

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

CONCOURS D'ADMISSION SESSION 2018

FILIÈRE BCPST

COMPOSITION DE SCIENCES DE LA TERRE

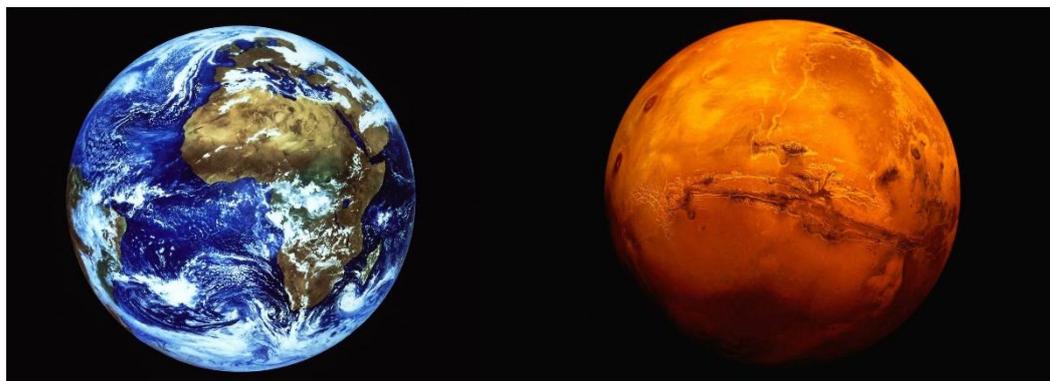
Épreuve commune aux ENS de Lyon, Paris, Paris-Saclay et de l'ENPC

Durée : 4 heures

L'épreuve est composée de 4 parties totalement indépendantes. Dans chaque partie, de nombreuses questions sont indépendantes les unes des autres. La qualité de la rédaction, la concision des réponses, l'utilisation et la précision des schémas seront prises en compte dans l'évaluation. L'usage de la calculatrice est autorisé.

"I'd like to die on Mars, just not on impact!" Elon Musk

La Terre vs Mars



	La Terre	Mars
Distance au Soleil	150.10 ⁶ km	228.10 ⁶ km
Rayon	6371 km	3389,5 km
Période de révolution	365,25 jours	689,96 jours
Vitesse linéaire de rotation (à l'équateur)	1674,4 km.h ⁻¹	868,2 km.h ⁻¹
Densité moyenne	5,51	3,93
Gravité moyenne	9,81 m.s ⁻²	3,71 m.s ⁻²
Albédo	0,35	0,25
Température moyenne	15 °C	- 53 °C
Pression atmosphérique	1013 mbars	6 mbars
Épaisseur de l'atmosphère	500 km	> 100 km

Tableau 1 : Caractéristiques principales des planètes Terre et Mars.

Round 1: Bilan radiatif

Les équations ne sont valables que si les variables sont exprimées dans les unités du système international.

1.1. Constante solaire

Un corps noir est un objet idéal qui, s'il existait, absorberait toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit, sans en réfléchir ou en transmettre. Un corps noir rayonne d'autant plus qu'il est plus chaud (cf. Figure 1.1.). La loi de Planck décrit la distribution de l'énergie rayonnée par un corps noir en fonction de la longueur d'onde, cette loi est fonction de la température T du corps noir (cf. Figure 1.1.).

Le Soleil est une étoile de type naine jaune. Le Soleil, dont le rayon est de 700 000 km, est composé d'hydrogène (75 % de sa masse) et d'hélium (25 % de sa masse). Il émet un rayonnement thermique qui, au premier ordre, est équivalent à celui d'un corps noir à une température T_s (cf. Figure 1.2).

D'après la loi de Stefan-Boltzmann, la densité de flux d'énergie M° émis par un corps noir à sa surface varie en fonction de sa température T selon la formule :

$$M^\circ = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} \cdot T^4 \quad (\text{Équation 1})$$

avec c la vitesse de la lumière ($c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$), h la constante de Planck ($h = 6,626070040 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$), et k la constante de Boltzmann ($k = 1,38064852 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$).

La loi de Wien montre que pour un corps noir, le produit de la température et de la longueur d'onde du pic de la courbe est toujours égal à une constante. Cette loi très simple permet ainsi de connaître la température T d'un corps assimilé à un corps noir par la seule forme de son spectre et de la position λ_{\max} de son maximum :

$$\lambda_{\max} \cdot T = \frac{hc}{4,965 k} \quad (\text{Équation 2})$$

avec c la vitesse de la lumière, h la constante de Planck et k la constante de Boltzmann.

La loi de Wien rend compte du fait que plus la température d'un corps noir sera élevée, plus l'énergie qu'il rayonnera sera élevée, et plus la longueur d'onde de son maximum d'émission λ_{\max} sera petite. En d'autres termes, le maximum d'émission d'une étoile se déplace en fonction de la température : plus une étoile est chaude et plus elle est bleue, plus elle est froide et plus elle apparaît rouge.

- 1.1.1. Quelle est l'origine de l'énergie produite par le Soleil ? Sous quelle forme se propage-t-elle ?
- 1.1.2. D'après la Figure 1.2., dans quelle gamme de longueur d'onde le Soleil émet-il principalement ? Quelle est la longueur d'onde du maximum d'émission du Soleil ?
- 1.1.3. Quelle est donc la température du Soleil (T_s) ?
- 1.1.4. Quelle est la densité de flux d'énergie émis par le Soleil (M°) ? Quelle est l'unité de M° ?

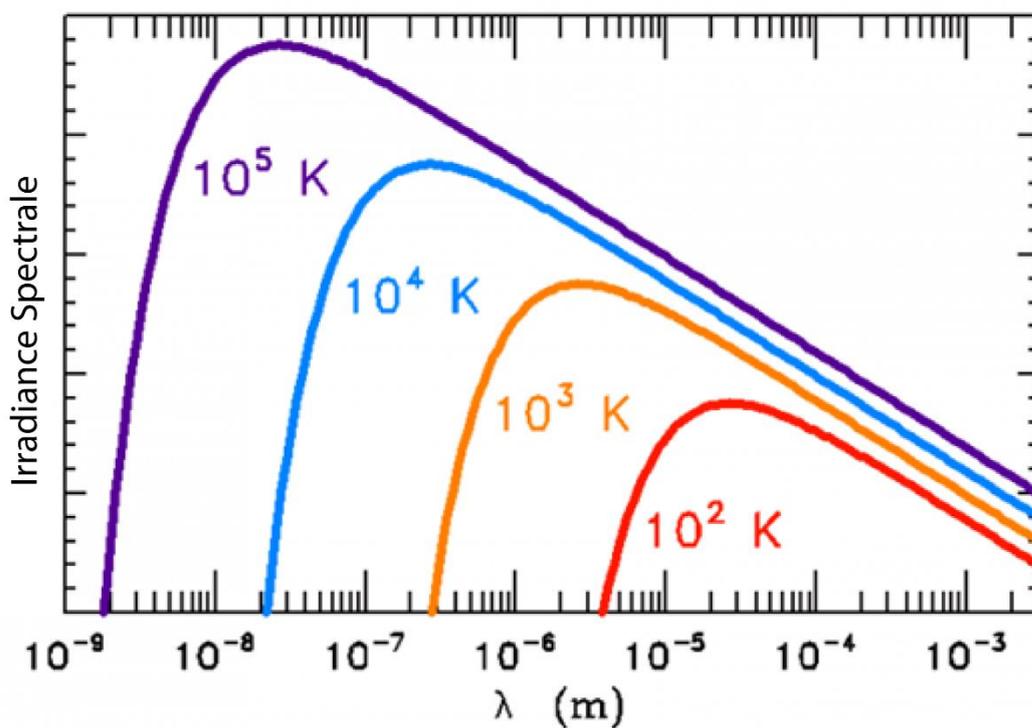


Figure 1.1. : Loi de Planck pour des corps noirs à différentes températures.

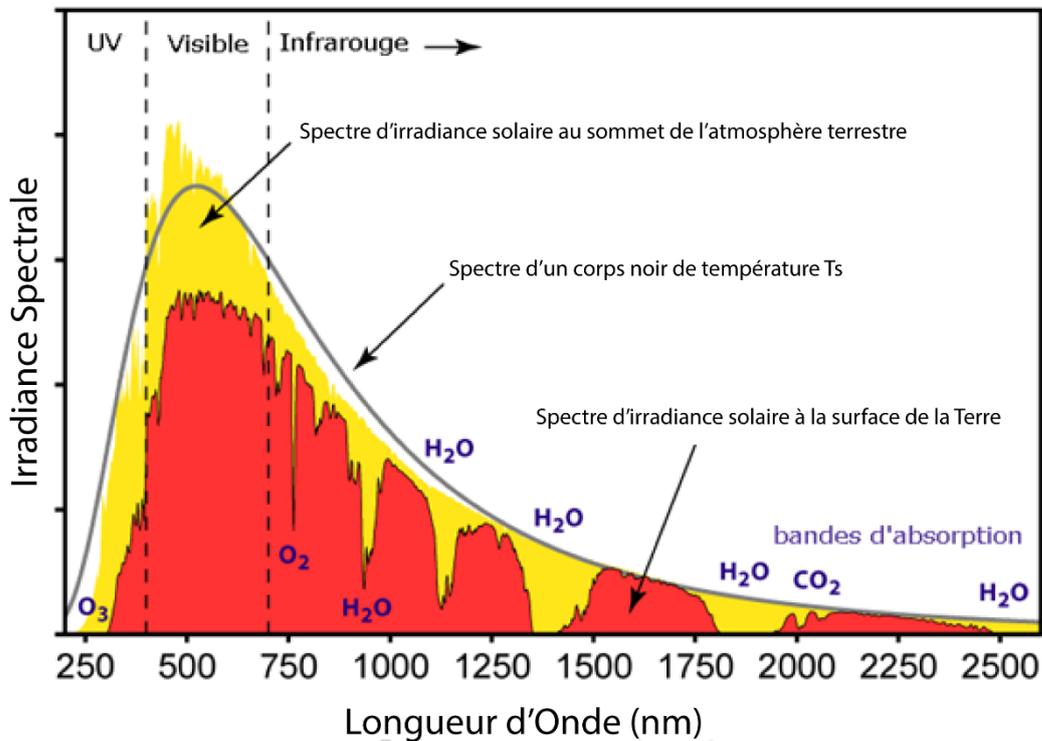


Figure 1.2. : Spectre d'irradiance solaire au sommet de l'atmosphère terrestre, à la surface de la Terre et loi de Planck d'un corps noir de température T_s .

1.2. Températures moyennes

Comme tout corps de température non nulle, la Terre et Mars perdent de l'énergie par rayonnement. On suppose ici que la Terre et Mars se comportent comme des corps noirs en équilibre radiatif.

- 1.2.1. Illustrez à l'aide d'un schéma simple le bilan énergétique d'une planète sans atmosphère en considérant que l'équilibre radiatif est atteint (i.e. l'énergie rayonnée est égale celle reçue).
- 1.2.2. Que devient la valeur de la densité de flux d'énergie émis par le Soleil (M°) à une distance égale à la distance Terre-Soleil ? Et à une distance égale à la distance Mars-Soleil ?
- 1.2.3. Que devient la valeur de la densité de flux d'énergie émis par le Soleil par unité de surface terrestre ? Et par unité de surface martienne ? Rappel : La Terre et Mars sont des planètes sphériques. Illustrez votre réponse à l'aide d'un schéma.
- 1.2.4. La Terre et Mars n'ont pas le même albédo (Tableau 1). Qu'est-ce que l'albédo ? Quel est le flux moyen réellement absorbé par la surface de la Terre ? Et par la surface de Mars ?
- 1.2.5. Quelle serait la température moyenne à la surface de la Terre et de Mars d'après les résultats des questions précédentes ?
- 1.2.6. Comparez les températures calculées à la question précédente aux températures données dans le Tableau 1. Proposez une explication pour les éventuelles différences observées. Illustrez votre réponse par un schéma.

1.3. Transferts énergétiques et atmosphères planétaires

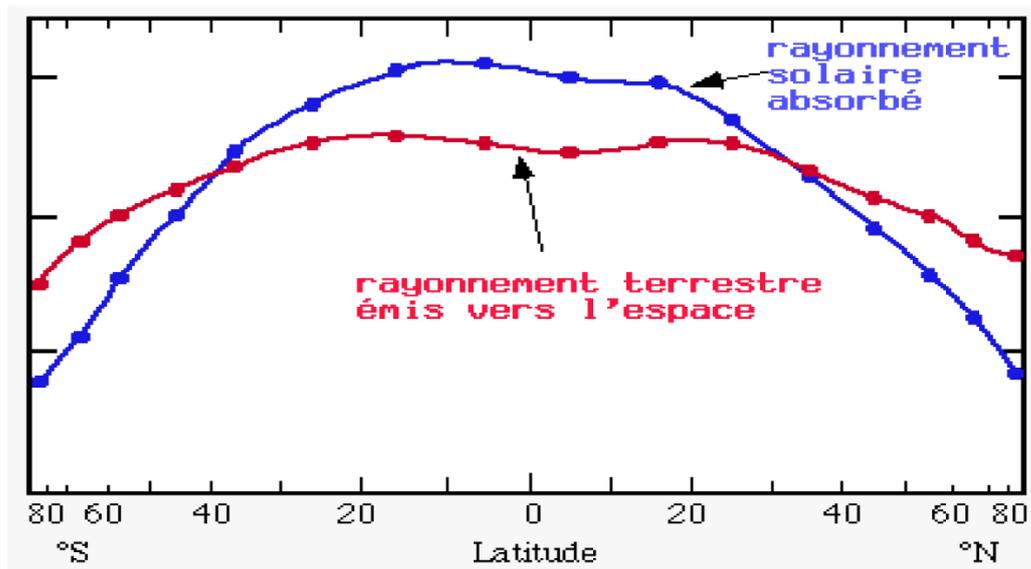


Figure 1.3. : Distribution latitudinale moyenne des flux radiatifs émis et reçus à la surface de la Terre

- 1.3.1. Décrivez la distribution latitudinale du flux radiatif reçu à la surface de la Terre (rayonnement solaire absorbé - cf. Figure 1.3). Quelles peuvent être les causes d'une telle distribution ? Illustrez votre réponse à l'aide de schémas.
- 1.3.2. Comparez les distributions latitudinales des flux radiatifs reçus à la surface de la Terre et émis vers l'espace par la Terre (cf. Figure 1.3). Comment expliquez-vous les différences observées ? Illustrez votre réponse à l'aide de schémas.
- 1.3.3. Les distributions latitudinales des flux radiatifs reçus et émis par Mars sont très semblables à celles des flux reçus et émis par la Terre. Quelles conclusions pouvez-vous en tirer ?
- 1.3.4. Évaluez la masse des atmosphères terrestres et martiennes, sachant que la pression atmosphérique à la surface d'une planète est égale à la force exercée par unité de surface par l'atmosphère sous l'effet de la pesanteur. Discutez les résultats obtenus.
- 1.3.5. Estimez les épaisseurs qu'auraient les atmosphères de la Terre et de Mars en considérant une masse volumique constante de $1,225 \text{ kg.m}^{-3}$ (c'est la masse volumique de l'air à 15°C). Rappel : la différence de pression dans un fluide statique entre deux points 1 et 2, situés respectivement à une hauteur h_1 et h_2 , est donnée par :

$$P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \quad (\text{Équation 3})$$

- 1.3.6. La densité d'une atmosphère décroît avec l'altitude. Un modèle plus réaliste (bien qu'encore loin de la réalité) considère qu'en l'absence de variations thermiques, la pression diminuerait progressivement selon une relation exponentielle :

$$\frac{P(z)}{P_0} = e^{\frac{-Mgz}{RT}} \quad (\text{Équation 4})$$

avec M la masse molaire moyenne de l'atmosphère, z l'altitude, T la température de surface et R la constante des gaz parfaits ($R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$). Pour simplifier les calculs, vous considérerez ici que l'atmosphère terrestre est constituée de 79 % de N_2 et de 21 % d' O_2 et que l'atmosphère martienne est constituée de 97 % de CO_2 et de 3% de N_2 (ces pourcentages sont des pourcentages volumétriques).

D'après ce modèle, à quelle épaisseur la pression atmosphérique diminue-t-elle d'un facteur 2 sur Terre et sur Mars ? Quelle est la hauteur d'échelle des atmosphères de Mars et de la Terre (altitude à laquelle la pression est réduite d'un facteur e) ? Discutez les résultats obtenus.

Round 2 : Âge et chronologie

2.1. Généralité : Expliquez en quelques mots la différence entre datations absolues et relatives.

2.2. Radiochronologie : Les isotopes du plomb

L'uranium possède deux isotopes radioactifs à vie longue, l' ^{235}U et l' ^{238}U . Par des suites complexes de désintégration α et β -, l' ^{235}U se transforme en ^{207}Pb , l' ^{238}U en ^{206}Pb . À un instant t , on peut écrire :

$$^{235}\text{U}_t = ^{235}\text{U}_0 e^{-\lambda_{235}t} \quad \text{et} \quad ^{238}\text{U}_t = ^{238}\text{U}_0 e^{-\lambda_{238}t} \quad (\text{Équation 5 et 6})$$

Avec $^{235}\text{U}_t$ et $^{238}\text{U}_t$ les quantités d' ^{235}U et d' ^{238}U à l'instant t , $^{235}\text{U}_0$ et $^{238}\text{U}_0$ leurs quantités initiales, et λ_{235} et λ_{238} leurs constantes de désintégration ($\lambda_{235} = 3,12 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}$ et $\lambda_{238} = 4,92 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$).

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

2.2.2. Montrez, en utilisant les équations 5 et 6, que $^{206}\text{Pb}_t = ^{206}\text{Pb}_0 + ^{238}\text{U}_t(e^{\lambda_{238}t} - 1)$ et que $^{207}\text{Pb}_t = ^{207}\text{Pb}_0 + ^{235}\text{U}_t(e^{\lambda_{235}t} - 1)$, avec $^{206}\text{Pb}_t$ 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.

2.2.3. La méthode U-Pb est souvent utilisée sur des zircons. Ces minéraux accessoires sont des systèmes dits enrichis : au-dessus de la température de fermeture du système (900 °C), le plomb s'échappe du réseau cristallin. Quel âge est obtenu par la méthode U-Pb appliquée aux zircons ? Que deviennent les équations de la question 2.2.1 si celles-ci sont appliquées aux zircons ?

2.2.4. Dans un diagramme $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}_t$ vs $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}_t$, reportez les points correspondant aux âges 0, 1, 2, 3, 4 et 4.5 Ga. Quel nom donne-t-on à la courbe passant par ces points ? Que représente-t-elle ? Quelle est l'équation de cette courbe ?

2.2.5. Les plus vieux zircons martiens connus sont ceux de la météorite martienne Black Beauty. Estimez l'âge de ces zircons à partir de leurs rapports $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ et $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (cf. Tableau 2.1.).

Black Beauty	Zircon 1	Zircon 2	Zircon 3	Zircon 4	Zircon 5	Zircon 6
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1,02	1,070	1,030	0,99	1	0,97
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	80	85	83	79	80	77

Tableau 2.1. : Rapports $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ de zircons de la météorite martienne Black Beauty (Humayun et al., Nature, 2015). L'erreur sur ces mesures est d'environ 3 %.

2.2.6. Les plus vieux zircons terrestres connus sont ceux des gneiss de Jack Hills (Australie). Estimez l'âge de ces zircons à partir de leurs rapports $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ et $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (cf. Tableau 2.2.).

Jack Hills	Zircon 1	Zircon 2	Zircon 3	Zircon 4	Zircon 5	Zircon 6
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	0,965	0,929	0,968	0,797	0,928	0,897
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	71.9	68.6	74.6	58.8	69.5	67.2

Tableau 2.2. : Rapports $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ de zircons de Jack Hills (Wilde et al., Nature, 2001). L'erreur sur ces mesures est d'environ 2 %.

2.2.7. Comparez les résultats obtenus aux questions précédentes 2.2.5. et 2.2.6. Qu'en déduisez-vous sur les âges de Mars et de la Terre ?

2.2.8. Les roches les plus anciennes d'Europe de l'Ouest sont des orthogneiss icartiens qui affleurent à Trébeurden (Bretagne, France). Les rapports $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ et $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ des zircons de ces roches sont reportés sur la Figure 2.1. Commentez cette figure. Quel âge ont ces gneiss ?

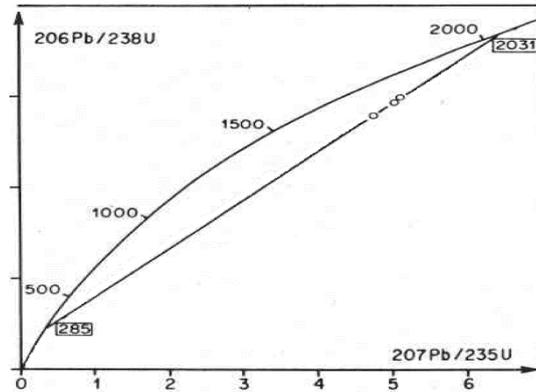


Figure 2.1. : Rapports $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ et $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ des zircons de Trébeurden (Auvray et al., 1980)

2.2.9. Le rapport terrestre actuel $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ vaut 137,88. L'uranium est produit lors de nucléosynthèses explosives par des supernovae, dans des proportions telles que $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ vaut 1,505. Estimez l'âge de la supernova à l'origine de l'uranium du système solaire.

2.3. Datation relative

2.3.1. Outre le principe d'identité paléontologique, quels sont les quatre principes de la chronologie relative en stratigraphie ? Illustrez votre réponse à l'aide de schémas.

2.3.2. Reconstituez la chronologie des événements ayant abouti à la coupe visible sur la Figure 2.2 en précisant la nature des contacts e, f et h. Illustrez votre réponse à l'aide de schémas.

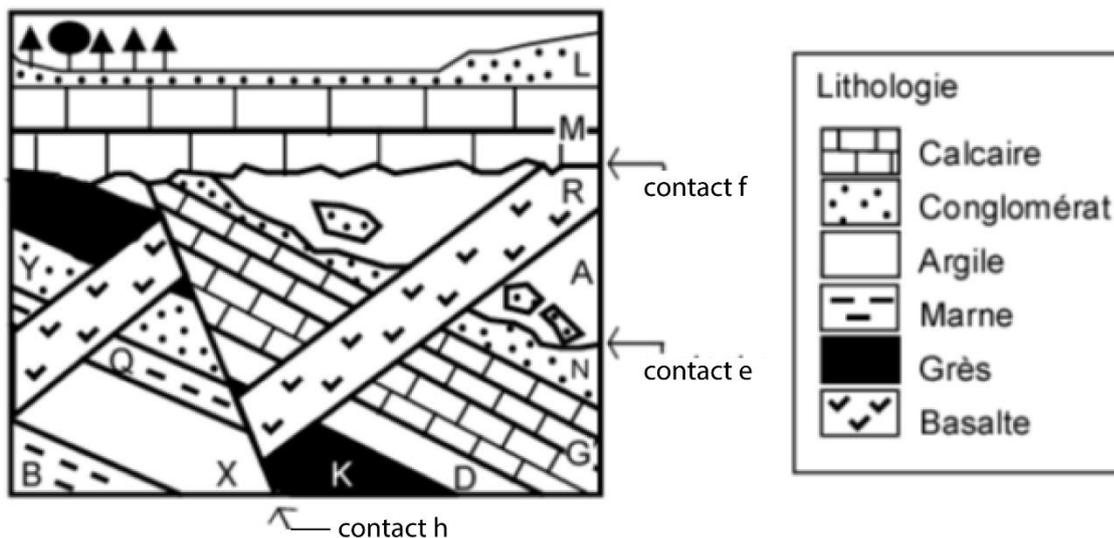


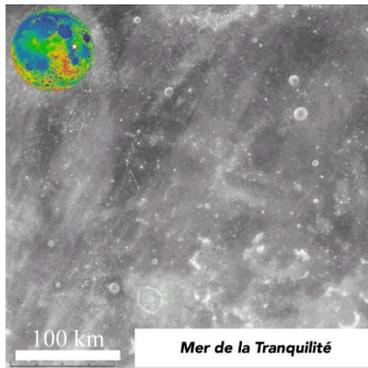
Figure 2.2. : Coupe schématique d'une région ayant subi une histoire polyphasée

2.3.3. Comptage de cratères. Faute d'échantillons disponibles pour la radiochronologie, la datation par comptage de cratères est la seule méthode pour estimer l'âge relatif des

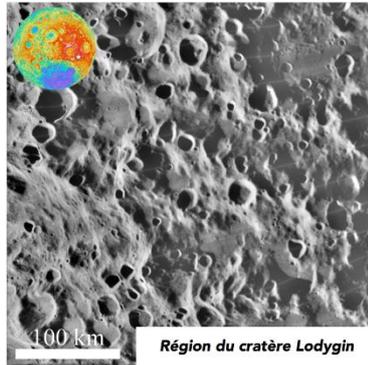
surfaces planétaires. Celle-ci s'appuie sur deux règles simples : plus une surface est cratérisée, plus elle est ancienne, et plus les cratères sont grands, plus ils sont vieux. Sur quelles idées ces règles reposent-elles ?

2.3.4. Les mesures réalisées sur les échantillons lunaires collectés lors des missions Apollo a permis de 'calibrer' la datation par comptage de cratères. Discutez des limites d'une telle calibration.

2.3.5. Des images de différentes régions de Mars sont visibles sur la Figure 2.3. Toutes sont à la même échelle. Ces régions peuvent être datées relativement les unes par rapport aux autres par comptage des cratères. Deux régions lunaires sont également montrées, la Mer de la Tranquillité (datée à 3 Ga) et la région du cratère Lodygin (datée à 4 Ga). En suivant l'exemple des régions lunaires (Tableau Figure 2.3), déterminez le nombre de cratères visibles de petite taille (~1km), de moyenne taille (~5km) et de grande taille (~20km) pour chacune de ces régions martiennes. Identifiez les processus géologiques responsables des géomorphologies observées. Classez ces régions de la plus ancienne à la plus récente et discutez leurs âges.



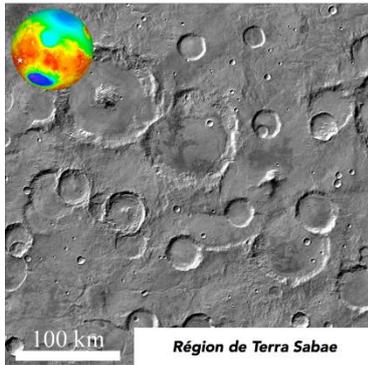
Mer de la Tranquillité



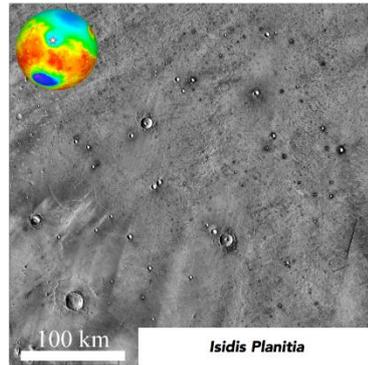
Région du cratère Lodygin

Région	Nombre de Cratères de Grande Taille (≈ 20 km)	Nombre de Cratères de Moyenne Taille (≈ 5 km)	Nombre de Cratères de Petite Taille (≈ 1 km)	Processus Géologique
Mer de la Tranquillité	0	X	XX	Volcanisme
Cratère Lodygin	XX	XXX	XXX	Cratérisation en l'absence d'érosion
Terra Sabrae				
Isidis Planitia				
Naktong				
Olympus Mons				
Valles Marineris				
Pole Nord				

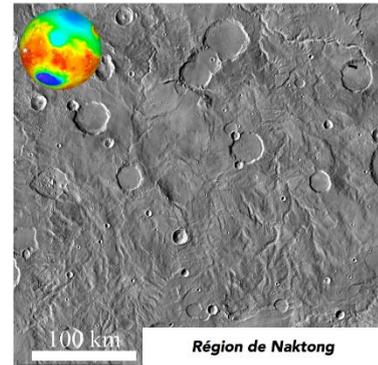
0 - Pas de cratère / X - Quelques cratères
XX - Plus de 10 cratères / XXX - Plus de 50 cratères



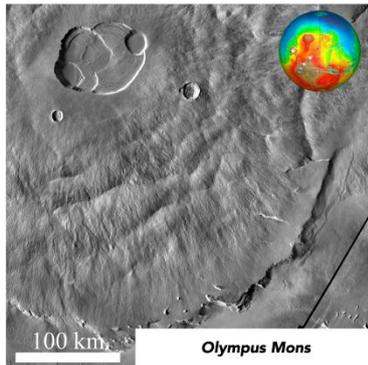
Région de Terra Sabae



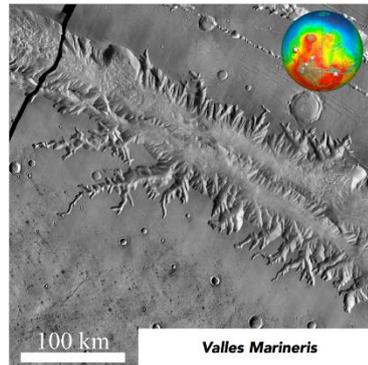
Isidis Planitia



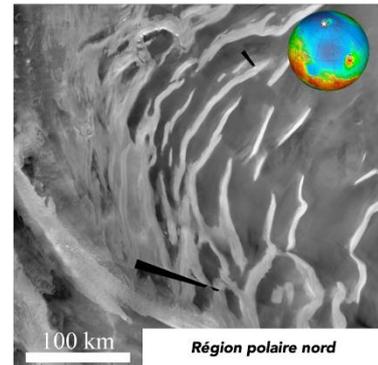
Région de Naktong



Olympus Mons



Valles Marineris



Région polaire nord

Figure 2.3. : Images de différentes régions de la Lune et de Mars à la même échelle

Round 3 : Topographie

Sur Mars comme sur Terre, les volcans mis à part, les terrains les moins élevés sont aussi les plus récents. Ces deux planètes présentent cependant des topographies très différentes.

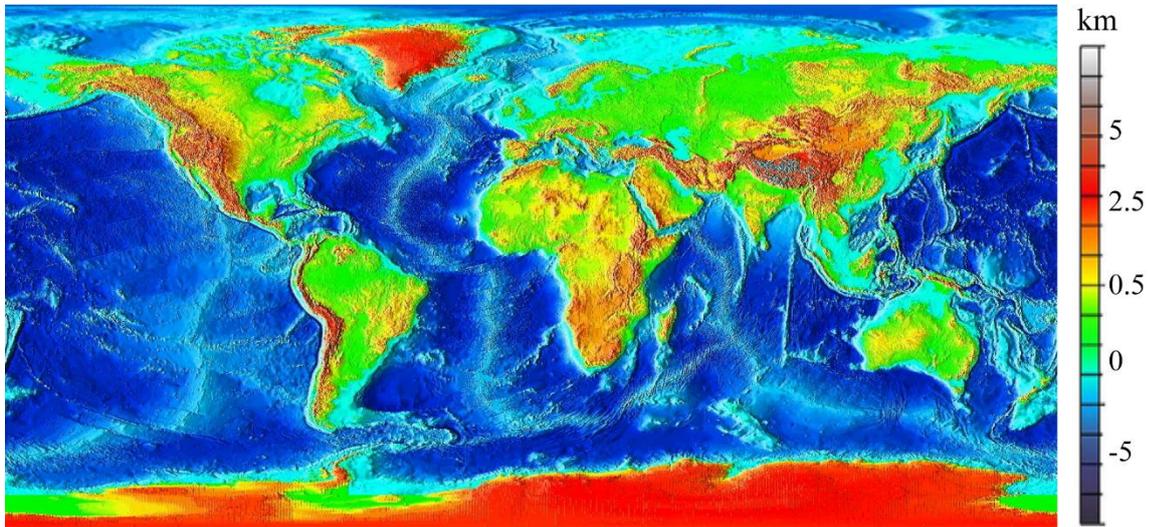


Figure 3.1. : Carte topographique de la Terre.

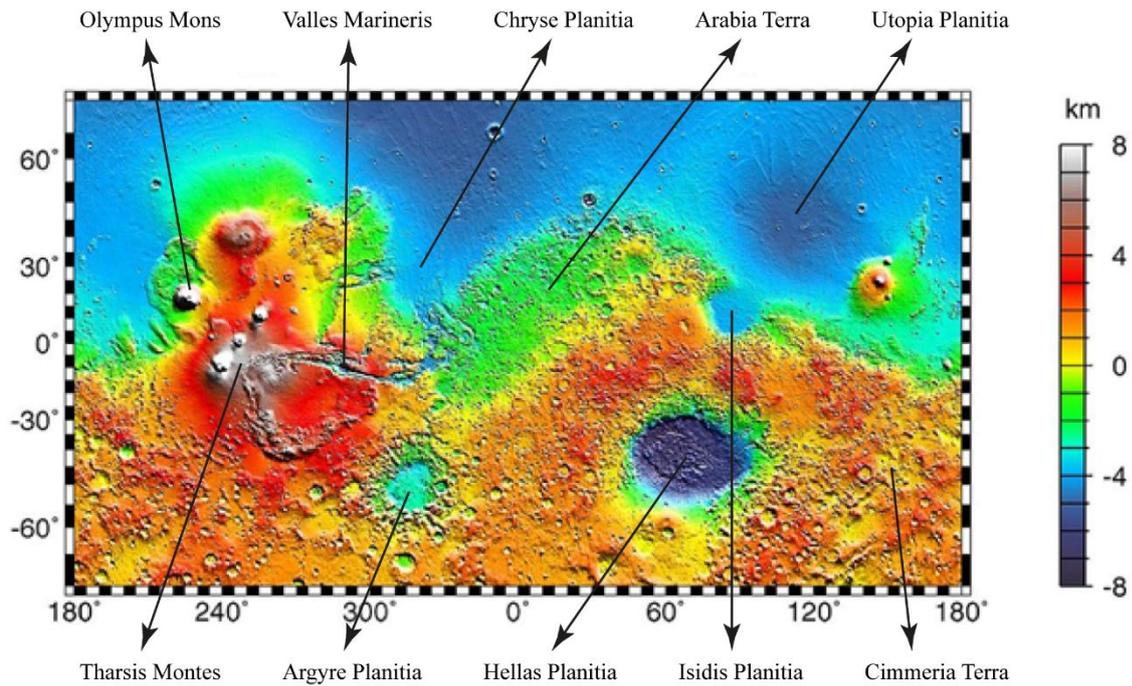


Figure 3.2. : Carte Topographique de Mars.

Décrivez la topographie à grande échelle de la Terre et de Mars à l'aide des Figures 3.1. et 3.2. Proposez des hypothèses pour expliquer les différences observées. Illustrez votre réponse à l'aide de schémas. Il sera utile de rappeler la définition de plaque lithosphérique.

Round 4 : Composition et structure

4.1. Pétrologie.

4.1.1. Identifiez les échantillons dont les photographies sont visibles sur la Figure 4.1. L'observation de n'importe quelle face de l'échantillon A aurait donné un cliché semblable. Ce n'est pas le cas pour les échantillons B et C. Quels sont les possibles liens génétiques entre ces roches ?

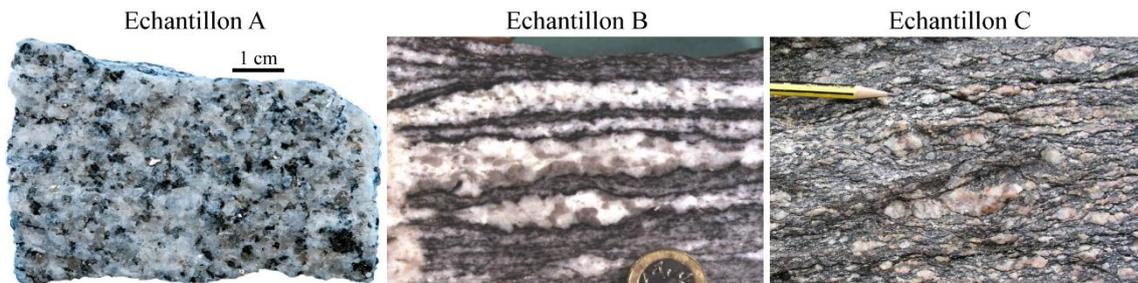


Figure 4.1. : Echantillons de roches terrestres de composition chimique quasi identique

4.1.2. L'instrument ChemCam dont est équipé le rover Curiosity a permis de mettre en évidence la présence de roches inattendues à la surface de Mars (Figure 4.2.). Où trouve-t-on ces roches sur Terre ? Comment se forment-elles ? Discutez de ce qu'implique leur découverte pour la géologie de Mars.

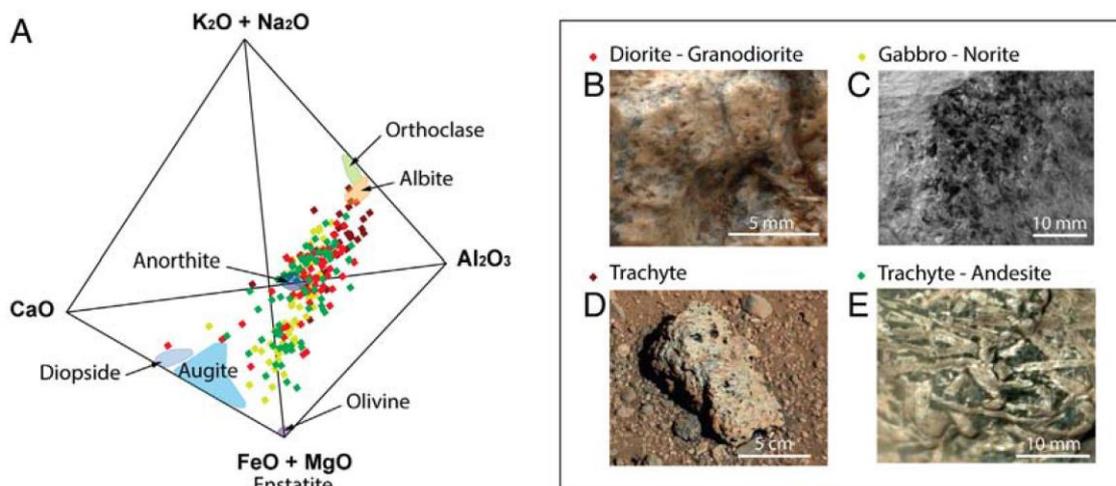


Figure 4.2. : Pétrologie des roches ignées martiennes analysées sur Mars par Curiosity. A. Tetraplot montrant la composition en poids d'oxydes des roches martiennes visibles sur les images B, C, D et E. (Sautter et al., Nature Geoscience, 2015 – Sautter et al., Lithos, 2016).

4.2. Altération.

On considère ici une roche ignée terrestre et 5 roches issues de son altération. Les tableaux 4.1 et 4.2 donnent les résultats des analyses chimiques et minéralogiques.

	Roche initiale	Roche Zone 1	Roche Zone 2	Roche Zone 3	Roche Zone 4	Roche Zone 5
Al ₂ O ₃	14,5	15,5	16,5	18	22	26

Tableau 4.1. : Pourcentages massiques d'Al₂O₃ dans les échantillons étudiés.

Minéraux	Roche initiale	Roche Zone 1	Roche Zone 2	Roche Zone 3	Roche Zone 4	Roche Zone 5
Quartz	30	33	38	38	32	25
Feldspath K	20	26	30	19	5	0
Plagioclase	42	15	5	3	2	0
Biotite	8	5	2	1	0	0
Kaolinite	0	18	23	33	54	66
Total	100	97	98	94	93	91

Tableau 4.2. : Pourcentages volumiques des phases minérales constitutives des échantillons étudiés.

4.2.1. Quelle est la nature de la roche initiale ?

4.2.2. Discutez du degré d'altération des échantillons étudiés. Pourquoi les zones altérées ne bouclent-elles pas à 100 % ?

4.2.3. Discutez de l'évolution chimique de cette roche (Figure 4.3.). Cette évolution est-elle cohérente avec l'évolution minéralogique ?

4.2.4. Les formules chimiques du quartz, des feldspaths potassiques, des plagioclases, de la biotite et de la kaolinite sont : SiO_2 , KAlSi_3O_8 , $\text{Na}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Al}_{1+x}\text{Si}_{3-x}\text{O}_8$, $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Écrivez les équations des réactions d'altération des feldspaths potassiques et des plagioclases sodiques qui aboutissent à la formation de la kaolinite, de silice et d'ions en solutions.

4.2.5. : En vous aidant de la Figure 4.3., qui donne les concentrations en oxydes en fonction du pourcentage d' Al_2O_3 pour les roches de la série étudiée dans cet exercice, expliquez ce qu'est devenue la biotite.

4.2.6. : Ce type d'altération pourrait-elle se produire sur Mars ?

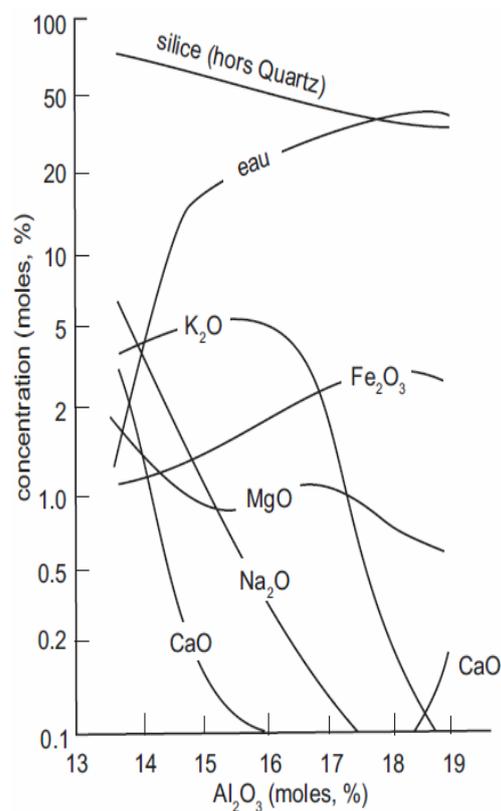


Figure 4.3. : Évolution des concentrations en oxydes en fonction du pourcentage d' Al_2O_3

4.3. Minéralogie : formule structurale d'un grenat.

Oxydes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	TiO ₂	MnO
Masses Molaires	60,09	101,96	71,85	40,30	56,07	79,87	70,94
% Massique	38,30	21,45	34,60	3,53	0,91	0,12	3,75

Tableau 4.3. Pourcentages en poids d'oxydes d'un grenat.

- 4.3.1. Convertissez les pourcentages massiques des oxydes du grenat étudié (Tableau 4.3.) en millimoles d'oxydes et en millimoles d'oxygène.
- 4.3.2. Sachant que la formule structurale des grenats s'exprime sur une base de 12 atomes d'oxygène, déterminez la formule structurale de ce grenat.
- 4.3.3. Les grenats sont des solutions solides entre quatre pôles purs : l'almandin (Fe₃Al₂Si₃O₁₂), le pyrope (Mg₃Al₂Si₃O₁₂), le grossulaire (Ca₃Al₂Si₃O₁₂), la spessartine (Mn₃Al₂Si₃O₁₂). Exprimez la formule structurale de ce grenat en pourcentages de pôles purs.
- 4.3.4. Dans quel contexte les grenats se forment-ils dans les roches terrestres ? Pensez-vous qu'il est possible de trouver des grenats sur Mars ?

4.4. Série réactionnelle

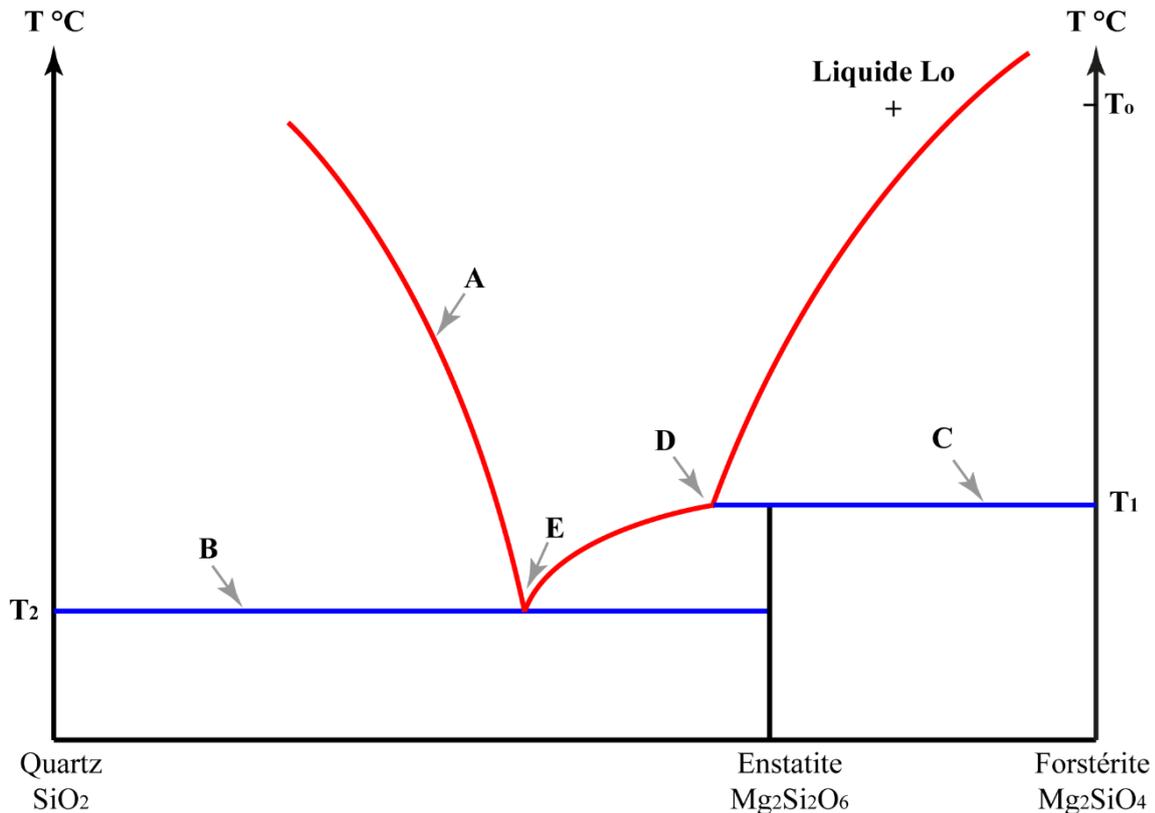


Figure 4.4. : Diagramme de phase du système binaire Quartz-Forstérite à pression atmosphérique

- 4.4.1. À quelles familles de minéraux appartiennent la forstérite et l'enstatite ?

- 4.4.2. Identifiez ce que sont A, B, C, D et E, sachant qu'aucun liquide n'existe à des températures inférieures à T_2 .
- 4.4.3. Soit un liquide L_0 à la température T_0 (cf. Figure 4.4.). Au cours du refroidissement à l'équilibre de ce liquide, quelle sera la composition des premiers cristaux formés ?
- 4.4.4. A la température T_1 , les premiers minéraux formés peuvent réagir avec le liquide résiduel enrichi en silice pour former de l'enstatite. Écrivez la réaction.
- 4.4.5. La réaction que vous venez d'écrire peut ne pas se produire si les premiers minéraux formés ne sont pas en mesure de réagir avec le liquide résiduel. Dans ce cas, quel minéral se formera au cours du refroidissement du liquide entre les températures T_1 et T_2 ?
- 4.4.6. Que se passera-t-il lorsque le liquide résiduel refroidira à la température T_2 ?
- 4.4.7. Quels seront les minéraux en présence lorsque le liquide aura totalement cristallisé ? Quelle sera la composition moyenne de cet assemblage ?

4.5. Profils rhéologiques

- 4.5.1. Expliquez comment sont construits les profils rhéologiques des lithosphères océanique et continentale terrestres visibles sur la Figure 4.5.
- 4.5.2. A quoi correspondent les segments droits et les parties incurvées ? Pourquoi les roches se comportent-elles de cette façon à ces profondeurs ?
- 4.5.3. Expliquez les différences observées entre la lithosphère océanique et la lithosphère continentale. Il sera utile de placer le Moho sur ces profils.

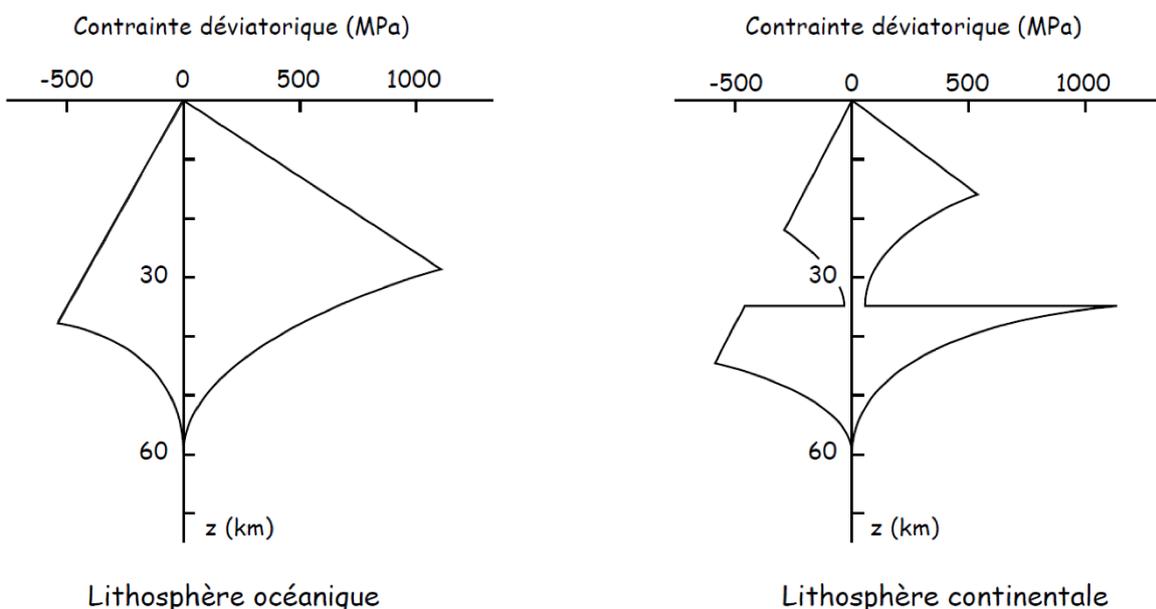


Figure 4.5. : Profils rhéologiques de la lithosphère océanique et de la lithosphère continentale terrestres.

4.6. Masse, densité et structure interne

- 4.6.1. Kepler a montré que les cubes des demi-grands axes des orbites des planètes du système solaire sont proportionnels aux carrés de leurs périodes de révolution, la

constante de proportionnalité étant la constante de gravitation universelle ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$) multipliée par la masse du Soleil et divisée par $4\pi^2$. Calculez la masse du Soleil.

- 4.6.2. La Lune tourne autour de la Terre à une distance de 396000 km avec une période de révolution de 27,32 jours quand Phobos et Deimos tournent autour de Mars à des distances de 9400 et 23500 km, respectivement, avec des périodes de révolution de 0,3 et 1,26 jours, respectivement. Estimez les masses et les densités moyennes de la Terre et de Mars.
- 4.6.3. Comment la structure interne de la Terre a-t-elle été déterminée ? Selon vous, est-il envisageable de procéder de la même façon pour Mars ?
- 4.6.4. La Terre possède un manteau de densité moyenne 4,45 et un noyau de densité moyenne 10. Cela est-il le cas de Mars ? Sachant que le noyau de Mars a un rayon d'environ 1500 km, quelles pourraient être les densités du noyau et du manteau de Mars ? Discutez ces résultats.