

Le phénomène des marées

Les mouvements de la mer que l'on constate le long de la plupart des rivages maritimes sont un phénomène bien connu des populations littorales et des navigateurs. Marée haute, marée basse... Le va-et-vient est incessant et rythme depuis toujours la vie et l'économie des ports et des villages côtiers. Si le processus est aujourd'hui bien connu, il aura fallu beaucoup de temps pour trouver une explication scientifique et comprendre que les mers subissent l'attraction des astres, Lune et Soleil principalement. Le pas essentiel dans la compréhension des marées fut sans aucun doute la mise en évidence des lois sur la gravitation universelle. Nos ingénieurs hydrographes ont aussi joué un rôle important et continuent leurs recherches afin de satisfaire les besoins de la navigation. Mais pas seulement. Dans bien d'autres domaines, le mouvement des marées est une problématique qu'il convient de cerner au mieux. Les constructions portuaires, celles des ouvrages de protection contre les inondations, la production d'énergie marémotrice, l'exploitation des champs de pétrole offshore, la géodésie, l'altimétrie spatiale et les productions ostréicoles et mytilicoles sont des domaines qui exigent une parfaite maîtrise des mouvements des marées afin de pouvoir les prédire avec précision. La tâche est d'autant plus difficile que la marée ne connaît pas de véritable périodicité. Bien sûr, on met facilement en évidence un certain nombre de rythmes (diurne, mensuel, annuel...), mais jamais les variations de hauteur de la marée ne se reproduisent vraiment à l'identique.



Le Sound de Chausey et le havre des Blainvillais à marée basse. Ici, dans ce petit archipel anglo-normand, le phénomène des marées est d'une ampleur telle qu'il modifie les paysages de façon incroyable. Dans quelques heures, le bateau blanc flottera à nouveau !

La Lune, le Soleil ainsi que l'ensemble des planètes de notre système solaire sont à l'origine de la force qui engendre la marée. Il paraît donc essentiel de rappeler quelques notions sur ce que l'on appelle la mécanique céleste.

Le système solaire

D'une façon schématique, le système solaire est un complexe planétaire composé d'une étoile, le Soleil, de neuf planètes principales tournant autour de lui, d'un très grand nombre de comètes et d'une ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter. Certaines de ces planètes ont des satellites en orbite autour d'elles (on en compte 165 dans l'ensemble du système), le plus connu étant la Lune, en orbite autour de la Terre.

De la plus proche à la plus éloignée du Soleil, les planètes sont : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton. Toutes ces planètes tournent en orbite dans le même sens que la rotation du Soleil, c'est-à-dire dans le sens inverse des aiguilles d'une montre lorsqu'on les observe depuis la Terre.

Pour le sujet qui nous importe, les marées, toutes les planètes exercent une influence mais seuls la Lune et le Soleil ont une importance prépondérante de part leur masse ou leur proximité de la Terre.

Fiches d'identité des trois astres

► **La Terre.** Elle est la troisième planète du système solaire, après Mercure et Vénus. Elle tourne autour du Soleil sur une orbite elliptique et, de ce fait, sa distance par rapport à lui varie de 147 à 152 millions de kilomètres.

Diamètre équatorial : 12 756 kilomètres.

Masse : $5,98 \times 10^{24}$ kilogrammes.

Densité : 5,52.

Révolution autour du soleil : 365 j, 6 h, 9 min, 9 s (année sidérale).

Vitesse de rotation : 23 h, 56 min, 4,1 s (jour sidéral).

Distance Terre-Soleil : de 149,5 (périhélie) à 152,1 millions de kilomètres (aphélie).

► **Le Soleil.** Comme toutes les étoiles, il brille en raison des gaz d'hélium et d'hydrogène qui le composent et qui produisent d'énormes réactions thermonucléaires. En surface, sa température est de l'ordre de 60 000 °C. Le Soleil est au centre de notre système et l'ensemble des planètes tourne autour de lui.

Diamètre équatorial : 1 392 000 kilomètres.

Masse : $1,99 \times 10^{30}$ kilogrammes.

Densité : 1,41.

► **La Lune.** Notre planète possède un satellite naturel, la Lune, situé à une distance de 384 400 kilomètres. Com-

me la Terre, elle tourne sur elle-même tout en se déplaçant sur une orbite autour de la Terre. La particularité du mouvement de la Lune est que sa période de rotation autour de son axe est exactement la même que sa révolution autour de la Terre : environ 27 jours. Autrement dit, la Lune fait un tour sur elle-même lorsqu'elle fait un tour autour de la Terre. Ceci explique que l'on voit toujours la même face de la Lune et que les hommes ont longtemps échafaudé bien des théories sur la face cachée de la Lune.

Diamètre équatorial : 3 472 kilomètres.

Masse : $7,35 \times 10^{22}$ kilogrammes.

Densité : 3,34.

Révolution autour de la Terre : 27 j, 7 h, 43 min, 11 s (révolution sidérale).

Vitesse de rotation : 23 h, 56 min, 4,1 s (jour sidéral).

Distance Terre-Lune : 384 400 kilomètres en moyenne.

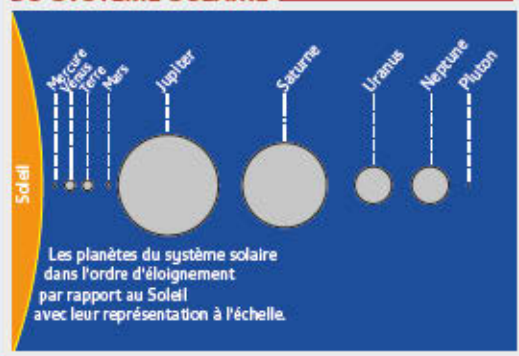
Mouvement des astres

Les planètes tournent autour du Soleil sur des orbites elliptiques et sont en rotation sur elles-mêmes autour de l'axe de leurs pôles. La Terre accomplit une révolution complète autour du Soleil en une année et sa rotation sur elle-même en une journée. C'est ce dernier mouvement qui nous donne l'impression que le Soleil tourne autour de nous pendant la journée et que la voûte étoilée se déplace au cours de la nuit.

La Lune, qui, rappelons-le, est un satellite de notre planète, est également sur une orbite elliptique autour de la Terre et accomplit sa révolution dans le même temps qu'elle effectue un tour sur elle-même : 27 jours, 7 heures, 43 minutes et 11 secondes.

Nous verrons en étudiant les différents rythmes de la marée que ces données demandent à être précisées et complétées pour élucider certaines particularités. ■

L'IMPORTANCE DES PLANÈTES DU SYSTÈME SOLAIRE



Mouillage lorsque le vent vient du large



Lorsque le vent vient du large, on utilise deux lignes de mouillage, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière posée sur le sable. Il faut régulièrement régler leurs longueurs pour que le bateau reste en avant de la zone de déferlement des vagues.

Mouillage lorsque le vent vient de la plage



Lorsque le vent vient de la plage, une seule ligne de mouillage, à l'avant, suffit. On se contente de poser l'ancre sur la plage et on laisse le bateau s'écarter, poussé par le vent. On remonte ou on redescend l'ancre au fur et à mesure du mouvement de la marée.

Mouillage lorsque le vent est parallèle à la plage



Avec un vent parallèle à la plage, on mouille par l'avant en dévidant une bonne longueur de chaîne. Le mouillage arrière ne sert qu'à récupérer le bateau en tirant dessus. À marée descendante, on est souvent obligé de mouiller à nouveau pour éviter l'échouage.

Dans une large mesure, c'est le vent qui « fait » la mer. On parle d'ailleurs de « mer du vent » pour qualifier les ondulations de la surface de la mer. Tous ceux qui sont sujets au mal de mer savent bien que la cause de leur malheur est avant tout le vent : plus il est fort, plus les vagues se creusent et plus leur cœur demande grâce. En fait, la formation des vagues dépend de trois facteurs :

- la force du vent ;
- la durée et la régularité (force et direction) de son action ;
- la distance sur laquelle le vent peut exercer son action sur la mer sans rencontrer d'obstacles.

Naissance et croissance des vagues

La formation et la croissance des vagues sous l'effet du vent sont assez complexes et restent mal connues. On peut cependant avancer que sur un plan d'eau lisse le déplacement de l'air fait naître les premières oscillations si la vitesse est supérieure à 0,7 mètre par seconde. À partir de ce seuil, l'air adhère aux particules d'eau et les pousse devant lui. Dès lors s'opère ce que l'on pourrait appeler un effet boule de neige, car la pression de l'air est plus forte du côté de l'ondulation exposée au vent que du côté protégé. Cet écart de pression amplifie l'ondulation qui augmente à son tour la différence de pression...

L'onde ainsi formée se propage dans la direction du vent qui l'a fait naître. Au début, l'onde est fortement serrée et relativement cambrée (c'est ce que l'on constate sous l'effet d'une risée) et sa célérité, c'est-à-dire la distance parcourue par l'onde par unité de temps, est encore faible par rapport à la force du vent. Si celui-ci continue à souffler dans la même direction, l'onde s'allonge, s'amplifie et s'accélère peu à peu jusqu'à un maximum directement lié à la force du vent. La vague se définit alors par :

- sa hauteur : distance verticale entre un creux et une crête successifs ;
- sa longueur : distance horizontale entre deux creux ou deux crêtes successives ;
- sa période (équivalent à la longueur d'onde) : laps de temps entre le passage de deux crêtes en un point donné ;
- sa célérité : distance parcourue par une crête ou un creux en un temps donné par unité de temps.

La notion de fetch, c'est-à-dire la distance ou le temps nécessaire pour que les vagues atteignent leurs caractéristiques maximales en fonction du vent, est importante en navigation. Si le fetch n'est pas suffisant, les vagues n'ont pas la possibilité de prendre leur ampleur (la mer à besoin de temps et d'espace). C'est pourquoi on est souvent tenté de chercher l'abri d'une côte ou d'une île. Ce qui est tout à fait relatif car les vagues n'étant pas encore à maturité, elles sont courtes, hachées et tout aussi violentes, ce qui n'est pas plus agréable lorsqu'on est sur le pont.

L'échelle de Douglas

Pour définir l'état de la mer, les océanographes et les météorologues mesurent la hauteur des vagues entre le creux et la crête. Compte tenu du caractère aléatoire de la mer, ces mesures sont des moyennes (on parle de mer significative) établies sur les vagues du vent plus que sur la houle. On utilise couramment l'échelle de Douglas, qui donne 10 classes de valeur (de 0 à mer 9) avec un bref descriptif et une correspondance en mètres. On parle ainsi de « mer 3 » pour des vagues modérées et de « mer 8 » pour une mer de forte tempête.

Cotation	Aspect de la mer	hauteur en m
0	calme	0
1	ridée	de 0 à 0,1
2	belle	de 0,1 à 0,5
3	peu agitée	de 0,5 à 1,25
4	agitée	de 1,25 à 2,50
5	très agitée (forte)	de 2,50 à 4
6	très forte	de 4 à 6
7	grosse	de 6 à 9
8	très grosse	de 9 à 14
9	énorme	plus de 14

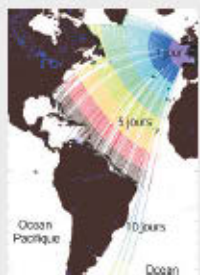
Déferlement de la vague

À l'approche des côtes, lorsque les fonds remontent, les vagues ont tendance à se cambrer davantage jusqu'à ce que leur crête s'écroule sur elle-même : on dit qu'elles déferlent.

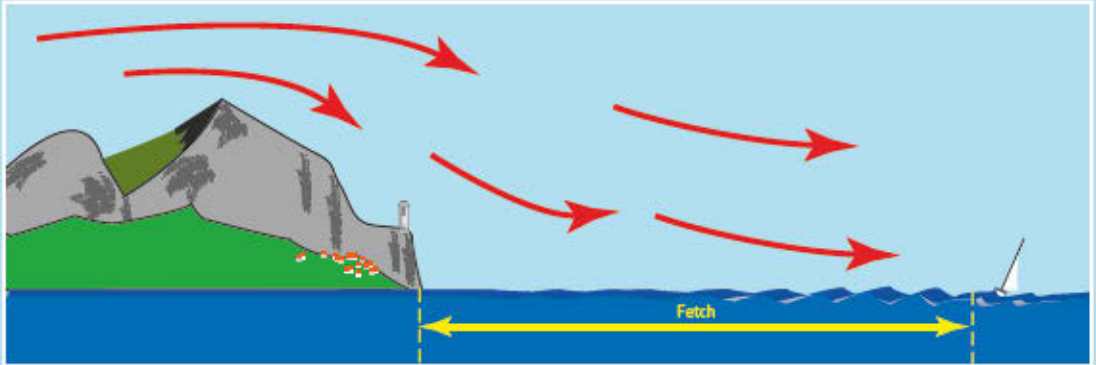
Les particules d'eau situées dans le bas de la vague sont freinées par le fond, avec pour conséquence une augmentation de la hauteur et une diminution de la longueur. Les vagues se rapprochent les unes des autres et se cambrant ; la crête va plus vite que le creux ; il se crée un déséquilibre : la vague déferle. On estime que ce moment critique se situe lorsque le rapport entre hauteur et longueur de la vague est égal ou supérieur à 1/7.

PROPAGATION DE LA HOULE

Les vagues se transforment en houle dès qu'elles sortent de la zone du vent qui les a fait naître ou que le vent lui-même cesse. Elles se transforment alors en une pulsation, à la fois plus ample et plus lente, qui ne s'atténue que très lentement sur des centaines de kilomètres. Ci-contre, on voit la propagation à travers l'Atlantique d'une houle née à Ouessant.

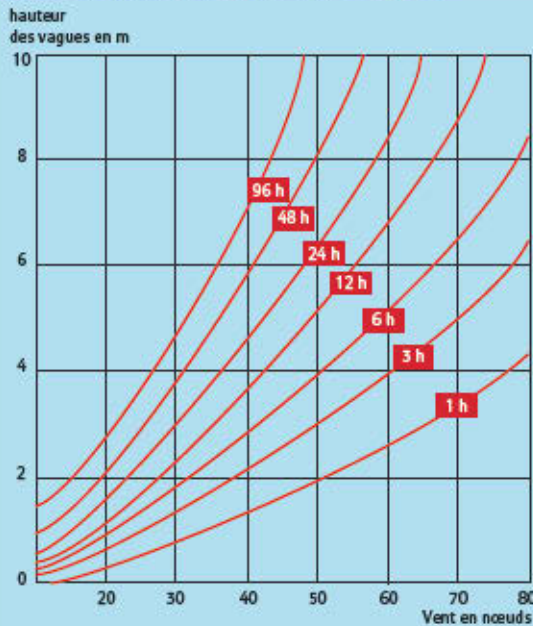


Le fetch

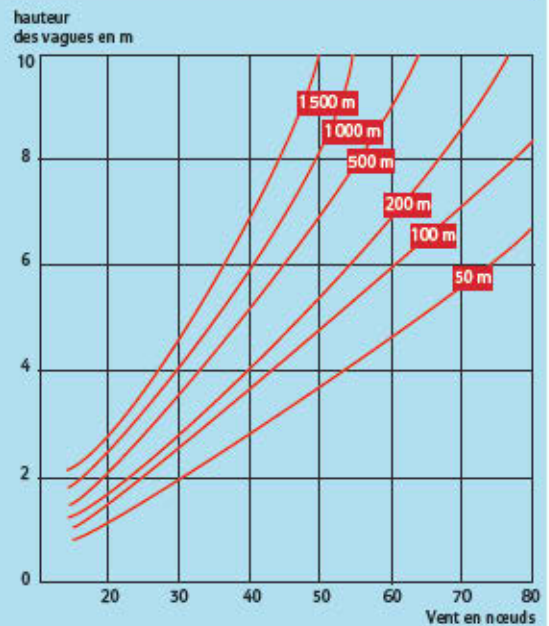


Le fetch est la distance nécessaire aux vagues pour atteindre leurs caractéristiques maximales en fonction de la force du vent qui les fait naître; il peut atteindre plusieurs centaines de kilomètres. Le même mot est utilisé pour désigner le temps pendant lequel le vent doit souffler pour que les vagues acquièrent leurs caractéristiques maximales.

Prévision de la hauteur des vagues

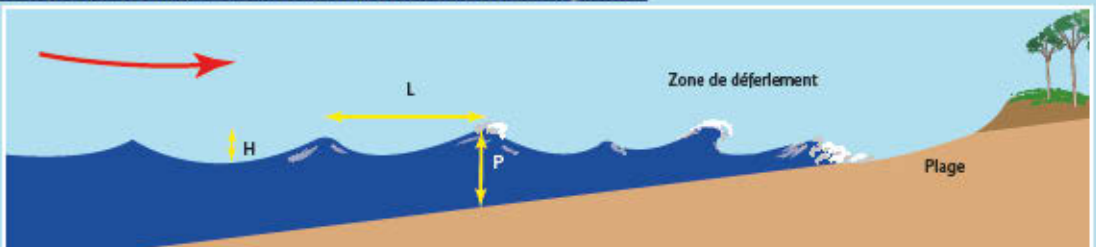


La hauteur des vagues est fonction de la force du vent et de la durée pendant laquelle il souffle.



Cette hauteur de vague est également fonction de la distance libre dont elles disposent pour se former.

L'influence du fond sur le déferlement des vagues



Lorsque les fonds remontent, les vagues se creusent et se resserrent. Elles commencent à déferler lorsque le rapport entre L et H est supérieur à 7 ou que le rapport entre la demi-longueur et la profondeur ($0,5/P$) se situe entre 0,6 et 1,2.