



La marégraphie

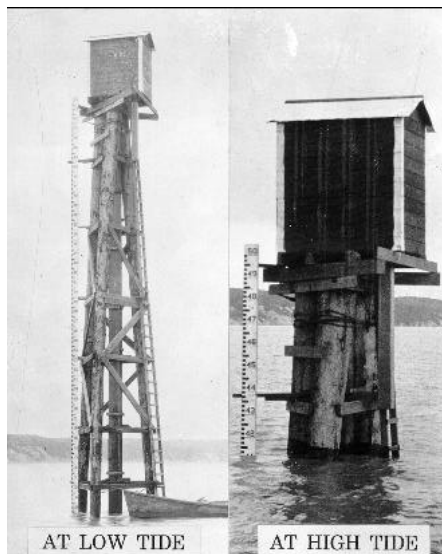
Guy Wöppelmann

Centre Littoral de Géophysique, Université de La Rochelle

1. Principales techniques de marégraphie
2. Eléments d'un observatoire du niveau marin
3. Marégraphie et Géodynamique
4. Contrôles
5. Données disponibles

Ecole d'été GDR-G2, Forcalquier 25-29 août 2003
« Outils de géodésie pour les sciences de la Terre ».

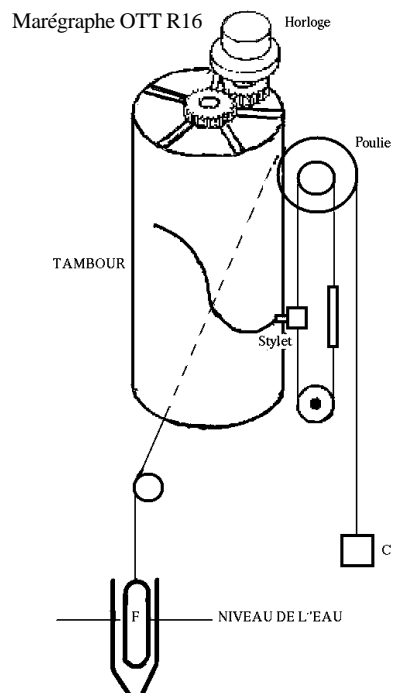
Historique - Echelle de marée



Données historiques de marégraphie en France

Marégraphes	Périodes d'observation
BREST	1711-1716, 1778-1792
CHERBOURG	1850 – 1900
Cordouan	1905 – 1931
Dunkerque	1865 – 1874, 1897 – 1899
Fort d'Enet	1859 – 1873
LE HAVRE	1850 – 1932
La Rochelle	1863 – 1874
Rochefort	1860 – 1918
Saint-Malo	1850 – 1917
Saint-Nazaire	1863 – 1931
SAINT JEAN-DE-LUZ (SOCOA)	1875 – 1920
Toulon	1844 – 1861

■ Résultats d'une recherche bibliographique dans les archives du SHOM, des Observatoires de Paris et de Meudon (2000)

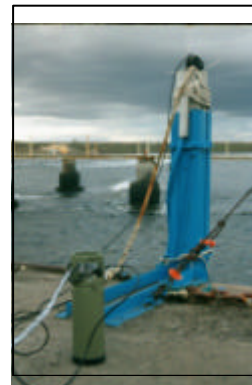
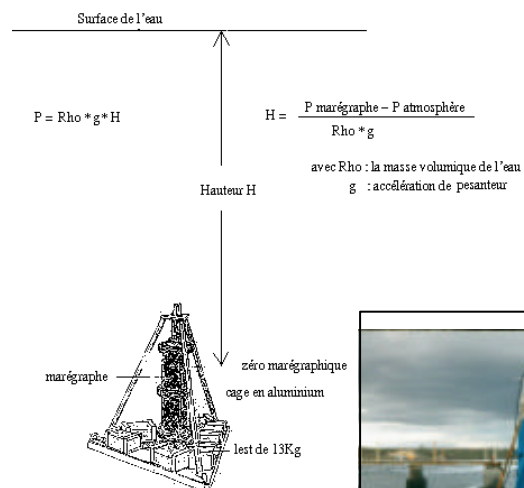
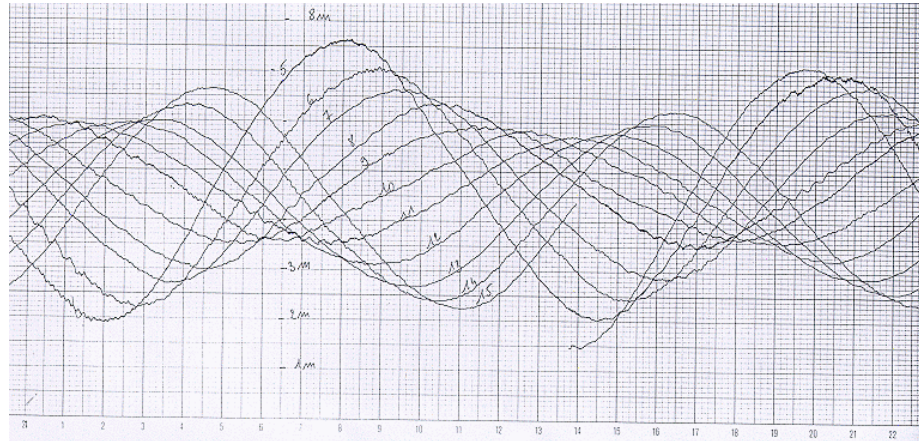


Marégraphes à flotteur

Marseille, depuis 1885...

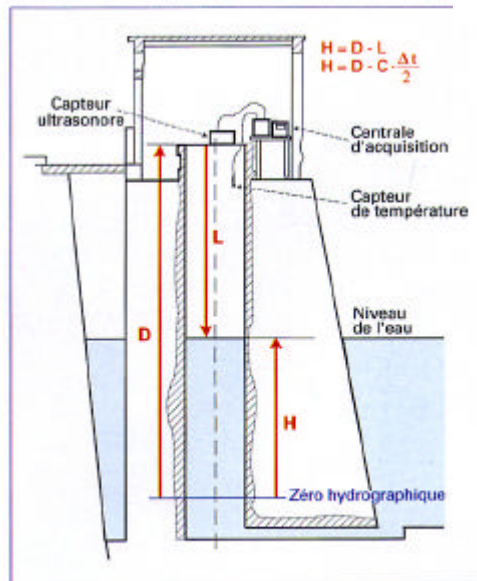


Exemple de marégramme



Marégraphes à pression

Marégraphes ultrasons



L'observatoire de marée de Brest-Penfeld est équipé d'un marégraphe à ultra-sons



■ Capteurs ultrasonores

- type : Nivus 01 de Ben



Coffret électronique

transducteur

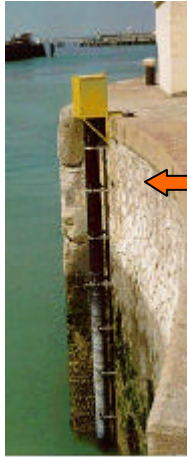
Sonde de température

■ Centrales nouvelle génération

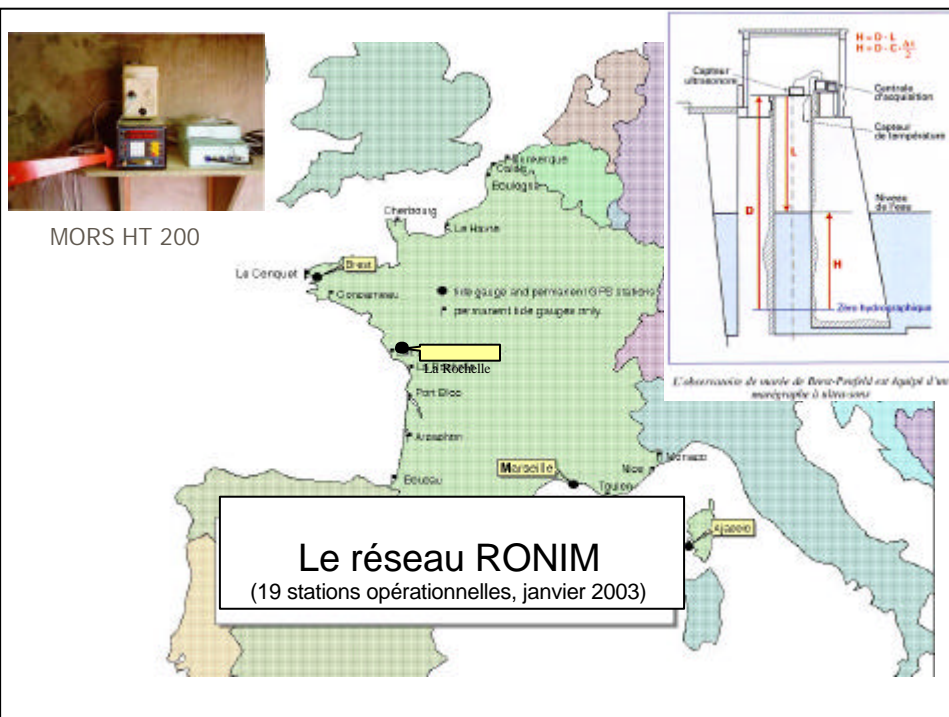
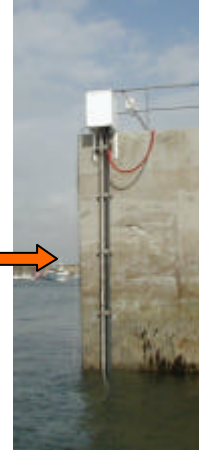
- gestion des alarmes
- résolution compatible avec celle des capteurs
- transmission automatique des données
- possibilité d'interfacer plusieurs capteurs



Implantation des marégraphes ultrasonores et radar



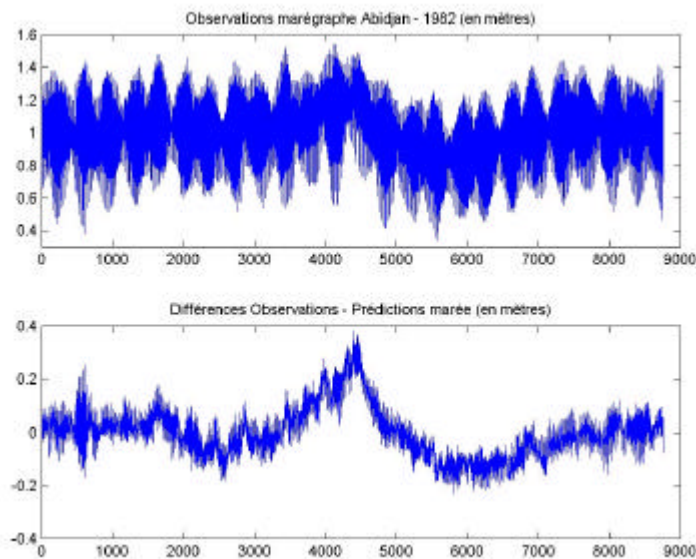
- Besoin d'installer un tube de tranquillisation le long d'un quai
 - tube en PVC de 300 mm de diamètre pour les capteurs ultrasonores
 - tube en inox de 80 mm de diamètre pour les capteurs radar
- Besoin de trouver un local distant pour abriter la centrale d'acquisition

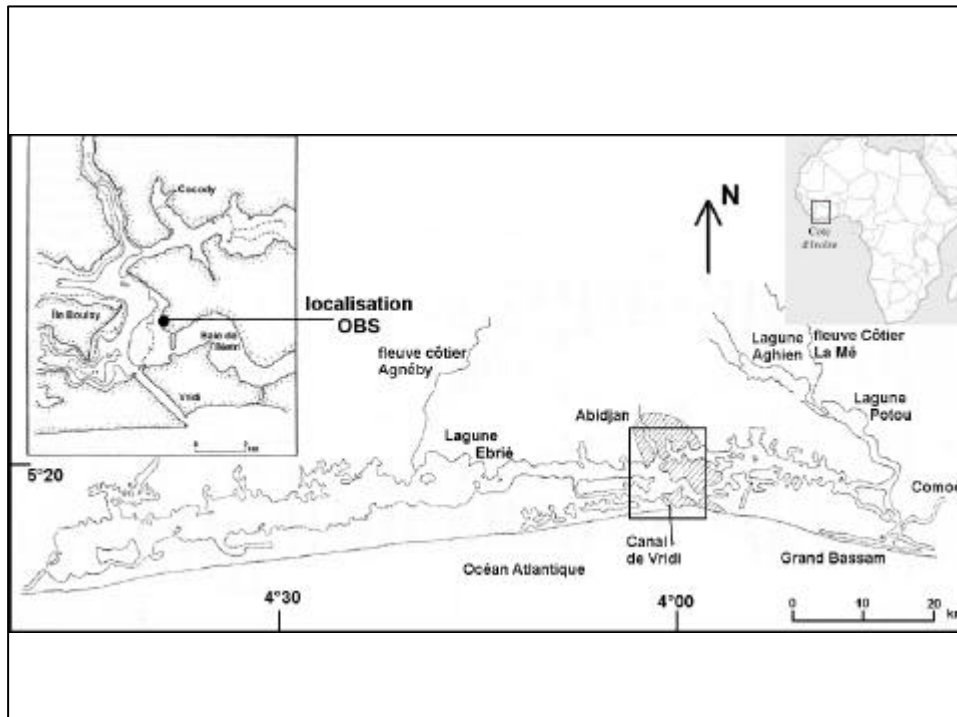


Projets d'extension du réseau RONIM

- En métropole (2003)
 - Roscoff (Prédiction de marée)
 - Saint-Malo (Prédiction de marée)
 - Saint Jean-de-Luz (Prédiction marée, réduction sondages)
- Dans les DOM-TOM (2003...)
 - Nouméa (IRD/DITTT - Calibration des altimètres, études niveau moyen de la mer)
 - Fort-de-France (Météo-France - Prédiction de marée, études niveau moyen de la mer)
 - Guyanne, île du Salut (Prédiction marée, réduction sondages bathymétriques)

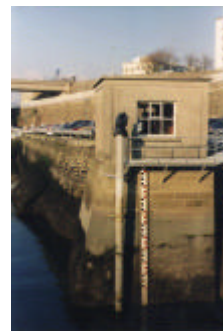
Contenu océanographique d'un signal marégraphique

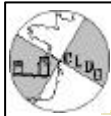




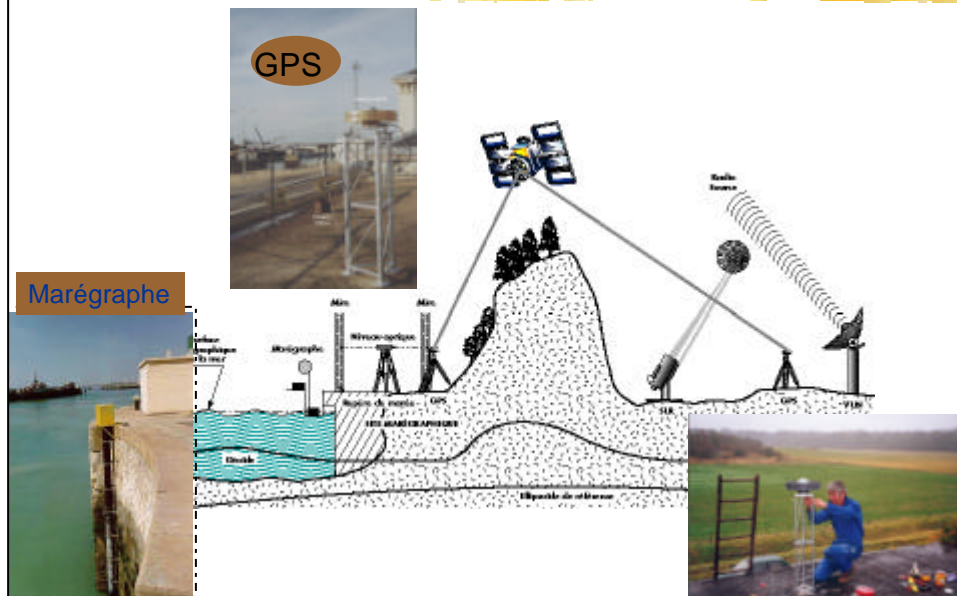
Repères de marée (TGBM en anglais)

- De quoi s'agit-il ?
- Où les trouve-t-on ?
- A quoi servent-ils ?
 - Définir la référence de l'observatoire
 - Construire des séries temporelles cohérentes
- Comment est définie la référence de l'observatoire ?
- Comment se rapporter à cette référence ?

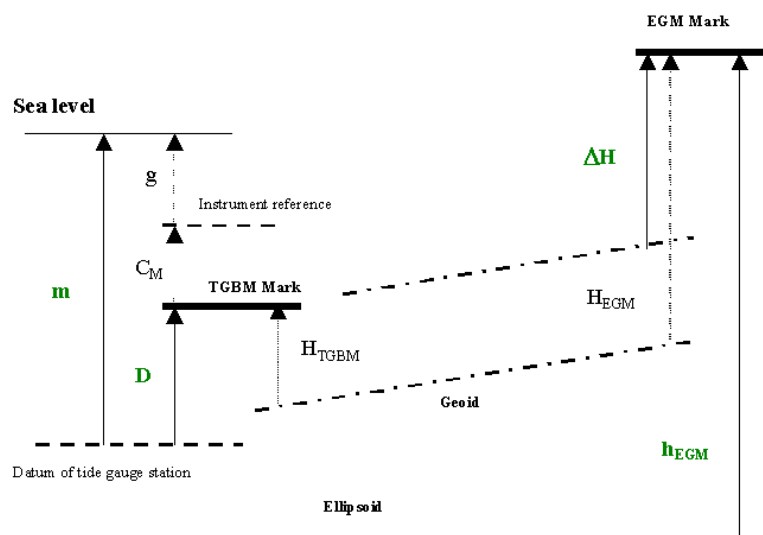




Mouvements verticaux de l'écorce terrestre : étude et surveillance par techniques spatiales



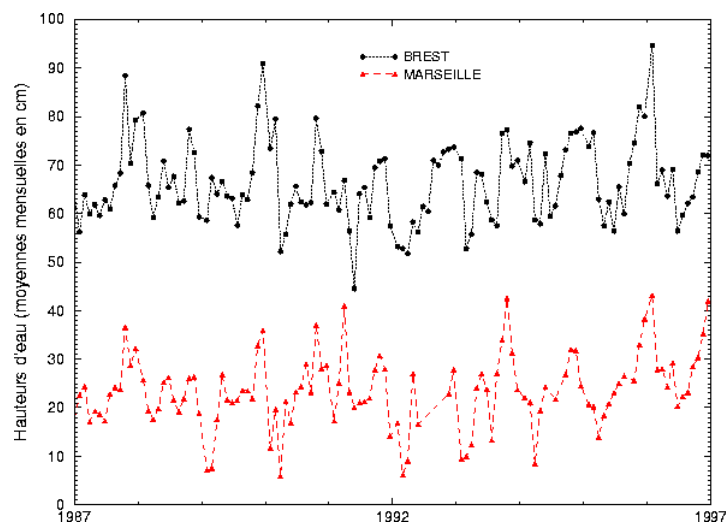
Les grandeurs d'un rattachement



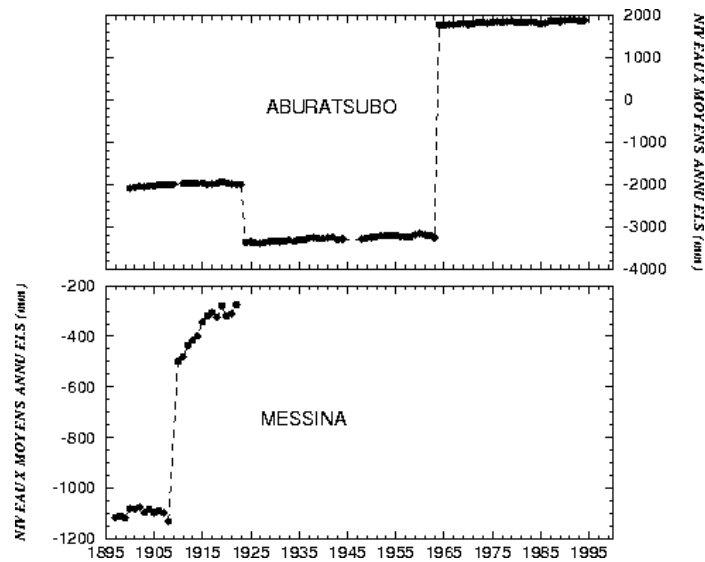
Principales exploitations des marégraphes

- Etude et amélioration des prédictions de marée
- Réduction des sondages hydrographiques
- Navigation - Hauteurs d'eau en temps réel
- Références verticales terrestres et marines
 - zéro hydrographique, géoïde...
- Etudes des niveaux extrêmes
 - aménagement des ports, ondes de tempêtes
- Détermination des biais et dérives des altimètres radar embarqués sur satellite
- Variations climatiques du niveau marin
- ...

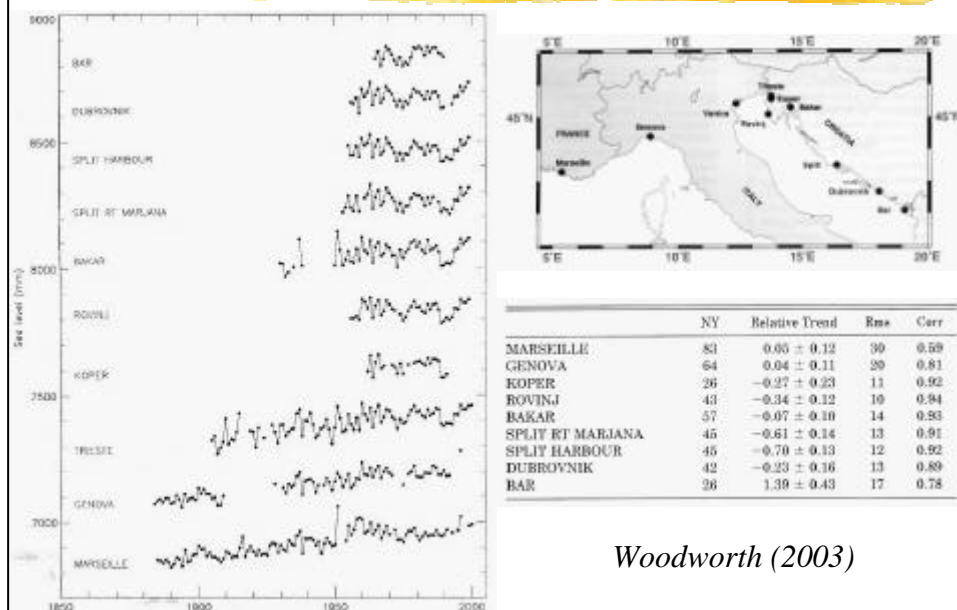
Variabilité des niveaux moyens



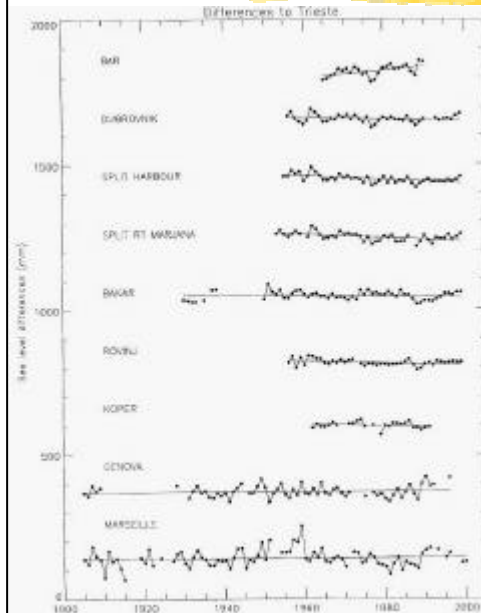
Marégraphes et Géodynamique (1)



Marégraphes et Géodynamique (2)



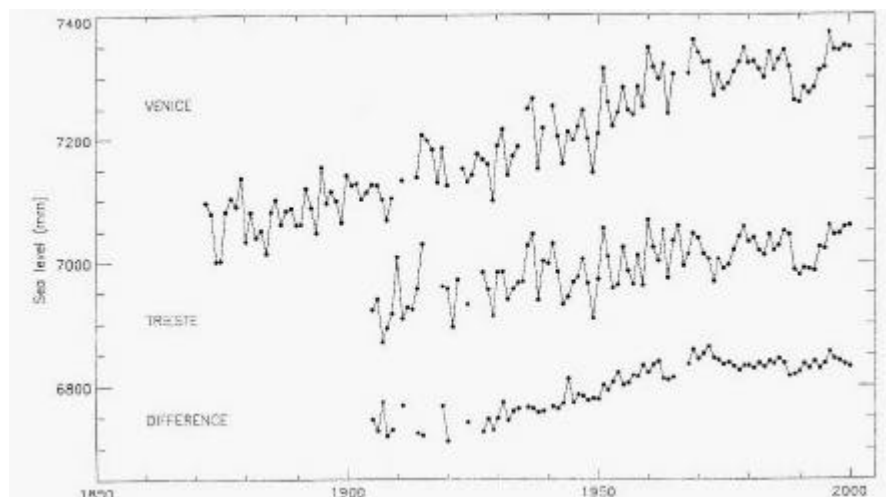
Marégraphes et Géodynamique (suite)



RMS compris entre 1 et 3 cm

Woodworth (2003)

Marégraphes et Géodynamique (suite)



Woodworth (2003)

Contrôle et validation des données

- Hauteurs brutes (à cadence d 'acquisition)
 - tracé de vérification
 - corrections manuelles d 'erreurs manifestes
 - lissage ou interpolation et filtrage des données
 - calcul des hauteurs horaires
- hauteurs horaires
 - détection automatique d 'erreurs ponctuelles
 - comblement de lacunes
 - comparaison avec les prédictions
 - tracé de vérification
 - calcul des niveaux moyens
 - amélioration des constantes harmoniques

Principe de l'étalonnage

- Objet :
 - (re)caler le marégraphe dans la référence voulue
 - contrôler les performances
- Rappel (Larousse)
 - Etalonnage (ou étalonnement) : « détermination de la relation existant entre les indications d'un appareil de mesure et les valeurs de la grandeur à mesurer »
- Méthodologie
 - Vérifier par comparaison avec un étalon, l'exactitude des indications de l'instrument de mesure

Les principaux “étalons” utilisés

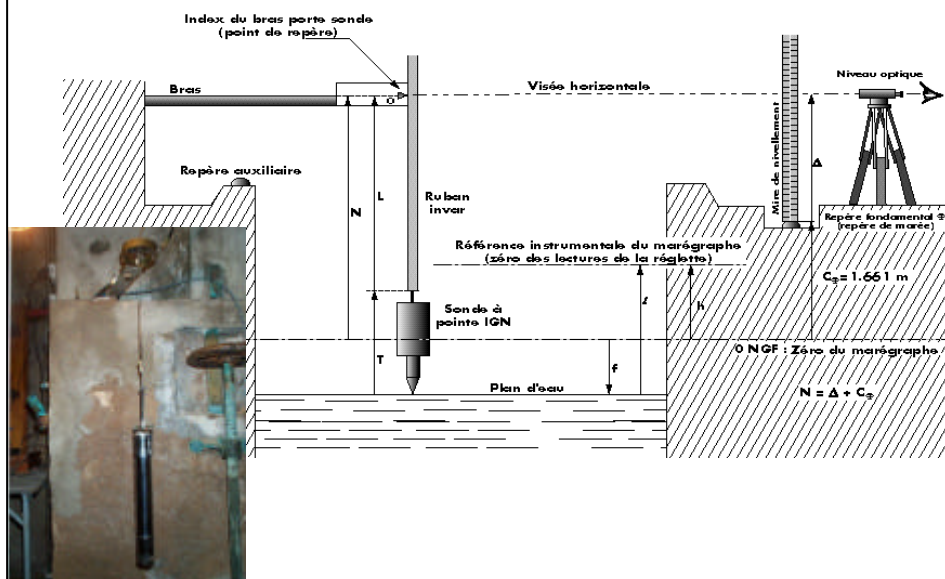
Sonde (lumineuse ou sonore)



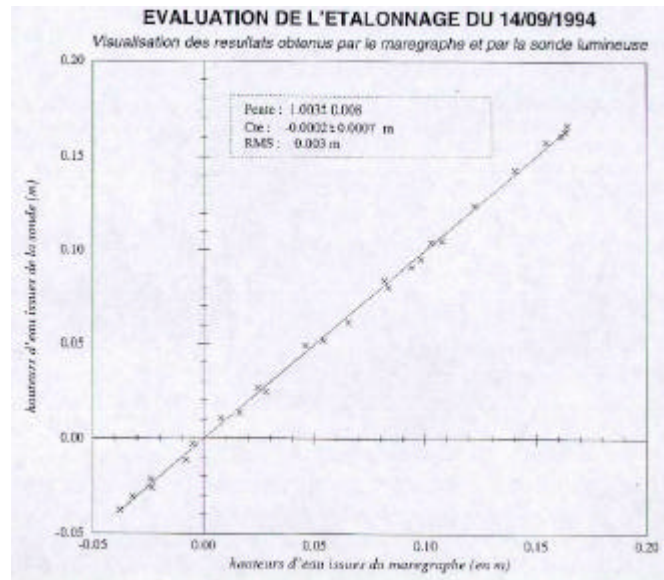
Echelle de marée



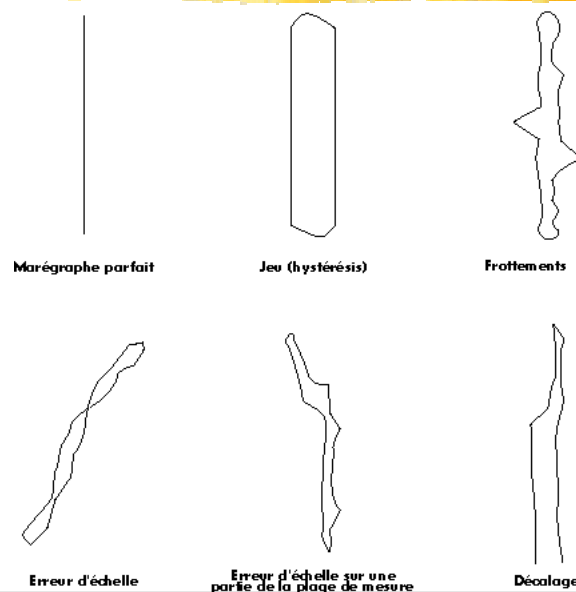
Exemple de mise en œuvre : Marseille



Exploitation des données (1)

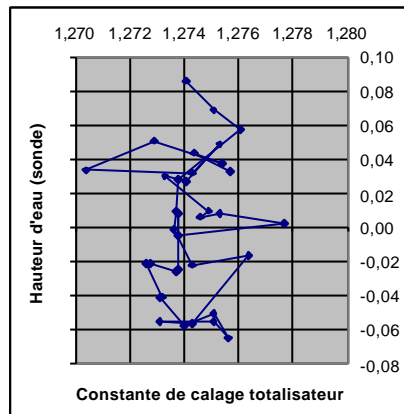


Exploitation des données (2) : Test de Van de Casteele



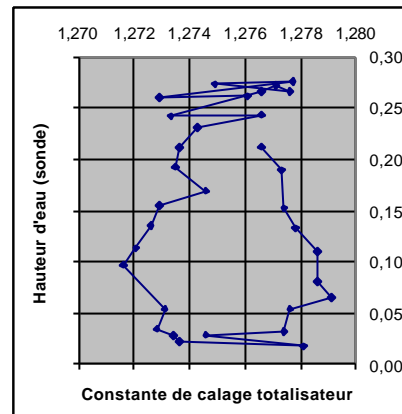
Application au marégraphe à flotteur de Marseille : étalonnages de 2000 et 2001

Etalonnage du 07/06/2000



$$h = (1.2743 \pm 0.0002) \text{ m}$$

Etalonnage du 18/09/2001



$$h = (1.2755 \pm 0.0004) \text{ m}$$

Application au marégraphe à flotteur de Marseille : synthèse des résultats (1)

Date de l'étalonnage	h (en m)	Dh ₁₂₋₄₁ (en m)
7 juillet 1993	1.3542 ± 0.0012	---
4 août 1994	1.3526 ± 0.0005	-0.0016
14 septembre 1994	1.3579 ± 0.0005	0.0053
7 novembre 1996	1.3559 ± 0.0004	-0.002
10 décembre 1996	1.3569 ± 0.0005	0.001
3 février 1999	1.5618 ± 0.0005	0.2049
5 juin 2000	1.5621 ± 0.0002	0.0003
7 juin 2000	1.2743 ± 0.0002	-0.2678
18 septembre 2001	1.2755 ± 0.0004	0.0012

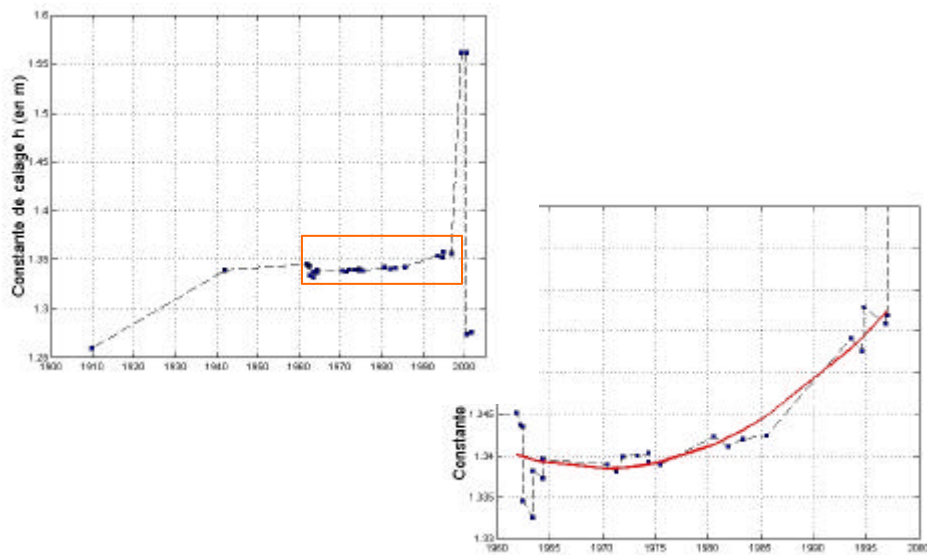
14/07/1997: Marégraphe saccagé

06/06/2000: Changement fils

$$S_h = \sqrt{s_N^2 + s_L^2 + s_a^2 + s_b^2 + s_c^2 + s_d^2 + s_l^2}$$

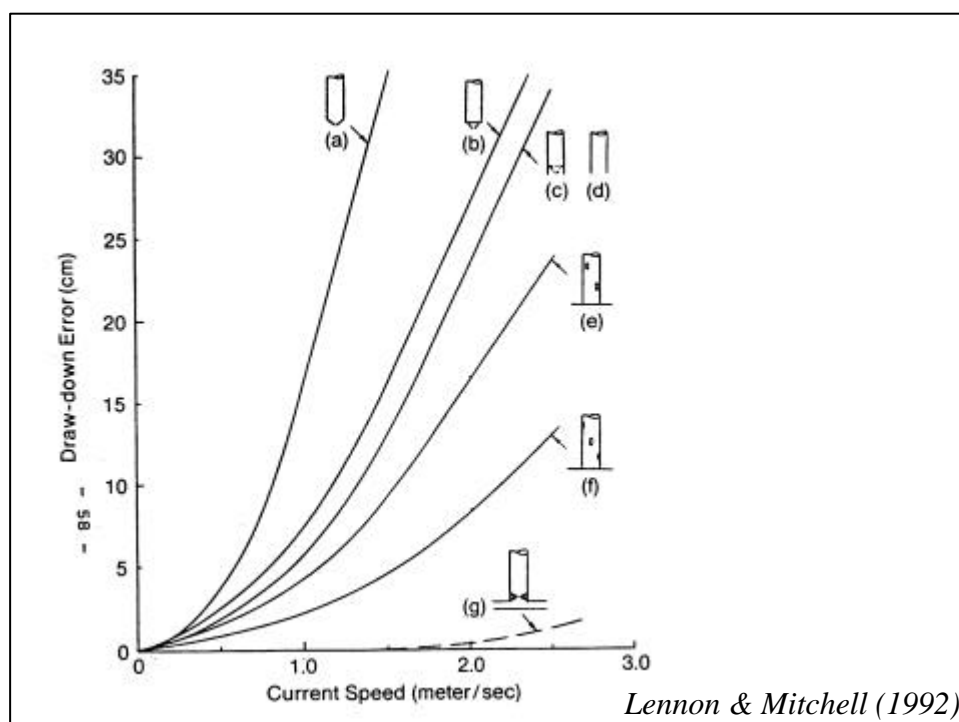
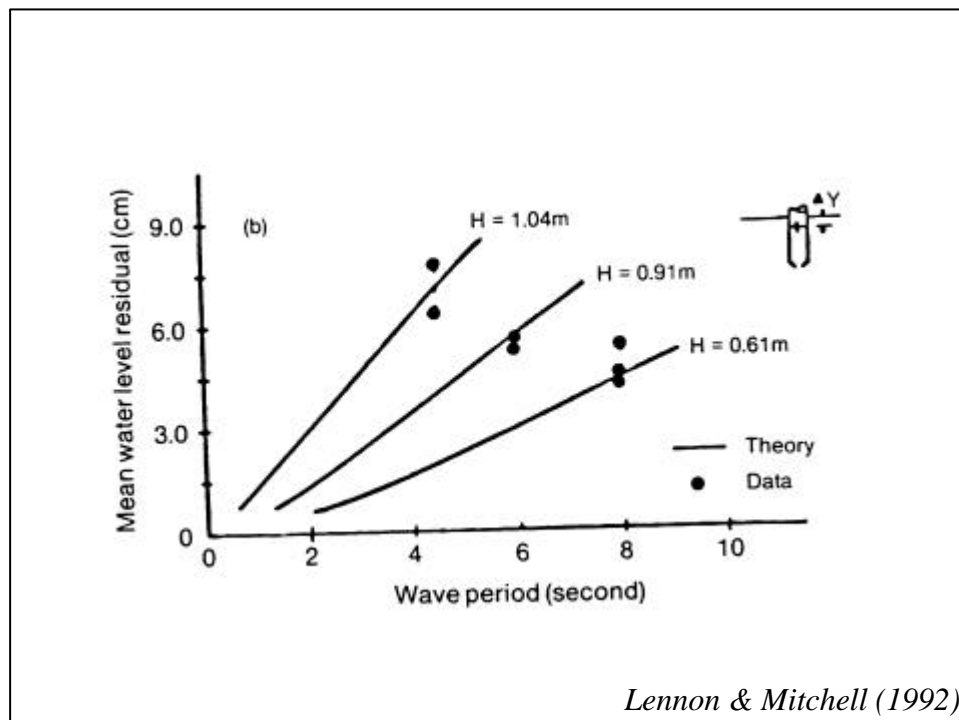
$$S_h = \sqrt{0.1^2 + 0.5^2 + 0.05^2 + 0.2^2 + 0.05^2 + 0.05^2 + 0.5^2} \approx 0.7 \text{ mm}$$

Application au marégraphe à flotteur de Marseille : synthèse des résultats (2)



Rappel : critères de qualité GLOSS

- Mise en place de marégraphes modernes
 - numériques
 - précis
 - avec possibilité de cadence d'acquisition élevée
- Contrôles annuels
 - étalonnage (échelle de marée, sonde lumineuse...)
 - stabilité locale par nivellement géométrique
- Surveillance géodésique dans repère géocentrique (GLOSS-LTT et ALT)
- Accès et diffusion des données (Internet...)



SONEL - Système d'observation des niveaux des eaux littorales

■ Avancement du projet

- les données de RONIM sont accessibles via Internet depuis janvier 2003
- accès aux données suivantes:
 - | hauteurs horaires brutes : délai de 1 semaine
 - | hauteurs horaires validées : délai de 3 mois
 - | niveaux moyens journaliers, mensuels et annuels : 3 mois
 - | statistiques sur les hauteurs
 - | métadonnées (position, système horaire, photos, ...)
- conditions d'accès au serveur :
 - | identification par fiche signalétique,
 - | retour d'expérience (rapports d'étude, publication...)

Organisation du serveur ftp (l)

ftp.sonel.org

```

--pub--|--gps--|--data--|--YYYY--|--DDD--| Daily RINEX GPS observations for
|                                     | year YYYY and day of year DDD
|                                     | (Hatanaka format, Unix compressed)
|                                     |
|                                     |--2002--|--170--|--sant1700.02d.E
|                                     |--1700.02d.E
|                                     |--...
|                                     |--1993--|--001--|--sant0010.93d.E
|                                     |--...
|
|                                     |--prod--|--WWWW--| Weekly IGS products for GPS week WWWW
|                                     |--...
|                                     |--1168--| Since 0999 (28/02/1999) for SNX
|                                     |--...
|                                     |--0723--| Since 0730 (02/01/1994) for ERP
|                                     |--...
|                                     |--0723--| Since 0723 (14/11/1993) for SP3
|
|                                     |--tiga--|--daily--|--YYYY--|--ulrWWWD.snz.E TIGA-PP GPS daily solutions
|                                     |--...
|                                     |--weekly--|--ulrWWWW7.snz.E TIGA-PP GPS weekly solutions
|                                     |--...
|                                     |--...
|
|--nareg--|--shom--| French data provided by SHOM
|--legos--| French data provided by LEGOS
|--psml--| Data from PSML (TIGA and ESEAS stations)
|--uhsic--| Data from University of Hawaii ( iden )
|
|--meta--|--gpslog--| GPS log files (Station descriptions)
|--toslog--| TIGA Observing Stations forms
|--sites--| Pictures, site specific info...
|--formats--| Format descriptions
|--docs--| Network lists, station codes...

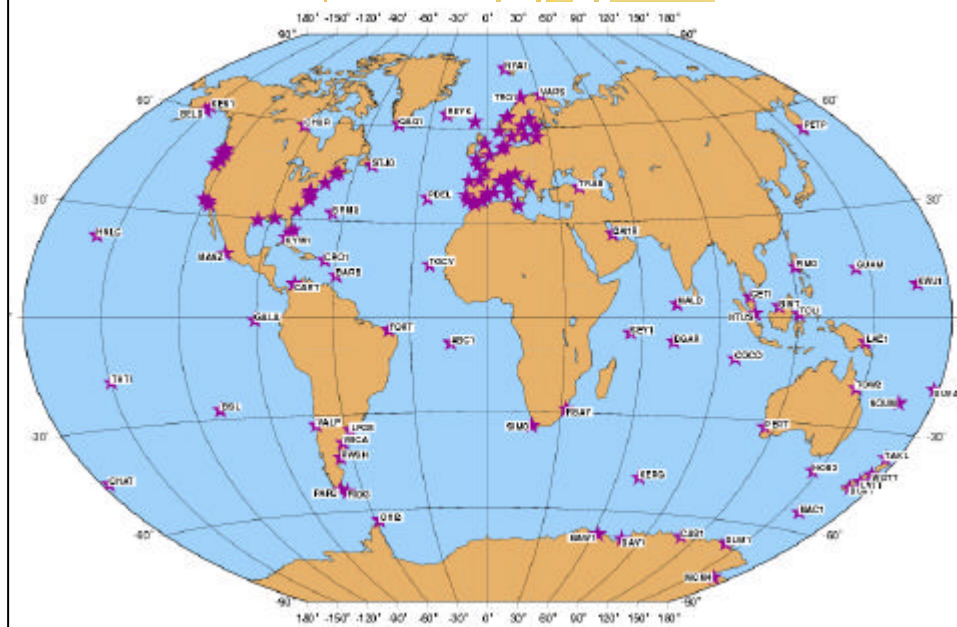
```


Données de marégraphie du SHOM (/pub/mareg/shom/)

Extrait du README

- L'utilisateur des données s'engage à :
 - s'enregistrer comme utilisateur de SONEl,
 - décrire sommairement l'objet de ses études,
 - communiquer les résultats finaux et/ou partiels de ses études (articles, rapports...),
 - citer la source des données (SONEL ?),
 - informer de tout problème portant sur la qualité ou l'intégrité des données,
 - ne pas diffuser les données à des tiers, mais plutôt fournir l'adresse de SONEl.

Données GPS + Marégraphes (sites)



Données de marégraphie dans les différentes banques de données

SITE	LON dec	LAT dec	SHOM	LEGOS	PSMEL	GLOSS	UHSIC	IGS
AJACCIO	8.76	41.93	AJACC		-----	ALT		AJAC
ARCACHON-EYDAS	-1.16	44.66	EYDAS		190139	---		
BOUCAU-BAYONNE	-1.42	43.78	BOUCA		190021	---		
BOULOGNE-SUR-MER	1.58	50.73	BOULO		190091	242		BREST
BREST	-4.50	48.38	BREST		190011	---		
CALAIS	1.66	50.97	CALAI		876001	202		
CAYENNE	-52.00	5.00			190061	---		
CHERBOURG	-1.63	49.65	CHERB		831002	165	391	
CLIPPERTON	-109.22	10.28			---	---		
CONCARNEAU	-3.92	47.87	CONCA		---	---		
CROSET	51.87	-46.42		178	---	021	178	
DUMONT D'URVILLE	140.00	-66.67		225	---	131		DUMI
DUNKERQUE	2.37	51.05	DUNKER		190001	---		
DEACODZI, MAOTTE	45.25	-12.78			---	096	155	
PORT-DE-FRANCE	-60.08	14.60			912001	---		
REBQUELEN	70.25	-49.35		180	434001	023	180	KERG
LA ROCHELLE	-1.22	46.16	LROCH		190121	---		LROC
LES SABLES D'OLONNE	-1.80	46.50	OLONNE		190116	---		
LE CONQUET	-4.78	48.37	LCONQ		190089	---		
LE CROQUET	-2.69	47.54	LCROU		---	---		
LE HAVRE	-0.12	49.48	HAVRE		190051	---		
LE ROBERT	-60.93	14.68			912001	204		
MARSEILLE	5.35	43.28	MARSE		230051	205		MARSE
MONACO	7.42	43.73	MONAC		233011	---		
NICE	7.27	43.70	NICE1		230081	---		
NOUMEA	166.41	-22.27			740001	123	019	NOUM
NUKU HIVA, MARQUISE	-139.03	-9.82			805011	142		
PAPERETE, TAHITI	-149.61	-17.58			780011	140	015	TAHI
PTE GALETS, REUNION	55.30	-20.92			451001	017	164	
RIKITEA, GAMBIE	-134.95	-23.13			808001	138		
SAINT JEAN-DE-LUZ	-1.68	43.40	SJLUZ		190141	---		
SAINT-PAUL	77.58	-38.72		179	---	024	179	
TOULON	5.92	43.12	TOULO		230061	---		

Pour en savoir plus... Bibliographie

- Cours de marée - B.Simon (à paraître)
- La marée - Les guides du SHOM
 - Voir aussi <http://www.shom.fr/>
- Manuels de l'UNESCO
 - Volume I: Basic Procedures
 - Volume II: Emerging Technologies
 - Volume III: Reappraisals and Recommendations as of the year 2000(en ligne sur <http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/>)