

# Comment estimer l'amplitude des marées

Selon la loi de gravitation universelle découverte par Newton, tout corps exerce une force d'attraction proportionnelle à sa masse et décroissant avec la distance  $r$  en  $1/r^2$ . Newton a montré aussi que l'attraction due à toutes les parties de la Terre, supposée homogène, est égale à ce qu'elle serait si toute la masse était concentrée en son centre, soit à  $R = 6370$  km de la surface. La masse de la Lune est environ  $m/M = 1,2\%$  de celle de la Terre, et située à  $D = 380\,000$  km, environ 60 fois plus que la distance  $R$  au centre de la Terre (le schéma n'est pas à l'échelle). Ainsi la force de gravité (par unité de masse) exercée par la Lune est  $(m/M)(R/D)^2 g = 3 \times 10^{-6} g$ .

Un raisonnement hâtif suggérerait que cette force soulève l'océan du côté de la Lune et le creuse du côté opposé. Cependant l'effet principal de l'attraction lunaire est de faire tourner la Terre autour du barycentre G du système Terre-Lune de façon symétrique à la rotation de la Lune autour de ce même centre (situé à une distance  $Dm/M = 4600$  km du centre de la Terre). La gravité lunaire résiduelle que nous ressentons est donc la différence entre la gravité dépendant de la distance locale à la Lune  $D-x$  (voir figure), en  $1/(D-x)^2$ , et la gravité contrôlant le mouvement global de la Terre, appliquée en son centre à distance  $D$  de la Lune, donc en  $1/D^2$ . Avec l'approximation  $1/(D-x)^2 - 1/D^2 \approx 2x/D^3$ , la force effective par unité de masse qui nous soulève vers la Lune se réduit donc, pour  $x = R$ , à  $2(m/M)(R/D)^3 g = 10^{-7} g$ . Du côté opposé,  $x = -R$ , le défaut d'attraction lunaire conduit à un allègement de même valeur, d'où un bourrelet de chaque côté.

L'effet, équivalent à une variation de masse de 10 mg pour un homme de 100kg, n'est guère perceptible (mais tout à fait mesurable par des gravimètres). On peut associer une **énergie potentielle**  $-(m/M)(R^2/D^3)(x^2/R) g$  à la force de marée, qui est minimum à  $x = \pm R$ , correspondant à une élévation  $(m/M)R(R/D)^3 = 0,35$  m (à l'équateur).

Pour le Soleil, de masse  $m/M = 330\,000$  rapportée à la Terre, à une distance  $D = 150\,106$  km, on a  $(m/M)(R/D)^2 g = 10^{-4} g$ , d'où une force 30 fois supérieure à celle de la Lune. Mais il faut à nouveau retirer l'effet moyen sur la Terre (nous sommes en orbite autour du Soleil comme la Terre), et l'élévation devient  $(m/M)R(R/D)^3 = 0,16$  m, inférieur d'un facteur 2,2 à l'effet lunaire. Selon que l'effet du Soleil s'ajoute ou se retranche à celui de la Lune, le marnage ainsi créé varie d'un facteur 2,5, de 20 cm à 50 cm à l'équateur. Cela correspond aux valeurs typiques observées dans l'océan profond. A l'approche des côtes, l'onde de marée est en général amplifiée alors qu'elle pénètre dans les eaux moins profondes.

---

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes.

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

---