

La marégraphie

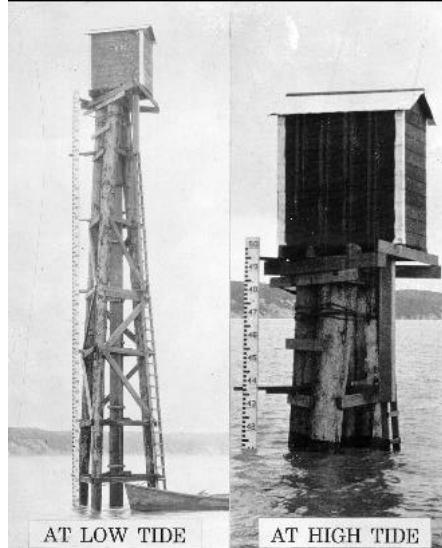
Guy Wöppelmann

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 »,

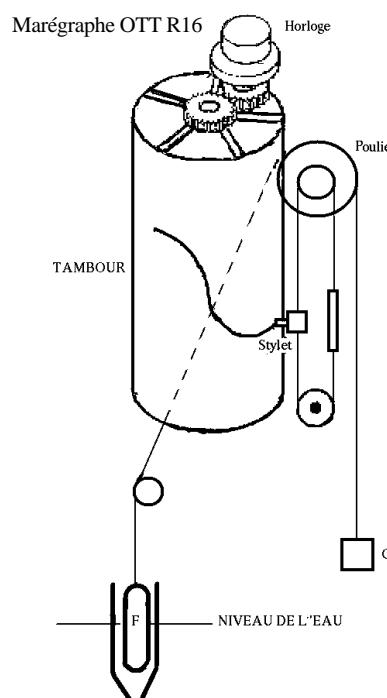
Historique - Echelle de marée



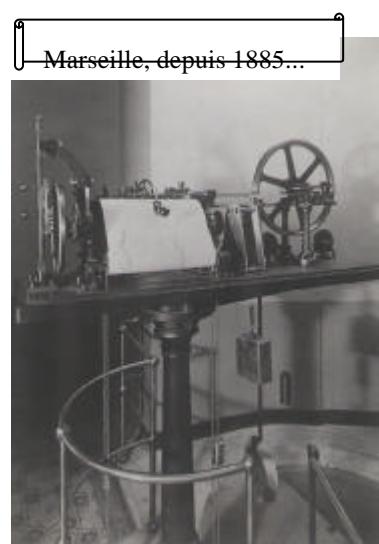
Données historiques de marégraphie en France

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

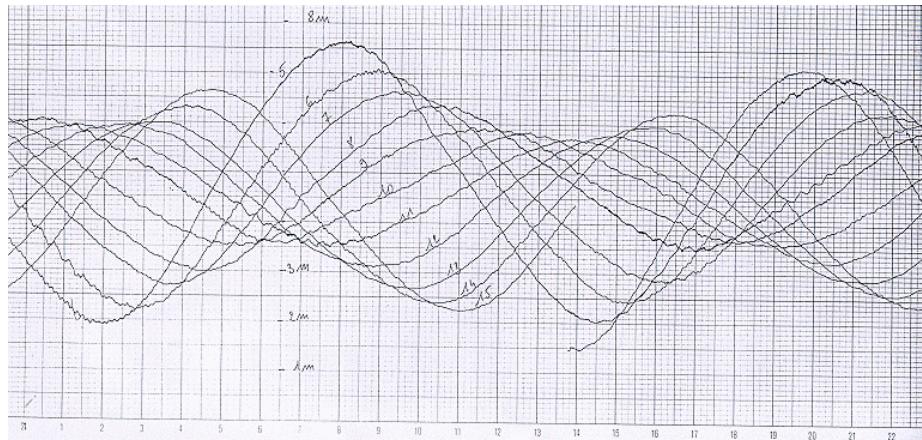
■ Résultats d'une recherche bibliographique dans les archives du SHOM, des Observatoires de Paris et de Meudon (2000)



Marégraphes à flotteur



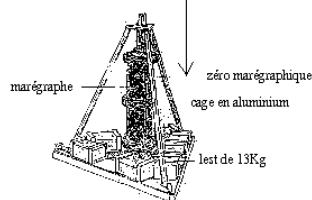
Exemple de marégramme



Surface de l'eau

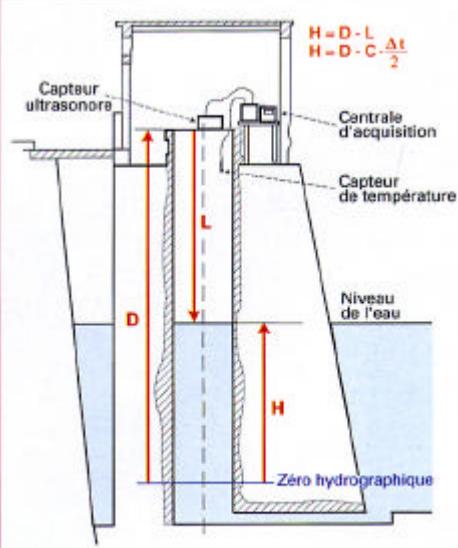
$$P = \rho * g * H$$
$$H = \frac{P_{\text{marégraphe}} - P_{\text{atmosphère}}}{\rho * g}$$

avec ρ : la masse volumique de l'eau
 g : accélération de pesanteur



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

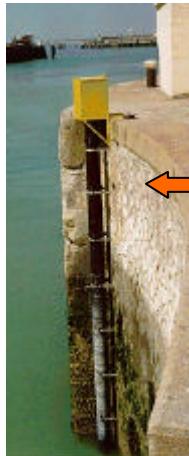
Sonde de température

Centrales nouvelle génération

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



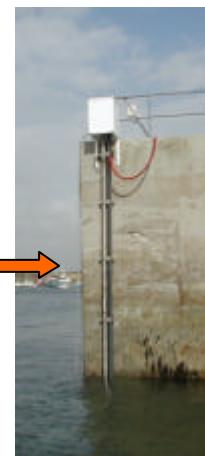
Implantation des marégraphes ultrasonores et radar



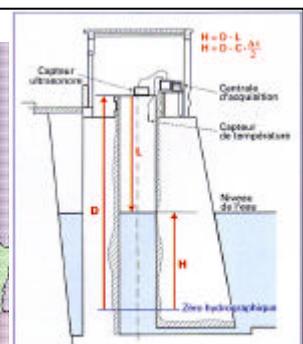
- Besoin d'installer un tube de tranquilisation le long d'un quai

- 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



MORS HT 200

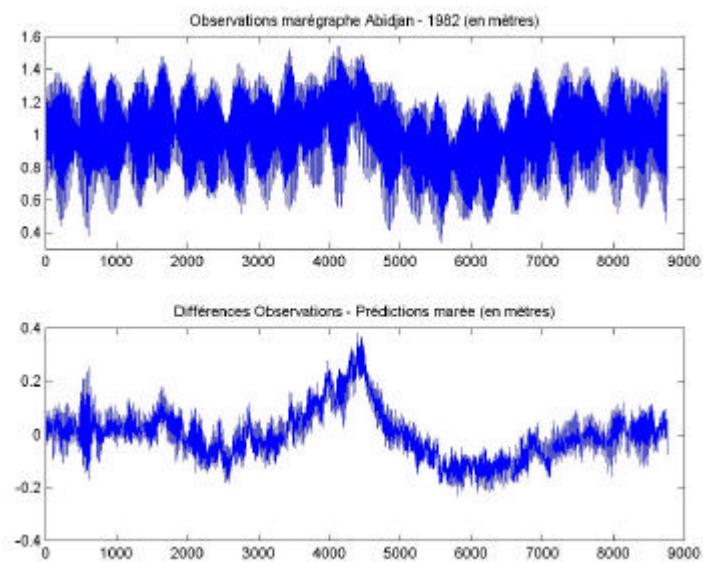


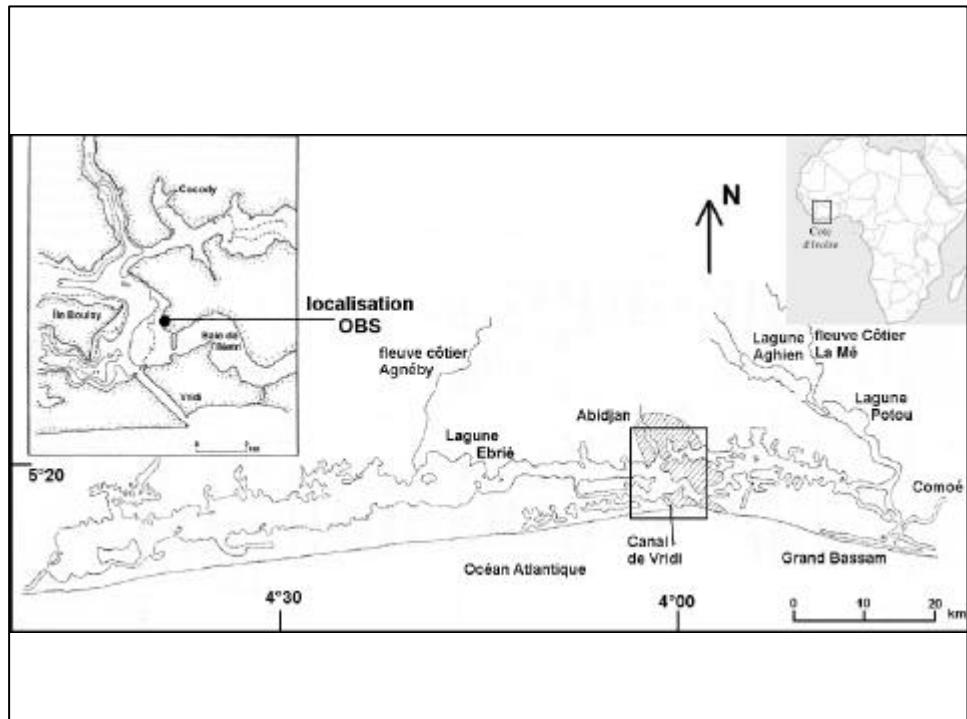
Le réseau RONIM
(19 stations opérationnelles, janvier 2003)

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

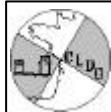




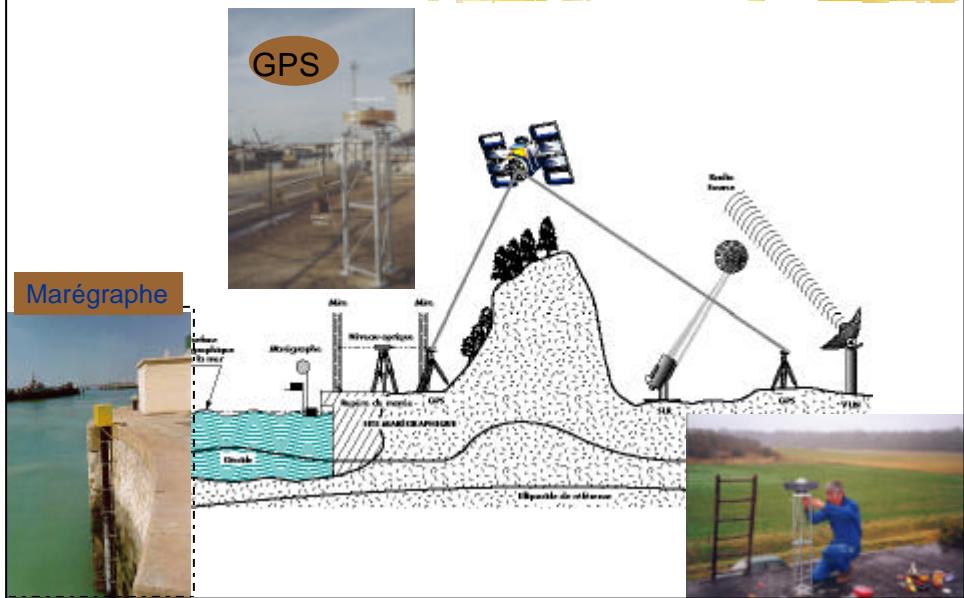
Repères de marée (TGBM en anglais)

- 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 ?

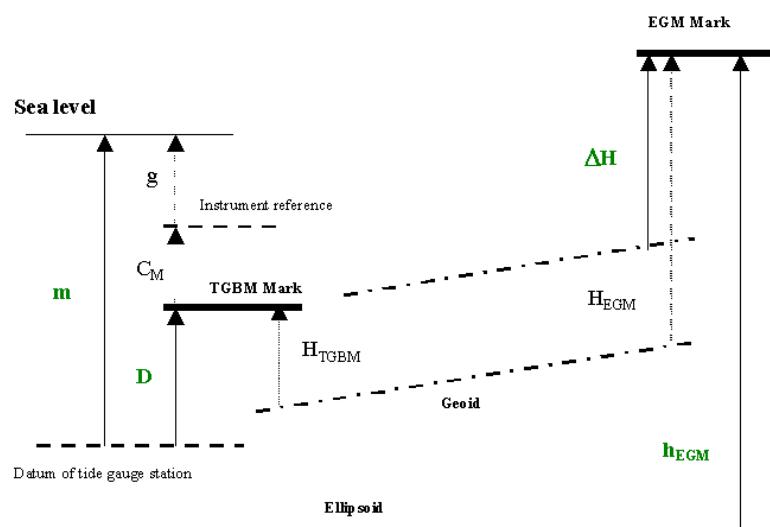




Mouvements verticaux de l'écorce terrestre : étude et surveillance par techniques spatiales



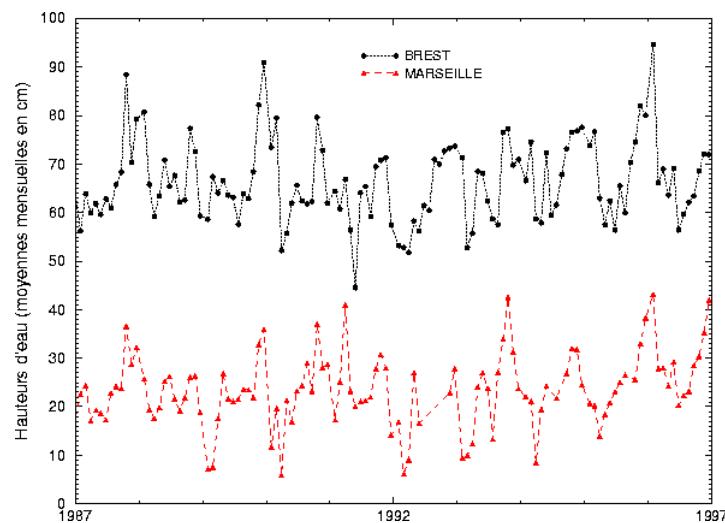
Les grandeurs d'un rattachement



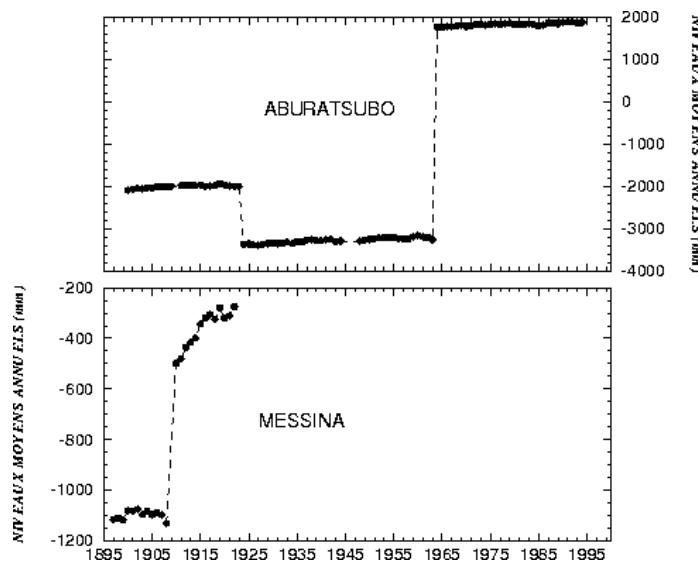
Principales exploitations des marégraphes

- 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
- ...

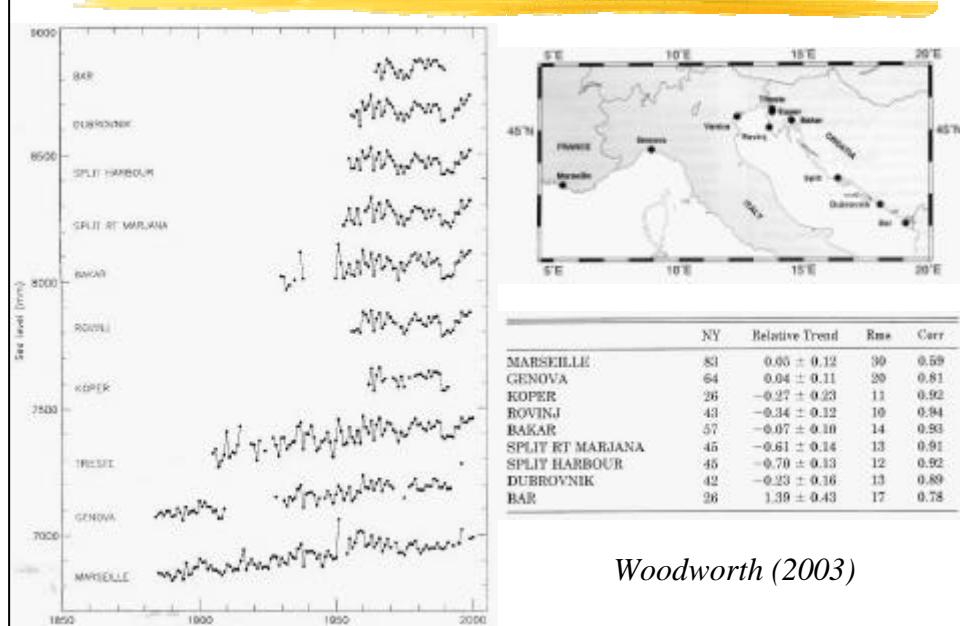
Variabilité des niveaux moyens



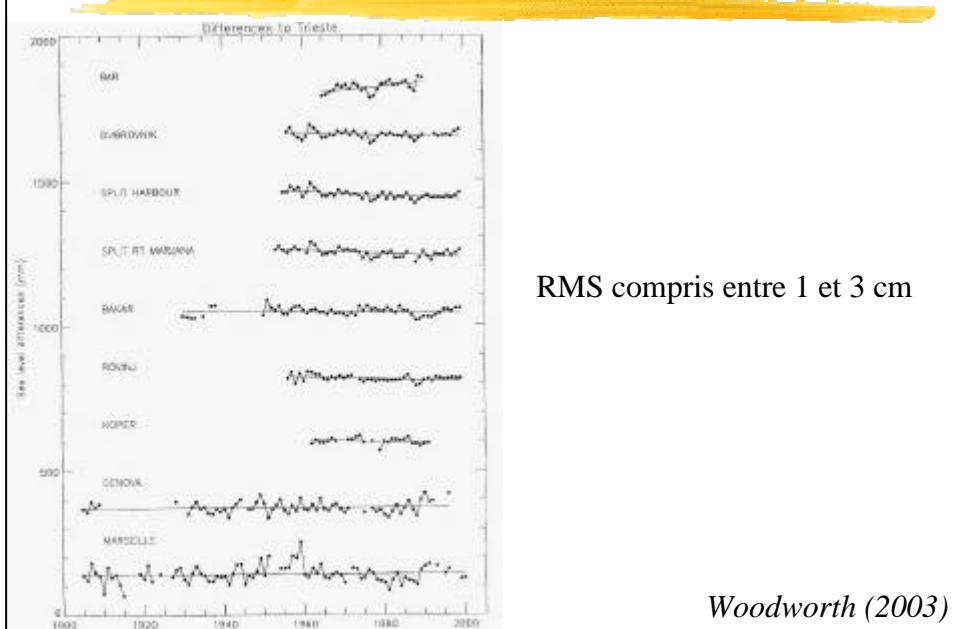
Marégraphes et Géodynamique (1)



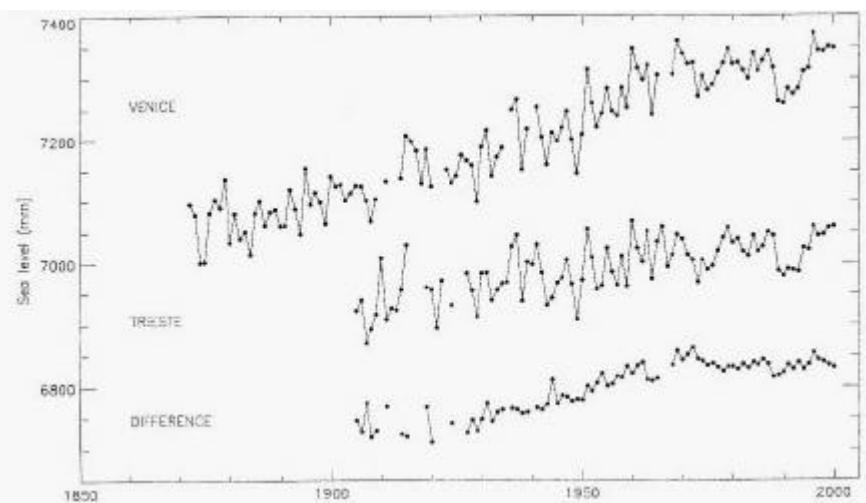
Marégraphes et Géodynamique (2)



Marégraphes et Géodynamique (suite)



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

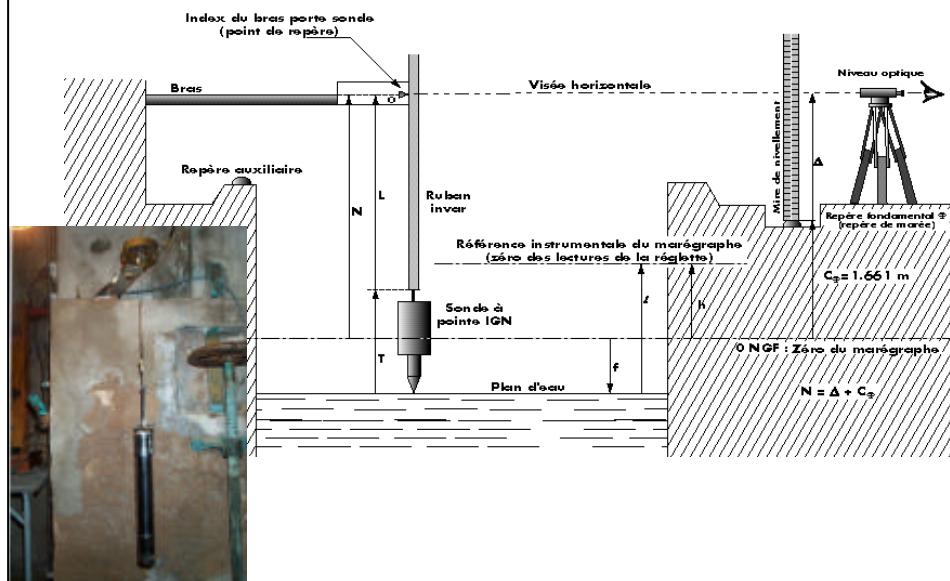
Sonde (lumineuse ou sonore)



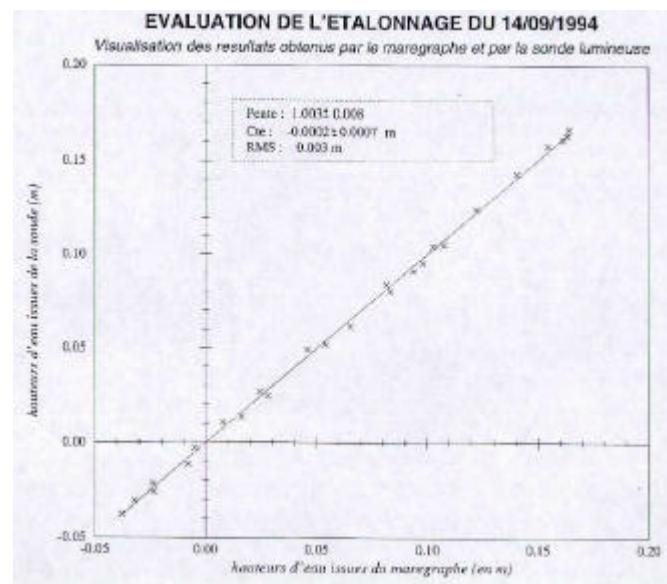
Echelle de marée



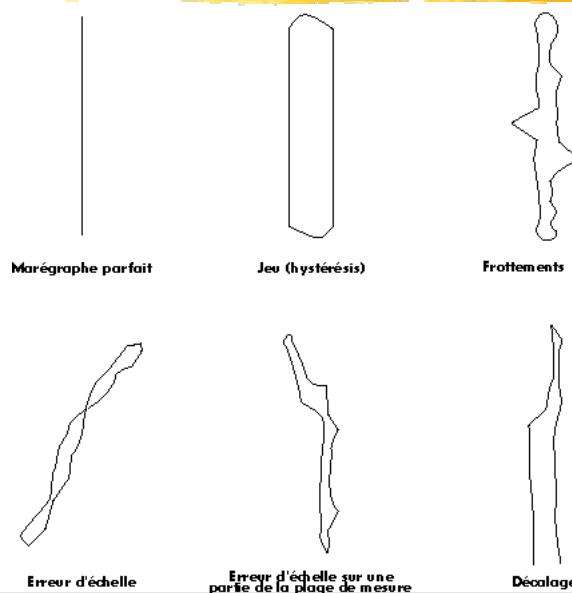
Exemple de mise en œuvre : Marseille



Exploitation des données (1)

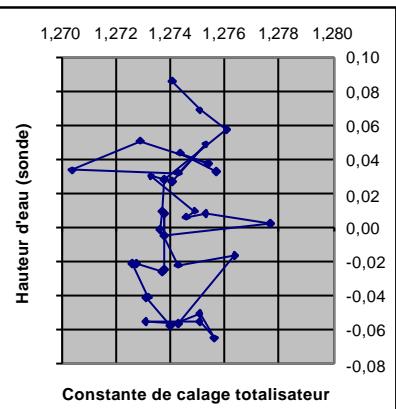


Exploitation des données (2) : Test de Van de Castele



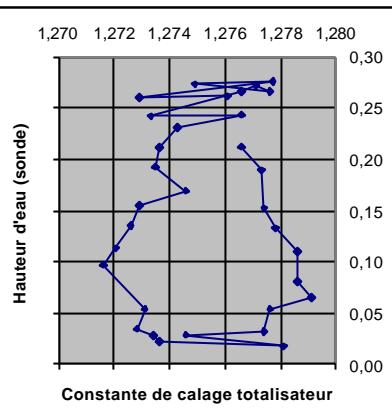
Application au marégraphe à flotteur de Marseille : étalonnages de 2000 et 2001

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_{2-t1} (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	0.004
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

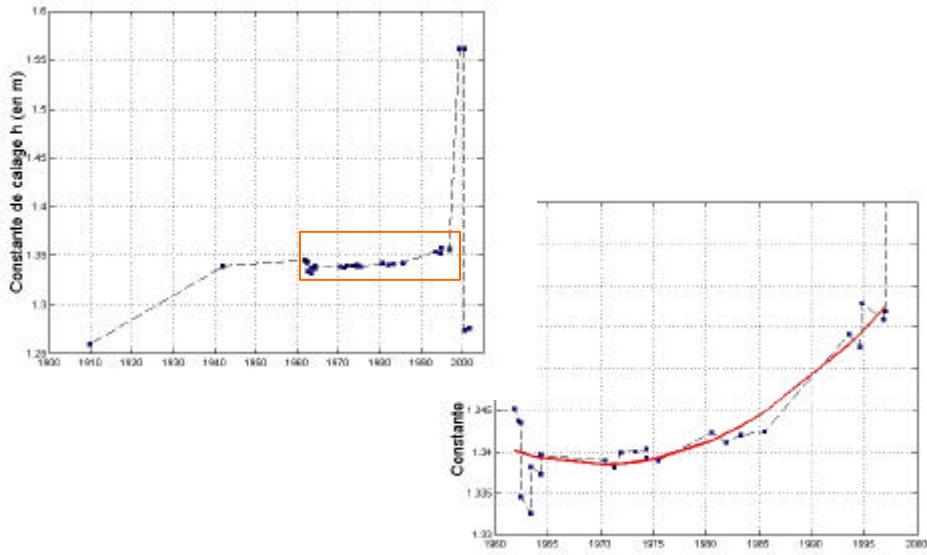
Annotations on the right side of the table:

- A red circle highlights the value 0.004, with an arrow pointing to the date 14/07/1997: Marégraphe saccagé.
- A red circle highlights the value -0.2678, with an arrow pointing to the date 06/06/2000: Changement fils.

$$\mathbf{S}_h = \sqrt{\mathbf{S}_N^2 + \mathbf{S}_L^2 + \mathbf{S}_a^2 + \mathbf{S}_b^2 + \mathbf{S}_c^2 + \mathbf{S}_d^2 + \mathbf{S}_l^2}$$

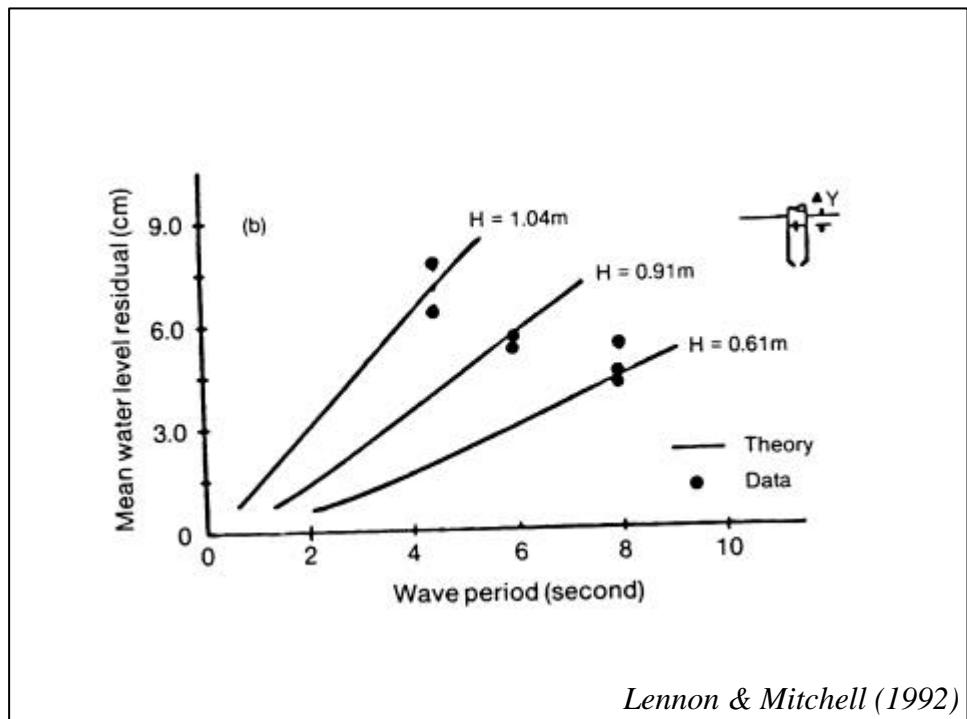
$$\mathbf{S}_h = \sqrt{0.1^2 + 0.5^2 + 0.05^2 + 0.2^2 + 0.05^2 + 0.05^2 + 0.5^2} \approx 0.7 \text{ mm}$$

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

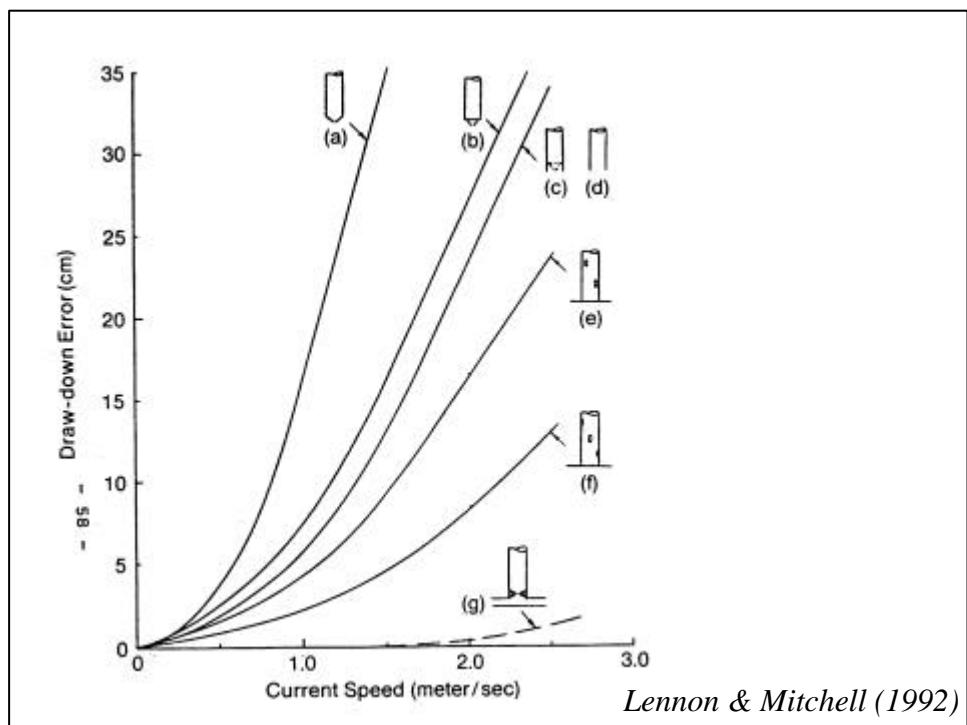


Rappel : critères de qualité GLOSS

- 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 nivellation géométrique
- Surveillance géodésique dans repère géocentrique (GLOSS-LTT et ALT)
- Accès et diffusion des données (Internet...)



Lennon & Mitchell (1992)



Lennon & Mitchell (1992)

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 (I)

ftp.sonel.org

```
--pub---gps---data---YYYY---DOD--- Daily RINEX GPS observations for
                                year YYYY and day of year DOD
                                (Hatanaka format, Unix compressed)
                                |.....
                                |--2002--|--170--|--sant1700.02d.Z
                                |         |--lrcd1700.02d.Z
                                |         |.....
                                |--1993--|--001--|--sant0010.93d.Z
                                |         |.....
--prod---WWWW--- Weekly IGS products for GPS week WWWW
                                |.....
                                |--1168--| Since 0999 (28/02/1999) for SWN
                                |         | Since 0730 (02/01/1994) for ERP
                                |         | Since 0723 (14/11/1993) for SP3
--tiga---daily---YYYY---ulrWWWWD.snx.Z  TIGA-PP GPS daily solutions
                                |.....
                                |         | for year YYYY, GPS week WWWW
                                |         | day of week D (0=sunday...)
--weekly---ulrWWWW7.snx.Z                TIGA-PP GPS weekly solutions
                                |.....
                                |         | for GPS week WWWW
--mareg---sbox--- French data provided by SHOM
--legos--- French data provided by LEGOS
--psm1--- Data from PSMSL (TIGA and ESEAS stations)
--uhslc--- Data from University of Hawaii ( idem )
--meta---gpslog--- GPS log files (Station descriptions)
--tostlog--- TIGA Observing Stations forms
--sites--- Pictures, site specific info...
--formats--- Format descriptions
--docs--- Network lists, station codes...
```

Organisation du serveur ftp (II)

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

```
HAUT_HOR---|---BRUTS---|---hAJACC200247.slv Ajaccio Raw hourly data for
|---hMARSE200247.slv week 47 year 2002
|---...
|---VALID---|---hAJACC2001.slv Ajaccio Quality controlled
|---hAJACC2002.slv hourly data for year 2001
|---hMARSE2001.slv ... year 2002
|---hMARSE2002.slv
|---...
|---TOTAL---|---hAJACC.slv Complete quality controlled
|---hMARSE.slv hourly data file for A
|---...
|---STATS---|---AJACC.stat Quality control results for
|---MARSE.stat Ajaccio - Statistics
|---...
HIVX_MOT---|---ANNUEL---|---yAJACC.slv Annual mean sea level
|---yMARSE.slv for Ajaccio
|---...
|---JOURNALIER---|---dAJACC.slv Daily mean sea level var
|---dMARSE.slv
|---...
|---MENSUEL---|---mAJACC.slv Monthly mean sea level
|---mMARSE.slv
|---...
```

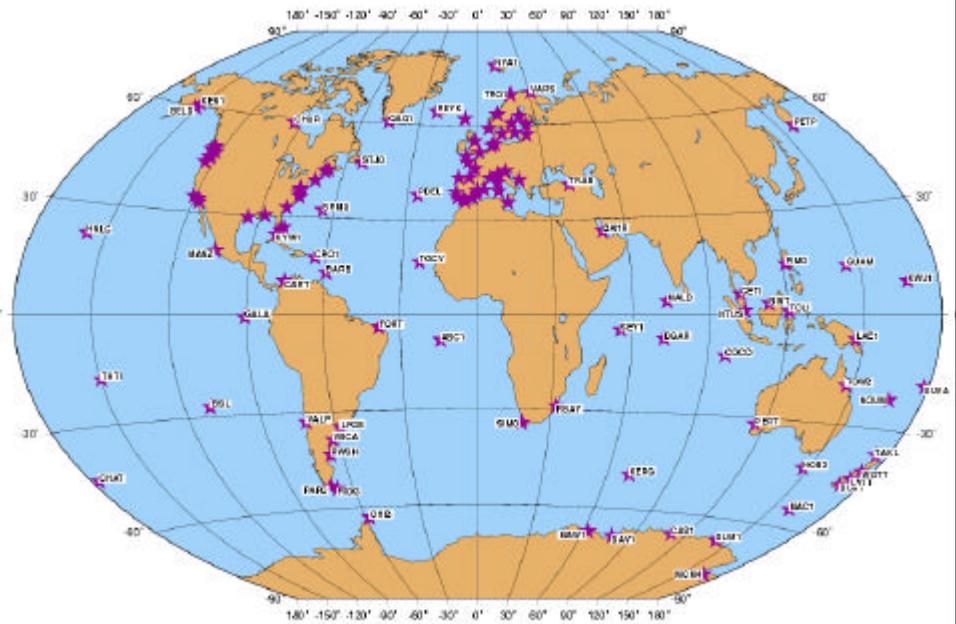
Extrait du README



Données de marégraphie - Conditions

- 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	LONG dec	LAT dec	SHOM	LEGOS	PSMSL	GLOSS	UHSLC	IGS
AJACCIO	8.76	41.93	AJACC	-----	-----	ALT	-----	AJAC
APCACHON-BYPAC	-1.16	44.66	BYPAC	-----	-----	-----	-----	-----
BOUCAU-BATONNE	-1.42	43.78	BOUCA	190139	-----	-----	-----	-----
BOULOGNE-SUR-MER	1.58	50.73	BOULO	190021	-----	-----	-----	-----
BREST	-4.50	48.38	BREST	190091	242	-----	-----	BRET
CALAIS	-1.66	50.97	CALAI	190011	-----	-----	-----	-----
CAYENNE	-52.00	5.00	-----	876001	202	-----	-----	-----
CHEPBOURG	-1.63	49.65	CHERB	190061	-----	-----	-----	-----
CLIPPERTON	-109.22	10.28	-----	831002	165	391	-----	-----
CONCAPEAU	-3.92	47.87	CONCA	-----	-----	-----	-----	-----
CROZET	51.87	-46.42	-----	178	-----	021	178	-----
DUMONT D'URVILLE	140.00	-66.67	-----	225	-----	131	-----	DUMI
DUNKERQUE	2.37	51.05	DUNKE	190001	-----	-----	-----	-----
DEACODEL, MAYOTTE	45.25	-12.78	-----	-----	-----	096	155	-----
FORT-DE-FRANCE	-60.08	14.60	-----	912001	-----	-----	-----	-----
KERQUELEN	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	OLONC	190116	-----	-----	-----	-----
LE CONQUET	-4.78	48.37	LOCNO	190089	-----	-----	-----	-----
LE CROISET	-2.89	47.54	LOCROU	-----	-----	-----	-----	-----
LE HAVRE	-0.12	49.48	HAVER	190051	-----	-----	-----	-----
LE ROBERT	-60.93	14.68	-----	912001	204	-----	-----	MARS
MARSEILLE	5.35	43.28	MARSE	230051	205	-----	-----	-----
MONACO	7.42	43.73	MONAC	233011	-----	-----	-----	-----
NICE	7.27	43.70	NICE1	230081	-----	-----	-----	-----
NOUMEA	166.41	-22.27	-----	740001	123	019	NOUM	-----
NURU HIVA, MARQUISE	-139.03	-9.82	-----	805011	142	-----	-----	-----
PAPEETE, TAÏTI	-149.61	-17.58	-----	780011	140	015	TAHTI	-----
PTE GALET, REUNION	55.30	-20.92	-----	451001	017	164	-----	-----
RIKITEA, GAMBIER	-134.95	-23.13	-----	808001	138	-----	-----	-----
SAINTE JEAN-DE-LUZ	-1.68	43.40	8JLUZ	190141	-----	-----	-----	-----
SAINTE-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/>)