710	1147	NN6	21	7710	1147	NN6	21	7710	1147	NN6	31	7710	1147	Nord	31
14 ^e	1147	1147	7710	1147	NN6	13½	7710	1147	NN6	13½	7710	1147	NN6	13½	7710	1147	NN6	13½	7710	1147	NN6	13½	7710	1147	NN6	13½

Pression atmosphérique
toutes les 3 heures
(06h ⇒ 21h)

Direction et force du vent
toutes les 3 heures
(06h ⇒ 21h)

Sauvetage et numérisation



Centres d'archives privés :

- SHOM
- IGN
- SPC-LA (DDTM)

Centres d'archives publics :



Archives départementales
de la Charente-Maritime



Médiathèque de
La Rochelle



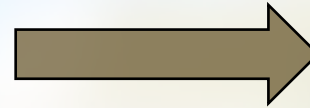
- SHD Rochefort
- SHD Vincennes

1 2 3 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles

Sauvetage et numérisation



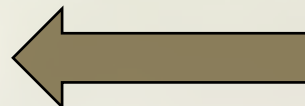
Mesures archivées



Copie des archives



Sauvegarde de ce patrimoine



Police							
Alignement							
C	D	E	F	G	H	I	J
Jour	Jour 2	0h	1h	2h	3h	4h	5h
1	1	463	415	355	297	265	27
2	2	490	473	427	367	315	20
3	3	495	495	466	414	358	31
4	4	494	515	512	482	423	34
5	5	491	518	528	517	475	41
6	6	465	521	543	545	529	47
7	7	421	500	552	573	564	52
8	8	360	459	529	572	588	56
9	9	285	406	503	571	608	60
10	10	205	324	439	549	606	62
11	11	161	248	371	481	569	62
12	12	174	188	288	410	507	53

Numérisation des mesures

Sauvetage et numérisation

Bilan de la numérisation :

580 000 valeurs du niveau de la mer



La Rochelle : 18 ans



Aix-Enet-Boyard : 45 ans

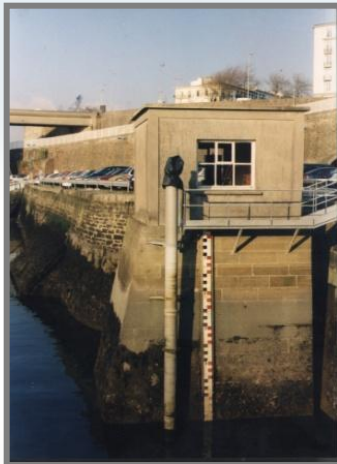


Cordouan : 3 ans

Sauvetage et numérisation

Bilan de la numérisation :

140 000 valeurs de pression atmosphérique



Brest : 9 ans



La Rochelle : 9 ans

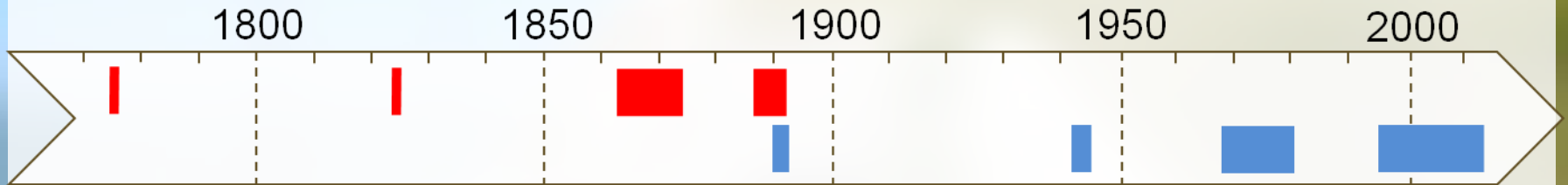


Aix-Enet-Boyard : 47 ans

1 2 **3** 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles

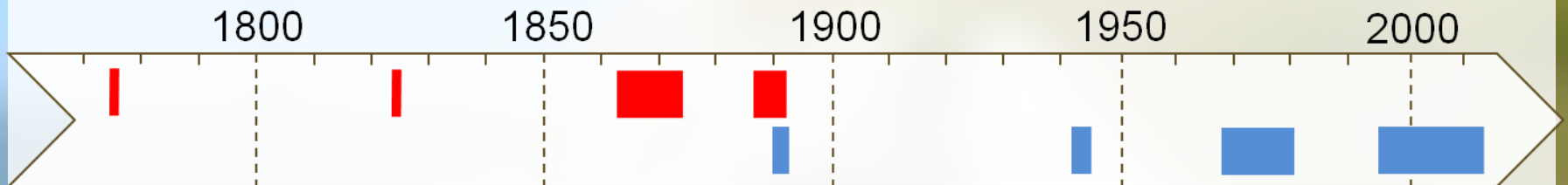
Construction de séries

Problème : mesures effectuées à différentes époques et en différents lieux



Construction de séries

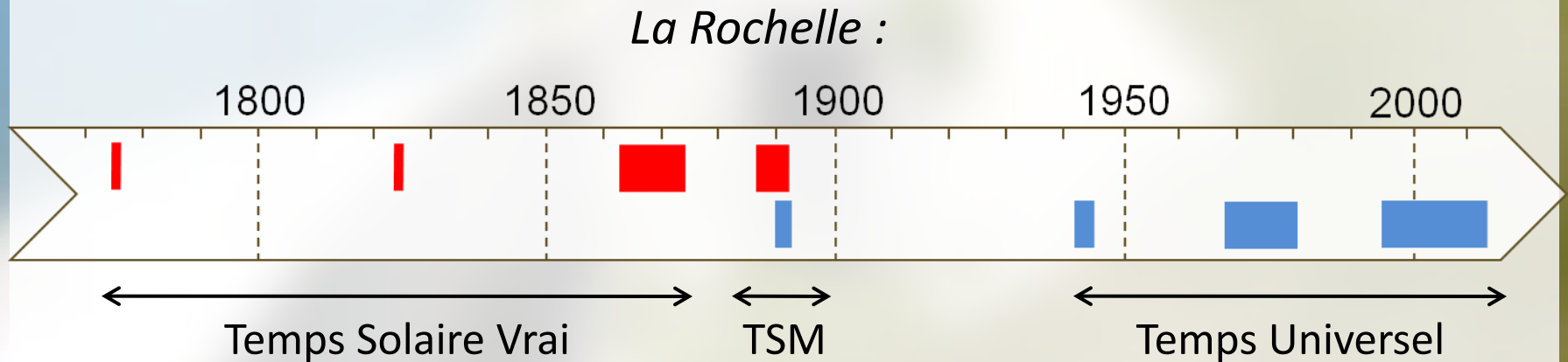
Problème : mesures effectuées à différentes époques et en différents lieux



1. Référentiels de temps différents
2. Unités de mesures de hauteur d'eau différentes
3. Références verticales différentes
4. Sites de mesures différents

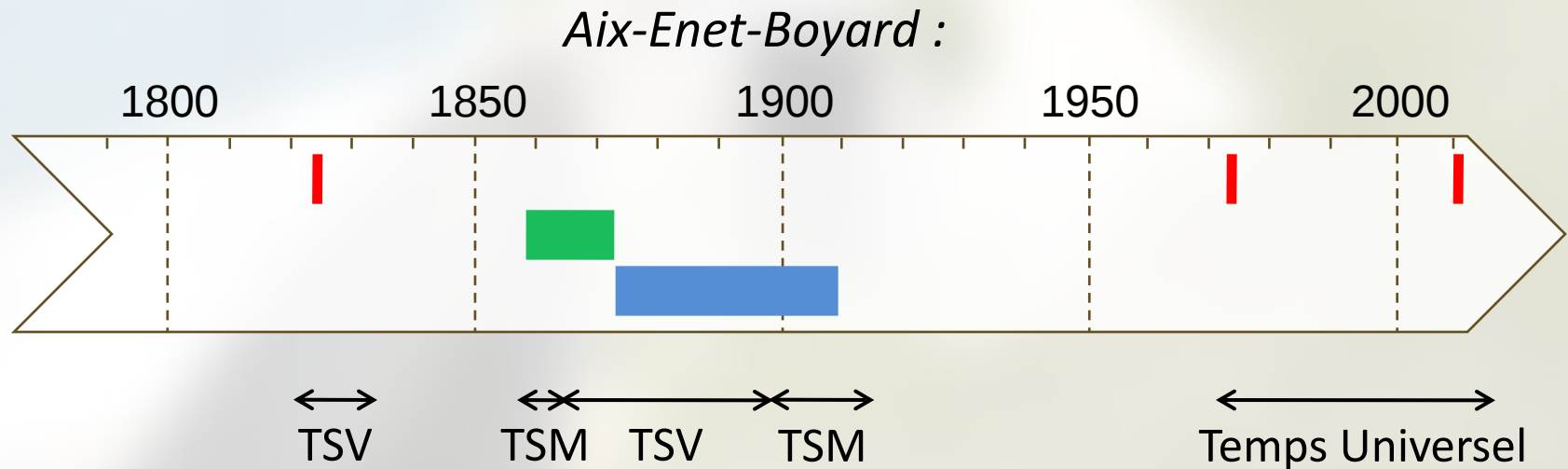
Construction de séries

1. Référentiels de temps différents



Construction de séries

1. Référentiels de temps différents



Construction de séries

1. Référentiels de temps différents

Temps Solaire Vrai



Equation du temps

Temps Solaire Moyen



*Correction en
longitude*

Temps Universel

Construction de séries

2. Unités de mesures de hauteur d'eau différentes

1775 - 1776	}	Mesures en Pieds et en pouces
1824		

A partir de 1859 : mesures dans le système métrique

Construction de séries

2. Unités de mesures de hauteur d'eau différentes

Problème : Quelle définition du système Pied-pouce choisir ?

Construction de séries

2. Unités de mesures de hauteur d'eau différentes

Problème : Quelle définition du système Pied-pouce choisir ?

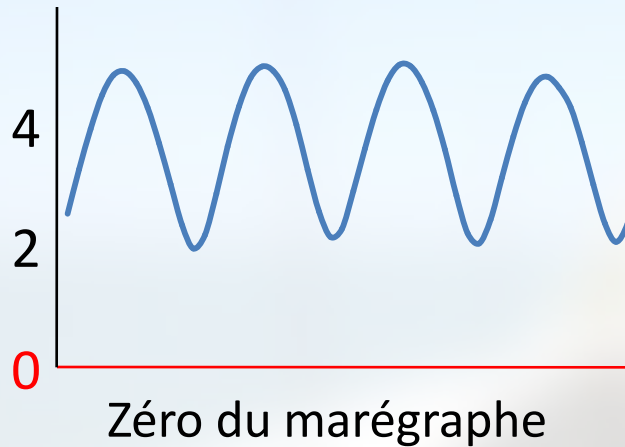
Hypothèse retenue : Définition utilisée par l'Académie Royale des Sciences :

1 Pied = 32,4839 cm = 12 pouces

1 pouce = 2,7069 cm

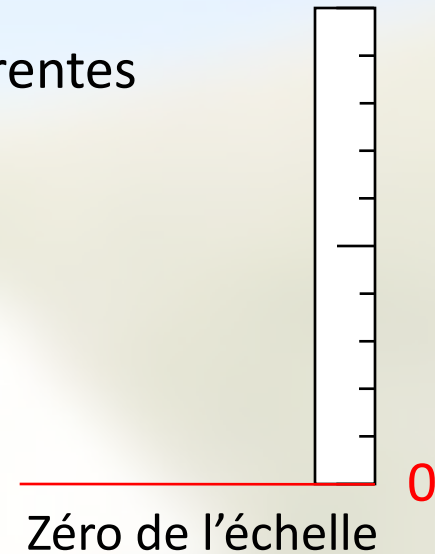
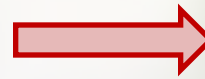
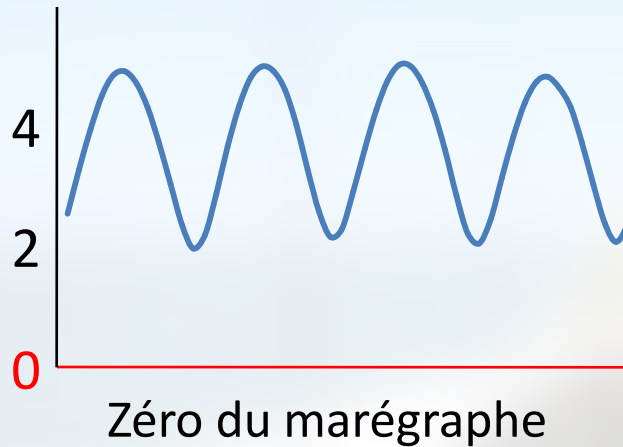
Construction de séries

3. Références verticales différentes



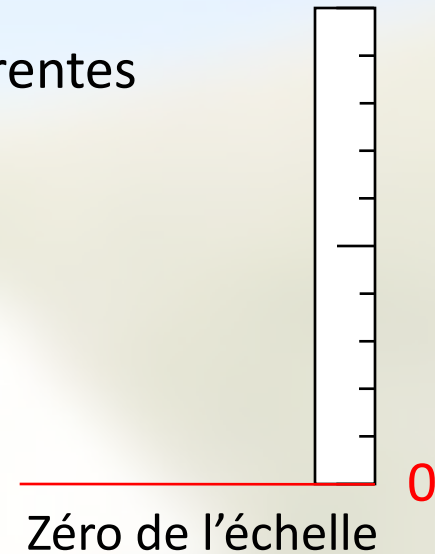
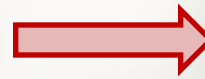
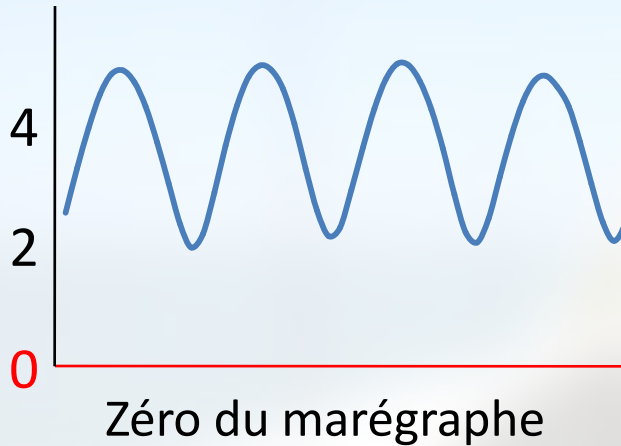
Construction de séries

3. Références verticales différentes



Construction de séries

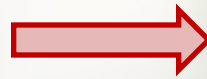
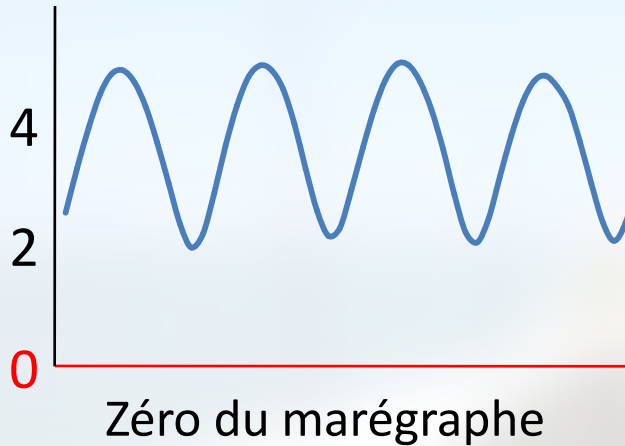
3. Références verticales différentes



Repère fondamental

Construction de séries

3. Références verticales différentes

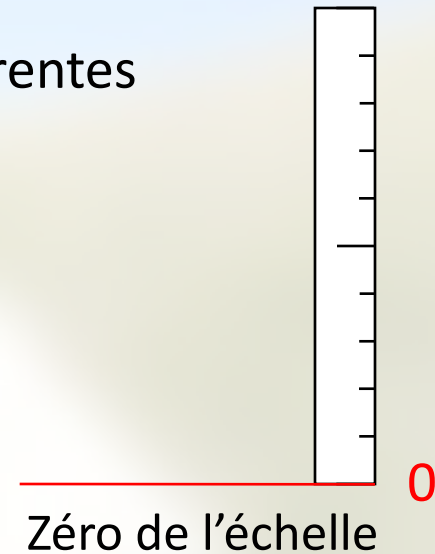
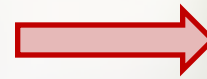
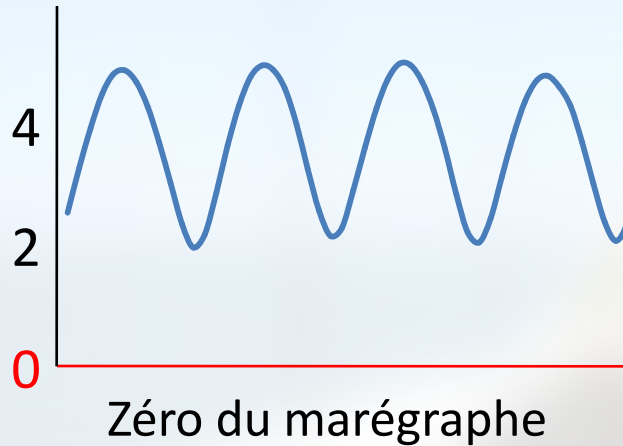


Repère fondamental



Construction de séries

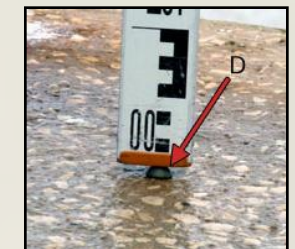
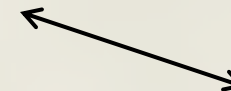
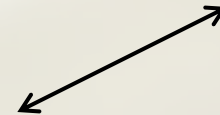
3. Références verticales différentes



Zéro hydrographique

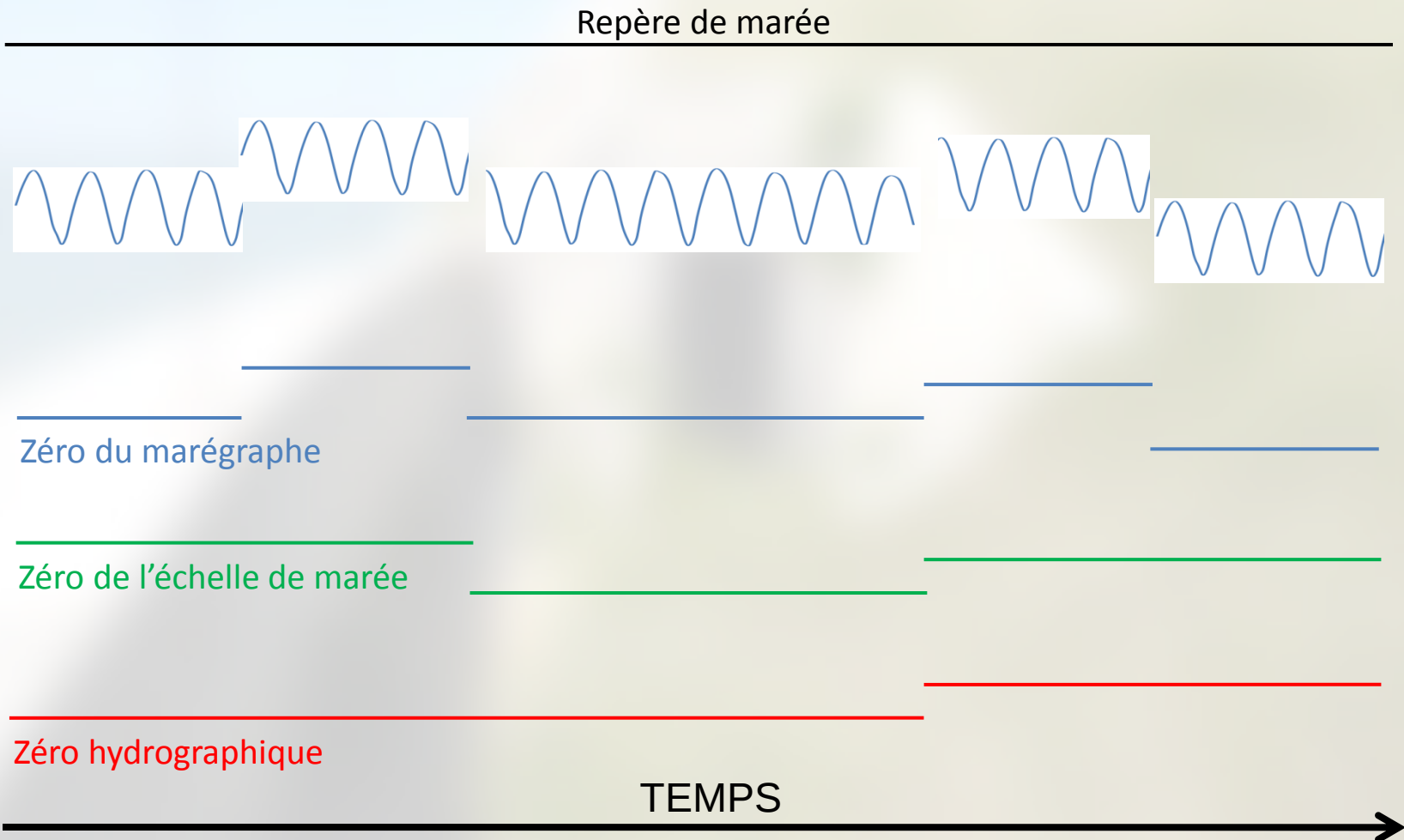


Repère fondamental



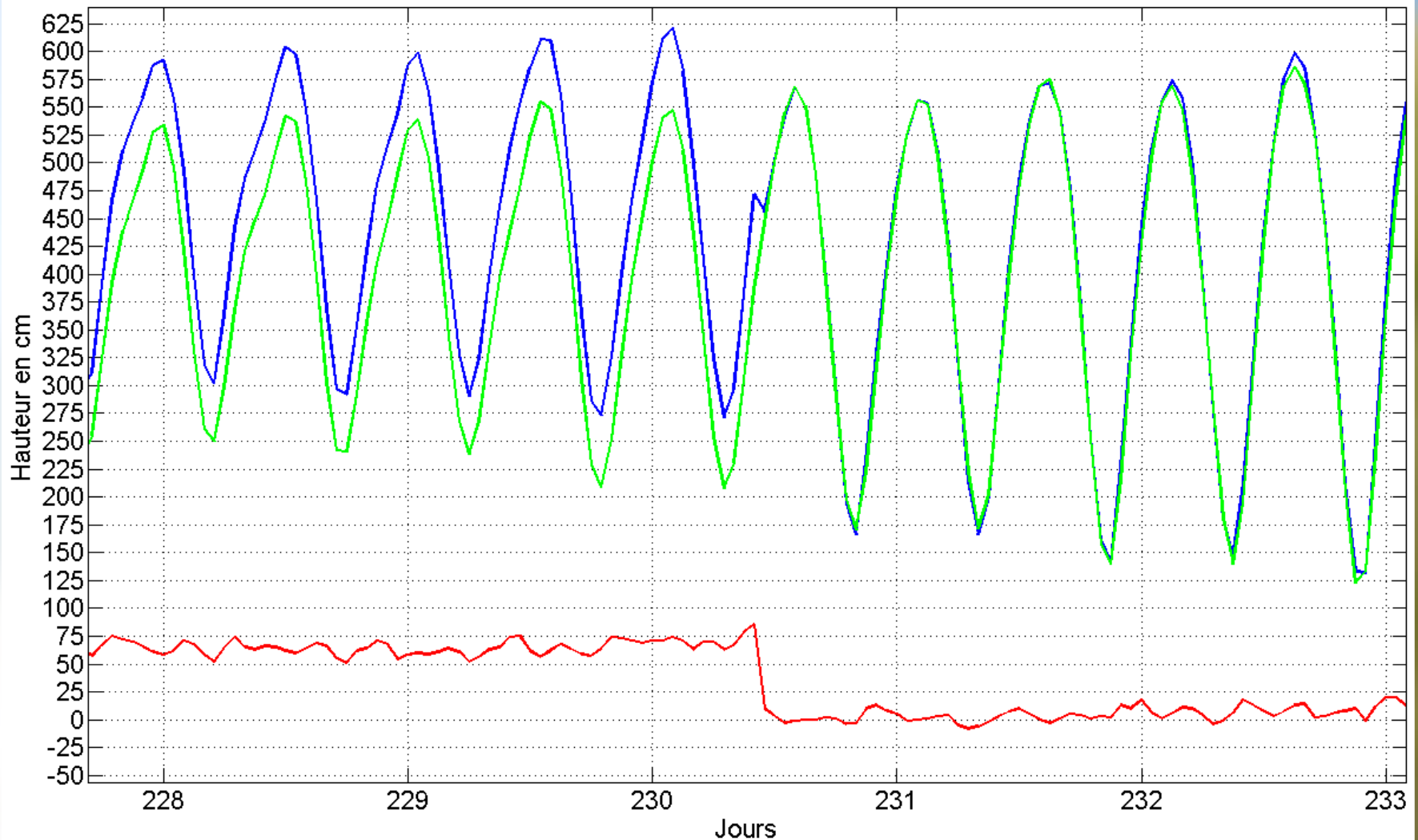
Construction de séries

3. Références verticales différentes



1 2 3 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles

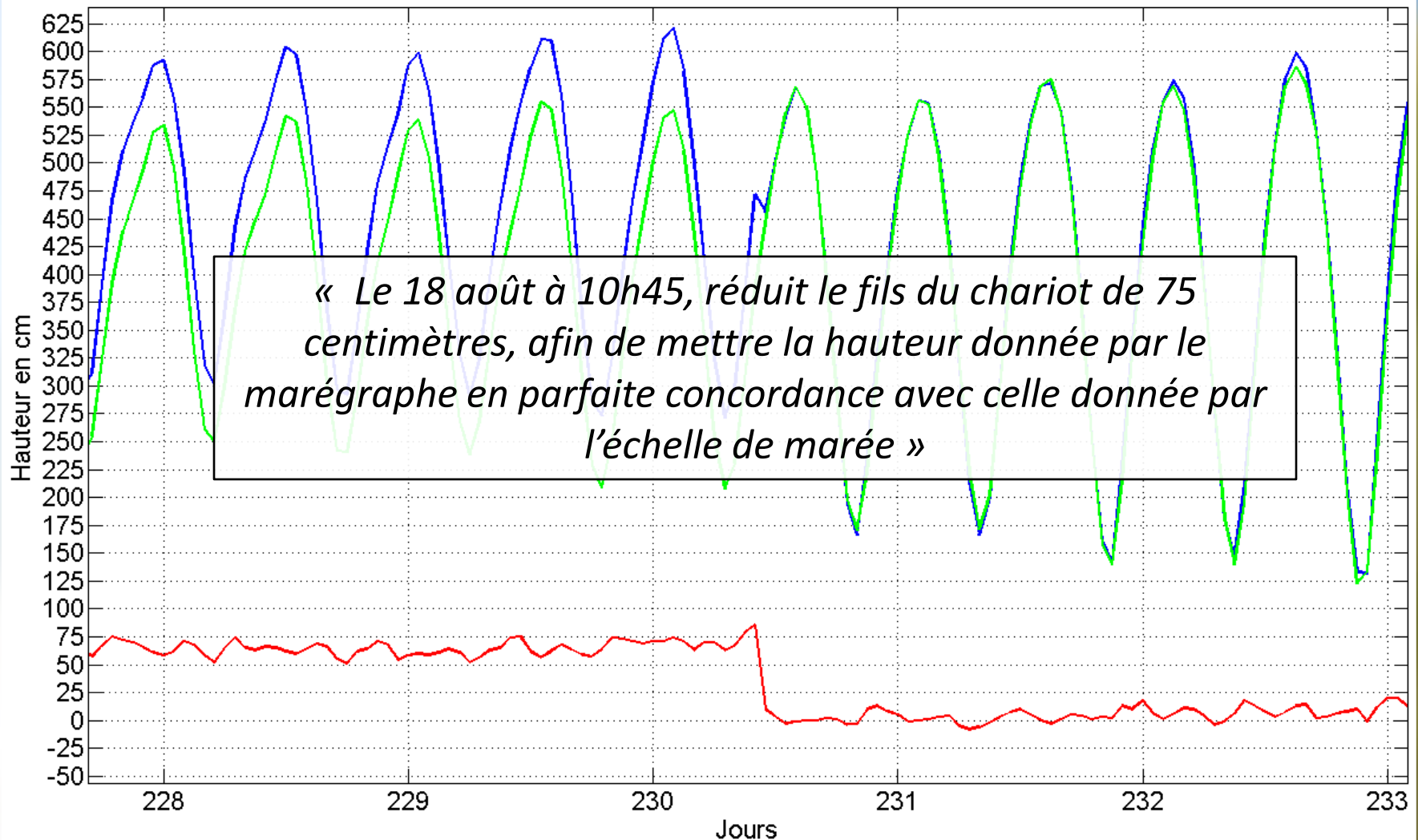
1865 du jour 212 au jour 244 année : 1865



⇒ Modification du zéro du marégraphe

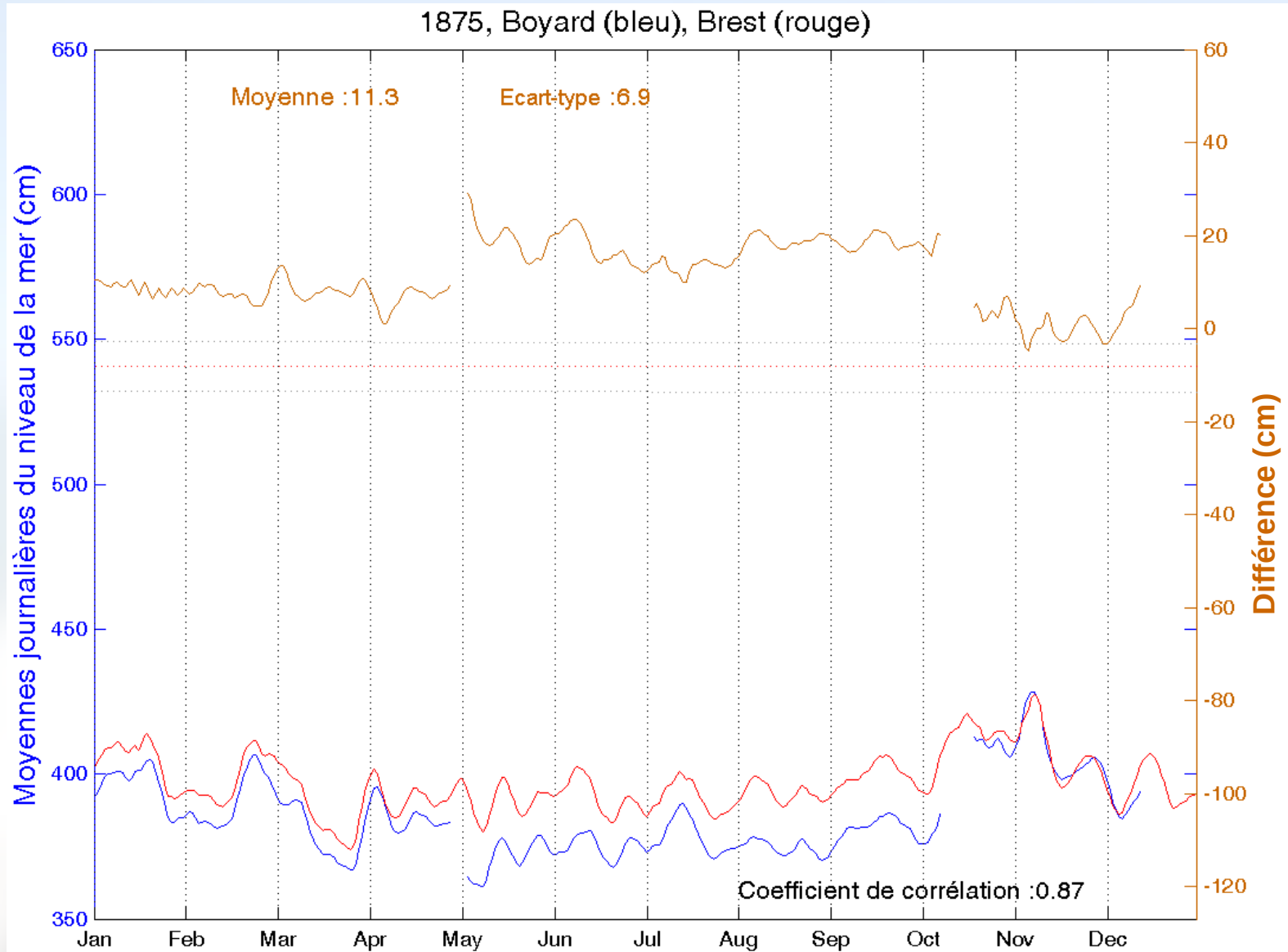
1 2 3 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles

1865 du jour 212 au jour 244 année : 1865



⇒ Modification du zéro du marégraphe

1 2 3 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles



⇒ Modification du zéro du marégraphe

1 2 **3** 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles

⇒ Après ces trois étapes :

- référence commune : zéro hydrographique
- lots de mesures en temps universel
- lots de mesures en système métrique

1 2 **3** 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles

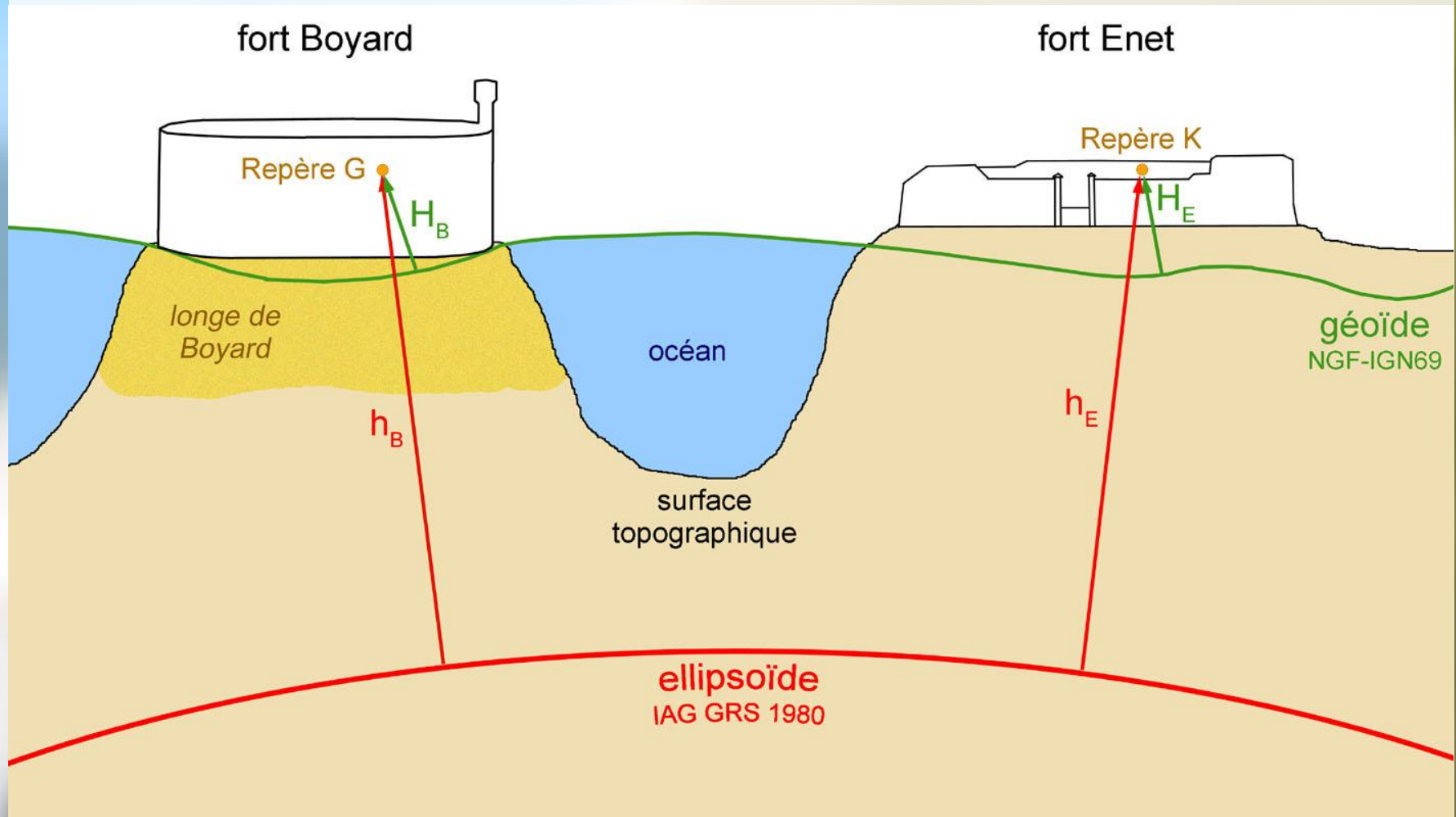
⇒ Après ces trois étapes :

- référence commune : zéro hydrographique
- lots de mesures en temps universel
- lots de mesures en système métrique

Mais peut-on rassembler des lots mesurés sur des sites différents ?

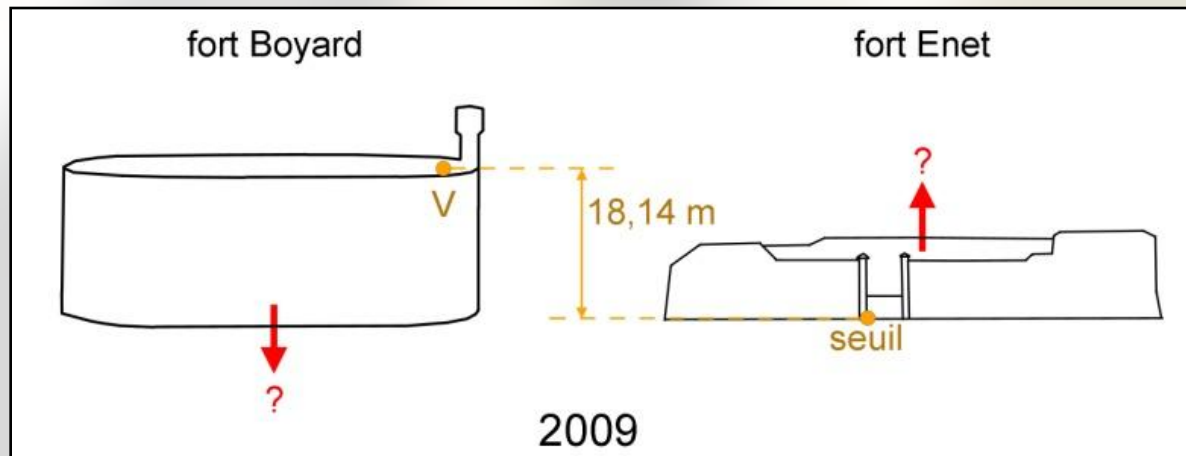
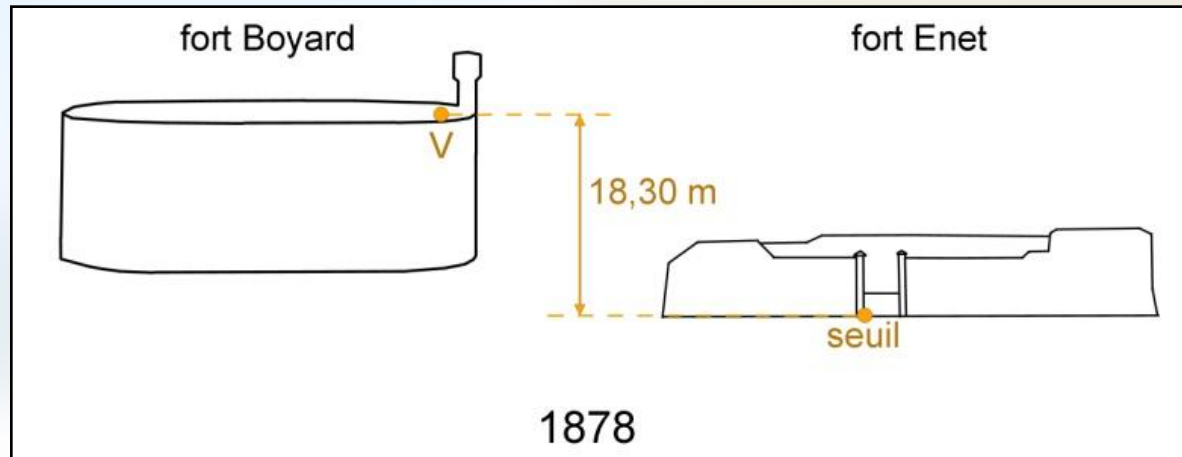
Construction de séries

4. Sites de mesures différents



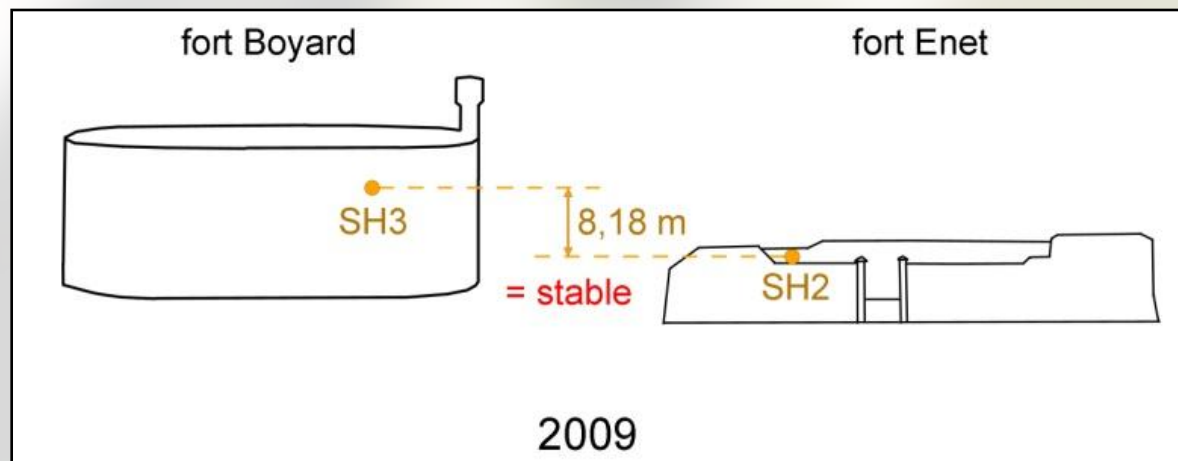
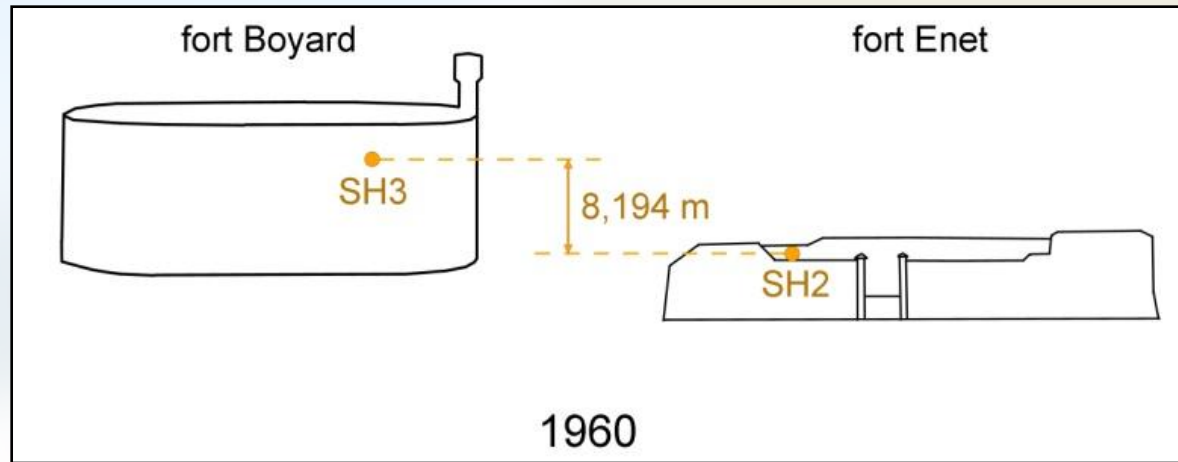
Construction de séries

4. Sites de mesures différents



Construction de séries

4. Sites de mesures différents



1 2 3 4 5 6 - Sauvetage et séries temporelles

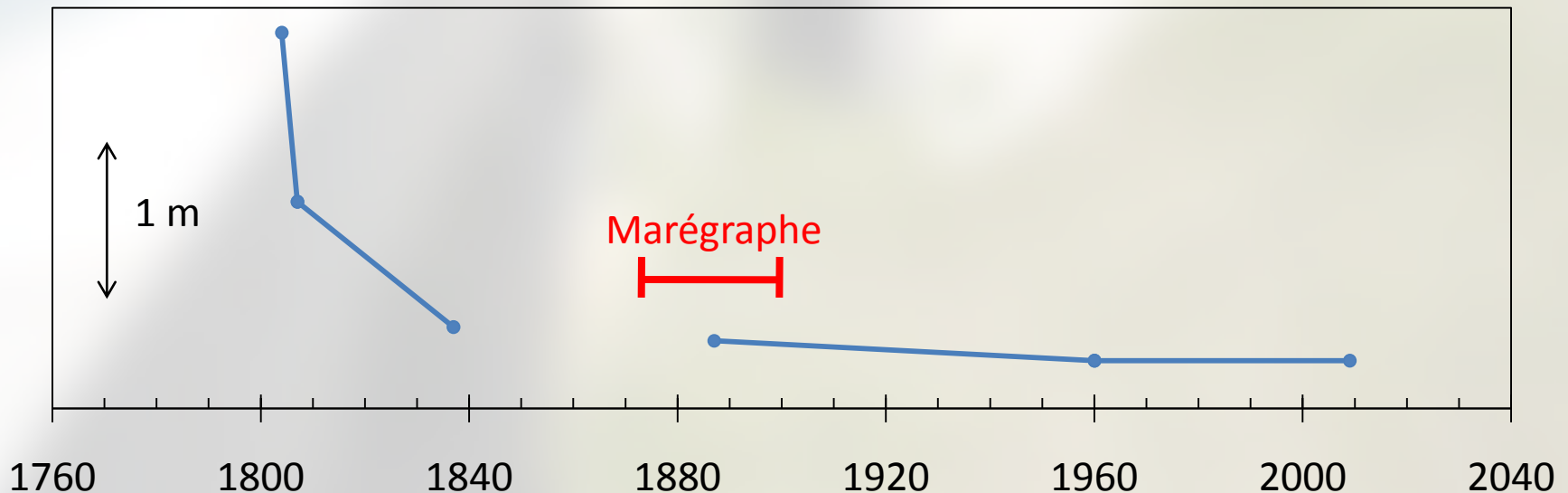
fort Boyard :

1804 - 1807 : affaissement de 1,2 à 1,5 m [Sauzeau, 2009]

1807 - 1837 : affaissement de 1 m [Taratte, 1866]

1878 - 1960 : affaissement de 16 cm

1960 - aujourd'hui : stable



4. Evaluation qualitative

1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

Mise en place d'un code pour qualifier les moyennes mensuelles du niveau marin et de la pression atmosphérique

Code		Signification	Définition
0		Pas de contrôle	Aucune procédure de contrôle n'a été appliquée
1		Bonne qualité	Le contrôle qualité a montré que la valeur est de qualité
2		Probablement bonne	Il subsiste un doute sur la qualité
3		Probablement mauvaise	La valeur est suspectée d'être de mauvaise qualité
4		Mauvaise qualité	Il ne fait aucun doute que la valeur est de mauvaise qualité
9		Absence de données	Données insuffisantes ou absentes pour un contrôle de la qualité

Adapté des recommandations de GLOSS [2009].

1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

1. Etude de la distribution des valeurs

*Mesures de la
hauteur d'eau:*

323

389

420

422

...

(cm)

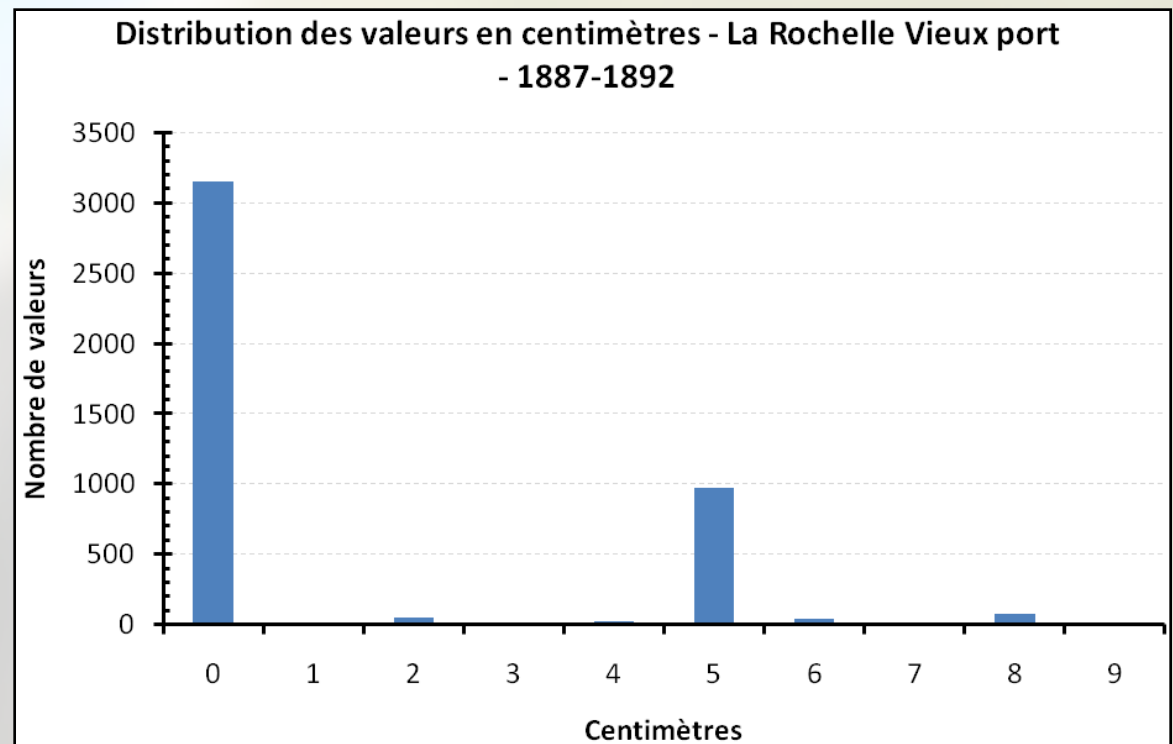
1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

1. Etude de la distribution des valeurs

*Mesures de la
hauteur d'eau:*

323
389
420
422
...

(cm)



1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

1. Etude de la distribution des valeurs

Bilan de la précision des mesures :

- 1775-1776 : ± 1 pouce (3 cm)
- 1824 : $\pm 0,5$ pouce (1,4 cm)
- 1887-1892 : ± 5 cm

1 2 3 **4** 5 6 - Evaluation qualitative

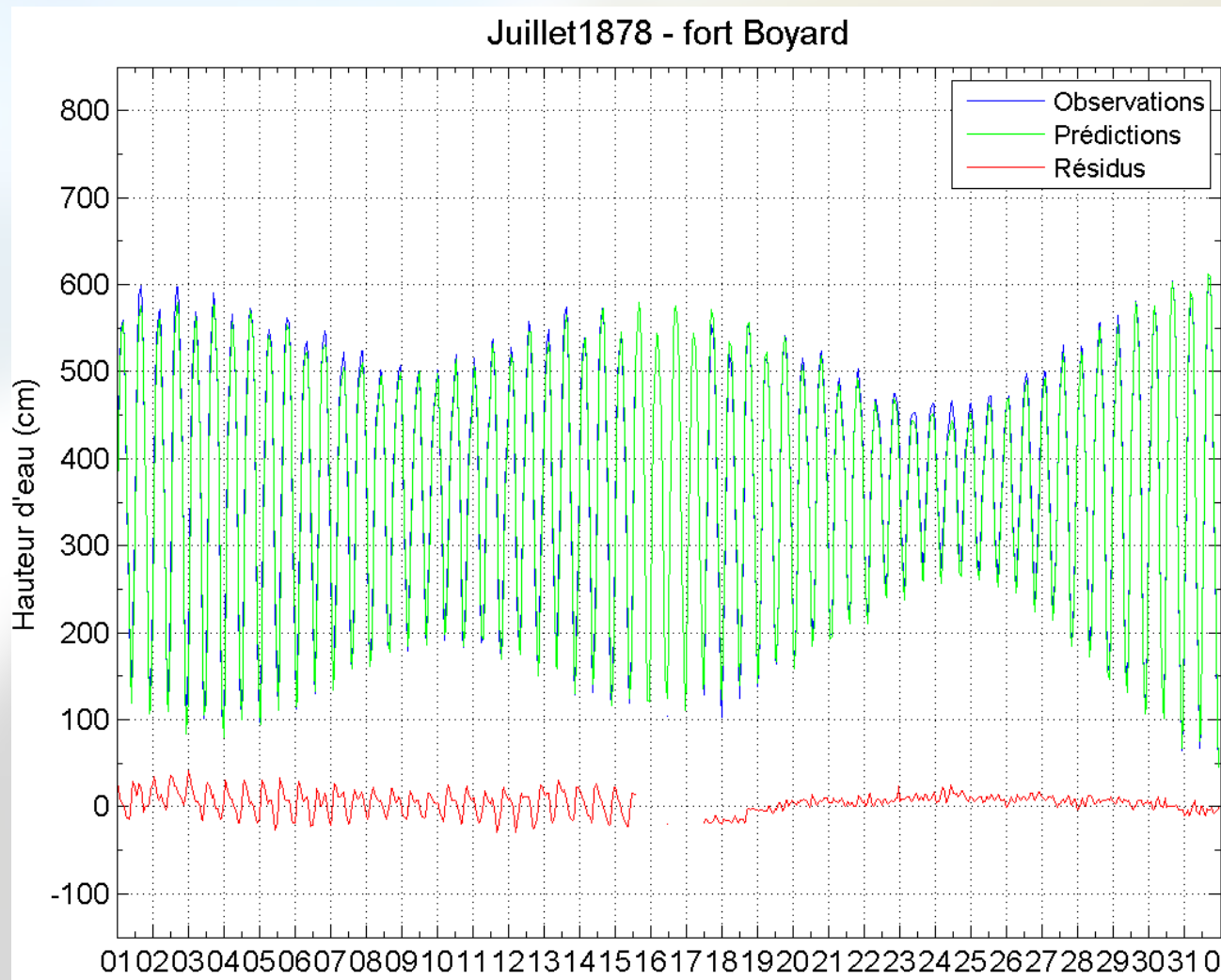
2. Etude des résidus

Résidus = Observations – Prédictions de la marée

1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

2. Etude des résidus

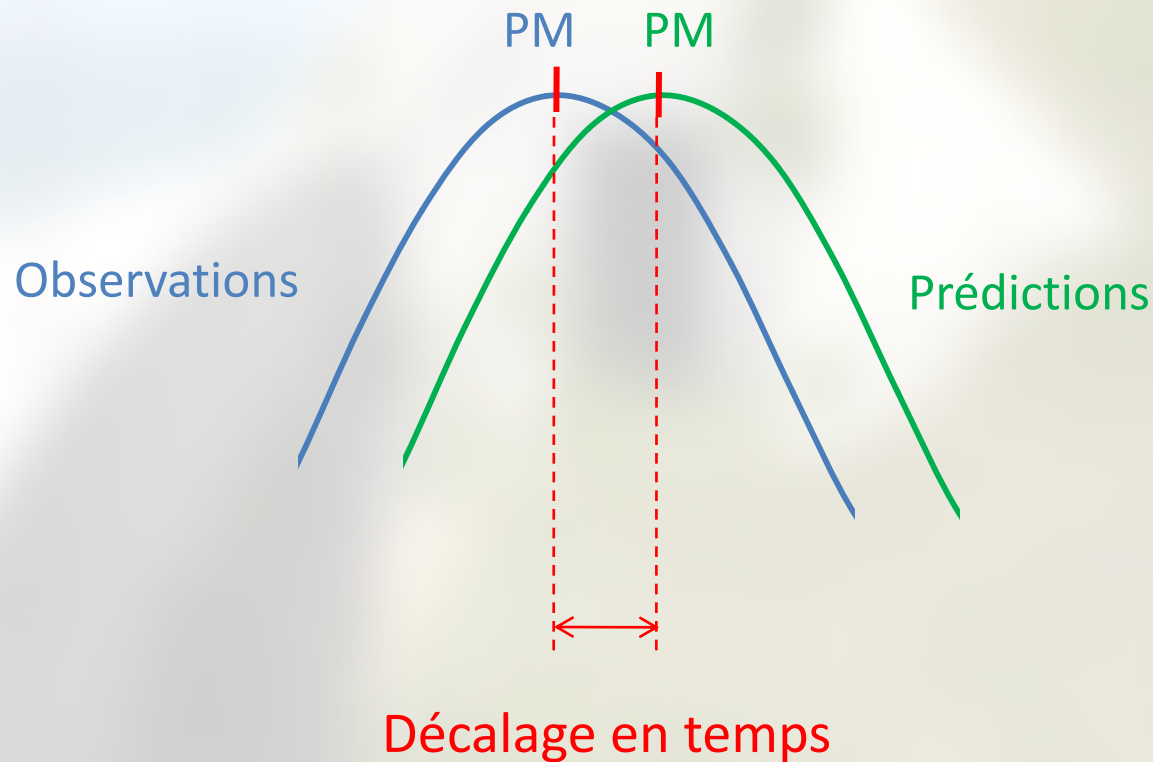
Résidus en hauteur



1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

2. Etude des résidus

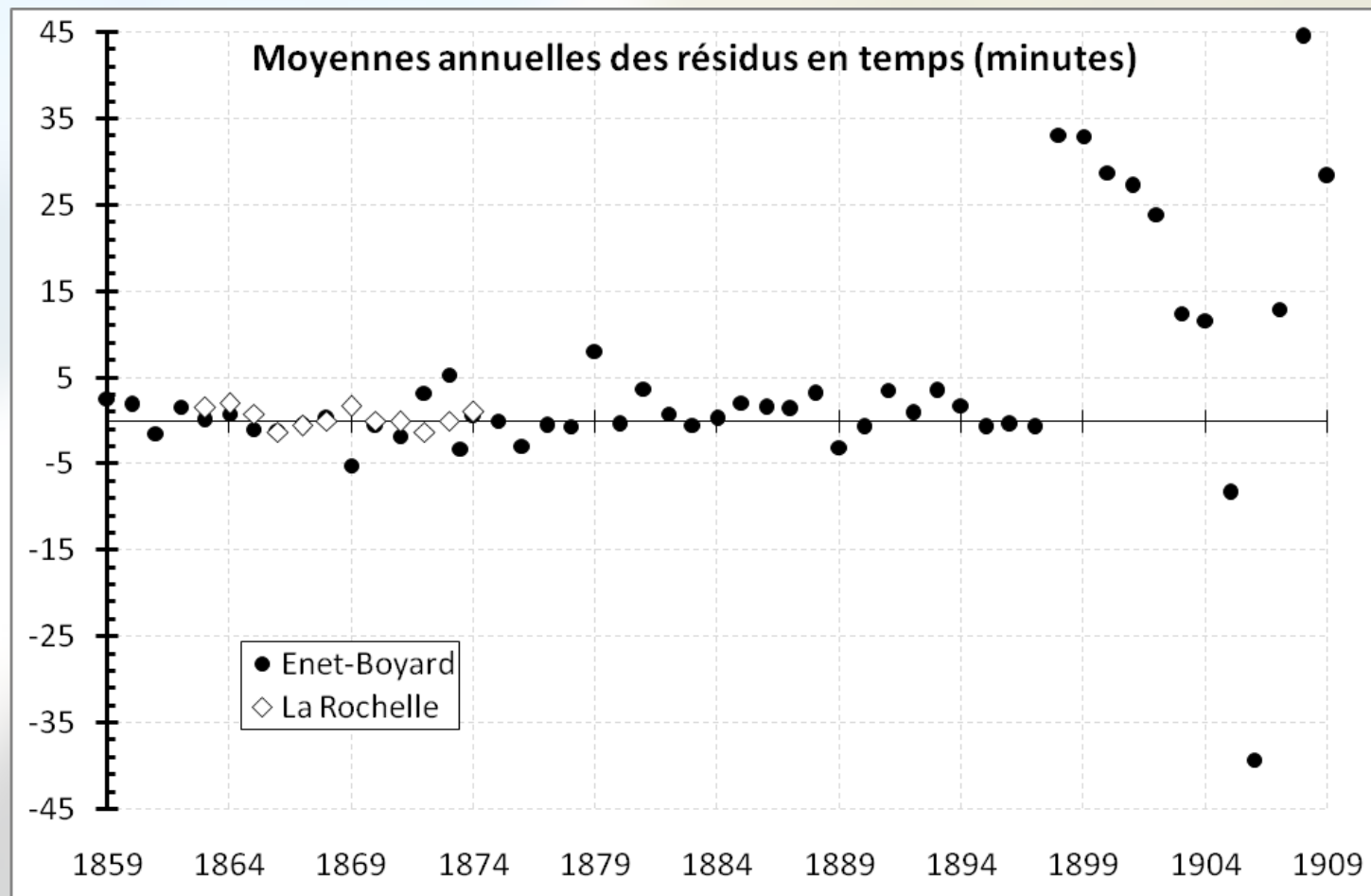
Résidus en temps sur les pleines et basses mers



1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

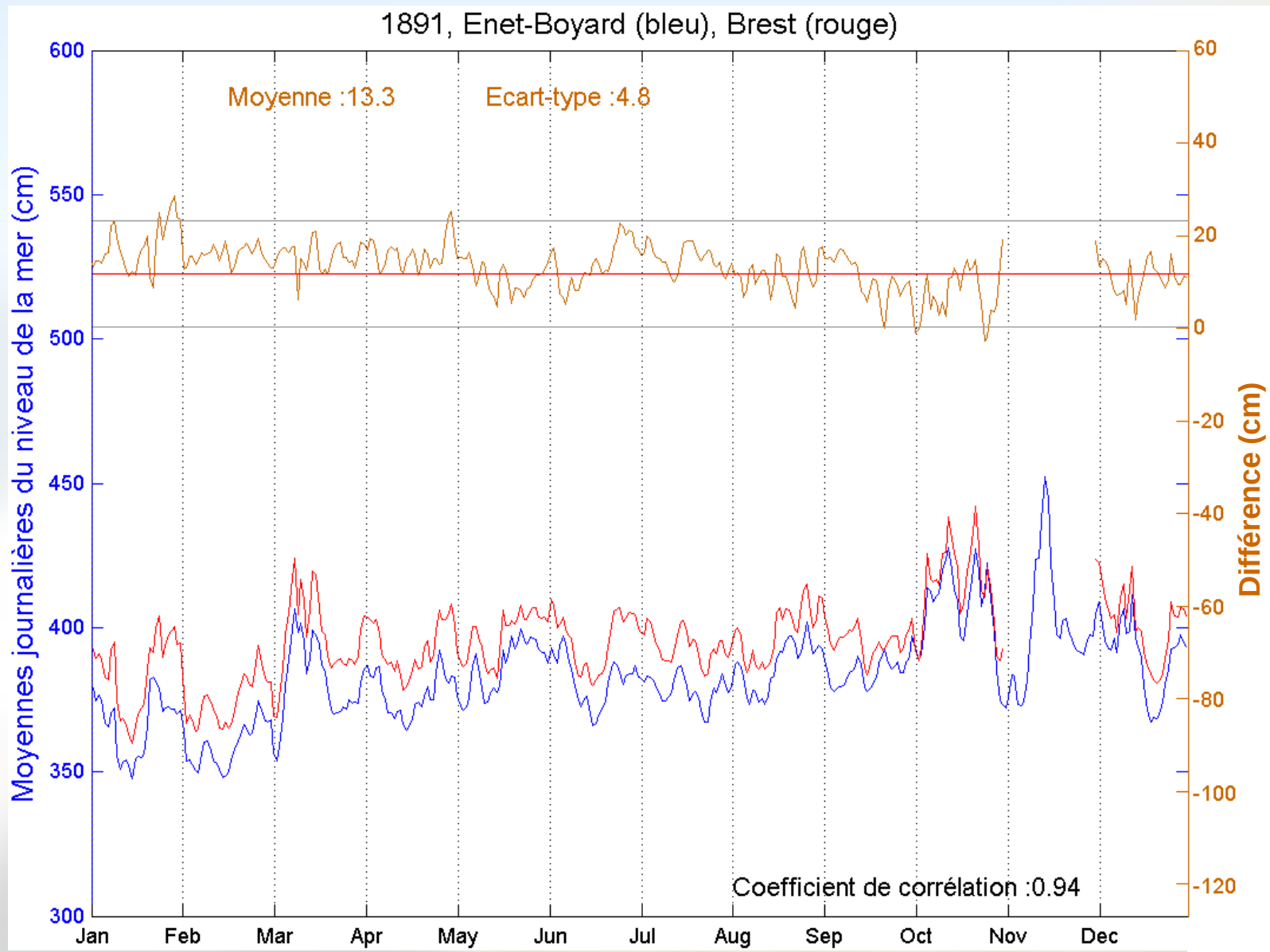
2. Etude des résidus

Résidus en temps sur les pleines et basses mers



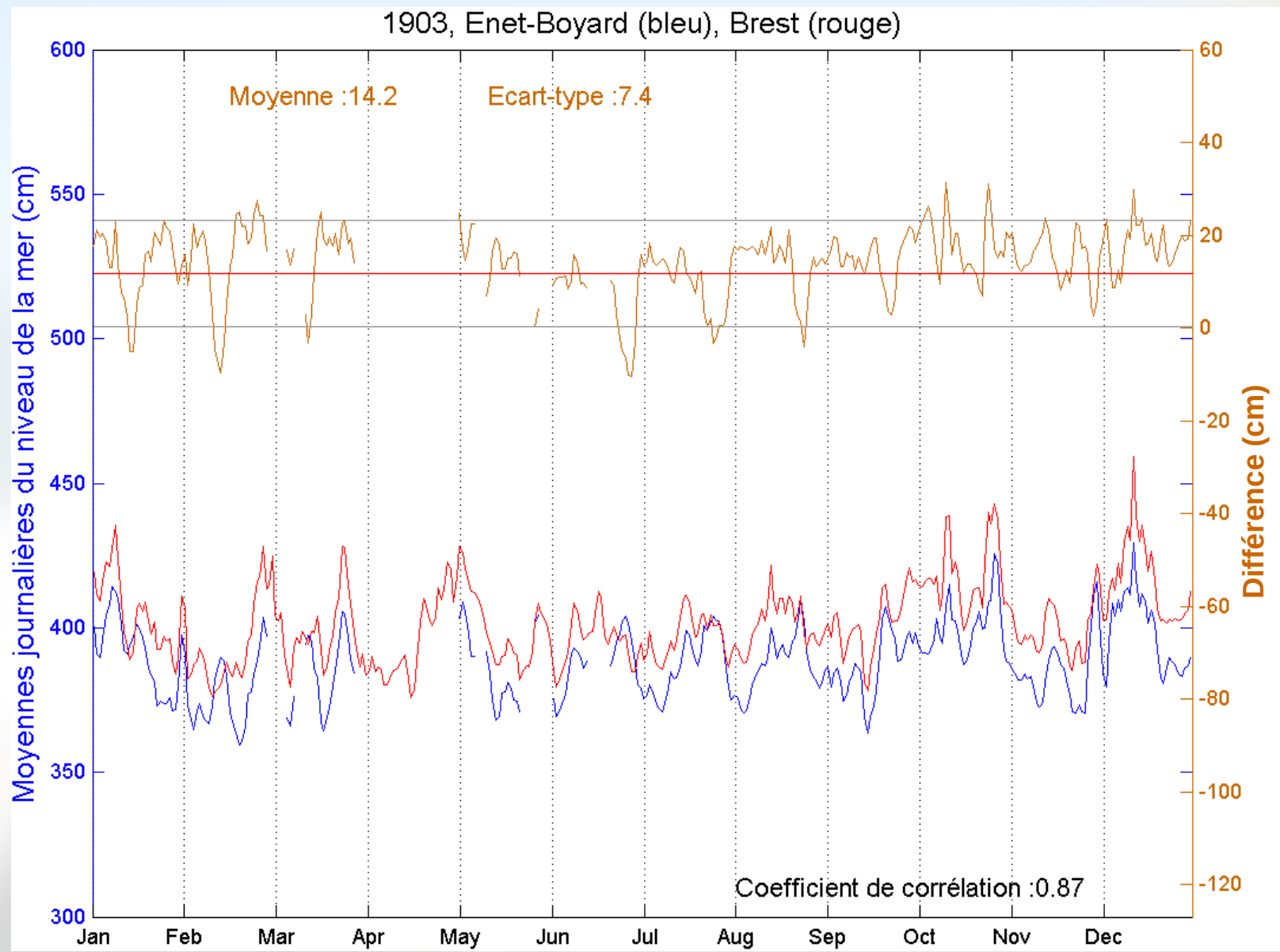
1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

3. Comparaison à une station proche



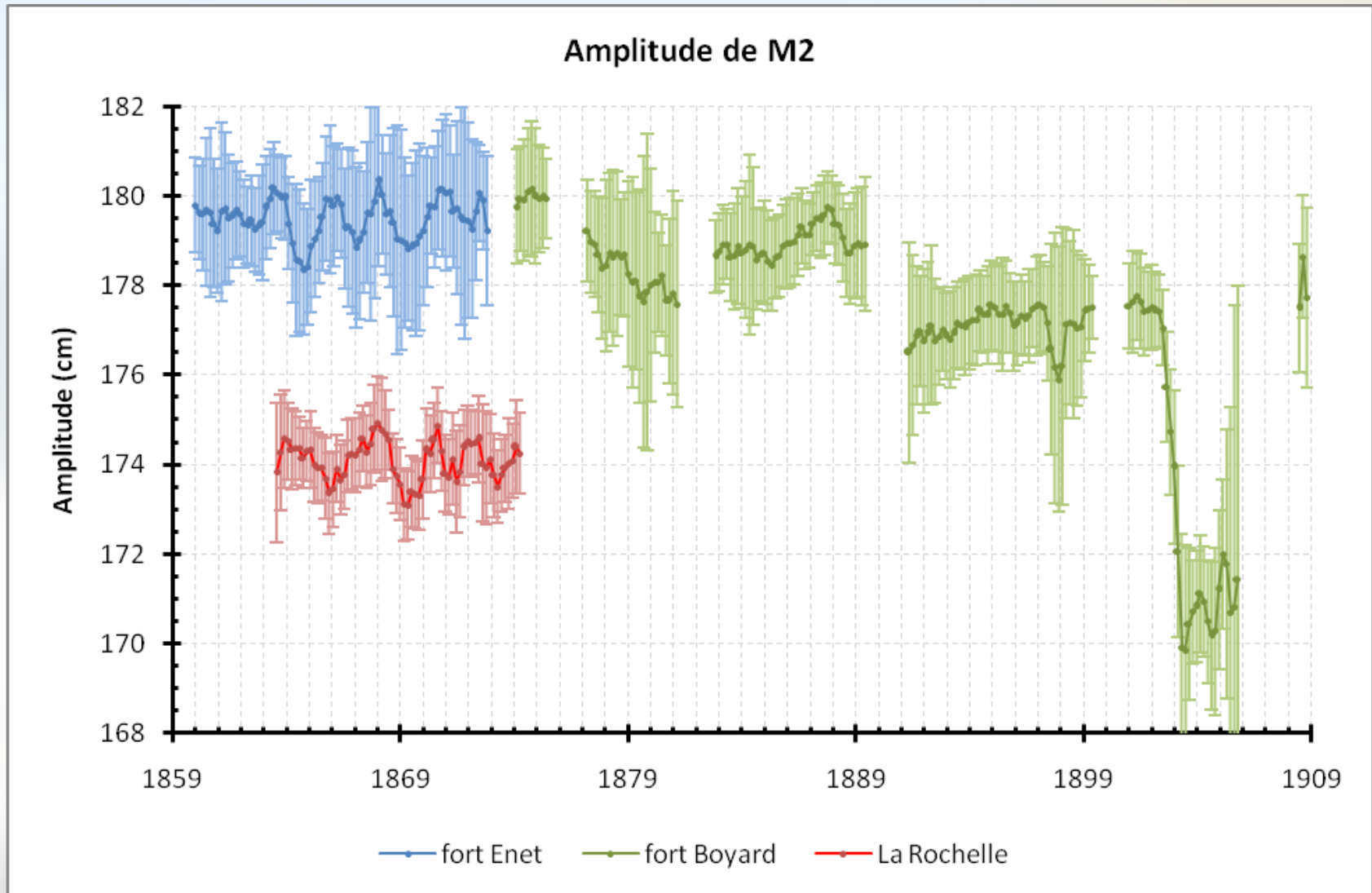
1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

3. Comparaison à une station proche



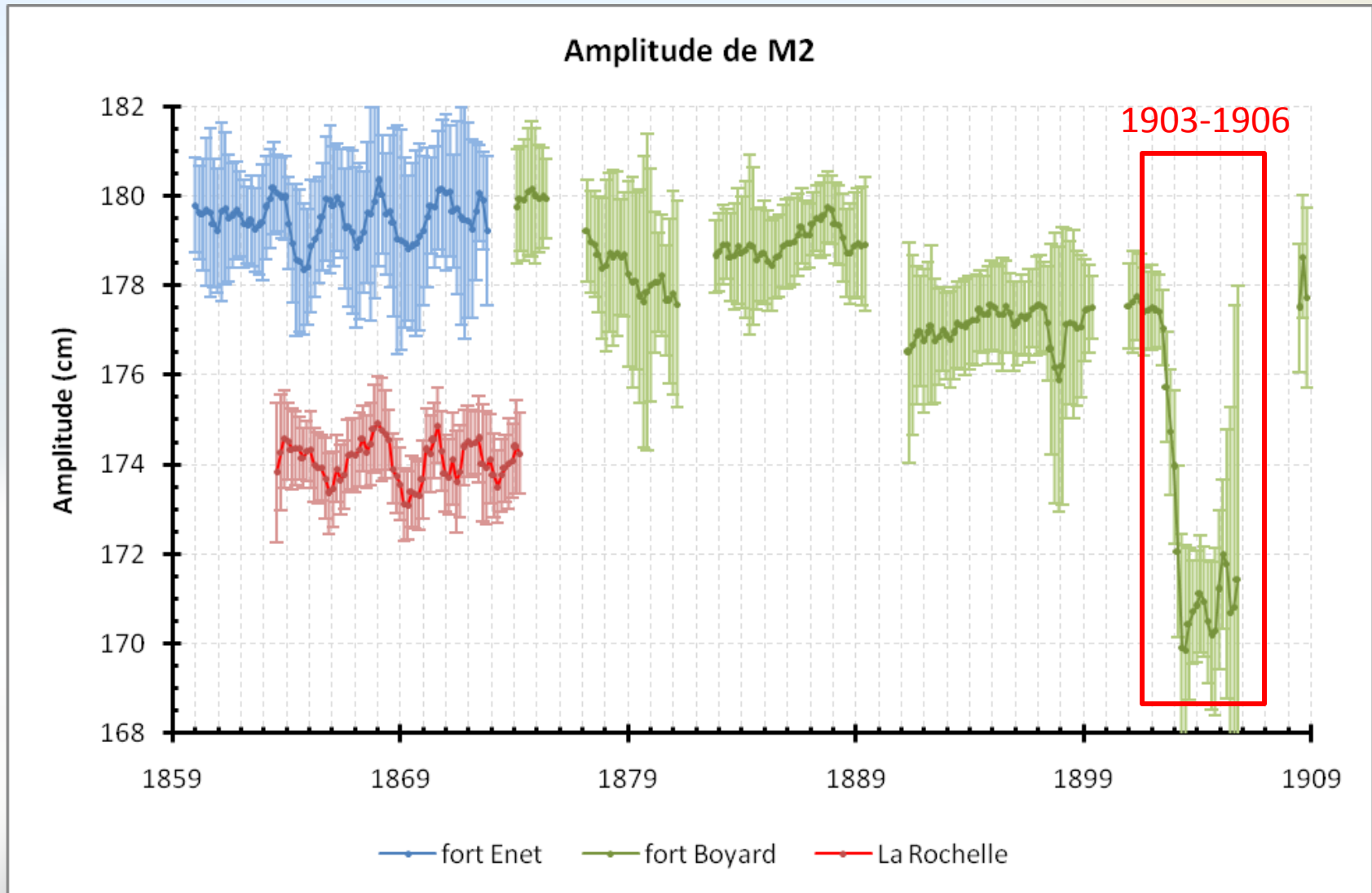
1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

4. Étude de la stabilité de l'onde M2



1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

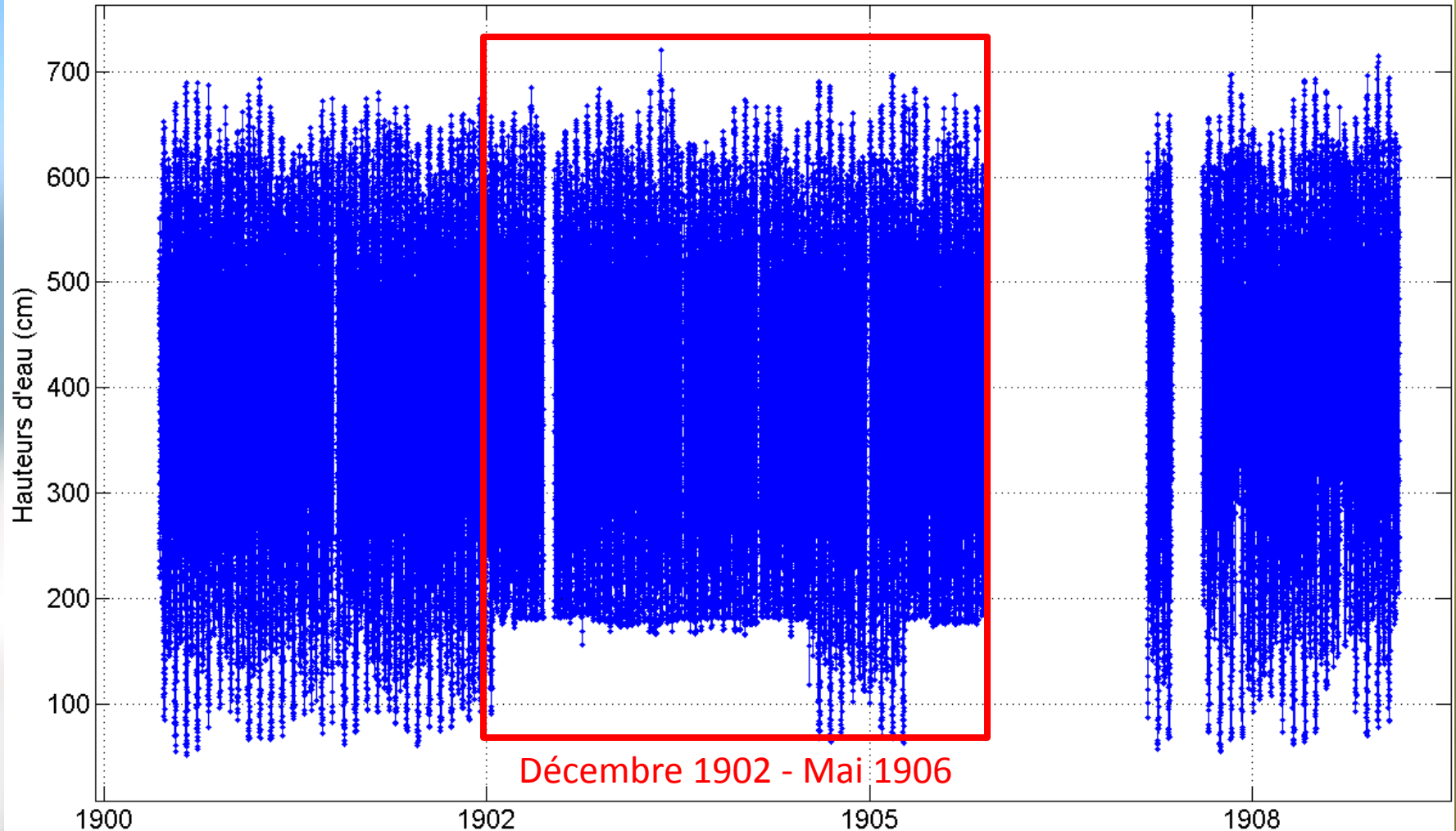
4. Étude de la stabilité de l'onde M2



1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

4. Étude de la stabilité de l'onde M2

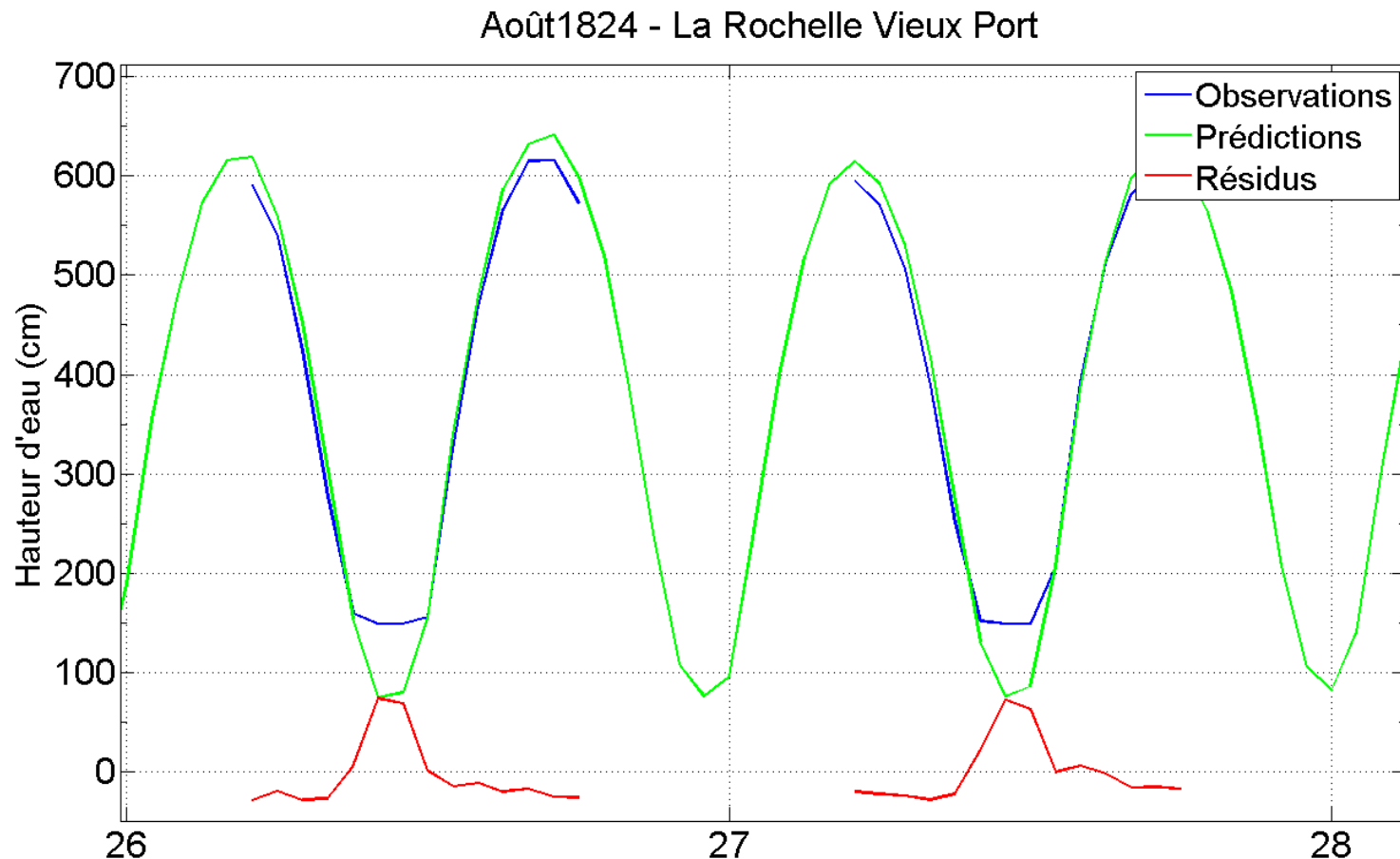
Mesures horaires du niveau de la mer - fort Boyard - 1900-1909



1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

Problèmes détectés :

Non-enregistrement des basses-mers de vives-eaux à La Rochelle Vieux port

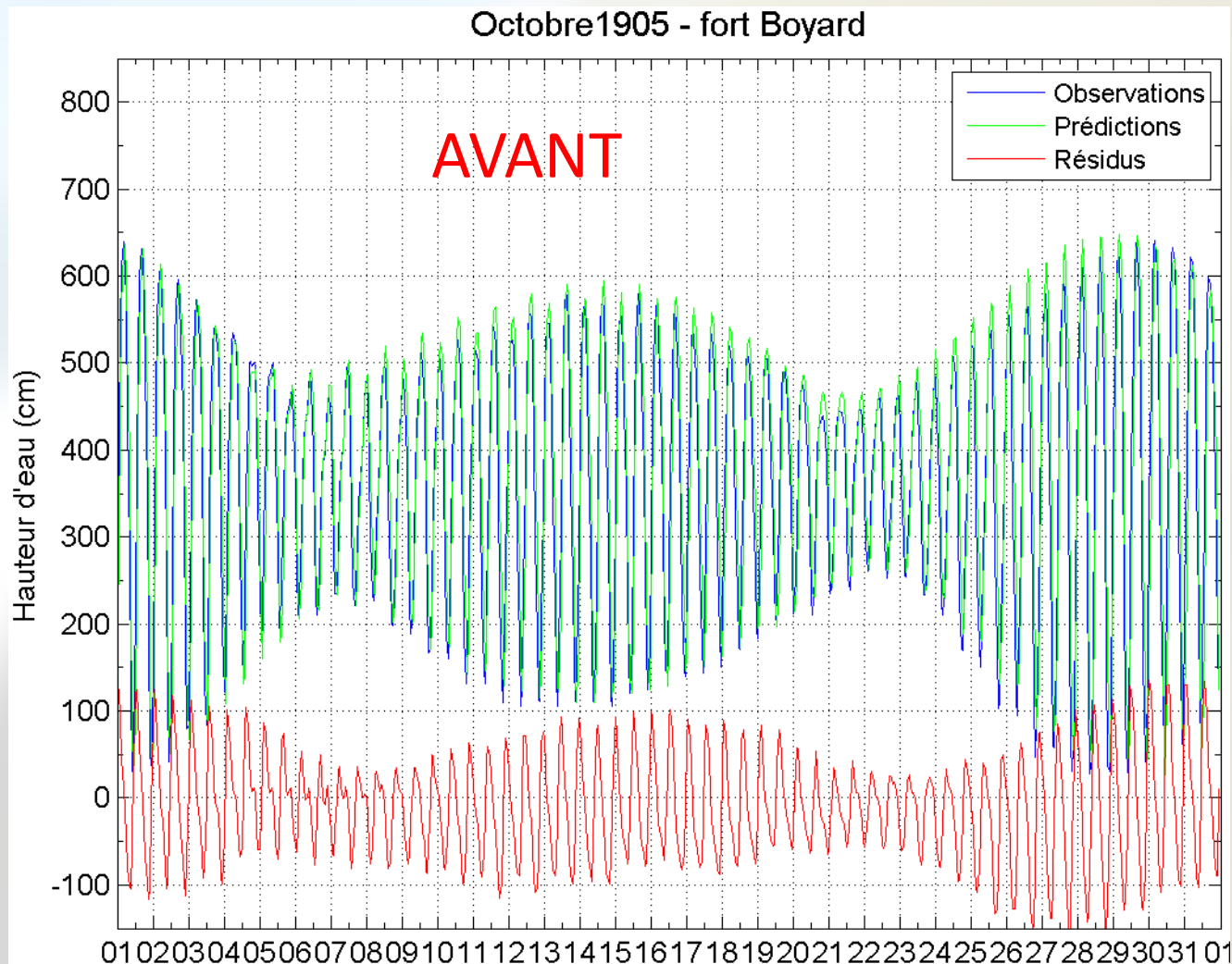


Solution : retrait des valeurs fausses dans la série corrigée de 1824

1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

Problèmes détectés :

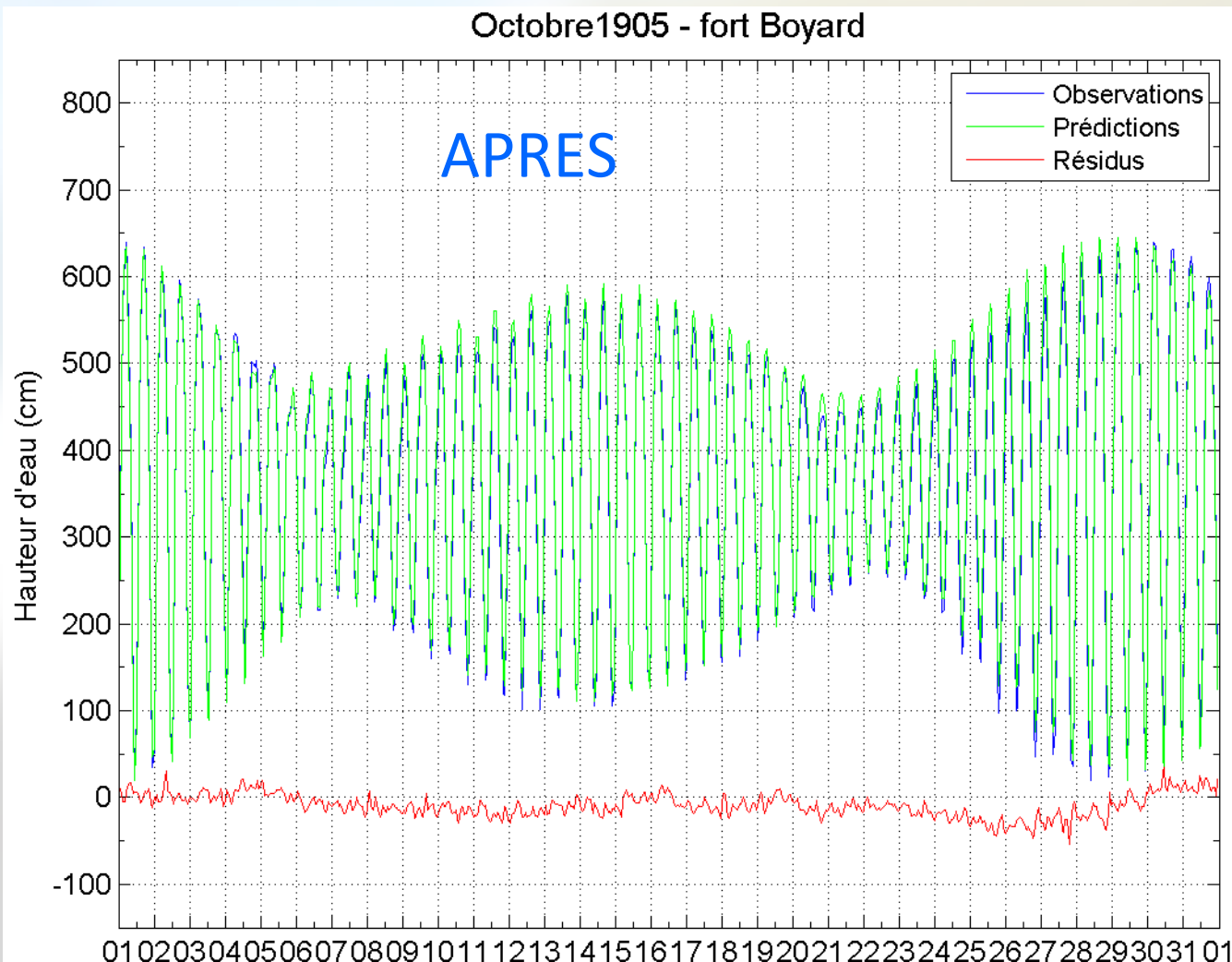
⇒ Problèmes d'horloge nombreux et fréquents :
La Rochelle, Enet, Boyard et La Pallice de 1967 à 1980



1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

Problèmes détectés :

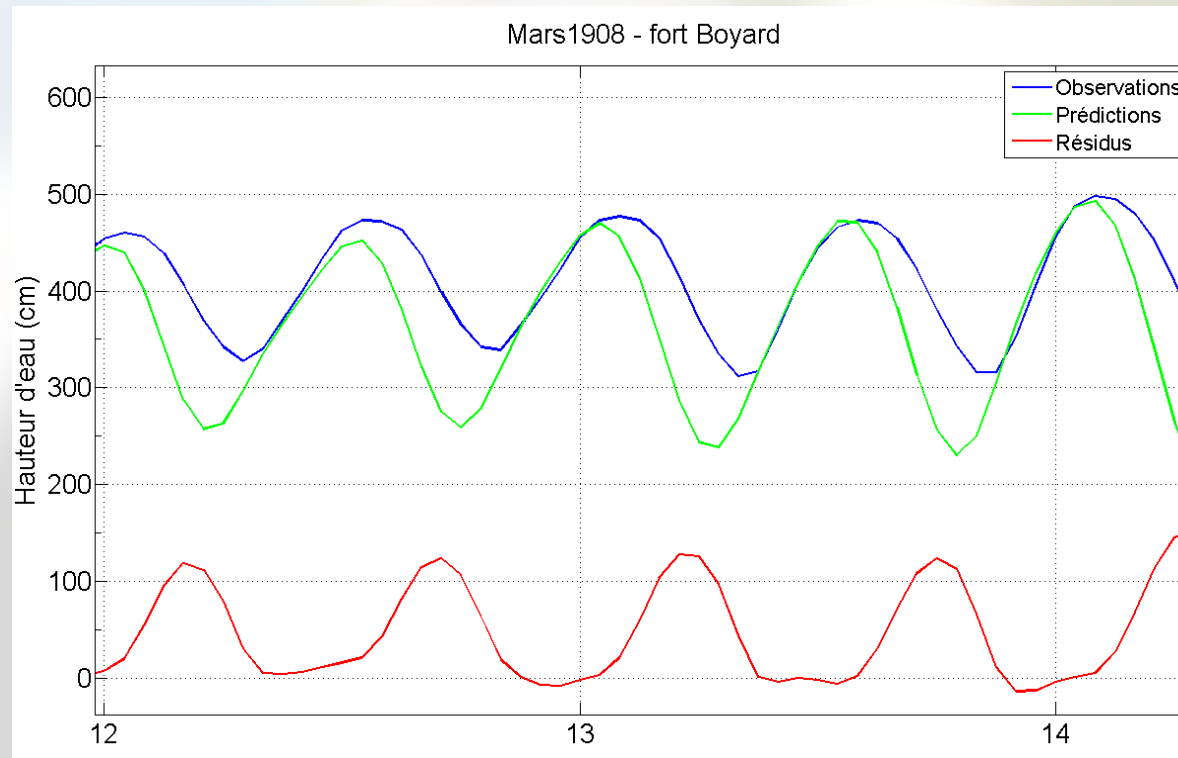
⇒ Problèmes d'horloge nombreux et fréquents :
La Rochelle, Enet, Boyard et La Pallice de 1967 à 1980



1 2 3 4 5 6 - Evaluation qualitative

Problèmes détectés :

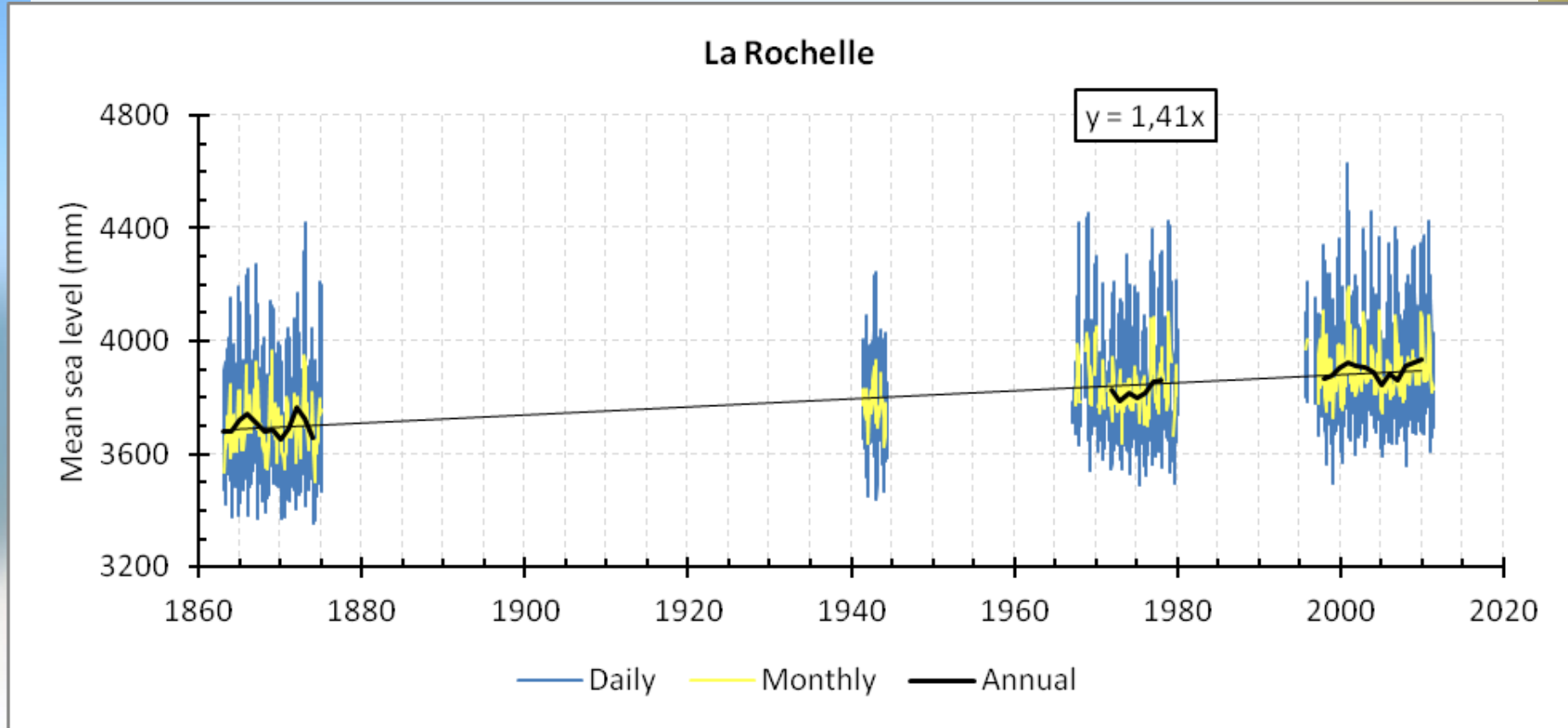
- ⇒ Absence fréquente d'échelles de marée aux forts Enet et Boyard
- ⇒ Puits envasé et en partie démoli de décembre 1907 à mai 1909 au fort Boyard



5. Résultats

1 2 3 4 5 6 - Résultats

Niveau moyen de la mer :



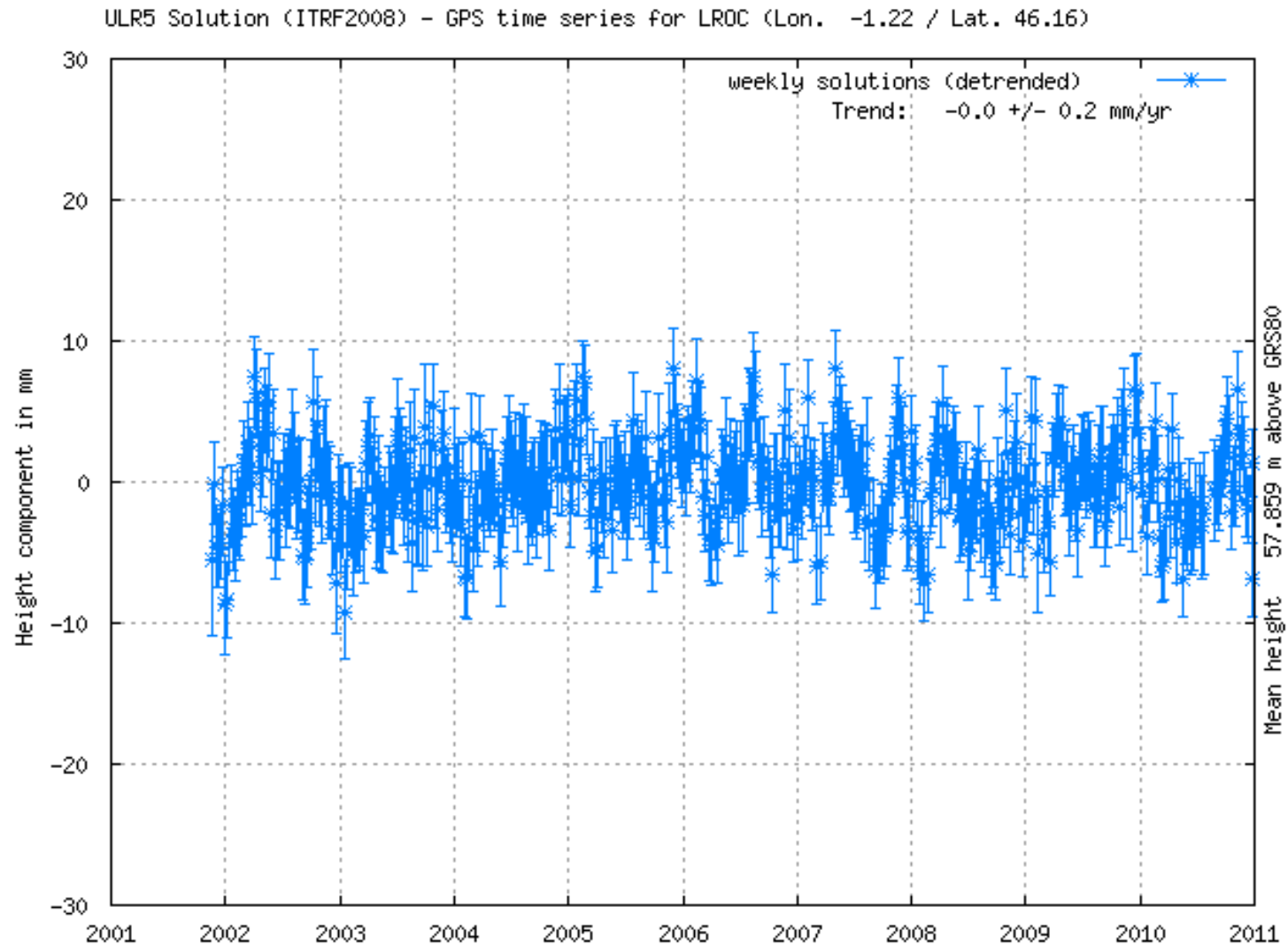
La Rochelle : $+ 1,41 \pm 0,09$ mm/an

1863 - 2011 $\Rightarrow$ Brest : $+1,31 \pm 0,07$ mm/an [Pouvreau, 2008]

Liverpool : $+1,43 \pm 0,14$ mm/an [Woodworth, 1999]

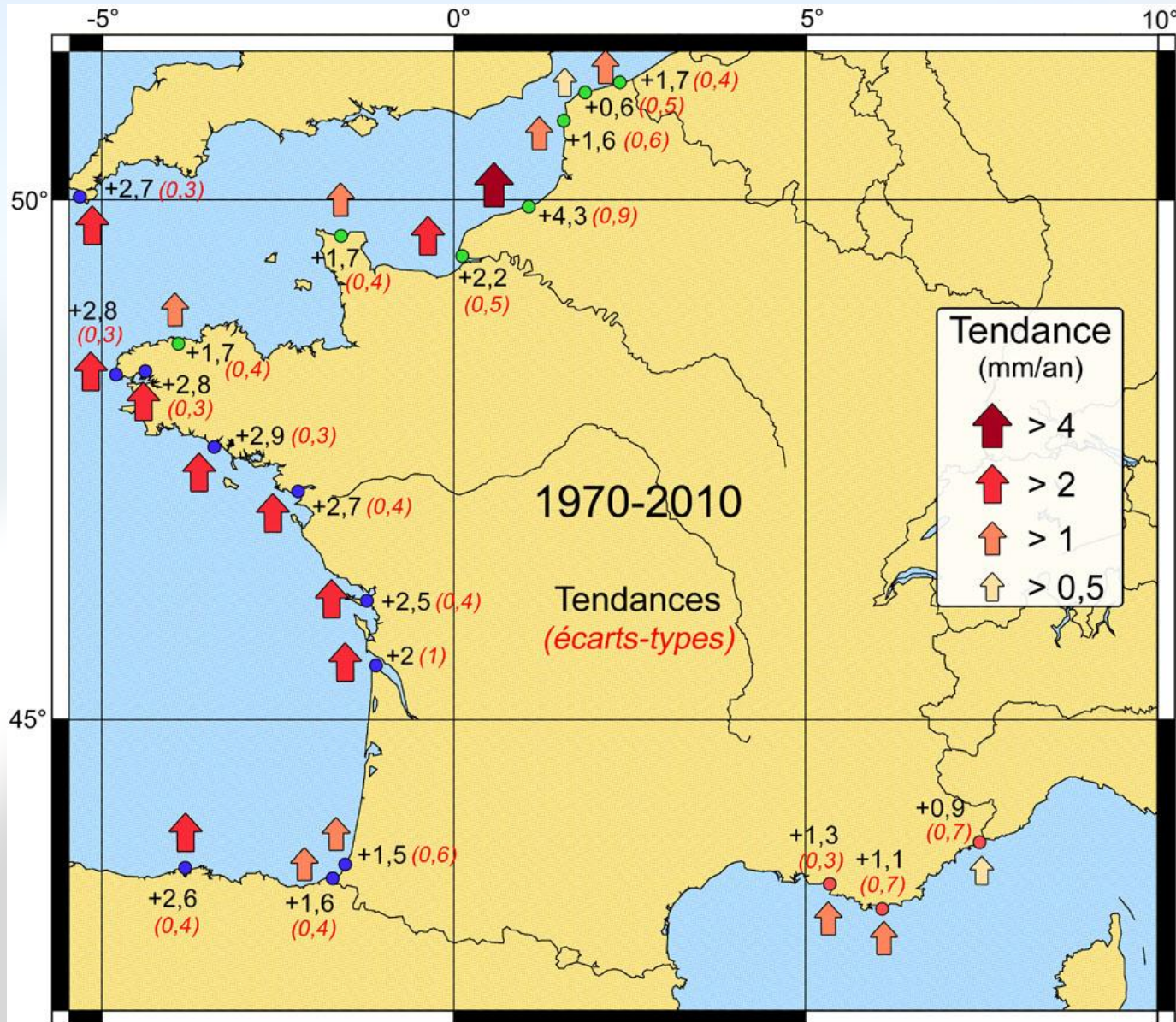
1 2 3 4 5 6 - Résultats

Série temporelle de positionnement par GPS : La Rochelle



1 2 3 4 5 6 - Résultats

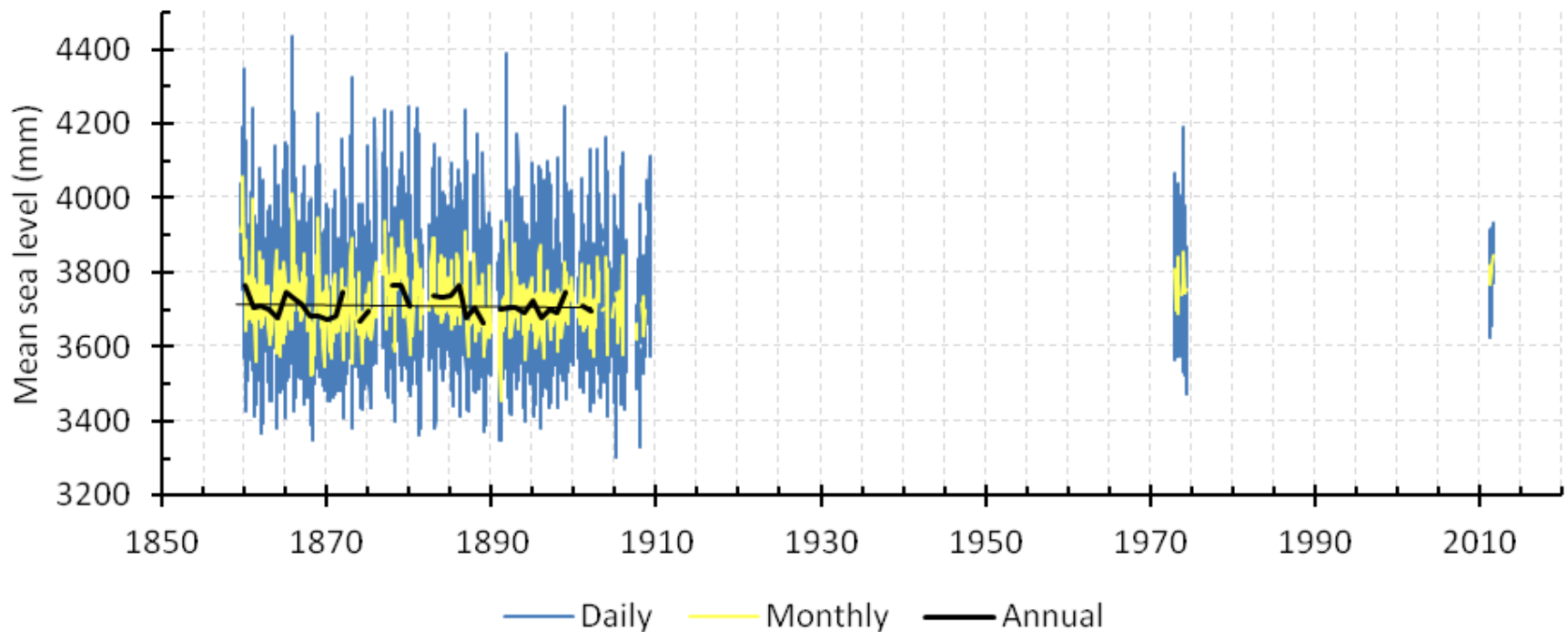
Niveau moyen de la mer :



1 2 3 4 5 6 - Résultats

Niveau moyen de la mer :

Aix-Enet-Boyard



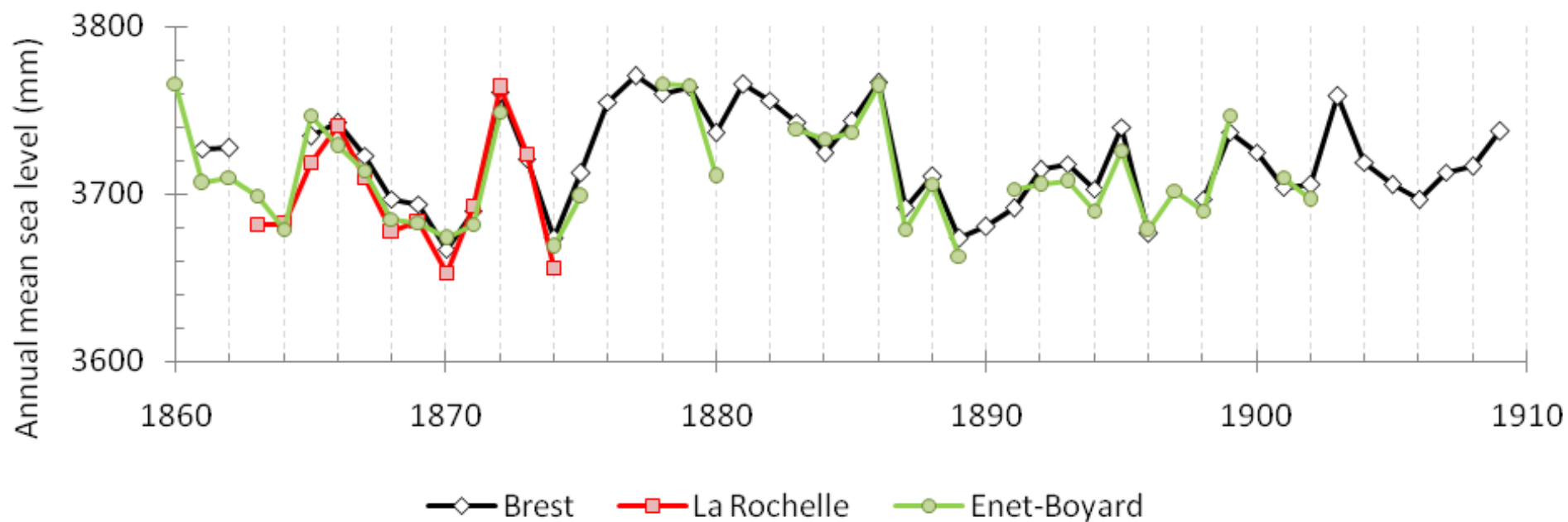
Aix-Enet-Boyard : $-0,2 \pm 0,4$ mm/an

1860 - 1902 $\Rightarrow$ Brest : $-0,4 \quad 0,4$ mm/an [Pouvreau, 2008]

Liverpool : $+0,7 \quad 0,9$ mm/an [Woodworth, 1999]

1 2 3 4 5 6 - Résultats

Niveau moyen de la mer :

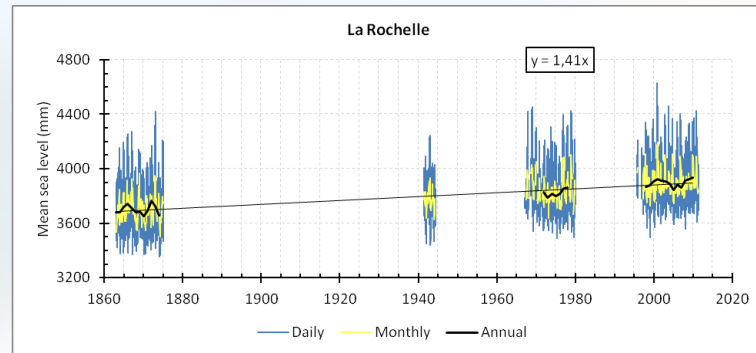


1 2 3 4 5 6 - Résultats

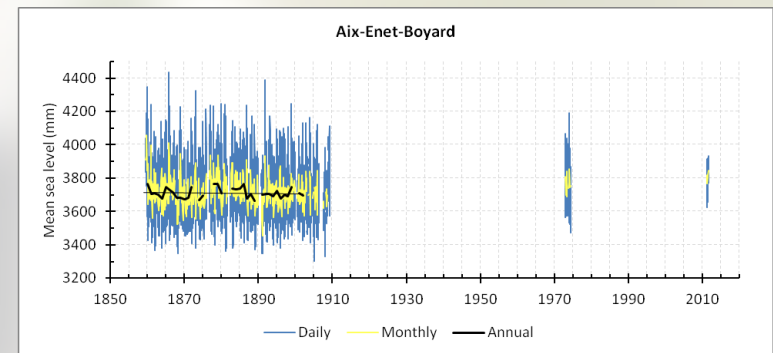
Niveau moyen de la mer :

Série composite du pertuis d'Antioche :

La Rochelle



Aix-Enet-Boyard



+

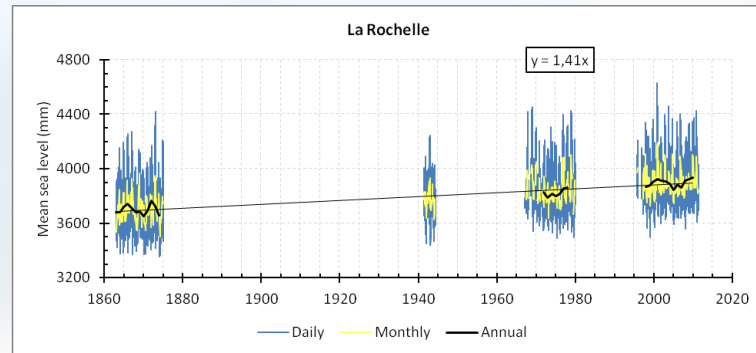
?

1 2 3 4 5 6 - Résultats

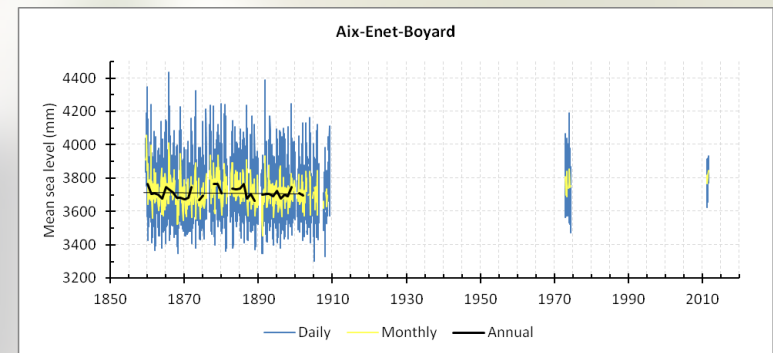
Niveau moyen de la mer :

Série composite du pertuis d'Antioche :

La Rochelle



Aix-Enet-Boyard



+

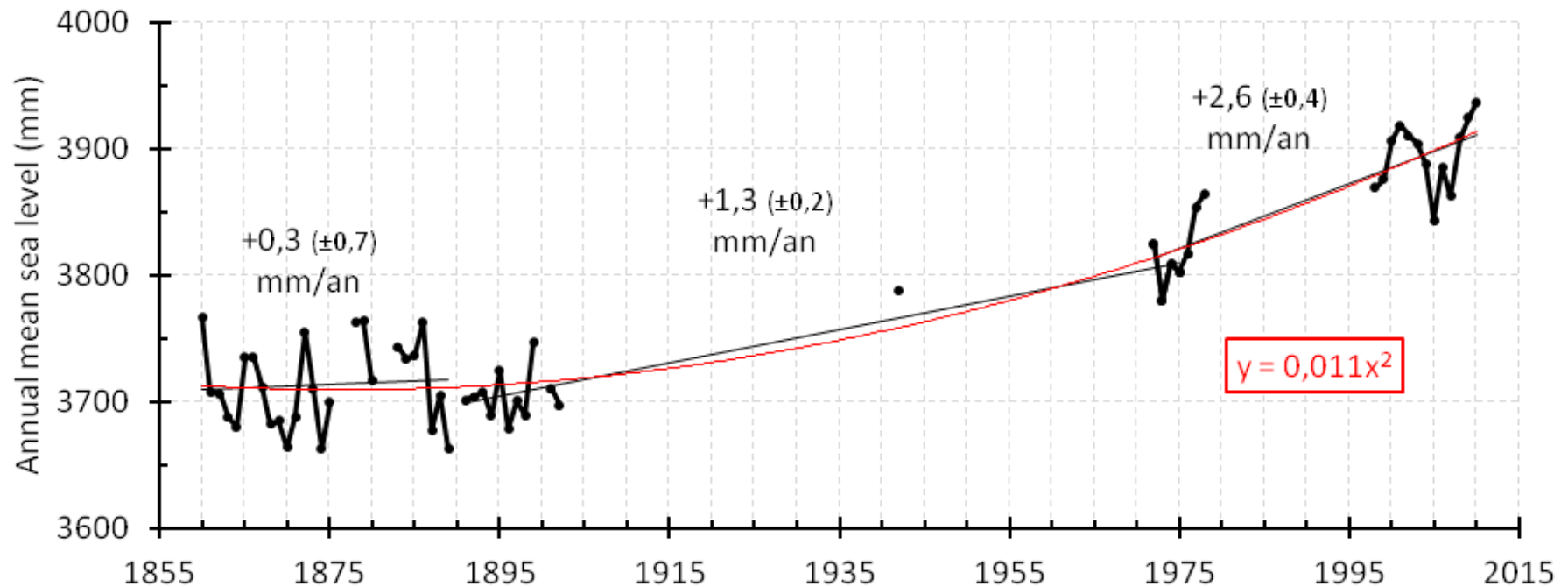
=

⇒ A partir de moyennes mensuelles

1 2 3 4 5 6 - Résultats

Niveau moyen de la mer :

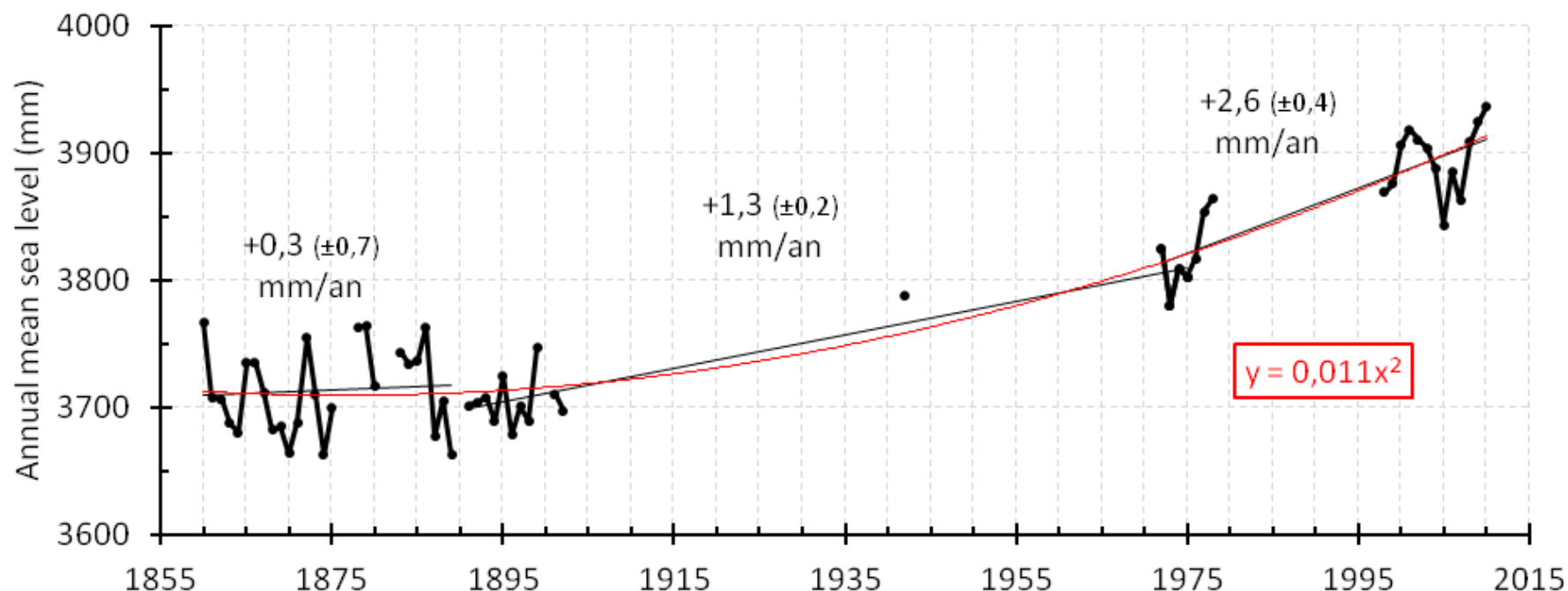
Série composite du puits d'Antioche :



1 2 3 4 5 6 - Résultats

Niveau moyen de la mer :

Série composite du puits d'Antioche :

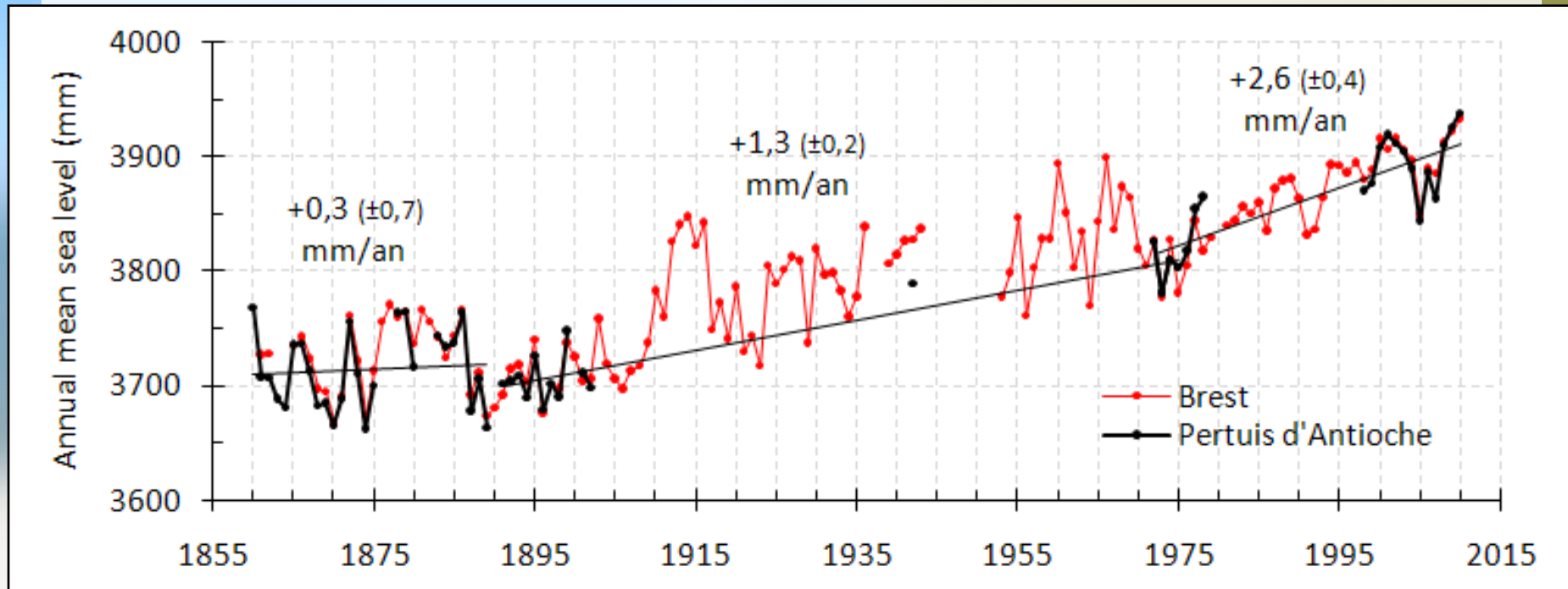


- 1860-1889 : stabilité du niveau marin $\Rightarrow +0,3 \pm 0,7$ mm/an
- 1891-1975 : élévation du niveau marin $\Rightarrow +1,3 \pm 0,2$ mm/an
- 1975-2010 : forte élévation du niveau marin $\Rightarrow +2,6 \pm 0,4$ mm/an

1 2 3 4 **5** 6 - Résultats

Niveau moyen de la mer :

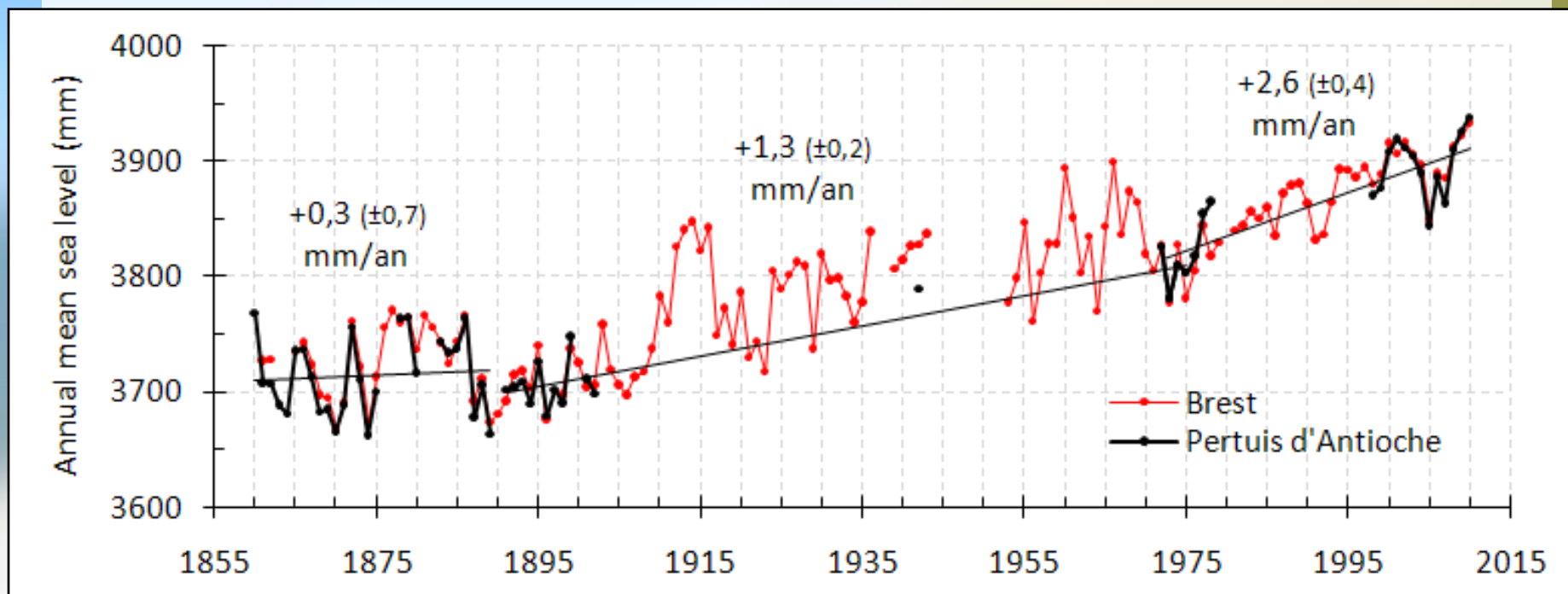
Série composite du pertuis d'Antioche :



1 2 3 4 5 6 - Résultats

Niveau moyen de la mer :

Série composite du pertuis d'Antioche :

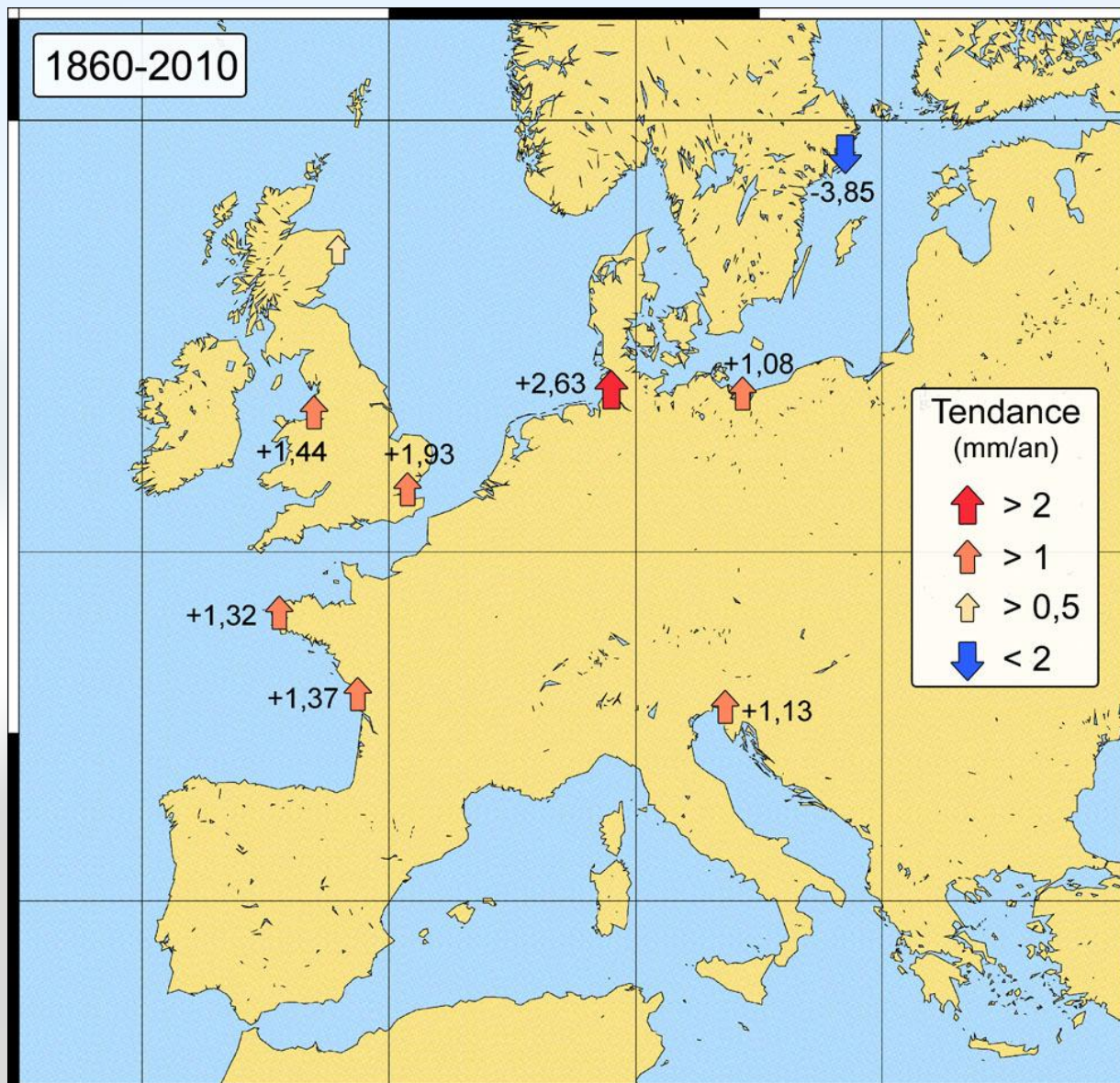


Brest [Pouvreau, 2008] :

- 1860-1889 $\Rightarrow +0,49 \pm 0,15$ mm/an
- 1891-1975 $\Rightarrow +1,28 \pm 0,15$ mm/an
- 1975-2010 $\Rightarrow +2,81 \pm 0,53$ mm/an

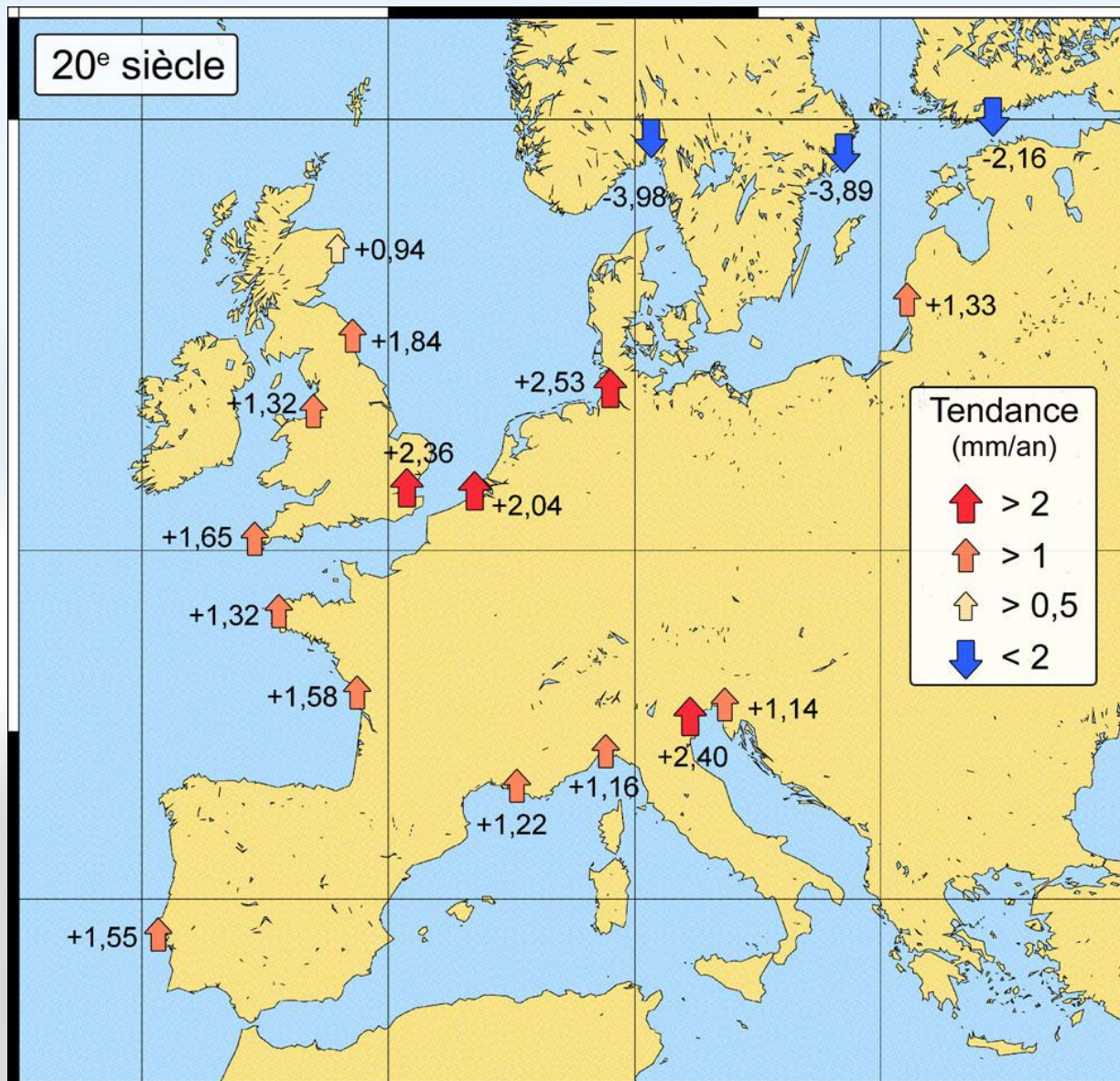
1 2 3 4 5 6 - Résultats

Niveau moyen de la mer : Série composite du pertuis d'Antioche



1 2 3 4 5 6 - Résultats

Niveau moyen de la mer : Série composite du pertuis d'Antioche



Surcotes et submersions historiques :

Extraits d'un journal à propos d'une submersion marine :

« Dans la nuit de dimanche à lundi une violente tempête s'est déchaînée sur nos côtes. La marée était une des plus fortes de l'année. La mer est passée par-dessus les quais, entraînant tout ce qui y était déposé (...) L'eau a pénétré dans les bureaux du port à une hauteur de 20 centimètres. A la Concurrence, le ciment des quais a été enlevé (...) Aux Minimés, plusieurs maisons ont été inondées (...) La digue de Châtelailon a été démolie (...) A Aytré, la ligne du chemin de fer a été coupée (...) A Fouras, Saint-Laurent-de-la-Prée et Yves, les prés sont, en certains endroits, couverts de plus d'un mètre d'eau salée. Les digues ont été rompues en divers endroits (...) »

Surcotes et submersions historiques :

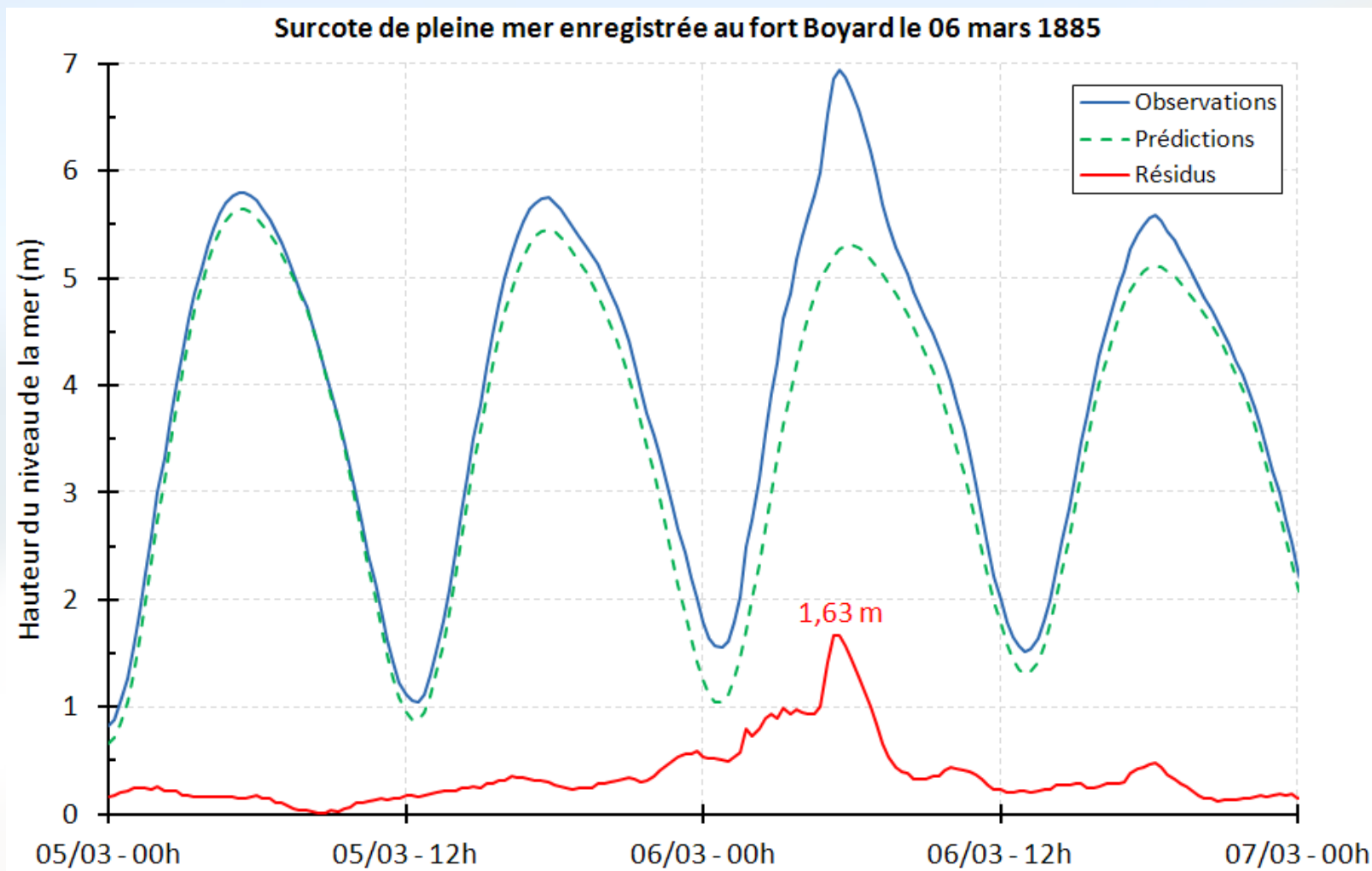
Extraits d'un journal à propos d'une submersion marine :

« Dans la nuit de dimanche à lundi une violente tempête s'est déchaînée sur nos côtes. La marée était une des plus fortes de l'année. La mer est passée par-dessus les quais, entraînant tout ce qui y était déposé (...) L'eau a pénétré dans les bureaux du port à une hauteur de 20 centimètres. A la Concurrence, le ciment des quais a été enlevé (...) Aux Minimes, plusieurs maisons ont été inondées (...) La digue de Châtelailon a été démolie (...) A Aytré, la ligne du chemin de fer a été coupée (...) A Fouras, Saint-Laurent-de-la-Prée et Yves, les prés sont, en certains endroits, couverts de plus d'un mètre d'eau salée. Les digues ont été rompues en divers endroits (...) »

**« Le Courrier de La Rochelle »,
À propos de la submersion du 11 février 1895**

Surcote de pleine mer de 1,17m, vers 4h30 du matin

Surcotes et submersions historiques :



Collaboration avec Marie Dussier, historienne de l'aménagement du littoral

6. Conclusion

1 2 3 4 5 **6 - Conclusion**

- ⇒ 3 nouvelles séries de pression atmosphérique
- ⇒ 3 nouvelles séries du niveau marin et 1 série composite du pertuis d'Antioche
- ⇒ Diffusion de données haute fréquence à l'ensemble de la communauté scientifique en annexe électronique et sur internet (REFMAR, ...)
- ⇒ Séries recomposées globalement de bonne qualité
 - Enet-Boyard (1859-1909): 1.2%, soit 4640 valeurs retirées
 - La Rochelle (1824) : 3.6%, soit 53 valeurs

1 2 3 4 5 **6 - Conclusion**

- ⇒ Élévation du niveau marin estimée à $+1,37 \pm 0,08$ mm/an dans le Pertuis d'Antioche entre 1860 et 2010
- ⇒ Exploration des données haute fréquence pour caractériser l'asymétrie tidale et évaluer l'évolution à long terme des composantes harmoniques de la marée
- ⇒ Installation d'un nouvel observatoire à l'île d'Aix :
 - série Aix-Enet-Boyard de bonne qualité
 - repères anciens existent toujours
- ⇒ *possibilité de redémarrer la série (1824 - auj.)*

1 2 3 4 5 **6 - Conclusion**

île d'Aix

2011 : installation d'un nouvel observatoire du niveau marin ...



... environ 190 ans après les premières mesures

1 2 3 4 5 **6 - Conclusion**

île d'Aix

2011 : installation d'un nouvel observatoire du niveau marin



Remerciements

Directeur de thèse

Guy Wöppelmann

Financement

Conseil Général de 
la
Charente
Maritime

EUMETSAT-CNES

Partenaires - Collaborateurs



- Dominique Droin et les propriétaires du fort Enet
- Service des Phares et Balises (Gironde)
- SPC-LA de la DDTM (La Rochelle)
- ...

Evolution des composantes du niveau marin à partir d'observations de marégraphie depuis la fin du 18^e siècle en Charente-Maritime

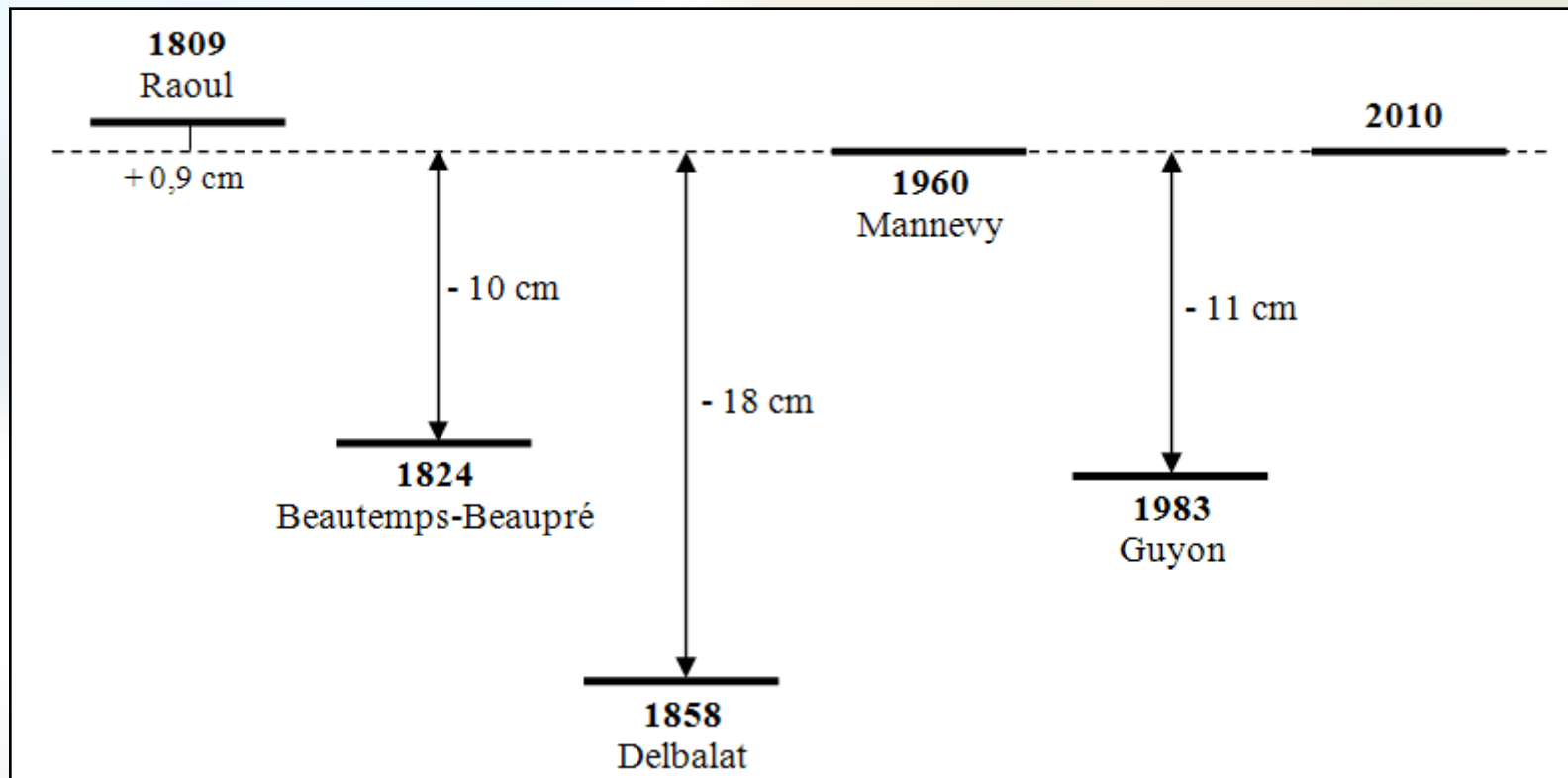
Thomas Gouriou

Soutenance de thèse de doctorat
La Rochelle - 26 mars 2012



Construction de séries

3. Références verticales différentes



Zéro hydrographique de l'Île d'Aix