



## Exercice 2 (au choix) – Niveau première

Thème « Le Soleil, notre source d'énergie »

### Le paradoxe du Soleil pâle

Sur 12 points

Le système solaire s'est formé il y a 4,57 milliards d'années. Le paradoxe du jeune Soleil pâle désigne la contradiction apparente, entre la présence d'eau liquide sur Terre à cette époque et le fait que le Soleil ne brillait qu'à 70 % de son intensité actuelle. La température sur Terre devait être inférieure à 0 °C et donc l'eau aurait dû être présente à l'état solide uniquement.

L'objectif de cet exercice est d'étudier ce paradoxe.

### Partie 1 – Caractérisation du Soleil jeune

Actuellement, la puissance surfacique moyenne du rayonnement solaire arrivant à la surface de l'atmosphère terrestre est de  $340 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

- 1- Montrer que la puissance surfacique moyenne solaire qui atteignait la surface de l'atmosphère terrestre il y a 4 milliards d'années était d'environ  $240 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

#### Document 1 – Loi de Stefan

La puissance émise par unité de surface ( $P$  exprimée en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) est proportionnelle à la puissance quatrième de la température ( $T$  exprimée en Kelvin).

$$P = \sigma \times T^4$$

avec  $\sigma$ , constante de Stefan-Boltzmann valant  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ .

**Relation entre la température  $\theta$ (°C) et la température  $T$ (K) :**

$$T = \theta + 273$$

- 2- À l'aide du document 1, montrer qu'en première approximation, la température de la Terre aurait dû être d'environ  $-18^\circ\text{C}$  il y a 4 milliards d'années.

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :


(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :  N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

Né(e) le :  /  /



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

1.1

### Document 2 – Lien entre luminosité et température de surface d'une étoile

En astrophysique, le diagramme Hertzsprung Russel permet d'établir une relation entre la température d'une étoile et sa luminosité et conduit aux correspondances précisées dans le tableau suivant :

*Par exemple, si une étoile brille deux fois plus intensément que le Soleil actuel, ce rapport vaut 2.*

Rapport de la luminosité d'une étoile sur la luminosité actuelle du Soleil	Température de l'étoile en kelvins (K)
1,7	6000
1	5800
0,7	5500
0,07	4000

Source : d'après l'auteur

### Document 3 – Loi de Wien

La longueur d'onde d'intensité maximale ( $\lambda_{max}$  exprimée en mètres) relevée sur un spectre d'émission est inversement proportionnelle à la température (T exprimée en kelvins) du corps émetteur :

$$\lambda_{max} = \frac{k}{T}$$

avec  $k$ , constante de la loi de Wien valant  $2,99 \times 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m}$ .

- 3- À l'aide des documents 2 et 3, déterminer en nanomètres la longueur d'onde d'intensité maximale du Soleil il y a 4 milliards d'années.
- 4- Comparer cette valeur à la longueur d'onde d'intensité maximale du Soleil actuel. Justifier votre réponse.



## Partie 2 – Première proposition d'explication du paradoxe

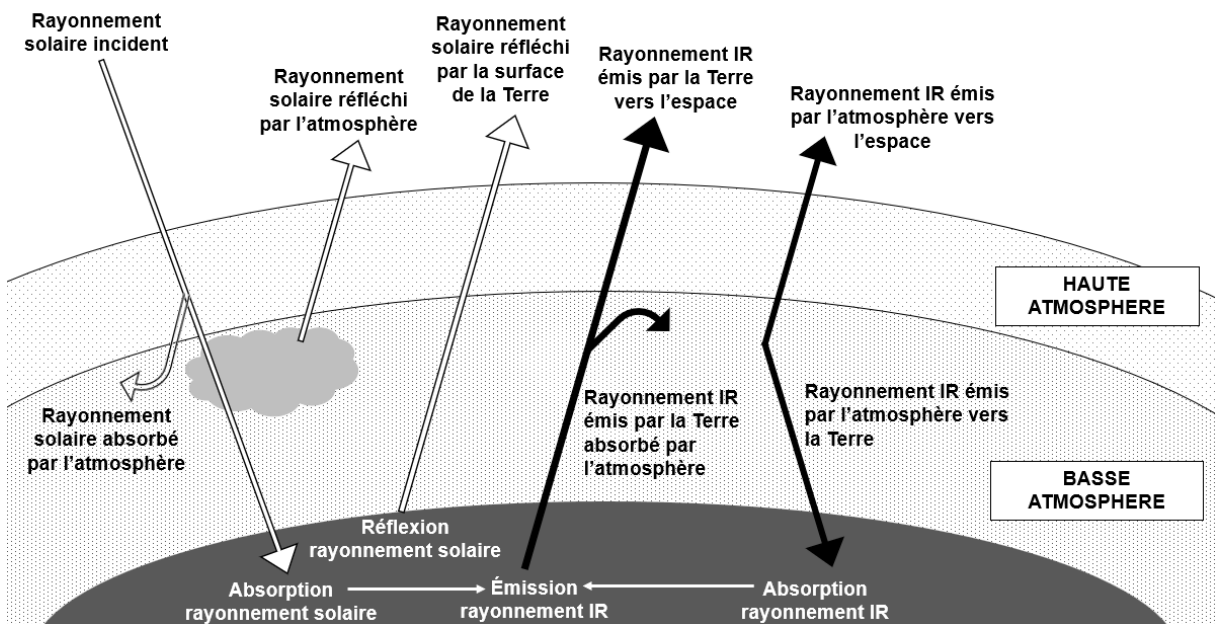
### Document 4 – Tableau de la pression partielle atmosphérique en CO<sub>2</sub>

Une température de  $-15\text{ °C}$  est incompatible avec la présence d'eau liquide. Des études ont permis de montrer qu'il y a 4 milliards d'années, un volcanisme très intense rejetait de grandes quantités de dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre.

Période	-4 Milliards d'années	Actuelle
Pression partielle en CO <sub>2</sub>	Entre 0,3 et 0,6 bar	$3 \times 10^{-4}$ bar

Source : d'après <https://planet-terre.ens-lyon.fr>

### Document 5 – Bilan radiatif terrestre



Source : d'après l'auteur

- 5- À partir des documents 4 et 5 et de vos connaissances, proposer une explication au paradoxe du Soleil pâle, c'est-à-dire à la présence d'eau liquide il y a 4 milliards d'années malgré une température terrestre inférieure à  $0\text{ °C}$  due à la plus faible puissance reçue du Soleil.

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :


(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :  N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

Né(e) le :  /  /



1.1

### Partie 3 – Seconde proposition d'explication du paradoxe

D'autres chercheurs ont proposé d'expliquer le paradoxe du Soleil jeune pâle par un albédo moyen très faible.

6- Définir l'albédo.

#### Document 6 – Quelques valeurs d'albédo

Surface	Océan	Forêt	Nuages	Sable	Neige
<b>Albédo</b>	0,05 – 0,10	0,05 – 0,10	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3	0,8 – 0,9

Albédo moyen terrestre actuel :  $\alpha = 0,3$

Albédo moyen terrestre estimé à l'époque du Soleil jeune (4 milliards d'années) :  
 $\alpha = 0,05$

Source : d'après l'auteur

- 7- Sachant qu'il y a 4 milliards d'années, la Terre était quasiment intégralement recouverte par un océan, justifier la valeur proposée pour la valeur de l'albédo à cette époque. Expliciter l'hypothèse sous-jacente concernant la densité de la couverture nuageuse à l'époque.
- 8- Expliquer pourquoi cette valeur permettrait d'expliquer la présence d'eau liquide sur Terre alors que la puissance surfacique solaire incidente était plus faible qu'actuellement.
- 9- Expliquer en quoi l'étude de paradoxes scientifiques est une composante essentielle de la démarche scientifique. Vous argumenterez en vous appuyant sur l'exemple étudié dans cet exercice et sur vos connaissances personnelles.