

A PROPOS DE MAREES

N.D.L.R.- Dans le n°25 des Cahiers, notre Collègue Liliane Sarrazin a souhaité connaître des précisions sur les différents types de marées océaniques. Les voici, présentées par notre Collègue Jacques Vialle qui, à La Rochelle, est bien placé pour s'intéresser à la question. Pour la théorie physique proprement dite du phénomène, il renvoie aux cours de Brahic ou de Celnikier lors de précédentes écoles d'été.

A première vue, les marées semblent être, par leur régularité apparente, un phénomène relativement facile à prédire : il y a, à l'évidence, une double périodicité avec une alternance quasi-régulière de hautes et de basses mers à l'échelle de la journée et une alternance régulière de faibles et de fortes marées à l'échelle de la quinzaine. En réalité, le phénomène est plus complexe qu'il n'y paraît. Ainsi, certaines côtes ne connaissent qu'une marée par jour ; d'autres ne sont affectées que par de très faibles variations de niveau. Ailleurs, la pleine mer peut être marquée par un double maximum (Southampton), mais un peu plus loin, c'est la basse mer qui est double (Hoek van Holland). Au Havre, l'étale de pleine mer dure près de trois heures alors qu'à La Rochelle cet étale ne dure qu'un petit quart d'heure. Comment alors les calculateurs qui établissent les annuaires de marées peuvent-ils s'y retrouver dans cette complexité ?

Chacun sait que les marées sont dues à l'attraction combinée de la Lune et du Soleil sur les eaux. Contrairement à ce que l'on pense généralement, nos Anciens le savaient et cela bien avant Newton. Posidonius (1 siècle av J-C) et Pytheas (IV siècle av J-C) connaissaient cette influence. Pline l'Ancien, Jules César, Cicéron et Dante sont autant de références littéraires où cette action de la Lune sur les eaux est clairement mentionnée. On sait aussi que Kepler aborda le problème dans son Astronomia Nova. C'est précisément en voulant réfuter cette idée d'une action à distance que Galilée s'enferma sur une erreur de raisonnement qui facilita grandement la tâche de l'Inquisition dans sa lutte contre "l'hérésie galiléenne". Galilée croyait en effet que les marées étaient causées par la composition du mouvement de la Terre autour du Soleil avec sa rotation en 24 heures. Sa conclusion, pour le moins surprenante, étaient que les continents ne se déplaçaient pas comme les eaux, d'où accumulation périodique des eaux océaniques contre les côtes. L'erreur venait de ce que Galilée raisonnait en utilisant deux référentiels différents. Il concluait donc à l'existence d'une marée par 24 heures (ce qui est le cas pour l'Adriatique, encore que celle-ci soit très faible), alors que tout le monde pouvait observer deux pleines mers par jour sur l'Atlantique. Le drame est que Galilée croyait tenir là une preuve du mouvement de la Terre sur son orbite et du même coup, un argument en faveur de Copernic. Il s'entêta donc dans son erreur, ce qui le conduisit à des polémiques de plus en plus violentes et de plus en plus imprudentes avec les conséquences que l'on sait. Newton fut le premier, non à établir l'influence de la Lune, mais à en faire la théorie. En réalité, celle-ci était incomplète et rendait compte de manière imparfaite de certains régimes de marée observables sur certaines côtes. C'était ce que Poincaré appelait, paraît-il, "la marée du baccalauréat", un classique pour les candidats qui avaient le malheur de plancher sur la célèbre Cosmographie. En fait, ce sont Laplace, et plus tard Poincaré, qui mirent

au point une véritable théorie des marées. Actuellement, on considère l'onde de marée comme la superposition de plusieurs pulsations d'amplitudes et de périodes diverses. Le calcul d'une marée est un problème d'analyse harmonique dans lequel on examine la variation de plusieurs ondes.

Une analyse fine du phénomène discerne plus d'une quarantaine de termes, mais en fait les plus importants sont au nombre de sept. Ces sept ondes de marée dont l'addition et la superposition règlent l'amplitude et la période de la marée appartiennent à deux catégories, semi-diurne ou diurne selon leur période. Le tableau suivant rassemble les caractéristiques des principaux termes :

	<u>onde</u>	<u>période</u>	<u>observations</u>
semi-diurne	lunaire moyenne M2	12h 15	calculée sur une lune fictive animée d'un mouvement circulaire uniforme.
	solaire moyenne S2	12h	calculée de façon identique et en théorie 2,17 fois moins importante que M2.
	elliptique lunaire majeure N2	12h40	position de la Lune par rapport au périégée.
	sidérale K2	11h58	position de la Lune et du Soleil par rapport à l'équateur céleste. Période, le demi jour sidéral.
diurne	sidérale lunisolaire K1	23h56	position de la Lune et du Soleil sur l'écliptique ; période le jour sidéral.
	lunaire O1	25h49	déclinaison de la Lune.
	solaire P1	24h04	déclinaison du Soleil.

Il faudrait ajouter aussi des termes périodiques non négligeables, semi-mensuel (13 jours), mensuel (27 jours) et semi-annuel (environ 182 jours).

En outre, chaque bassin océanique constitue un système oscillant dont la fréquence propre, déterminée par sa configuration géographique, va entrer en résonance avec une ou plusieurs des ondes précédentes. Certaines périodes vont donc être privilégiées par rapport à d'autres. Enfin, selon que telles ondes sont en phase avec d'autres ou en opposition, la marée sera plus ou moins importante et le régime général pourra même en être perturbé (marée de régime mixte).

Par exemple, l'onde N2 est en phase avec l'onde M2 chaque fois que la Lune est à son périégée et en opposition quand notre satellite est à son apogée. Quand la Lune ou le Soleil ont une déclinaison nulle, l'onde K2 est en phase avec M2 ou S2, et en opposition quand nos deux luminaires ont une forte déclinaison. L'onde O1 est en opposition à la partie lunaire de K1 quand la déclinaison de la Lune est nulle, et elle s'oppose à la partie solaire de K1 aux équinoxes. Le jeu des phases relatives ainsi que la fréquence de résonance des bassins vont finalement déterminer les caractéristiques de la marée. On peut dire, en gros, qu'il existe deux régimes : semi-diurne, bien connu puisque c'est celui qui affecte les côtes françaises, et diurne. Il faudrait ajouter un régime mixte, de caractère très différent selon la région du monde considérée. Malheureusement, il n'existe pas, à ma connaissance, d'atlas classique qui publie une carte mondiale

des régimes de marée. Par contre, on peut bien entendu disposer d'annuaires nationaux qui donnent pour chaque année les heures des marées et leurs coefficients.

En régime semi-diurne, l'onde lunaire moyenne M2 est prédominante. Cependant, si la Lune était seule en cause, la pleine mer devrait suivre son passage au méridien avec un retard constant, ce qui n'est pas le cas, comme on peut aisément le constater en consultant un calendrier de marée. C'est que l'onde solaire moyenne S2, environ deux fois plus faible, joue quand même un rôle en faisant varier ce retard autour d'une valeur moyenne. On notera que les ondes M2 et S2 sont évidemment en phase lors de la Pleine Lune et de la Nouvelle Lune, mais en opposition au Premier et au Dernier Quartier, d'où l'existence de marées de mortes-eaux (PQ et DQ) et de vives-eaux (NL et PL). En outre, aux équinoxes, K2 est sensiblement en phase avec M2 et S2 alors qu'elle est en opposition aux solstices : d'où un renforcement de la marée au voisinage de l'équinoxe. Mais selon que la Lune est au périgée ou non, l'onde N2 vient renforcer les précédentes et comme elle est en général plus forte que K2 (cette dernière liée aux déclinaisons du Soleil et de la Lune), il s'ensuit que 1) les marées d'équinoxe ne se ressemblent pas d'une année à l'autre et 2) elles peuvent s'écarter sensiblement de la date astronomique.

Ainsi, pour 1984, les dates des marées d'équinoxe sont le 19 mars et le 27 septembre (coefficient 117), mais en 1975, ces dates étaient le 27 février et le 7 septembre (respectivement 117 et 116). Ces deux exemples n'ont pas été choisis au hasard : c'est que tous les neuf ans environ les quatre principales ondes semi-diurnes sont en phase, ce qui entraîne une série de commentaires de la part de nos "medias" sur la marée du siècle ! Rendez-vous donc pour la prochaine en 1993, quand se produiront de nouveau les prochaines vives-eaux d'équinoxe et de périgée, les plus fortes possibles sur nos côtes ou sur toute côte soumise au régime semi-diurne.

Les régimes diurnes sont beaucoup plus complexes. Alors qu'en régime semi-diurne, les pleines mers de vives-eaux se décalent très peu d'un cycle à l'autre (par exemple, à La Rochelle en 1984, ces pleines mers se produisent vers 10-11h TU ou tard le soir), ces pleines mers de vives-eaux diurnes se décalent d'environ une heure à chaque cycle. Les plus fortes marées se produisent en général au voisinage des solstices, lorsque l'onde solaire P1 se superpose aux autres ondes diurnes. L'effet sera encore renforcé si en outre la Lune a une forte latitude tropique, c'est à dire si elle se trouve loin de ses noeuds.

On peut alors tenter de dresser un tableau mondial des marées, tableau qui restera nécessairement peu précis, dans la mesure où la situation peut changer du tout au tout en quelques dizaines de kilomètres :

<u>Régime</u>	<u>Localisation</u>	<u>Description</u>
Semi-diurne	Bassin Atlantique Nord: zone Terre Neuve-CapVert-Islande; Atlantique Sud ; Mer du Nord; Océan Indien Nord et Océan Indien Sud: zone Antarctique Australie-Madagascar ; Pacifique Nord: Alaska-Philippines Colombie avec prolongement vers côte du Chili ; Pacifique Sud des Nelles Hébrides aux Iles Cook	Deux marées par jour ; amplitude variant sur un cycle de 15j. Cycle parfois altéré par ses singularités locales comme dissymétrie flux-reflux ou double crête de pleine mer ou double creux de basse mer

<u>Régime</u>	<u>Localisation</u>	<u>Description</u>
Diurne	bande allant de l'Australie à la côte des Somalis entre les deux systèmes semi-diurnes de l'Océan Indien; Golfe du Mexique et Mer des Antilles; mer d'Okhotsk ; golfe d'Oman; Mer de Chine et côte du Tonkin; Pacifique Nord entre Hawaï et Aléoutiennes; Pacifique Sud de l'Australie à l'Antarctique; Tahiti.	Une marée par jour avec décalage assez rapide des marées de vives-eaux. Amplitudes plus faibles. Marées de solstices.
Mixte	assez fréquent dans l'Océan Indien et le Pacifique; mer intérieure de l'Insulinde ; côte de l'Amérique du Nord.	Une marée par jour mais à certaines époques de la lunaison intercalation dans le reflux d'une reprise temporaire du flux.
Autres	La Réunion Points amphidromiques des mers.	régime complexe inclassable. aucune variation de niveau.

Les régimes mixtes sont très divers comme le montrent les trois exemples suivants. On note en Indonésie une pleine mer et une basse mer chaque jour, à peu près à la même heure sidérale, mais en avance ou en retard sur la Lune de une à deux heures selon la position de cette dernière par rapport à l'écliptique. En Nouvelle Zélande, les vives-eaux ont lieu une fois par mois seulement quand la Lune est proche de son périégée (les mortes-eaux se produisant quand la Lune est proche de son apogée). A Tahiti, les marées passent pratiquement inaperçues car de faible amplitude. Les seules marées remarquables sont les marées de vives-eaux car alors la mer vient se briser sur les coraux. Ces marées ont toujours lieu entre 11 et 13 heures, d'où l'affirmation fréquemment reprise dans la littérature que les marées ont toujours lieu à la même heure à Tahiti : en fait, ce sont les seules marées de vives-eaux qui surviennent toujours à heure quasiment fixe. Il est vrai que dans un pareil environnement, on doit se soucier fort peu de l'heure exacte de la pleine mer !

Jacques Vialle

Bibliographie :

- Annuaire 1976 du Bureau des Longitudes, Encyclopédie Physique et Spatiale, 2^{ème} partie, chap 2.
- J. Bouteloup : Vagues, marées, courants marins, coll "Que sais-je?" n° 438, chap III et IV.
- A. Koestler : Les Somnambules, livre de poche, pp 539 et 553-556.

Remarque : Les calendriers de marée distribués aux estivants dans les stations balnéaires donnent en général l'heure de la pleine mer (en temps universel) et le coefficient de la marée. Il n'est d'ailleurs pas rare que ces calendriers soient recopiés d'une année sur l'autre ou que leurs indications ne soient pas valables pour la station considérée. Quoi qu'il en soit, il faut savoir qu'en France les marées sont calculées pour le port de Brest et qu'il faut ensuite faire une correction qui dépend de la phase de la Lune. Par exemple, pour La Rochelle la pleine mer de vives-eaux est en avance de 29 minutes sur Brest mais survient avec 37 minutes de retard en mortes-eaux. Cette correction devient importante (plusieurs heures) dès qu'on pénètre dans la Manche. Pour un estivant qui séjourne sur la côte Atlantique elle peut être négligée, à moins qu'elle ne soit déjà faite sur le calendrier. Quant au coefficient, c'est un nombre sans dimension qui décrit l'importance de la marée : le coefficient varie de 20 à 120 ; une forte marée est une marée qui dépasse 110. Cette donnée est primordiale pour le pêcheur à pied qui, au premier coup d'oeil si la mer "découvrira" peu ou beaucoup. Les autres données qui se trouvent dans les annuaires spécialisés, établissement du port, unité de hauteur, etc n'intéressent que les marins ou les plaisanciers.