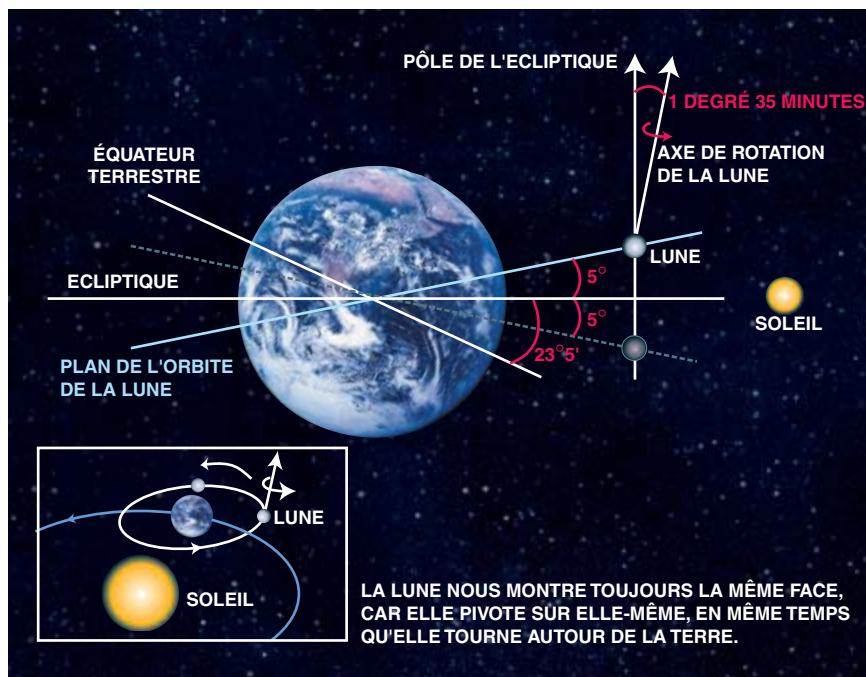


est décrite par les équations traditionnelles de la rotation des corps solides sur eux-mêmes (équations d'Euler). Elle peut être représentée par les angles d'Euler dans l'espace réel à trois dimensions (espace dit de configuration) (voir l'encadré de la page 58). Dans l'espace des phases (l'espace où le corps étudié est repéré par ses positions, mais aussi par ses vitesses), les libérations dites «géométriques» traduisent des solutions quasi périodiques aux équations de rotation, présentes sous forme d'îles de libérations autour de points fixes qui, eux, correspondent à des solutions périodiques. Les libérations lunaires sont des mouvements quasi périodiques (autour des quatre fréquences précédemment citées).

Les libérations sont très nombreuses et fortement imbriquées. Leur classification est fondée sur la distinction entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique de la Lune. Les deux familles sont les libérations potentielles, dont les causes sont gravitationnelles (elles correspondent à une variation d'énergie potentielle de la Lune), et les libérations cinétiques, dont les causes ne sont pas gravitationnelles, mais directement liées au mouvement qui les produit (elles correspondent à une variation d'énergie cinétique de la Lune). Pour les sous-familles de libérations, on relie le nom de la libération à sa cause, selon sa nature. Cette méthode de désignation, simple et évolutive, permet de rester proche de l'interprétation physique directe.

Dans les libérations potentielles, on trouve les libérations dites de «figure principale», dues aux perturbations engendrées par des masses ponctuelles (les astres sont considérés comme des points) sur la «figure» de la Lune (la figure dynamique représente la répartition spatiale de la masse dans le corps) ; les libérations dites d'«interaction figure-figure», qui prennent en compte les figures des astres dont les potentiels interagissent avec celui de la Lune. Les libérations cinétiques contiennent les libérations centrifuges, produites par des déformations internes à la Lune, provoquées, par exemple, par la présence d'un noyau liquide (voir la figure 5).

Une sous-classe commune aux libérations potentielles et aux libérations cinétiques contient les libérations



3. LA LUNE TOURNE autour de la Terre en 27,3 jours. Le plan de son orbite forme un angle de cinq degrés par rapport au plan de l'écliptique (le plan contenant le Soleil et l'orbite moyenne de la Terre). Elle tourne aussi sur elle-même en 27,3 jours ; son axe de rotation est incliné de un degré et 35 minutes par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique, nommée pôle de l'écliptique. La révolution et la rotation s'effectuent dans le même sens et sont synchronisées : la Lune nous montre toujours la même face.

dites accidentelles. Il s'agit de libérations résiduelles sans cause permanente dans le temps. Elles peuvent être déclenchées par un impact important de météore, qui introduit de l'énergie cinétique supplémentaire (libérations cinétiques), ou par le passage proche et rapide d'un autre corps céleste (libérations potentielles).

Modèle relativiste

Pour étudier les libérations réelles dans le détail et approfondir leurs origines, il a fallu mettre au point un modèle global de la Lune, issu de l'intégration du Système solaire dans son ensemble, afin d'y «prélever» ensuite un mouvement précis de la Lune. Les progrès des mesures astronomiques sont à l'origine de modèles théoriques toujours plus précis et plus complets. Les limites du «négligeable» ne cessent de reculer, et les approximations d'hier n'ont plus cours. Toutefois, les observations à la microseconde près ne suffisent pas à donner la cause du phénomène.

Désormais, l'objectif n'est plus seulement de construire des éphémérides : prédire n'est pas toujours expliquer. On construit parfois des solutions sous forme de séries formelles dont on ajuste progressivement les paramètres aux

observations. Les pseudo-solutions ainsi obtenues ne peuvent expliquer les phénomènes, même si elles donnent des prédictions sur les positions. Au contraire, un modèle physique, construit à partir des lois de la physique, allie prévision et compréhension des phénomènes.

Le Système solaire est constitué de sous-systèmes dont les interactions empêchent qu'on les considère comme tout à fait indépendants et isolés. Le système Terre-Lune est l'un de ces sous-systèmes immergés dans le Système solaire. Pour construire une théorie moderne de la Lune qui rende compte de la dynamique du système Terre-Lune en ayant une précision compatible avec celle des observations de télémétrie, on ne pouvait plus se limiter à la seule intégration des équations du mouvement de la Lune, modifiées par les perturbations provoquées par les autres astres du Système solaire ; ni se contenter d'une description newtonienne de la gravitation ; ni, l'on s'en doute, considérer les corps comme ponctuels.

Nous avons intégré le Système solaire dans son ensemble (le Soleil, les planètes, une série d'astéroïdes et la Lune), c'est-à-dire que nous avons intégré les équations de tous ces corps (au lieu de les traiter seulement

comme des perturbations), afin d'y prélever ensuite le mouvement spin-orbite de la Lune, avec une cohérence relativiste «postnewtonienne» jamais réalisée jusqu'à présent. Expliquons en quoi consiste une formulation postnewtonienne.

La théorie de la relativité générale représente la réalité physique par un champ continu. En l'occurrence, il s'agit d'un champ de gravitation où les masses «particulières», les étoiles et les planètes par exemple, sont considérées

comme des singularités de ce champ, et non plus comme des systèmes discrets de points matériels isolés les uns des autres. Ce concept rend impossible l'idée d'une mécanique céleste purement relativiste. Cependant, les formulations dites postnewtoniennes permettent, en dérivant des solutions approchées aux équations d'Einstein, d'intégrer dans un cadre relativiste le problème des «N corps» sur la base de la description de la gravitation donnée par la théorie d'Einstein.

Notre modèle, mis au point avec Alain Journet et David Vokrouhlicky, est le seul qui combine, dans ce cadre post-newtonien, la rotation des corps sur eux-mêmes et leurs mouvements dans le champ de gravitation local. Il tient compte de la distribution de la masse dans les corps (c'est-à-dire de leur figure dynamique) et de leurs déformations dues aux marées. Grâce à ce modèle, en 1995, nous avons identifié une troisième famille de libérations : les libérations relativistes.

Et pourtant, elle libre !

Jusqu'à ces dernières années, une distinction était établie entre les libérations vues de la Terre (libérations dites «apparentes») et celles censées traduire des balancements «plus réels» de la Lune (libérations dites «physiques»). En réalité, cette distinction provient de l'utilisation de deux repères de référence différents. Dans la classification actuelle, l'ensemble des libérations est considéré dans un repère de référence unique.

Les libérations apparentes contiennent deux familles, les libérations «diurnes» et les libérations «optiques». Les libérations optiques se divisent aussi en deux familles : les libérations optiques en longitude et les libérations optiques en latitude. Elles ont été observées au XVII^e siècle par l'astronome allemand Johannes Hevelius et par Galilée. Toutes ces libérations apparentes se combinent et voilà pourquoi, au total, la face visible de la Lune représente 59 pour cent de sa surface totale, et non 50 pour cent.

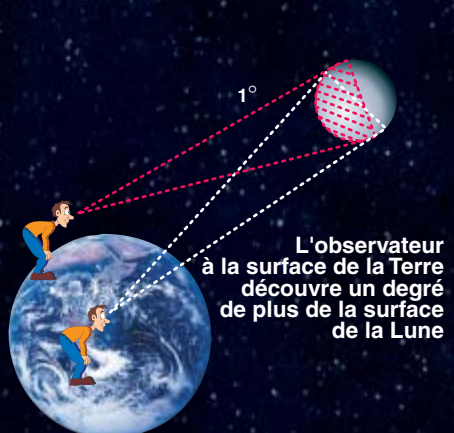
Les libérations apparentes, observées depuis la Terre, proviennent de la configuration géométrique de la Lune par rapport à la Terre. Toutefois, la Lune est soumise à des balancements qui lui sont propres. Newton eut le premier l'idée d'un mouvement de balancement réel de la Lune qui se superposerait à sa rotation. Ces libérations étaient nommées libérations physiques. Cette distinction entre les libérations apparentes et les libérations physiques est conventionnelle et liée à l'histoire de leur découverte... sur Terre. La Lune libre, c'est un phénomène réel, et ses libérations sont visibles depuis la Terre.

a) Les libérations diurnes proviennent d'un phénomène de parallaxe. L'observateur terrestre ne se trouve pas au centre, mais à la surface de la Terre et il tourne avec la Terre. Il ne voit pas la même surface de la Lune qu'un observateur qui serait situé au centre. Tout se passe comme si la Lune avait bougé : l'amplitude de ces libérations diurnes atteint un degré.

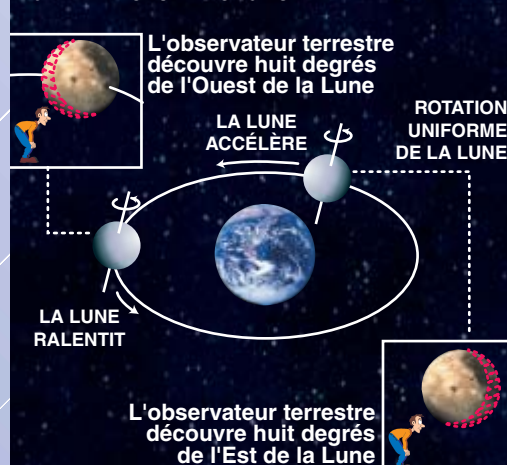
b) Dans les libérations en longitude, la face visible de la Lune semble se déplacer de huit degrés tantôt vers l'Est, tantôt vers l'Ouest. La raison est simple : la vitesse de révolution de la Lune varie entre le périégée (vitesse maximale) et l'apogée (vitesse minimale), alors que sa vitesse de rotation est relativement uniforme. La rotation est en avance ou en retard sur la révolution. Quand la Lune s'éloigne de la Terre, sa vitesse radiale est inférieure à la vitesse moyenne de sorte qu'elle semble tourner sur elle-même trop vite, dévoilant des régions normalement cachées. De même, quand elle se rapproche de la Terre, sa vitesse radiale devient supérieure, et elle semble ne pas tourner assez vite sur elle-même. À nouveau, une partie de la région normalement cachée est dévoilée.

c) Dans les libérations optiques en latitude, la Lune semble osciller du Nord au Sud, et l'on aperçoit des régions polaires normalement dissimulées. L'équateur de la Lune est incliné d'environ 6,5 degrés par rapport à son plan orbital, de sorte qu'au cours de sa précession, elle présente un peu plus son hémisphère Nord ou Sud.

a. LIBÉRATIONS DIURNES



b. LIBÉRATIONS EN LONGITUDE



c. LIBÉRATIONS EN LATITUDE

