

**ÉCOLES NORMALES SUPÉRIEURES
ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES**

CONCOURS D'ADMISSION SESSION 2020

FILIÈRE BCPST

COMPOSITION DE SCIENCES DE LA TERRE

Épreuve commune aux ENS de Paris-Saclay, Lyon, Paris et de l'ENPC

Durée : 4 heures

L'épreuve est composée de trois parties totalement indépendantes. Dans chaque partie, de nombreuses questions sont indépendantes les unes des autres. La qualité de la rédaction, la concision des réponses, et la précision des schémas seront prises en compte dans l'évaluation.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Objectif Lune



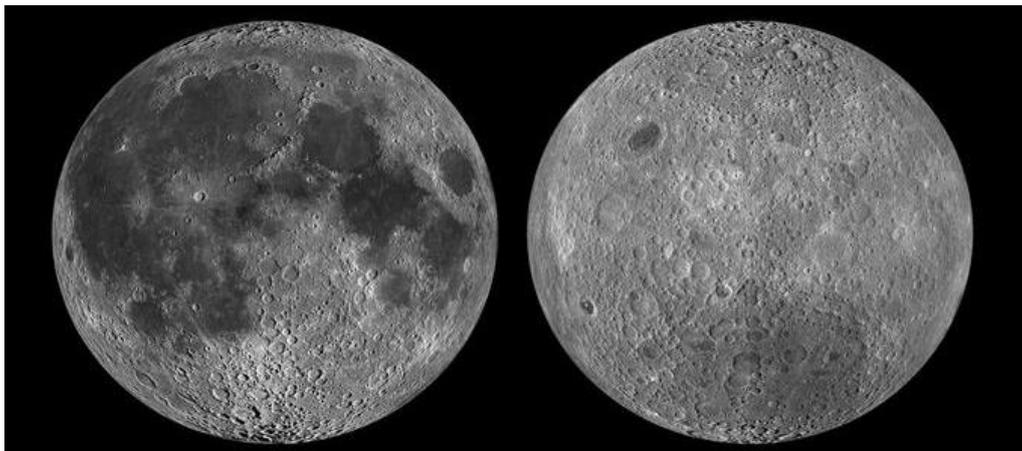
Partie 1: Origine, Faces, Phases, Age

1.1. Généralités

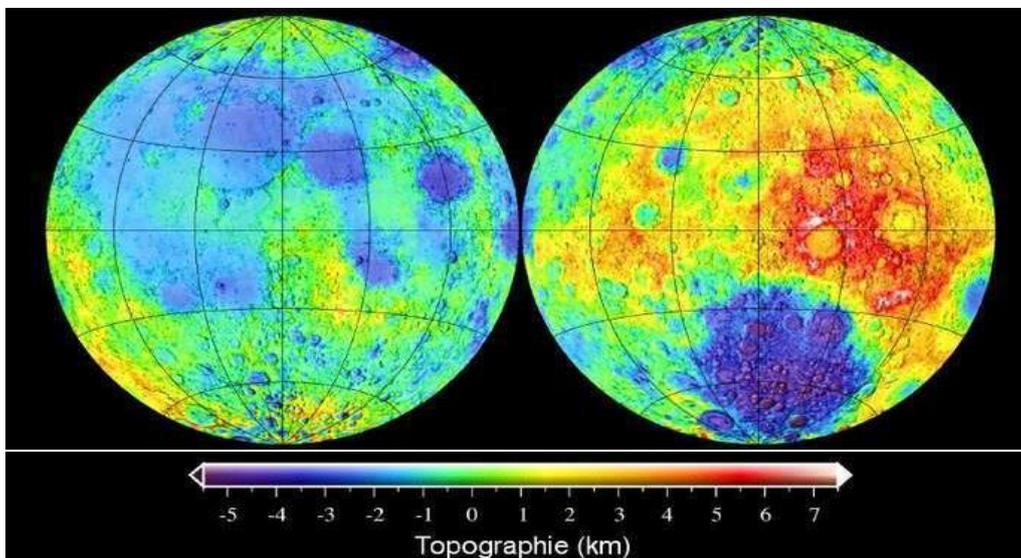
1.1.1. Quelle est l'origine de la Lune ? Quelles sont les autres hypothèses ? Pourquoi la Lune a-t-elle une face dite 'visible' et une face dite 'cachée' ? Illustrez vos réponses.

1.1.2. Expliquez la topographie de la Lune. A quoi correspondent les zones sombres et les zones claires observables à la surface de la Lune ?

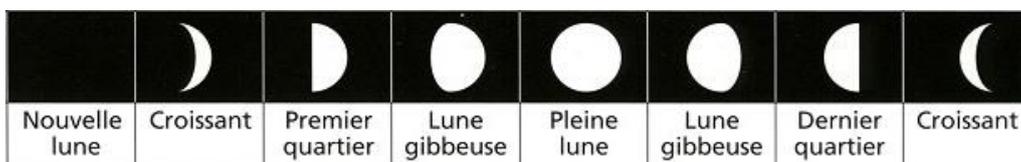
1.1.3. Pourquoi la Lune a-t-elle différentes phases ? Illustrez vos réponses à l'aide de schémas.



Photographies de la face visible (gauche) et de la face cachée (droite) de la Lune.



Topographie de la face visible (gauche) et de la face cachée (droite) de la Lune.



Phases de la Lune vues par un observateur situé sur Terre dans l'hémisphère nord.

1.2. Age de la Lune

La datation d'un échantillon de 1.8 kg (échantillon 60025), ramené sur Terre par la mission Apollo 16 en 1969 (la seule mission ayant échantillonné la croûte anorthositique lunaire) a permis de discuter de l'âge de la Lune. Cet échantillon est principalement constitué de plagioclases et de pyroxènes.



Photographie d'un fragment de l'échantillon 60025 montrant des pyroxènes (vert clair) dans une matrice de plagioclases (blanc).

	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
Pyroxenes	$0,3052 \pm 3.10^{-4}$	$0,5158 \pm 5.10^{-4}$
Plagioclases	$0,1505 \pm 2.10^{-4}$	$0,5113 \pm 5.10^{-4}$
	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
Pyroxenes	$0,0012 \pm 2.10^{-4}$	$0,5569 \pm 2.10^{-4}$
Pyroxenes	$0,0163 \pm 2.10^{-4}$	$0,6423 \pm 2.10^{-4}$
Pyroxenes	$0,0394 \pm 2.10^{-4}$	$0,7935 \pm 2.10^{-4}$

Rapports isotopiques des plagioclases et des pyroxènes de l'échantillon 60025 (Source : Borg et al., 2011)

1.2.1. Radio-chronologie

La radio-chronologie est basée sur la décroissance radioactive de certains radionucléides. Cette désintégration en éléments radiogéniques suit une loi de décroissance exponentielle. Le nombre de désintégrations de l'isotope père (dP) au cours d'une période dt est donc proportionnel à la teneur en ce radionucléide P, d'où $\frac{dP}{dt} = -\lambda P$, avec λ la constante de désintégration.

1.2.1.1. Exprimez la quantité d'isotope père au temps t (P_t) en fonction de sa quantité initiale (P_0) et de sa constante de désintégration λ , puis la quantité d'isotope fils F en fonction de sa quantité initiale (F_0) et de la quantité de l'isotope père au temps t (P_t).

1.2.1.2. Exprimez en fonction de λ le temps de demi-vie T correspondant au temps nécessaire à la désintégration de la moitié des radionucléides pères.

1.2.1.3. En négligeant la quantité initiale d'isotope fils, exprimez t en fonction de F/P_t .

1.2.2. La méthode Sm-Nd

Le ^{147}Sm est radioactif et se désintègre en ^{143}Nd stable en produisant un ^4He , avec une constante de désintégration $\lambda_{\text{Sm}} = 6,54.10^{-12} \text{ a}^{-1}$.

1.2.2.1. La quantité de ^{144}Nd étant *a priori* constante, montrez que le rapport $\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t$ peut s'exprimer en fonction de λ_{Sm} , de $\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_0$ et de $\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t$.

1.2.2.2. A quoi correspond le coefficient directeur de la droite définie par la relation trouvée en 1.2.2.1 ? Comment appelle-t-on cette droite ? Est-il possible de remonter à l'âge d'un échantillon si un seul minéral a été mesuré ?

1.2.2.3. Quel âge obtenez-vous pour l'échantillon 60025 avec la méthode Sm-Nd ?

1.2.3. La méthode Pb-Pb

L'uranium possède deux isotopes radioactifs, ^{235}U et ^{238}U . Par des suites complexes de désintégration, ^{235}U se transforme en ^{207}Pb , ^{238}U en ^{206}Pb . On définit λ_{235} et λ_{238} les constantes de désintégration de ^{235}U et ^{238}U ($\lambda_{235} = 3,12 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}$ et $\lambda_{238} = 4,92 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$).

1.2.3.1. Quels sont les temps de demi-vies de ^{235}U et de ^{238}U ?

1.2.3.2. Considérant $^{206}\text{Pb}_t$ et $^{206}\text{Pb}_0$ les quantités de ^{206}Pb à l'instant t et à l'instant initial, et $^{207}\text{Pb}_t$ et $^{207}\text{Pb}_0$ les quantités de ^{207}Pb à l'instant t et à l'instant initial, montrez que $^{206}\text{Pb}_t = ^{206}\text{Pb}_0 + ^{238}\text{U}_t(e^{\lambda_{238}t} - 1)$ et que $^{207}\text{Pb}_t = ^{207}\text{Pb}_0 + ^{235}\text{U}_t(e^{\lambda_{235}t} - 1)$.

1.2.3.3. En négligeant les quantités initiales de ^{206}Pb et ^{207}Pb , exprimez le rapport $\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} / \frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_t$ en fonction de t , de $\left(\frac{^{235}\text{U}}{^{238}\text{U}}\right)_t$ et des constantes de désintégration λ_{235} et λ_{238} .

1.2.3.4. Les rapports $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ et $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de pyroxènes de l'échantillon 60025 ne contenant initialement ni ^{206}Pb et ^{207}Pb sont donnés dans le tableau. Reportez ces points de mesures dans un diagramme $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ en fonction de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Ces points s'alignent sur une droite. Que cela signifie-t-il ? Quel est le coefficient directeur de cette droite ? Peut-on directement déterminer l'âge de l'échantillon ?

1.2.3.5. Déterminez les valeurs des coefficients directeurs des droites qui correspondraient à des âges compris entre 4.25 et 4.5 (faites le calcul pour des pas de temps de 0.25 Ga, sachant que le rapport actuel $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ vaut 137,88).

1.2.3.6. Estimez l'âge de l'échantillon 60025 à l'aide des résultats obtenus à la question précédente. Comparez ce résultat à l'âge obtenu par la méthode Sm-Nd.

1.2.3.7. L'âge déterminé pour l'échantillon 60025 permet-il de privilégier un scénario plutôt qu'un autre concernant l'origine de la Lune ?

1.2.4. Comptage de cratères

1.2.4.1. Sur quels principes repose la datation par comptage de cratères ? Il est bien entendu question ici de cratères d'impacts.

1.2.4.2. Les échantillons lunaires collectés lors des missions Apollo ont permis de 'calibrer' la datation par comptage de cratères pour les corps du système solaire. Discutez des limites d'une telle calibration.

Partie 2: Nature, Structure

2.1. Nature

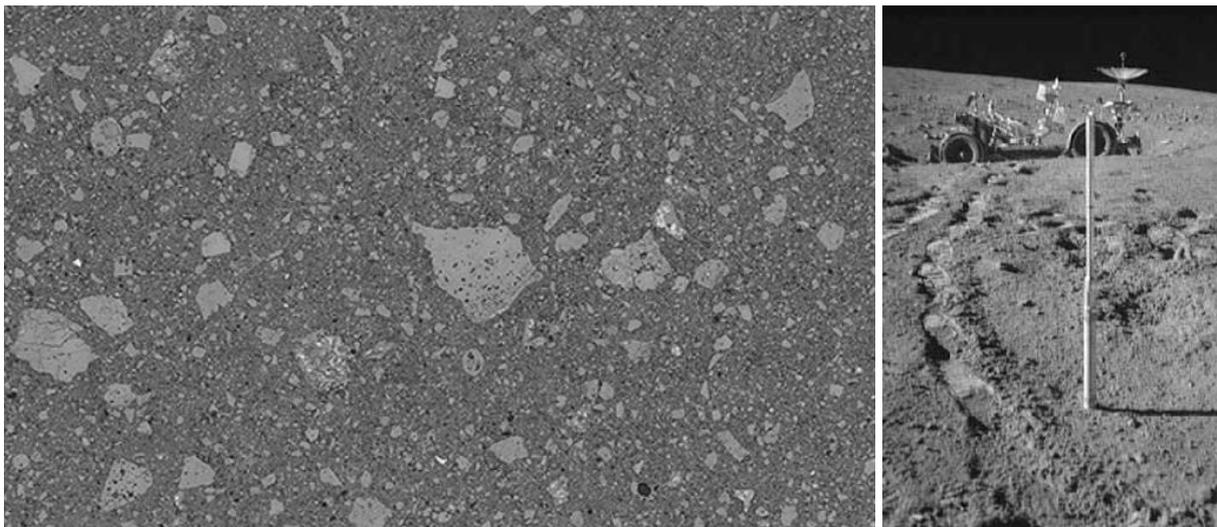
2.1.1. De nombreux échantillons lunaires ont été collectés par les missions Apollo. Deux exemples sont montrés ci-dessous. Décrivez ces roches (couleur, texture). Comment ces roches se sont-elles formées ?



Echantillon 15016

Echantillon 14271

2.1.2. Une microphotographie d'une lame mince de l'échantillon 64002 est montrée ci-dessous. Décrivez cet échantillon. Comment ce sol s'est-il formé ?



Gauche : Microphotographie d'une lame mince de régolithe lunaire (Echantillon 64002).

Le champ de vue est de l'ordre de 30 cm. Droite : Photographie du prélèvement de l'échantillon 64002 au cours de la mission Apollo 16 en 1972

2.1.3. Des photographies et des microphotographies d'échantillons collectés par les missions Apollo sont montrées ci-dessous. Le champ de vue des microphotographies est de l'ordre de 2 mm. Décrivez chaque roche (couleur, texture) et identifiez les minéraux qui les constituent. Comment ces roches se sont-elles formées ? Justifiez vos réponses.

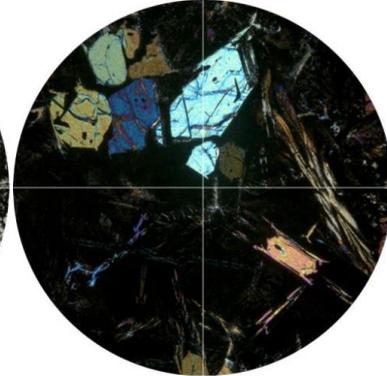
Echantillon 12009



Photographie de l'échantillon



*Microphotographie
(Lumière Naturelle)*

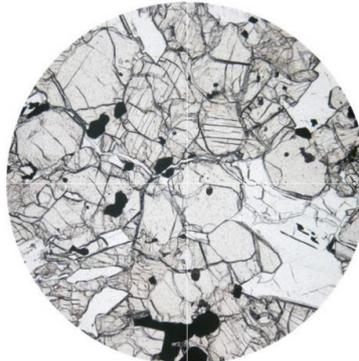


*Microphotographie
(Lumière Polarisée Analyisée)*

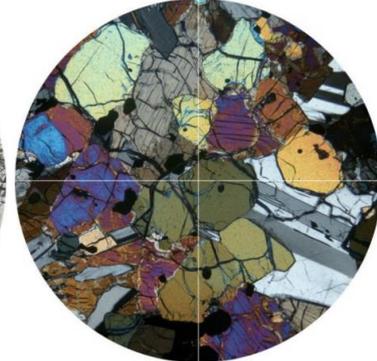
Echantillon 12040



Photographie de l'échantillon



*Microphotographie
(Lumière Naturelle)*



*Microphotographie
(Lumière Polarisée Analyisée)*

Echantillon 14073



Photographie de l'échantillon



*Microphotographie
(Lumière Naturelle)*



*Microphotographie
(Lumière Polarisée Analyisée)*

2.1.4. Formule structurale d'une olivine

Soit une olivine de composition donnée dans le tableau ci-dessous :

Oxydes	SiO ₂	FeO	MgO	MnO
% Massique	34,96	36,77	27,04	0,52
Masses Molaires	60,09	71,85	40,3	70,94

2.1.4.1. Convertissez les pourcentages massiques des oxydes de l'olivine étudiée en millimoles d'oxydes et en millimoles d'oxygène.

2.1.4.2. Sachant que la formule structurale des olivines s'exprime sur une base de 4 atomes d'oxygène, déterminez la formule structurale de cette olivine.

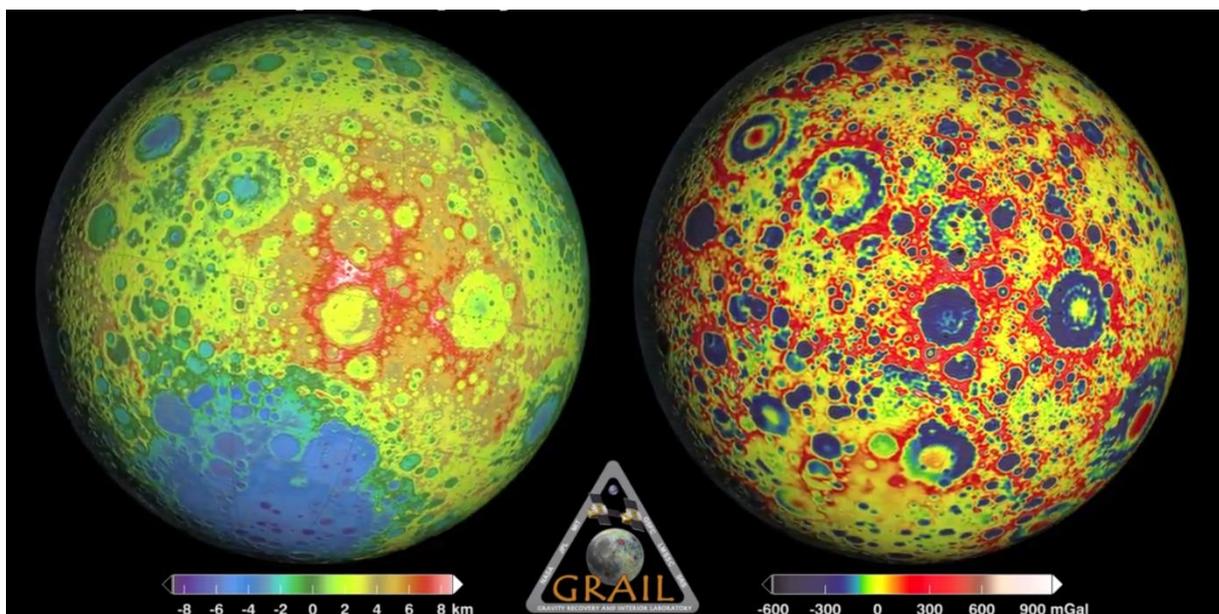
2.1.4.3. Les olivines sont des solutions solides entre deux pôles purs : la fayalite (le pôle pur ferreux) et la forsterite (le pôle pur magnésien). Exprimez la formule structurale de cette olivine en pourcentages de pôles purs.

2.1.4.4. Où trouve-t-on des olivines sur Terre ? Discutez l'origine des olivines lunaires.

2.2. Structure interne de la Lune

2.2.1. Gravimétrie

La figure ci-dessous montre la topographie et l'anomalie à l'air libre de la face cachée de la Lune. Expliquez comment ont été obtenues ces images et ce qu'elles indiquent sur la structure superficielle de la Lune. N'hésitez pas à illustrer votre réponse à l'aide de schémas.



*Topographie et anomalie à l'air libre de la face cachée de la Lune
Source: Mission GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory).*

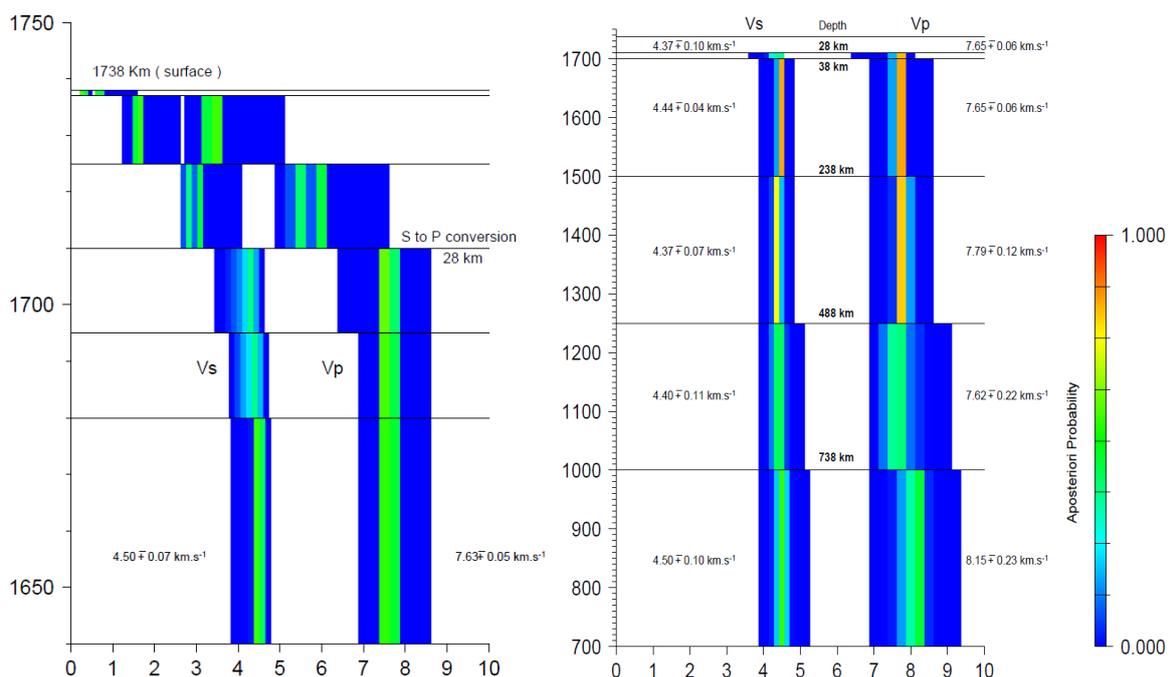
2.2.2. Sismologie

Les missions Apollo ont installé des sismomètres à la surface de la Lune. Sur la Lune, 20% des séismes sont d'origine externe et sont la conséquence d'impacts de météorites. La profondeur des foyers sismiques pour les séismes d'origine interne est située pour 0,4% aux alentours de 100 km de profondeur et pour 99,6% entre 800 et 1000 km de profondeur.

2.2.2.1. Quelles ont les types d'ondes de volume pouvant se propager dans un corps rocheux? Illustrez le mouvement des particules associé à ces deux types d'ondes à l'aide d'un schéma. Quelle est l'expression de la vitesse de ces ondes en fonction des propriétés du milieu ?

2.2.2.2. La figure ci-dessous montre les profils de vitesses obtenus à partir des données des sismomètres Apollo. Commentez et proposez un modèle de structure interne pour la Lune. Ces données permettent-elles de discuter de l'existence d'un noyau ?

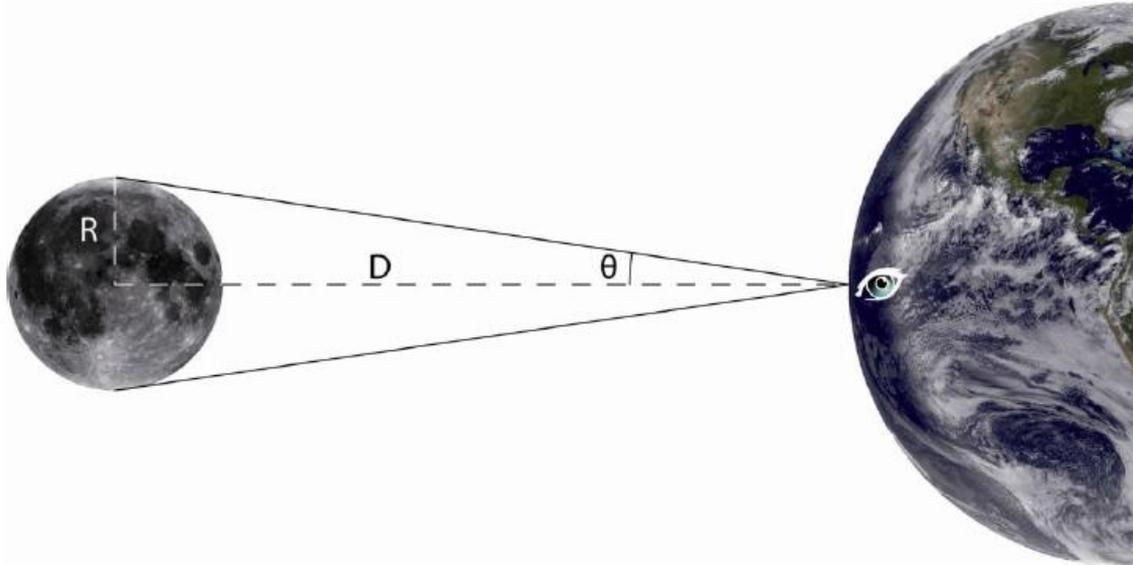
2.2.2.3. Certaines roches lunaires ont enregistré un champ magnétique (magnétisme rémanent), ce qui suggère l'existence d'un noyau au cœur de la Lune. Ce noyau pourrait être composé de fer pur ou de sulfures de fer. Calculez le rayon du noyau de la Lune en considérant chacune de ces chimies. (On utilisera $\rho_L = 3340 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{manteau}} = 3300 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{Fer_pur}} = 8100 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{FeS}} = 4700 \text{ kg/m}^3$, $R_L = 1730 \text{ km}$ et $M_L = 7,34 \cdot 10^{22} \text{ kg}$).



*Vitesses des ondes P et S exprimées sous la forme de probabilités (entre 0 et 1) pour les 100 premiers (gauche) et les 1000 premiers (droite) kilomètres sous la surface de la Lune. L'axe des abscisses correspond aux vitesses en km.s⁻¹. L'axe des ordonnées correspond à la distance au centre de la Lune en km.
Source : Manuscrit de thèse de Hugues Chenet, 2003.*

Partie 3 : Distance, Période, Marées, Frottements

3.1. Distance Terre-Lune



L'objectif ici est de calculer la distance Terre – Lune selon une méthode inspirée de celle proposée par l'astronome grec Aristarque de Samos (310–230 av. J.-C.), en faisant l'hypothèse que l'ombre de la Terre est cylindrique dans la direction opposée au Soleil. N'hésitez pas à vous aider de schémas.

3.1.1. La Lune se déplace d'une distance égale à son diamètre en une heure. Les éclipses totales de Lune les plus longues durent près de 2 heures. On considère qu'une éclipse totale de Lune débute lorsque la Lune se trouve entièrement dans l'ombre de la Terre. Déduisez la valeur du rapport entre le rayon lunaire R_L et le rayon terrestre R_T ?

3.1.2. Définissons D la distance entre la surface de la Terre et la Lune et l'angle θ sous lequel on voit la Lune depuis la surface de la Terre. Exprimez θ en fonction de D et R_L .

3.1.3. Depuis la surface de la Terre, le diamètre de la Lune est de 31,5 minutes d'arc. Quelle est donc la distance Terre-Lune ? On considérera que θ est petit.

3.1.4. Commentez le résultat obtenu sachant que la distance moyenne réelle Terre-Lune est proche de 60 fois le rayon de la Terre. Quelles approximations peuvent être précisées ?

3.2. Période synodique

L'objectif de cet exercice est de déterminer la période synodique de la Lune T_s , c'est-à-dire le temps nécessaire à la Lune pour effectuer un cycle complet de phases (aussi appelé une lunaison). La Terre tourne autour du Soleil en un an environ ($T_T = 365,256363004$ jours). La Lune tourne autour de la Terre en une période sidérale $T_L = 27 \text{ j } 7 \text{ h } 43 \text{ min } 12 \text{ s}$. On approximera les trajectoires de la Terre autour du Soleil et de la Lune autour de la Terre à des trajectoires circulaires.

3.2.1. A quelle vitesse angulaire ω_T en degrés par jour se déplace la Terre autour du Soleil ?

3.2.2. A quelle vitesse angulaire ω_L en degrés par jour se déplace la Lune autour de la Terre ?

3.2.3. Considérons que la Lune est pleine à $t = 0$. Une période sidérale T_L plus tard, la Lune a fait un tour complet autour de la Terre. La Lune est-elle de nouveau pleine à $t = T_L$?

3.2.4. Pendant le temps T_L , la Terre a avancé d'un certain angle Ω_1 sur son orbite. Établissez l'expression littérale puis calculez numériquement cet angle Ω_1 .

3.2.5. Exprimez et calculez le temps T_1 qu'il faut à la Lune pour parcourir cet angle Ω_1 .

3.2.6. La Lune est-elle enfin pleine à $t = T_L + T_1$?

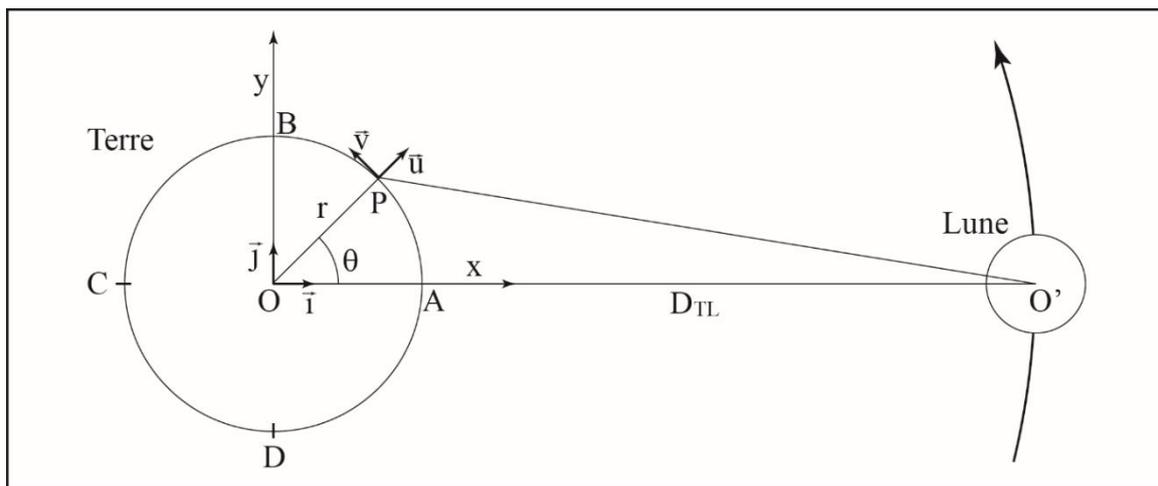
3.2.7. Pendant le temps T_1 , la Terre a avancé d'un certain angle Ω_2 sur son orbite. Établissez l'expression littérale puis calculez numériquement cet angle Ω_2 .

3.2.8. Exprimez et calculez le temps T_2 qu'il faut à la Lune pour parcourir cet angle Ω_2 .

3.2.9. La Lune est-elle enfin pleine à $t = T_L + T_1 + T_2$?

3.2.10. A l'aide des réponses aux questions précédentes, exprimez et calculez T_s .

3.3. Le phénomène des Marées



Pour simplifier l'étude, on considère que la Lune orbite autour de la Terre dans le plan équatorial de celle-ci (le plan Oxy de la figure), que la Terre et la Lune sont parfaitement sphériques et que la Lune est animée d'un mouvement de translation circulaire uniforme de vitesse angulaire ω_L . On définit D_{TL} comme la distance entre le centre de la Terre et le centre de la Lune.

Un point quelconque P de l'équateur terrestre est repéré par l'angle $\theta = (\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OP})$, A étant le point le plus rapproché de la Lune (celle-ci est au méridien de A). $\vec{i}, \vec{j}, \vec{u}$ et \vec{v} sont des vecteurs unitaires, $r = OP$. On néglige les phénomènes dynamiques dus à la rotation propre de la Terre.

On rappelle ici que la force F entre deux corps ponctuels de masses m_1 et m_2 séparés par une distance d est $F = \frac{Gm_1m_2}{d^2}$, avec G la constante gravitationnelle ($G=6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$).

3.3.1. Calcul du « terme de marée »

3.3.1.1. Exprimez l'accélération de la pesanteur au point P ($\vec{g}_T(P)$) due à la seule gravitation terrestre en fonction de G, M_T , r et \vec{u} .

3.3.1.2. Donnez l'accélération de la pesanteur au point P ($\vec{\gamma}_L(P)$) due à la seule gravitation lunaire en fonction de G, M_L et \vec{PO}' .

On veut faire intervenir l'effet différentiel créé par la Lune en considérant que le référentiel géocentrique Oxyz est soumis à une accélération d'entraînement qu'on supposera identique en tout point et égale à celle au point O ($\vec{\gamma}_L(O)$). L'accélération relative $\vec{g}(P)$ dans le référentiel géocentrique, appelée pesanteur apparente, devient: $\vec{g}(P) = \vec{g}_T(P) + \vec{\gamma}_L(P) - \vec{\gamma}_L(O)$. On appelle $\vec{\gamma}(P) = \vec{g}(P) - \vec{g}_T(P)$ le terme de marée et on admet que ce terme introduit une déformation de l'enveloppe liquide.

3.3.1.3. Décomposez $\vec{g}(P)$ sur \vec{u} et \vec{v} en considérant que $PO'^2 = D_{TL}^2 - 2rD_{TL}\cos\theta + r^2$, et que $(1 - \frac{2r}{D_{TL}}\cos\theta + (\frac{r}{D_{TL}})^2)^{-\frac{3}{2}}$ vaut $1 + \frac{3r}{D_{TL}}\cos\theta$ si $r \ll D_{TL}$. Vous négligerez le terme en r/D_{TL}^4 .

3.3.1.4. Sachant que pour une fonction $V(r, \theta)$, les composantes de $\vec{g} = -\overrightarrow{\text{grad}} V$ sur le système (\vec{u}, \vec{v}) sont $-\frac{\partial V}{\partial r}$ et $-\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial \theta}$, montrez que $\vec{g}(P)$ dérive d'un potentiel $V(P)$ ($\vec{g} = -\overrightarrow{\text{grad}} V$) tel que :

$$V(P) = -\frac{GM_T}{r} + \frac{Gr^2M_L}{2D_{TL}^3}(1 - 3\cos^2\theta)$$

3.3.1.5. La surface libre des océans est donnée par $V = \text{cte}$. Montrez que la déformation est maximale aux points A et C, et minimale aux points B et D. Donnez l'allure de l'enveloppe liquide en supposant que celle-ci recouvre toute la Terre.

3.3.1.6. Sachant que la période de révolution de la Lune autour de la Terre est $T_L = 27,3$ j, déterminez le temps qui sépare en un point de la Terre deux marées successives. Comment peut-on appeler de type de marées ?

3.3.1.7. On constate que la marée haute à un retard de 3 heures environ sur le passage de la Lune au méridien. Proposez une explication à ce retard.

3.3.1.8. Exprimez et calculez la différence de hauteur h (amplitude) entre la marée basse et la marée haute en fonction de R_T , D_{TL} , M_L et M_T . (On utilisera $R_T = 6,4 \cdot 10^3$ km, $D_{TL} = 3,8 \cdot 10^5$ km, $M_L = 7,4 \cdot 10^{22}$ kg et $M_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg).

3.3.2. Influence du Soleil

3.3.2.1. Refaites le traitement précédent sur l'ensemble Terre-Soleil, en négligeant l'influence de la Lune, pour exprimer et calculer l'amplitude h' des marées terrestres dues au Soleil ($M_S = 2 \cdot 10^{30}$ kg et $D_{ST} = 1,5 \cdot 10^8$ km).

3.3.2.2. Sachant que les effets de la Lune et du Soleil se superposent, expliquez l'alternance des marées dites de 'vives eaux' et de 'mortes eaux'. Calculez l'ordre de grandeur de leur période et de leur amplitude.

3.3.2.3. Comparez cette amplitude avec celle de la baie du Mont Saint-Michel (16 m). A quoi l'écart peut-il être dû ?

3.3.2.4. Pouvez-vous expliquer le retard de 36h environ du système vives eaux – mortes eaux sur les phases de la Lune ?

3.3.3. Les frottements de marée

On veut étudier l'effet des frottements de marée sur la vitesse de rotation de la Terre. Contrairement à la distance Terre-Lune (D_{TL}) que l'on considérera variable, on considèrera le rayon de la Terre (R_T) constant, de même que les masses de la Terre et la Lune (M_T et M_L). On définit K comme le centre de gravité du système tel que $M_T.KO = M_L.KO'$. On négligera ici l'influence du Soleil.

En plus des rotations propres de la Terre et la Lune, la Terre et la Lune sont animées chacune d'un mouvement de translation circulaire autour de K telle que $\frac{GM_T M_L}{D_{TL}^2} = M_L(KO')\omega_L^2 = M_T(KO)\omega_L^2$.

On rappelle ici que l'énergie cinétique d'une boule de masse M et de rayon R en rotation à une vitesse angulaire ω vaut $\frac{1}{2}MR^2\omega^2$. On rappelle également que l'énergie cinétique d'une boule de masse M soumise à une translation circulaire uniforme (révolution) autour d'un point K et à une distance d de ce point K vaut $\frac{1}{2}Md^2\omega^2$. L'énergie cinétique d'une boule de masse M soumise à ces deux mouvements est la somme de ces deux énergies cinétiques.

3.3.3.1. Montrez que $\omega_L^2 \cdot D_{TL}^3 = GM_T M_L$

3.3.3.2. Déduisez la relation entre $\frac{d\omega_L}{\omega_L}$ et $\frac{dD_{TL}}{D_{TL}}$

3.3.3.3. Si on néglige l'énergie cinétique de rotation propre de la Lune, on peut montrer que le moment cinétique total en K vaut $\sigma_K = \frac{2}{5}M_T R_T^2 \omega_T + \mu D_{TL}^2 \omega_L$ avec $\mu = \frac{M_T M_L}{M_T + M_L}$

Sachant que le moment cinétique d'un système isolé est constant (sa variation est nulle), déduisez l'expression $\frac{d\omega_T}{d\omega_L}$ en fonction de M_T , M_L , D_{TL} , et R_T .

3.3.3.4. La télémétrie laser met en évidence un éloignement de la Lune d'environ 3,8 cm.an⁻¹. A l'aide des réponses aux questions précédentes, estimez la variation de la période de rotation de la Terre due à la présence de la Lune. (On utilisera $R_T = 6,4 \cdot 10^3$ km, $D_{TL} = 3,8 \cdot 10^5$ km, $M_L = 7,4 \cdot 10^{22}$ kg et $M_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg).

3.3.3.5. Combien d'heures durait chaque jour terrestre il y a 500 millions d'années ? Combien de jours comportait une année terrestre à cette époque ?
