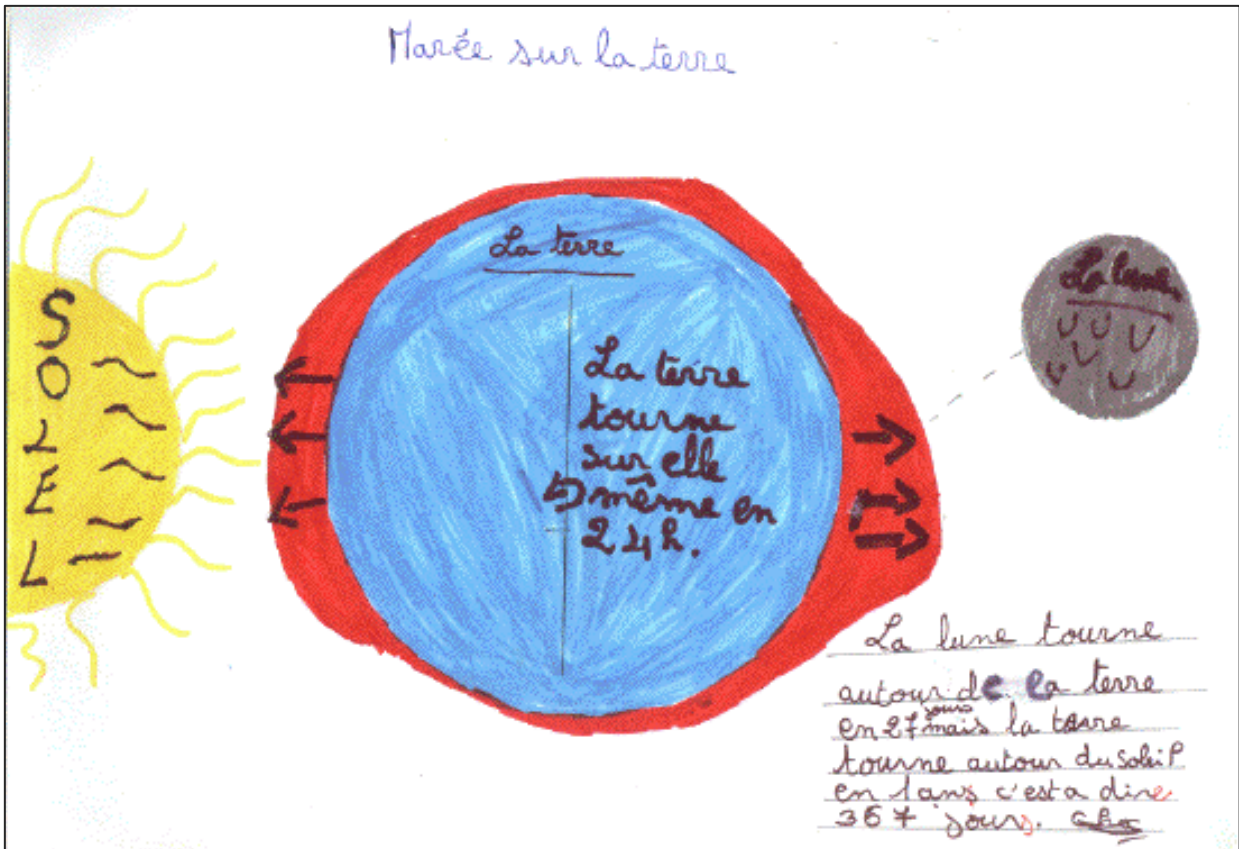




## Le phénomène des marées



Formation BP nautisme

# Sommaire

Le phénomène des marées	Page 3
La Lune, le Soleil et les marées	Page 3
Période des marées	Page 4
Marées de vive-eau et marées de morte-eau	Page 5
Amplitude des marées	Page 6
Mesure des marées	Page 8
Prédiction des marées	Page 8
Les marées et les fleuves	Page 9
Les autres types de marées sur la Terre	Page 9
L'influence des marées sur la Terre	Page 9
Les marées : un phénomène universel	Page 10

## Le phénomène de marée

Les **marées**, qui développent une énergie considérable, sont parfois utilisées pour produire de l'énergie ; mais peu d'usines marémotrices ont été construites de par le monde, la rentabilité, la fiabilité et la garantie écologique de ces centrales n'étant pas toujours démontrées. La baie du mont saint Michel fut un site étudié pour réaliser une gigantesque usine marémotrice qui devait s'appuyer sur Granville, les îles Chausey et Cancale.

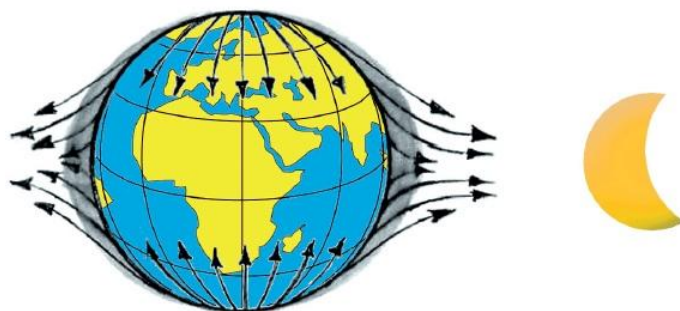
Ces mouvements de la mer sont aussi à l'origine de la richesse ou de l'infortune, de certaines villes côtières, en rendant l'approche de leur port aisée ou difficile. La ville de Liverpool, par exemple, n'aurait pas connu, jadis, une telle prospérité sans de fortes marées locales.

## La Lune, le Soleil et les marées :

Les mouvements réguliers de va-et-vient de la mer intriguèrent très tôt les marins, qui les attribuaient à divers phénomènes : l'action des vents, le débordement de quelque grotte sous-marine, et même la pulsation du cœur de la Terre ! Cependant, l'examen des mouvements de la mer par un observateur attentif montre l'existence d'un rapport entre ceux-ci et l'apparition et les différentes phases de la Lune.

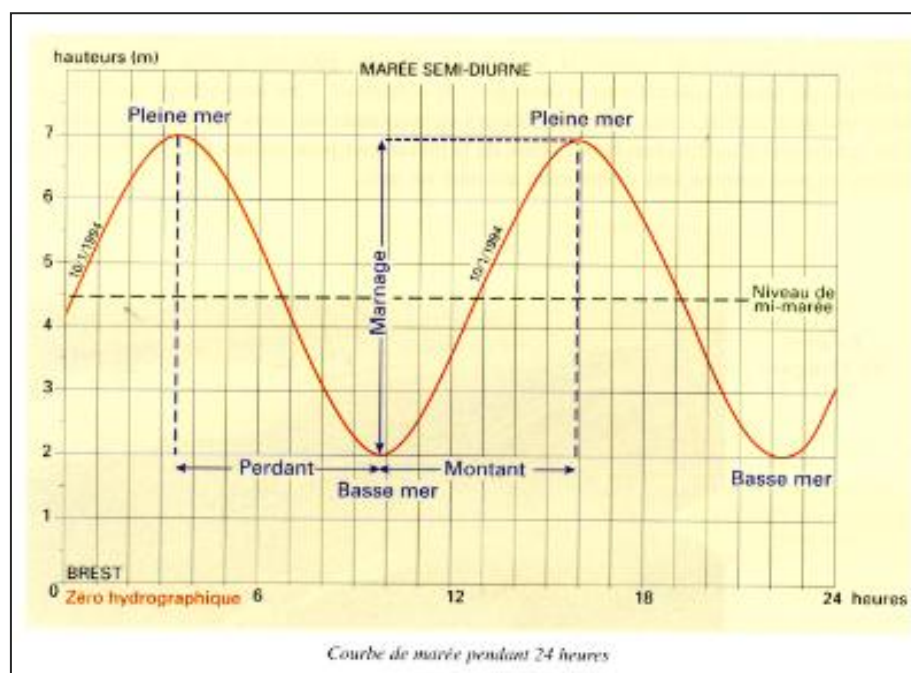
Il semble que ce soit le navigateur grec Pythéas qui, au IV<sup>e</sup> siècle av. J.-C., a formulé le premier cette relation en observant les marées du port de Marseille. Le naturaliste romain Pline l'Ancien, au I<sup>er</sup> siècle de notre ère, appréhende l'action conjuguée de la Lune et du Soleil sur les marées. Mais il fallut attendre la loi de la gravitation universelle d'Isaac Newton, en 1687, pour qu'une explication scientifique du phénomène des marées soit donnée.

**La différence des forces d'attraction exercées par la Lune et le Soleil sur la Terre est à l'origine des marées** : la masse fluide des mers et des océans située sur la face du globe terrestre qui est tournée vers la Lune étant plus proche de celle-ci que le centre de la Terre, elle est donc plus attirée et a tendance à former une bosse (la mer se retire du rivage) ; celle qui est située sur la face opposée subit une attraction moindre, mais fait aussi une bosse. D'où **les deux marées hautes et basses quotidiennes**.



## Période des marées

Chacun, s'il est patient, peut observer, sur tous les océans et les mers du globe, des marées. Celles-ci peuvent être **diurnes** (une marée haute et une marée basse par jour) ou, le plus souvent, **semi-diurnes**, comme celles qui se déroulent sur les côtes européennes et africaines (deux marées hautes et deux marées basses par jour lunaire de 24 h 50 min). Dans le cas des marées semi-diurnes - engendrées par la Lune (périodicité 12 h 25 min) et par le Soleil (périodicité 12 h) -, la mer monte, envahissant les côtes basses et les estuaires jusqu'à ce qu'elle atteigne la ligne dite de haute mer : c'est le **flot** ; après être restée à l'**étale** pendant une demi-heure environ, elle redescend : c'est le **jusant**.



Les oscillations verticales imposées par le phénomène de marée aux particules d'eau sont accompagnées de mouvements horizontaux appelés **courants de marée**. Le courant de flot (flux) accompagne la marée montante et le courant de jusant (reflux), la marée descendante. Lorsque le courant s'annule, il y a étale de courant.

L'intervalle de temps entre deux marées diurnes correspond à la durée qui sépare deux passages successifs de la Lune au méridien d'un même point. Il apparaît également, si l'observation et les mesures se déroulent sur plusieurs mois, que **l'amplitude de la marée est plus forte quand la Lune est pleine ou nouvelle que quand elle est à son premier ou à son dernier quartier**.

L'onde de saros correspond au renouvellement du cycle au terme duquel la Terre, le Soleil et la Lune se retrouvent dans les mêmes positions respectives (périodicité 18 ans et 11 jours).

## Marées de vive-eau et marées de morte-eau

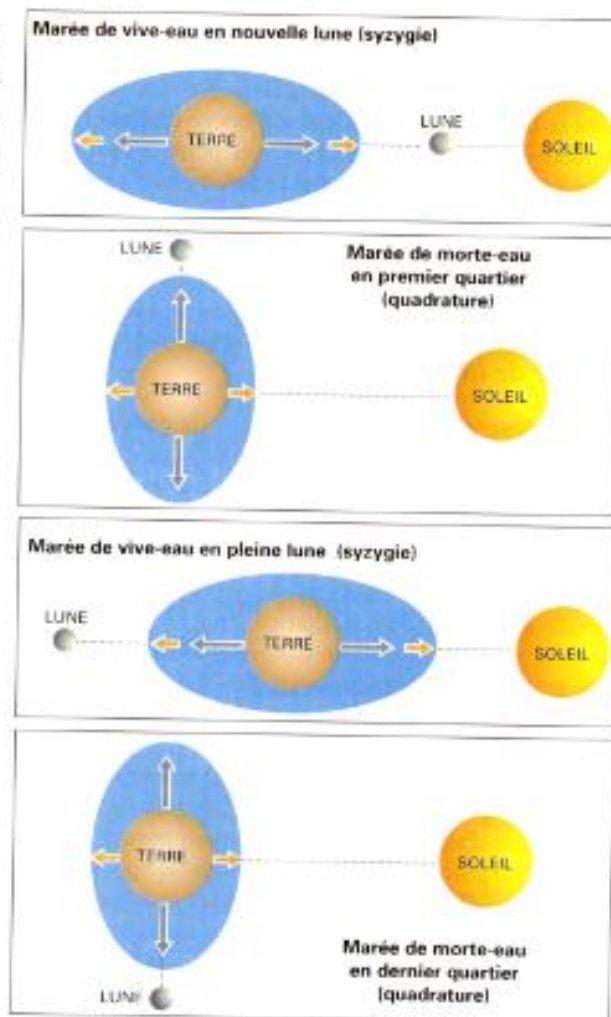
Tous les quinze jours, la **Lune et le Soleil sont sensiblement alignés avec la Terre**, ils sont en **syzygie** (pleine lune ou nouvelle lune) : les **forces d'attraction s'additionnent** alors, et les marées sont plus importantes, ce sont les **marées dites de vive-eau**. Ces dernières sont d'ailleurs plus importantes pendant les périodes d'équinoxe, lorsque le Soleil se trouve dans le plan de l'équateur. Au contraire, lorsque les effets attractifs du Soleil et de la Lune sont divergents, **les marées sont moins importantes : elles sont dites alors de morte-eau**, ou de **marnage minimal**.

### *Superposition des mouvements de la Lune et du Soleil*

Les périodes relatives à la Lune et au Soleil n'étant pas égales, l'angle entre les plans méridiens de la Lune et du Soleil varie continûment. Cet angle est égal à la différence entre les angles horaires des deux astres. Lorsqu'il est nul ou égal à  $180^\circ$ , la situation correspondante est appelée **syzygie**. Elle correspond aux pleines lunes et aux nouvelles lunes : les forces génératrices de la marée relatives au Soleil et à la Lune s'ajoutent et l'amplitude de la force passe par un maximum.

Notons que généralement le maximum d'amplitude ne coïncide pas avec le maximum de la force : il faudrait pour cela que la syzygie coïncide avec le passage au méridien.

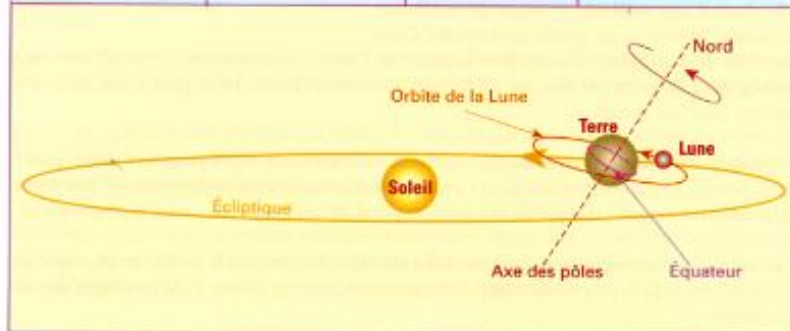
Lorsque la différence des angles horaires est égale à  $90^\circ$ , la situation correspondante est appelée **quadrature**. Elle est relative aux premiers quartiers ou derniers quartiers de la Lune. La force génératrice de la marée passe alors par un minimum.



*Force génératrice et lunaisons*

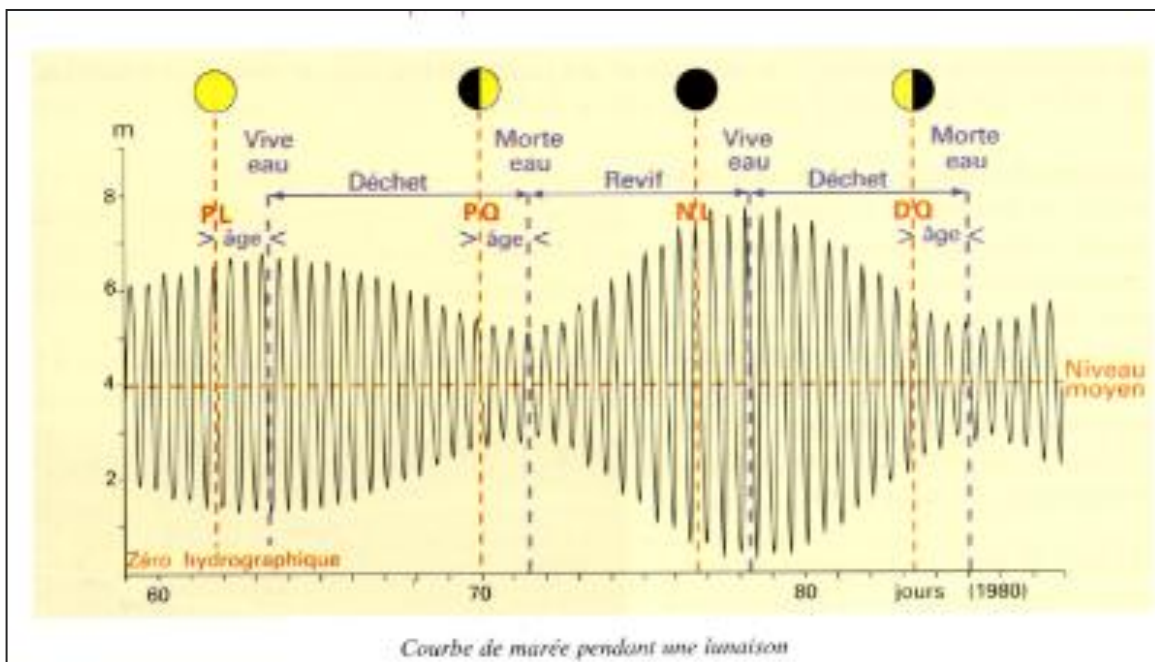
Le Soleil, bien que plus massif que la Lune, exerce une moindre influence sur les marées que notre satellite naturel en raison de son éloignement. En fait, si la Lune n'existait pas, les marées auraient une amplitude bien plus faible. **On estime l'influence lunaire deux fois supérieure à l'influence solaire**. Ensemble, elles créent une perturbation de l'ordre du dix-millionième de l'accélération de la pesanteur terrestre.

	Distance moyenne (millions de km)	Masse (Terre = 1)	Diamètre équatorial (km)
Lune	0,3844	0,0123	3 476
Soleil	149,6	332 946	1 392 000
Terre	—	1	12 756



Mouvement des astres

Les autres planètes du système solaire exercent également un effet de marée sur la Terre, mais leur influence est négligeable du fait de leur éloignement.



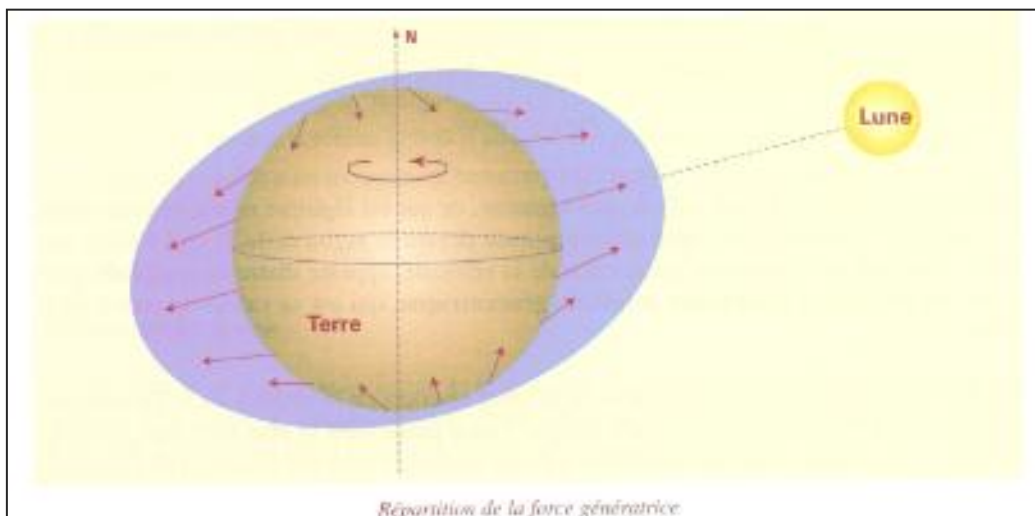
Courbe de marée pendant une lunaison

## Amplitude des marées

L'amplitude de la marée, ou **marnage** (différence entre les niveaux de haute et de basse mer), est très variable : quelques centimètres en Méditerranée, plus de 17 m dans la baie de Fundy, au Canada. Comme l'influence solaire suit un cycle de 24 heures, il y a un décalage progressif entre les deux forces gravitationnelles (solaire et lunaire), ce qui explique une partie des différences de niveau atteint par chaque marée.

Un autre facteur de la variation de l'amplitude des marées tient au fait que la **Lune décrit une orbite elliptique** autour de la Terre : lorsqu'elle se rapproche de la Terre, les effets gravitationnels sont plus forts, et les marées sont donc plus importantes.

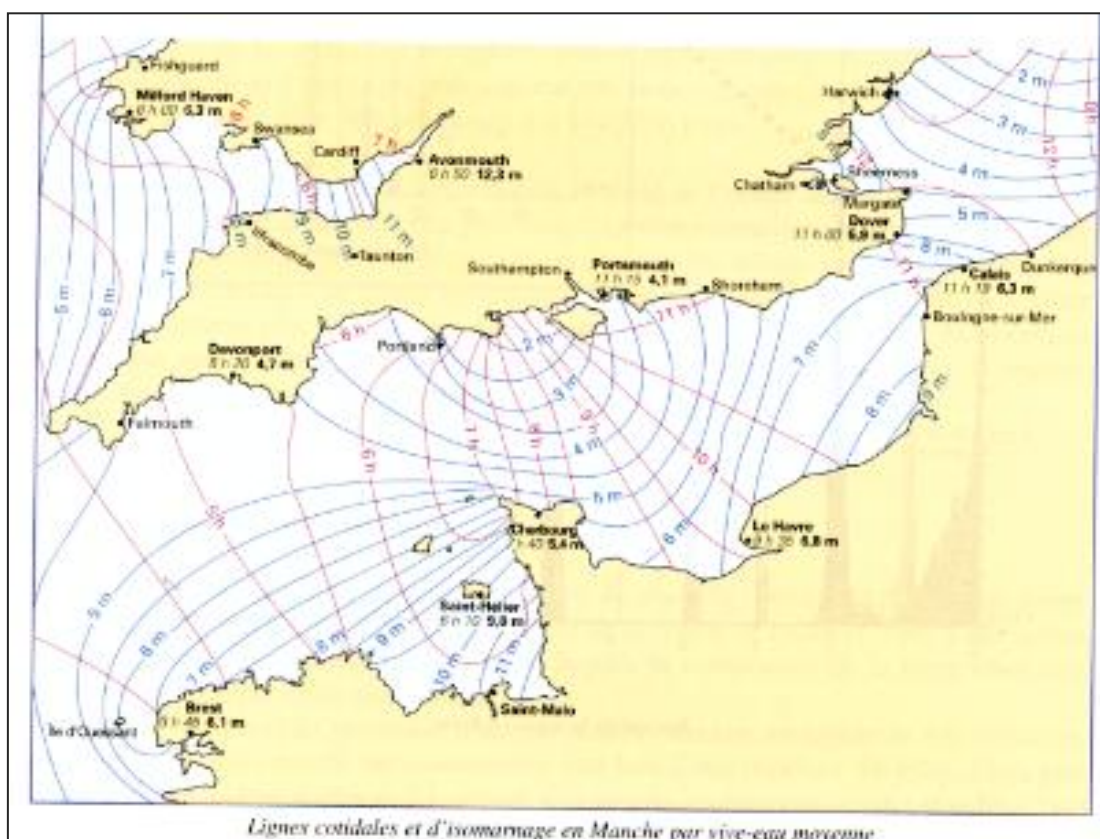
Cette perturbation, associée à la force centrifuge de la Terre, va soulever le niveau des mers d'1m environ. Cependant, la force génératrice de la marée a non seulement une composante verticale, mais également une composante horizontale, et c'est cette dernière qui, son effet se cumulant sur un grand nombre de gouttes d'eau, va produire un phénomène spectaculaire, celui que nous appelons marée.



La configuration des océans intervient également dans l'amplitude des marées : **la forme des côtes qui les délimitent et leurs dimensions propres influencent directement cette amplitude**. Dans certaines mers, par exemple, les ondes de marée entrent en résonance et s'amplifient considérablement ; dans d'autres, elles se neutralisent, ne provoquant plus que de faibles différences entre le flux et le reflux.

**Lorsque la marée arrive sur un plateau continental de faible profondeur ou lorsqu'elle s'engouffre dans un estuaire, son amplitude augmente considérablement**. Dans certaines régions, l'onde peut atteindre une quinzaine de mètres de hauteur et déferler à 25 km /h. Sur les côtes basses et sablonneuses, comme celles des Pays-Bas ou de l'est de l'Angleterre, la marée emprunte des canaux qu'elle a elle-même creusés et qui forment un réseau de plusieurs kilomètres carrés.

Comme l'amplitude de la marée varie quotidiennement, un **coefficient de marée** permet d'établir facilement le rapport entre l'amplitude de telle marée précise et l'amplitude moyenne de la marée d'un lieu donné.



## Mesure des marées

Le moyen le plus simple de mesurer l'amplitude des marées consiste à fixer dans le sol marin une simple échelle graduée. La plus ancienne d'entre elles - vieille de plus de trois cents ans - est installée contre l'une des piles du port d'Amsterdam. Mais il existe des appareils plus perfectionnés et plus précis, les **marégraphes**, constitués d'un système de vases communicants, qui limitent les rapides oscillations du niveau de la mer, et d'un flotteur, qui permet une lecture rapide et un enregistrement précis.

## Prédiction des marées

Étant donné que l'on peut prévoir les positions respectives de la Lune, de la Terre et du Soleil, l'amplitude d'une marée peut être calculée longtemps à l'avance. Ce calcul est pourtant complexe et nécessite l'emploi d'une formule mathématique qui ne comporte pas moins de 60 variables. Outre l'influence des astres, il faut tenir compte du mouvement des masses d'eau, de la présence de courants marins, de la géographie de la côte, de la profondeur de la mer et des conditions météorologiques. Dans ces conditions, les tables des marées ne constituent donc que des **prévisions**.



La prévision des marées pour chaque port important figure dans l'Annuaire des marées, établi par les Services hydrographiques des divers États. En France, le **SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine**, est un établissement public à caractère administratif français placé sous la tutelle du ministère de la Défense.

## Les marées et les fleuves

Les marées se propagent également dans les fleuves. L'onde de marée progresse selon le même cycle, mais avec une vitesse et une amplitude qui dépendent largement de la largeur et de la profondeur du fleuve. Parfois, lorsque la profondeur est faible, la crête de l'onde se forme en déferlante, barrant tout le lit, et avance avec une extrême rapidité vers l'amont : c'est le phénomène connu sous le nom de mascaret. La limite maritime d'un fleuve est la limite au-delà de laquelle il ne subit plus l'influence des marées. Pour la Seine ou la Tamise, elle se trouve à quelques dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres. Pour l'Amazone, le plus grand fleuve du monde, la marée est encore nettement perceptible, malgré le débit, à plus de 1 000 km de l'embouchure, et, dans sa partie la plus maritime, l'onde de marée peut atteindre près de 5 m de hauteur.

## Les autres types de marées sur la Terre

Les mers et les océans ne sont pas les seuls éléments à subir les marées : l'atmosphère en connaît de très importantes, et la Terre elle-même se déforme un peu.

Si l'influence du Soleil et de la Lune sur les océans est particulièrement bien visible parce que ceux-ci sont constitués d'eau, une substance très fluide, l'attraction gravitationnelle de ces deux astres s'exerce aussi sur la croûte terrestre. Des marées terrestres existent également, bien qu'elles soient d'amplitude beaucoup plus limitée : le sol ne s'élève guère que de quelques centimètres, et cette déformation est surtout visible dans le déplacement relatif des bords des failles ou dans l'élévation du niveau de l'eau dans les mines inondées et les réservoirs naturels.

## L'influence des marées sur la Terre

Les mouvements des mers et des océans occasionnés par les marées provoquent des frottements - sur le fond des mers par exemple - qui dissipent de l'énergie et ralentissent la rotation terrestre : la durée du jour s'allonge de 0,001 seconde par siècle actuellement. En même temps, la conservation du moment angulaire du système Terre-Lune impose que ce ralentissement soit compensé par un éloignement progressif de la Lune. Cet éloignement est lent, bien sûr : quelques centimètres par an. Mais d'ici à quelques siècles il sera suffisant pour que le sommet du cône d'ombre de la Lune n'atteigne plus jamais la Terre ; dès lors, nos descendants seront à jamais privés d'un spectacle sans égal : l'éclipse totale de Soleil ...

## **Les marées : un phénomène universel**

Étant donné le caractère universel de la force de gravitation, qui s'exerce sur tout corps massif, le phénomène de marée se produira dès lors qu'un astre sera suffisamment proche d'un autre.

Ainsi, la Terre provoque, en retour, des marées à la surface de la Lune. Cette influence est même particulièrement importante du fait de la masse et de la proximité de notre planète. Mais, comme la Lune présente toujours la même face, la cyclicité des forces attractives est fonction seulement des variations de distance orbitale. Il devait en aller tout autrement lorsque la Lune était plus visqueuse et qu'elle était animée elle-même d'un mouvement de rotation différent de son mouvement de révolution.

Le système de Jupiter et de ses satellites est également le siège de marées spectaculaires, qui seraient en partie responsables de l'activité volcanique du satellite Io. En retour, ce satellite ralentit imperceptiblement mais sûrement la vitesse de rotation de la planète.

Des marées peuvent être observées en dehors de notre système solaire. Plus de la moitié des étoiles de notre Galaxie, la Voie lactée, sont associées par groupes de deux ou plus. Cette relative proximité des astres est propice à l'émergence de phénomènes de marées, qui modifient de façon significative leur évolution.

À une échelle plus importante, des marées se produisent entre galaxies. Les déformations constatées sont le reflet du déplacement d'un grand nombre d'étoiles provoqué par de puissantes forces d'attraction générées par une galaxie voisine. Ces marées se déroulent évidemment sur des périodes de temps extrêmement longues, qui se comptent en millions d'années.