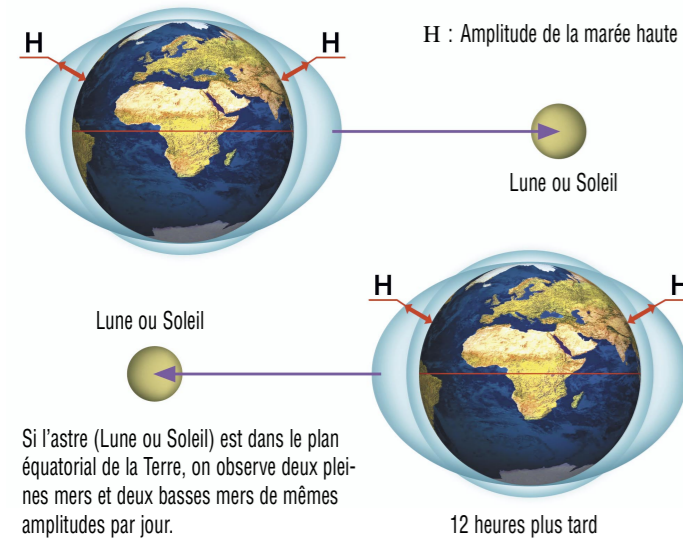


Le Soleil et la Lune ont rendez-vous avec la mer

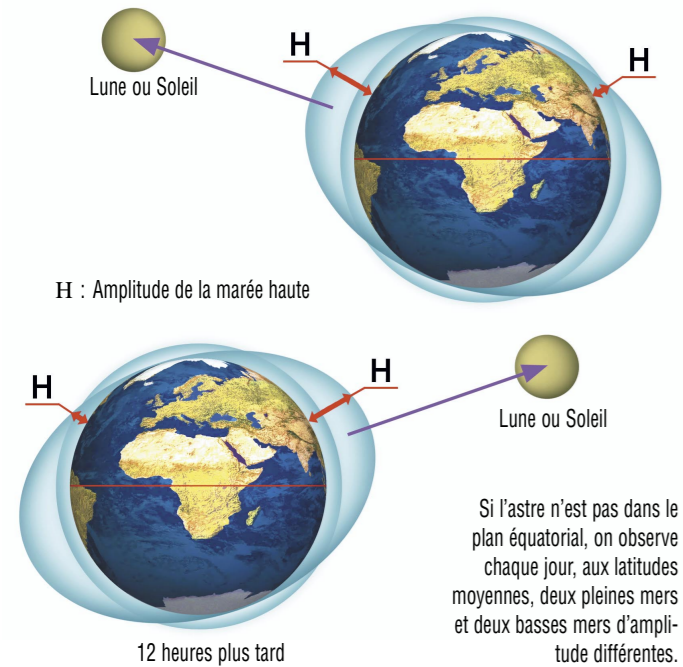
Les marées comptent parmi les variations de hauteur de mer les plus importantes. L'attraction combinée de la Lune et du Soleil, est à l'origine de ce phénomène et de ses variations.

La Lune, comme le Soleil, attire la Terre et ses océans qui se déforment. L'eau va s'accumuler là où l'attraction est maximale, c'est-à-dire au point du globe situé le plus près de l'astre. En outre, grâce à la vitesse du mouvement, une force centrifuge opposée à l'attraction maintient la Terre sur son orbite. Cette force centrifuge repousse l'eau, qui va donc s'accumuler à l'opposé de l'astre.



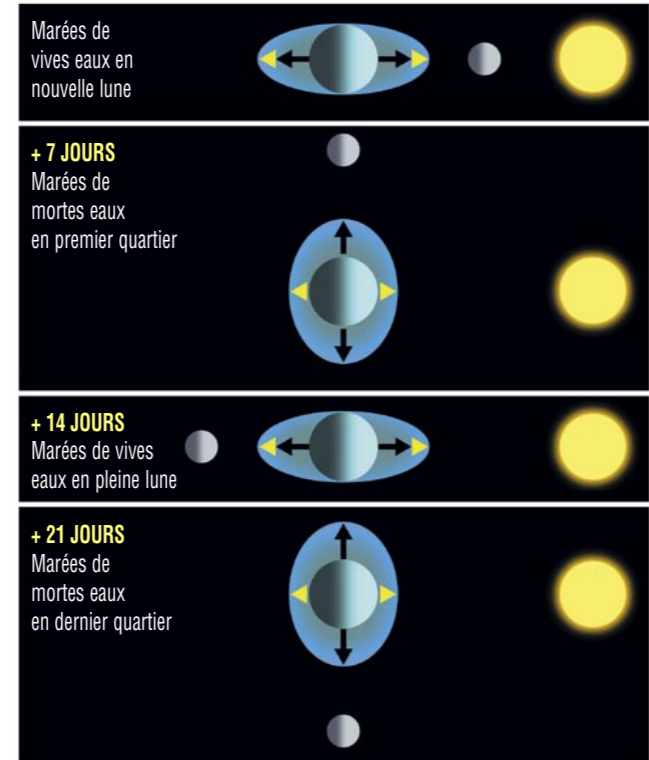
Si l'astre (Lune ou Soleil) est dans le plan équatorial de la Terre, on observe deux pleines mers et deux basses mers de mêmes amplitudes par jour.

Mais la Lune est rarement dans le plan équatorial de la Terre. Les deux bourrelets sont dans l'axe Terre - Lune ou Soleil et, donc, pour une même latitude, l'amplitude ne sera pas la même pour les deux marées quotidiennes. Il arrive même qu'il n'y ait qu'une marée par jour.



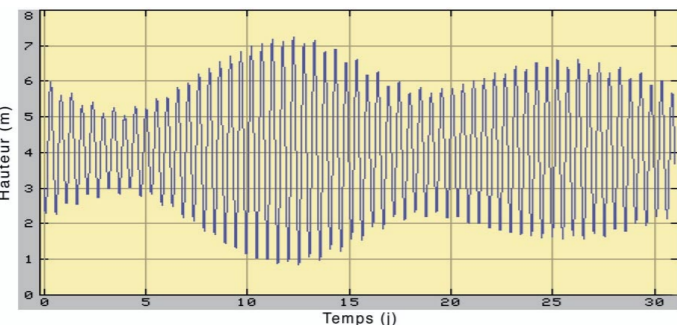
Si l'astre n'est pas dans le plan équatorial, on observe chaque jour, aux latitudes moyennes, deux pleines mers et deux basses mers d'amplitude différentes.

La position respective de la Lune et du Soleil par rapport à la Terre est à l'origine du cycle de variations mensuelles : alignés, leurs influences se renforcent, à angle droit, elles s'atténuent, d'où des marées plus ou moins fortes.



Variations de la marée avec le cycle lunaire

Le calcul des marées exige donc la connaissance de l'attraction de la Lune et du Soleil et de leurs positions respectives. Les reliefs des fonds marins et la découpe des côtes influent aussi sur la marée, et peuvent amplifier le phénomène jusqu'à une quinzaine de mètres, comme dans les baies du Mont St Michel (France) ou de Fundy (Canada).

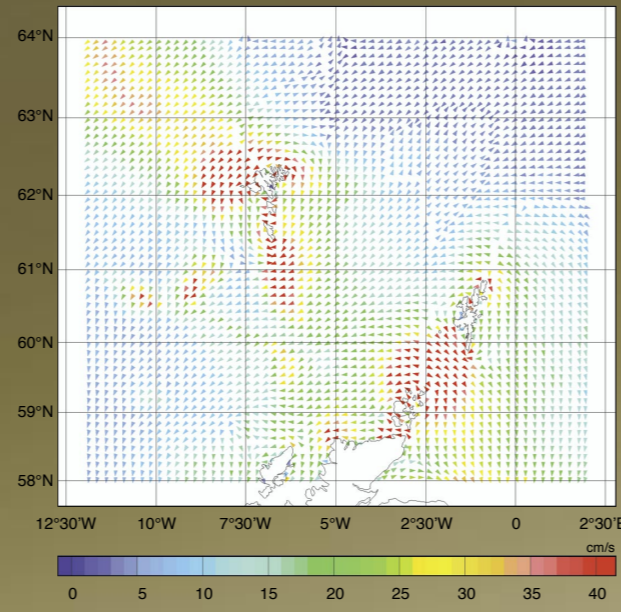


Hauteurs des marées dans le port de Brest (France) en décembre 2000. On observe l'alternance des marées hautes et basses, et, sur un mois, les variations d'amplitude dues aux positions respectives de la Lune et du Soleil.

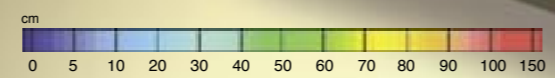
Suivre la marée

Des courants changeants

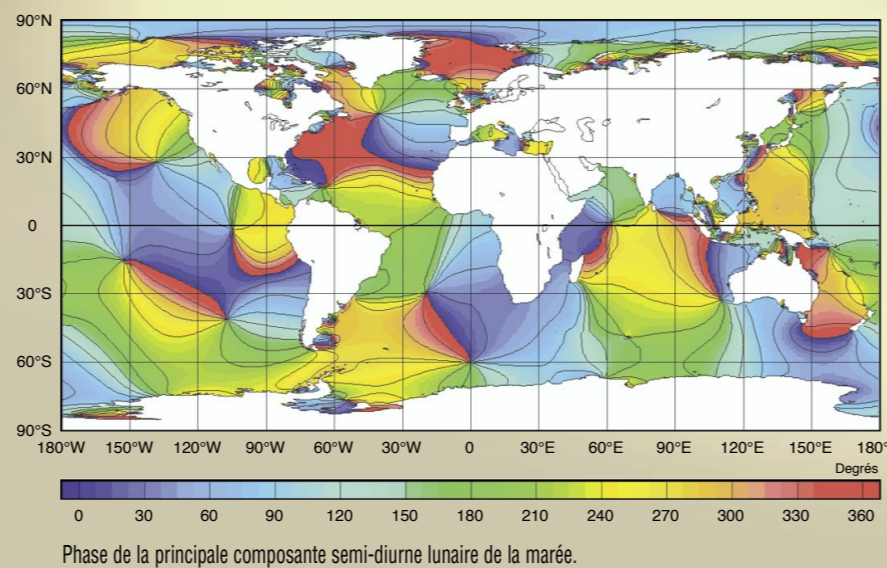
La marée, en provoquant le déplacement de masses d'eau, est à l'origine de courants. Ces courants ont la particularité de changer d'intensité et de sens au rythme des marées. Parfois violents dans les détroits, leur connaissance et leur prévision sont capitales pour la navigation côtière, l'aide à la prévention des pollutions, la protection du littoral... Des projets de turbines sous-marines, sortes d'éoliennes immergées, sont à l'étude, pour exploiter ces courants afin de produire de l'électricité.



Vitesse des courants dus à la marée semi-diurne lunaire aux environs des îles Féroé et Shetland (Nord de l'Ecosse).



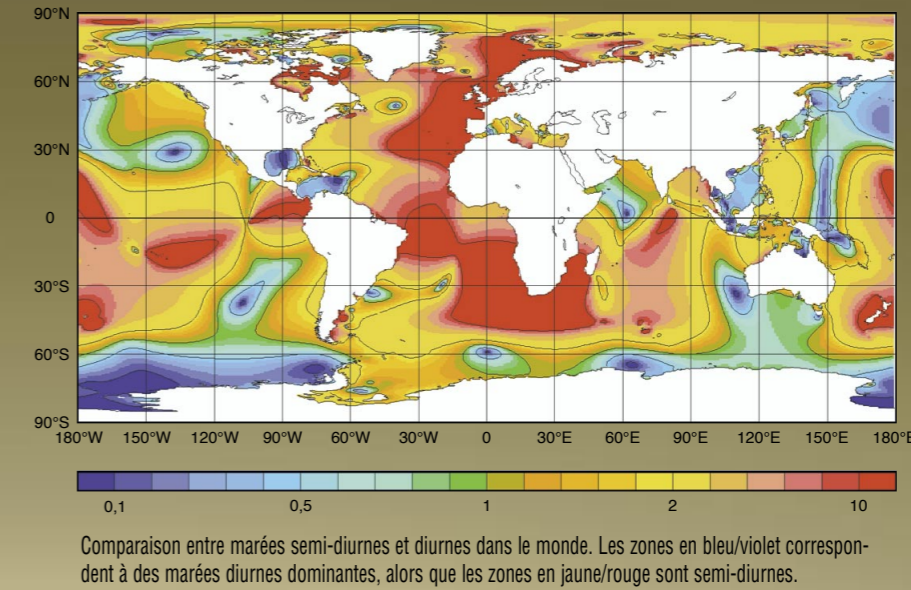
Amplitude de la principale composante semi-diurne lunaire de la marée.



Phase de la principale composante semi-diurne lunaire de la marée.

Le tour de l'Atlantique Nord en 12h25'

La principale composante semi-diurne de la marée (onde M_2), due à la Lune est, dans de nombreuses régions, la composante dominante. On observe des régions d'amplification de la marée où le marnage (différence de hauteur entre une basse mer et une pleine mer successives) atteint des valeurs importantes, en particulier près des côtes de l'Atlantique Nord. On observe également des régions de très

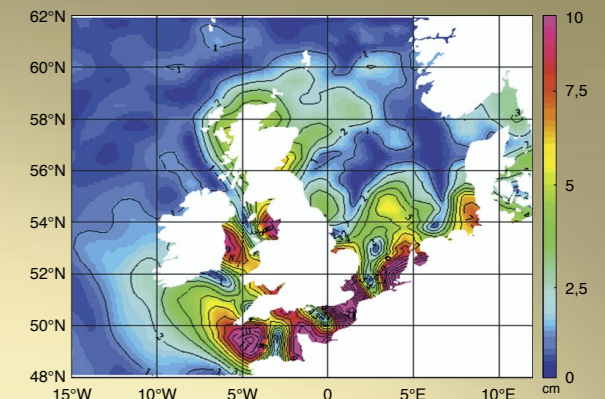


Comparaison entre marées semi-diurnes et diurnes dans le monde. Les zones en bleu/violet correspondent à des marées diurnes dominantes, alors que les zones en jaune/rouge sont semi-diurnes.

Amplitude de l'onde lunaire de période 6h (onde M_4), dans les zones particulièrement complexes que sont la Mer du Nord et la Manche. Une longue série de données altimétriques, avec TOPEX/POSEIDON puis Jason-1, doit permettre d'y améliorer sensiblement la prévision.

Des marées pas seulement semi-diurnes

Pour la plupart des riverains de l'Atlantique, la marée est un phénomène qui se produit deux fois par jour. Mais certains endroits dans le monde ne connaissent qu'une marée par jour (Golfe du Mexique, Mer de Chine, Pacifique Nord, Océan Austral...). D'autres, plus rares, ont parfois jusqu'à trois, voire quatre, marées dans la même journée. La décomposition de la marée en ondes sinusoïdales révèle l'existence de périodes différentes de la journée et de la demi-journée, par exemple 6 heures (onde M_4). Selon les zones, certaines de ces ondes ne peuvent pas être négligées.



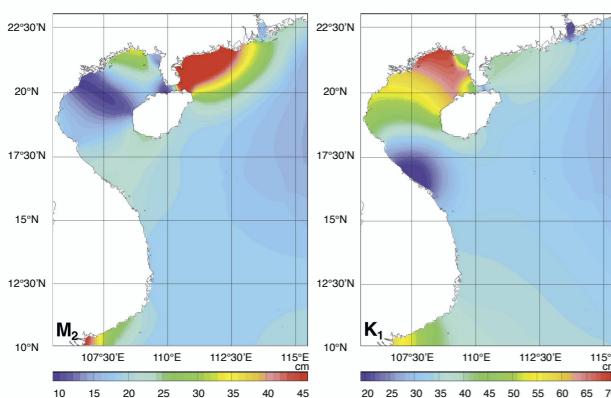
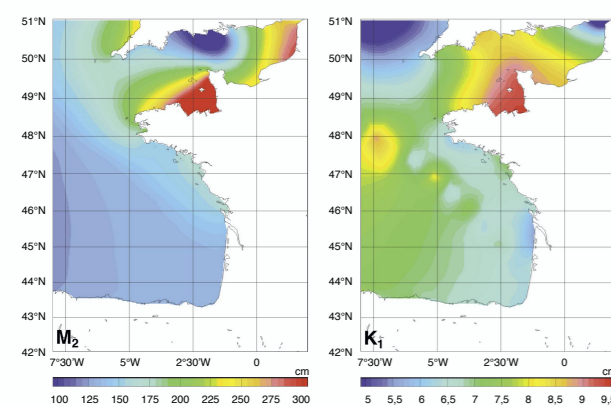
faible amplitude, ainsi que des points de marnage nul, autour desquels "tourne" la marée. La carte de phase permet de repérer dans quel sens, et à quelle vitesse elle se propage, la phase de l'onde passant de 0° à 360° durant sa période (12h25' dans le cas de M_2).

Des prévisions de plus en plus fiables

La prévision des marées passe par des modèles numériques, intégrant des observations pour plus de précision. Marégraphes et satellites altimétriques apportent chacun leur contribution, pour arriver à prédire les marées à 2-3 centimètres près en plein océan.

Décomposer pour mieux calculer

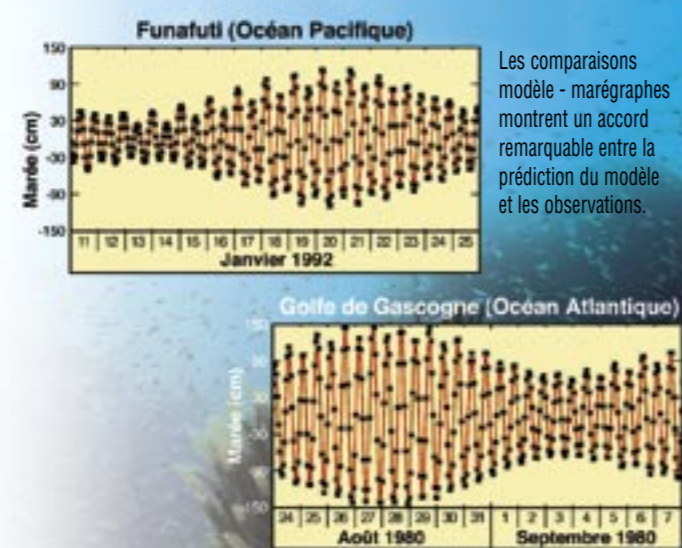
Pour calculer les marées, on les décompose en ondes sinusoïdales de périodes données, chacune reflétant une composante du problème. Ainsi, l'une des ondes, appelée M_2 , est due à l'attraction d'une Lune "idéale", placée sur une orbite parfaitement circulaire dans le plan équatorial de la Terre. Elle présente deux pleines mers et deux basses mers par jour (onde semi-diurne). L'onde K_1 , de période diurne, reflète les variations de déclinaison de la Lune et du Soleil. L'amplitude de la marée à un instant et à un endroit donné est la somme de toutes ces ondes sinusoïdales. Dans certaines zones, il faut additionner jusqu'à une centaine d'entre elles pour obtenir une prévision précise.



Amplitude des deux principales composantes de la marée, l'une semi-diurne (onde M_2), l'autre diurne (onde K_1), dans l'Atlantique Nord, près des côtes françaises et en mer de Chine, au large du Vietnam (l'échelle de couleur est différente sur chacune des figures). Si M_2 est largement dominante sur les côtes françaises (deux marées par jour), K_1 domine en mer de Chine où il n'y a qu'une marée par jour.

Des modèles enrichis par les observations

Les modèles de marée sont basés sur les lois de la physique. Leur précision est améliorée par la prise en compte d'observations. Les marégraphes installés plutôt près des côtes, fournissent des mesures locales et précises. Les satellites altimétriques comme TOPEX/POSEIDON, ERS, EnviSat ou Jason-1, couvrent la Terre entière, spécialement la pleine mer, à intervalle régulier. Ces informations complémentaires peuvent être intégrées dans des modèles de marée grâce à l'utilisation de méthodes mathématiques. Ces mêmes modèles permettent d'éliminer la marée des données altimétriques pour accéder aux autres variations océaniques (courants, tourbillons, variations saisonnières...).



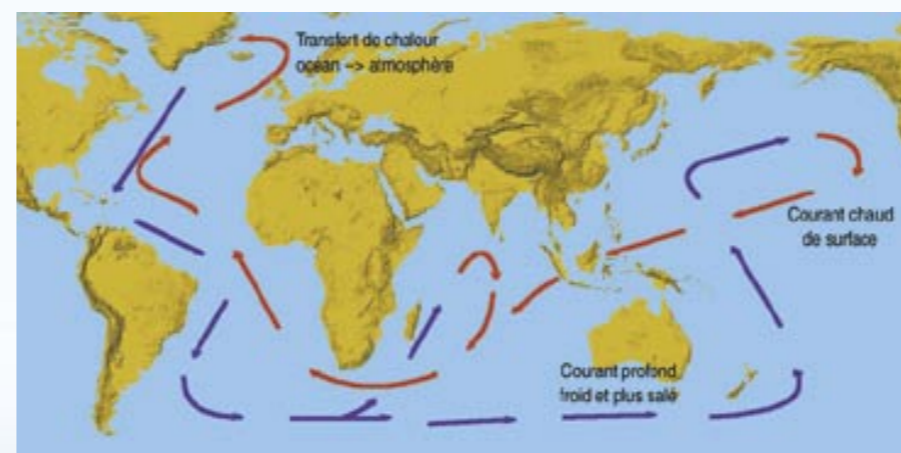
Les comparaisons modèle - marégraphes montrent un accord remarquable entre la prédiction du modèle et les observations.

Marégraphe côtier

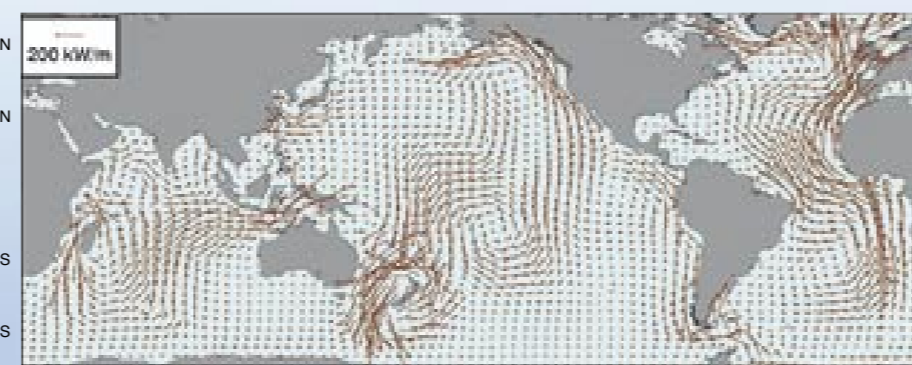
Les marées et le climat

Outre leurs effets immédiats sur les activités maritimes et côtières, les marées semblent avoir un impact plus méconnu sur le climat de la Terre. Cette découverte, rendue possible par près de dix ans de mesures altimétriques de haute précision, ouvre la voie à une nouvelle compréhension de l'influence de la Lune sur notre planète.

L'eau des océans est stratifiée suivant sa densité. Les différentes couches se mélangent difficilement. Mais les courants de marée, en rencontrant les reliefs sous-marins (même profonds) donnent naissance à des ondes qui se propagent à l'interface entre deux couches de densités différentes. On pense actuellement que ce mécanisme contribuerait pour près de la moitié au mélange vertical des masses d'eau. Or ce mélange est fondamental pour la circulation océanique à grande échelle (circulation thermohaline), qui permet une redistribution de la chaleur de l'équateur vers les pôles.



Circulation thermohaline : les eaux venues des Tropiques, coulent en se refroidissant en mer de Norvège. Elles parcourent ensuite un long trajet au fond des océans avant de remonter en se réchauffant, au niveau des Tropiques, au bout d'un millier d'années.



Flux d'énergie de l'onde semi-diurne lunaire de marée (M_2). On observe le déplacement de l'énergie des zones où elle est générée vers les zones de dissipation. On a démontré, par exemple, que l'énergie dissipée sur le plateau de Patagonie (au sud-est de l'Amérique), l'une des zones où les marées sont les plus importantes, vient du Pacifique, et que 40% de l'énergie totale apportée aux marées océaniques par le système Terre - Lune est dissipée dans l'Atlantique Nord.

En fournissant des mesures altimétriques de haute précision depuis 1992, TOPEX/POSEIDON a permis d'effectuer une cartographie de l'énergie dissipée par les marées. Comme on le pensait, une partie l'est dans les régions littorales, par frottement sur le fond, mais on observe aussi qu'une part importante de l'énergie (le tiers) est dissipée dans l'océan profond. C'est grâce à cela que l'on a commencé à soupçonner le rôle des marées dans la circulation thermohaline.

Pour plus d'information :

AVISO/Altimétrie : <http://www-aviso.cnes.fr>
Marées : <http://www.shom.fr>

Sources :

CLS, CNES, CNRS/LEGOS, KMS, NASA/GSFC, SHOM

L'observation des océans par satellite

Marées, l'océan sous influences

Pleine mer, basse mer... le rythme des marées semble bercer les océans, reflétant les mouvements de la Lune et du Soleil. Leur connaissance précise est capitale pour nombre d'activités maritimes et côtières. Avec des variations de la hauteur de mer allant jusqu'à 10 m dans certains ports, des courants changeant avec le flux et le reflux, la marée peut difficilement être ignorée. L'altimétrie a permis de disposer de mesures

régulières de hauteur de mer en plein océan et, ainsi, d'améliorer la prévision des marées. Outre la réalisation d'annuaires, on a acquis une meilleure connaissance de l'influence de la Lune sur la Terre et, de façon plus inattendue, sur son climat.



Conception/rédaction : CLS / Création : Actis Design / Edition : CNRS 2001



National Aeronautics and Space Administration



CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES