

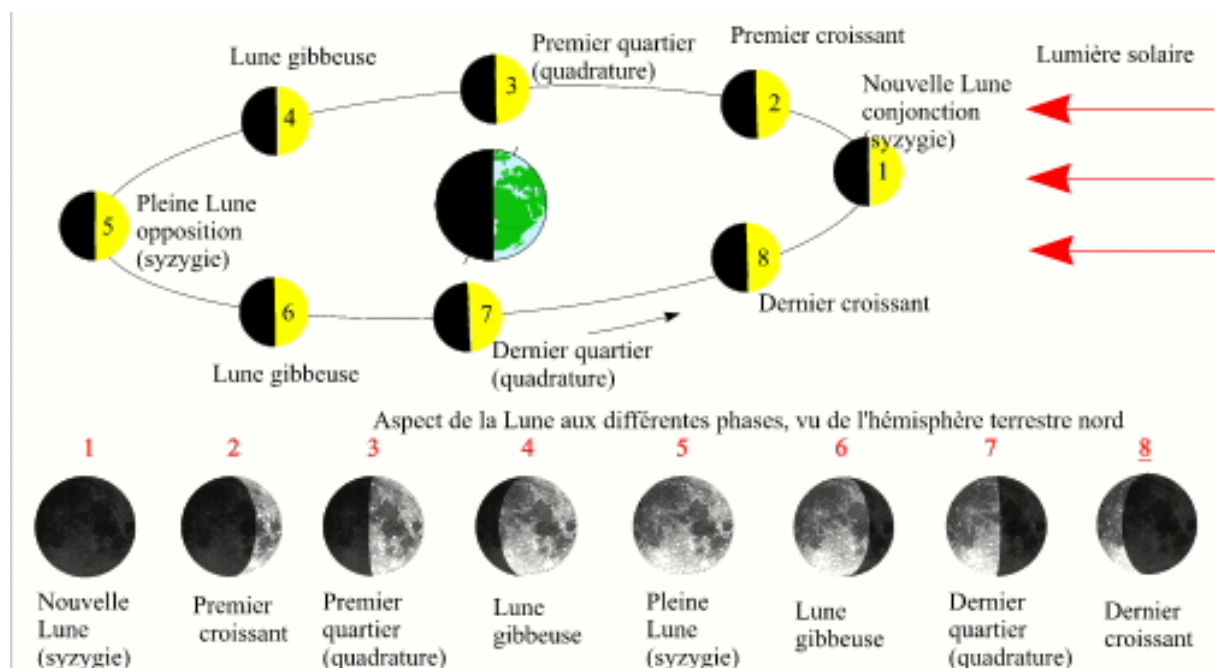
Soleil, Terre, Lune : phases, éclipses et marées

On a vu (fiche « Système solaire ») comment définir les positions relatives de la Terre, du Soleil et des planètes. Pour le trio Soleil-Terre-Lune, on a également les situations de conjonction et d'opposition. Plus généralement, la position relative de ces trois corps explique les **phases** de la Lune (à ne pas confondre avec les éclipses, voir plus loin !).

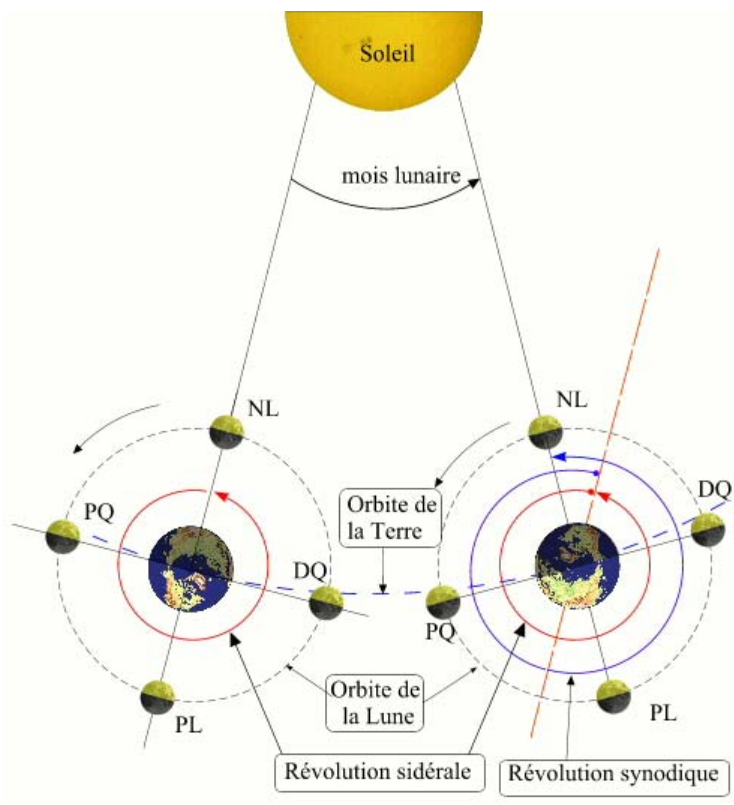
- La conjonction correspond à la **nouvelle lune** : la Lune est alors entre la Terre et le Soleil et elle est presque invisible, puisqu'elle tourne vers nous son hémisphère non éclairé. Elle se lève et se couche donc presque en même temps que le Soleil.
- L'opposition correspond à la **pleine lune** : la Terre est alors entre la Lune et le Soleil, et nous contemplons de face l'hémisphère éclairé de la Lune. Nous verrons dans un instant pourquoi la Terre ne s'interpose pas, la plupart du temps, sur le trajet des rayons du Soleil. Lors de la pleine lune, la Lune se lève lorsque le Soleil se couche et elle se couche lorsqu'il se lève.
- Lors du **premier** et du **dernier quartier**, quand la moitié du disque lunaire est éclairé, l'angle Terre-Lune-Soleil vaut 90° . (une astuce pour les identifier : prolongez le demi-disque de la lune par une barre, vous dessinez un « p » (pour premier) ou un « d » (pour dernier). Retenez le sens de rotation de la Lune : le premier quartier correspond au moment où la partie éclairée du disque lunaire grandit.
- Entre le dernier quartier et la nouvelle lune, puis entre la nouvelle lune et le premier quartier, on ne voit qu'un **croissant**.
- Entre la pleine lune et le premier quartier, puis entre le dernier quartier et la pleine lune, la Lune est **gibbeuse**.

Quizz

Lorsque la Lune est en croissant, à quel moment de la nuit peut-on l'observer ? Réfléchissez sur le schéma ci-dessous.



Crédit : IMCCE/Patrick Rocher



Crédit : IMCCE/Patrick Rocher

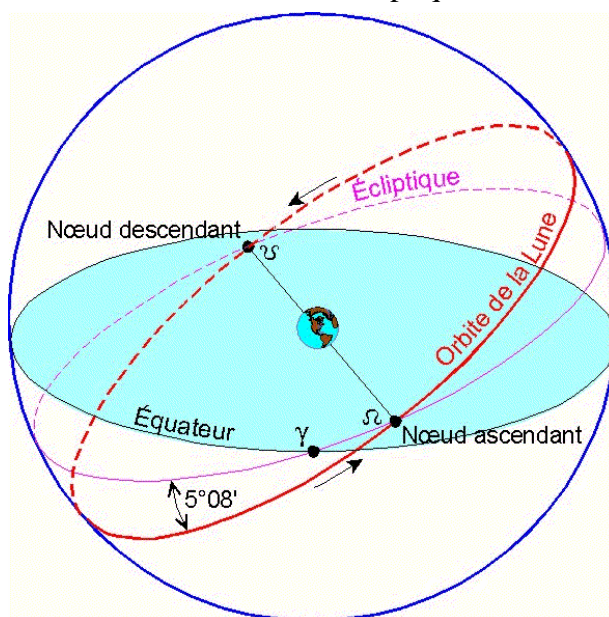
L'intervalle entre deux nouvelles lunes (ci-contre), ou deux pleines lunes, est le **mois lunaire** ou lunaison (29,53 jours). Si vous avez bien suivi jusqu'ici, vous voyez qu'il s'agit d'une **période synodique** (retour de la même configuration Terre-Soleil-Lune, voir la fiche « Système solaire »), et non d'une période de révolution (le retour de la Lune dans la même position par rapport aux étoiles prend moins longtemps : 27,32 jours).

Sur *Stellarium*, sélectionnez la Lune et centrez la vue sur elle, rapprochez-vous un peu pour bien distinguer les phases, affichez l'écliptique, faites disparaître le sol et l'atmosphère, puis faites défiler le temps au rythme d'un jour par seconde : observer le passage des phases, et le mouvement de la lune au dessus et en dessous de l'écliptique. Trouvez la date et le lieu d'une éclipse totale et rendez-vous y !

Les éclipses

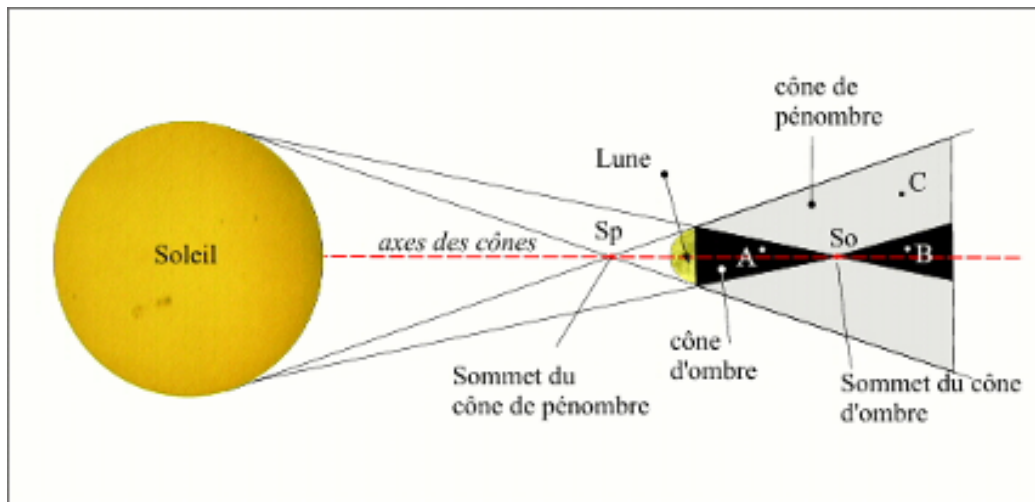
Quand la Lune passe entre le Soleil et la Terre, elle masque tout ou partie du Soleil : c'est une **éclipse de soleil**. Quand c'est la Terre qui passe entre le Soleil et la Lune et fait passer celle-ci dans son ombre, c'est une **éclipse de lune**. Si l'orbite de la Lune était dans le plan de l'écliptique, il y aurait des éclipses de soleil à chaque nouvelle lune et des éclipses de lune à chaque pleine lune ! En fait, l'orbite de la Lune est inclinée sur l'écliptique d'environ 5° : elle coupe donc l'écliptique en deux points nommés **nœuds**. C'est seulement lorsque la Lune occupe un nœud de son orbite et se trouve en conjonction ou en opposition qu'il y aura une éclipse (de soleil ou de lune, respectivement).

Par un curieux hasard, la taille apparente de la Lune vue de la Terre est proche de celle du Soleil, elle peut donc éclipser partiellement ou totalement le disque solaire. Lorsque l'observateur terrestre se trouve à l'intérieur du **cône d'ombre** (en A sur le schéma ci-dessous), le diamètre apparent de la Lune est plus grand que celui du Soleil, et au sommet du cône d'ombre (So), il coïncide exactement avec celui du



Soleil : l'éclipse de soleil est alors **totale** et la couronne solaire est visible (voir la fiche « Soleil »). Si l'observateur se trouve dans le prolongement du cône d'ombre (en B) (diamètre de la Lune plus petit que celui du Soleil), l'éclipse est **annulaire** et la frange visible de photosphère suffit à masquer la couronne. Enfin, l'éclipse est **partielle** dans le **cône de pénombre** (en C).

Notez bien que sur tous les schémas de cette fiche, aucun n'est à l'échelle : en ne respectant pas les distances et les tailles relative des corps, on introduit des distorsions dans les figures.

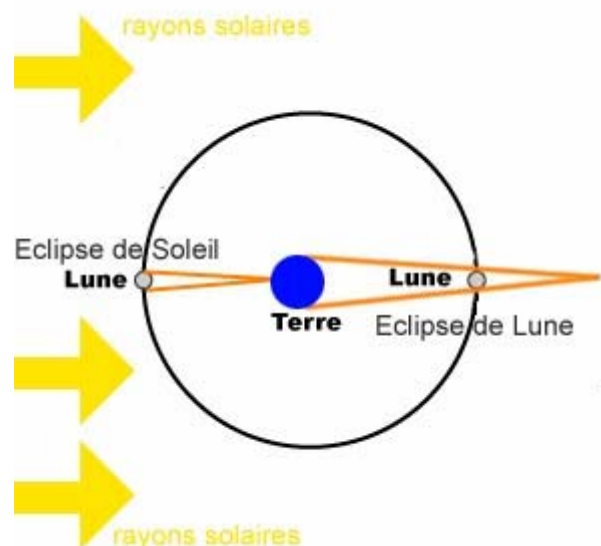


Crédit : IMCCE/Patrick Rocher

La mesure de la distance Terre-Lune par les éclipses

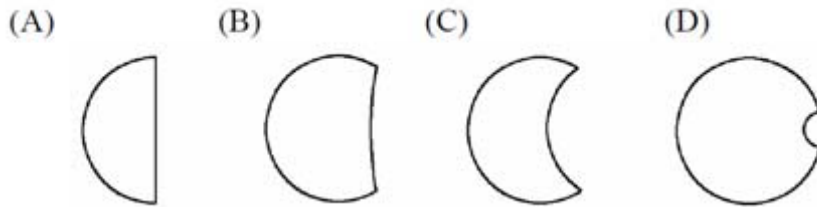
La première mesure de la taille de la Lune et de la distance Terre-Lune a été réalisée dans l'Antiquité par l'observation des éclipses. L'observation des éclipses de Lune montre la largeur de l'ombre de la Terre sur la Lune : le rayon de cette ombre est de 2,5 diamètres lunaires. Par ailleurs, lors d'une éclipse de Soleil, la surface terrestre est au sommet du cône d'ombre puisque la zone de la Terre dans l'ombre est petite (les diamètres apparents de la Lune et du Soleil sont quasi-identiques). L'ombre de la Lune s'est donc rétrécie d'un diamètre lunaire après la distance Terre-Lune.

Il doit en être de même pour l'ombre de la Terre sur la Lune. Donc la Terre fait $2,5+1=3,5$ diamètres lunaires. Connaissant le diamètre terrestre, on en déduit le diamètre lunaire en kilomètres. L'angle selon lequel on voit la Lune étant d'un demi-degré (1/110 radian), la distance Terre-Lune est donc de 110 diamètres lunaires, soit 60 rayons terrestres, soit 384 000 km.



Principe de la mesure de la taille de la Lune et de la distance Terre-Lune grâce aux éclipses. Crédit : [HAstrophysique sur MesureH](#) / Jean-Eudes Arlot et Gilles Bessou

1. Exercice d'application (moyen): test écrit 2009. Le diamètre de la Lune vaut environ le quart du diamètre de la Terre, et le diamètre du Soleil vaut environ 100 fois celui de la Terre. La distance de la Terre au Soleil vaut environ 400 fois la distance de la Terre à la Lune. Attribuez les formes ci-dessous aux événements astronomiques suivants : 1) éclipse de soleil ; 2) éclipse de lune ; 3) éclipse de soleil vue depuis la Lune ; 4) phénomène vu depuis la Terre quand un observateur sur la Lune voit une éclipse de soleil.

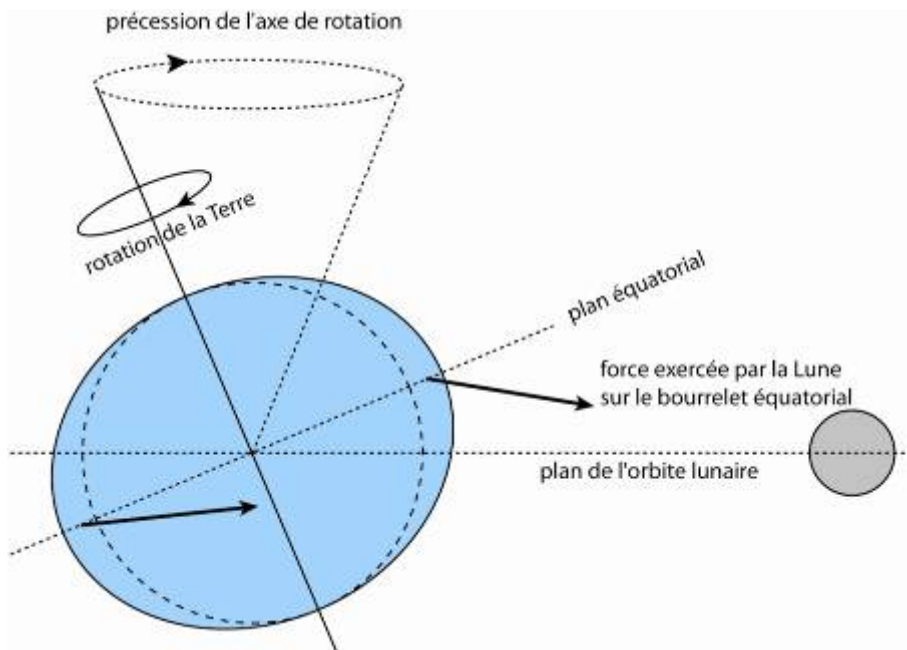


2. Exercice d'application (facile): test écrit 2011. Supposez que le diamètre de la Lune soit 20% plus petit que son diamètre réel. Quelle devrait être alors la distance moyenne entre la Terre et la Lune pour que l'on observe encore des éclipses de Soleil totales sur Terre ?

- a. 20% plus grande que la distance réelle.
- b. 80% plus petite que la distance réelle.
- c. 20% plus petite que la distance réelle.
- d. 80% plus grande que la distance réelle.

L'attraction lunaire

La Lune est certes un petit corps (un rayon de 1737 km, soit un peu plus du quart du rayon terrestre ; une masse de $7,35 \times 10^{22}$ kg, soit seulement 1,23 % de la masse de la Terre !), mais il est très proche de la Terre (384 400 km en moyenne : un signal radio met un peu plus d'une seconde pour parcourir la distance Terre-Lune). L'attraction gravitationnelle de la Lune sur la Terre n'est pas négligeable (souvenez vous que cette force d'attraction varie en raison inverse du carré de la distance entre les deux corps).

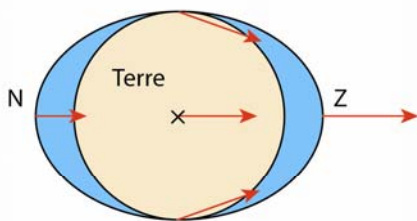


Nous avons vu que l'orbite de la Lune n'est pas comprise dans le plan équatorial de la Terre, mais dans un plan proche de l'écliptique. Par ailleurs, la Terre n'est pas une sphère parfaite, mais présente un renflement au niveau de l'équateur. L'attraction différentielle de la Lune sur ce bourrelet équatorial crée un couple qui tend à ramener le plan équatorial dans le plan de l'orbite lunaire. Comme une toupie, la Terre répond à ce couple par une rotation de son axe de rotation : c'est là l'origine de la **précession des équinoxes** (voir la fiche « Ecliptique, saisons, années, calendriers »).

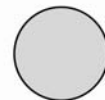
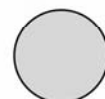
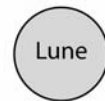
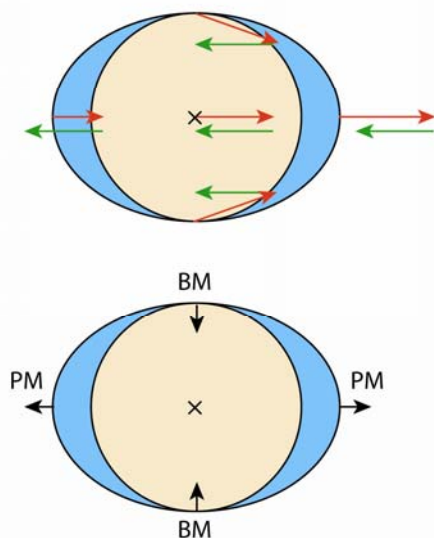
On a également découvert que la présence de la Lune avait un autre effet, stabilisateur celui-là, sur l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur l'écliptique : sans la Lune, cette inclinaison connaîtrait des variations beaucoup plus importantes, entraînant des variations tout aussi importantes du climat, et la vie n'aurait peut être pas pu se développer sur Terre...

A un instant donné, chaque point de la Terre est attiré par la Lune d'autant plus fortement qu'il est proche d'elle. En comparant cette attraction locale à l'attraction globale exercée au centre de la Terre (ce qui revient à soustraire à ces vecteurs locaux le vecteur force d'attraction au centre de la Terre), on trouve les déformations de la Terre (« marées ») par rapport à son centre. Cette attraction différentielle affecte l'atmosphère, l'hydrosphère, et même la Terre solide qui se déforme de quelques décimètres. C'est surtout l'effet sur l'hydrosphère qui est sensible, avec des marnages pouvant atteindre 10 mètres par endroits (voir la fiche « Forces génératrices des marées » dans la partie Hydrosphère).

Dans le référentiel Terre-Lune



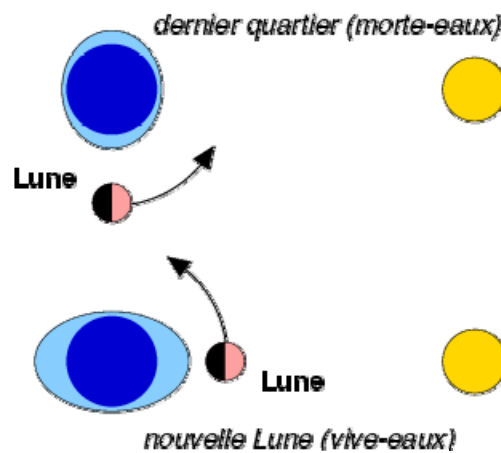
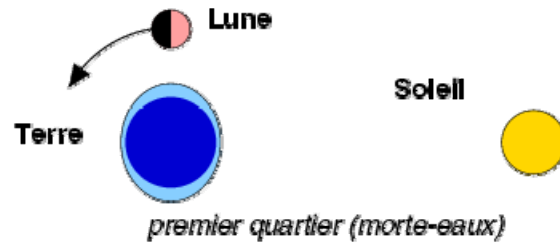
Dans le référentiel géocentrique



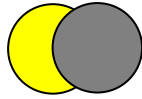
De façon idéale, ce bourrelet de marée (à ne pas confondre avec le renflement équatorial de la figure précédente) devrait rester aligné avec la Lune et faire le tour de la Terre en une journée, mais il est légèrement « en retard » : l'attraction lunaire crée alors un couple de rappel qui tend à ralentir la rotation terrestre (voir la fiche « Jour et nuit »). La conservation du moment cinétique global du système Terre-Lune implique en outre que la Lune s'éloigne progressivement de la Terre ! Dans un futur lointain, la Lune sera trois fois plus éloignée qu'aujourd'hui, et la rotation de la Terre sera synchrone avec la révolution de la Lune : la Lune ne sera visible que d'un côté de la Terre, et un jour sera égal à un mois lunaire !

Réciproquement, la Terre exerce elle aussi des forces de marées sur la Lune. **Ces forces ont ralenti la rotation de la Lune sur elle-même jusqu'à ce qu'elle présente toujours la même face vers la Terre !** La période de rotation de la Lune sur elle-même est donc égale à sa période sidérale de rotation autour de la Terre. Il a fallu attendre l'ère spatiale pour découvrir la « face cachée » de la Lune.

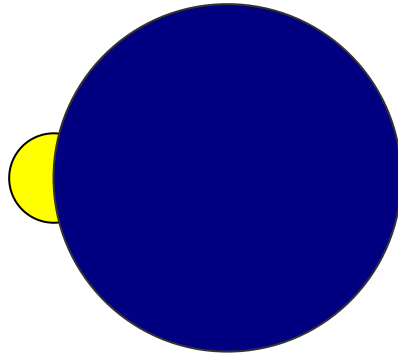
Compliquons un peu le tableau : l'attraction du Soleil (beaucoup plus massif que la Lune, mais beaucoup plus éloigné) crée également des forces de marée sur Terre, plus faibles que celles de l'attraction lunaire. Les deux influences se composent selon la disposition du système Terre-Soleil-Lune : elles s'ajoutent en situation de conjonction ou d'opposition, donc durant la pleine lune et la nouvelle lune : ce sont alors les marées de vives eaux. A l'inverse, lors du premier et du dernier quartier, les marées sont les plus faibles (mortes eaux, voir la fiche « Amplitude des marées » dans la partie Océanographie).



1. Réponse : On trouve que le diamètre du Soleil vaut environ 400 fois celui de la Lune : or le Soleil est 400 fois plus éloigné que la Lune ; par conséquent, le Soleil et la Lune, vus de la Terre, ont la même taille apparente dans le ciel. **L'éclipse de soleil vue depuis la Terre doit donc correspondre à l'image C, où le rayon du disque est égal à celui de la zone occultée.**

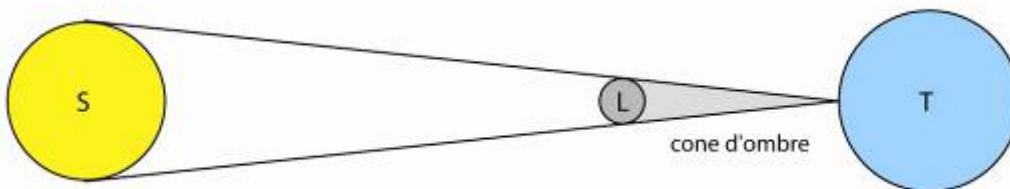


Vu depuis la Lune, le disque de la Terre est 4 fois plus grand que le disque du Soleil : donc, lorsqu'on observe une **éclipse de soleil depuis la Lune**, on observe la figure d'éclipse **B**.



Pendant que les « luniens » observent une éclipse de soleil, **les terriens observent une éclipse de lune**. Une éclipse de lune correspond au passage du satellite dans le cône d'ombre de la Terre, qui est 4 fois plus gros que le cône d'ombre de la Lune. Si la Lune était 4 fois plus distante, elle serait au sommet de ce cône d'ombre, et l'ombre de la Terre sur la Lune serait ponctuelle. Au trois quarts du cône d'ombre, le rayon de l'ombre de la Terre vaut $\frac{3}{4}$ du rayon terrestre, soit 3 rayons lunaires. L'ombre portée de la Terre sur la Lune sera donc du type **B**.

Eclipse de Soleil



Eclipse de Lune

