

Observations marégraphiques : Contexte, technologie et exemples appliqués

Jérôme Aucan, IRD, LEGOS, Centre IRD de Nouméa, Nouvelle Calédonie

Journées REFMAR
Réseaux de références des observations marégraphiques

2 - 4 février 2016

Colloque francophone

PARIS2015
CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
COP21-CMP11

Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

Commission océanographique internationale

Logos of partner organizations: BRGM, SONEL, SHOM, and various French government departments.

SHOM
L'océan à la carte

Plan

- Définitions ...
- Contexte et institutions internationales, et nationales.
- Les différents capteurs utilisés pour les observations marégraphiques.
- Les phénomènes observables grâce aux observations marégraphiques.

Journées REFMAR
Réseaux de références des observations marégraphiques

2 - 4 février 2016

Colloque francophone

PARIS2015
CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
COP21-CMP11

Organisation des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture

Commission océanographique
intégrée francophone

Logos of partner organizations: BRGM, SONEL, SHOM, and various French government departments.

Quelques définitions

- Marée (Marée astronomique, ou océanique) : Mouvement alternatif, périodique du niveau de la mer, dû à l'attraction de la lune et du soleil.
- Marégraphie : La marée océanique côtière (B. Simon, 2007) : « *Par son étymologie, le terme 'marégraphie' se rapporte à la description du phénomène de marée et aux instruments qui, par leurs mesures, en ont permis une meilleure connaissance* »
- Marégraphe (Larousse) : « *Appareil enregistrant automatiquement les variations du niveau de la mer en un point donné ...* »
- **La marégraphie mérite-t-elle donc une extension aux autres phénomènes qui affectent aussi la grandeur mesurée par les marégraphes ?**

Journées
REFMAR
Réseaux de références des observations marégraphiques

2 - 4 février 2016

Colloque francophone

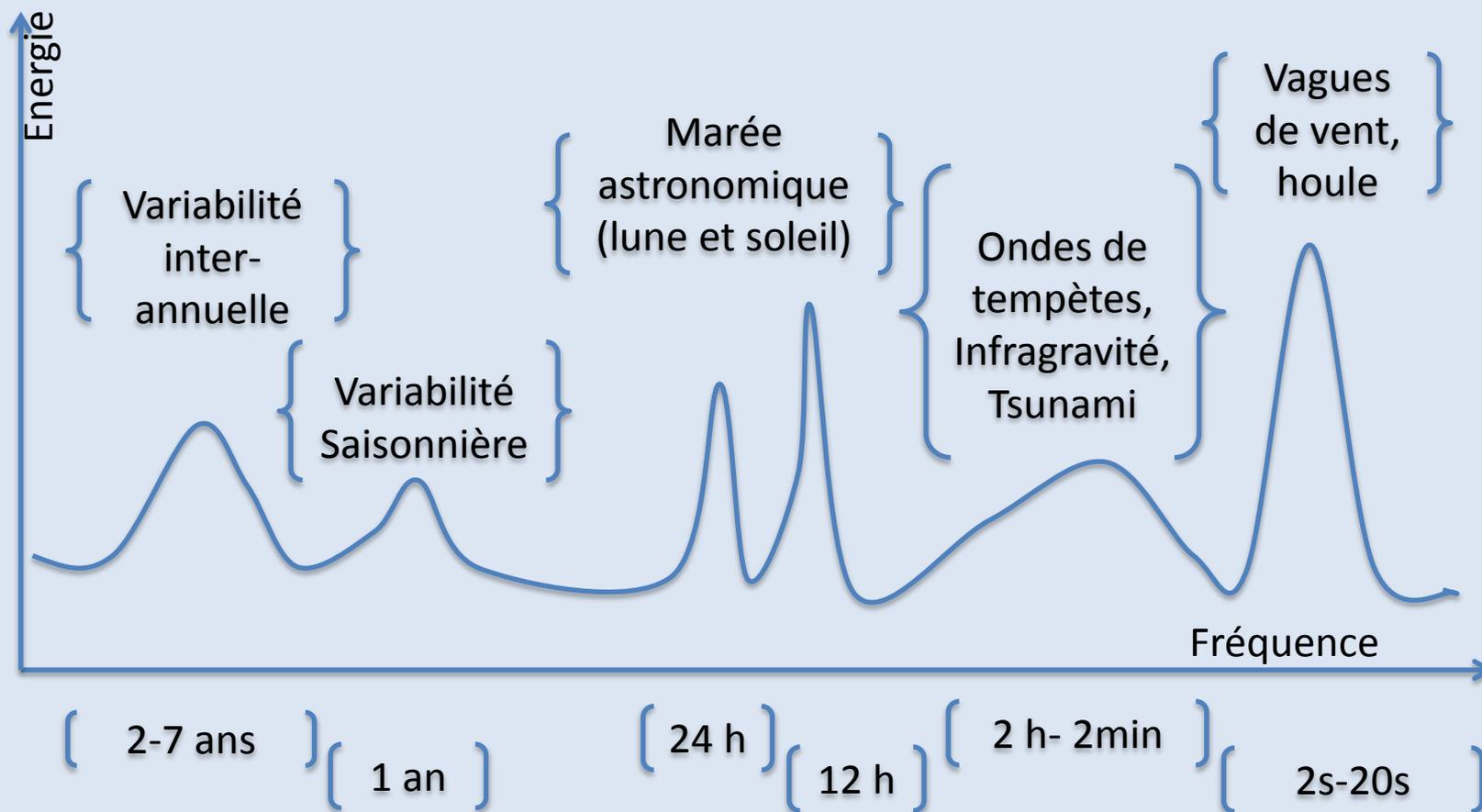
PARIS2015
CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
COP21-CMP11

Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture

Commission
océanographique
internationale

Logos: BRGM, SONEL, SHOM, and various national government logos.

Les phénomènes observables, étudiables ou prédictibles grâce aux observations marégraphiques :



Institutions internationales

- GLOSS : Global Sea Level Observing System. (*Programme International de coordination des observations marégraphiques, 1990*).
- JCOMM : Joint Commission for Oceanography and Marine Meteorology. (*Commission conjointe de l'OMM et de la COI, 1999*).
- IOC (COI) : International Oceanographic Commission/*Commission Océanographique Internationale de l'UNESCO (1960)*.
- WMO (OMM) : World Meteorological Organization/*Organisation mondiale de la météorologie (1950)*.



Organismes Internationaux de coordinations



Organismes fournisseurs de données



Au total : 146
fournisseurs de
données...

GLOSS Data Assembly Centers (DACs) :
Centre d'assemblage des données



Monthly Averages DAC
(moyennes mensuelles et
annuelles qualifiées)



Fast Data Delivery DAC
(moyennes horaires qualifiées)



Fast Data Delivery DAC
(moyennes horaires qualifiées)

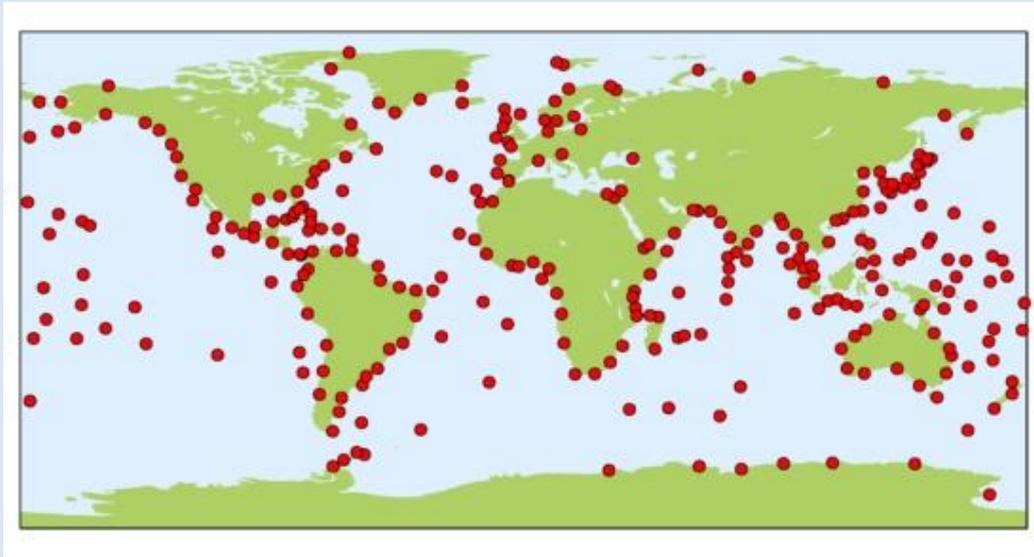


GNSS (GPS) DAC
(mouvements verticaux)

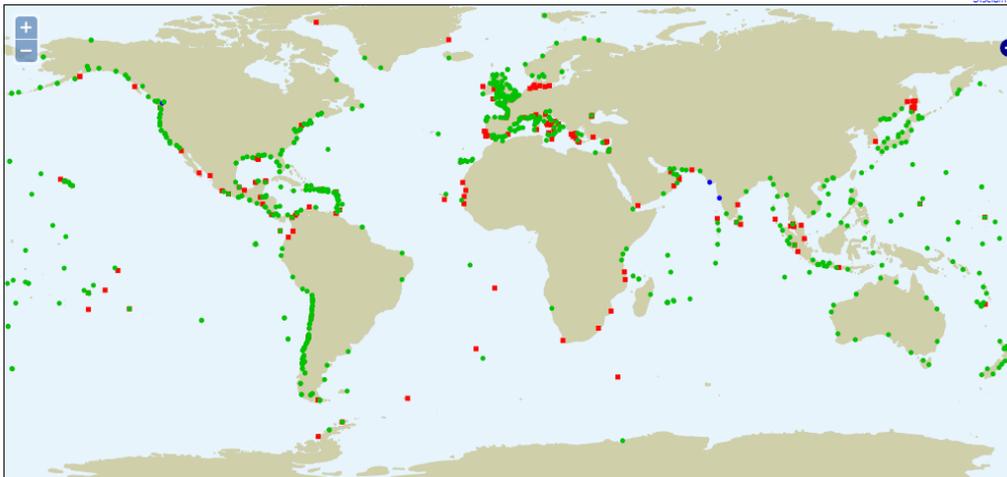


VLIZ : IOC sea-Level
monitoring
(données brutes haute
fréquence)

Réseaux internationaux



Réseau fondamental GLOSS
(*core network*) :
261 stations actives (12/15)



Stations haute
fréquence (VLIZ/IOC) :
828 stations actives
(12/15)

Institutions françaises:



- SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. Référent national observations du niveau de la mer.
- REFMAR : Réseau de Référence des observations marégraphiques.
- SONEL : Système d'Observation des variations du Niveau de la mer à Long terme (anciennement : Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales)



Réseaux français (fondamental) :

- RONIM : Réseau d'Observatoires du Niveau des Mers.
- ROSAME Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la MER : <http://www.legos.obs-mip.fr/observations/rosame/>),



Le SHOM

Le SHOM a pour mission de connaître et décrire l'environnement physique marin et d'en prévoir l'évolution.

Il constitue les bases de données maritimes de référence sur la profondeur des fonds marins, le niveau de la mer, les courants, la nature des fonds, les épaves,...

Le SHOM est l'héritier du premier service hydrographique officiel au monde, qui avait été créé en 1720 [au début du règne](#) de [Louis XV](#).

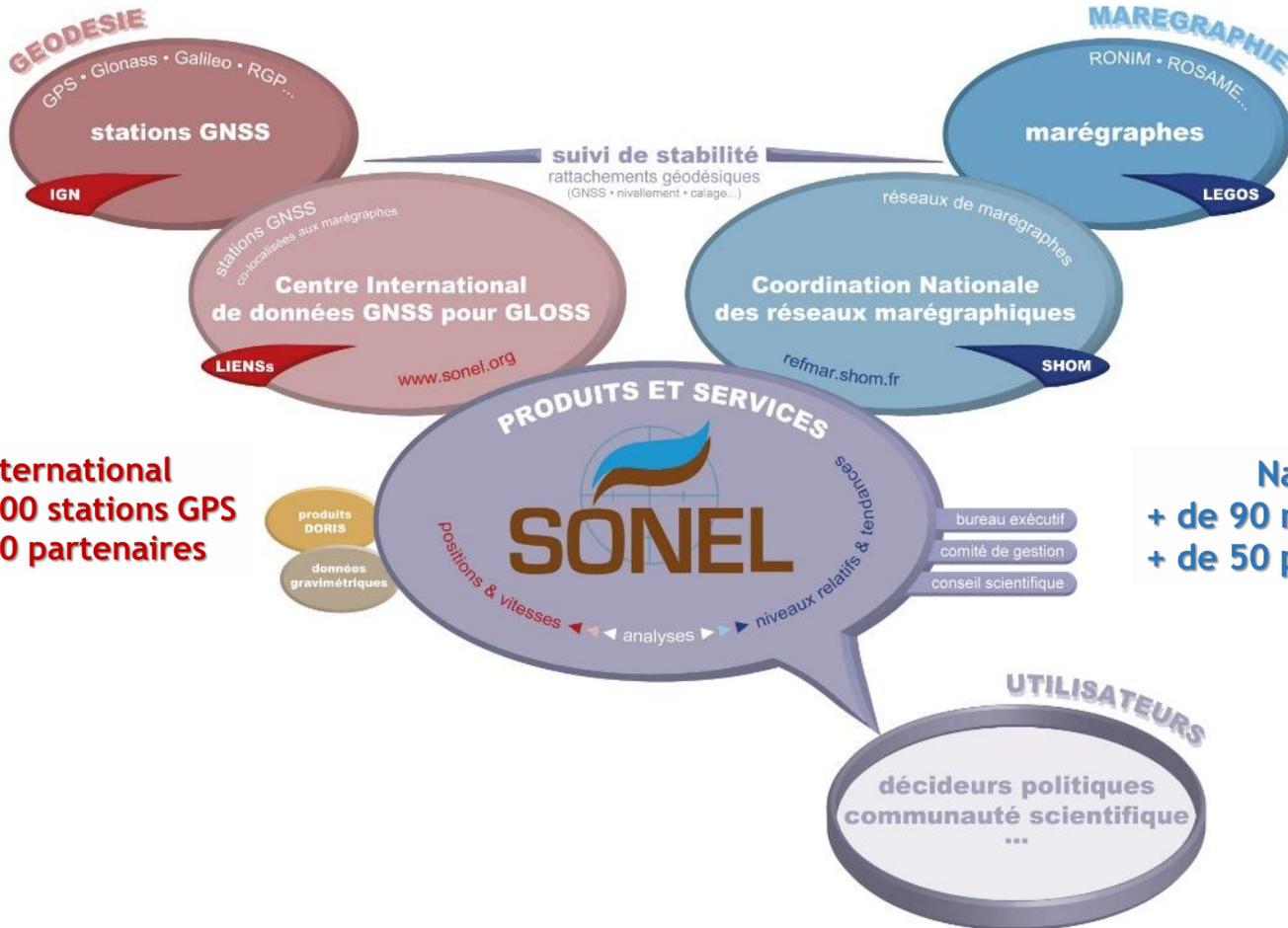
- 1720 : Création du « [Dépôt des cartes et plans de la Marine](#) ».
- 1886 : Création du « Service hydrographique de la Marine ».
- 1971 : Création du « Service hydrographique et océanographique de la Marine ».
- 2007 : Création de l'[établissement public administratif](#) (EPA) sous tutelle du ministère de la défense, qui conserve le nom de « Service hydrographique et océanographique de la Marine ».
- 2010 : Référent national niveau de la mer par instruction ministérielle



REFMAR

- Première observations systématiques du niveau de la mer à Brest en 1679
- Mise en place du premier réseau marégraphique français par le SHOM sous l'impulsion de l'Ingénieur hydrographe Chazallon au milieu du XIXème siècle
- Le SHOM a ainsi débuté la mise en place d'un réseau marégraphique numérique national baptisé RONIM en 1992. (42 stations).
- Le SHOM référent national pour l'observation in situ de l'observation du niveau de la mer et la diffusion des données : Création de REFMAR afin de répondre aux objectifs fixée dans l'Instruction du Premier Ministre (n0863/SGMER du 20 avril 2010)
- <http://refmar.shom.fr> et diffusion des mesures de hauteurs d'eau sur <http://data.shom.fr/#donnees/refmar>

SONEL: Un système de systèmes



International
+ de 700 stations GPS
+ de 60 partenaires

National
+ de 90 marégraphes
+ de 50 partenaires

Décrire et comprendre les variations du niveau de la mer (in situ)
2 observables : Le niveau marin et les mouvements de la croûte terrestre
2 types d'instruments : Marégraphes et GPS





Historique de SONEL

- **2001** : Proposition de créer un centre de données marégraphiques (accord de l'IGN et du SHOM)
- **2003** : 1^{ères} obs. horaires diffusées sur internet (2^{ème} pays en Europe)
- **2007** : 1^{er} Champ de vitesses GPS précises aux marégraphes publiées
- **2010** : Demande du programme mondial GLOSS de la COI/Unesco
 - SONEL → GLOSS Data Assembly Center for GPS@TG
- **2011** :
 - Labellisation SO de l'**INSU**
 - Labellisation SOERE d'**AlIEnvi**
 - Mesure phare du **PNACC**
 - Adoption de SONEL par le groupe d'experts **GLOSS (COI/Unesco)**
- **2014** :
 - Convention membres fondateurs (CNRS, IGN, SHOM, ULR, UPS)
- **2015** : Renouvellement pour 5 ans des labellisations SO et SOERE

Les observations Marégraphiques :
Observer (et archiver) le niveau de la
mer

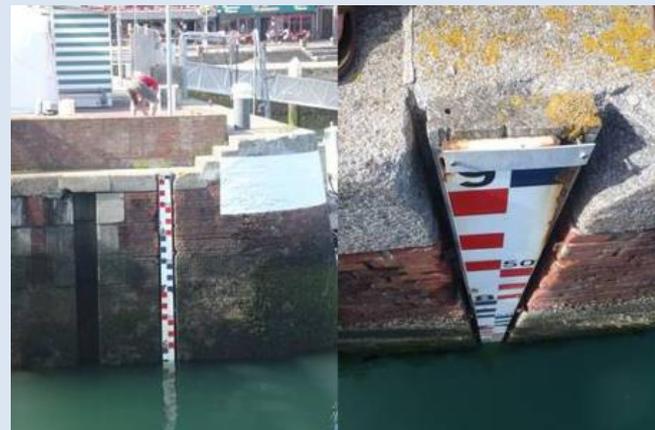
Les observations Marégraphiques

- **Le nilomètre :**
l'ancêtre de l'échelle de marée
- Mis en place en Egypte dès le **4^{ème} siècle avant JC.**
- Echelle(s) graduée(s) qui permettait de quantifier la hauteur de crue du Nil.



Les observations Marégraphiques

- **L'échelle de marée** : La lecture directe du niveau de la mer sur l'échelle de marée est à la source des premières données marégraphiques. Parmi les plus anciennes connues, figurent celles de Brest dès **1679**.

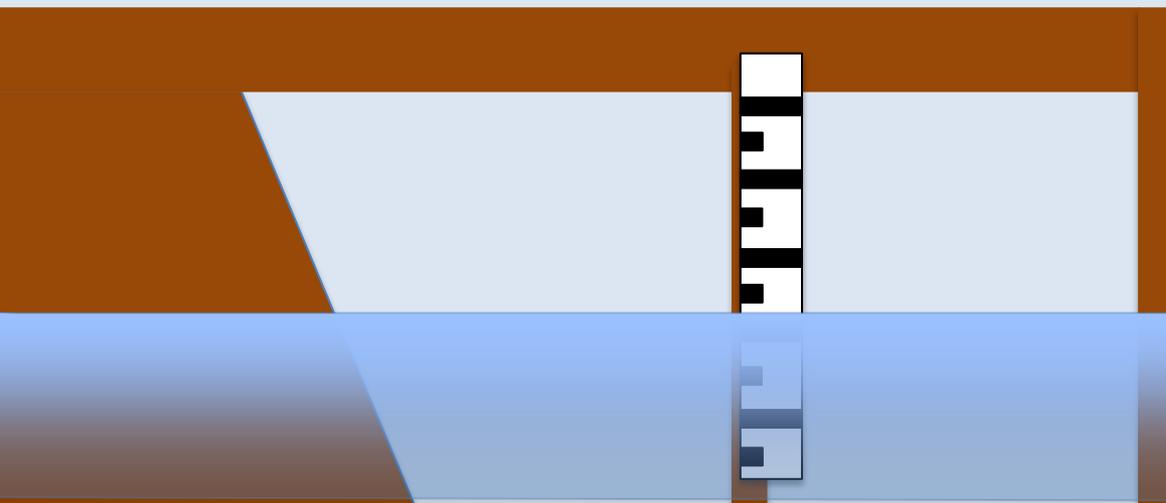


Observations des Marées faites à *Noumea*
 le *5 Janvier (Fêtes)* 19*35* (— jour de la Lune).

HEURES	HAUTEUR		VENTS	LAME	DIR.	MÉTÈRES	HAUTEUR		VENTS	LAME
	MOYENNE	EXTRÊME					MOYENNE	EXTRÊME		
00 ⁰⁴	0 ^m 77	1 ^m 52				8 ⁰⁴	0 ^m 74	1 ^m 52		
15	0 ^m 81	1 ^m 52				15	0 ^m 73	1 ^m 52		
30	0 ^m 82	1 ^m 52				30	0 ^m 77	1 ^m 52		
45	0 ^m 77	1 ^m 52				45	0 ^m 81	1 ^m 52		
15 ⁰⁴	0 ^m 75	1 ^m 52				5 ⁰⁴	0 ^m 85	1 ^m 52		
15	0 ^m 70	1 ^m 52				15	0 ^m 90	1 ^m 52		
30	0 ^m 68	1 ^m 52				30	0 ^m 92	1 ^m 52		
45	0 ^m 60	1 ^m 52				45	1 ^m 02	1 ^m 52		
5 ⁰⁴	0 ^m 60	1 ^m 52				5 ⁰⁴	1 ^m 10	1 ^m 52		
15	0 ^m 60	1 ^m 52				15	1 ^m 16	1 ^m 52		
30	0 ^m 60	1 ^m 52				30	1 ^m 22	1 ^m 52		
45	0 ^m 60	1 ^m 52				45	1 ^m 26	1 ^m 52		
5 ⁰⁴	0 ^m 60	1 ^m 52				7 ⁰⁴	1 ^m 30	1 ^m 52		
15	0 ^m 60	1 ^m 52				15	1 ^m 32	1 ^m 52		
30	0 ^m 67	1 ^m 52				30	1 ^m 35	1 ^m 52		
45	0 ^m 69	1 ^m 52				45	1 ^m 37	1 ^m 52		

Heure qui marque la marée à ——— h ——— m ——— s

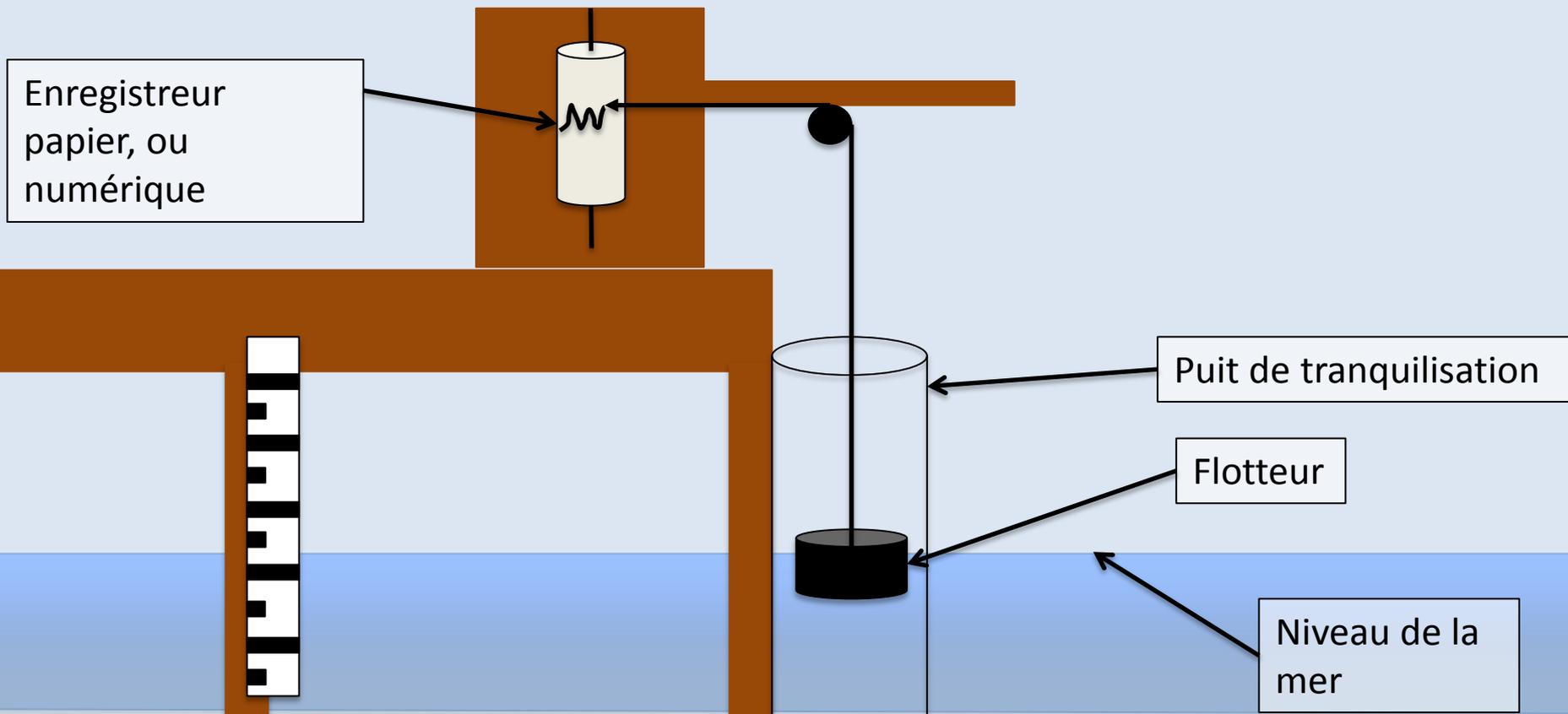
Classement des heures: Heures. Heures. Heures.



Niveau de la mer

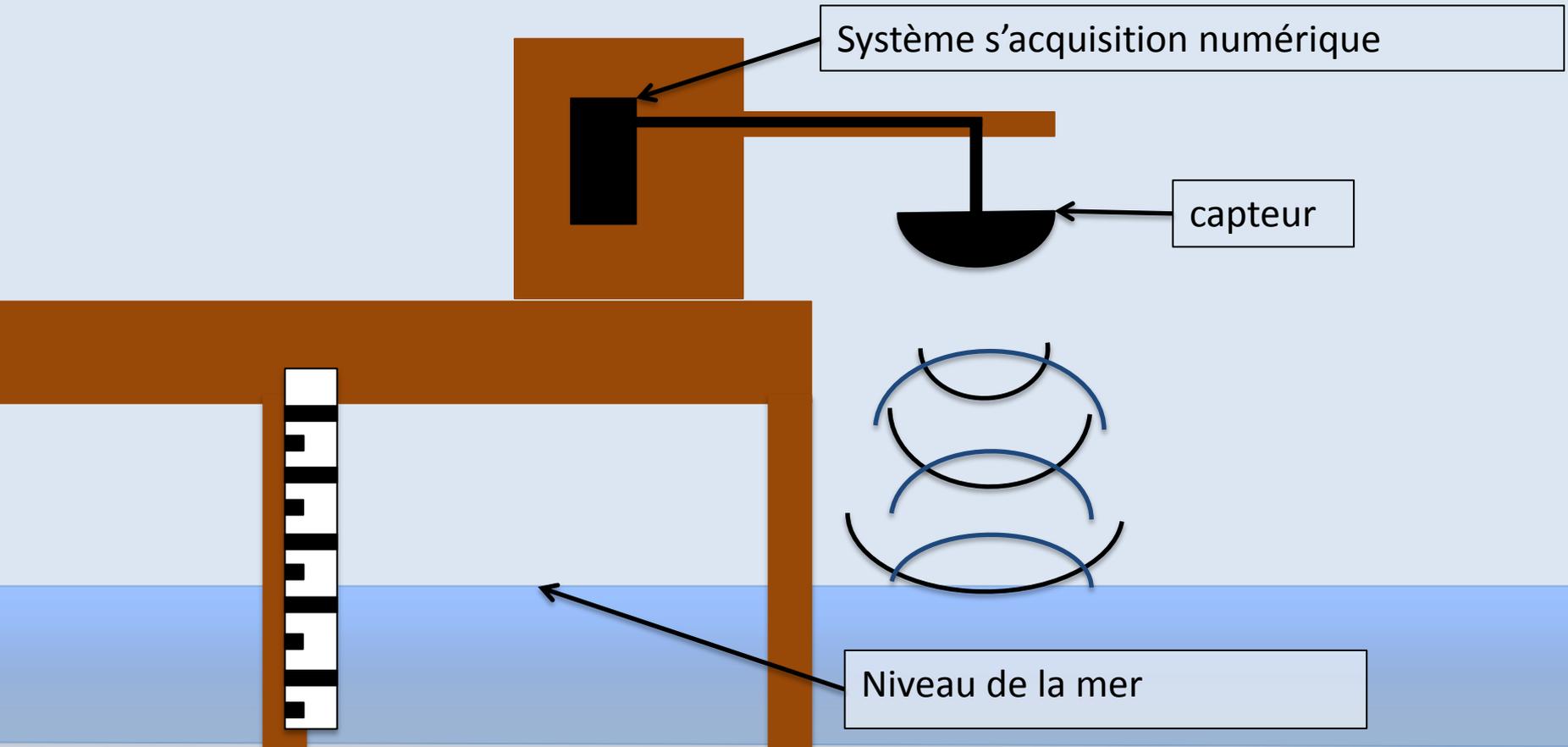
Capteur marégraphique à flotteur

Premier système automatique, utilisé depuis ~**1850** (Le Marégraphe)
Progressivement abandonné depuis **1990** à cause d'erreurs systématiques engendrés par la mécanique.

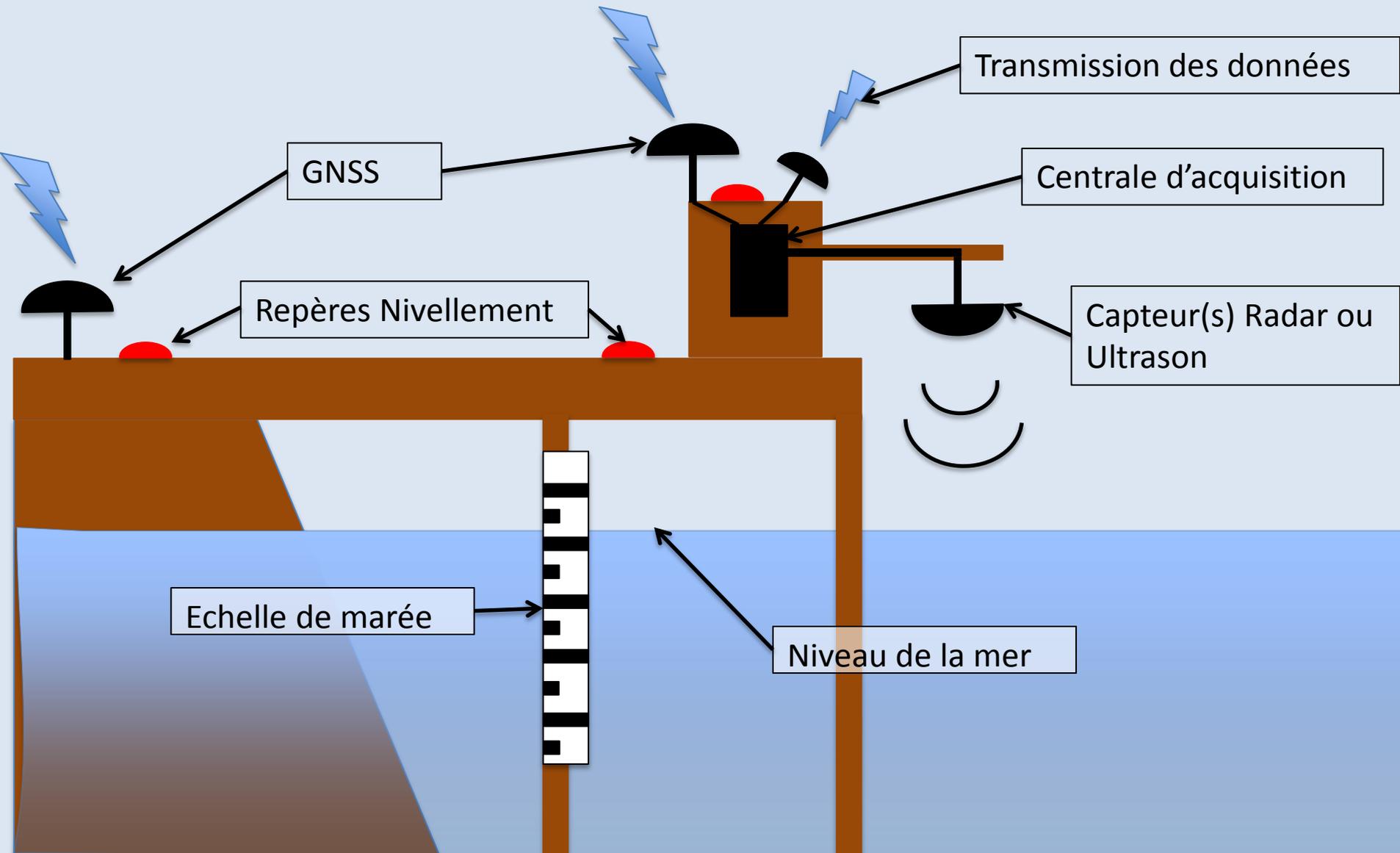


Capteur marégraphique numérique à ultrason ou radar

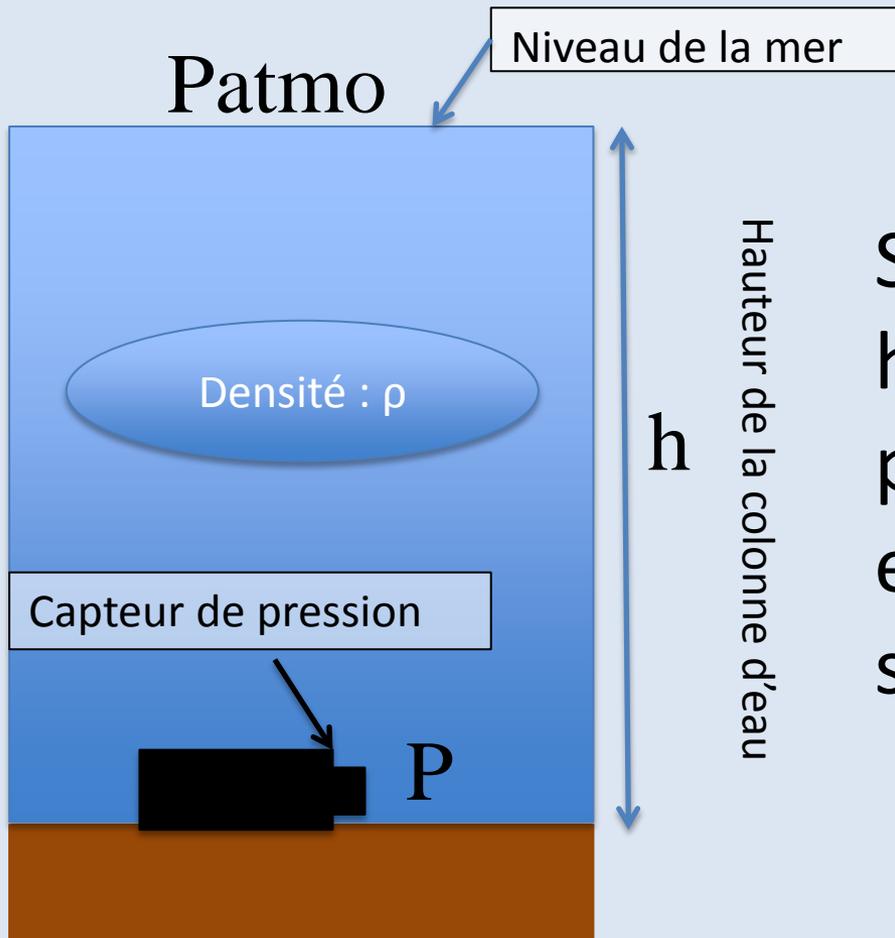
Equipement standard des Marégraphes Cotiers Numériques (MCN) depuis **1990**.
Installation cotière : ports, estuaires, zone de faibles fonds.



Observatoire marégraphique côtier idéal



Capteur marégraphique à pression

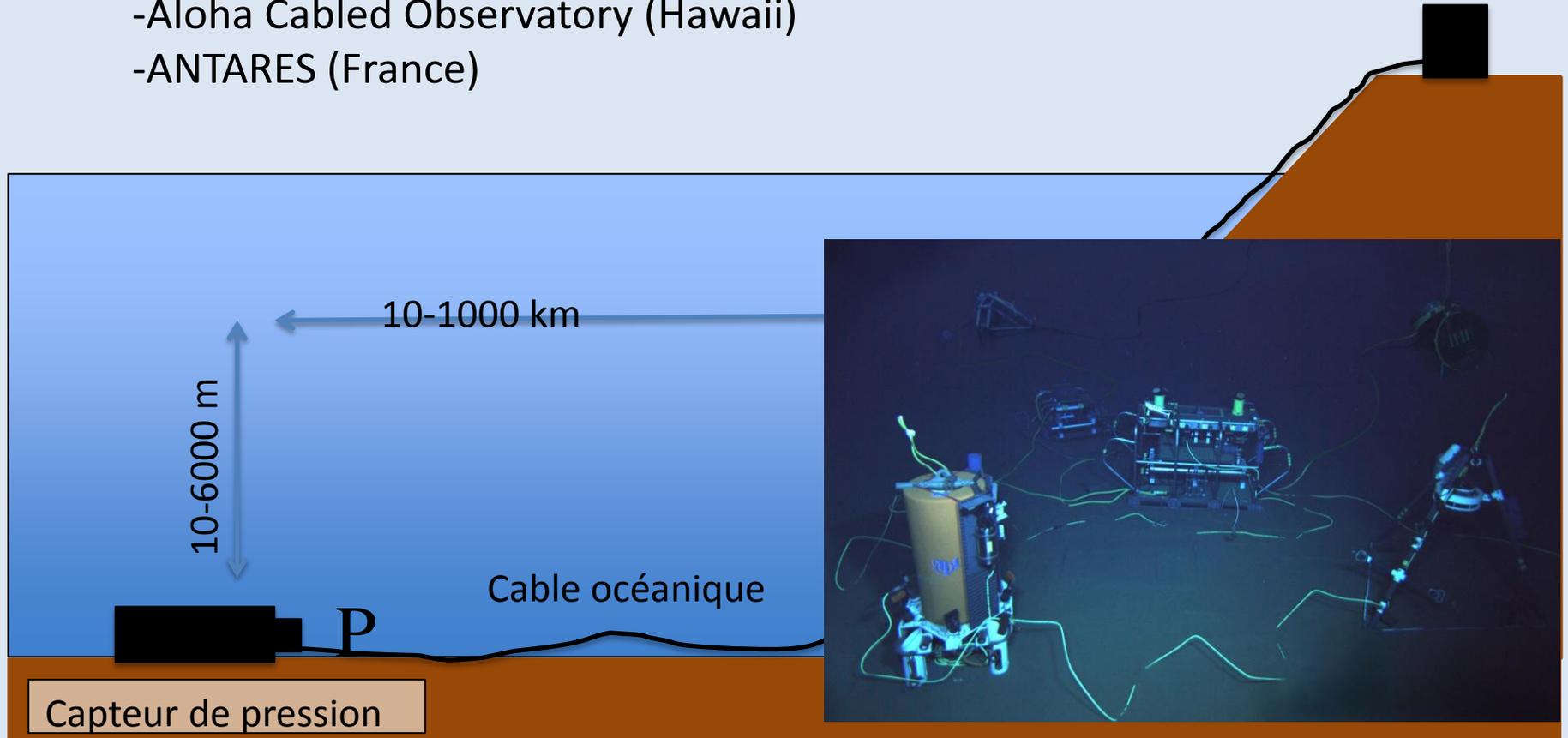


Systeme Utilisé en côtier ou hauturier, qui mesure la pression ambiante P et estime la hauteur d'eau h selon : $P = P_{atmo} + \rho gh$

Capteur marégraphique à pression : sur câble dédié

Utilisé dans les MCN , et dans les observatoires cablés grand-fond :

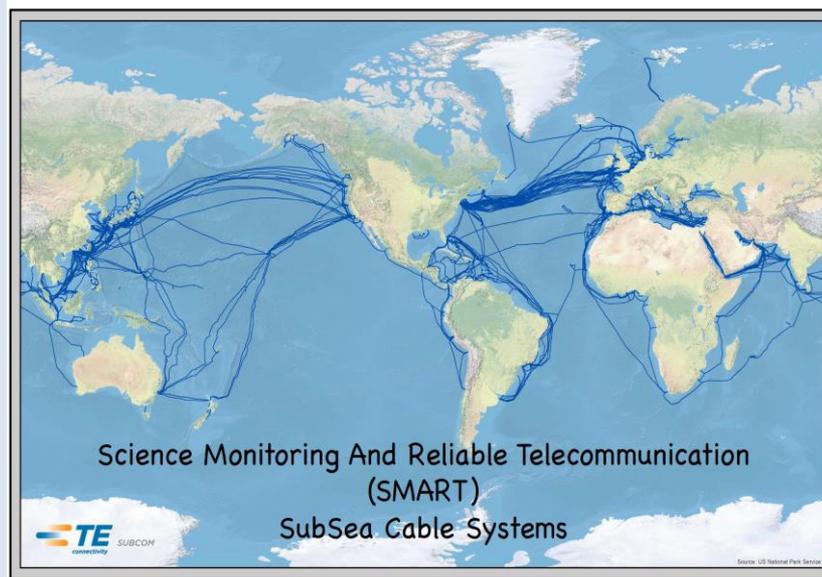
- Neptune (Canada)
- Mars (USA)
- Aloha Cabled Observatory (Hawaii)
- ANTARES (France)



Capteur marégraphique à pression : sur cable d'opportunité

Futur :

SMART Cable : Science Monitoring A Reliable Telecommunication Cables.



Cable océanique de télécommunication

Capteurs de pression inclus dans répéteurs



The scientific and societal case for the integration of environmental sensors into new submarine telecommunication cables

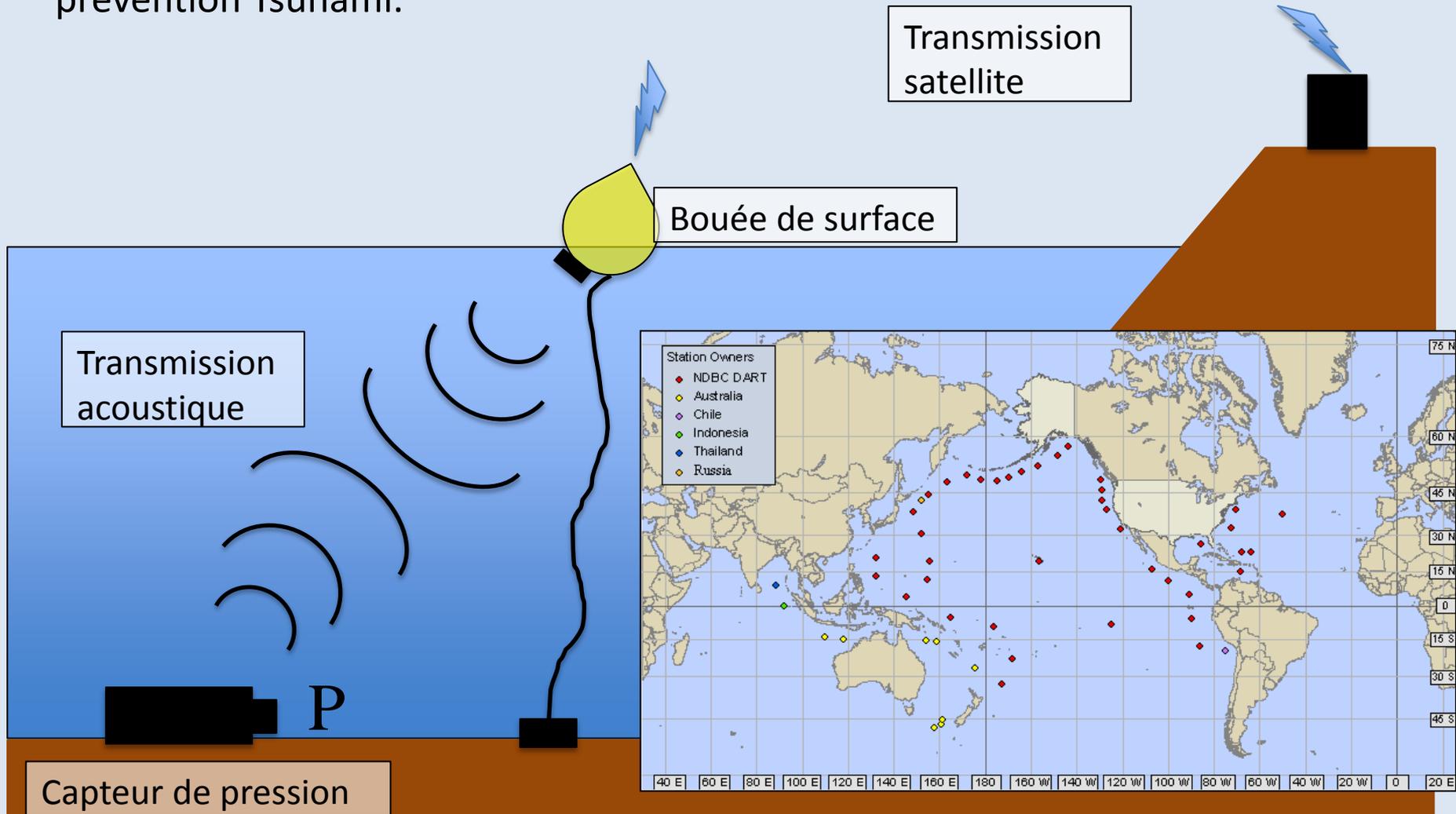
search: itu jtf

www.itu.int/en/ITU-T/climatechange/task-force-sc/

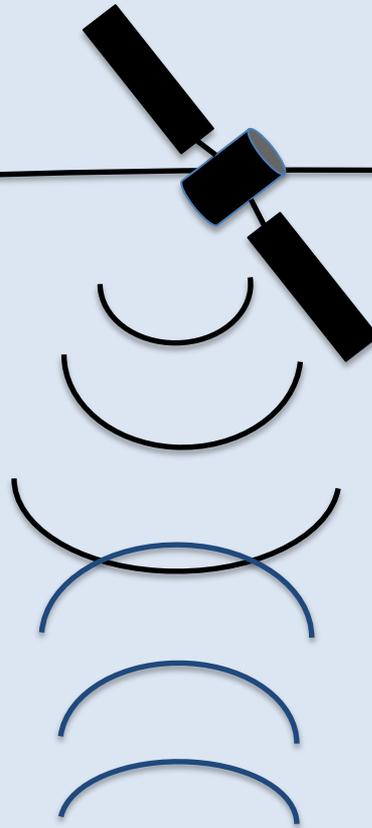


Capteur marégraphique à pression : par transmission acoustique/satellite

Système DART pour la
prévention Tsunami.



Altimétrie satellite

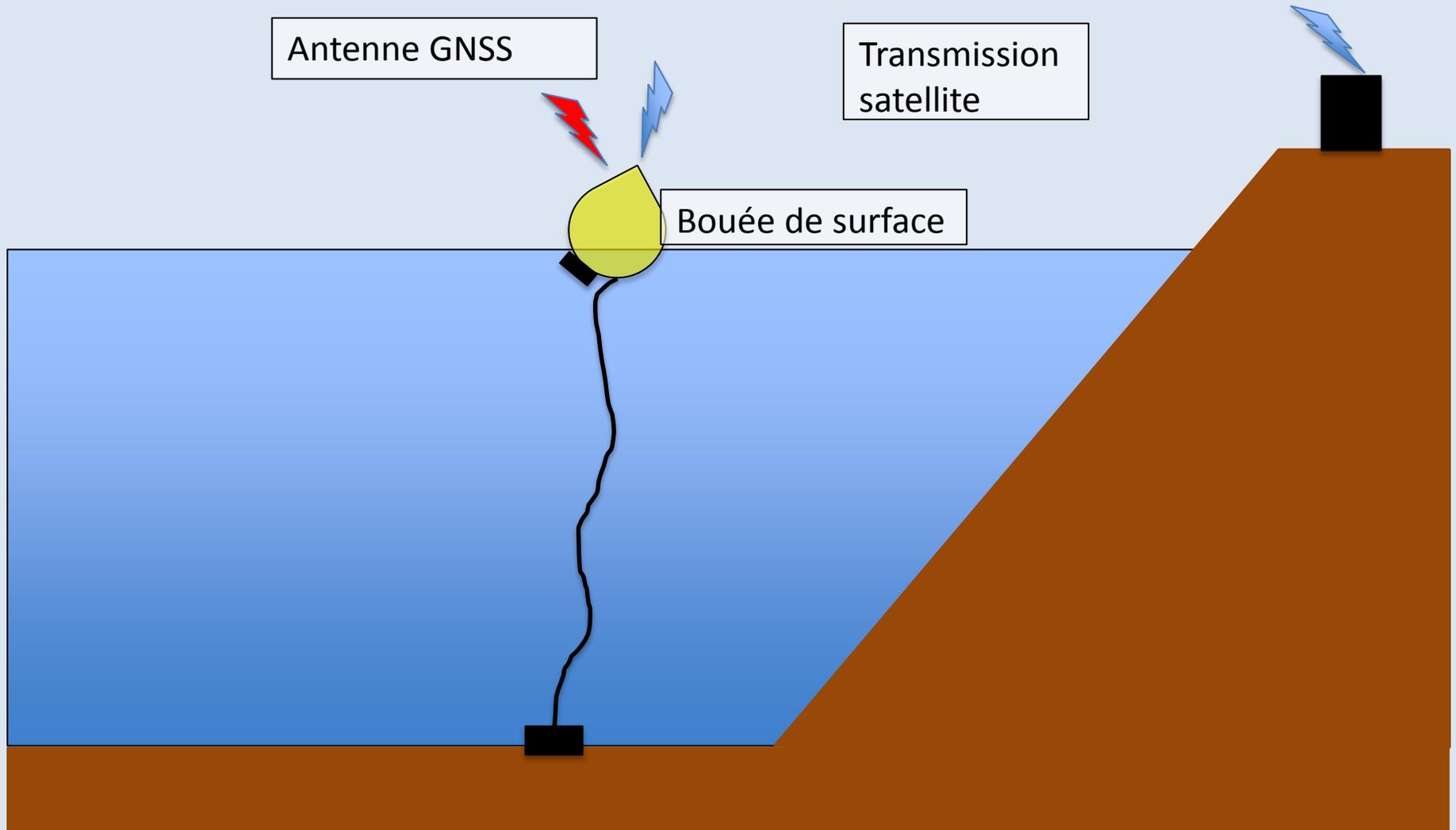


Depuis **1992** :

- TOPEX/Poseidon 1992-2005
- Jason 1 :2001-
- Jason 2: 2008-
- Jason 3 : 2016

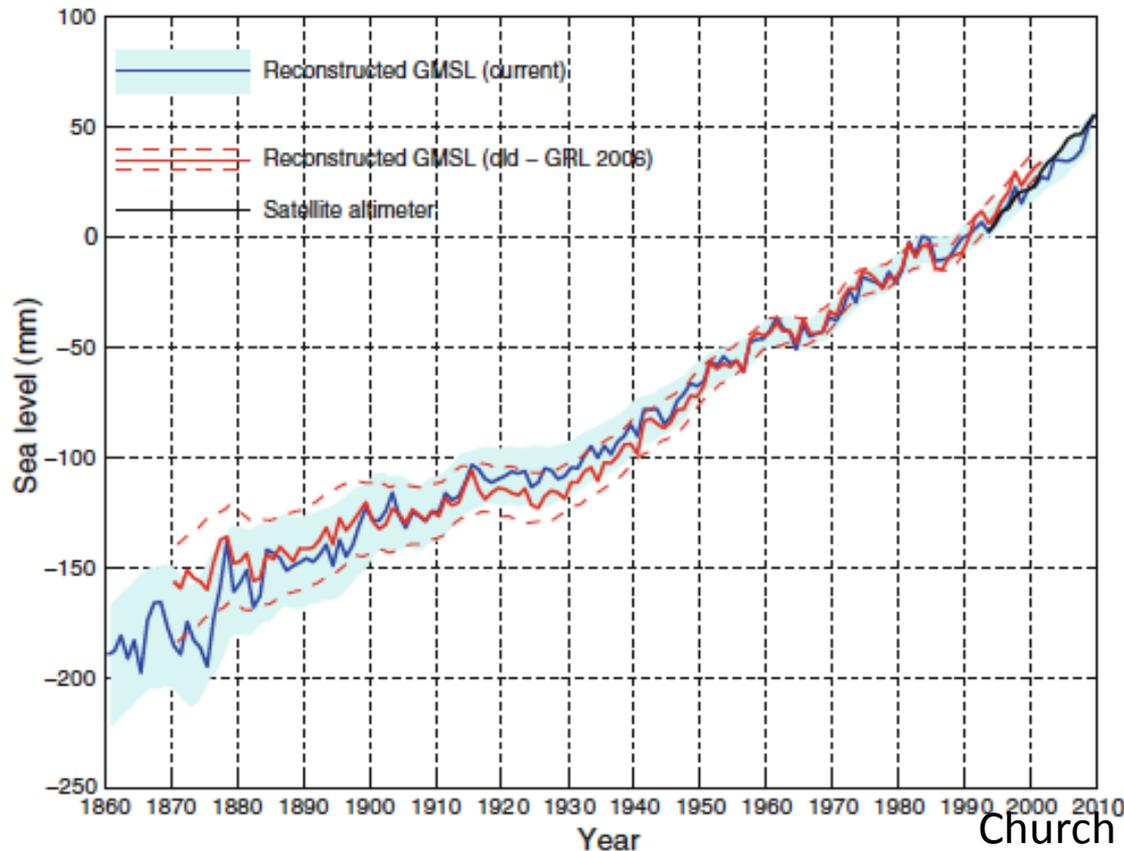
Capteur marégraphique à bouée GNSS

Marégraphe du futur ?



Reconstruction historique des données

- Les séries longues (10-100+ ans) sont indispensables à la compréhension de l'évolution du niveau de la mer.



Reconstruction historique des données

- Les séries longues (10-100+ ans) sont indispensables à la compréhension de l'évolution du niveau de la mer : la France souvent citée en modèle par GLOSS pour la mise en ligne de l'inventaire des observations papiers du niveau marin.
- Ces séries longues peuvent ne pas être disponibles à cause de :
 - Changement d'instrumentation.
 - Changement de site.
 - Changement de référence.
 - ...
- Long travail de recherche des observations et méta-données associées, de numérisation et de contrôle des données (voir présentation de Yann Ferret jeudi matin)

Reconstruction historique des données

Brest :

- Premières mesures : **1679**
- Premier appareil à enregistrement automatique (marégraphe installé par Rémi Chazallon) : **1846-1944**
- Marégraphes Mécaniques **1949-1993**
- Marégraphe Numérique : **1993-présent**

Avec ~300 ans, Brest est la série de mesures du niveau de la mer la plus longue en France, voire dans le monde

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 35, L22605, doi:10.1029/2008GL035201

Tide gauge datum continuity at Brest since 1711: France's longest sea-level record

Guy Wöppelmann,¹ Nicolas Pouvreau,¹ Alain Coulomb,² Bernard Simon,³ and Philip L. Woodworth⁴

Received 22 August 2008; revised 28 September 2008; accepted 9 October 2008; published 26 November 2008.

THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LA ROCHELLE

Spécialité : géophysique

présentée par

Nicolas POUVREAU

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR de L'UNIVERSITÉ de LA ROCHELLE

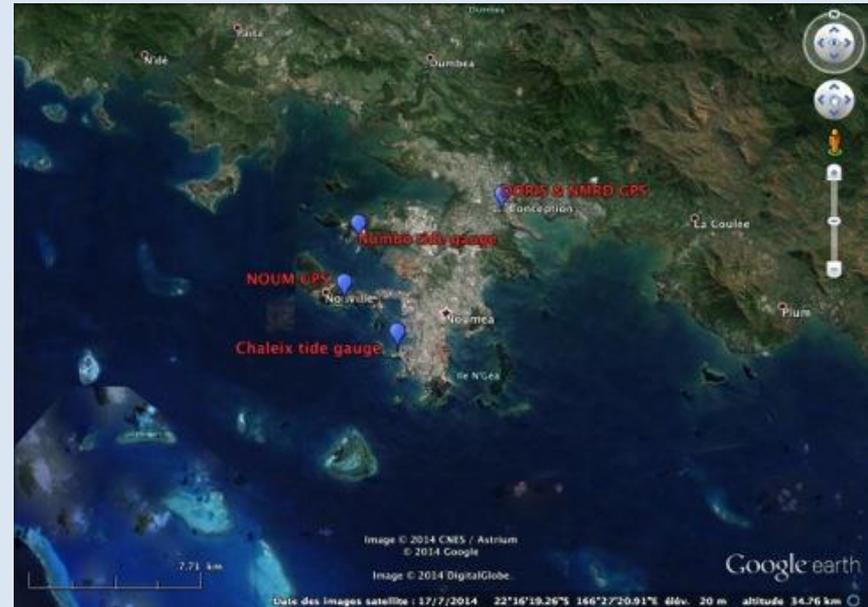
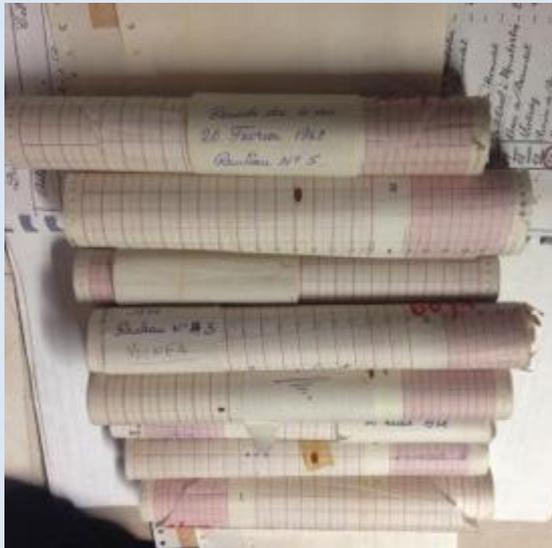
Directeur de thèse : Guy Wöppelmann

Trois cents ans de mesures marégraphiques en France : outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer au port de Brest.

Reconstruction historique des données : Nouméa

Marégraphe de Nouméa installé 1957 pour l'année
Géophysique internationale:

- Changement de site en 2005.
- Données papier avant 1967.



A cause du changement de site, les données du « marégraphe » de Nouméa existent sous 2 noms, et deux séries distinctes.

Les données de Nouméa-Chaleix :

GLOSS : 123

UHSLC/JALS : 019A (1967-2003)

PSMSL : 852 (1970-1988)

SHOM : 701 (1967-2003)

SONEL : 1814 (1967-2005)

Les données de Nouméa-Numbo :

GLOSS : 123

UHSLC/JALS ID : 019B (2001-present)

PSMSL ID : 2134 (2001-present)

SHOM : 702(2001-present)

SONEL ID : 1863 (2001-present)

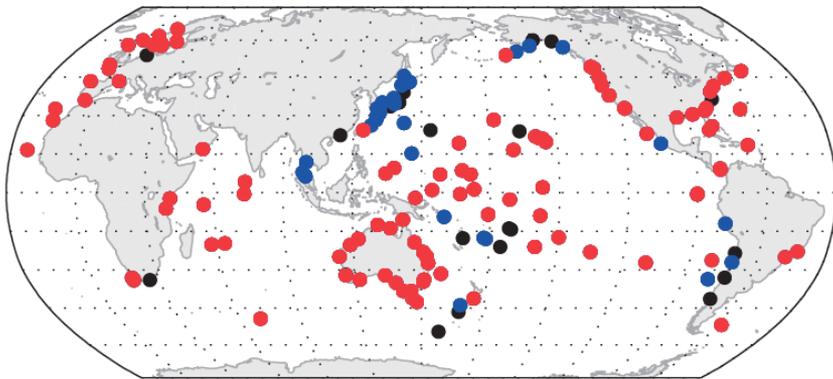
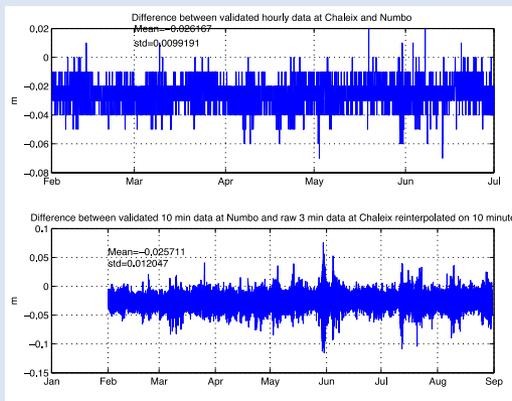


Figure 1 | Map of the initial 122 TGs used in this analysis. Additional quality control procedures (for example, obvious nonlinear VLM) eliminate TGs shown in black, and the earthquake threshold eliminates TGs in blue. The remaining TGs in red are used for bias drift estimation. Distributions by mission are shown in Supplementary Fig. 2.

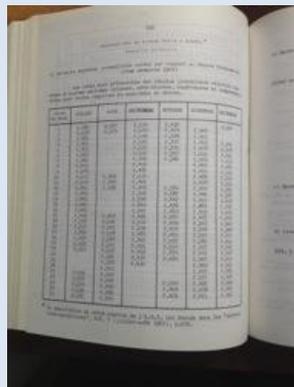
En conséquence, ces données ne sont pas utilisables tel quel !

Reconstruction historique des données : Nouméa

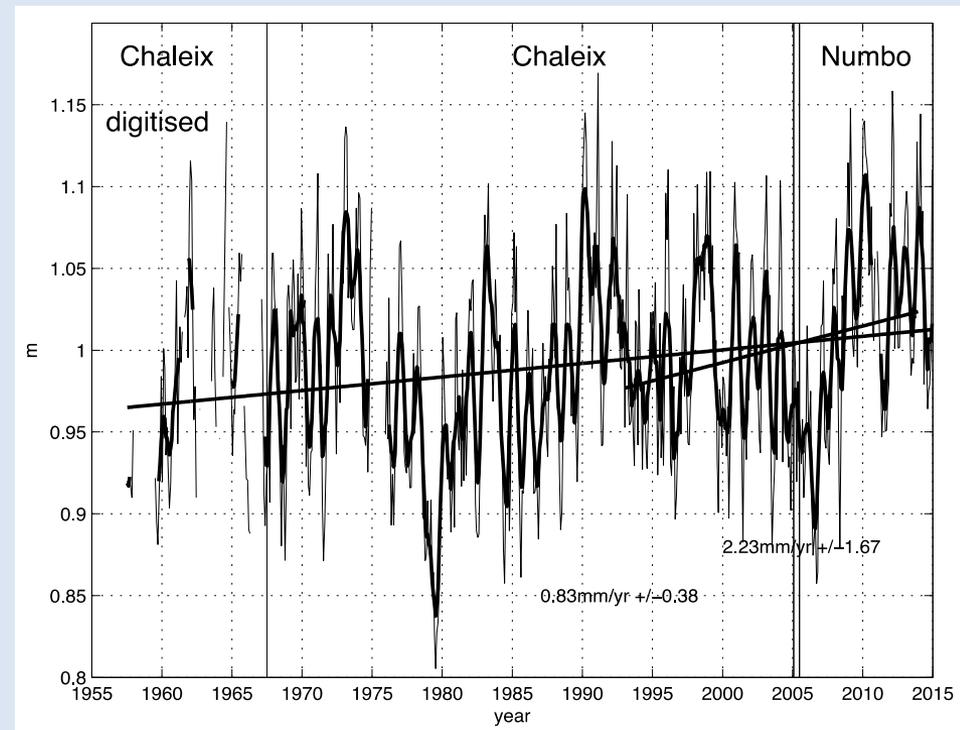
Calcul du décalage en hauteur entre les deux stations (6 mois en 2005), et vérification des mouvements verticaux relatifs.



Numérisation des données journalières papiers et vérification des références.



Niveau moyen journalier de la mer à Nouméa : 1957-présent

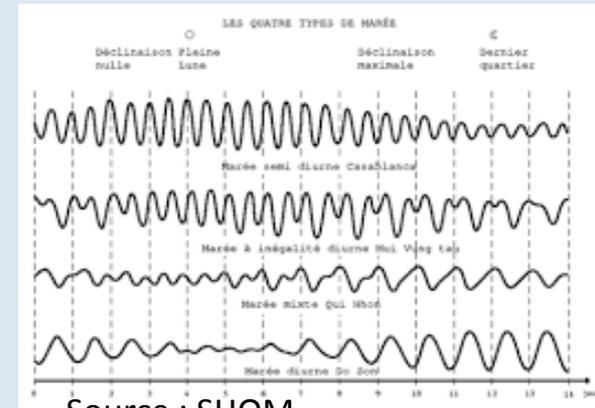


Les phénomènes observables, étudiables ou prédictibles grâce aux observations marégraphiques.

- Marée astronomique.
- Surcotes.
- Vagues.
- Ondes infragravitaires.
- Tsunami.
- Variabilité interannuelle.

Marée astronomique

- Semi-diurne ou diurne (12 ou 24 h)
- Morte-eau/vive eau
- Harmoniques : fréquences discrètes et bien définies : spectre de raies, par opposition à un spectre continu.
- Nécessité d'observations longues pour définir les constantes harmoniques et les prédictions de marée (Role exclusif du SHOM)



Bataille de Tarawa :

Le rôle des prédictions de marée

- Guerre du Pacifique, 20-23 Novembre 1943.
- Débarquement Américains sur l'Atoll de Tarawa, tenu par les Japonais.
- Stratégie : Débarquer à marée haute pour pouvoir passer le platier récifal...



Bataille de Tarawa :

Le rôle des prédictions de marée

- Temps d'observation des marées trop court.
- Heures des marées hautes bien prévues...
- Mais marées de morte-eau pas prévue.



Surcotes/Ondes de tempêtes

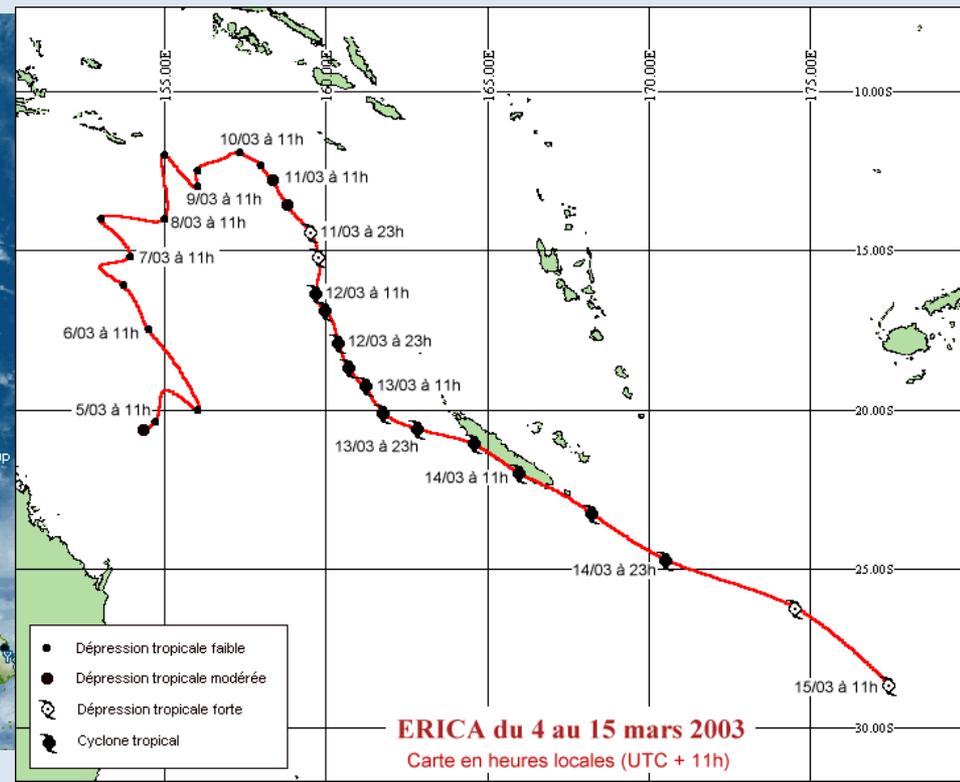
- Surcote (décote) : Anomalie positive (négative) du niveau de la mer observé par rapport à la marée (astronomique) prédite.
- Onde de tempête : Surcote liée au frottement du vent et à la baisse de la pression atmosphérique.
- Exemples outre-mer : Cet après-midi Yacine Hemdane et Cyprien Bosserelle : Inondations cotières à Alger, et sur les récifs du Pacifique à Fidji et Tuvalu.
- Cas métropolitains et européens : Présentations de Mercredi.

Surcotes : Exemple à Nouméa

- Cyclone Erica, Pacifique Sud, Mars 2003



jeudi 13/03/03 à 14 H
Source : Météo France NC



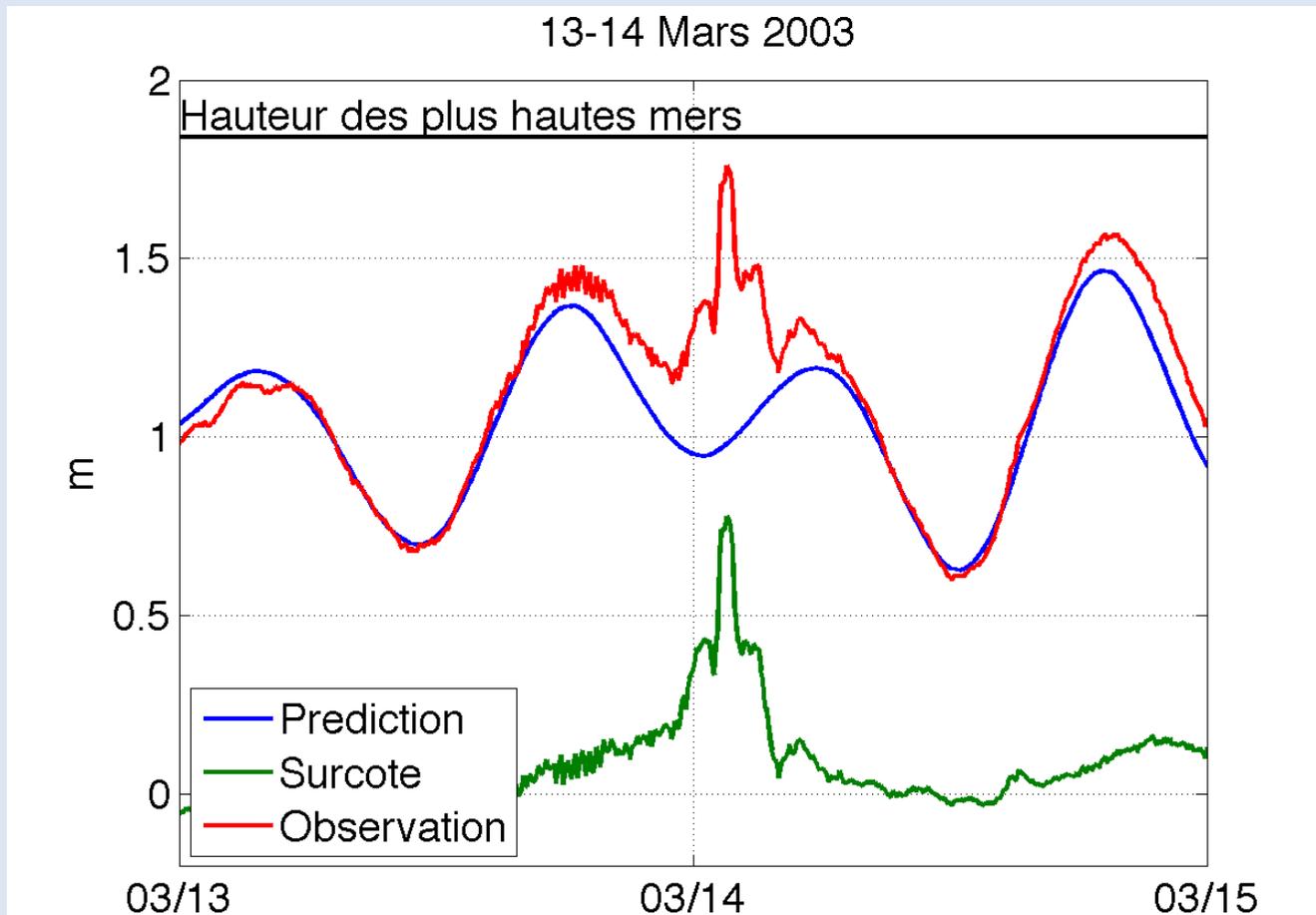
Surcotes : Exemple à Nouméa

- Noumea : Vulnérabilité de l'enjeu



Surcotes : Exemple à Nouméa

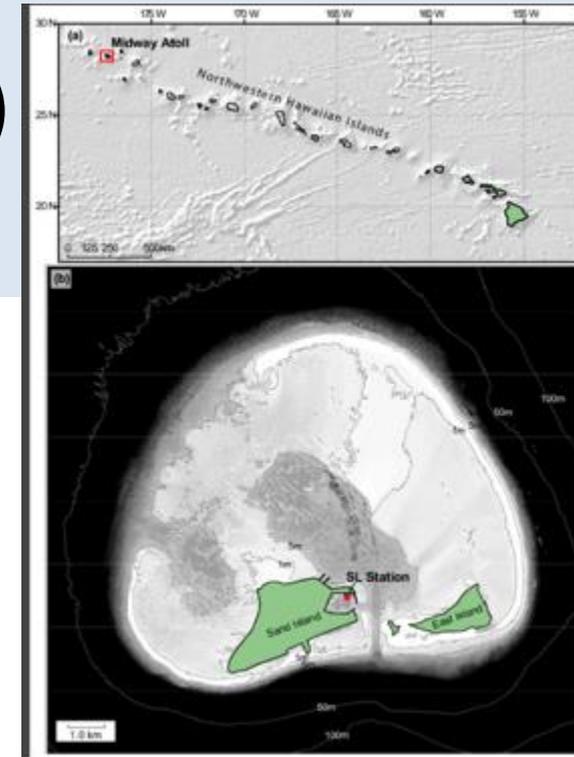
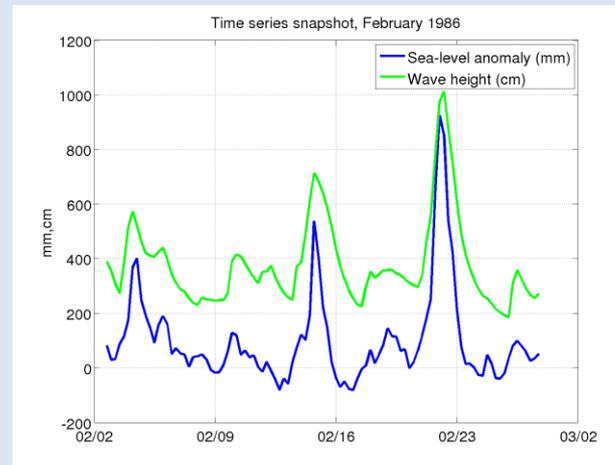
- Surcote au bon moment pour la ville !



Vagues, marégraphe et climat

- Atoll de Midway (Pacifique Nord)
- Marégraphe US depuis 1947

1) : Les surcotes au marégraphe dans l'Atoll sont liées aux vagues à l'extérieur à cause d'un fort phénomène d'ensachage.



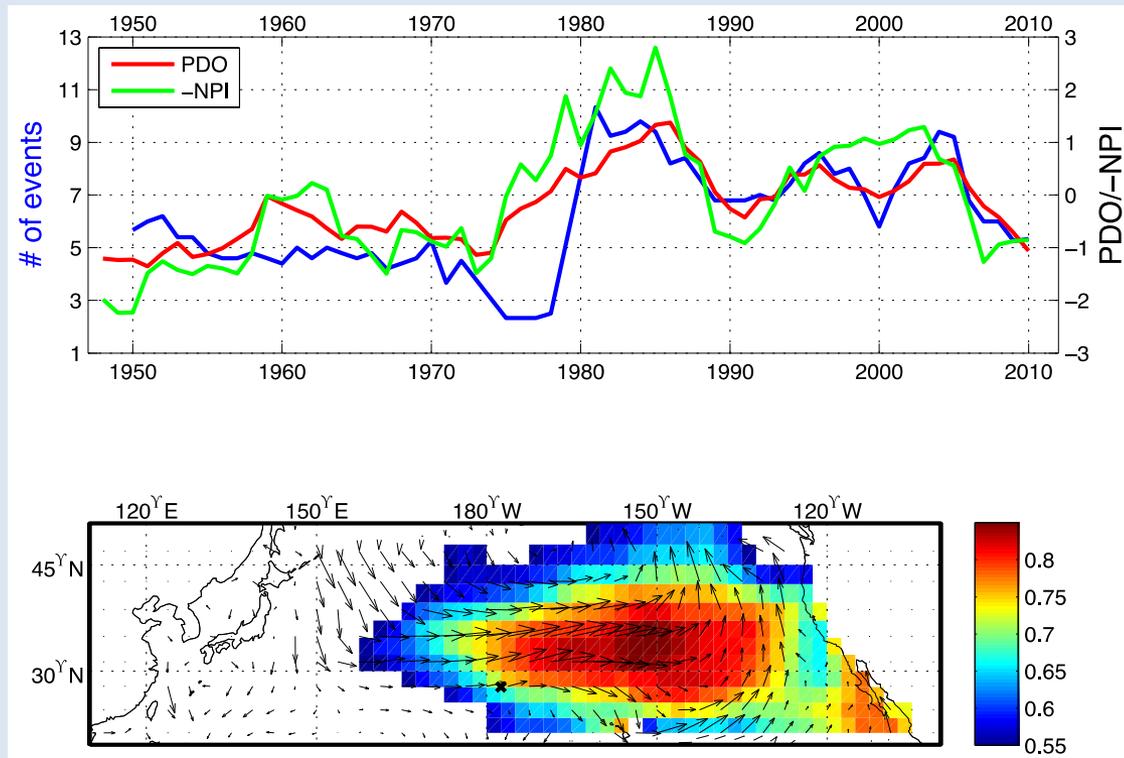
GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 39, L17603, doi:10.1029/2012GL052993, 2012

Wave-driven sea level anomalies at the Midway tide gauge as an index of North Pacific storminess over the past 60 years

J. Aucan,¹ R. Hoeke,² and M. A. Merrifield³

Received 6 July 2012; revised 25 July 2012; accepted 27 July 2012; published 5 September 2012.

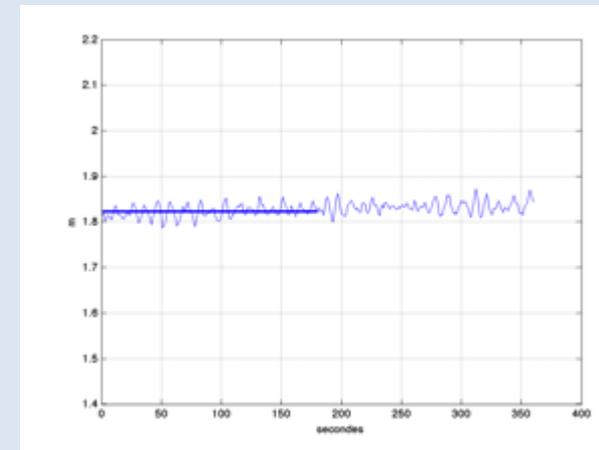
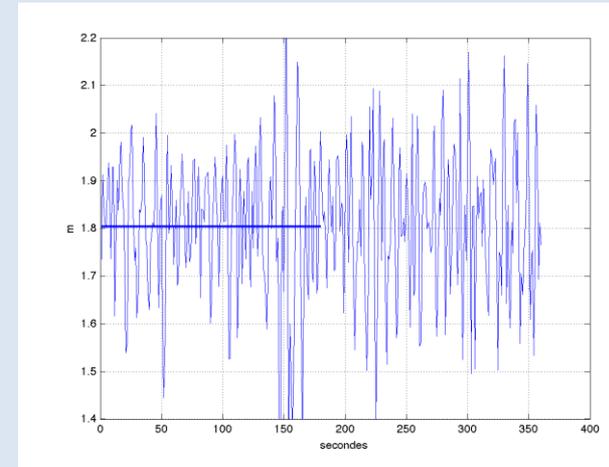
Vagues, marégraphe et climat



- La marégraphie a permis une reconstruction homogène des hauteurs de vagues dans le Pacifique nord depuis 1947.
- La corrélation entre les hauteurs de vagues extrêmes et l'indice d'oscillation pacifique est démontrée.

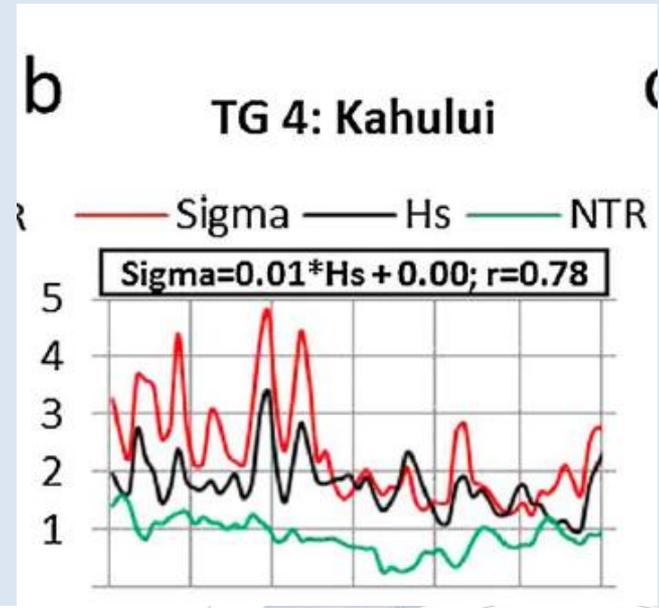
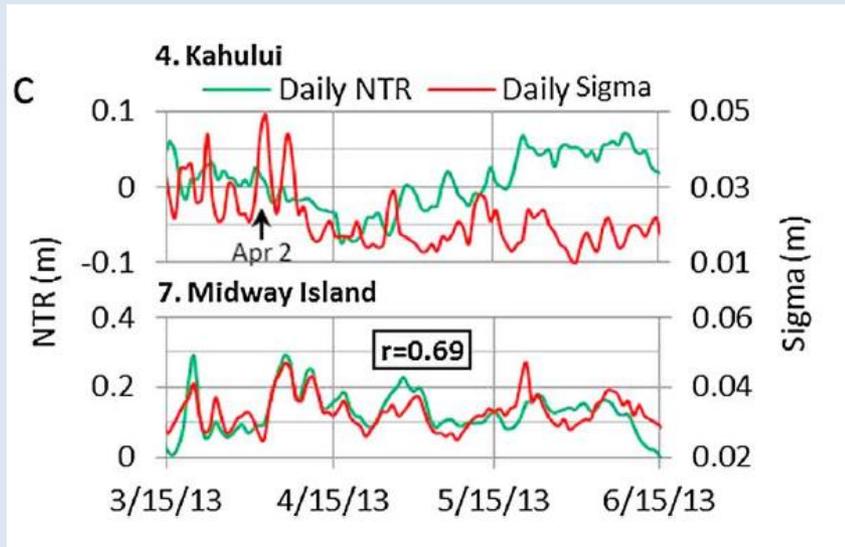
Vagues et marégraphes

- Mesures brutes du marégraphes : 1Hz
- Calcul et archivage de la moyenne :
 - SHOM :
 - 15s toutes les 1 min (données brutes temps réel)
 - 2 min toutes les 10 min (données brutes 10 min)
 - NOAA (USA) :
 - 3 min toutes les 6 min
- NOAA (USA) archive moyenne ET déviation standard (« sigma »)



Vagues et marégraphes

En plus (ou en complément) de l'anomalie de niveau de la mer, la déviation standard est un bon estimateur de la hauteur de vagues à proximité du marégraphe.



Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER

10.1002/2015GL066030

Key Points:

- One-second sampling at NOAA tide gauges measures local wind/swell and infragravity waves
- Harbor and ocean-pier sample standard deviations are correlated to offshore

New ways to measure waves and their effects at NOAA tide gauges: A Hawaiian-network perspective

William V. Sweet¹, Joseph Park², Stephen Gill¹, and John Marra³

¹NOAA Center for Operational Oceanographic Products and Services, Silver Spring, Maryland, USA, ²National Park Service, Homestead, Florida, USA, ³NOAA National Center for Environmental Information, Honolulu, Hawaii, USA

Ondes Infragravitaires

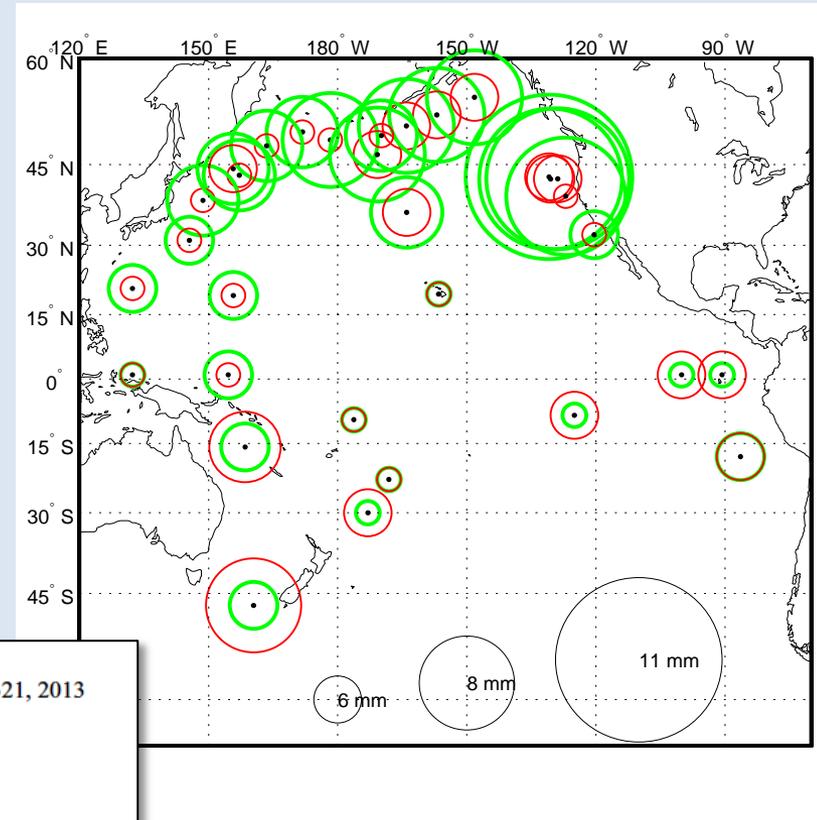
- Ondes longues de gravité (période 2-20 minutes, 20-200 km).
- Associées à la houle et la mer de vent.
- Rôle reconnu dans la dynamique littorale.

Mais :

- Existence et taille au large méconnues.
- Interférence possible avec les futures missions altimétriques à large fauchée (SWOT).

Ondes Infragravitaires

- Analyse des données disponibles du réseau DART (Marégraphes grand fond in-situ).
- Les ondes infragravitaires au large sont plus hautes qu'estimées dans les années 1990



GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 40, 1–5, doi:10.1002/grl.50321, 2013

Infragravity waves in the deep ocean: An upward revision

J. Aucan¹ and F. Ardhuin²

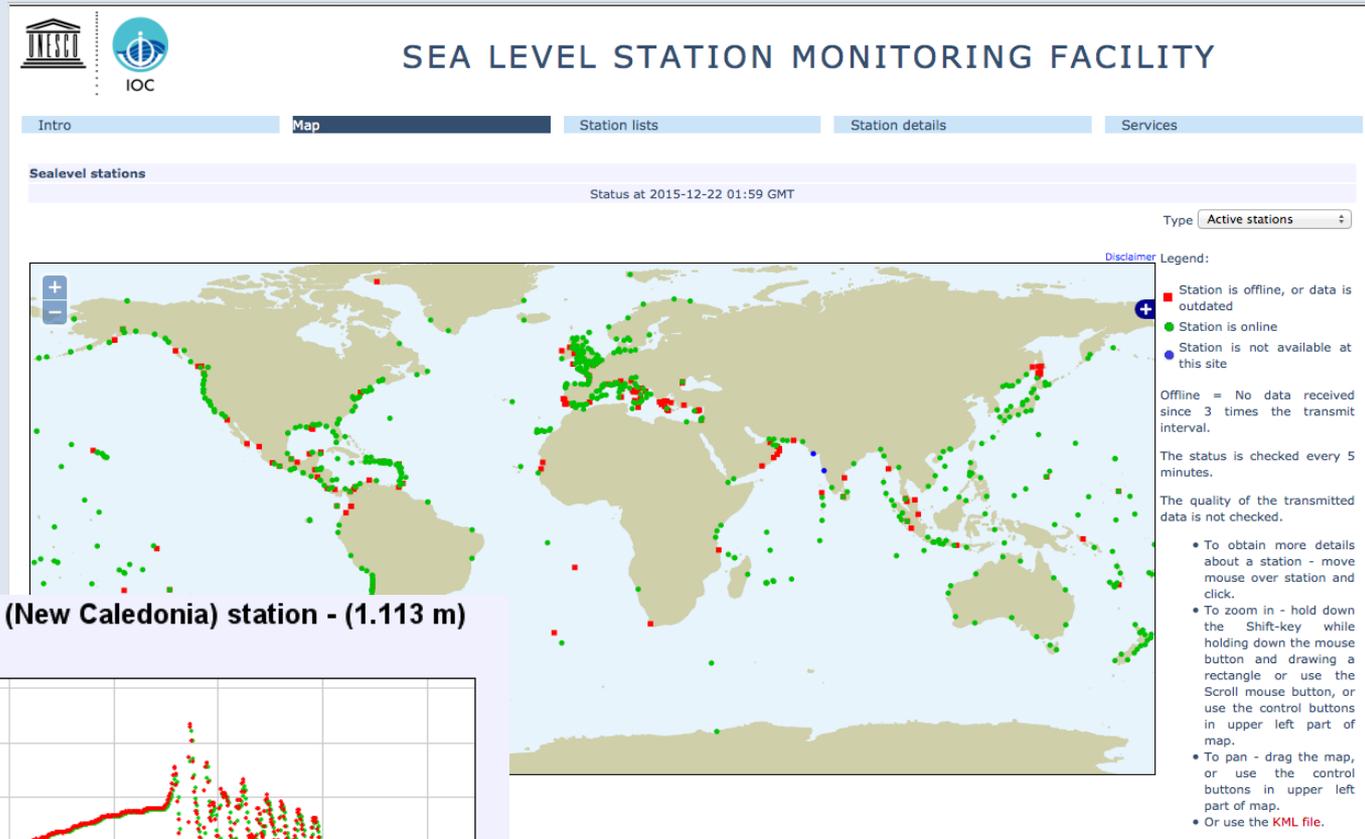
Received 12 February 2013; revised 2 March 2013; accepted 5 March 2013.

Rôle des marégraphes dans l'alerte et la prévention Tsunami

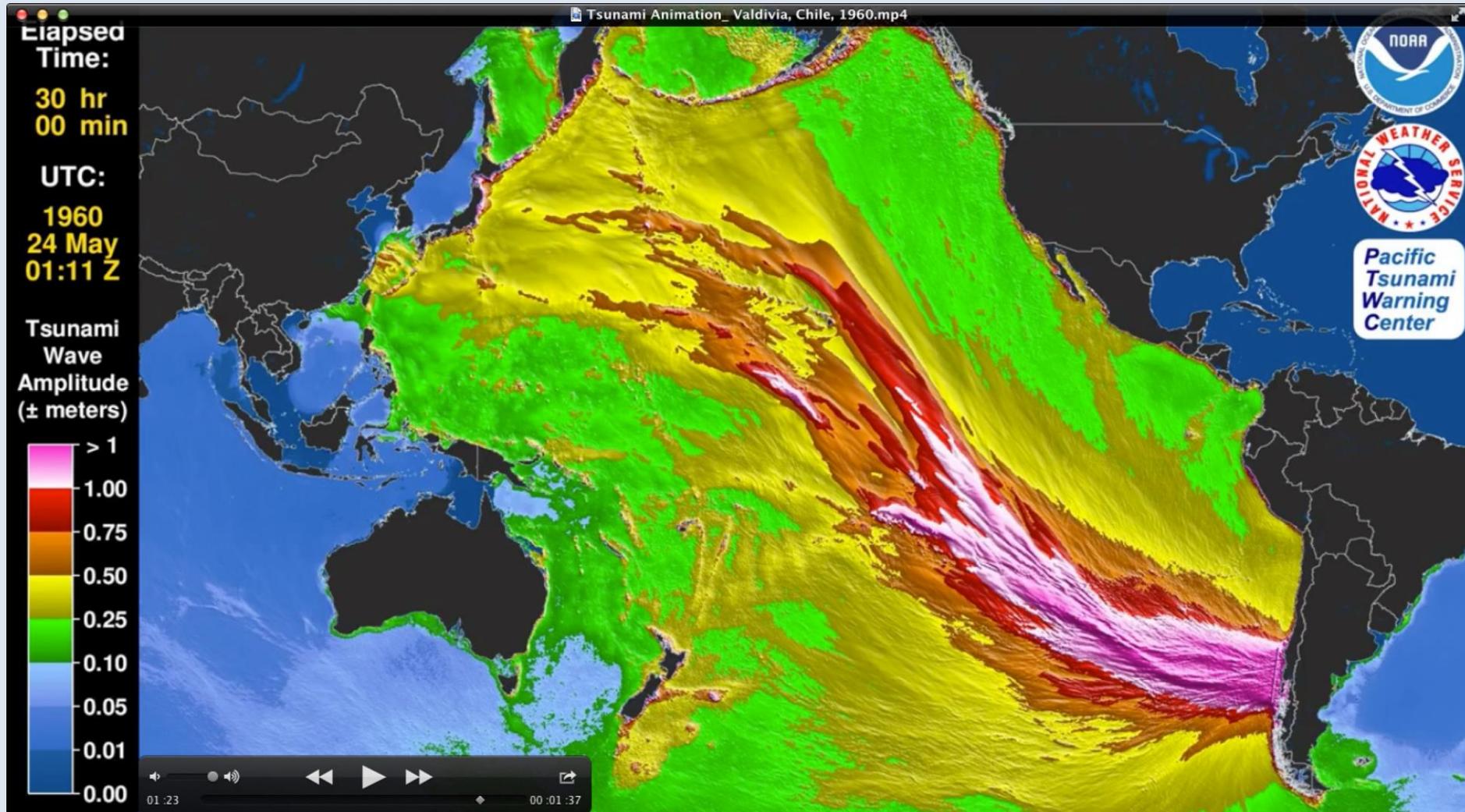
- Temps réel : Alerte pour les pays voisins
- Temps différé :
 - Vérification et validation des modèles pour les événements passés.
 - Etablissement des cartes de vulnérabilité.

Tsunami

Etymologie : « Vague portuaire » en japonais



Tsunami : Chili 1960 (Mw 9.5)



Tsunami : Chili 1960

La France Australe
LE SEUL QUOTIDIEN FRANÇAIS DU PACIFIQUE

36, Rue du Maréchal Galliéni - NOUMÉA - Téléphone : Renseignements : 21-70 - Direction : 23-44 - Le Directeur de la Publication : LINA GUINARD.

Abonnements			71 ^e ANNÉE	N° 21 213	SOLEIL : Lever 6 h 31
Nouvelle-Calédonie	550	350	VENDREDI 27 Mai 1960	1	Coucher : 5 h 22
France et Union Française	700	375			LUNK : p. q. le 2 : p. t. le 9
Etranger	750	425			MARFES du 28 : 0 h 27 ; 22 h 22

Chèque Postal : Nouméa N° 1.106. Le numéro : 5 francs

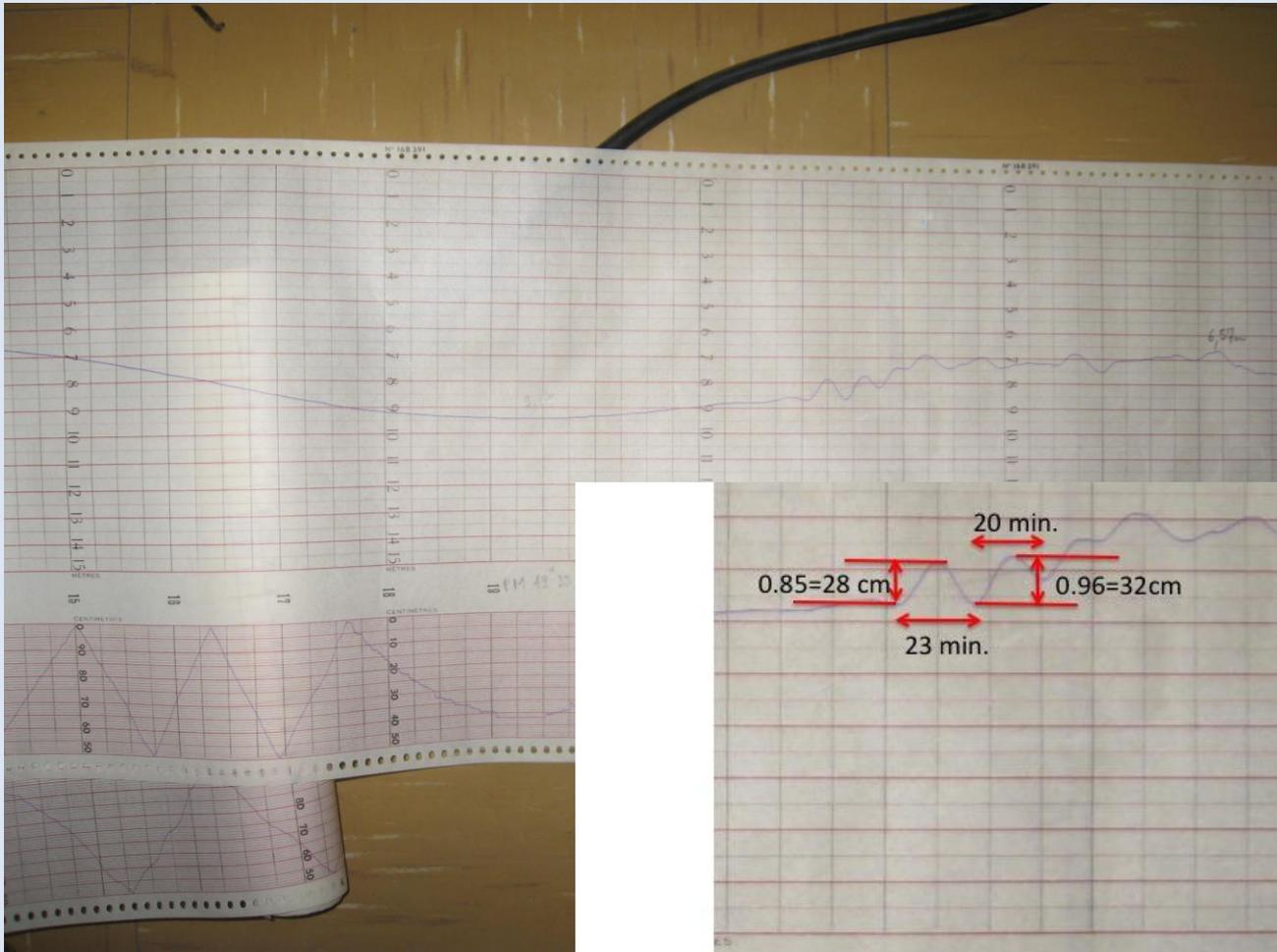
Quels effets à
Nouméa, en
Nouvelle Calédonie
?

Séisme - Eruption volcanique et Raz-de-Marée Du Chili jusqu'en Sibérie à travers tout le Pacifique, les éléments se déchainent

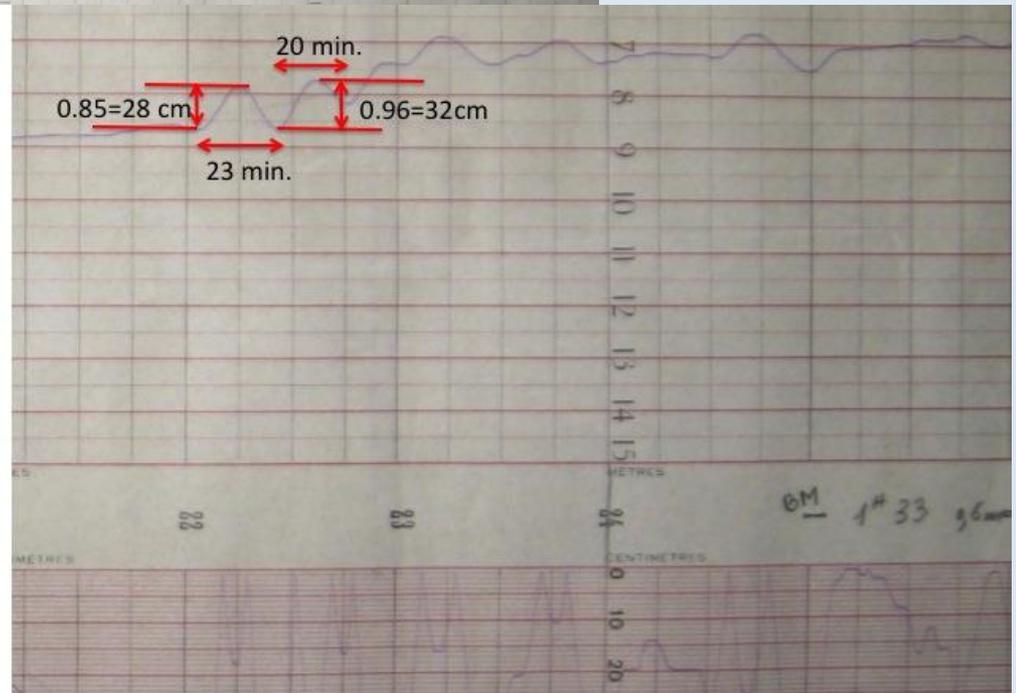
Les habitants des villes de la côte orientale ont été évacués. — Les effets du raz-de-marée du pacifique ont été ressentis en Nouvelle-Calédonie. De très fortes lames sont venues battre la Côte Ouest du territoire et des courants extrêmement violents

ont pris naissance en différents points de la côte. Les routes du littoral ont été submergées, mais on ne signale aucun dégât, l'île ayant probablement été protégée par sa ceinture corallienne. Aux Nouvelles-Hébrides, la mer a submergé les quais à Port-Vila, provoquant la perte de diverses marchandises. Quelques embarcations légères ont subi des dégâts.

Tsunami : Chili 1960



Une seule observation
« disponible »

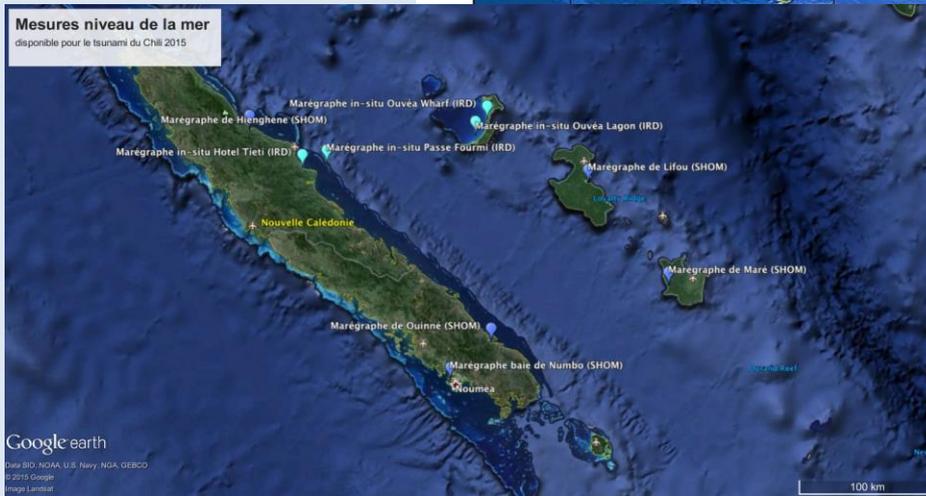
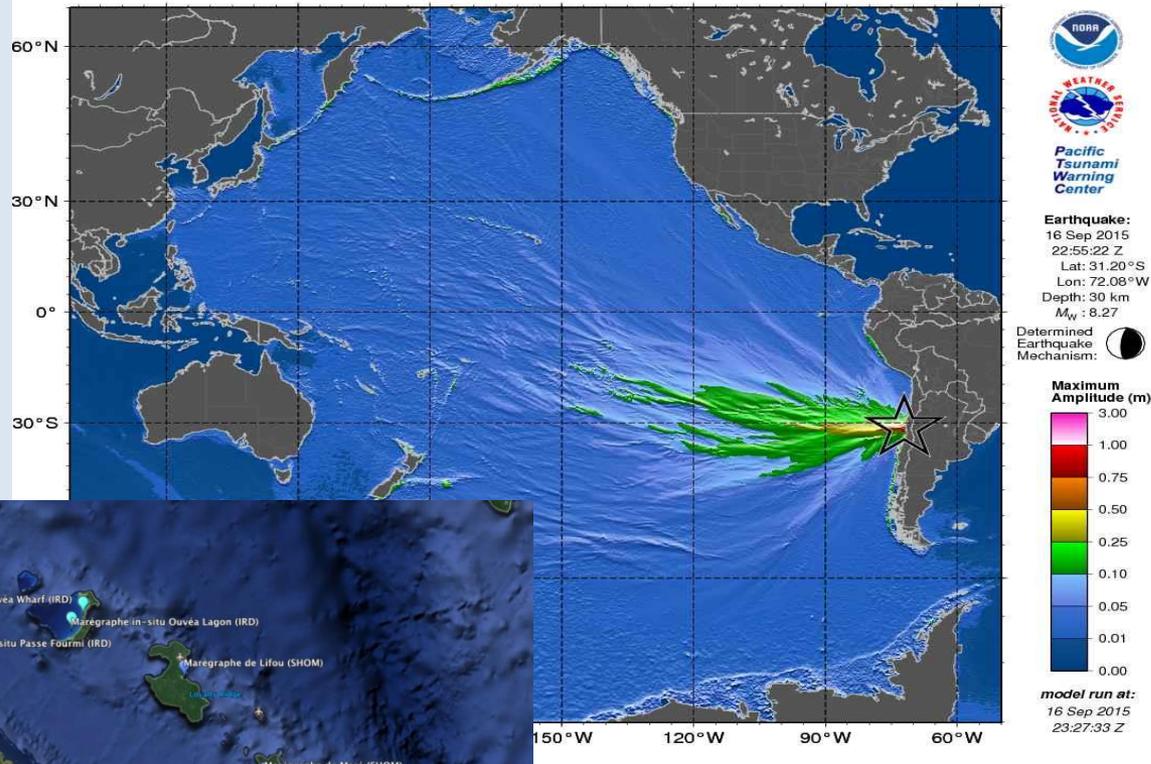


Tsunami : Chili 2015 (Mw 8.27)

PTWC Deep-Ocean Tsunami Amplitude Forecast

This map should not be used to estimate coastal tsunami amplitudes or impacts. Deep-ocean amplitudes are usually much smaller than coastal amplitudes.

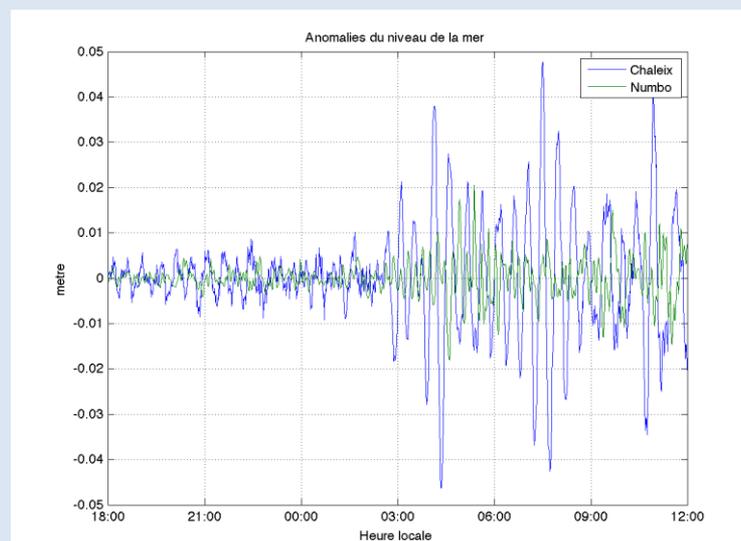
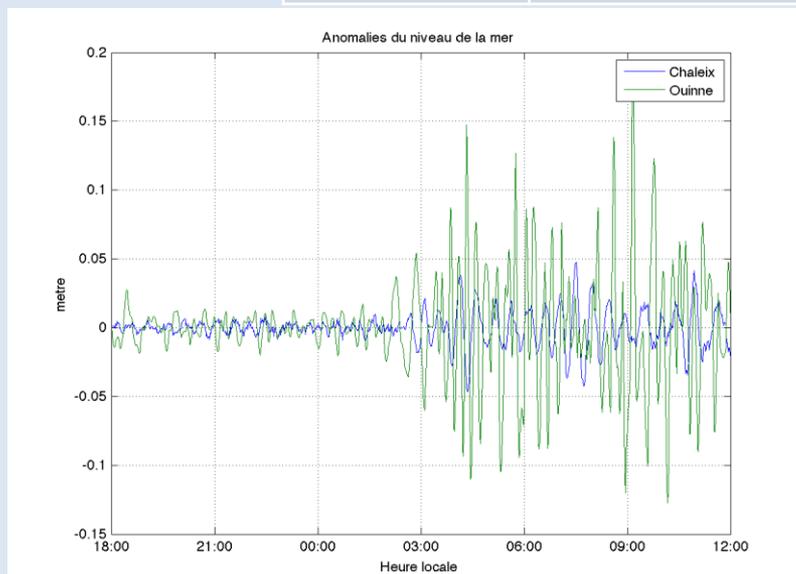
This message is issued for information only in support of the UNESCO/IOC Pacific Tsunami Warning and Mitigation System and is meant for national authorities in each country of that system. National authorities will determine the appropriate level of alert for each country and may issue additional or more refined information.



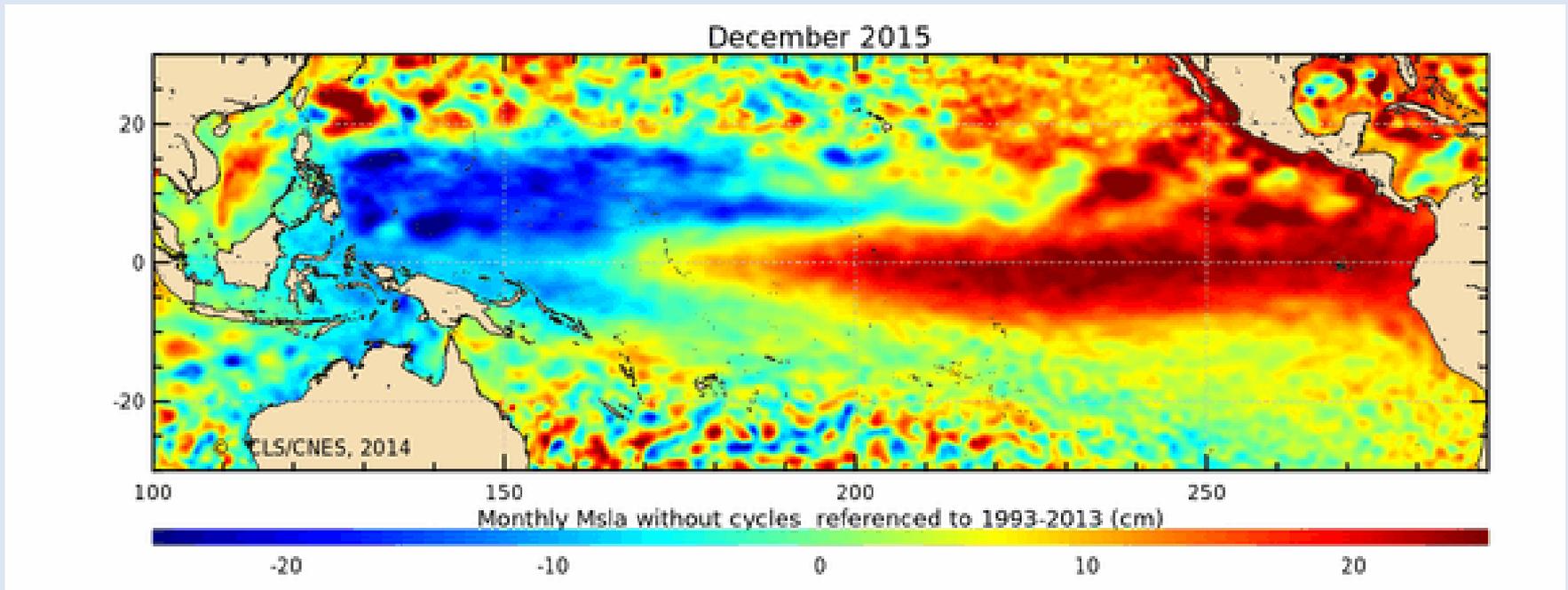
Tsunami : Chili 2015 (Mw 8.27)

Site	Hauteur max (centimetres)	Période (minutes)	Heure arrivée (heure locale)	Heure de la vague maximale
Lifou	8.0	16	2:23	6:37
Mare	4.3	16	1:53	5:04
Chaleix	8.5	27	3:01	7:22
Numbo	3.0	15.3	3:26	5:26
Ouinné	29.6	20	2:05	9:03

Comparaisons
Observations
/modèle PTWC :



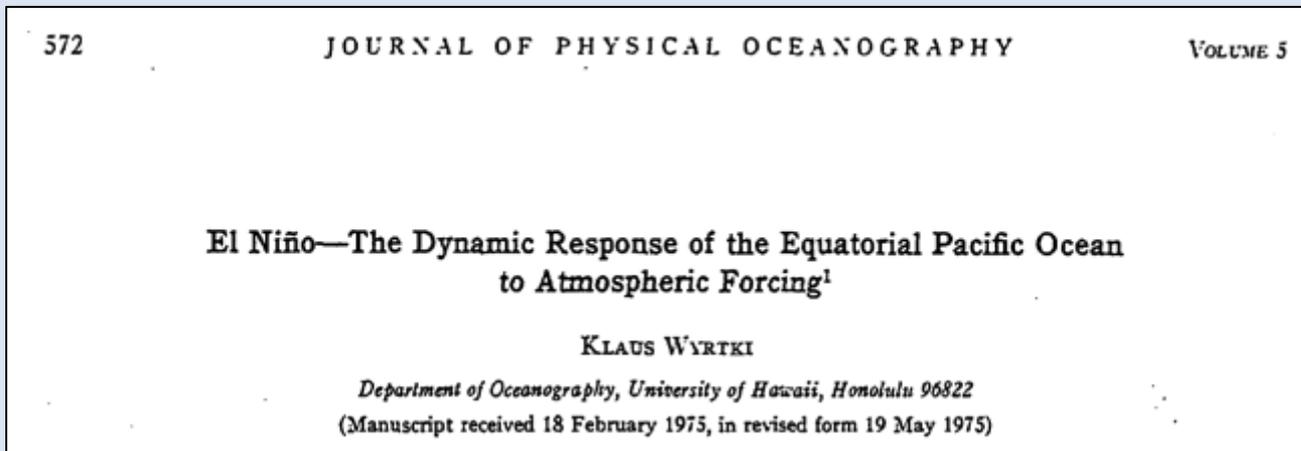
Variabilité interannuelle/El Nino



El Nino est caractérisé (entre autres...) par des anomalies du niveau de la mer dans le Pacifique équatorial.

Variabilité interannuelle/El Nino

- En 1970, les observations du niveau de la mer dans le Pacifique équatorial ont commencé avec la création du UHSLC à Hawaii, mené par Klaus Wyrтки.
- La répartition des marégraphes du UHSLC dans le Pacifique Tropicale a permis une première description dynamique du phénomène El-Nino.



Presentation de Benoit Meyssignac Jeudi Matin.

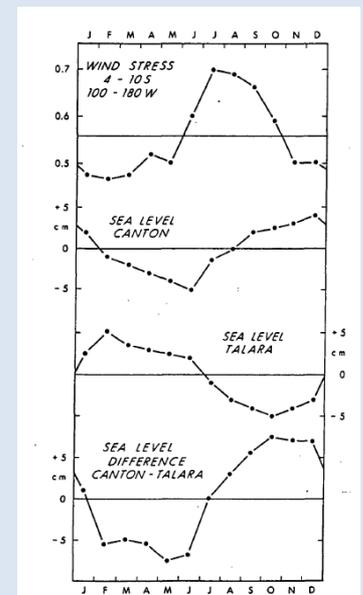


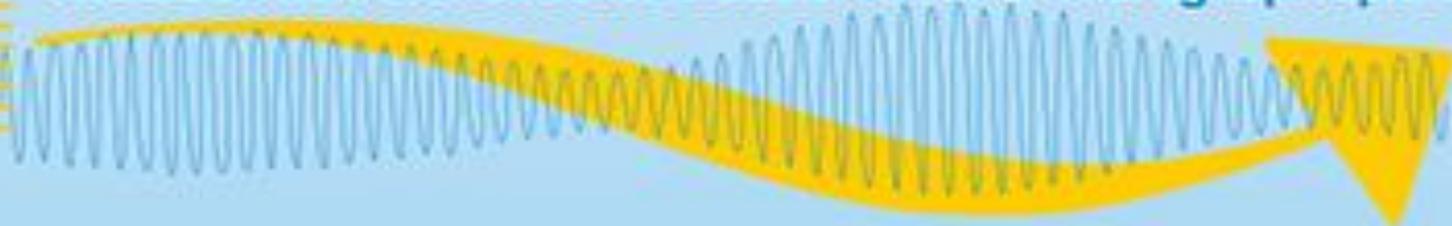
FIG. 6. Mean annual variation of the zonal component of wind stress in the southeast trade wind region (in 0.1 N m^{-2} , positive to the west), of sea level at Canton and Talara (cm), and of the relative sea level difference between Canton and Talara.

En guise de conclusion :
**La marégraphie mérite bien une extension aux
autres phénomènes qui affectent le niveau de
la mer (Woppelmann 2007)**

Journées

REFMAR

Réseaux de référence des observations marégraphiques



Merci de votre attention

Journées

REFMAR

Réseaux de référence des observations marégraphiques





PARIS2015
CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
COP21-CMP11

Journées
REFMAR
Réseau de référence des observations océanographiques



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture



Commission
océanographique
intergouvernementale

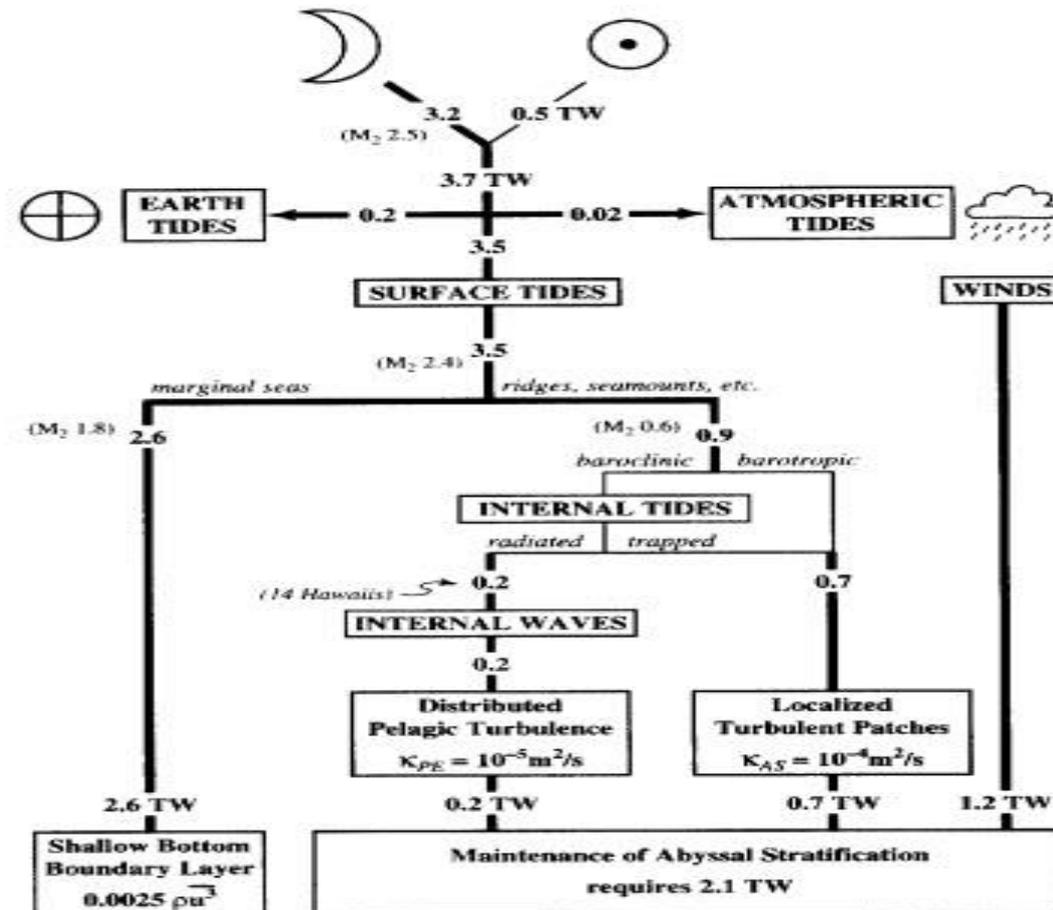
2 - 4 février 2016

Colloque francophone



Dissipation de la marée : frottement et Turbulence.

- Par conservation du moment cinétique, cette dissipation de l'énergie s'accompagne d'un éloignement de la Lune de 3.8 cm par an.
- D'un côté les astronomes déduisaient la dissipation des marées (onde M2) de l'éloignement de la Lune (3.8 cm/an), de son ralentissement et du ralentissement de la rotation de la Terre et l'évaluaient à 2.9×10^{12} W ; de l'autre, les océanographes qui ne connaissaient que la dissipation sur les pentes et talus continentaux et l'estimaient entre 1.4 et 1.7×10^{12} W, soit à peu près la moitié.
- D'où le problème de "l'énergie manquante" dont avaient besoin à la fois les astronomes mais aussi les océanographes pour boucler le bilan



alors les moyens de la mettre en
marées était l'un des quatre points

décisive en faisant la première

satellite altimétrique

qui est en fait une transformation
passage la structure verticale de
veau de la [thermocline](#) induisent
très faible : à une crête (ou un
l que le satellite Topex/Poseidon a
mi- diurne de l'onde de marée qui

du maintien de mesures