

FIGURE 1.5 — Courbe de prédiction de marée de type semi-diurne sur une lunaison (29 jours) montrant les variations du marnage avec les phases de la Lune (Brest, France).

présentés ci-dessous en donnent une illustration :

a. Marée de type semi-diurne. — Brest, France, figure 1.4 et 1.5; Casablanca, Maroc, figure 1.6A. Les courbes de ce type de marée, déjà commentées pour Brest, montrent clairement chaque jour, deux pleines et deux basses mers ayant des hauteurs respectives sensiblement de même valeur, correspondant à des marnages quasi identiques. Ce type de marée est dominant dans l'Atlantique, en particulier sur les côtes africaines et européennes.

b. Marée de type semi-diurne à inégalité diurne. — Mui-Vung-Tau, Vietnam (côte sud), figure 1.6B. Sur la durée d'un jour lunaire, le marnage varie très sensiblement. L'écart entre grands et petits marnages, appelé inégalité diurne, est maximal lorsque la déclinaison des astres est voisine de leur maximum.

L'inégalité diurne est également observée sur les côtes d'Europe, bien que la marée soit qualifiée de semi-diurne, car cette inégalité reste faible. En revanche, elle est très forte en de nombreux ports du Pacifique et dans l'Océan Indien.

c. Marée de type mixte. — Qui-Nhon, Vietnam (côte est), figure 1.6C. Dans les ports à marée de type mixte, on observe successivement au cours d'une lunaison, une période où la marée est semi-diurne et une période où la marée est diurne. Ce type de marée se rencontre aussi sur les côtes

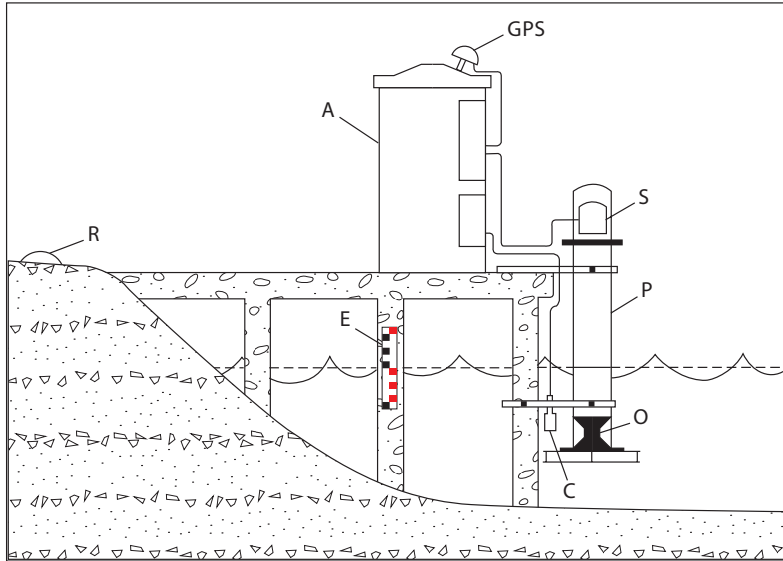


FIGURE 2.2 — Schéma d'un observatoire marégraphique de type « Seaframe » (Australie). A : abri pour l'enregistreur et le transmetteur ; C : capteur de pression ; E : échelle de marée ; GPS : antenne pour le positionnement du site par télémétrie satellitale ; O : orifice du puits (noter la forme en tube de Venturi et la plaque de protection contre les vagues) ; P : enveloppe de l'ensemble du puits de tranquillisation ; R : repère terrestre (point géodésique) ; S : sondeur ultrasonique (Source : IOC Manuals and Guides).

3 • Les systèmes de mesure traditionnels

L'implantation d'un puits de tranquillisation est une nécessité pour établir un observatoire marégraphique permanent au voisinage d'une côte. Les nombreux marégraphes permanents, gérés par les Services Hydrographiques, sont essentiellement localisés dans les zones portuaires ou le long des estuaires navigables. Les mesures des installations temporaires sont généralement exploitées par l'hydrographie à des fins ponctuelles et de courtes durées.

De nombreuses techniques sont utilisées pour mesurer la hauteur de la mer. Les plus anciennes restent encore très courantes, voire irremplaçables, comme l'échelle de marée. L'utilisation des marégraphes à flotteur est toujours d'actualité, mais les enregistrements graphiques, dits analogiques, ont tendance à disparaître au profit de systèmes automatiques d'acquisition de données numériques.

Du fait que les nouvelles techniques soient relativement récentes (quelques décennies), les longues séries temporelles disponibles sur le

En dérivant de même l'expression (3.1a) par rapport au temps t et en tenant compte de la relation (3.3), il vient :

$$\vec{\gamma}_S(M) - \vec{\gamma}_S(T) = \vec{\gamma}_T(M) + \vec{\omega}_T \wedge \vec{v}_T(M) + \vec{\omega}_T \wedge [\vec{v}_T(M) + \vec{\omega}_T \wedge \vec{TM}]$$

L'accélération $\vec{\gamma}_T(M)$ de l'élément M dans le repère terrestre s'exprime donc par :

$$\vec{\gamma}_T(M) = \vec{\gamma}_S(M) - \vec{\gamma}_S(T) - 2\vec{\omega}_T \wedge \vec{v}_T(M) - |\vec{\omega}_T|^2 \vec{RM} \quad (3.4)$$

où le point R représente la projection du point M sur l'axe des pôles (figure 3.1).

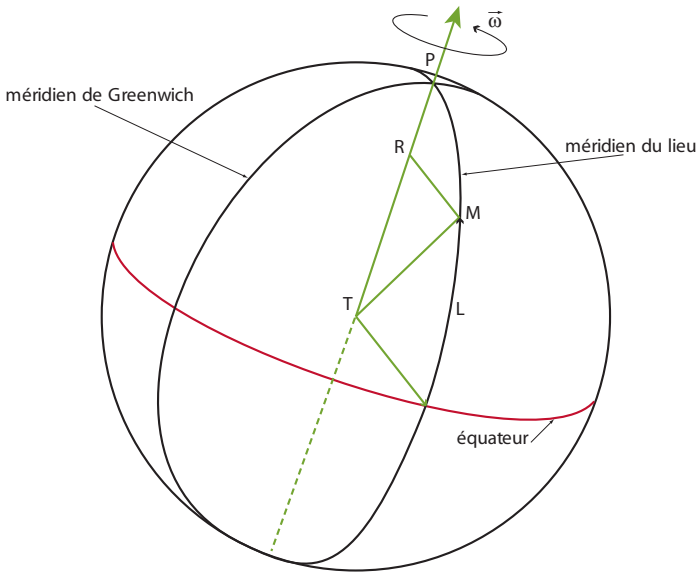


FIGURE 3.1 — Le référentiel terrestre (repère relatif) : T centre de la Terre, M élément de masse unité à la latitude L , R projection de M sur l'axe des pôles.

Dans la relation (3.4) :

— le terme $\vec{\omega}_T \wedge (\vec{\omega}_T \wedge \vec{TM}) = |\vec{\omega}_T|^2 \vec{RM}$ est la force centrifuge due à la rotation terrestre et appliquée au point M ;

— la composante $2\vec{\omega}_T \wedge \vec{v}_T(M)$ représente l'accélération dite de Coriolis qui dévie, vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans le sud, la particule M de vitesse $\vec{v}_T(M)$;

— l'accélération $\vec{\gamma}_S(T)$ résulte de la somme des forces extérieures appliquées en T , les seules significatives étant les attractions gravitationnelles exercées par chacun des astres générateurs de la marée. Comme dans un premier

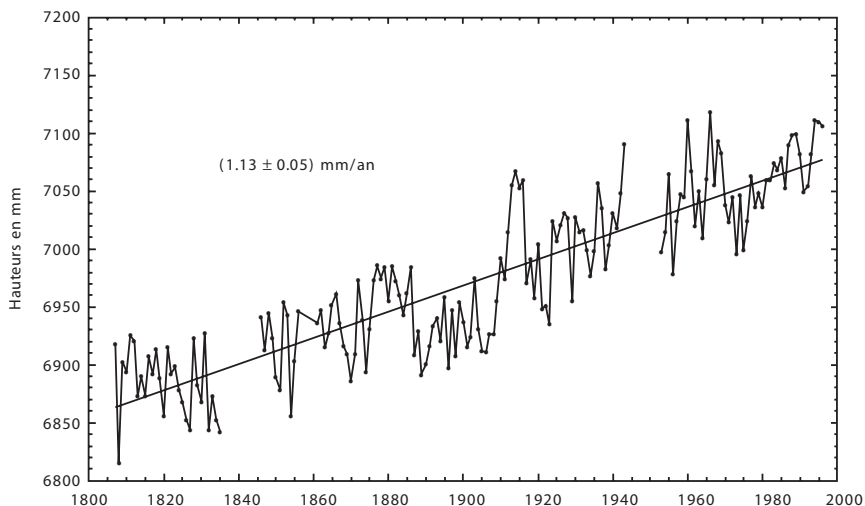


FIGURE 8.4 — Évolution du niveau moyen annuel à Brest de 1806 à 1997, chaque point représente le niveau moyen calculé sur une année. Sur cette durée de près de deux siècles, une tendance régulière de $1,13 \pm 0,05 \text{ mm/an}$ se dégage, mais aucune accélération n'est décelable.

que celle de Brest. Cependant, il existe des sites, notamment en Scandinavie, où la tendance est inverse.

Par ailleurs, les observations disponibles ne constituent pas un bon indicateur de l'évolution globale en raison de la répartition très inhomogène des observatoires, situés en majorité dans les régions tempérées de l'hémisphère nord. La variabilité de la tendance d'un site à l'autre est imputable principalement à des mouvements verticaux de la croûte terrestre, que les marégraphes ne peuvent évidemment pas détecter (mesure du niveau relatif). La mesure de ces mouvements tectoniques est actuellement possible grâce aux techniques spatiales qui permettent de situer les divers niveaux (marins ou terrestres) par rapport à un repère absolu.

Les données acquises par de nombreux satellites, équipés de radars altimétriques donnant une précision quasi-centimétrique (particulièrement : *Topex-Poseidon* depuis octobre 1992, puis *Jason* depuis 2003), indiquent une augmentation du niveau des océans du même ordre de grandeur que celles déjà annoncées ci-dessus. Cependant, à cause des fluctuations interannuelles, de nombreuses années de collecte de données altimétriques sur l'ensemble du globe sont nécessaires afin de diminuer l'incertitude sur cette estimation. Nous pouvons déjà noter que les données satellitales déjà acquises montrent également une grande variabilité spatiale des tendances sur des