

## CHAPITRE 2

### L'ORIGINE DE LA MARÉE

#### 01 2.1. HISTORIQUE

- 04 Les Grecs et les Romains, poussés par des nécessités de guerre et de commerce, ont très vite navigué ailleurs qu'en Méditerranée et découvert les marées.
- 07 Le grec Pytheas (330 avant JC), voyageant vers les îles britanniques, constate qu'il existe un lien entre la marée et le mouvement de la Lune. Il note également que l'amplitude des deux pleines et deux basses mers journalières varie selon les phases de la Lune.
- 10 Quelques 150 ans plus tard, un astronome grec : Selukos, observant la marée en mer Rouge, signale une relation entre son amplitude et la déclinaison de la Lune.
- 13 Ces connaissances rudimentaires se transmettent à travers les siècles, chez les Scandinaves, les Arabes et chez les pilotes de diverses contrées, sans qu'aucune explication satisfaisante n'apparaisse.
- 16 Puis une longue suite de recherches menées pendant 1 500 ans par des astronomes, des physiciens, des mathématiciens et plus tard par des ingénieurs hydrographes va permettre d'approcher le phénomène des marées par les observations et d'en élaborer la théorie.
- 19 À partir du XVII<sup>e</sup> siècle les progrès sont très rapides.
- 22 L'astronome allemand Kepler (1571-1630) est convaincu que l'explication doit être recherchée dans une force attractive de la Lune et du Soleil, force qui doit être une sorte de magnétisme. Il a probablement été inspiré par la récente découverte du magnétisme terrestre.
- 25 Le physicien et astronome italien Galilée (1564-1642) se dit surpris que Kepler s'intéresse à l'action de la Lune sur l'eau et à des phénomènes occultes et autres enfantillages. Lui-même, soutenant la théorie de Copernic de la rotation de la Terre, croyait que les marées étaient générées par l'effet combiné de la rotation de la Terre autour de son axe et de son mouvement orbital autour du Soleil. Ces mouvements étaient censés engendrer des oscillations des océans qui se manifestaient par la marée.
- 28 Le philosophe français Descartes (1596-1659) défend l'idée de l'origine lunaire des marées : la Lune et la Terre sont chacune entourées d'un grand tourbillon. La pression exercée par celui de la Lune sur celui de la Terre se transmet à la surface et génère les marées.
- 31 Le mathématicien anglais Wallis (1642-1727) propose un aménagement à la théorie de Galilée en y incluant l'influence de la Lune et en ajoutant l'idée que le mouvement se fait autour du centre de gravité du système Terre-Lune.
- 34 Enfin, en 1687, le physicien anglais Newton publie la théorie de la gravitation, donnant ainsi la première explication réellement scientifique de l'origine des marées : la différence entre l'attraction gravitationnelle exercée sur l'eau des océans par la Lune et le Soleil et l'attraction exercée par ces mêmes astres sur les particules situées au centre de la Terre constitue la **force génératrice de la marée**.



2.1.A. — Newton.

- <sup>40</sup> Mais quand Newton suppose qu'à tout instant, en présence de la force, la surface des mers est en équilibre, il n'intègre ni l'inertie des masses liquides ni la rapidité du mouvement des astres ; et là encore la théorie reste incomplète.
- <sup>43</sup> Il faut attendre près d'un siècle pour que le mathématicien français Laplace présente, en 1775, une théorie satisfaisante : la réponse de la mer à la force génératrice de la marée prend la forme d'ondes générées de manière diffuse à travers les océans.
- <sup>46</sup> Ces ondes se propagent avec des vitesses qui dépendent de la profondeur et, comme toutes les ondes, elles sont réfléchies, réfractées et dissipées en fonction du milieu de propagation.
- <sup>49</sup> Il s'ensuit que la marée observée en un point est le résultat de la superposition de toutes ces ondes élémentaires arrivant de tous les points des océans et qui, chacune sur son trajet, a rencontré des conditions de propagation différentes.
- <sup>52</sup> Ces ondes peuvent évidemment interférer entre elles, renforçant ou au contraire atténuant certaines composantes élémentaires en fonction de leurs périodes, ce qui explique l'existence des différents types de marée présentés au chapitre 1 (§ 1.5.).
- <sup>55</sup> Ces idées ont permis à Laplace d'établir une formule applicable aux prédictions, en s'appuyant sur deux principes connus sous le nom d'hypothèses de linéarité, souvent appliqués dans d'autres domaines par les physiciens pour aborder certains problèmes complexes :
- <sup>58</sup> • le premier principe est celui des oscillations forcées, selon lequel un système soumis à une force périodique exécute des oscillations de même période que cette force ;
- <sup>61</sup> • le second est celui de la superposition des petits mouvements, suivant lequel le mouvement total d'un système soumis à de petites forces est égal à la somme des mouvements élémentaires dus à chacune de ces forces.

64



2.1.B. — Laplace.

- 67 En fait, ces principes ne s'appliquent pas parfaitement à la marée, car ils sont inaptes à rendre compte des déformations de l'onde au cours de sa propagation dans les zones de faible profondeur.
- 70 Mais pour tester sa méthode, Laplace disposait des observations de marée à Brest et dans ce cas, moyennant quelques aménagements, les résultats étaient concluants, à tel point que la **formule de Laplace** s'est longtemps révélée la meilleure possible pour le calcul de la marée à Brest. Elle a été la base de calcul de l'*Annuaire des marées, ports de France*, depuis le premier ouvrage publié en 1839 à l'initiative de l'Ingénieur Hydrographe Chazallon jusqu'à celui de l'année 1992.

73



2.1.C. — Chazallon.

- 76 Mais l'avènement des ordinateurs avec des capacités de calcul désormais quasi illimitées a consacré la suprématie de la **méthode harmonique**, développée à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle par les anglais Kelvin et Darwin.
- 79 Elle fournit une méthode pratique de prédiction de marée, précise et de portée universelle. Cette méthode, déjà utilisée en France pour le calcul de l'*Annuaire des marées, ports d'outre-mer* (publié pour la première fois en 1890) sert également depuis 1992 pour l'*Annuaire des marées, ports de France*.

- 82 Cependant, tout comme la méthode de Laplace, la méthode harmonique présente l'inconvénient de ne pouvoir être appliquée que là où l'on dispose d'enregistrements de marée sur une durée suffisamment longue : une bonne précision requiert au minimum une année d'observations.
- 85 Une approche plus ambitieuse, qui consiste à résoudre directement le problème physique de la génération et de la propagation de l'onde de marée dans son milieu, a été envisagée depuis longtemps.
- 88 Les pionniers en sont Bernoulli, Whewell, Poincaré et Harris. Mais, compte tenu de la complexité de la bathymétrie et du trait de côte des bassins océaniques, il n'était pas envisageable d'obtenir une solution satisfaisante à ce problème sans de puissants moyens de calcul.
- 91 L'utilisation des ordinateurs et l'introduction des méthodes numériques a véritablement permis de progresser dans cette direction. En outre, l'altimétrie satellitale a fourni de nouvelles méthodes de mesure qui permettent de s'orienter vers des techniques de calcul capables d'assimiler cette abondante source de données. Le SHOM notamment étudie cette nouvelle approche de la marée.