

Eléments d'Astrobiologie

**Rosa M. Ros, Beatriz García, Alex Costa, Florian Seitz,
Ana Villaescusa, Madelaine Rojas**

International Astronomical Union, Technical University of Catalonia, Spain, ITeDA and National Technological University, Argentina, Escola Secundária de Faro, Portugal, Heidelberg Astronomy House, Germany, Diverciencia in Algeciras, Spain, SENACYT, Panama

Résumé

Cet atelier est essentiellement divisé en deux parties. Les éléments chimiques nécessaires à la vie, une étude simple du tableau périodique correspondant aux objectifs de ce travail et quelques concepts d'astrobiologie sont introduits.

Objectifs

- Comprendre d'où ou comment proviennent les différents éléments du tableau périodique
- Comprendre les principales caractéristiques des systèmes planétaires extra-solaires.
- Comprendre les conditions d'habitabilité nécessaires au développement de la vie
- Étudier les lignes directrices minimales de la vie en dehors de la Terre.

Formation des systèmes planétaires

Lorsqu'une étoile se forme à partir d'un nuage de gaz et de poussière, les restes du nuage autour de l'étoile continuent à former les planètes. De la même manière que nous pouvons connaître la composition de l'étoile en étudiant son spectre, la spectroscopie est utilisée pour déterminer l'atmosphère des exoplanètes.

Chaque élément chimique et chaque molécule a un spectre spécifique et unique. Dans certains systèmes, une planète qui passe devant son étoile, la lumière de l'étoile passera à travers l'atmosphère de la planète et il y aura absorption. En observant les spectres lumineux des étoiles des systèmes exoplanétaires, on peut découvrir la composition chimique des atmosphères des planètes (figures 1 et 2).

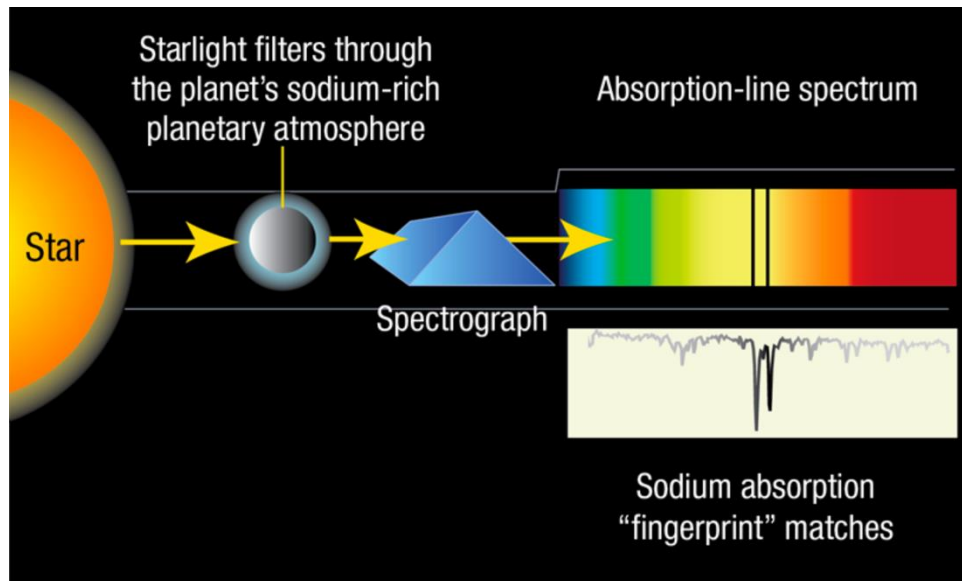


Fig. 1 : Spectroscopie appliquée à l'étude de l'atmosphère de la planète HD 209458b, avec la détection du sodium dans son atmosphère. Source Wikipedia / A. Feild (STSci)

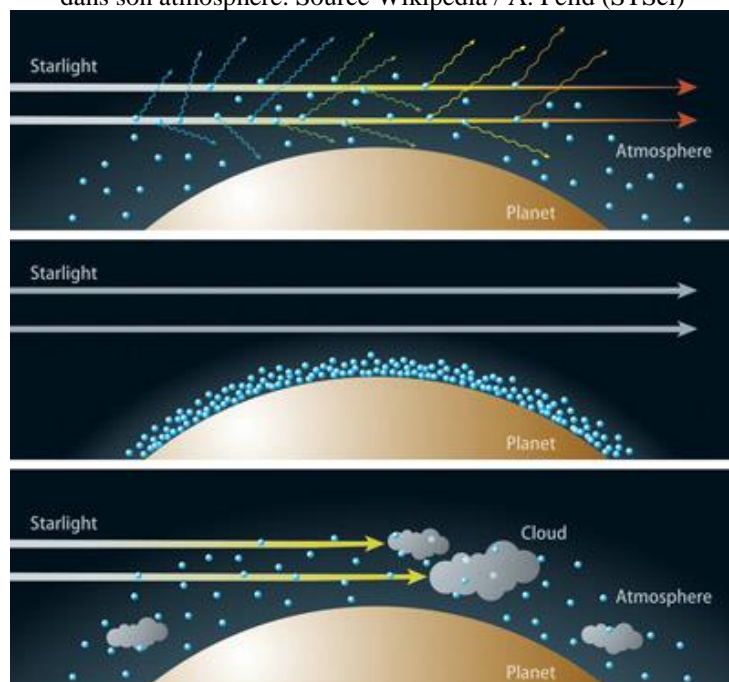


Fig 2 : Comment savoir s'il y a de l'eau ou même des molécules organiques dans l'atmosphère d'une planète ? Chaque élément chimique, chaque molécule, a un spectre spécifique et unique. En comparant les spectres de la lumière des étoiles des systèmes exoplanétaires, nous pouvons découvrir la composition chimique de l'atmosphère d'une exoplanète, si la lumière traverse finalement l'atmosphère correspondante

Mais regardons un exemple de formation d'un système planétaire en utilisant une méthode d'implication des participants dans un modèle actif.

Activité 1 : Formation d'un système planétaire à partir de gaz et de poussières

Le thème de cette activité est d'expliquer la formation du système solaire ou de tout autre système planétaire selon l'hypothèse nébulaire d'Emmanuel Kant (1755).

L'action consiste à diviser la classe en deux groupes facilement identifiables à l'œil nu, par exemple : le groupe des filles et le groupe des garçons (D'autres critères peuvent être pris en compte, mais celui-ci est généralement le plus simple). Chaque groupe a un rôle, les filles peuvent représenter le gaz et les garçons la poussière (ou inversement). S'il y a une différence substantielle dans le nombre de participants d'un groupe et de l'autre, il est recommandé que le groupe représentant le gaz soit celui qui contient le plus grand nombre de participants, car dans un système planétaire en formation, la masse du gaz est 100 fois supérieure à celle de la poussière.

Lorsque les participants écoutent l'histoire, ils font une action dynamique de ce qu'ils entendent, par exemple :

Texte de l'histoire :	Action des Participants :
Il était une fois un nuage de beaucoup de gaz et un peu moins de poussière.	Tous sont mélangés dans un nuage. Il y a plus de participants représentant le gaz. Dans le nuage, tous les participants se tiennent la main au hasard, formant ainsi un réseau.
Puis ce gaz a commencé à s'accumuler au centre du nuage et autour de lui la poussière.	Ils commencent à se séparer. Les participants représentant le gaz s'accumulent au centre et ceux représentant la poussière se tiennent la main autour du centre.
Il y avait beaucoup de mouvement, les particules de gaz attiraient le gaz et les particules de poussière attiraient la poussière.	Ils se mettent à tourner, à bouger, à s'écraser, à vibrer, à sauter. Certains se mettent à tirer à la suite de tant de mouvements et d'autres « se sauvent », attrapent, embrassent ces particules par identification (gaz avec gaz et poussière avec poussière).
Au centre, un noyau dense et opaque s'est formé, entouré d'un disque de poussière et de gaz.	Ceux qui sont au centre (gaz) s'accumulent et autour d'eux les participants qui représentent la poussière dans une sorte de cercle se prennent par la main. Précision : tout le gaz n'est pas au centre, il y a du gaz éloigné en dehors du cercle.
Ce noyau est celui qui donnerait finalement naissance au Soleil ou à l'étoile mère d'un système extrasolaire.	Le Soleil ou l'étoile mère se met à briller, de sorte que ses rayons doivent être dirigés vers l'extérieur dans toutes les directions. Clarification : Au moment où le soleil ou l'étoile mère commence à briller, le gaz "libre" commence à s'éloigner.
Certaines petites planètes ont été formées par l'union de grains de poussière de plus en plus gros, puis de roches et ainsi de suite jusqu'à la formation de planètes terrestres.	Les participants représentant la poussière qui forme les planètes terrestres commencent à se regrouper. Clarification : toute la poussière ne reste pas sur les planètes terrestres, il doit y avoir un peu de poussière dans les régions les plus éloignées.

<p>Les planètes géantes se sont formées loin de la chaleur du Soleil ou de l'étoile centrale où le gaz pouvait se rassembler sans entrave.</p>	<p>Le reste, les planètes géantes, commencent à se rassembler : beaucoup de gaz et un peu de poussière. Clarification : La baisse de température due à la plus grande distance du Soleil ou de l'étoile mère est la cause des principales différences entre les planètes rocheuses intérieures et les géantes extérieures.</p>
--	--

Tableau 1 : L'histoire pour expliquer la formation d'un système planétaire.



Fig. 3 : Tous sont mélangés dans un nuage. Il y a plus de participants représentant le gaz. Dans le nuage, tous les participants se tiennent la main de manière aléatoire, comme dans un réseau ou en formant un réseau.



Fig. 4 : Les participants commencent à se séparer. Ceux qui représentaient le gaz se rassemblent au centre et ceux qui représentaient la poussière se tiennent la main à l'extérieur.



Fig. 5 : Les participants représentant la poussière qui forme les planètes terrestres commencent à se regrouper.



Fig. 6 : Le reste des participants commence à se rassembler pour former les planètes géantes : beaucoup de gaz et un peu de poussière.

Aspects chimiques de l'évolution stellaire

Ce tableau périodique nous permet de nous rendre compte que les éléments dont nous sommes faits ont été créés dans l'évolution des étoiles.

	Elements which were produced in the first minutes after the Big Bang
	Elements which were forged in the interior of stars
	Elements appearing in supernova explosions
	Man-made elements in the laboratory

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Fig. 7 : Le tableau périodique du point de vue de l'évolution stellaire

Dans le tableau périodique (figure 7), les différents éléments sont classés comme suit :

- 1) Éléments créés dans les premières minutes après le Big Bang. Au départ, l'Univers était essentiellement composé de l'atome le plus simple : l'atome d'hydrogène. Peu de temps après, cela a donné naissance à des éléments légèrement plus élaborés comme l'hélium, le lithium et le béryllium.
- 2) Les éléments qui sont formés dans les noyaux des étoiles par nucléosynthèse sont déjà un peu plus lourds, comme le Bore, le Carbone, l'Azote, l'Oxygène, le Fluor, le Néon, le Sodium, le Magnésium, l'Aluminium, le Silicium, le Phosphore, le Soufre, le Chlore, l'Argon, le Potassium, le Calcium, le Scandium, le Titane, le Vanadium, le Chrome, le Manganèse et le Fer.
- 3) Les éléments les plus lourds formés lors des grandes explosions de supernova constituent le reste du tableau. Certains d'entre eux sont instables mais peuvent être produits en laboratoire.
- 4) Les éléments synthétiques produits par l'homme en laboratoire et qui ne se trouvent pas dans la nature.

Activité 2 : Classification des éléments du tableau périodique

Vous trouverez ci-dessous une liste d'objets qui devront être classés selon les trois niveaux dans trois paniers :

1. Éléments produits dans les premières minutes après le Big Bang (Panier bleu)
2. Éléments formés dans les étoiles (Panier jaune)
3. Éléments qui apparaissent dans les explosions de supernova (Panier rouge)

Il est nécessaire de placer dans un des trois paniers (bleu, jaune et rose) chaque objet de la liste suivante, selon sa constitution :

Anneau : Or Au	Mèche recouverte de : Titane Ti	Du gaz dans le ballon d'un enfant : Hélium He	Les lavettes : Nickel Ni
Batterie de portable Lithium Li	Les bougies d'allumage des voitures : Platine Pt	Fil de cuivre électrique : Cuivre Cu	Solution d'iode : Iode I
Boîte d'allumettes : Phosphore P	Vieille casserole de cuisine : Aluminium Al	Mine de crayon noire : Graphite C	Le soufre pour l'agriculture : Soufre S
Canette de boisson gazeuse : Aluminium Al	Montre-bracelet Titane Ti	Médaille : Argent Ag	Tuyau : Plomb Pb
Taille-crayon en zinc : Zinc Zn	Vieux clou rouillé : Fer Fe	Thermomètre : Gallium Ga	Boîte d'allumettes : Phosphore P

Tableau 2 : Objets à classer.

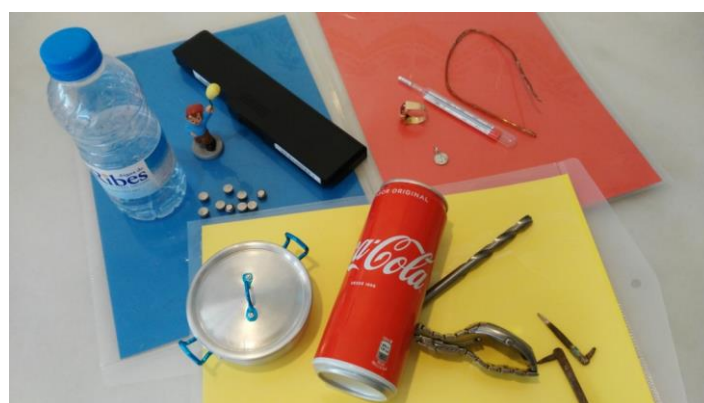


Fig. 8 : Classification correcte. Dans la zone bleue : téléphone portable ou pile bouton : Lithium, Bouteille d'eau H₂O : Hydrogène, Gaz à l'intérieur d'un ballon d'enfant : Hélium. Dans la zone jaune : téléphone portable ou pile bouton : Lithium, Bouteille d'eau H₂O : Hydrogène, Gaz à l'intérieur d'un ballon d'enfant : Hélium : Boîte de boisson gazeuse : Aluminium Al, Bouteille d'eau H₂O : Oxygène O. Mèche de perceuse recouverte de : Titane Ti, Vieille casserole : Aluminium Al, Montre-bracelet en titane Ti, Vieux clou rouillé : Fer Fe, Mine de crayon noire : Graphite C, Soufre dans l'agriculture : Soufre, S, Boîte d'allumettes : Phosphore, P. Dans la zone rouge : Fil de

cuivre électrique : Cuivre Cu, Bougies d'allumage : Platine Pt, Bague : Or Au, Médaille : Argent Ag, Thermomètre : Gallium Ga, Taille-crayon : Zinc Zn, Nettoyant pour casseroles : Nickel Ni, Solution d'iode : Iode, I, Anciennes canalisations d'eau, Plomb, Pb.

Activité 3 : Les enfants des étoiles

Les éléments chimiques qui sont considérés comme essentiels à la vie présentent les caractéristiques suivantes :

- Une insuffisance de l'élément provoque des déficiences fonctionnelles (réversibles lorsqu'il est à nouveau dans les concentrations appropriées). Lorsque l'organisme manque de cet élément, il ne se développe pas et ne termine pas son cycle de vie. Cet élément influence directement l'organisme et est impliqué dans ses processus métaboliques.
- L'effet de cet élément ne peut être remplacé par aucun autre élément.

Ci-dessous la liste des bioéléments présents chez l'homme classés en fonction de leur abondance.

Éléments abondant					Éléments trace					Éléments essentiels							
<u>H</u>															He		
<u>Li</u>	Be										<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	Ne	
<u>Na</u>	<u>Mg</u>										Al	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	Ar	
<u>K</u>	<u>Ca</u>	Sc	Ti	<u>V</u>	<u>Cr</u>	<u>Mn</u>	<u>Fe</u>	<u>Co</u>	<u>Ni</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	Ga	Ge	<u>As</u>	<u>Se</u>	<u>Br</u>	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	<u>Mo</u>	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	<u>Cd</u>	In	<u>Sn</u>	Sb	Te	<u>I</u>	Xe

Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Fig. 9 : Tableau périodique d'éléments essentiels pour la vie

- Éléments abondants : oxygène, carbone, hydrogène, azote, calcium, phosphore, potassium, soufre, sodium, chlore, fer et magnésium.
- Oligo-éléments : fluor, zinc, cuivre, silicium, vanadium, manganèse, iode, nickel, molybdène, chrome et cobalt.

Tous les êtres vivants n'ont pas les mêmes proportions d'éléments essentiels. La figure 9 met en évidence les éléments essentiels ainsi que certains qui pourraient être reconnus comme tels : le lithium, le cadmium, l'arsenic et l'étain.

En comparant le tableau périodique de la figure 7 avec celui de la figure 9, on constate que tous les éléments majeurs (sauf l'hydrogène) ont été produits dans les étoiles. Sans les éléments plus lourds créés par l'évolution stellaire, nous ne pourrions pas exister. Pour ce qui est des éléments qui apparaissent seulement comme traces, il y en a qui se sont formés dans l'étoile et d'autres dans une explosion de supernova. Cependant, la majorité provient des réactions de la synthèse des noyaux dans les noyaux des étoiles : Nous sommes les enfants des étoiles ! Nous sommes faits de poussière d'étoiles !

Bien que ce ne soit pas l'objectif principal de cet atelier, ce serait un bon exercice de réaliser un tableau périodique attribuant un objet quotidien à chaque élément et/ou une expérience impliquant cet élément. Cela devrait permettre aux élèves de mieux comprendre le tableau périodique.

Le Soleil n'est pas une étoile de première génération

Les étoiles de la première génération sont essentiellement constituées d'hydrogène et d'hélium provenant du Big Bang (et d'un peu d'hélium qu'elles ont elles-mêmes généré). Les étoiles qui comprennent des éléments plus lourds se sont formées à partir d'un nuage initial qui contenait les restes d'explosions de supernova. Les explosions de supernova ont créé les éléments plus lourds par fusion. Par exemple, le spectre solaire présente un ensemble distinct de raies spectrales du sodium qui suggère qu'en raison de sa faible masse et de son état d'évolution, il ne peut pas être une étoile de première génération. Le sodium ne peut pas avoir été généré par le soleil. De plus, dans les planètes du système solaire, une multitude d'éléments qui surviennent après l'explosion d'une supernova sont détectés. C'est une théorie raisonnable que le Soleil s'est formé à partir d'un nuage initial des restes d'au moins deux explosions de supernova. Par conséquent, le Soleil peut être considéré comme une étoile de troisième génération.

Regardons quelques exemples de spectres présentés ci-dessous : le spectre d'une étoile de première génération où seules les lignes des éléments primitifs peuvent être vues (figure 10). Le spectre solaire avec les raies de sodium déjà mentionnées est clairement visible (figure 12).

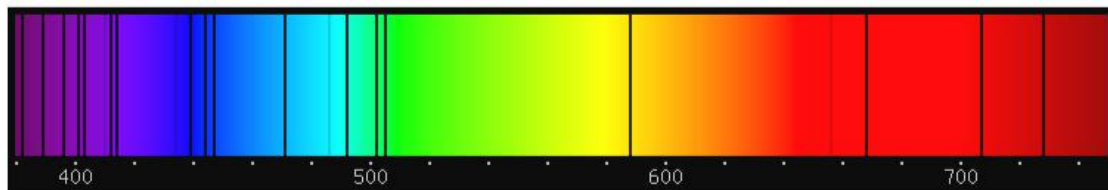


Fig. 10 : Spectre d'étoiles de première génération (impression d'artiste). Ces étoiles sont principalement des dizaines ou des centaines de fois plus massives que le Soleil. Elles ont vécu vite, sont mortes jeunes et n'ont pas survécu à ce jour. Il n'y aurait que des raies spectrales d'hydrogène, d'hélium et un peu de lithium.

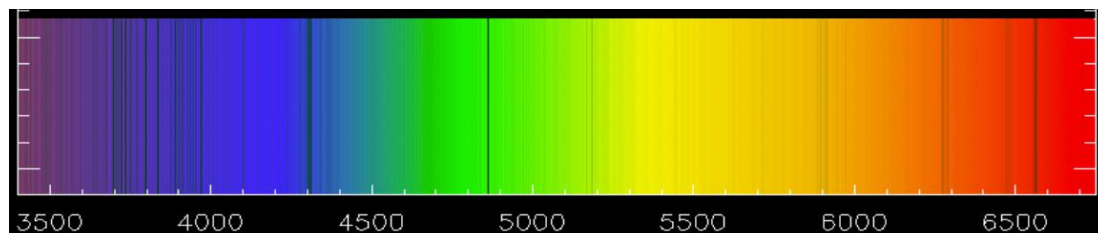


Fig. 11 : Spectre du SMSS J031300.36-670839.3, une étoile de deuxième génération qui ne montre que des raies d'hydrogène et de carbone.

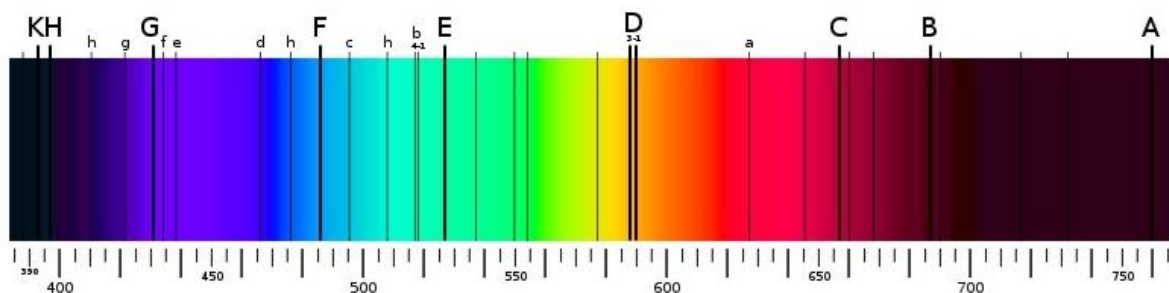


Fig. 12 : Spectre du soleil. Avec de nombreuses raies spectrales de divers éléments et parmi eux, le sodium (marqué en caractères gras).

Zone d'habitabilité

Quand on parle de vie, on suppose généralement qu'il s'agit de formes de vie à base de carbone et on définit ainsi un critère central d'habitabilité, qui est la présence d'eau liquide. La région autour d'une étoile dans laquelle le flux de rayonnement à la surface de toute planète rocheuse (ou satellite) permettrait la présence d'eau à l'état liquide est appelée zone d'habitabilité stellaire. Elle se produit généralement sur des corps (ou à la surface de corps ayant une masse) d'une masse comprise entre 0,5 et 10 Mt et une pression atmosphérique supérieure à 6,1 mbar, ce qui correspond au point triple de l'eau à une température de 273,16 K (lorsque l'eau coexiste sous forme de glace, de liquide et de vapeur).

La zone d'habitabilité dépend de la masse de l'étoile. Si la masse d'une étoile augmente, sa température et sa luminosité augmentent et, par conséquent, la zone d'habitabilité est de plus en plus éloignée.

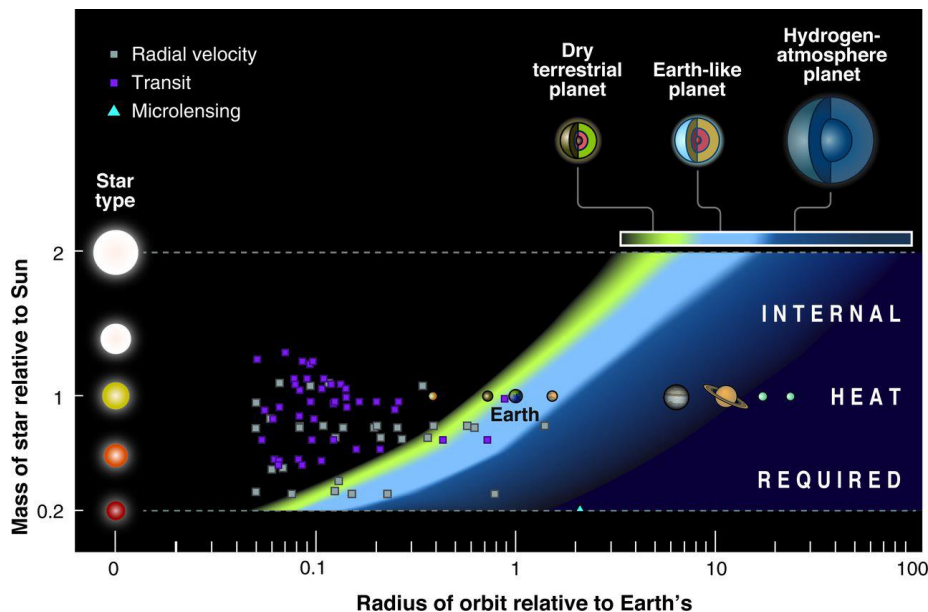


Fig 13 : Zone d'habitabilité déterminée par l'étoile hôte.

Le fait qu'une planète se trouve dans la zone d'habitabilité n'implique pas qu'il doit y avoir de la vie. Par exemple, dans notre système solaire, la zone d'habitabilité comprend les planètes Terre et Mars, mais des deux, la seule dans laquelle la vie est connue est sur Terre. La zone d'habitabilité pour le système solaire est comprise entre 0,84 UA et 1,67 UA. Vénus se situe à 0,7 UA avec un effet de serre non contrôlé et Mars se situe à 1,5 UA sans eau de surface, mais il pourrait bien y avoir de l'eau souterraine gelée.

Outre l'existence d'eaux de surface liquides, il existe d'autres conditions pour l'habitabilité d'une planète. Voyons en détail les plus importantes :

- **Une distance orbitale** de la planète qui la place dans la zone habitable est une condition nécessaire mais non suffisante pour qu'une planète soit hospitalière à la vie. Exemple : Vénus et Mars.
- Un facteur qui influence de manière décisive l'habitabilité est **la masse de la planète. Celle-ci doit être suffisamment importante** pour que sa gravité puisse retenir l'atmosphère. C'est la principale raison pour laquelle Mars n'est pas habitable actuellement, car elle a perdu la majeure partie de son atmosphère et toute l'eau de surface qu'elle avait dans son premier milliard d'années.

En tout état de cause, il peut arriver que, bien que les planètes ne soient pas dans la zone d'habitabilité, les facteurs nécessaires à l'existence d'un certain type de vie puissent exister, soit sur les planètes elles-mêmes, soit sur certaines de leurs lunes. Ce pourrait être le cas pour certaines lunes de Jupiter ou de Saturne.

Astrobiologie préliminaire : Le processus de formation de l'atmosphère terrestre

La connaissance de la photosynthèse est essentielle pour comprendre les relations entre les êtres vivants et l'atmosphère, et pour comprendre l'équilibre de la vie sur Terre, étant donné l'impact profond qu'elle a sur l'atmosphère et le climat de la Terre.

La photosynthèse est un processus physico-chimique par lequel les plantes, les algues et certaines bactéries photosynthétiques utilisent l'énergie de la lumière du soleil pour synthétiser des composés organiques. C'est un processus fondamental pour la vie sur Terre et il a un impact profond sur l'atmosphère et le climat de la Terre : chaque année, les organismes dotés d'une capacité de photosynthèse convertissent plus de 10 % du dioxyde de carbone atmosphérique en hydrates de carbone. Cela signifie que l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone atmosphérique générée par l'activité humaine a un grand impact sur la photosynthèse. Du point de vue de l'évolution, l'apparition de la photosynthèse oxygénée (celle qui produit l'oxygène) a été une véritable révolution pour la vie sur Terre : elle a modifié l'atmosphère terrestre en l'enrichissant, ce qui a permis l'émergence d'organismes qui utilisent l'oxygène pour vivre.

La photosynthèse oxygénée	Photosynthèse non oxygénée
$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + 1/2\text{O}_2$	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \text{S}$

Fig. 14 : Photosynthèse oxygénée et non oxygénée.

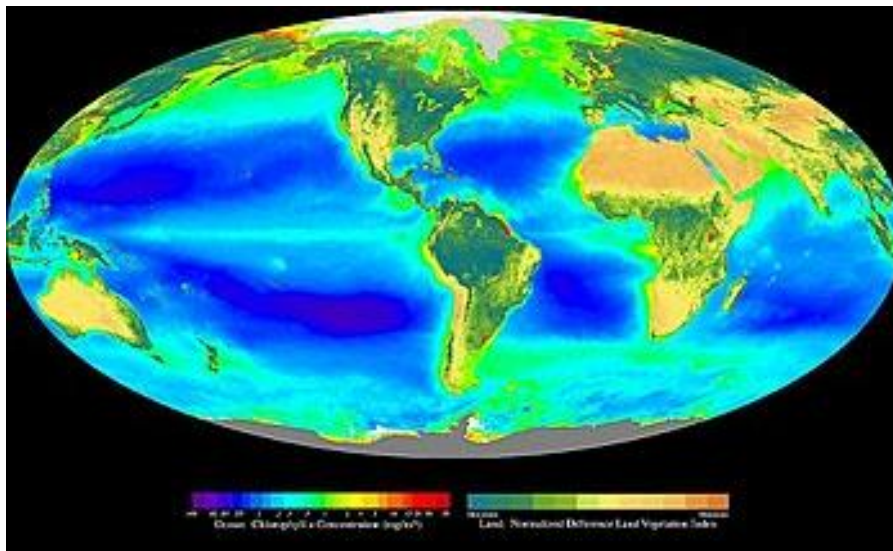


Fig. 15 : L'image montre la répartition de la photosynthèse dans le globe terrestre, réalisée à la fois par le phytoplancton océanique et par la végétation terrestre.

Les choses n'ont pas toujours été ce que nous connaissons aujourd'hui ; l'évolution de la Terre, l'évolution de l'atmosphère primitive, l'évolution des métabolismes primitifs, constituent un cadre d'événements qui conduit à des bactéries phototrophes qui utilisent la lumière comme source d'énergie mais libèrent du soufre (appelé photosynthèse non oxygénée car elle ne libère

pas d'oxygène). Plus tard, la photosynthèse oxygénée apparaît sur Terre. Elle libère de l'oxygène dans l'atmosphère, augmentant sa concentration et permettant la grande explosion de vie que nous connaissons aujourd'hui. On peut dire que l'atmosphère primitive de notre planète contenait à peine des traces d'oxygène. Mais il y avait de la vie avant. Et on s'accorde à dire que l'air que nous respirons aujourd'hui, avec 21% d'oxygène, est un produit de l'activité biologique de la Terre et qu'il est très différent de l'atmosphère de la Terre primitive.

Le processus de formation de la matière organique. Pourquoi les plantes sont-elles vertes?

La vie sur notre planète se maintient fondamentalement grâce à la photosynthèse que les algues et certaines bactéries réalisent dans le milieu aquatique et que les plantes réalisent dans le milieu sec (à la surface de la Terre). Toutes ont la capacité de synthétiser de la matière organique (essentielle à la constitution des êtres vivants) à partir de la lumière et de la matière inorganique. En effet, chaque année, les organismes photosynthétiques fixent environ 100 milliards de tonnes de carbone sous forme de matière organique.

Les premières étapes de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique dépendent de molécules appelées pigments photosynthétiques. Le terme "pigment" est utilisé pour décrire une molécule qui a la capacité de capturer l'énergie des photons (excitant les électrons à partir de leurs niveaux d'énergie dans les atomes ; une molécule qui est "excitée par la lumière"). Tous les pigments biologiques absorbent sélectivement certaines longueurs d'onde de la lumière tout en en réfléchissant d'autres.

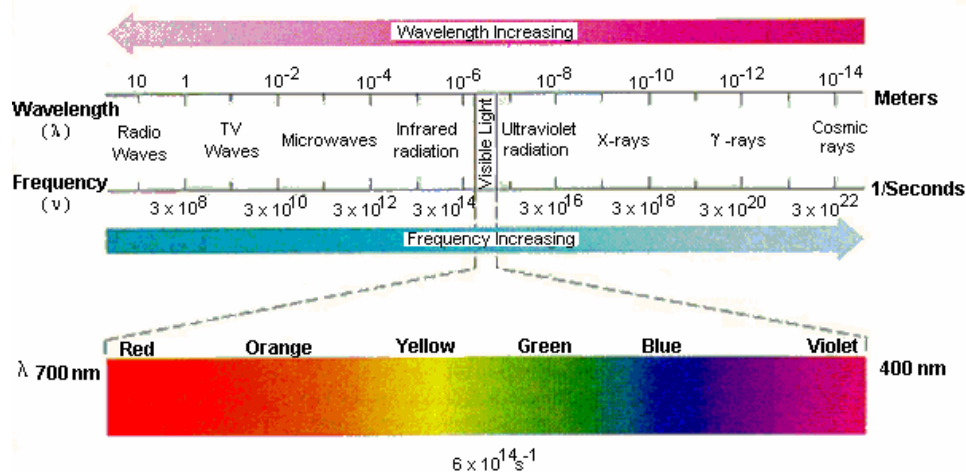


Fig. 16 : Le spectre de la lumière visible.

La lumière du soleil est composée de différentes couleurs ; chacune a une longueur d'onde différente qui se situe entre 400 et 700 nm. La chlorophylle absorbe l'énergie de la lumière rouge et bleue, mais pas celle de la lumière verte. La couleur verte est réfléchiée par la feuille et nos yeux la voient verte.

Activité 4 : Production d'oxygène à partir du CO₂ en utilisant la photosynthèse ou la fonction chlorophyllienne

Dans cette manipulation expérimentale, nous utiliserons les feuilles d'une plante pour produire de l'oxygène grâce au bicarbonate de sodium, au carbone et à la lumière d'une lampe. Nous utiliserons deux bocaux en verre transparent sur lesquels nous placerons des filtres bleus et rouges.

Les feuilles vertes des légumes doivent être fraîches, consistantes et entièrement vertes, c'est pourquoi il est conseillé d'utiliser des épinards ou des betteraves à feuilles. À l'aide d'un poinçon ou d'une perforatrice à papier, nous découperons des disques de feuilles uniformes (calculer pour avoir 10 disques par bouteille, en évitant les zones avec des nervures centrales).

Nous allons préparer une solution de 2,5 % de bicarbonate de sodium, c'est-à-dire 25 g de bicarbonate pour 1 litre d'eau, dans le but d'en imprégner les disques découpés dans les feuilles. Nous espérons augmenter la quantité de carbone disponible sous forme de bicarbonate de sodium, ce qui rendra plus visible et accélérera le phénomène que nous souhaitons observer. Nous mettons 20 mL de la solution de bicarbonate de sodium dans chaque bocal en verre.

On retire le piston d'une seringue jetable de 10 mL et on place les disques dedans, puis on place doucement le piston et on aspire 10 mL de la solution de bicarbonate jusqu'à ce que les disques soient en suspension dans la solution.

Nous devons remplacer l'air dans les disques par la solution de bicarbonate. Pour ce faire, il faut sceller l'extrémité de la seringue avec un doigt et aspirer fermement, en essayant de faire le vide, puis relâcher. Dans les espaces internes du tissu végétal, l'air sera remplacé par la solution de bicarbonate : de cette façon, les disques ne flotteront pas dans la solution de bicarbonate, et la solution sera une source de carbone disponible et prochaine des structures photosynthétiques de la feuille.

Nous plaçons les disques de feuilles ainsi traités dans chaque bocal de verre (qui contiennent à leur tour une solution de bicarbonate à 2,5 %). On recouvre l'un des bocaux d'une feuille d'aluminium et on recouvre l'autre bocal avec le papier cellophane coloré. Une lampe doit être installée sur chaque flacon (avec le papier qui le recouvre), de sorte que le faisceau lumineux affecte l'échantillon à étudier : les deux lampes à la même distance (il est nécessaire d'avoir des sources lumineuses individuelles pour chaque flacon, de même puissance, pas moins de 70 W : elles peuvent être fluorescentes, mais l'utilisation de LED est recommandée ; évitez les lampes à incandescence, comme les lampes halogènes, car elles perdent beaucoup d'énergie sous forme de chaleur).



Fig. 17 et 18 : La solution et les lampes avec filtre rouge et avec filtre bleu.

Lorsque nous allumons la lumière, on commence à mesurer le temps avec un chronomètre. Nous enregistrons le temps nécessaire pour que les disques commencent à monter dans la solution.

Le processus n'est pas immédiat, il peut prendre environ 5 minutes pour que les disques commencent à monter (cela dépend de l'intensité des lumières et de la distance à laquelle la lampe est placée). Les disques commencent à s'élever en libérant de l'oxygène sous forme de bulles, ce qui favorise l'ascension. On notera que le mouvement dans chaque bouteille se produit à des moments différents, en fonction de la couleur de la lumière : il est plus rapide pour la lumière bleue. Nous démontrons ainsi que la composante énergétique supérieure du rayonnement électromagnétique est la plus efficace dans le processus. Le taux de photosynthèse est directement lié au temps nécessaire aux disques pour commencer à monter, un phénomène lié à la production d'oxygène. Le taux de photosynthèse est plus élevé pour le bleu que pour le rouge. Par conséquent, avec cette expérience, nous démontrons comment les plantes et autres organismes photosynthétiques sont responsables de l'existence de l'oxygène dans notre atmosphère. Le remplacement de l'air par la solution de bicarbonate accélère le processus et nous permet de le visualiser en moins de temps.

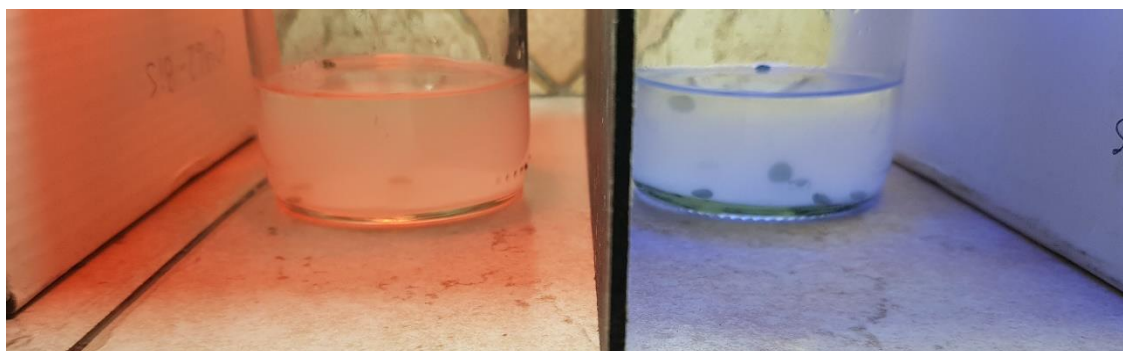


Fig. 19 et 20 : Les solutions avec les lampes de différentes couleurs montrant les disques s'élèvent différemment dans chaque cas.

En outre, au fil du temps, l'interaction du rayonnement UV du Soleil avec les molécules d'oxygène a généré de l'ozone (O₃). Ce processus nous protège des rayons UV les plus énergiques, mais laisse passer les UVA et les UVB, qui font la synthèse de la vitamine D dans la peau humaine.

Variations alternatives à explorer : concentration de bicarbonate dans la solution utilisée, température, sources de lumière de différentes couleurs et intensités (en gardant le reste des conditions constantes et en contrôlant l'obscurité dans tous les cas), feuilles pré-exposées à la lumière ou à l'obscurité, etc.

Activité 5 : Vérifier la possibilité de vivre dans des conditions extrêmes

La fermentation pour produire de l'alcool est un processus anaérobie effectué par des levures (champignons). Avec les bactéries, le processus de fermentation est à la base de l'obtention d'énergie dans les micro-organismes. Les levures transforment le sucre (glucose) en alcool éthylique ou éthanol et en dioxyde de carbone. La fermentation est un processus à faible rendement énergétique, tandis que la respiration est beaucoup plus rentable et plus récente du point de vue de l'évolution.

Ainsi, comme le sucre est transformé en alcool éthylique et en dioxyde de carbone, nous baserons notre expérience sur la présence de ce gaz. Si nous en observons la présence, nous saurons qu'il y a eu fermentation et donc que la possibilité de vie a été testée.

Les expériences en microbiologie demandent du temps pour parvenir à des conclusions fiables. Dans notre cas, la présence ou l'absence de dioxyde de carbone nous permettra de savoir si, compte tenu d'un changement des conditions environnementales, nous pouvons en déduire que la vie est possible. Dans tous les cas de notre expérience, nous partons d'une culture dans laquelle l'eau est présente. Afin d'avoir suffisamment de temps pour observer l'évolution de l'expérience, celle-ci est préparée au début de l'atelier et la situation des 7 différentes procédures peut être observée au bout d'une heure.

Pour cela, nous utiliserons 1 cuillère à soupe de levure (utiliser la levure pour faire du pain qui peut être acheté dans un supermarché), c'est un microorganisme vivant facile à obtenir, 1 verre d'eau chaude (un peu plus d'un demi-verre entre 22° et 27° C) et 1 cuillère à soupe de sucre que les microorganismes peuvent consommer.

Nous utiliserons la même procédure pour l'expérience de contrôle et les autres expériences développées dans des conditions extrêmes.

Procédure pour l'expérience de contrôle

Le sucre est dissous dans de l'eau chaude dans une tasse en verre. Ensuite, la levure est ajoutée et mélangée à l'aide d'une cuillère. Ensuite, le mélange obtenu est placé dans un sac en plastique avec une fermeture éclair (il n'est pas possible de faire entrer de l'air à l'intérieur). Tout l'air est extrait de l'intérieur (en l'étalant sur la table et en le pressant avec les mains étendues) avant de le sceller. Il est important de faire attention à ne pas laisser d'air à l'intérieur du sac. Après 5

minutes, nous observons comment le dioxyde de carbone a commencé à s'accumuler dans le sac. Au bout de 20 minutes, des bulles apparaissent à l'intérieur du sac en raison de la libération de ce gaz, l'un des produits finaux de la fermentation qui se produit à l'intérieur du sac. La présence de ce gaz montre que les microorganismes sont vivants.



Fig. 21 : L'expérience de contrôle avec des bulles de dioxyde de carbone qui montrent l'existence de la vie

Procédure sur une "planète alcaline" (par exemple, NEPTUNE ou Titan tous les deux ont de l'ammoniac) : Répétez l'expérience en utilisant tout matériau "de base" disponible (bicarbonate de sodium, ammoniac ...) dans l'eau et attendez de voir si des bulles apparaissent, c'est-à-dire si les micro-organismes peuvent vivre ou non. Échelles de pH Alcalin : Bicarbonate de sodium : pH 8,4 et ammoniac domestique : pH 11.

Procédure dans une "planète saline" (par exemple MARS ou Ganymède sont censés d'avoir de l'eau avec une forte concentration en sel). Répétez l'expérience en dissolvant différentes quantités de chlorure de sodium (sel commun) dans l'eau du robinet.



Fig. 22 et 23 : La solution alcaline et la solution saline toutes deux avec des bulles

Procédure sur une "planète acide" (par exemple VENUS qui a des pluies d'acide sulfurique) : Répétez l'expérience en dissolvant du vinaigre, du citron... ou tout autre acide disponible dans l'eau. pH balances Acide : Vinaigre : pH 2,9 et citron : pH 2,3.

Procédure sur une "planète glacée" (par exemple Europe ou Yrappiste-1 h)

Placez le sac dans un récipient rempli de glace et observez s'il y a de l'activité, c'est-à-dire si le sac gonfle. Si un réfrigérateur ou un congélateur est disponible, il peut également être utilisé. Si les bulles n'apparaissent pas, il n'y a pas de vie.

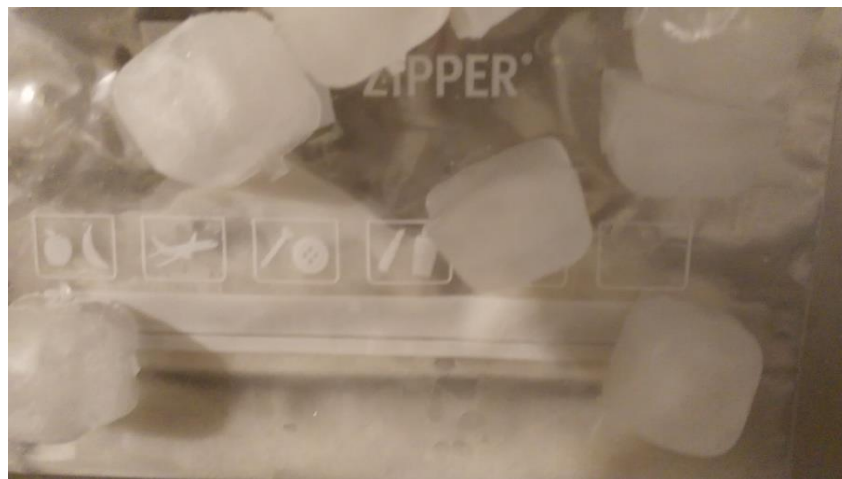


Fig. 24. La solution congelée sans bulles

Procédure sur une "planète avec UV" (par exemple MARS) : Effectuez la même expérience mais en gardant le sachet bien serré avec de la levure et du sucre sous l'action de la lumière UV produite par une lampe spéciale pour cela. Si la lampe UV utilisée est de haute énergie (UV-C) ou (UV-B), aucune bulle n'apparaîtra, ce qui signifie qu'aucune vie n'est possible. Mais les lampes commercialisées, appelées "lumière noire", sont des ultraviolets de faible énergie (UV-A), c'est-à-dire qu'elles ne sont pas dangereuses pour la vie et sont souvent utilisées dans le jardinage pour les bons résultats qu'elles donnent en facilitant la croissance des plantes. En utilisant ce type de lampes, on observe qu'un plus grand nombre de bulles se forment. Si des bulles apparaissent, il y a de la vie.

Procédure sur une "planète chaude" (par exemple VENUS en raison de l'effet de serre)
Faites la même expérience avec de l'eau très chaude. Dans le cas de Vénus, nous devons utiliser de l'eau bouillante. (Si l'on dispose d'un thermomètre, on peut répéter l'expérience à différentes températures et obtenir un tableau d'activités à ces températures). Si des bulles apparaissent, il y a de la vie.

Planètes et exoplanètes présentant des conditions extrêmes et similaires à celles utilisées dans cette activité

VENUS. Elle possède une atmosphère dense, composée principalement de dioxyde de carbone et d'une petite quantité d'azote. La pression au niveau de la surface est 90 fois plus élevée que la pression atmosphérique à la surface de la Terre. L'énorme quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère provoque un fort effet de serre qui fait **monter la température de la surface de la planète à environ 464 °C dans les régions moins élevées proches de l'équateur.** Cela

rend Vénus plus chaude que Mercure, bien qu'elle soit plus de deux fois plus éloignée du Soleil, où elle ne reçoit que 25 % de son rayonnement solaire. Les nuages sont principalement composés de gouttelettes de dioxyde de soufre et d'acide sulfurique et recouvrent entièrement la planète, cachant les détails de la surface à l'observation visuelle extérieure.

MARS. Sous la surface glacée de ce monde désertique, il pourrait y avoir de l'eau salée. **Cette eau pourrait abriter des formes de vie capables de tolérer ces conditions extrêmes.** Dans le passé, c'était un endroit très différent. Nous savons qu'il aurait pu ressembler à la Terre. Il y avait des océans, des volcans et une atmosphère aussi dense que la nôtre, riche en dioxyde de carbone, mais cela n'aurait pas été un obstacle à la vie microbienne. **La seule chose qui manquait à la planète rouge et qui lui a valu une fin si différente de la nôtre, était un champ magnétique.** La faible gravité et l'absence de champ magnétique ont permis au vent solaire de retirer lentement son atmosphère. De plus, Mars est une planète qui reçoit à sa surface le rayonnement solaire ultraviolet (UV) avec une forte composante biologiquement très nocive (UV-C et UV-B), qui influence notamment la détérioration de la surface afin de trouver un signe de vie.

NEPTUNE. La structure interne de Neptune ressemble à celle d'Uranus : un noyau rocheux recouvert d'une croûte glacée, caché sous une épaisse atmosphère. Les deux tiers intérieurs de Neptune sont composés d'un mélange de roche en fusion, d'eau, d'ammoniac liquide et de méthane. Le tiers extérieur est un mélange de gaz chaud composé d'hydrogène, d'hélium, d'eau et de méthane. Son atmosphère représente environ 7 % de sa masse. À de grandes profondeurs, l'atmosphère atteint des pressions environ 100 000 fois supérieures à celles de l'atmosphère terrestre. **Les concentrations de méthane, d'ammoniac et d'eau augmentent des régions extérieures vers les régions intérieures de l'atmosphère.**

Ganymède, le satellite de Jupiter, est composé de silicates et de glace, avec une croûte de glace qui flotte au-dessus d'un manteau boueux qui pourrait contenir **une couche d'eau liquide à forte concentration** de sel. Les premiers survols de Ganymède par le vaisseau spatial Galileo ont permis de découvrir que le satellite possède sa propre magnétosphère. Celle-ci est probablement générée de la même manière que la magnétosphère terrestre, c'est-à-dire qu'elle résulte du mouvement d'un matériau conducteur à l'intérieur.

Titan, le satellite de Saturne. **On pense qu'il existe également un océan souterrain d'eau dans lequel de l'ammoniac est dissous** jusqu'à une profondeur de 100 kilomètres sous la surface, et peut-être un autre d'hydrocarbures. L'atmosphère est composée à 94% d'azote et est la seule atmosphère riche en azote dans le système solaire, à part notre propre planète. Le reste est constitué de traces importantes de divers hydrocarbures. La glace est très similaire à celle qui existe aux pôles de la Terre, à savoir de la glace à la dérive.

Europe, le satellite de Jupiter. Europe a **une surface glacée et un océan d'eau liquide** sous la surface. Son atmosphère est mince et de faible densité, mais elle est composée d'oxygène. La glace est très semblable à celle qui existe aux pôles de la Terre, de la glace à la dérive. Europe a un noyau de nickel-fer entouré d'un manteau rocheux chaud, au-dessus duquel se trouve un océan d'eau liquide d'une profondeur d'environ 100 km, dont les géologues discutent, et d'une surface glacée de 10 km.

Activité 6 : Trouver une seconde Terre

La Terre est la seule planète connue qui abrite la vie. Donc si nous recherchons une planète avec une vie extra-terrestre, il est bon de chercher des planètes offrant des conditions similaires. Mais quels sont les paramètres importants ?

Le tableau suivant énumère quelques exoplanètes ayant certaines propriétés. Éliminez les exoplanètes qui ne conviennent pas à la vie et trouvez peut-être une deuxième Terre. Vous pouvez trouver quelques critères d'après le tableau.

Nom de l'exoplanète	Masse En masses de Terre	Rayon En rayons de la Terre	Distance à l'étoile En UA	Masse d'étoiles En masses du Soleil	Type spectral des étoiles/température de surface
Beta Pic b	4100	18.5	11.8	1.73	A6V
HD 209458 b	219.00	15.10	0.05	1.10	G0V
HR8799 b	2226	14.20	68.0	1.56	A5V
Kepler-452 b	Inconnu	1.59	1.05	1.04	G2V
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
Luyten b	2.19	Inconnu	0.09	0.29	M3.5V
Tau Ce c	3.11	Inconnu	0.20	0.78	G8.5V
TOI 163 b	387	16.34	0.06	1.43	F
Trappist-1 b	0.86	1.09	0.01	0.08	M8
TW Hya d (non confirmé)	4	Inconnu	24	0.7	K8V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V
Kepler-138c	1.97	1.20	0.09	0.57	M1V
Kepler-62f	2.80	1.41	0.72	0.69	K2V
Proxima Centauri b	1.30	1.10	0.05	0.12	M5V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V
KIC 5522786 b	Inconnu	1.21	1.98	1.79	A

Tableau 3 : Candidats pour une seconde Terre.

Rayon et masse

Dans notre système solaire, il y a des planètes terrestres (Mercure, Vénus, Terre, Mars) et des planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune). Les planètes terrestres semblables à la

Terre sont composées de roches de silicate et de métaux et ont une densité plus élevée que les planètes géantes. Le rayon et la masse de la planète sont de bons indicateurs d'une densité appropriée.

Nous utilisons la définition de l'équipe de la mission Kepler : Les planètes de la taille de la Terre et les super-terrestres ont un rayon inférieur à 2 rayons terrestres. Les masses terrestres plus grandes de 10, sont considérées comme une limite supérieure pour les planètes de taille super-terrestres.

Zone Habitable

La zone habitable est la plage d'orbites autour d'une étoile à l'intérieur de laquelle une surface planétaire peut supporter de l'eau liquide.

Les étoiles de la séquence principale sur lesquelles nous nous concentrons ont une corrélation directe entre la luminosité et la température de surface de l'étoile. Plus la température de surface est élevée, plus l'étoile est brillante et plus la zone habitable est éloignée. Les types spectraux indiquent la température de surface (voir le tableau ci-dessous).

Type spectral	Température/ K	Zone habitable/AU
O6V	41 000	450-900
B5V	15 400	20-40
A5V	8 200	2.6-5.2
F5V	6 400	1.3-2.5
G5V	5 800	0.7-1.4
K5V	4 400	0.3-0.5
M5V	3 200	0.07-0.15

Tableau 4 : Zone habitable en fonction du type spectral.

Les types spectraux sont classés par une lettre (O, B, A, F, G, K, M) et subdivisés par un chiffre de 0 à 9 (0 est le plus chaud dans un type spectral donné). Le V indique une étoile de séquence principale.

Conseil : si le type spectral d'une étoile est légèrement différent ou si le sous-type est inconnu, utilisez les valeurs données pour la zone habitable comme approximation.

Messe de l'étoile d'accueil

Pour étudier l'habitabilité dans un système planétaire autour des étoiles de séquence principale, il faut considérer l'évolution de l'étoile hôte.

Environ 1 milliard d'années après la formation de la Terre, les premières formes de vie sont apparues. Peut-être y avait-il de la vie même avant, mais cela est incertain. Ainsi, l'étoile hôte doit être stable pendant au moins $\sim 10^9$ ans pour que la vie puisse évoluer.

L'énergie qu'une étoile peut produire à partir de la fusion de l'hydrogène est proportionnelle à sa masse. Et vous obtenez le temps de la séquence principale en divisant cette énergie par la luminosité de l'étoile. Si vous utilisez cette proportionnalité et en utilisant le Soleil comme référence, on obtient la première partie de la formule, à partir de ces considérations, on peut estimer la durée de vie de la séquence principale d'une étoile :

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(L^*/L_s)$$

Pour les étoiles naines normales ou la séquence principale du diagramme H-R, la luminosité est approximativement proportionnelle à la masse portée à la puissance d'environ 3,5. $L \propto M^{3.5}$

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(M^{3.5}/M_s^{3.5}) = (M^*/M_s)^{-2.5}$$

$$t^*/t_s = (M_s/M^*)^{2.5}$$

Qui donne la durée de vie d'une étoile comme une fraction de la durée de vie prévue du Soleil (1010 ans). Une version simplifiée de cette formule est :

$$t^* \sim 10^{10} \times (M_s/M)^{2.5} \text{ années}$$

Calculons une limite supérieure pour la masse de l'étoile si l'intervalle de temps de la séquence principale est d'au moins 3 milliards d'années.

$$M^* = (10^{-10} \times t)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = (10^{-10} \times 3\,000\,000\,000)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = 1.6 M_s$$

Nous voyons que pour les étoiles de masse $> 2M_s$, la durée de vie de la séquence principale tombe en dessous de 1 année galactique (temps pour faire le tour du centre galactique 250 millions d'années), donc, même si des planètes habitables existent autour d'elles, la vie n'aurait probablement pas assez de temps pour évoluer.

Bibliography

- Álvarez, C., y otros, *Guia Libreciencia Taller Abril*, Argentina 2018,
- Anderson, M., *Habitable Exoplanets: Red Dwarf Systems Like TRAPPIST-1*, 2018
- Goldsmith, D., *Exoplanets: Hidden Worlds and the Quest for Extraterrestrial Life*, Harvard University Press, 2018
- Prieto, J., Orozco, P., *Estudios de Astrobiología*, Actas Ciencia en Acción , Viladecans, 2018
- Summers M, Trefil, J., *Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets, and the New Search for Life beyond Our Solar System* , Smithsonian Books; 2018
- Tasker, E. *The Planet Factory: Exoplanets and the Search for a Second Earth*, Bloomsbury Sigma, 2017

