

Éléments d'Astrobiologie

**Rosa M. Ros, Beatriz García, Alexandre 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, Algeciras, Spain, SENACYT, Panama*



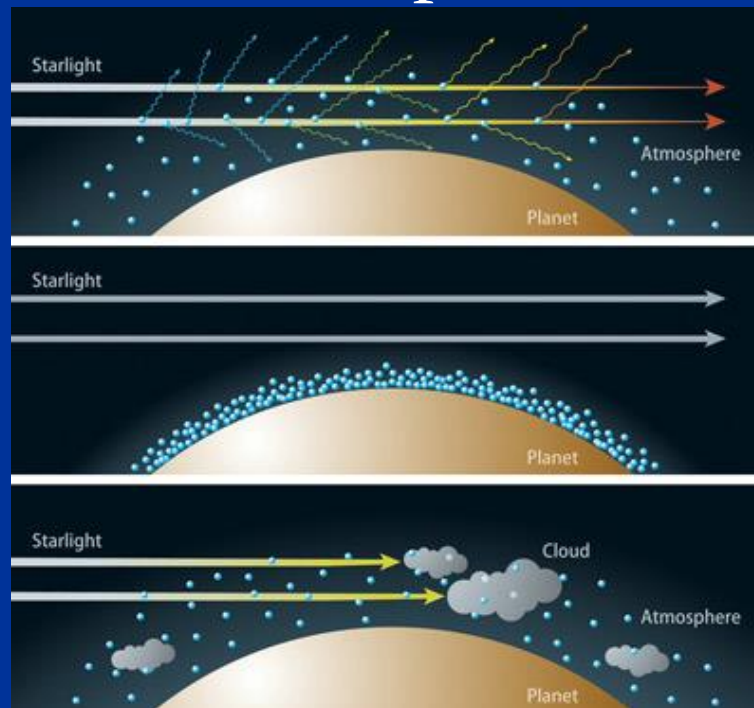
Objectifs

- Comprendre d'où proviennent les différents éléments du tableau périodique.
- Comprendre les conditions d'habitabilité nécessaires au développement de la vie.
- Gérer les directives minimales de la vie en dehors de la terre.



Formation des systèmes planétaires

Lors de la formation d'une étoile, son système planétaire est également constitué des restes de matière proche de l'étoile. La spectroscopie est utilisée pour connaître la composition de l'étoile et est également utilisée pour connaître l'atmosphère des exoplanètes.



Activité 1 : Formation du système planétaire à partir de gaz et de poussières

Le groupe est divisé en deux : les filles (gaz) et les garçons (poussière). (S'il y a une différence substantielle dans le nombre de participants d'un groupe et d'un autre, il est recommandé que le groupe représentant le gaz soit le plus grand, car, dans un système planétaire en formation, la masse du gaz est 100 fois celle de la poussière).

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



Activité 1 : Formation du système planétaire à partir de gaz et de poussières

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.



Activité 1 : Formation du système planétaire à partir de gaz et de poussières

Texte de l'histoire :

Il y avait beaucoup de mouvement, les particules de gaz attiraient le gaz et les particules de poussière attiraient la poussière.

Au centre, un noyau dense et opaque s'est formé, entouré d'un disque de poussière et de gaz.

Action des Participants :

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).

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.



Activité 1 : Formation du système planétaire à partir de gaz et de poussières



Activité 1 : Formation du système planétaire à partir de gaz et de poussières

Texte de l'histoire :

Ce noyau est celui qui donnerait finalement naissance au Soleil ou à l'étoile mère d'un système extrasolaire.

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.

Action des Participants :

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.

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.



Activité 1 : Formation du système planétaire à partir de gaz et de poussières

Texte de l'histoire :

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.

Action des Participants :

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.

Activité 1 : Formation du système planétaire à partir de gaz et de poussières



Activité 2 : Spectre d'émission

La spectroscopie nous permet de connaître certaines informations sur la composition chimique des exoplanètes et de leurs atmosphères. On peut visualiser le spectre d'une ampoule avec un DVD (on voit les raies des gaz qu'elle contient à l'intérieur)



Aspects chimiques de l'évolution stellaire

	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



Activité 3: Tableau de Classification Périodique

Placez dans chaque panier (bleu, jaune et rouge) chaque objet

Anneau: Or Au	Mèche recouverte de: Titane Ti	Du gaz dans le ballon d'un enfant : Helium 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
Bouteille d'eau H ₂ O: Hydrogène H	Vieille casserole de cuisine: Aluminum Al	Mine de crayon noire : Graphite C	Le soufre pour l'agriculture : Soufre S
Canette de boisson gazeuse : Aluminum Al	Montre-bracelet Titane Ti	Médaille : Argent Ag	Pipe: Plomb Pb
Taille-crayon en zinc : Zinc Zn	Vieux clou rouillé : Fer Fe	Thermomètre : Gallium Ga	Boîte d'allumettes : Phosphore P

Éléments générés dans les premières minutes après le Big Bang (bleu)

Éléments formés à l'intérieur des étoiles (jaune)

Éléments qui apparaissent dans les explosions de supernova (rouge)



Activité 3 : Tableau de Classification Périodique

Placez dans chaque panier (bleu, jaune et rouge) chaque objet

Anneau: Or Au	Vrille de perceuse: Titane Ti	Du gaz dans le ballon d'un enfant : Helium He	Les lavettes métalliques: 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
Bouteille d'eau H₂O: Hydrogen H	Vieille casserole de cuisine: Aluminum Al	Mine de crayon noire : Graphite C	Le soufre pour l'agriculture : Soufre S
Canette de boisson gazeuse : Aluminum Al	Montre-bracelet Titane Ti	Médaille : Argent Ag	Pipeline: Plomb Pb
Taille-crayon en zinc : Zinc Zn	Vieux clou rouillé : Fer Fe	Thermomètre : Gallium Ga	Boîte d'allumettes : Phosphore P



Elements Big Bang (blue)

Elements inside the stars (yellow)

Elements in supernova (red)



Activité 4 : Enfants des étoiles

Composition du corps humain :

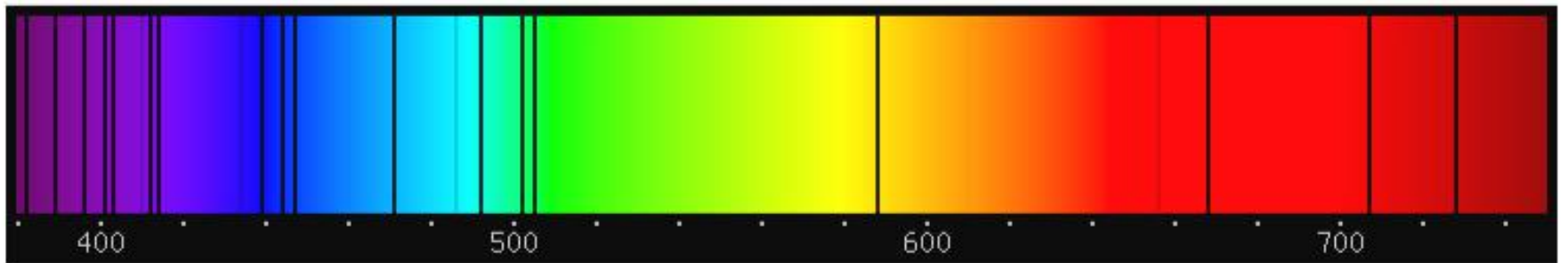
Les éléments abondants : **oxygen, carbone, hydrogène, azote, calcium, phosphore, potassium, soufre, fer sodium, chlore, et magnesium.**

Elements trace: **fluor, zinc, cuivre, silicon, vanadium, manganese, iode, nickel, molybdène, Chrome et cobalt**

Éléments essentiels : **lithium, cadmium, arsenic et etain.**

Le Soleil n'est pas une étoile de première génération

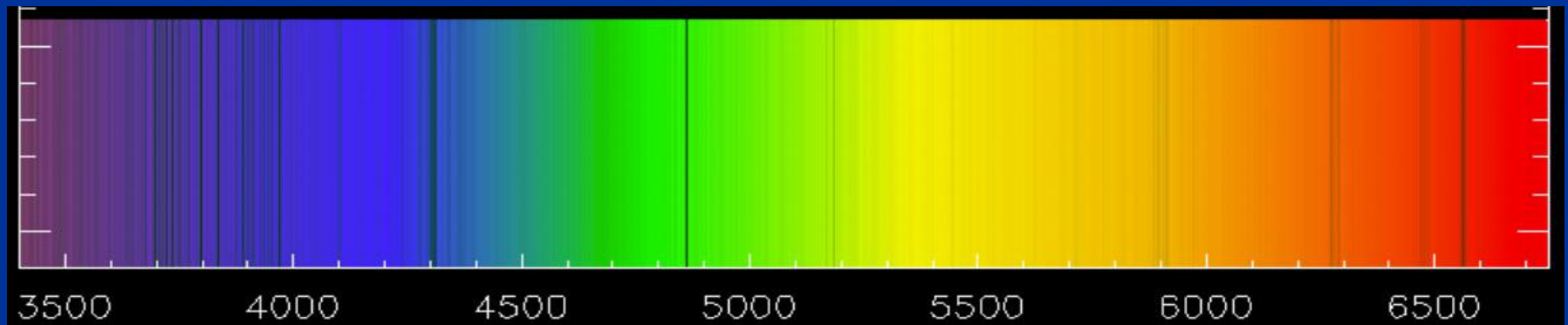
Les étoiles de la première génération ont vécu vite, sont mortes jeunes et n'ont pas survécu jusqu'à ce jour. Seules avec les raies de l'hydrogène, de l'hélium et peut-être du lithium sont visibles.



Spectre de première génération (image artistique).

Le Soleil n'est pas une étoile de première génération

Les étoiles aux éléments plus élaborés signifient que leur nuage initial est né des restes d'une explosion de supernova.



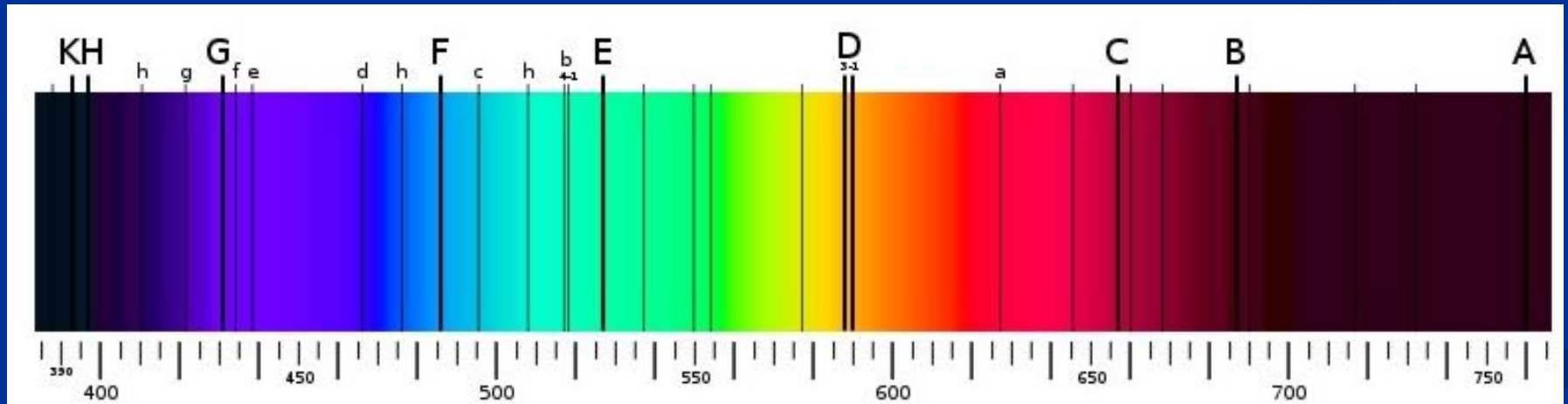
Spectre de deuxième génération.

SMSS J031300.36-670839.3 avec des raies d'hydrogène et de carbone.



Le Soleil n'est pas une étoile de première génération

Dans le Système solaire, de nombreux éléments qui se produisent après l'explosion d'une supernova sont détectés. C'est pourquoi le Soleil a peut-être été formé à partir d'un nuage initial qui correspondait aux restes d'au moins deux explosions de supernova, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une étoile de troisième génération.

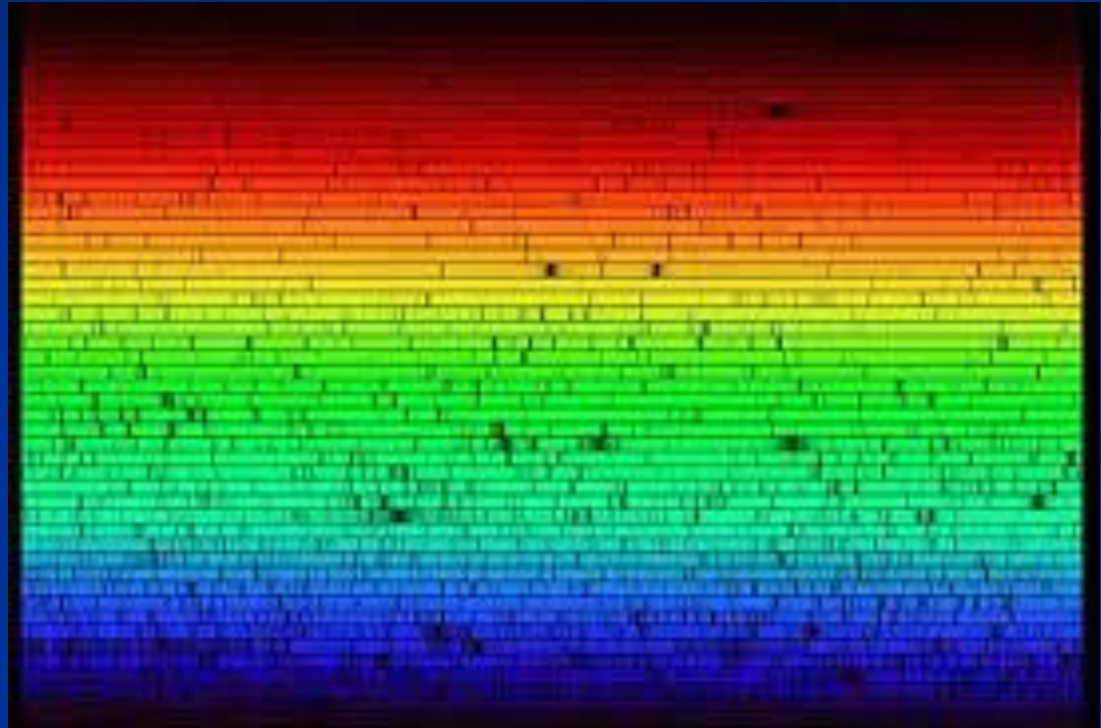


Spectre du soleil. avec diverses raies spectrales

Activité 5 : Lignes de Fraunhofer du Soleil

Le spectre du Soleil est continu, avec des raies sombres appelées lignes de Fraunhofer, qui correspondent aux éléments chimiques contenus dans son atmosphère.

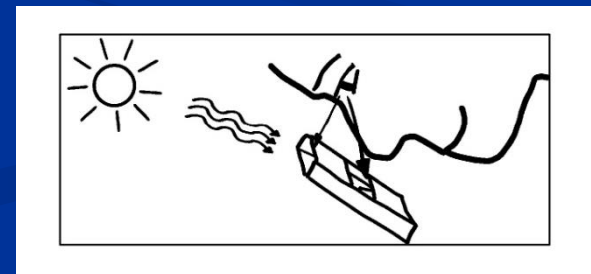
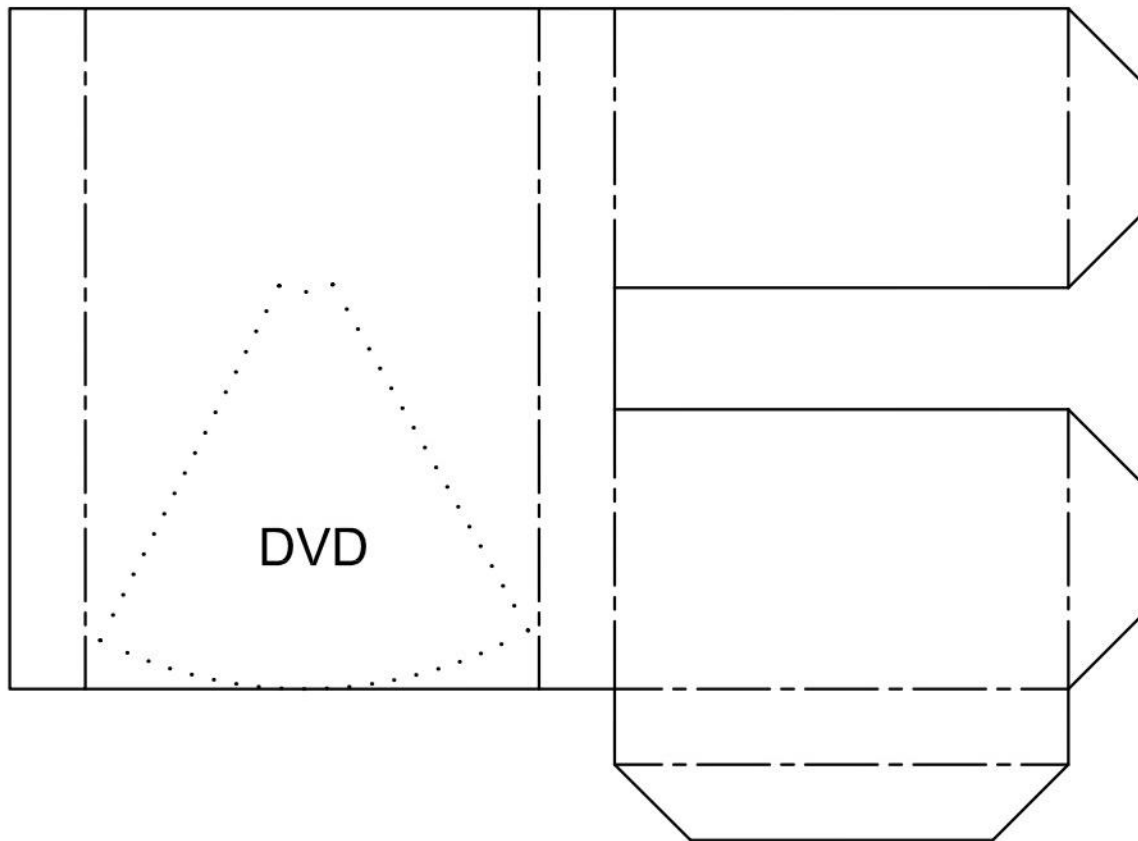
Elles sont visibles à l'œil nu dans la réflexion de la lumière solaire sur un DVD. On observe de nombreuses raies de Fe, le triplet de Mg (en vert), le doublet de Na (en jaune)



(Crédito: NOAO)

Activité 5 : Lignes de Fraunhofer du Soleil

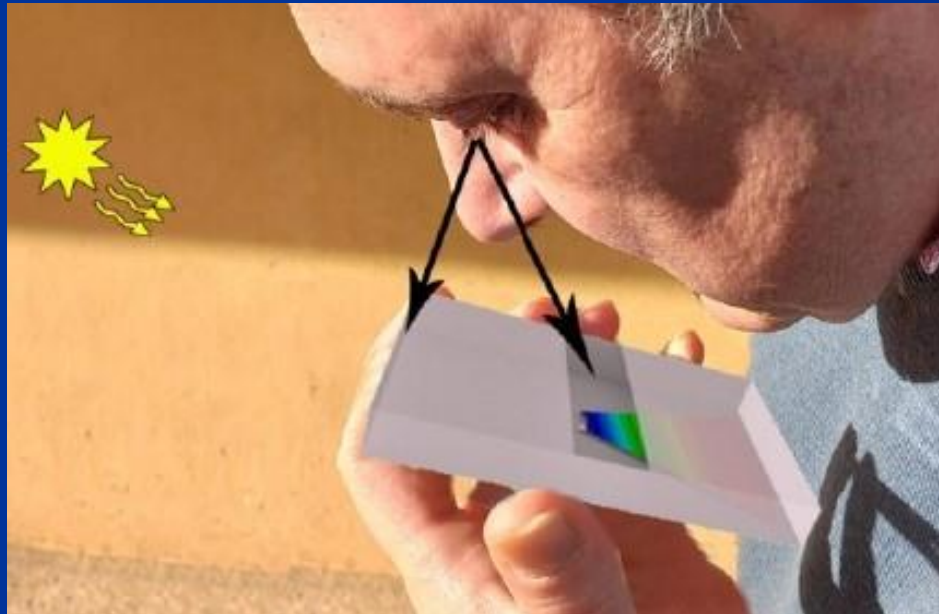
Découpez le gabarit, collez 1/8 du DVD et assemblez le coffret avec le DVD à l'intérieur en pliant le long des pointillés.



Activité 5 : Lignes de Fraunhofer du Soleil

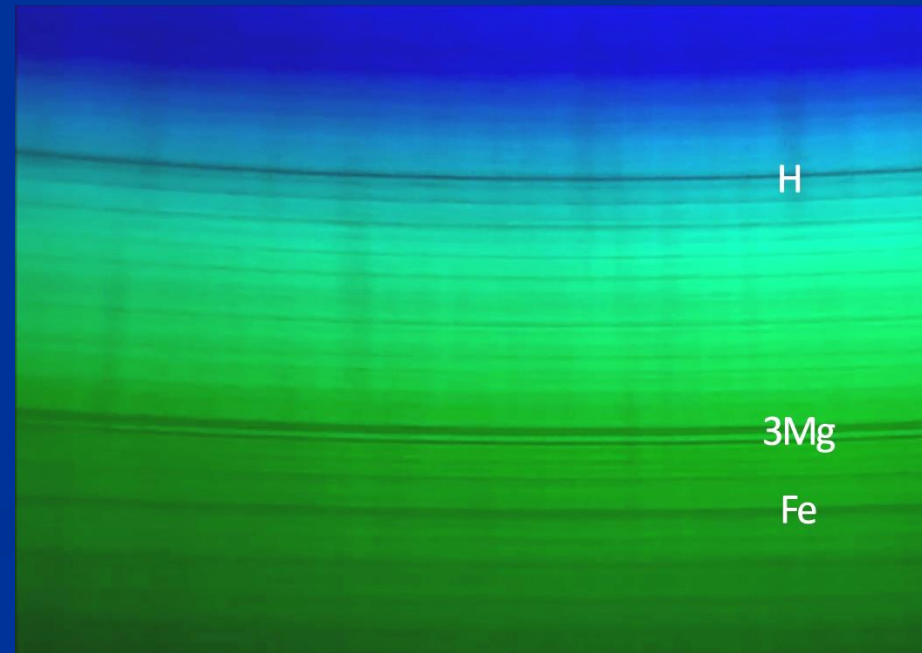
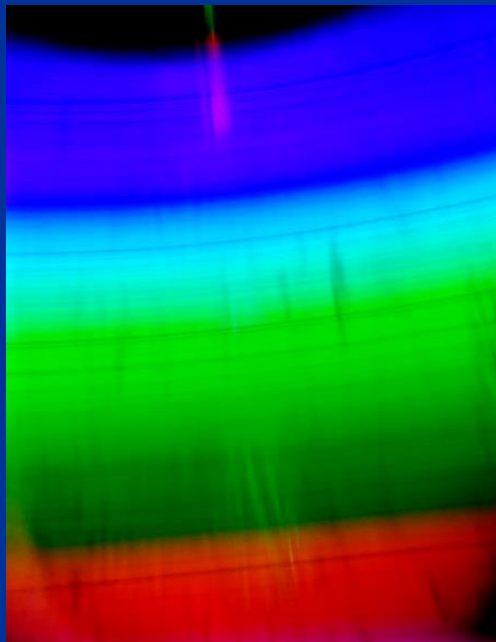
Sortez par une journée ensoleillée et faites face au soleil.

Placez la boîte devant votre visage, le bord supérieur au niveau des yeux, comme le montre la photo. En regardant le DVD à l'intérieur, déplacez-vous lentement jusqu'à ce que vous voyiez le reflet radial brillant et multicolore du Soleil sur le DVD.

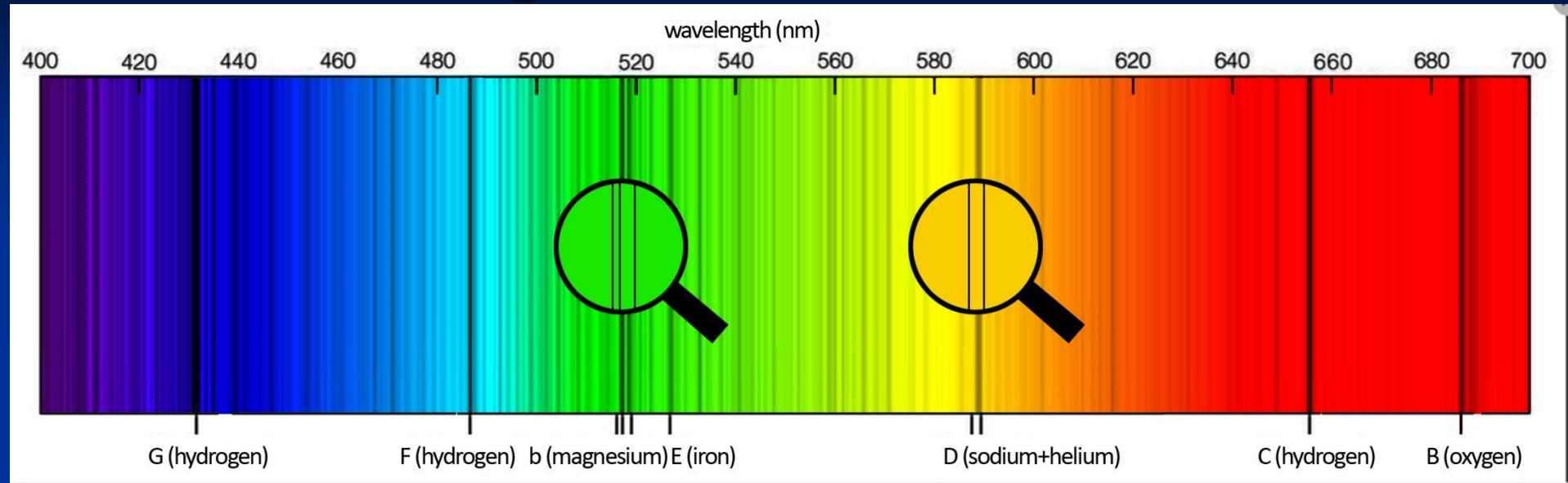


Activité 5 : Lignes de Fraunhofer du Soleil

Rapprochez votre visage de la boîte, en regardant toujours le reflet, qui paraîtra plus large. Lorsque votre œil touche presque la fenêtre, vous verrez des lignes noires fines et nettes dans la zone de couleur. Ce sont les raies spectrales des éléments chimiques présents dans le Soleil.



Activité 5 : Lignes de Fraunhofer du Soleil



De nombreuses lignes sont visibles, certaines plus intenses que d'autres. La principale vue dans le bleu vient de l'hydrogène, dans le vert vous pouvez très bien voir trois bandes très proches, qui sont le triplet du magnésium, et une autre distincte qui vient du fer. Dans la partie jaune, vous pouvez voir une double bande composée d'hélium et de sodium. Dans la partie rouge, vous pouvez voir un hydrogène intense.

Zone d'habitabilité

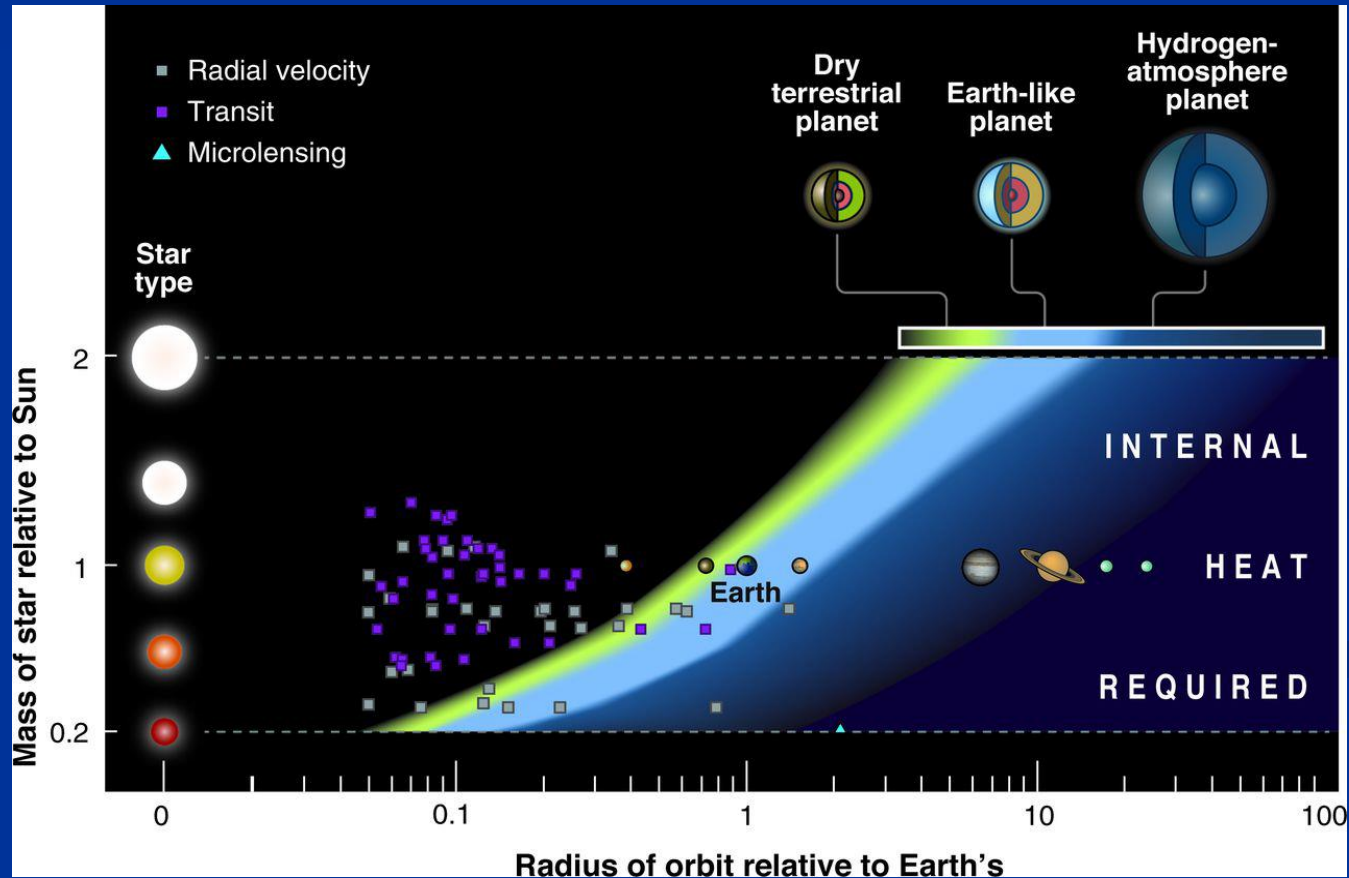
La zone d'habitabilité est la région autour d'une étoile dans laquelle le flux de rayonnement à la surface d'une planète rocheuse permettrait la présence d'eau liquide. (la vie à base de carbone est assurée par la présence d'eau liquide.)

Elle se produit généralement dans des corps de masse comprise entre 0,5 et 10 M_e et à 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).



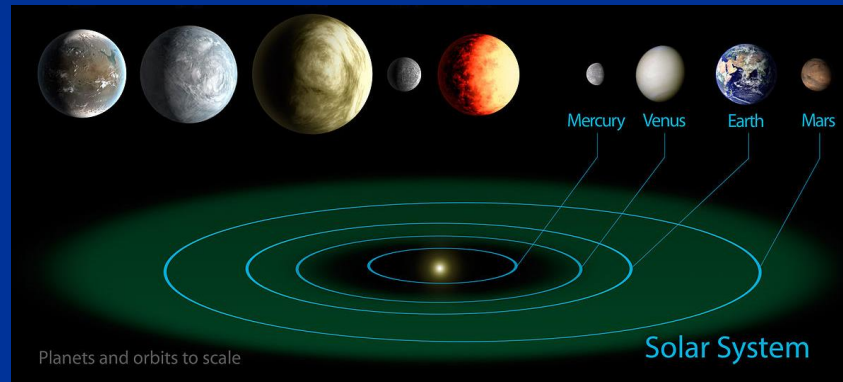
Zone d'habitabilité

La zone d'habitabilité dépend de la masse de l'étoile. Si la masse est plus grande, la température et la luminosité de l'étoile sont plus élevées et la zone d'habitabilité est donc de plus en plus éloignée.



Autres conditions pour l'habitabilité

La distance orbitale de la planète qui la place dans la zone habitable est une condition nécessaire, mais pas suffisante pour qu'une planète accueille la vie. Exemple : Vénus et Mars.

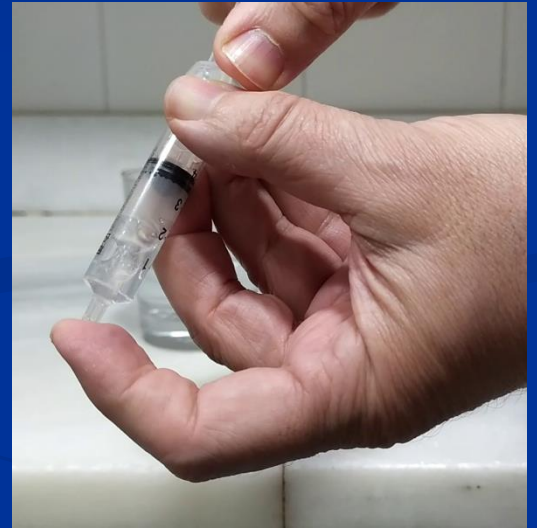


La masse de la planète doit être suffisamment importante pour que sa gravité puisse retenir l'atmosphère. C'est la principale raison pour laquelle Mars n'est pas habitable actuellement, puisqu'elle a perdu la majeure partie de son atmosphère et toute l'eau de surface qu'elle avait dans son premier milliard d'années.

Activité 6 : De l'eau liquide sur Mars?

La pression atmosphérique sur Mars est faible (0,7 % de celle de la Terre). Malgré la faible pression, des nuages d'eau se forment sur Mars aux pôles de la planète. Pourquoi n'y a-t-il pas d'eau liquide à la surface

On met de l'eau chaude proche de l'ébullition dans la seringue.



En tirant le piston, on fait baisser la pression et l'eau commence à bouillir puis se transforme en vapeur et disparaît progressivement. Pour simuler la pression martienne, nous devons tirer le piston jusqu'à 9 m.

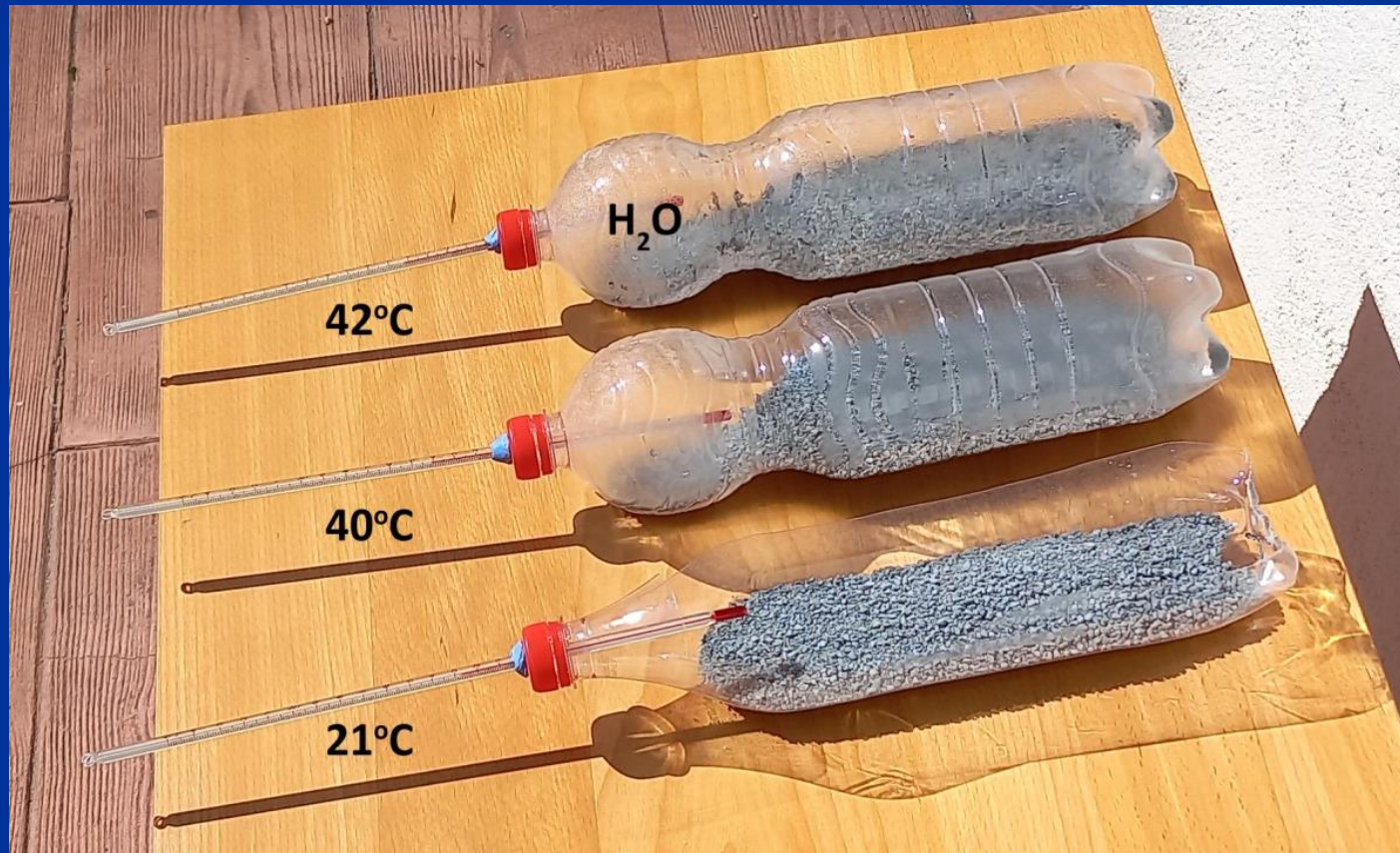
Activité 7 : Effet de serre

Nous avons mis de la terre noire dans deux bouteilles en plastique vides et dans une troisième coupée en deux dans le sens de la longueur. Nous avons inséré un thermomètre dans le bouchon de chaque bouteille. La bouteille coupée simule la planète sans nuages, la première bouteille entière simule la planète avec des nuages, et dans la dernière, nous avons mis quelques gouttes d'eau, pour simuler une atmosphère avec de la vapeur d'eau.



Activité 7 : Effet de serre

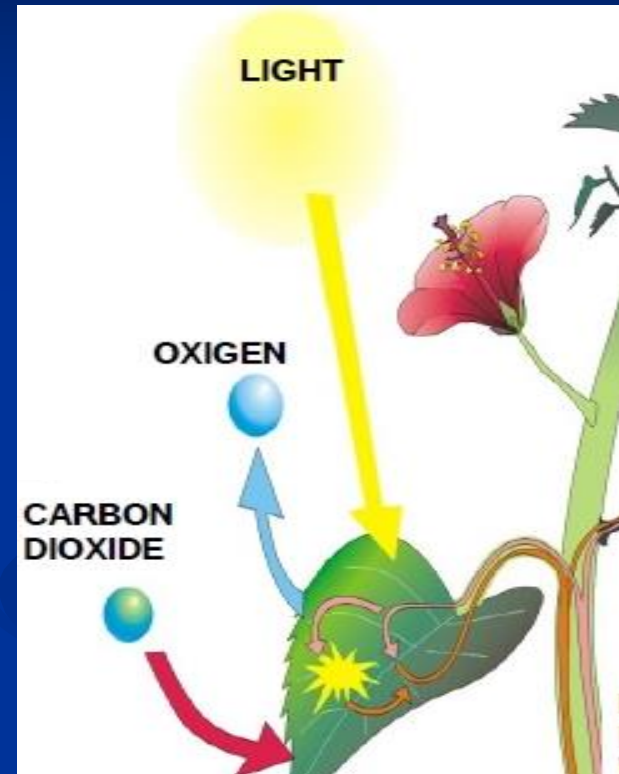
Nous plaçons les bouteilles au soleil et mesurons la température à l'intérieur toutes les 5 minutes. Nous notons les mesures pour déterminer l'influence de l'effet de serre.



Photosynthèse : Production d'oxygène

La photosynthèse est le processus par lequel les plantes et certaines bactéries utilisent la lumière solaire, pour produire du glucose, des glucides et de l'oxygène à partir du dioxyde de carbone et de

De l'eau. Des molécules appelées pigments photosynthétiques convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique.



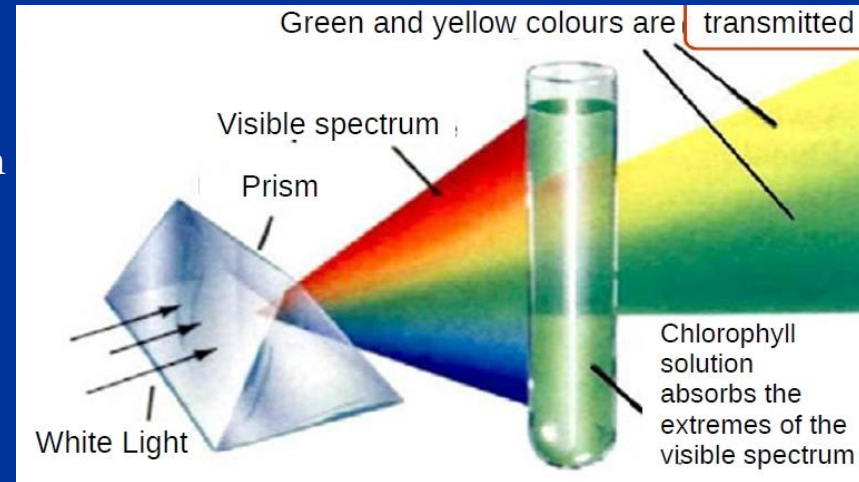
Photosynthèse :

pourquoi les feuilles sont-elles vertes ?

La lumière qui est absorbée peut être utilisée par la plante dans différentes réactions chimiques, **tandis que les longueurs d'onde réfléchies de la lumière déterminent la couleur du pigment qui apparaîtra à l'œil.**

Un des groupes de pigments photosynthétiques sont les chlorophylles qui ont typiquement deux types d'absorption dans le spectre visible, un dans la région bleue (400-500 nm), et un autre dans la zone rouge (600-700 nm). Un des groupes de pigments photosynthétiques sont les chlorophylles qui ont typiquement deux types d'absorption dans le spectre visible, **un dans la région bleue (400-500 nm), et un autre dans la zone rouge (600-700 nm).**

Cependant, ils reflètent la partie médiane du spectre, qui correspond à la couleur verte (500-600 nm).



Photosynthèse : Production d'oxygène

Les pigments sont illuminés et transfèrent leurs électrons qui sont excités par la lumière. L'eau est un donneur d'électrons qui sautent d'une molécule à l'autre et le résultat final est la production d'oxygène lorsque les molécules d'eau se décomposent. C'est la phase lumineuse de la photosynthèse.

Dans la phase obscure, des glucides ou des sucres sont produits. La lumière n'est pas nécessaire pour cette partie.



Activité 8 : Production d'oxygène par photosynthèse



Utilisez deux bocaux en verre transparent et placez du papier cellophane bleu et rouge à l'extrémité du bocal.

Activité 8 : Production d'oxygène par photosynthèse



À l'aide d'un perforateur, découpez des disques de feuilles uniformes (épinards ou bettes à carde en évitant les veines). Mettez 10 disques dans chaque bocal.

Activité 8 : Production d'oxygène par photosynthèse



Préparez une solution de bicarbonate de sodium de 25 g par 1 litre d'eau. Placez 20 ml de cette solution dans chaque bouteille. Imprégnez les disques de feuilles avec la solution de bicarbonate. Placez les disques dans une seringue jetable de 10 ml et aspirez la solution de bicarbonate jusqu'à ce que les disques soient en suspension.



Activité 8 : Production d'oxygène par photosynthèse

Enlevez autant que possible l'air qui est entré, en ne laissant que les disques en suspension dans le bicarbonate. Boucher l'extrémité de la seringue avec un doigt et aspirer fermement, en essayant de faire le vide, de sorte que dans les espaces internes des tissus végétaux l'air soit remplacé par une solution de bicarbonate qui sera une source de carbone disponible, proche des structures photosynthétiques de la feuille.



Activité 8 : Production d'oxygène par photosynthèse

Placez les disques de feuilles dans chaque bocal. Couvrez chacun des bocaux avec du papier cellophane rouge et bleu.

Placez une ampoule individuelle (pas moins de 70W) sur chaque pot (avec le papier qui le recouvre). Les deux lampes sont à la même distance.

Les meilleures lampes sont les LED car les autres émettent de l'énergie sous forme de chaleur.



Activité 8 : Production d'oxygène par photosynthèse

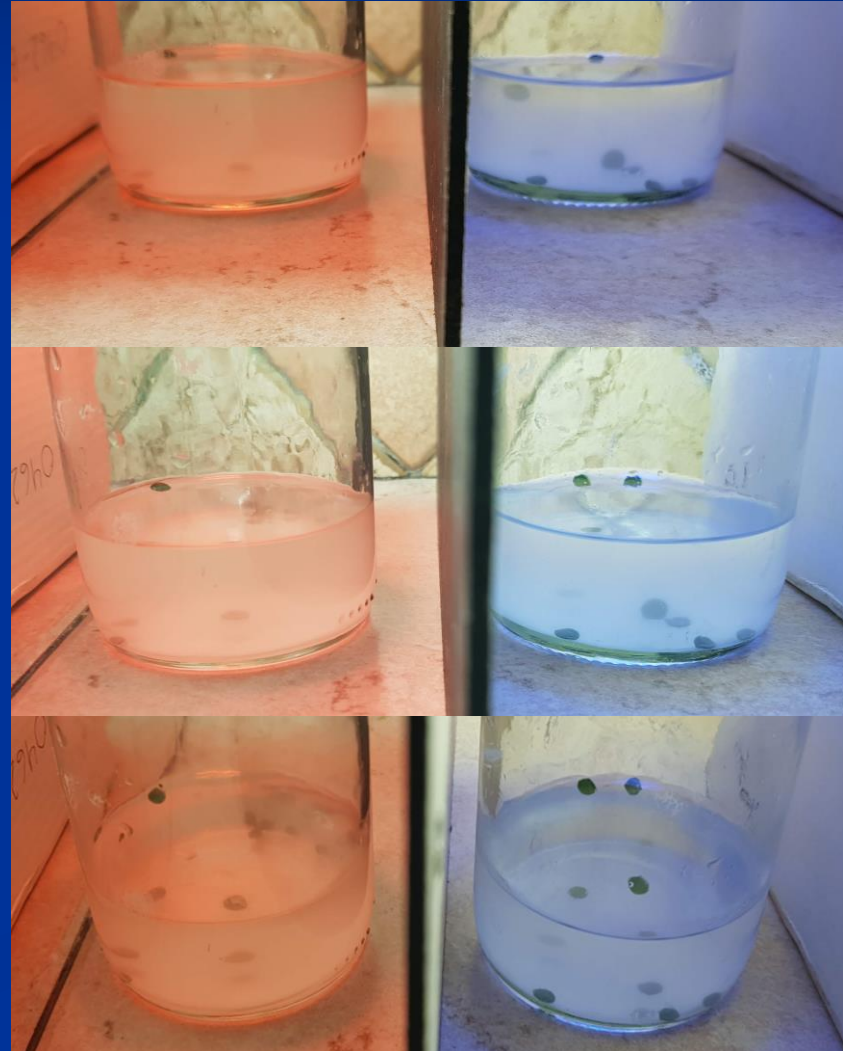
Lorsque vous allumez la lumière et commencez à enregistrer le temps que les disques flottent.

C'est une mesure indirecte de la vitesse de photosynthèse.



Activité 8 : Production d'oxygène par photosynthèse

Attendez environ 5 minutes et les disques commencent à monter (en fonction de la puissance des lumières et de leur distance).



Activité 8: Production d'oxygène par photosynthèse

Les disques commencent à flotter lorsqu'ils libèrent de l'oxygène sous forme de bulles, qui aident à la flottabilité.

Les temps sont différents, selon la couleur de la lumière : elle est plus rapide pour la lumière bleue (c'est la composante à haute énergie du rayonnement électromagnétique, c'est la plus efficace dans le processus)



Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Les levures (champignons) transforment le sucre (glucose) en alcool éthylique ou en éthanol et en dioxyde de carbone.

La fermentation est un processus à faible rendement énergétique, tandis que la respiration est beaucoup plus coûteuse et plus récente d'un point de vue évolutif.



Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Si la présence de dioxyde de carbone est observée, nous saurons qu'il y a eu fermentation et donc que la possibilité de vie a été testée.

Dans tous les cas de notre expérience, nous partons d'une culture dans laquelle l'eau est présente.



Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Nous utiliserons :

1 cuillère à soupe de levure (pour faire du pain). Il s'agit d'un micro-organisme vivant facile à obtenir,
1 verre d'eau chaude (un peu plus d'un demi-verre entre 22° et 27° C),
1 cuillère à soupe de sucre que les microorganismes peuvent consommer.

La même procédure dans l'expérience de contrôle et les autres expériences développées dans des conditions extrêmes.



Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Expérience de contrôle :

Dans un verre, dissolvez la levure et le sucre dans de l'eau chaude. Le mélange obtenu est rapidement placé dans un sachet plastique hermétique, en retirant tout l'air qui s'y trouve et en le fermant.

Il est important de ne pas laisser d'air à l'intérieur du sac.



Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Expérience de contrôle :

Après 15-20 minutes, vous voyez les bulles de dioxyde de carbone dans le sac gonflé. La présence de bulles de dioxyde de carbone montre que les microorganismes sont vivants.

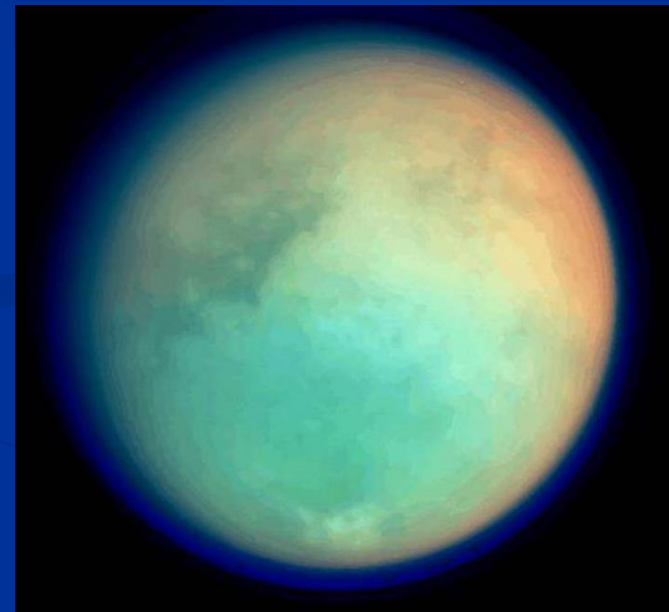
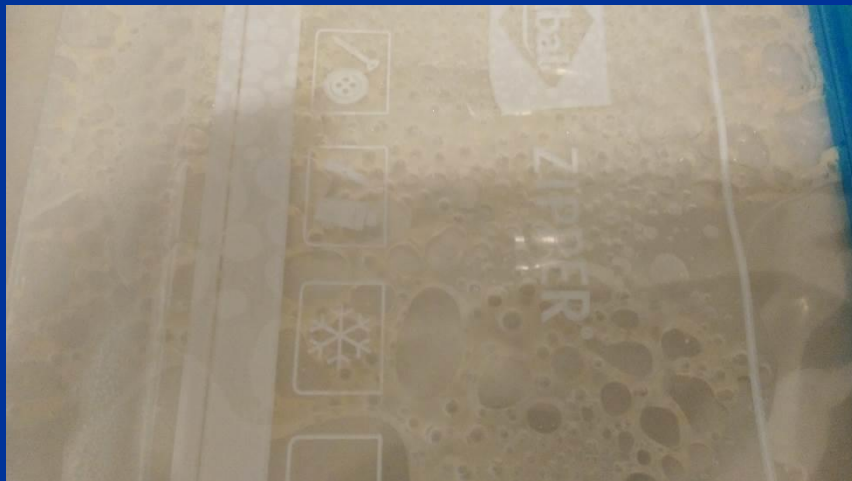


Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Procédure sur une "planète alcaline (par exemple, Neptune ou Titan avec de l'ammoniac) :

Répétez l'expérience avec du bicarbonate de sodium ou de l'ammoniac

Échelles de Ph alcalin : Bicarbonate de sodium ou bicarbonate de soude : Ph 8,4 Ammoniac de fabrication artisanale : Ph 11



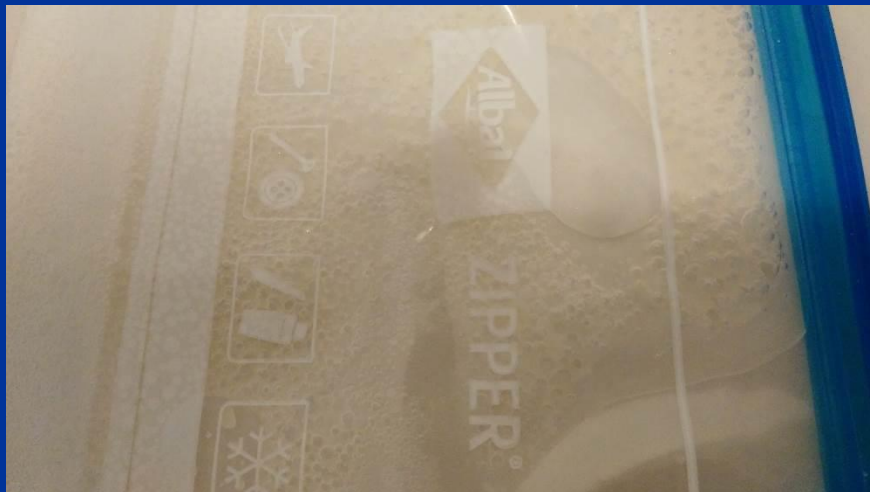
Titan, Credit NASA

S'il y a des bulles, il y a de la vie



Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Procédure sur une "planète saline" par exemple Mars ou Ganymède). Répétez l'expérience en dissolvant du chlorure de sodium (sel commun) dans l'eau.



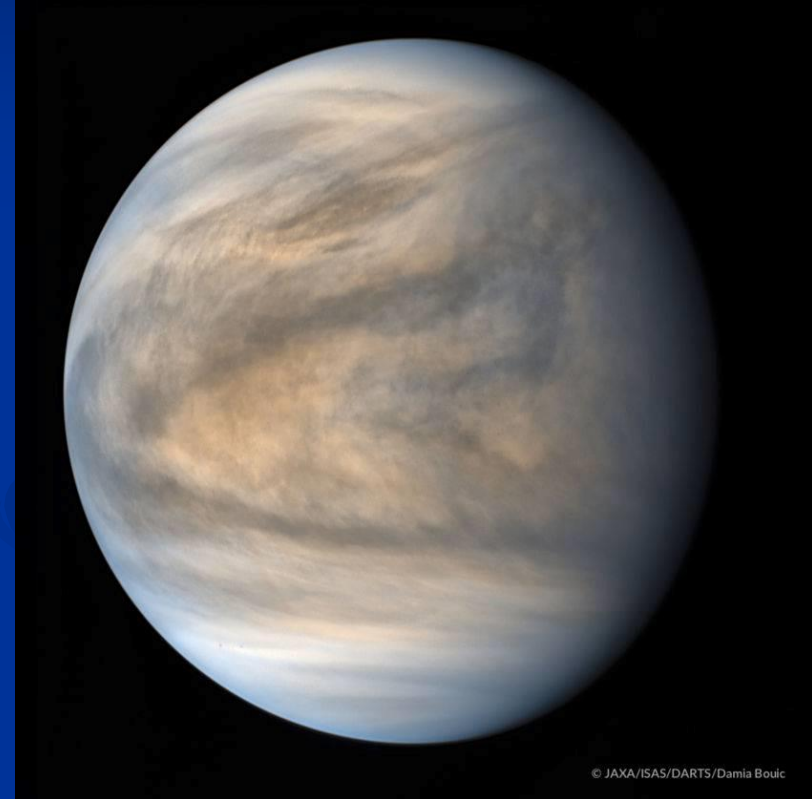
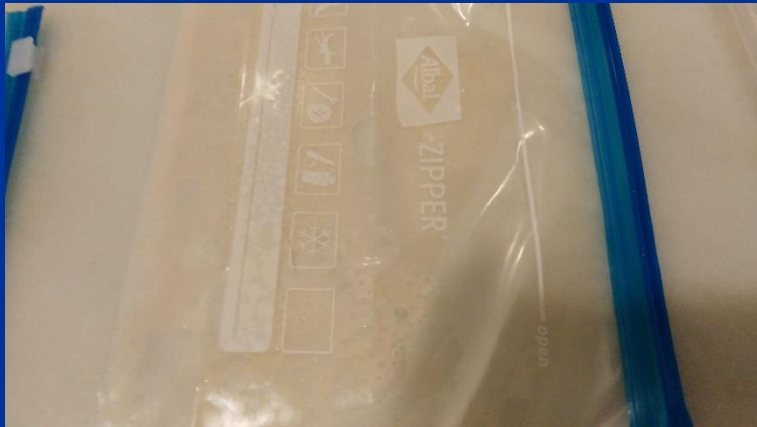
Ganimede, Credit NASA

S'il y a des bulles, il y a de la vie



Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Procédure sur une "planète acide(par exemple, Vénus qui a des précipitations sulfuriques) : Répétez la dissolution du vinaigre ou du jus de citron dans l'eau de culture. Échelles Ph d'acide : Vinaigre : Ph 2,9 Jus de citron : Ph 2,3



Venus, Credit NASA

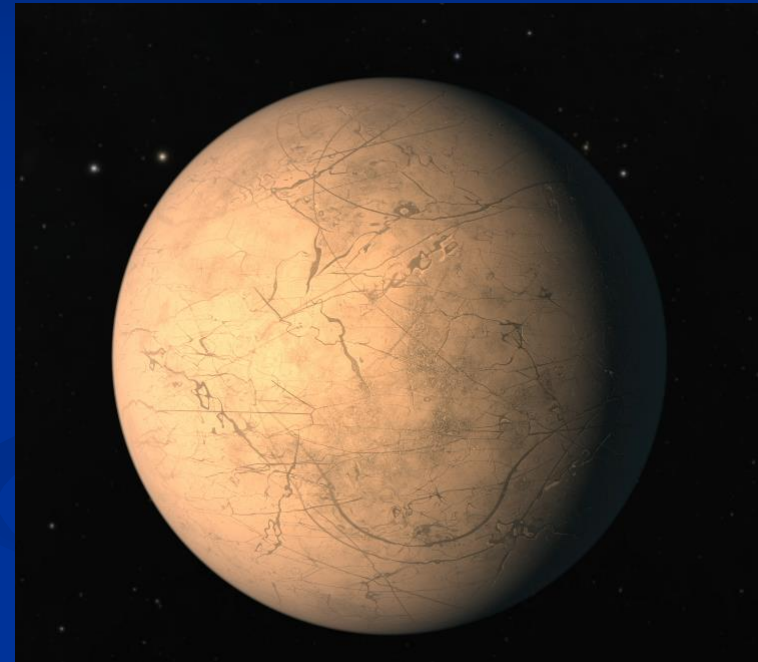
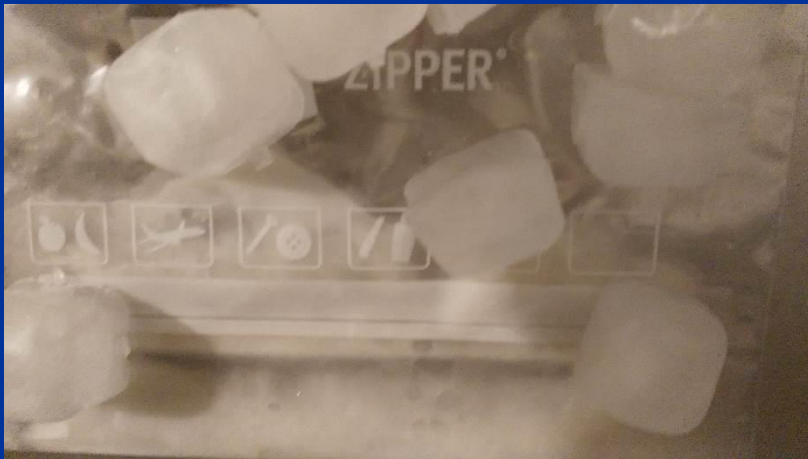
S'il y a des bulles, il y a de la vie



Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Procédure sur une "planète glacée (par exemple Europa ou Trappist-1 h)

Placez le sac dans un récipient rempli de glace ou utilisez un congélateur



Trappist 1h Artist's impression

S'il n'y a pas de bulles, il n'y a pas de vie

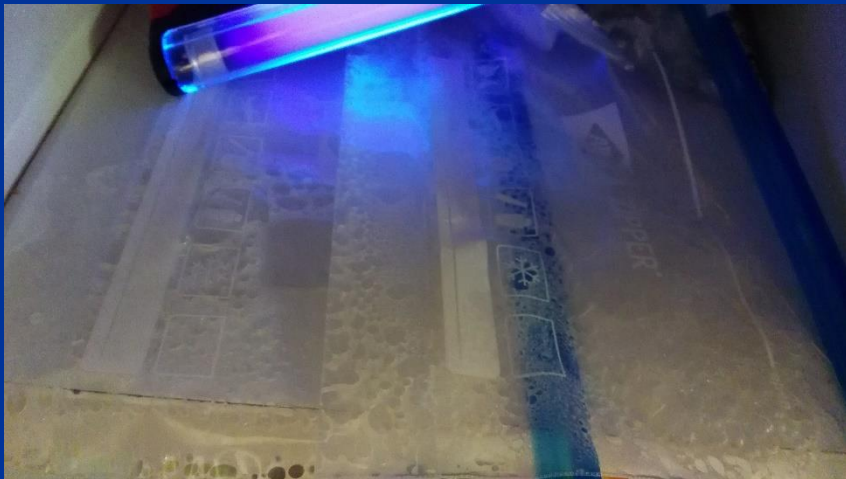


Activité 9: La vie dans des conditions extrêmes

Procedure on a “planet with UV”

(eg Mars)

Perform experiment but with the bag under UV light
Procédure sur une "planète avec des UV (par exemple Mars)
Faire l'expérience mais avec le sac sous lumière UV. S'il n'y a pas de bulles, il n'y a pas de vie



Marte, Credit iStock

S'il n'y a pas de bulles, il n'y a pas de vie



Activité 10: À la recherche d'une seconde Terre

La Terre est la seule planète connue avec de la vie. Cherchons une exoplanète avec des conditions similaires. Mais quels sont les paramètres importants ?

- ☐ Rayon et masse
- ☐ Zone habitable
- ☐ Étoile hôte



Rayon et masse (exoplanète)

Le rayon et la masse de la planète doivent être pris en compte pour évaluer une densité adéquate.

En utilisant les critères de la mission Kepler :

- ❑ Les planètes de la taille de la Terre doivent avoir un rayon inférieur à 2 rayons terrestres.

$$R < 2R_e$$

- ❑ 10 masses terrestres sont considérées comme une limite supérieure pour les planètes super-terrestres $M < 10M_e$

Zone d'habitabilité

Les étoiles de la séquence principale ont une corrélation directe entre la luminosité et la température. Plus la température de surface est élevée, plus l'étoile est brillante et plus la zone habitable est éloignée.

Type Spectral	Temperature K	Zone d'habitabilité UA
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



Masse des étoiles hôtes

L'évolution et la vie d'une étoile dépendent de sa masse. L'énergie qu'une étoile peut obtenir de la fusion de l'hydrogène est proportionnelle à sa masse. Et le temps de la séquence principale est obtenu en la divisant par la luminosité de l'étoile. En utilisant le Soleil comme référence, la vie d'une étoile dans la séquence principale est

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

Pour la séquence principale, la luminosité est proportionnelle à la masse selon $L \propto M^{3.5}$

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

Masse des étoiles hôtes

Puis

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

Comme la durée de vie du Soleil est **$t_s = 10^{10}$ années**, la durée de vie d'une étoile est :

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

Calculons la limite supérieure de la masse de l'étoile pour que le temps de séjour dans la séquence principale soit d'au moins **3×10^9 ans afin de donner le temps à la vie d'évoluer.**

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

$$M^* = (10^{-10} \times 3000000000)^{-0.4} M_s$$

$$\mathbf{M^* \leq 1.6 M_s}$$

A la recherche d'une seconde Terre

Nom de l'exoplanète	Masse en masses terrestres	Rayon en rayons terrestres	Distance à l'étoile en UA	Masse d'étoiles en masses solaires	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	unknown	1.59	1.05	1.04	G2V
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
Luyten b	2.19	unknown	0.09	0.29	M3.5V
Tau Cet c	3.11	unknown	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 (yet unconfirmed)	4	unknown	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

A la recherche d'une seconde Terre

Nom de l'exoplanète	Masse en masses terrestres	Rayon en rayons terrestres	Distance à l'étoile en UA	Masse d'étoiles en masses solaires	Type spectral des étoiles/température de surface
Beta Pic b	4100	48.5	41.8	4.73	A6V
HD 209458 b	219.00	45.40	0.05	1.10	G0V
HR8799 b	2226	44.20	68.0	1.56	A5V
Kepler-452 b	unknown	1.59	1.05	1.04	G2V
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
Luyten b	2.19	unknown	0.09	0.29	M3.5V
Tau Cet c	3.11	unknown	0.20	0.78	G8.5V
TOI 163 b	387	46.34	0.06	1.43	F
Trappist-1 b	0.86	1.09	0.01	0.08	M8
TW Hya d (yet unconfirmed)	4	unknown	24	0.7	K8V
HD 10613 b	42.60	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	42.60	2.39	0.09	1.07	F5V

Conclusions

- ☐ Comprendre le concept de zone d'habitabilité.
- ☐ Introduire les concepts de l'astrobiologie.
- ☐ Montrer comment il est possible de générer de l'oxygène et d'obtenir du dioxyde de carbone.
- ☐ Comment localiser une deuxième Terre.



Thank you very much
for your attention!

