

# AVEC NOS ÉLÈVES

## Un thème de SVT en classe de seconde

La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée

Bernard Colomb, Professeur de SVT retraité

*L'auteur nous présente ici comment on peut aborder ce thème avec nos élèves à partir de nombreux documents.*

Le thème 1 du programme de SVT de la classe de seconde s'intitule « La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée ». Le préambule du programme précise que, dans ce thème, « on étudie successivement les caractéristiques de la Terre qui permettent de comprendre que la vie s'y développe, quelques originalités de fonctionnement et d'organisation du vivant et quelques idées sur la biodiversité et son origine évolutive ».

Avant de comprendre ce qu'est un être vivant, ou de comprendre comment il fonctionne, il est intéressant de voir comment cette richesse en eau est possible sur Terre et non sur les planètes voisines. On étendra le propos aux exoplanètes.

Dans le cadre du premier TP de l'année, la problématique pourrait être : quelles sont les conditions sur Terre qui ont permis et qui permettent encore le maintien de la vie ?

Chacun des problèmes qui suivent peut être traité par des activités regroupées en « tâche complexe » (l'élève chemine à sa guise à travers des documents pour élaborer une réponse structurée au problème posé).

Les documents sont proposés à la fin de l'article.

### Premier problème

*À partir des documents 1 à 5, quelles sont les conditions physico-chimiques sur Terre, vu sa position dans le système solaire ?*

Réponse attendue : la position de la Terre (3<sup>e</sup> à partir du Soleil, à 150 millions de km) en fait une petite planète (doc 1) rocheuse (doc 1 ou 2) de nature silicatée (doc 1) – mais avec un noyau de fer et de nickel – donc dense (doc 1 ou 2)<sup>7</sup>. Elle possède de l'eau sous 3 états (doc 5) et sa température théorique est proche de 0 °C (-18 °C en tenant compte de l'albédo).

<sup>7</sup> Dans le système solaire, les planètes proches du Soleil sont denses. Mais on a trouvé des « jupiters chauds » autour d'autres étoiles (qui se sont sans doute formées à plus grande distance avant de migrer).

### Deuxième problème

*L'atmosphère peut-elle expliquer la différence entre la température théorique et la température mesurée pour la Terre (doc 3 à 8) ?*

Réponse attendue : les documents suggèrent fortement le rôle de l'atmosphère pour expliquer la différence entre -18 °C (théorique) et +15 °C (mesurée) (doc 4) : épaisseur de l'atmosphère de la Terre (doc 8), températures T<sub>2</sub> et T<sub>moy</sub> identiques pour Mercure (doc 4) en relation avec l'épaisseur nulle de son atmosphère (doc 8), grande différence des températures pour Vénus (doc 4) en relation avec son atmosphère notable (doc 8)...

Bilan provisoire : l'eau sous 3 états, une température moyenne de 15 °C et la présence d'une atmosphère annoncent les conditions favorables à la vie telle qu'on la connaît.

### Troisième problème

*À partir des documents 7 et 8, comment les données physico-chimiques de l'eau confortent-elles les conclusions précédentes ?*

Progression possible :

- L'eau est peu présente en gaz dans l'atmosphère terrestre (doc 8) mais pas rare par rapport aux corps voisins ; elle est abondante à l'état liquide (océans) et solide (glaces aux pôles).

- On place la Terre sous la forme d'un segment sur le document 7 (P ≈ 1 000 hPa, T de -90 °C à +60 °C) ; les températures extrêmes sur Terre permettent de comprendre que l'eau est sous deux états (solide et liquide).

- La situation gazeuse se comprend grâce à la remarque de la figure 7.

- Comme pour la Terre, on positionne Mars avec un segment sur le graphique 7 avec les données des documents 4 et 8, à savoir T de -130 à 0 °C et P à 6 hPa : on visualise qu'il n'y a pas d'eau liquide possible.

- On extrapole pour Vénus en voyant qu'à ces pressions et températures, il semble qu'on ne puisse être que dans la phase gazeuse.

Réponse attendue : les pressions et températures autorisent pour la Terre seule (par rapport à ses voisines) une abondante eau liquide en présence de glace, sans interdire pour autant une phase gazeuse.

Bilan provisoire : l'atmosphère corrige la température attendue ; par sa composition et son épaisseur elle établit une pression atmosphérique compatible avec la présence d'eau sous les 3 états.

#### Quatrième problème

À partir des documents 9 à 12, comment l'effet de serre agit-il et permet-il à la planète Terre d'être habitable ?

Exploitation possible :

Le document 9 montre que tout corps chaud émet des IR.

Le document 12 montre que l'eau (surtout) et le CO<sub>2</sub> sont prédominants dans l'effet de serre alors qu'ils sont peu représentés en pourcentage dans l'atmosphère.

Réponse attendue : l'eau et le CO<sub>2</sub> atmosphériques piègent indirectement l'énergie solaire reçue au sol ; La température mesurée est bien supérieure (mais pas trop) à la température théorique, ce qui rend la Terre habitable.

« L'habitabilité » est renforcée par O<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> (voir doc 10 et 12)

#### Cinquième problème

Comment la Terre garde-t-elle son atmosphère ?

La Terre a une masse suffisante – voisine de celle de Vénus, supérieure à celle de Mars – pour retenir les molécules des gaz de son atmosphère (on pourrait également montrer que la température de la Terre n'étant pas trop forte, l'agitation des molécules de l'atmosphère n'est pas suffisante pour les perdre dans l'espace.

#### Sixième problème

À partir des documents 13 à 15, comment reconnaître dans les centaines d'exoplanètes recensées celles qui peuvent être habitables (c'est-à-dire celles qui ont des conditions proches de celles qui sur Terre ont permis à la vie de se développer) ?

- Le document 13 montre la forme de la bande attribuée à la zone d'habitabilité (elle est plus distante pour les étoiles les plus massives). Une exoplanète de type « Terre » pour une naine rouge doit se trouver à une distance comprise entre 0,2 et 0,3 UA.

- Les documents 14 et 15 concernent l'étoile naine rouge Gliese et seule la planète Gliese d à 0,22 UA satisfait au critère de distance à son étoile (les autres planètes étant trop chaudes car trop proches).

Quelques réserves :

- Les températures de surface ne sont pas celles du sous-sol ou de l'atmosphère.

- La moisson des exoplanètes continue : le catalogue des planètes habitables augmente ; ce qui n'implique pas pour autant qu'elles aient été ou qu'elles sont habitées...

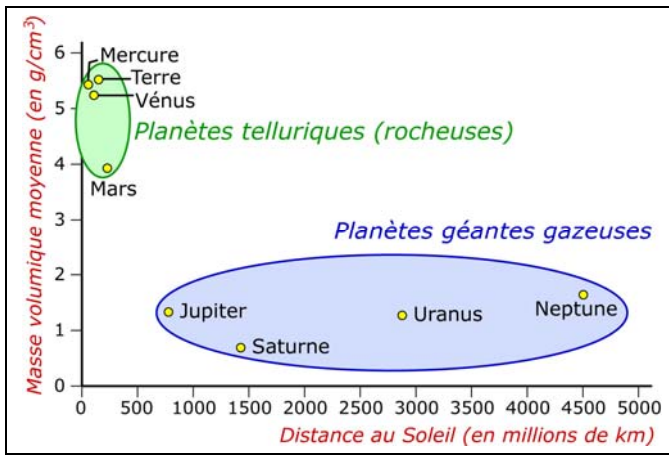
#### BILAN

1. La distance Terre-Soleil impose une température à une Terre rocheuse ; cette température est heureusement modulée par une atmosphère. Les 2 facteurs physiques (P, T) conditionnent une eau abondante à l'état liquide (utilisée comme milieu de vie).
2. La masse de la Terre lui permet de garder par gravité son atmosphère protectrice de sa vie grâce à une couche d'ozone filtrant les U.V. nocifs.
3. Ces conditions peuvent exister sur des exoplanètes sans la vie.

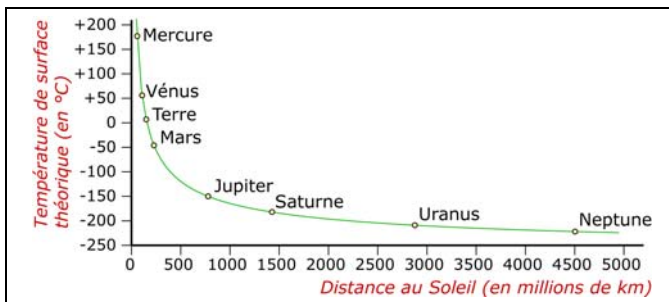


Objets	Planètes rocheuses et Lune					Planètes gazeuses			
	Mercury	Vénus	Terre	Lune	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
d Soleil (10 <sup>6</sup> km)	58	108	150	150	228	778	1 427	2 871	4 497
Diamètre (km)	4 880	12 100	12 740	3 470	6 780	140 000	116 000	51 000	49 000
Masse (10 <sup>24</sup> kg)	0,33	4,9	6	0,07	0,64	1900	570	87	102
Densité	5,4	5,2	5,5	3,3	3,9	1,3	0,7	1,3	1,6
Composants	Silicates (Si+O) + fer et nickel (sauf Lune)					Hydrogène, hélium			

Doc.1. Les planètes et leurs caractéristiques. Sur le schéma du haut, les diamètres sont à la même échelle mais les distances au Soleil ne sont pas respectées.



Doc.2. Masse volumique en fonction de la distance au Soleil.



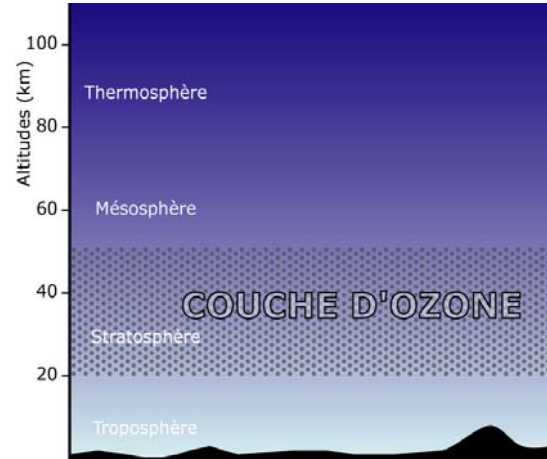
Doc.3. Température théorique en fonction de la distance au Soleil. La température est calculée ici sans tenir compte de l'albédo (proportion de lumière réfléchiée par la planète) ni de l'effet de serre. Pour la Terre par exemple, la température théorique est ici de 7 °C. Si on tient compte de l'albédo de la Terre (0,3 ou 30 %), on trouve -18 °C.

en °C	T1	albédo	T2	Tmin	Tmoy	Tmax
Mercur	180	0,12	160	-160	160	440
Vénus	56	0,75	-40	446	462	490
Terre	7	0,31	-18	-93	15	57
Mars	-46	0,25	-60	-133	-60	-3

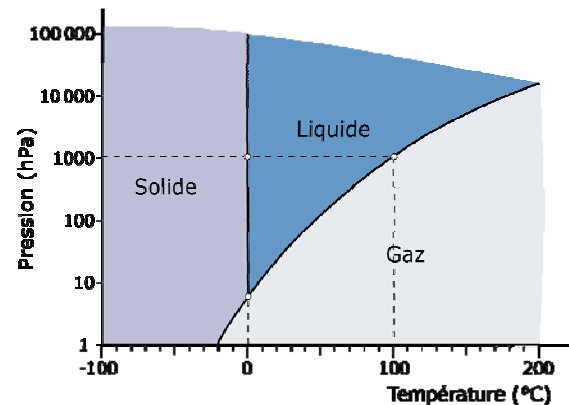
Doc.4. Températures moyennes théoriques (T1 et T2) et températures observées (Tmin, Tmoy, Tmax) à la surface des planètes telluriques. La première (T1) est calculée en supposant que la planète absorbe toute l'énergie qu'elle reçoit, la deuxième (T2) tient compte de l'albédo de la planète (proportion de lumière réfléchiée). Les suivantes proviennent d'observation.

	Eau
Mercur	Absence
Vénus	Gaz
Terre	Gaz, liquide, solide
Mars	Gaz, solide

Doc.5. L'eau sur les planètes telluriques.



Doc.6. Les couches de l'atmosphère.



Doc.7. Les états de l'eau.

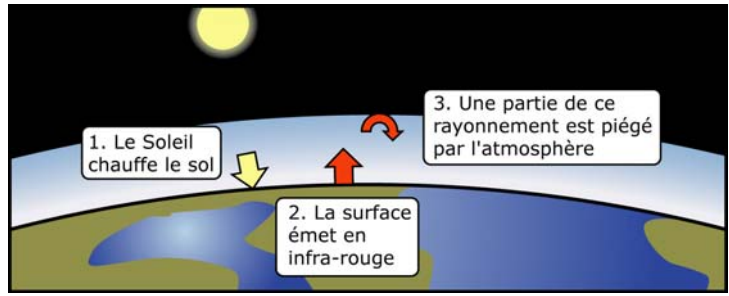
Remarque : la vapeur d'eau se forme continuellement par évaporation dès que l'eau liquide est surmontée d'une couche de gaz, sans que la température n'ait besoin d'atteindre la température d'ébullition.

	Épaisseur	Masse atm.	Pr. au sol (hPa)	Composants de l'atmosphère sèche	Vapeur d'eau
Mercur	Pas d'atmosphère				
Vénus	300 km	$4,8 \times 10^{20}$	92 000	CO <sub>2</sub> (96 %), N <sub>2</sub> (3,5 %)	0,002 %
Terre	800 km	$5 \times 10^{18}$ kg	1 013	N <sub>2</sub> (78 %), O <sub>2</sub> (21 %), Ar (0,93 %), CO <sub>2</sub> (0,04 %)	de 1 à 5 %
Lune	Pas d'atmosphère				
Mars	200 km	$2,5 \times 10^{16}$ kg	6	CO <sub>2</sub> (95 %), N <sub>2</sub> (2,7 %), Ar (1,6 %)	0,03 %

Doc.8. Comparaison de l'atmosphère des planètes telluriques. Il n'y a pas de frontière nette entre l'atmosphère et l'espace. Les valeurs données pour l'épaisseur peuvent donc beaucoup varier suivant les sources.



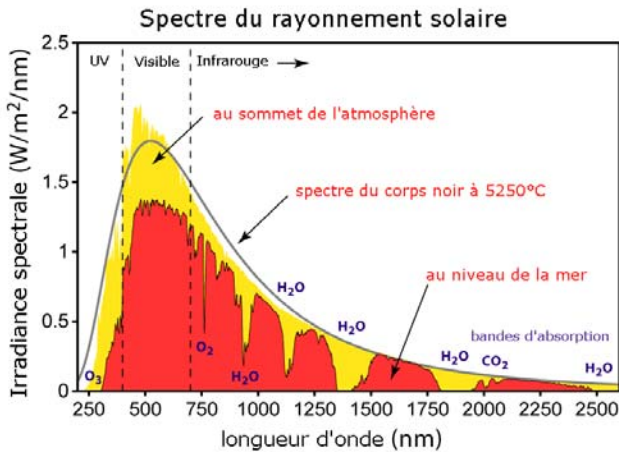
**Doc.9.** Image d'une habitation en infra rouge. Tout corps émet des ondes électromagnétiques en fonction de sa température. Pour des températures comme celles rencontrées sur Terre, comprises entre  $-50$  et  $+50$  °C, l'émission a lieu principalement dans l'infrarouge. Un capteur sensible à ce rayonnement peut ainsi mesurer la température, ce qui permet de connaître les déperditions énergétiques. (image 123RF/ginasanders).



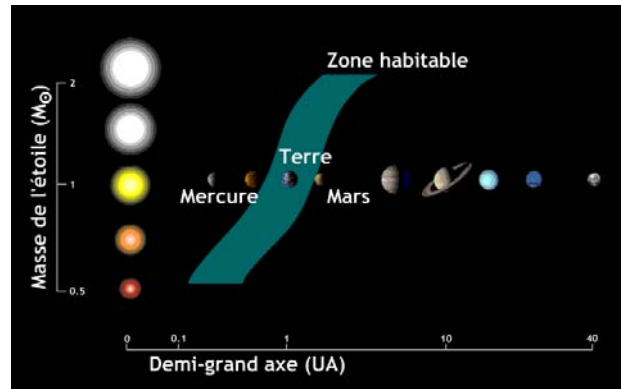
**Doc.11.** Principe de l'effet de serre.

Gaz	Concentration (%)	Participation à l'effet de serre (%)
Diazote (N <sub>2</sub> )	78,1	0
Dioxygène (O <sub>2</sub> )	20,9	0
Argon (Ar)	0,9	0
Eau (H <sub>2</sub> O)	1	60
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	0,038	25
Méthane (CH <sub>4</sub> ), oxyde nitreux (NO <sub>2</sub> ), ozone (O <sub>3</sub> )	0,0002	15

**Doc.12.** Les gaz à effet de serre sur Terre.



**Doc.10.** Spectre solaire. La différence entre la courbe jaune et la courbe rouge provient de l'atmosphère terrestre. On remarque du côté gauche l'absorption des UV par l'ozone (O<sub>3</sub>) et à droite l'absorption des infrarouges par l'eau et le dioxyde de carbone. (Image wikipedia par Global Warming Art)



**Doc.13.** Zone habitable autour de différentes étoiles. Les étoiles de 0,5 masse solaire sont plutôt rouges et moins chaudes que le Soleil (environ 4000 °C de température de surface) mais vivent plus longtemps. Les étoiles de 2 masses solaires sont bleutées et plus chaudes que le Soleil (près de 10 000 °C). La zone habitable d'une étoile est la zone où l'eau liquide peut exister à la surface d'une planète. Elle dépend de la température de l'étoile. Elle est indiquée ici en unités astronomiques (1 ua = distance moyenne Terre Soleil  $\approx$  150 millions km). (crédit CETI/Observatoire de Paris).

Planète	$M[\sin(i)]$ (M <sub>Jup</sub> )	Période (jours)	Demi-grand axe (UA)
Gl 581 b	0.05	5.36865	0.041
Gl 581 c	0.017	12.9182	0.073
Gl 581 d	0.019	66.64	0.22
Gl 581 e	0.0061	3.14945	0.028

**Doc.14.** Extrait du site de l'observatoire de Paris sur les exoplanètes (<http://media4.obspm.fr/exoplanetes>) La première colonne indique le nom de la planète. La deuxième donne la masse minimale de la planète en masse de Jupiter (avec une imprécision due à l'inclinaison de l'orbite qui est inconnue). Le demi grand axe est la distance moyenne de la planète à son étoile, en unités astronomiques (1 ua  $\approx$  150 000 000 km).

**SERVICE DE COMMUNICATION**  
 Université de Genève > Service de communication > Communiqués de presse > Année 2009 > CdP090421

**Une exoplanète encore plus légère - Les astronomes de l'UNIGE prennent dans leur filet une planète extrasolaire de très faible masse**

Le prof. Michel Mayor et ses collègues viennent de repérer la planète extrasolaire la plus légère jamais identifiée. Celle qui s'appelle « Gliese 581 e » a une masse qui avoisine deux fois celle de la Terre. Les chercheurs ont aussi affiné le calcul de la trajectoire orbitale de « Gliese 581 d » : ils peuvent à présent situer avec certitude cette autre exoplanète à l'intérieur de la zone habitable de son étoile-hôte, c'est-à-dire dans la région où l'eau peut exister à l'état liquide. Plus de cinq années passées à scruter les cieux, au moyen du détecteur d'exoplanètes de faibles masses les plus précis qui soit, débouchent sur ces découvertes, effectuées au Chili, à l'Observatoire européen austral (ESO).

**Doc.15.** Communiqué de presse du 21 avril 2009 de l'Université de Genève.