

CHRONO X SCIENCES

David George Bowers  
et Emyr Martyn Roberts

# LES MARÉES

edp sciences



# Les marées



CHRONO X SCIENCES

# Les marées

David George Bowers  
Emyr Martyn Roberts

*Traduit de l'anglais par Alan Rodney*

edp sciences

## ChronoSciences

Collection destinée à un large public qui invite le lecteur à découvrir de façon très complète mais de manière abordable un sujet ou une thématique précise.

« Dans la même collection »

*L'Intelligence artificielle*, Margaret A. Boden, mai 2021

*La Théorie quantique*, John Polkinghorne, mai 2021

*L'Anthropocène*, Erle C. Ellis (à paraître)

*L'Odorat*, Matthew Cobb (à paraître)

*Tides: A very short introduction, first edition* was originally published in English in 2019. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

*Tides: A very short introduction, first edition*, a été initialement publiée en anglais en 2019. Cette traduction est publiée avec l'autorisation d'Oxford University Press.

© David George Bowers and Emyr Martyn Roberts 2019.

© Pour la traduction française, EDP sciences, 2021.

Composition et mise en page : Desk ([www.desk53.com.fr](http://www.desk53.com.fr))

Imprimé en France

ISBN : 978-2-7598-2581-3

Ebook : 978-2-7598-2582-0

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

*Pour Dylan  
et tous ceux et toutes celles intrigués par le phénomène de la marée*







## Remerciements

Ce livre n'aurait pas vu le jour sans l'aide généreuse de nombreuses personnes. Nous sommes extrêmement reconnaissants à Latha Menon de l'Oxford University Press qui a défendu l'idée dès le départ et à Ernest Naylor pour ses conseils. Anne-Christin Schulz, de l'université d'Oldenburg, en Allemagne, et Christopher Jones et Joanne Crewdson du Bureau hydrographique du Royaume-Uni nous ont fourni des informations supplémentaires et donné d'utiles conseils. Jenny Nugée, rédactrice en chef des publications de la série VSI, nous a patiemment guidés dans la réalisation et la production du livre. Eric Jones, qui a été témoin oculaire de la plupart des mascarets de notre planète, nous a fait part de ses réflexions sur le chapitre 5. Phil Woodworth a lu une version préliminaire du livre et a fait de précieuses suggestions pour l'améliorer. Nous adressons nos remerciements à l'université de Bangor (pays de Galles), à l'Université de Bergen (UiB, Norvège) et à l'Union européenne pour leur soutien.

Les données de certaines des illustrations ont été tirées du site web de la NOAA (sur les marées et les courants). Les données satellitaires utilisées dans le chapitre 7 ont été reçues et traitées par le service britannique NERC d'acquisition et d'analyse des données d'observation de la Terre (NEODAAS) à l'Université de Dundee (Écosse) et au laboratoire de recherches marines de Plymouth, cf. le site <http://www.neodaas.ac.uk>.

Les données SeaWiFS ont été fournies avec l'aimable autorisation du Projet SeaWiFS de la NASA et Orbital Sciences Corporation. Nous remercions la société savante – la Royal Society for the Protection of Birds pour les données utilisées pour dessiner la figure 13.

Depuis de nombreuses années, David Bowers apprécie les discussions qu'il a sur les marées et les phénomènes liés à la marée, de façon mémorable, avec Katherine Braithwaite, John Bye, John Brubaker, Carl Friedrichs, Mattias Green, Antonio Hogue, Geoff Lennon, Rick Nunes, Tom Rippeth, Larry Sanford, John Simpson, Martin White et Phil Woodworth, entre autres. Les fruits de ces discussions ornent ces pages. Faith Bowers a gentiment permis à son mari de disparaître dans son bureau pendant de nombreuses heures pour écrire sa partie de ce livre et a eu encore la patience de lui signaler avec tact où il pouvait apporter des améliorations.

Martyn Roberts est reconnaissant à Malen pour la lecture attentive de sa contribution, et à Dylan (un nom dérivé du mot gallois pour « marée ») pour avoir partagé son Papa avec un ordinateur et la mer. Kate Johnson, Howard Jukes et Iris Verhagen sont remerciés pour avoir entrepris la chasse aux mascarets. Les connaissances littéraires de Victoria Johnson ont été très utiles et sont certainement inégalées. Hans Tore Rapp et Furu Mienis sont remerciés pour tout ce qu'ils ont réalisé en haute mer et dans les profondeurs océaniques. Ce livre a été en partie inspiré par les conversations sur les marées qui ont eu lieu pendant de nombreuses années : les frères Grant (Meilyr et Aeddán), Mervyn, Susan et Geraint Roberts et David Broadbent en sont responsables, bien qu'aucun ne puisse probablement se rappeler exactement où, quand ou comment.



# Sommaire

Préface.....	11
1. En observant la marée.....	13
2. Comment se produisent les marées.....	29
3. Mesures et prévisions.....	47
4. La marée sur les plateaux continentaux.....	65
5. Les mascarets.....	81
6. Les marées et la Terre.....	99
7. Quand les marées se mélangent.....	113
8. De nouvelles frontières.....	133
Lectures supplémentaires.....	151
Glossaire.....	155
Index.....	161





## Préface

Depuis les temps immémoriaux, les gens postés sur le rivage se sont posé des questions sur la marée. La cause de l'élévation et de la baisse du niveau bi-journalière de la mer a attiré l'attention de certains des plus grands scientifiques du monde. Pour commencer, le questionnement était à la fois d'ordre fondamental (pourquoi, demandaient-ils, voit-on deux marées par jour ?) et pratique (comment pouvons-nous les prévoir ?) Aujourd'hui, nous nous rendons compte que la marée est essentielle pour que notre planète soit devenue ce qu'elle est. Elle fait partie du processus qui contrôle le climat mondial et contribue à faire des océans une riche source de vie. Au niveau local, la marée peut également être *spectaculaire* : rien de tel que de voir un mascaret remonter un fleuve accompagné d'un train de surfeurs.

Ce livre a été écrit par deux scientifiques qui continuent d'être surpris et intrigués par les effets réels et potentiels de la marée. Le livre explique comment la marée se forme et comment elle peut être mesurée et prédite. Il contient des sections sur les marées dans les eaux côtières, les mascarets et les phénomènes connexes, le frottement dû aux marées et le ralentissement conséquent de la rotation de la Terre, et sur la marée en tant que grand mixer (*sic*), qui mélange les eaux des mers avec celles des océans. Le livre se termine par une réflexion sur les prochaines étapes de l'étude des marées, dans nos propres océans et ailleurs dans le système solaire. Nous vivons une époque passionnante ; les sondes spatiales sont sur le point d'étudier les possibilités de vie dans les océans chauffés par les marées sur les lunes de Jupiter et de Saturne.

*Les marées* est destiné aux lecteurs curieux de savoir comment la marée fonctionne et pourquoi elle est si importante pour notre planète.

Elle s'adresse aux étudiants et aux lecteurs non spécialisés qui veulent disposer d'un guide succinct sur le sujet. Le livre évite les mathématiques, mais utilise plutôt des arguments physiques, des analogies et des illustrations pour étayer, le cas échéant, certains points de vue. Des exemples de marées et de processus liés aux marées sont donnés dans le monde entier.

# 1

## En observant la marée

La marée est la réponse des océans à l'attraction gravitationnelle de la Lune et du Soleil. Plus précisément, comme nous le verrons, c'est la *variation* de cette attraction à la surface de la Terre qui produit les marées. Il y a aussi des marées dans l'atmosphère et dans la terre solide, mais c'est seulement dans l'océan que la marée a une importance pratique. Sur certaines côtes, les marées sont insignifiantes, mais sur d'autres, le niveau de la mer monte et descend de plusieurs mètres, deux fois par jour. À ces endroits, la marée est importante pour les pêcheurs qui ramènent leurs bateaux de la mer, pour ceux qui promènent leurs chiens sur la plage, pour les équipes de recherche et de sauvetage en mer, pour les pêcheurs à la ligne qui creusent dans la vase pour trouver des vers arénicoles qui leur servent d'appâts, pour les superpétroliers géants qui amènent le pétrole brut au port et à quai, pour les archéologues qui recherchent des épaves submergées, et en fait pour tous ceux qui vivent et travaillent au bord de l'eau.

Au mouvement vertical de la marée s'ajoute un mouvement de va-et-vient, généralement doux, des eaux qui remplissent l'océan. Cependant, lorsque le flux de la marée se faufile dans un détroit étroit, les courants peuvent devenir tout sauf doux et créer des phénomènes spectaculaires tels que des *sauts hydrauliques* et des tourbillons. Chaque goutte d'eau de mer est impliquée dans le mouvement des marées : c'est le plus grand mouvement synchronisé de la matière sur notre planète.

### LA MARÉE SUR LES CÔTES

La plupart des gens rencontrent la marée pour la première fois sur nos côtes. La marée fait avancer et reculer la ligne de bord de la mer

sur une plage ou monte et descend la paroi d'une falaise ; la forme et l'apparence du rivage changent avec la marée. Les usagers des plages doivent veiller à ne pas être coupés de la terre ferme par la mer montante. L'avance de la marée montante sur une plage est généralement assez lente, plus lente que le rythme de la marche, mais le danger réside dans le fait que la mer remplit des canaux entre vous et la terre (ex. les baïnes de la côte landaise). En outre, il existe des côtes plutôt plates où la marée monte rapidement et rattrape les gens, parfois avec des conséquences fatales. Les marées créent des particularités telles que des îles que l'on peut atteindre à marée basse à pied, mais qui sont entourées par la mer dès lors que la marée monte. Dans l'histoire de Robert Louis Stevenson, *Kidnapped*, le héros pense qu'il est piégé sur une île jusqu'à ce qu'il comprenne qu'il peut marcher jusqu'au continent à marée basse. Moins connus sont les bassins de marée, des dépressions dans la plage qui se remplissent et se vident lorsque la marée s'infiltré et percole, par en dessous, au travers du matériau sablonneux... de la plage.

La partie sud de la mer du Nord en Europe – la mer des Wadden – est un exemple impressionnant de littoral qui se modifie radicalement en fonction de l'état de la marée : une bande côtière s'étendant sur plusieurs kilomètres au large est alternativement couverte et découverte par la mer. À marée basse, on trouve une vaste étendue de bancs de sable s'étendant à perte de vue. Les bancs sont entrecoupés ici et là par des chenaux, certains étant navigables et signalés par des poteaux. Lorsque la marée monte, la mer remonte d'abord ces chenaux, puis passe au-dessus des bancs. Dans l'histoire maritime classique d'Erskine Childers, *The Riddle of the Sands*, l'auteur décrit l'avancée de la marée dans la mer des Wadden :

J'ai attendu sur le pont et j'ai regardé les soubresauts de mort des sables étouffant sous l'assaut incessant de la mer. Les dernières forteresses étaient assaillies, envahies et submergées ; le tumulte des bruits a baissé au fur et à mesure que la mer balayait victorieusement toute l'étendue.



## L'IMPORTANCE DE LA MARÉE

Depuis des siècles, la connaissance de la marée est essentielle à la sécurité de la navigation des navires dans les eaux côtières. Les anciennes civilisations grecque et romaine ne se préoccupaient pas trop de la marée – à quelques exceptions près, les marées de la Méditerranée sont faibles. Cependant, lorsque la grande époque de l'exploration européenne a commencé et que les ports du nord de l'Europe sont devenus influents, la connaissance des marées a pris une importance commerciale et militaire. Les navires suffisamment grands pour naviguer dans l'Atlantique utilisaient désormais des ports qui devenaient trop peu profonds à marée basse. Un vent du mauvais secteur peut retenir au large un navire qui essaie d'entrer dans le port de Rotterdam ou à Liverpool, mais se tromper de marée peut aussi le faire s'échouer sur un banc de sable ou le faire se briser sur un rocher.

Le besoin de savoir combien d'eau se trouve sous la quille d'un navire est encore plus nécessaire aujourd'hui avec la tendance aux cargos, pétroliers et paquebots de croisière de très grande taille. Le lancement d'un grand navire dans un estuaire peu profond est une opération particulièrement délicate. En 2017, le Royaume-Uni a mis à l'eau le porte-avions *HMS Queen Elizabeth* dans la rivière Forth (près d'Édimbourg). Une marée haute était nécessaire pour ce lancement afin qu'il y ait suffisamment d'eau pour faire flotter la coque du navire, mais il fallait ensuite attendre une marée basse pour naviguer en toute sécurité sous les trois ponts qui barraient son chemin vers la mer du Nord.

La marée est une grande centrale d'énergie de notre planète : seules la lumière du soleil et la chaleur nucléaire qui se dégage du noyau terrestre fournissent plus d'énergie. La marée possède une énergie mécanique : sous la forme d'une énergie potentielle stockée lorsque la marée monte et une énergie cinétique contenue dans les courants de marée. Dans la baie de Fundy, au Canada, la surface de la mer monte et descend, deux fois par jour, de plus de 12 mètres. L'énergie nécessaire pour soulever toute l'eau de la baie de la marée basse à la marée haute est d'environ  $10^{16}$  joules et cette énergie est libérée lorsque la marée descend à nouveau. Si toute

l'énergie libérée pouvait être captée, sa production serait équivalente à celle d'une centaine de centrales nucléaires de taille moyenne. Contrairement au soleil (et au vent), la marée est une source fiable d'énergie renouvelable qui s'obtient aussi facilement en hiver qu'en été.

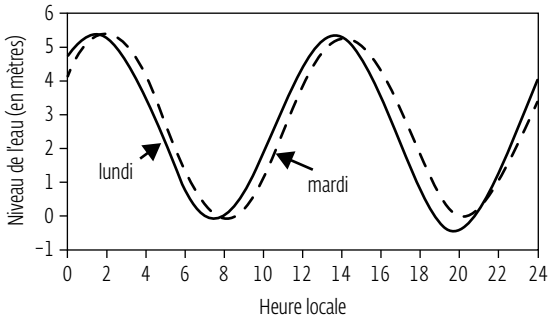
Ces dernières années, nous avons pris conscience que les marées sont importantes. Les marées *mélangent* les eaux des mers. Elles remuent la chaleur du soleil de l'eau de surface l'amenant jusque dans les eaux qui entourent la côte, créant ainsi une réserve de chaleur l'été qui est libérée ensuite en hiver pour équilibrer les effets saisonniers. Sous la surface de l'océan profond, l'énergie marémotrice mélange également la chaleur du soleil et la dirige vers le bas, réchauffant doucement les eaux abyssales. Ce processus est essentiel pour maintenir la circulation verticale de l'océan et pour pomper la chaleur des tropiques vers les pôles.

## LES RYTHMES DES MARÉES

Les heures et les niveaux des marées basses et hautes varient d'un endroit à l'autre, mais partout nous pouvons noter que les marées ont le même ensemble de rythmes, produit par le mouvement de la Terre, de la Lune et du Soleil. Les tables des marées sont établies en recherchant ces rythmes, ou *harmoniques*, et en les projetant dans l'avenir ; nous décrirons comment cela est réalisé au chapitre 3. Il est cependant assez facile de faire des prévisions approximatives mais utiles, comme, par exemple, l'heure de la marée haute de mercredi prochain, une fois que les bases des rythmes des marées ont été bien comprises.

Le rythme le plus courant est la *marée semi-diurne*, dans laquelle les hautes eaux se produisent toutes les douze heures et vingt-cinq minutes, en moyenne. On trouve des marées semi-diurnes dans toute l'Europe, sur la côte est de l'Amérique du Nord et sur la plupart des côtes africaines.

À titre d'exemple, la figure 1 montre un graphique du niveau de l'eau en fonction du temps (appelée une « courbe des marées ») sur deux jours consécutifs à Juneau (Alaska), une ville située sur la côte est du Pacifique Nord.



**Fig. 1** ▶ Les marées à Juneau, Alaska, pour deux jours consécutifs ; le lundi 13 mars et le mardi 14 mars 2017.

Sur les deux jours de cette figure, on voit deux marées hautes et deux marées basses, qui se produisent plus tard le deuxième jour qu'au premier. L'heure d'une marée haute avance d'un jour à l'autre de cinquante minutes en moyenne. C'est la règle d'or scolaire de la prévision approximative des marées. Si la marée haute a lieu aujourd'hui à 10 heures, attendons-nous à ce qu'elle soit demain vers 10 h 50, le lendemain à 11 h 40, etc.

Cette avance quotidienne au moment de la marée haute est le résultat du mouvement orbital de la Lune autour de la Terre qui tourne sur elle-même. En vingt-quatre heures, la Terre accomplit une révolution de telle sorte que le Soleil revient au même endroit dans le ciel. La Lune, cependant, se déplace aussi un peu sur sa propre orbite pendant ce temps, et la Terre doit avancer un peu plus pour la rattraper. L'intervalle moyen entre les moments où la Lune se trouve au même endroit dans le ciel est de vingt-quatre heures et cinquante minutes – une période appelée jour lunaire. L'heure de la marée haute avance de cinquante minutes chaque jour pour correspondre à ce mouvement de la Lune. Le fait qu'il y ait deux marées hautes dans un jour lunaire demande quelques explications et nous y reviendrons au chapitre 2.

Après quinze jours, le moment de la marée haute a avancé d'environ 15x50 minutes ou douze heures et demie. Si nous commençons un jour

où la marée haute est à 10 heures, alors quinze jours plus tard, la marée haute sera vers 22 h 30 et la marée haute *précédente* sera maintenant à 10 heures environ. Le temps de la marée haute suit donc un cycle complet, en revenant plus ou moins à son point de départ tous les quinze jours. L'échelle de temps exacte de ce cycle répétitif est en fait de quelques heures de moins qu'un cycle complet de quinze jours. C'est le temps nécessaire pour que la phase de la Lune passe de nouvelle à pleine, ou *vice versa*.

Avec le temps, le *marnage* – la distance verticale entre les hautes et les basses eaux – suit également un cycle de quinze jours. Sur la figure 2, nous avons tracé la courbe des marées à Juneau sur 28 jours. L'amplitude de la marée varie d'un minimum de moins de 3 mètres à un maximum de plus de 6 mètres. Les heures des plus grandes marées (le 13<sup>e</sup> et le 28<sup>e</sup> jours du mois) sont appelées *grandes marées* ou *marée de vives-eaux*. Lors d'une grande marée, celle-ci monte à son niveau le plus élevé et descend également à son niveau le plus bas. Les grandes marées produisent peu de temps après les jours de la nouvelle Lune ou de la pleine Lune ; à ces moments-là, le Soleil et la Lune sont alignés avec la Terre et leurs forces de marée se combinent pour créer de grandes marées.

Vous pouvez voir sur la figure 2 que les grandes marées se produisent un peu après le jour de la pleine Lune. La plupart des endroits ont un intervalle d'un ou deux jours entre la Nouvelle Lune ou la pleine Lune et les grandes marées ; le retard des grandes marées par rapport à la phase de la Lune est appelé l'âge de la marée et nous y reviendrons au chapitre 2. Entre les grandes marées, il y a des périodes de marées plus petites appelées *marées de mortes-eaux* qui se produisent aux quarts de Lune lorsque le Soleil et la Lune font un angle droit avec la Terre.

Comme le marnage et le moment de la marée haute suivent tous deux un cycle d'une période d'un demi-mois, ils sont synchronisés l'un avec l'autre. Si, par exemple, aujourd'hui est un jour de grande marée et que la marée haute a lieu à 10 heures, alors dans quinze jours, ce sera à nouveau une grande marée et la marée haute aura lieu de nouveau



David George Bowers et Emyr Martyn Roberts

# LES MARÉES

Deux fois par jour, des millions de tonnes d'eau de mer montent et descendent sur les côtes. Il s'agit du plus grand mouvement synchronisé de matière sur notre planète : sous l'effet de la force gravitationnelle de la Lune et du Soleil, les marées peuvent se déplacer plus vite qu'une personne qui court ou s'élever aussi haut qu'un immeuble de trois étages.

À partir des travaux récents sur la dynamique des grands fonds marins, les auteurs analysent en quoi la marée est un élément clé du système de contrôle du climat et constitue une source d'énergie renouvelable. Ils explorent aussi les marées inhabituelles et les effets des marées au-delà de notre propre planète.

David George Bowers est professeur émérite d'océanographie physique à l'Université de Bangor. Il a collaboré avec des scientifiques du monde entier, en France, en Malaisie, au Mozambique et aux États-Unis.

Emyr Martyn Roberts est océanographe physique au département des sciences biologiques et au Centre de recherches K. G. Jebsen sur les grands fonds marins de l'Université de Bergen. Il a participé à des croisières de recherche dans les océans Pacifique, Arctique et Indien, et dans les mers côtières de l'Atlantique Nord-Est.

 **edp sciences**  
[www.edpsciences.org](http://www.edpsciences.org)

ISBN : 978-2-7598-2581-3



9 782759 825813

12 euros