

Concours BCPST 2018 – Écoles normales supérieures et ENPC

Épreuve écrite de sciences de la Terre – Rapport du jury

- Armelle Baldeyrou-Bailly, professeur agrégé, Université de Strasbourg
- Sylvain Bernard, chargé de recherche CNRS, MNHN
- Matthias Delescluse, maître de conférence, ENS de Paris
- Olivier Dequincey, professeur agrégé, ENS de Lyon
- Jennifer Miot, maître de conférence, MNHN
- Mathieu Rodriguez professeur agrégé, ENS de Paris
- Gérard Vidal, maître de conférence, ENS de Lyon

Coefficients (en % du total d'admission) :

- Paris-Saclay : 6,2 %
- Lyon : Option Bio 6,6 % - Option ST 8,3 %
- Paris : Option Bio 1,4 % - Option ST 2,1 %
- ENPC : 6,3 %

1. Remarques générales sur le sujet et les copies

Le sujet Sciences de la Terre 2018 comprenait quatre parties indépendantes (rounds), chacune ayant pour objectif de comparer la Terre et Mars. Il s'agissait donc d'un sujet d'actualité puisque la mission Mars Insight de la Nasa décollait avec succès le lendemain de l'épreuve.

Chaque round couvrait une des grandes disciplines des sciences de la Terre, permettant ainsi à chacun(e) des candidat(e)s de s'exprimer quelle que soit leur discipline préférée. Aucune connaissance préalable concernant Mars n'était requise pour répondre aux différentes questions. Sur l'ensemble des copies corrigées, des réponses exactes ont été données à toutes les questions.

Les copies ont été pour la plupart bien écrites et illustrées (comme chaque année, la présentation des copies comptait dans la note finale). Le jury a apprécié la qualité des schémas proposés mais souligne qu'il convient de faire attention à la cohérence de ces derniers avec la réponse rédigée. Si un schéma contredit la réponse rédigée, le correcteur ne peut donner aucun point.

Il semble que les candidat(e)s ont pris le temps de bien lire le sujet, peu de réponses hors sujet ont été rencontrées. Comme chaque année, certain(e)s candidat(e)s ont cherché des points 'faciles' dans les différentes parties du sujet, mais certaines de ces questions 'faciles' ne l'étaient qu'en apparence, et pour y répondre, il fallait en avoir résolu des plus ardues au préalable.

Les meilleures copies sont celles de candidat(e)s qui ont essayé de répondre à toutes les questions d'un round avant de passer au suivant. Le sujet était construit de sorte qu'il était plus payant de répondre à des enchaînements de questions que de chercher les réponses 'faciles'.

Le jury déplore cette année comme les précédentes les erreurs trop fréquentes lors des applications numériques, et ce bien que la calculatrice ait été autorisée. Les données doivent généralement, pour obtenir le bon résultat chiffré, être exprimées en unités du système international. Il est également plus judicieux de simplifier les puissances de 10 avant d'utiliser la calculatrice.

La suite de ce rapport décrit chaque round et, sans pour autant faire un catalogue des « perles du concours », souligne les erreurs trop fréquemment rencontrées pour qu'elles puissent être seulement attribuées au stress du concours.

2. Remarques partie par partie

2.1 Round 1: Bilan radiatif

L'objectif de ce round était d'estimer les températures moyennes qui devraient régner à la surface de la Terre et de Mars en considérant le Soleil, la Terre et Mars se comportent comme des corps noirs et en ne prenant en compte que le rayonnement solaire. Tous les concepts et toutes les équations nécessaires pour répondre aux questions posées étaient données. Après avoir estimé la température moyenne du Soleil, il fallait estimer la densité de flux d'énergie émis par le Soleil à une distance égale à la distance Terre-Soleil et à une distance égale à la distance Mars-Soleil, puis les densités de flux d'énergie émis par le Soleil par unité de surface terrestre et par unité de surface martienne. Il était conseillé de faire des schémas, et beaucoup de candidat(e)s s'y sont essayé(e)s. Malheureusement, peu de candidat(e)s ont proposé des schémas justes, et encore moins les ont utilisés correctement. Bon nombre de candidat(e)s se sont perdu(e)s dans les unités et/ou n'ont pas réalisé que la puissance du Soleil est émise dans toutes les directions de l'espace. De même, peu de candidat(e)s ont tenu compte de la rotation de la Terre et de Mars (cf éléments de correction). Les applications numériques ont été le plus souvent ratées. Le plus triste reste l'absence de réactions chez certain(e)s candidat(e)s qui obtiennent des résultats aberrants (comme par exemple une température moyenne de 0 K à la surface de la Terre, ou de plusieurs millions de degrés). Par la suite, il était demandé de discuter des écarts entre températures calculées et températures vraies, l'idée étant d'introduire l'effet de serre. Même si les termes sont souvent rencontrés dans les copies, peu de candidat(e)s comprennent suffisamment les processus en jeu pour les expliquer correctement. L'albédo n'est pas non plus une notion comprise par la plupart des candidat(e)s. La fin de ce round portait sur la distribution latitudinale des flux radiatifs reçu et émis à la surface de la Terre et à la surface de Mars et sur les hauteurs d'échelles des atmosphères de ces planètes. La majorité des candidat(e)s a réussi à expliquer pourquoi le flux reçu par unité de surface était plus faible aux hautes latitudes, mais très peu ont invoqué le transfert d'énergie des zones excédentaires équatoriales vers les plus hautes latitudes déficitaires pour expliquer la distribution latitudinale du flux radiatif émis vers l'espace. Le calcul des épaisseurs et des hauteurs d'échelle des atmosphères terrestre et martienne se sont souvent soldés par des échecs dus à des erreurs d'unités.

2.2 Round 2 : Age et chronologie

L'objectif de ce round était de discuter et d'utiliser les concepts de datation absolue et datation relative, concepts indispensables en géologie. Une première partie portait sur la radiochronologie par la méthode U-Pb, les formules à utiliser étaient données dans l'énoncé même s'il était demandé de les redémontrer. Il était possible d'obtenir un grand nombre de points sans connaître les termes concordia et discordia. Malheureusement, bon nombre de candidat(e)s ont obtenu des résultats faux en utilisant les formules sans convertir les âges donnés en milliards d'années en secondes, quand bien même il était précisé que les équations n'étaient valables que si les variables étaient exprimées dans les unités du système international. Les âges des zircons de Jack Hills et ceux des zircons de Black Beauty (les plus vieux zircons terrestres et martiens, respectivement) ont généralement été trouvés, mais peu de candidat(e)s ont réalisé que ces âges ne sont pas ceux de la Terre et de Mars. La seconde partie était dédiée à la datation relative, dont les principes sont connus par la majorité des candidat(e)s. La reconstitution d'une chronologie d'événements n'a donc pas été un problème. La suite de ce round nécessitait de compter des cratères sur des images de régions martiennes pour discuter de leurs âges

relatifs. Trop de candidat(e)s ont malheureusement compris qu'il s'agissait de cratères volcaniques et non de cratères d'impact, et sont donc passé(e)s à côté. Les candidat(e)s qui ont pris le temps d'observer avec attention ont gagné des points sur celles et ceux qui sont passé(e)s trop vite sur les images.

2.3 Round 3 : Topographie

L'objectif de ce round était de discuter de la topographie de la Terre et de Mars sur la base des cartes topographiques de ces deux planètes et de proposer des hypothèses pour expliquer les différences observées. Étaient attendues des réponses structurées avec des hypothèses argumentées. Beaucoup de choses pouvaient être dites. Mars et la Terre sont structurées différemment : alors que la topographie de la Terre est le résultat de la tectonique des plaques (pour orienter les candidat(e)s, il était demandé dans l'énoncé de rappeler la définition de plaque lithosphérique), Mars montre une dissymétrie topographique majeure entre les hémisphères Nord (peu élevé) et Sud (plus élevé). L'origine de cette dichotomie est encore inexpliquée mais différentes hypothèses pouvaient être avancées. Cette dichotomie pourrait être liée à la dynamique interne de la planète, les mouvements de convection du manteau et une ébauche de tectonique des plaques, à la manière de la formation des supercontinents terrestres à l'aube de l'histoire de notre planète. Une autre hypothèse fait intervenir de grands impacts ayant entraîné la fusion de la croûte dans l'hémisphère nord et la relaxation isostatique des hautes terres du sud après le comblement volcanique de la dépression de l'hémisphère nord. Cette partie a favorisé les candidat(e)s qui l'ont traitée avec attention, mais elle a malheureusement souvent été négligée ou abordée trop superficiellement.

2.4 Round 4 : Composition et Structure

L'objectif de ce round était d'aborder la pétrologie et la minéralogie sous différents angles : magmatisme et métamorphisme, altération, séries réactionnelles, profils rhéologiques et structures internes. Peu de candidat(e)s ont tenté leur chance, probablement par manque de temps, mais celles et ceux qui l'ont fait ont engrangé des points. La première partie nécessitait de savoir reconnaître un granite et de connaître les processus pouvant aboutir à sa formation. L'idée était notamment d'amener les candidat(e)s à conclure sur l'existence d'une croûte continentale martienne. Ce n'est malheureusement pas sur cette partie que les candidat(e)s ont donné les meilleures réponses. La suite de ce round était dédiée aux processus d'altération. Étaient données les pourcentages volumiques des phases minérales constitutives d'une série d'échantillons provenant de l'altération d'une roche initiale granitique. Même si les réponses aux questions étaient globalement bonnes, il faut souligner que très peu d'équations de réactions ont été écrites correctement. La suite de ce round donnait les pourcentages en poids d'oxydes d'un grenat dont il fallait déterminer la formule structurale. Très peu de candidat(e)s s'y sont frotté(e)s, et seul un nombre encore plus faible a réussi à répondre correctement, bien qu'il s'agisse à nouveau d'une procédure classique en sciences de la Terre. La suite du round, basée sur un diagramme de phase du système binaire Cristobalite-Forstérite, a été mieux réussie. Les concepts de liquidus, solidus et eutectique semblent maîtrisés, même si celui de péritectique l'est un peu moins. De la même façon, les profils rhéologiques sont connus par la majorité des candidat(e)s. L'idée était d'expliquer comment ces profils sont construits et pourquoi les profils des lithosphères océanique et continentale sont différents. Pour finir, il était demandé de déterminer les masses et densités moyennes de la Terre et de Mars à partir des paramètres orbitaux de leurs satellites. Cette partie n'a que peu été attaquée par les candidat(e)s, probablement par manque de temps, et peu d'entre celles et ceux qui ont essayé de répondre ont obtenu des résultats corrects du fait d'applications numériques erronées.

3. Eléments de correction : 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 Ts (cf Figure 1.2).

D'après la loi de Stefan-Boltzmann, la densité de flux d'énergie M^0 émis par un corps noir à sa surface varie en fonction de sa température T selon la formule :

$$M^0 = \frac{2\pi^5 k^4}{15 h^3 c^2} \cdot T^4 \quad (\text{Equation 1})$$

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 :

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = \frac{hc}{4.965 k} \quad (\text{Equation 2})$$

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 ?

La chaleur produite par la fusion nucléaire de l'hydrogène au coeur du Soleil traverse de nombreuses couches jusqu'à sa surface (photosphère) pour y être libérée sous forme de rayonnement solaire ou de flux de particules. Ces particules sont essentiellement des photons, la chaleur du Soleil étant convertie en lumière à sa surface. Ce flux de photon forme des

ondes électromagnétiques qui se propagent sans perte d'énergie dans toutes les directions de l'espace, et notamment vers la Terre.

1.1.2. D'après la Figure 1.2., quelle est la longueur d'onde du maximum d'émission du Soleil ?

Le maximum d'émission lumineuse du Soleil se situe à une longueur d'onde d'environ $0.5 \mu\text{m}$.

La partie visible du spectre est comprise entre 0.38 et $0.78 \mu\text{m}$. Le Soleil émet donc la plus grande partie de son rayonnement dans le visible (le jaune plus exactement).

1.1.3. Quelle est donc la température du Soleil (T_s) ?

On utilise l'équation 2, avec $\lambda_{\text{max}} = 0.5 \mu\text{m}$. On obtient $T_s = 5800 \text{ K}$

1.1.4. Quelle est la densité de flux d'énergie émis par le Soleil (M^0) ? Quelle est l'unité de M^0 ?

On utilise l'équation 1, qui donne la puissance émise par un corps noir, pour chaque m^2 de sa surface, en W.m^{-2} . On obtient $M^0 = 6.4 \cdot 10^7 \text{ W.m}^{-2}$.

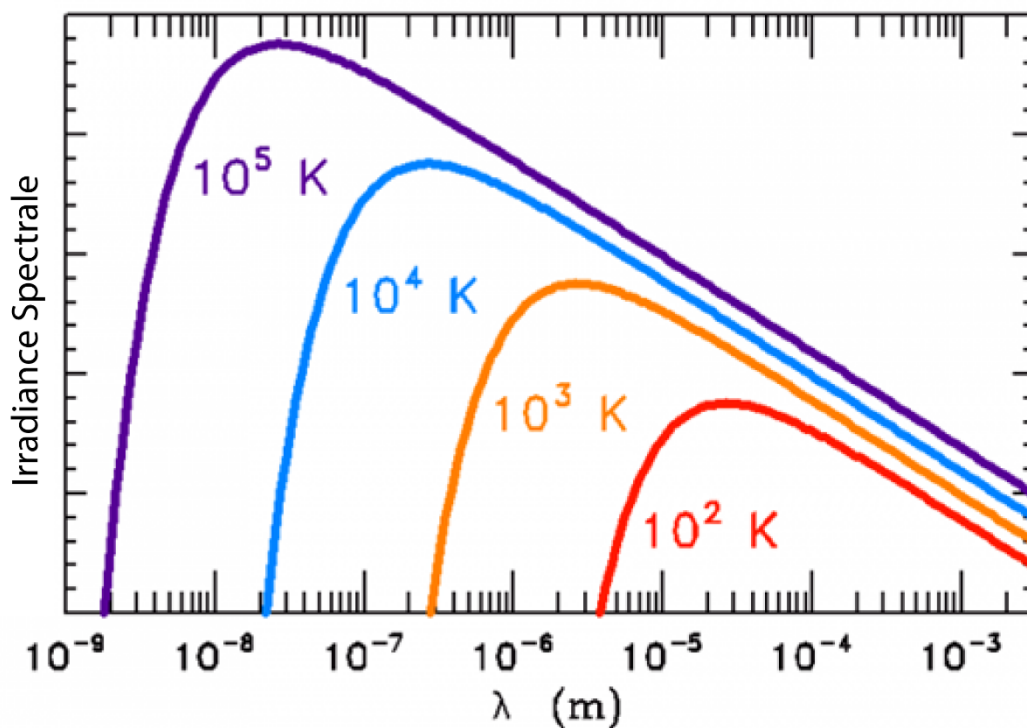


Figure 1.1. : Loi de Planck pour des corps noirs à différentes températures.

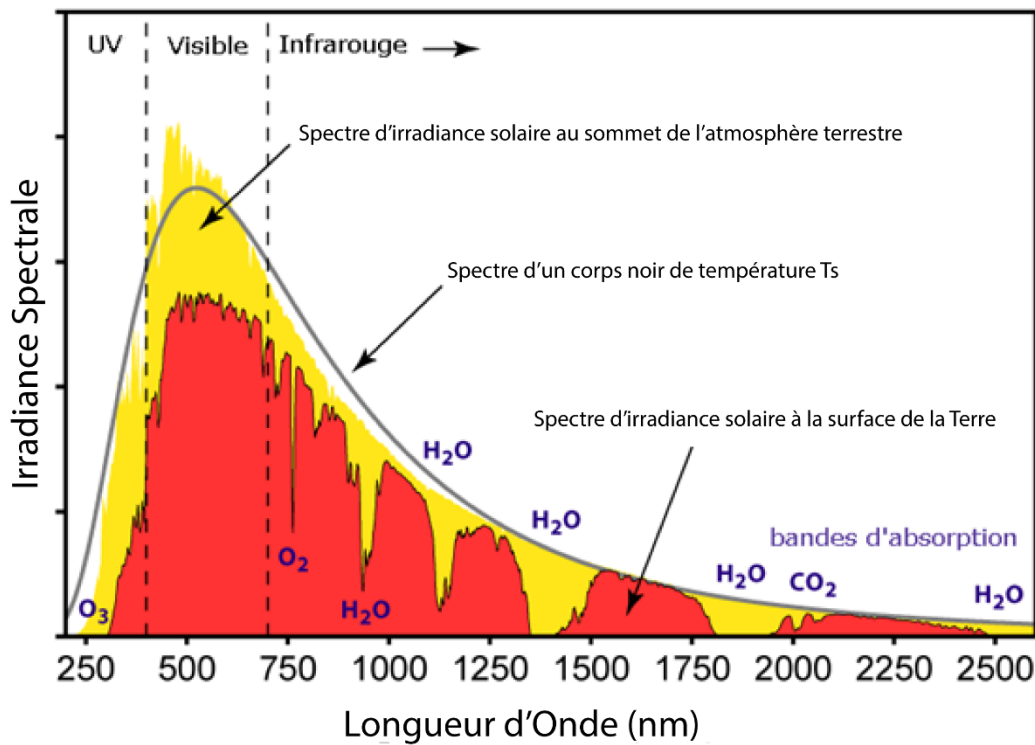


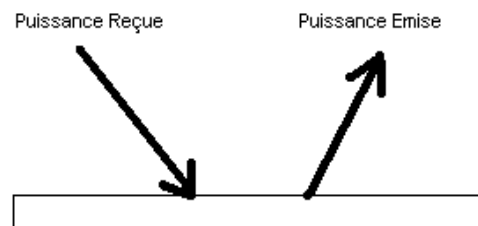
Figure 1.2. : Spectre d'irradiance solaire au sommet de l'atmosphère terrestre, à la surface de la Terre et loi de Planck d'un corps noir de température T_s .

1.2. Températures Moyennes

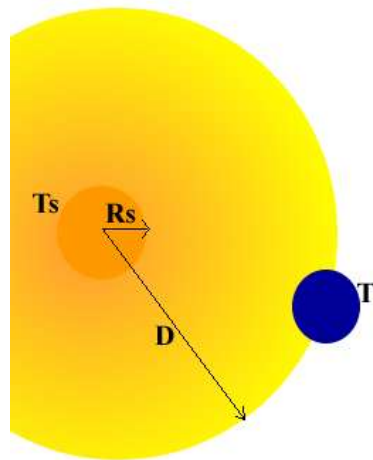
Comme tout corps de température non nulle, la Terre et Mars perdent de l'énergie par rayonnement. On suppose ici que la Terre et Mars se comportent comme des corps noirs en équilibre radiatif.

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).

La puissance émise est égale à la puissance reçue, le bilan radiatif d'une planète sans atmosphère est très simple.



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 ?



La surface du Soleil étant une sphère (de rayon R_s), sa puissance est émise dans toutes les directions de l'espace, à partir de la surface solaire où elle vaut $6.4 \cdot 10^7 \text{ W.m}^{-2}$.

Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique, par conséquent cette puissance ne se dissipe pas pendant sa propagation dans l'espace.

La puissance totale émise par le Soleil, celle qui sort du Soleil de rayon 700 000 km, est donc la même que celle qui sort de la sphère géante qui a pour rayon la distance Terre-Soleil. Par contre, cette mégasphère ayant une surface plus grande que la surface du Soleil, la puissance totale émise par le Soleil sera distribuée sur une surface plus grande, et donc la valeur de la puissance par unité de surface (en W.m^{-2}) sur cette mégasphère sera plus faible. C'est cette valeur que l'on veut calculer. Il suffit de calculer le rapport des surfaces des sphères.

Commençons donc par calculer la puissance totale émise par le Soleil.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{totale}} &= M^\circ \cdot \text{Surface}_{\text{Soleil}} = M^\circ \cdot 4 \cdot \pi \cdot R_{\text{Soleil}}^2 \\
 &= 6.4 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot \pi \cdot (700\,000 \cdot 10^3)^2 \\
 &= 3.94 \cdot 10^{26} \text{ W} \text{ ce qui fait environ 400 YottaWatts.}
 \end{aligned}$$

Cette puissance étant émise à la surface d'une sphère, elle va se propager sous forme de sphère de plus en plus grande. A la distance Terre-Soleil d , cette puissance totale sera donc distribuée sur une sphère de rayon d . La valeur de cette puissance pour chaque mètre carré de la surface de cette sphère de rayon d sera donc :

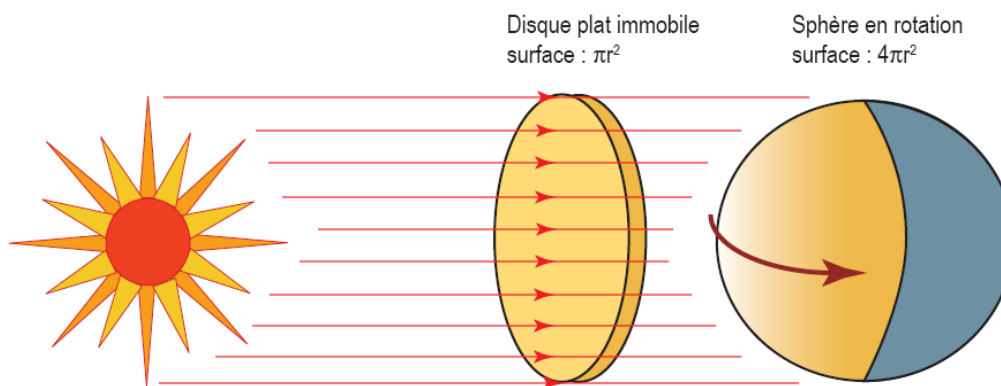
$$\begin{aligned}
 C_T &= P_{\text{totale}} / \text{Surface}_{\text{Mégasphère}} \\
 &= P_{\text{totale}} / (4 \cdot \pi \cdot d^2) \\
 &= 3.94 \cdot 10^{26} / (4 \cdot \pi \cdot (1.5 \cdot 10^{11})^2) \\
 &= 1393.7 \text{ W.m}^{-2}
 \end{aligned}$$

Cette valeur est la constante solaire (ou presque, on obtiendrait 1368 W.m^{-2} si on utilisait des valeurs plus précises).

A la distance Mars-Soleil, en suivant le même raisonnement, on obtient $C_M = 603.3 \text{ W.m}^{-2}$

Autre façon d'arriver au même résultat: $M^\circ.R_s^2 = C_x.d_x^2$, avec C_x la densité de flux d'énergie à une distance d_x du 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 rondes. Illustrez votre réponse à l'aide d'un schéma.



La Terre et Mars sont des planètes rondes, il faut diviser par 4 les valeurs obtenues à la question précédente, i.e. 348.4 W.m^{-2} pour la Terre et 150.8 W.m^{-2} pour Mars.

1.2.4. La Terre et Mars n'ont pas le même albédo. 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 ?

L'Albédo, c'est le pouvoir réfléchissant d'une surface, c'est la fraction du rayonnement solaire incident réfléchi sans être absorbée.

Flux réellement absorbé par la Terre : $348.4 * (1-0.35) = 226.5 \text{ W.m}^{-2}$

Flux réellement absorbé par Mars : $150.8 * (1-0.25) = 113.1 \text{ W.m}^{-2}$

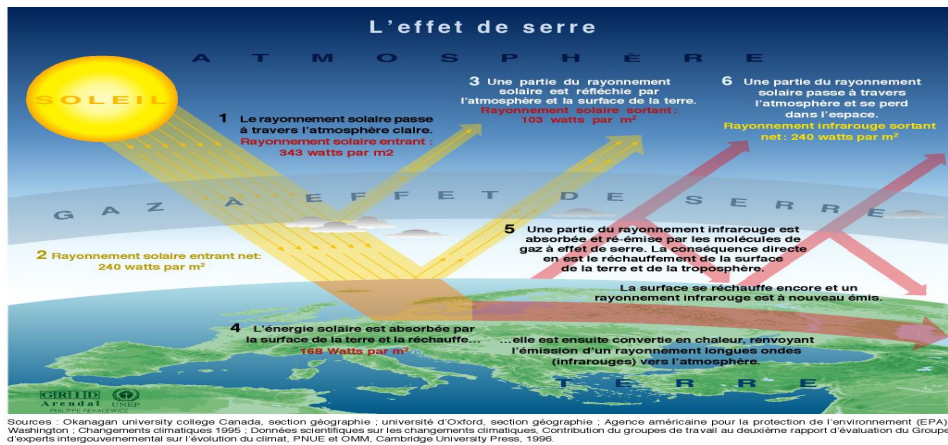
1.2.5. Quelle serait la température moyenne à la surface de la Terre et de Mars d'après les résultats des questions précédentes ?

En supposant un équilibre radiatif et en considérant Mars et la Terre comme des corps noirs, on peut déterminer les températures moyennes de surface de la Terre et de Mars.

On obtient $T_T = 251.1 \text{ K}$ (i.e. -22°C) et $T_M = 211.1 \text{ K}$ (i.e. -62°C).

1.2.6. Comparez les températures calculées à la question précédente aux températures données dans la Table 1.1. Proposez une explication pour les éventuelles différences observées. Illustrez votre réponse par un schéma.

L'effet de serre est la cause des différences. L'effet de serre « réchauffe » les deux planètes, cet effet est plus important sur Terre (+ 37K) que sur Mars (+ 9K).



1.3. Transferts Energétiques et Atmosphères Planétaires

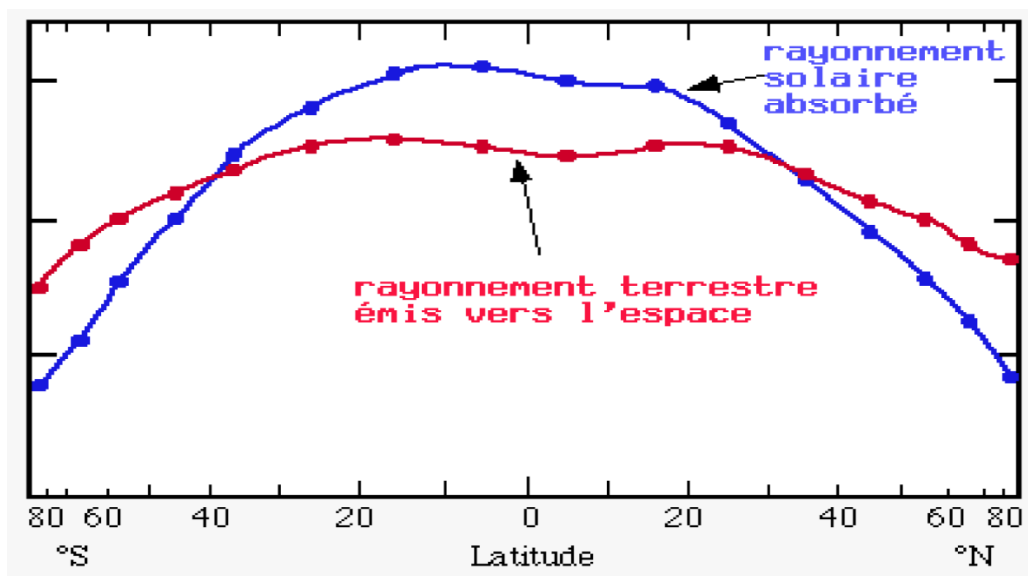
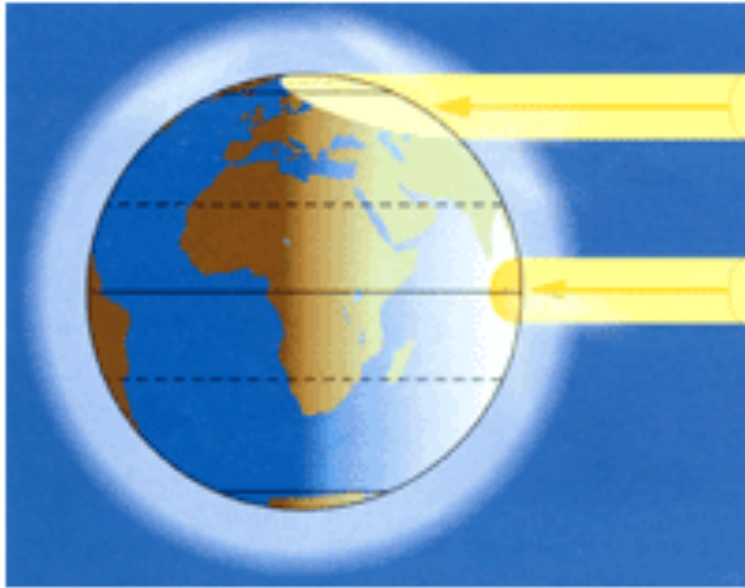


Figure 1.3. : Distribution latitudinale moyenne des flux radiatifs émis et reçu à la surface de la Terre

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.

Les variations latitudinales des entrées d'énergie solaire dans le système atmosphérique sont principalement dues à la valeur de l'angle d'incidence du rayonnement solaire à la surface de la Terre. D'une part, la quantité d'énergie reçue aux pôles est moindre car la surface sur laquelle est reçue une même quantité de radiations aux pôles et à l'équateur est plus grande aux pôles (cf schéma). D'autre part, le rayonnement doit traverser une plus grande quantité d'atmosphère, par conséquent la réflexion et l'absorption-réémission augmentent dans les régions polaires contribuant largement au caractère glacé du climat.



1.3.2. Comparez les distributions latitudinales des flux radiatifs reçu 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.

Le flux infrarouge émis par la Terre ne présente pas autant de variations entre les pôles et l'équateur. L'inégale répartition de l'énergie solaire reçue par la Terre, à l'origine des climats, provoque un déplacement de la chaleur des zones excédentaires équatoriales vers les plus hautes latitudes déficitaires. Ce transfert d'énergie calorifique est assuré par les vents et le cycle de l'eau. De plus, les océans, importants régulateurs thermiques, emmagasinent, transportent et restituent en partie leur chaleur à l'atmosphère. Cette circulation générale de l'air est compliquée par la rotation de la Terre.

1.3.3. Les distributions latitudinales des flux radiatifs reçu et émis par Mars sont très semblables à celles des flux reçu et émis par la Terre. Quelles conclusions pouvez-vous en tirer ?

Un transfert d'énergie par l'atmosphère existe à la surface de Mars.

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.

$$M_{\text{AtmoTerre}} = \text{Pression} * \text{Surface} / g = 1.013 \cdot 10^5 * 4\pi * (6371 \cdot 10^3)^2 / 9.81 = 5.3 \cdot 10^{18} \text{ kg} \approx 10^{-6} *$$

M_{Terre}

$$M_{\text{AtmoMars}} = \text{Pression} * \text{Surface} / g = 600 * 4\pi * (3389.5 \cdot 10^3)^2 / 3.71 = 2.3 \cdot 10^{16} \text{ kg} \approx < 10^{-7} * M_{\text{Mars}}$$

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 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 :

1 2

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

Conditions aux limites :

$$P_1 = 0 \text{ et } h_2 = 0, \text{ d'où } P_2 = \rho \cdot g \cdot h_1. \text{ D'où } h_1 = P_2 / (\rho \cdot g)$$

$$h_{\text{Terre}} = 1.013 \cdot 10^5 / (1.225 \times 9.81) = 8400 \text{ m, i.e. } 8.4 \text{ km}$$

$$h_{\text{Mars}} = 600 / (1.225 \times 3.71) = 132 \text{ m, i.e. } 0.1 \text{ km}$$

D'après ce calcul, l'atmosphère terrestre serait donc 100 fois plus épaisse que l'atmosphère martienne. Cela n'a pas vraiment de sens, la masse volumique de l'atmosphère martienne est beaucoup plus faible en réalité.

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 :

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

avec **M** la masse molaire moyenne de l'atmosphère, **z** l'altitude, **T** la température de surface et **R** la constante des gaz parfaits ($R = 8.314 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$). 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.

$$\text{Masse molaire moyenne Atmosphère Terre} \approx 29 \text{ g.mol}^{-1} \quad (0.79 \cdot 14 \cdot 2 + 0.21 \cdot 16 \cdot 2).$$

$$\text{Masse molaire moyenne Atmosphère Mars} \approx 43.5 \text{ g.mol}^{-1} \quad (0.97 \cdot (12 + 16 \cdot 2) + 0.03 \cdot 14 \cdot 2).$$

Il serait préférable de convertir les pourcentages volumétriques en pourcentages massiques, mais cela ne changerait pas grand-chose.

Sur Terre la P diminue d'un facteur 2 pour $z = 5.8 \text{ km}$ quand sur Mars la P diminue d'un facteur 2 pour $z = 7.85 \text{ km}$ ($z = -\ln(1/2) \cdot RT/Mg$).

$$\text{Les hauteurs d'échelle sont } Z_{\text{Terre}} = \frac{RT_{\text{Terre}}}{M_{\text{Terre}} \cdot g_{\text{Terre}}} = 8.4 \text{ km} \quad (P(Z_{\text{Terre}})/P_0 = e^{-1}) \text{ et } Z_{\text{Mars}} =$$

$$\frac{RT_{\text{Mars}}}{M_{\text{Mars}} \cdot g_{\text{Mars}}} = 11.3 \text{ km} \quad (P(Z_{\text{Mars}})/P_0 = e^{-1}).$$

La hauteur d'échelle d'une atmosphère dépend de sa composition, de la T de surface et de l'accélération de gravité.

In fine, bien que l'atmosphère martienne ait une masse 100 fois plus légère que celle de l'atmosphère terrestre, leurs hauteurs d'échelle sont du même ordre de grandeur.