



La Lune

LUNE MÉTRONOME



La Lune est le seul satellite naturel de la Terre. De par sa taille apparente identique à celle du Soleil, et son éclat, la Lune est un astre majeur depuis des millénaires, au même titre que le Soleil auquel elle « s'oppose » : le Soleil resplendissant est symbole du jour, de chaleur et de sécheresse ; la Lune est reine de la nuit, du froid, de la rosée du matin. Elle est aussi symbole de la vie : la Lune naît, croît, décroît et finalement disparaît dans un cycle (révolution synodique) qui dure un peu plus de 29 jours. À ce titre, elle est un repère temporel efficace et le **cycle des lunaisons** fut utilisé dès



l'Antiquité pour repérer le temps. Cependant, l'établissement d'un calendrier à partir de la Lune ne va pas sans poser de difficultés : une année tropique (temps qui sépare deux solstices d'été consécutifs et qui détermine le retour des saisons) ne contient pas un nombre entier de lunaisons. Ainsi, un calendrier lunaire de 12 lunaisons, accumulerait un retard de 12 jours par an, ce qui rend indispensable d'intercaler de temps à autre une année de 13 mois selon un cycle assez complexe afin de synchroniser le calendrier solaire et le calendrier lunaire. Cette synchronisation est nécessaire en particulier pour l'agriculture afin de repérer les saisons et définir ainsi avec précision la période des semis.

MOUVEMENTS DE LA LUNE



La Lune tourne autour de la Terre en 27 jours 7 heures 43 minutes et 11,5 secondes, sur

une orbite elliptique inclinée de 5°9' sur l'écliptique. Cependant le mouvement de la Lune n'est pas régulier à cause des perturbations gravitationnelles induites par le Soleil, par la Terre et même par les

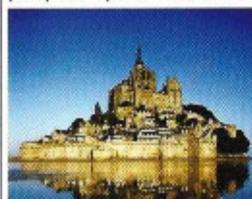
autres planètes. Ces paramètres sont donc fluctuants et il ne s'agit là que de moyennes. Du fait du mouvement de la Terre autour du Soleil, deux pleines lunes consécutives sont séparées de 29 jours 12 heures et 44 minutes (durée appelée période synodique). La Lune présente toujours la même face à la Terre car sa période de rotation est égale à sa période de révolution autour de la Terre. Ce synchronisme est dû à la forme de la Lune qui est légèrement allongée comme un ballon de rugby. Le système n'est alors stable que lorsque le grand axe de la Lune pointe vers la Terre. Cependant, comme l'orbite est elliptique, la révolution de la Lune autour de la Terre ne se fait pas à vitesse uniforme, contrairement à sa rotation propre. Ainsi, la Lune semble balancer sur son axe et offre ainsi à voir aux terriens près de 59 % de sa surface : ce mouvement est appelée libration.

LES EFFETS DE MARÉES

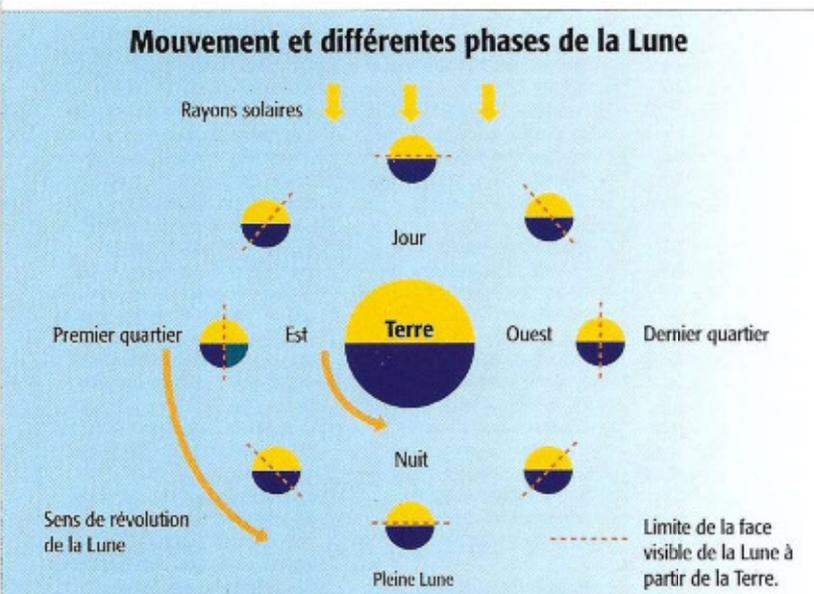
La Terre attire la Lune et vice-versa. La force de gravitation est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance, ce qui signifie que la force entre deux objets est d'autant plus forte qu'ils sont proches l'un de l'autre. Ainsi, le côté de la Terre qui est face à la Lune est donc plus fortement attiré que le centre de la Terre et encore plus que le côté opposé.

La Terre se déforme donc, elle s'allonge en un ovale dont le grand axe pointe vers la Lune. Bien que la Terre soit solide, elle se déforme bel et bien : le sol se soulève d'environ 40 cm à Paris, deux fois par jour lorsque la Lune est au plus haut dans le ciel et au plus bas sous l'horizon ! Cependant, l'effet est encore plus saisissant pour les océans. Il se forme un bourrelet océanique qui suit le mouvement de la Lune.

Ainsi, environ deux fois par jour, les océans fluent et refluent au rythme des passages de la Lune dans le ciel. En fait ce mécanisme n'est pas si simple : il faut prendre en compte la forme des côtes et des fonds océaniques ; ainsi il n'existe pratiquement pas de marées dans



la Méditerranée, alors qu'elles atteignent 16,10 m au **Mont Saint-**



Michel et 19,60 m dans la baie de Fundy au Canada. Notez que le Soleil aussi génère des marées. Il est beaucoup plus massif que la Lune, mais il est aussi beaucoup plus éloigné. Ainsi son effet sur les marées est 2,17 fois plus faible que celui de la Lune. Cependant, les deux effets se combinent. À la nouvelle Lune et à la **pleine Lune**, les attractions



s'ajoutent et les marées sont donc de plus fortes amplitudes. Ce sont les marées de vive-eaux. À l'opposé, les marées de morte-eaux ont lieu aux premiers et derniers quartiers lorsque le Soleil, la Terre et la Lune forment un angle droit. L'effet du Soleil compense alors partiellement celui de la Lune et les marées sont donc de plus faibles amplitudes. Le rythme des marées, principalement dues à la Lune, suit un cycle de 24 h 50 min qui correspond à la durée qui sépare deux passages au méridien (ou passage au sud) consécutifs de la Lune. Ainsi le bourrelet océanique fait un tour autour du globe terrestre en 24 h 50 min alors que la Terre ne prend que 24 h pour faire un tour sur elle-même. Du coup, les masses d'eau du bourrelet ne sont pas immobiles par rapport à la Terre, mais frottent sur le plancher océanique. Ce frottement ralentit sensiblement la vitesse de rotation de la Terre et augmente peu à peu la durée du

jour. L'étude de coraux fossiles a montré que le jour faisait environ 23 h voici 220 millions d'années. Si la vitesse de rotation de la Terre diminue, la Lune, en contre-partie, s'éloigne de la Terre d'environ 2 m par siècle. Du fait de ce phénomène, un jour très lointain, la période de rotation de la Terre sera égale à la période de révolution de la Lune. De la même manière qu'actuellement la Terre semble fixe dans le ciel lunaire ; la Lune semblera fixe dans le ciel terrestre et ne sera visible que d'un hémisphère. Une telle double synchronisation est déjà observée pour un autre couple satellite-planète atypique qu'est le système Pluton et son satellite Charon.

ÉCLIPSES

Périodiquement le Soleil, la Lune et la Terre sont pratiquement alignés. Lorsque la Lune passe derrière la Terre vue du Soleil, elle pénètre dans l'ombre de cette dernière : il se passe alors une **éclipse de Lune**.



À l'inverse lorsque la Lune passe devant la Terre, son ombre est projetée sur le globe terrestre : il se passe alors une **éclipse de Soleil**. À cause de l'obliquité (angle que fait l'équateur avec le plan de l'orbite ou angle de l'axe de rotation avec la normale au plan de l'orbite) de l'orbite de la Lune sur l'écliptique, les éclipses sont relativement rares :

il n'y en a pas à toutes les pleines lunes, ni même à toutes les nouvelles lunes. Les éclipses totales de Soleil sont de deux types : à cause de l'excentricité de son orbite, le diamètre apparent de la Lune n'est pas constant. Du coup, lors des éclipses de Soleil, il arrive que le disque lunaire ne recouvre pas totalement le disque solaire.



Nous assistons alors à une **éclipse annulaire**. Les éclipses ont de tout temps beaucoup effrayé l'homme : voir la Lune et surtout le Soleil disparaître avait de quoi inquiéter les peuples ignorants de la réalité des lois de l'astronomie. Cependant, nous devons aux éclipses de belles découvertes. Les philosophes grecs avaient compris que lors des éclipses de Lune, la Lune disparaissait dans l'ombre de la Terre, ce qui les faisait conclure à la sphéricité de la Terre et que la Lune ne faisait que réfléchir la lumière du Soleil. Au deuxième siècle avant J.-C., Ératosthène mesura la circonférence de la Terre. Peu de temps après, Aristarque de Samos puis plus tard Hipparque déterminèrent la distance de la Terre à la Lune et la taille de la Lune. Pour cela, ils utilisèrent la mesure d'Ératosthène, chronométrèrent les phases d'une éclipse de Lune et ajustèrent leur estimation du diamètre lunaire en

Fiche technique

3 476 km
Diamètre de la Lune.

29°22' et 33°29'

Ce sont les diamètres apparents, minimal et maximal, de la Lune.

73,4.10²² kg
Masse de la Lune.

+117 °C
au Soleil
- 173 °C
à l'ombre.

Température de la surface lunaire, au Soleil et à l'ombre respectivement.

356 375 km
Distance de la Lune à la Terre au périhélie (point de l'orbite de la Lune le plus proche de la Terre).

5,145°
Inclinaison moyenne de l'orbite lunaire sur l'écliptique.

29 j 12 h 44 min 2,8 s

Période de révolution synodique (retour à la même position par rapport au Soleil).

À l'apogée



406 700 km

observant des éclipses de Soleil annulaire !

FORMATION DE LA LUNE

La Lune a le même âge que la Terre, soit 4,6 milliards d'années. C'est aussi un satellite anormalement gros puisqu'il n'est que 81 fois moins massif que la Terre. Parmi tous les satellites du système solaire, seul Charon, le satellite de Pluton partage cette caractéristique. À ce propos, les planétologues préfèrent plutôt parler de « planète double » en évoquant les systèmes Terre-Lune et Pluton-Charon. La formation de ce système atypique serait peu commune. La théorie la plus récente et la plus communément admise fait état de la collision tangentielle entre la proto-Terre et un planétésimal de la taille de Mars environ. Le choc fut titanique. La proto-Terre était déjà fortement différenciée, c'est-à-dire qu'elle possédait déjà un noyau métallique et un manteau rocheux. La collision aurait éjecté une importante quantité de matériaux issus du manteau de la proto-Terre. La Lune serait donc formée de matériaux provenant des manteaux de la proto-Terre et de l'impacteur. Ceci explique la grande similitude entre la composition de la surface lunaire et le manteau terrestre. La différence notable est que les **roches lunaires**



sont pauvres en matériaux volatils : l'impact a dégagé tellement de chaleur que ces éléments se sont volatilisés. Les simulations numériques montrent aussi que le noyau de l'impacteur est retombé sur Terre. Le matériau issu des manteaux des deux corps, en orbite autour de la proto-Terre aurait formé la Lune en quelques années seulement !

STABILISATION DE L'AXE DE ROTATION DE LA TERRE

À la fin des années 1980, Jacques Laskar a souligné le rôle primordial de la Lune dans la stabilité de l'axe de rotation de la Terre. Alors qu'il travaillait sur la dynamique des planètes dans le système solaire, il a découvert que le système solaire était un système chaotique. En particulier, il s'est aperçu que les obliquités des planètes subissaient de très fortes variations dans des laps de temps courts, géologiquement parlant. Comme l'obliquité des planètes est responsable du cycle des saisons, ces variations entraînent d'importantes modifications du climat. Imaginez que l'axe de rotation de la Terre soit dans le plan de son orbite : les pôles verraient tous les 6 mois le Soleil au zénith avant de le voir disparaître pour 6 mois ! Le climat serait extrêmement différent de celui que nous connaissons aujourd'hui. De plus, un axe instable sur une échelle de la centaine de millions d'années signifie

que le climat serait tout aussi instable. Difficile dans ces conditions d'imaginer que la vie puisse se développer au niveau de complexité que nous lui connaissons actuellement.

En agissant sur le bourrelet équatorial de la Terre comme une corde de rappel, la Lune stabilise son axe de rotation. Cet axe forme un angle de 23°26' avec la normale au plan de l'écliptique. Cependant la direction vers laquelle pointe cet axe n'est pas constante : la Lune, le Soleil et dans une moindre mesure les planètes du système solaire, interagissent aussi avec le bourrelet équatorial de la Terre et font balancer son axe de rotation. Les astronomes distinguent un terme de période longue dit séculaire appelée précession : les pôles célestes (qui ne sont que l'intersection entre la voûte céleste et l'axe de rotation terrestre) décrivent une ellipse en 26 000 ans. Ainsi le pôle nord céleste est actuellement proche de l'étoile α Ursae Minoris appelée pour l'occasion Étoile Polaire. Mais dans 13 000 ans, le pôle nord sera proche de Vega dans la constellation de la Lyre. La nutation est un balancement qui s'ajoute à la précession. Le terme principal est responsable de l'oscillation de 17,2" de l'obliquité de la Terre sur une période de 18,6 années. Ce terme est dû à la Lune.

SURFACE ET GÉOLOGIE

De la Terre, la surface de la Lune n'est pas d'une teinte blafarde uniforme. Des taches peuvent faire penser à un visage humain et beaucoup de comptines et légendes s'en sont inspirées. Les atlas de la Lune montrent que les zones sombres sont appelées mers. Cette dénomination provient du temps où les astronomes pensaient que la Lune était effectivement recouverte d'océans. Les parties claires étaient alors des continents. À cette époque et jusqu'au xix^e siècle encore on disait la Lune habitée par des êtres étranges et frères appelés les Sélénites. Malheureusement, la Lune est dépourvue d'atmosphère et l'eau liquide ne peut donc subsister à sa surface : la vie n'y est pas possible. Les lunettes astronomiques et télescopes ont montré la **présence de nombreux cratères** à la surface de la



Lune. Par analogie encore avec ce qui est connu sur Terre, les astronomes pensaient tout d'abord à des volcans. Mais ils étaient trop nombreux et l'origine météorique a fini par s'imposer pour tous dans les années soixante, avec les vols automatisés et habités vers la Lune. Sur Terre la tectonique des plaques et l'érosion dues au vent et à l'eau ont effacé les traces des impacts météoriques. De même, les vestiges de la formation de la Terre ont disparus. Inerte géologiquement, contrairement à la

Terre, la Lune a gardé les traces de son origine. L'exploration de la Lune et notamment les 382 kg d'échantillons rapportés **par les astronautes des missions Apollo** ont ainsi permis de



mettre au jour l'histoire des premiers milliards d'années, non seulement de la Lune, mais aussi du système solaire. En datant les différentes roches rapportées, les planétologues se sont aperçu que plus les terrains contenaient de cratères, plus ils étaient vieux. Les astronomes ont déduit que la Lune, et par extrapolation toutes les planètes du système solaire ont subi un intense bombardement météorique au début de leur histoire jusqu'à environ 3,9 milliards d'années d'aujourd'hui. Ensuite le taux de chute de météorites a régulièrement diminué. Ce résultat a permis aux planétologues de mettre au point une méthode de datation fiable sans avoir recours au retour d'échantillons. En comptant le nombre de cratères sur une surface planétaire, ils peuvent ainsi en déduire son âge.

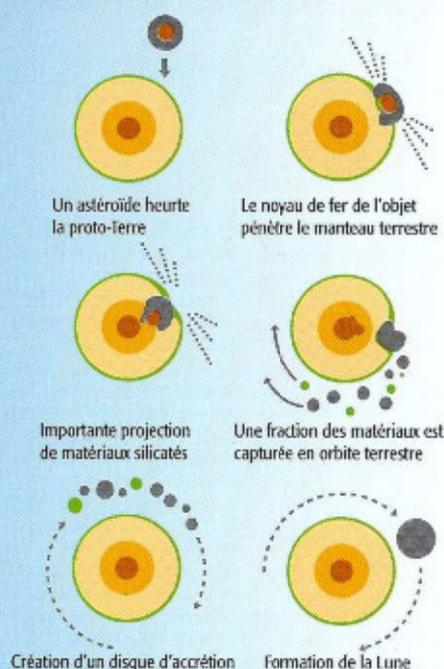


Sur la Lune **les mers** sont des terrains jeunes car ils ne contiennent que peu de cratères. Ce sont de vastes étendues de basalte qui ont recouvert de vastes bassins d'impact créés bien plus tôt. Les chutes de météorites continues depuis des milliards d'années ont réduit la surface en une poudre fine appelée regolith. La Lune n'a aucune atmosphère et donc même les plus petites particules viennent frapper la surface à des vitesses d'au moins 20 km/s qui labourent le sol. La hauteur de regolith atteint 2 m sur les mers, mais les planétologues pensent que la hauteur peut atteindre 20 m sur les plus vieux plateaux. Ce regolith est intéressant à double titre : il contient des roches provenant du sous-sol excavées par les plus gros impacts et, surtout, il piège le vent solaire. Sans atmosphère ni champ magnétique, ce flux de particules chargées venant du Soleil frappe la surface de la Lune à près de 500 km/s. Les particules restent piégées dans les minéraux du regolith qui contiennent alors toute l'histoire de l'activité solaire : une vraie mine pour les astronomes et astrophysiciens !

L'EXPLORATION FUTURE DE LA LUNE

La Lune reste un objet de fantasmes pour les passionnés d'exploration spatiale. Elle reste le seul astre, mis à part la Terre évidemment, à avoir reçu la visite d'êtres humains. Pendant un temps les astronomes ont pensé y

Mécanisme de formation de la Lune



installer leurs télescopes pour s'affranchir de l'atmosphère terrestre : en absence d'atmosphère les observations ne subiraient pas de perturbations. Ces projets n'ont plus vraiment d'intérêt : il est plus facile de placer un télescope spatial en orbite autour de la Terre ou d'un point de Lagrange (endroits où l'on peut placer un satellite en équilibre gravitationnel en faisant un tour autour du soleil par an). Par contre les radio-astronomes rêvent de la face cachée de la Lune : avec les besoins croissants en **satellites**, notamment ceux concernant



les télécommunications, ils voient leurs fenêtres d'observation se réduire. D'où l'idée de mettre ses satellites à l'ombre : étant donné que la face cachée de la Lune ne voit jamais la Terre, la Lune ferait alors écran à toutes les émissions électromagnétiques terrestres, et en particulier les émissions anthropiques. Bien que ces observatoires soient pensés entièrement automatisés, certains y voient une raison supplémentaire de s'installer sur la Lune. La présence de glace d'eau au fond de cratères polaires constamment plongés dans l'ombre, a relancé l'engouement pour l'installation d'une base lunaire. Cependant, l'eau nécessaire à la vie pourrait plutôt être produite à partir de l'oxygène et de l'hydrogène contenus dans les roches et le regolith lunaires. Fer, titane et de l'aluminium peuvent aussi être extraits du sol lunaire et fournir ainsi les matériaux nécessaires à la construction. L'azote et le carbone pourraient permettre de développer une culture sous serre. Une base lunaire pourrait ainsi vivre en autarcie !

L'EXPLORATION MINIÈRE

L'exploitation minière de la Lune pour approvisionner la Terre est aussi envisagée. Le géologue **Harrison Schmitt**, le seul scientifique à avoir



visité notre satellite (Apollo 17) milite pour l'exploitation de l'hélium 3 afin de résoudre la crise de l'énergie sur Terre. Le regolith piège l'hélium 3, un isotope de l'hélium très rare sur Terre apporté par le vent solaire. Il faut fusionner peu d'hélium 3 avec du deutérium pour produire énormément d'énergie, mais beaucoup de problèmes techniques se posent, comme l'extraction qui nécessite d'abord de chauffer le regolith à 600 °C, puis la purification de l'hélium ainsi extrait qui demande des moyens lourds. Et enfin, si la fusion fait l'objet de recherche intensive en utilisant le deutérium et le lithium comme carburant, aucune recherche n'est développée pour fusionner l'hélium 3 avec du deutérium. Cependant, la construction d'une base sur la Lune n'est pas considérée comme une fin en soi. Si une base lunaire est installée, elle peut servir de lieu d'entraînement pour les astronautes chargés de découvrir Mars, la véritable cible des tenants de l'exploration du système solaire par l'homme. Mêmes conditions hostiles du système solaire. Sur la Lune, la gravité vaut 1/6 de la gravité terrestre, ce qui a permis aux astronautes d'y faire des bonds spectaculaires. Du coup, il serait possible d'envoyer dans l'espace de plus gros vaisseaux spatiaux à énergie égale, un atout certain dans le cas d'un voyage vers Mars et au-delà !