

## Ligne Cosmologique du temps

**Rosa M. Ros, Beatriz García, Ricardo Moreno, Pilar Orozco, Juan Antonio Prieto, Ivo Jokin**

International Astronomical Union, Polytechnical University of Catalonia, Spain, ITeDA and National Technological University, Argentina, Colegio Retamar, Spain, Diverciencia, Spain, Municipal Center for Extracurricular Activities, Dolna Mitropolia Municipality, Bulgaria.

### Résumé

L'histoire de l'Univers s'étend sur 13800 millions d'années. Au cours de cette période, l'Univers a transformé l'énergie en atomes d'éléments primordiaux en un temps record. Les atomes ont formé des étoiles et ceux-ci, à leur tour, ont transformé le matériau pour produire les quelque 100 éléments qui composent le tableau périodique. Les éléments chimiques étaient organisés, mais pour obtenir le matériel prébiotique qui a conduit plus tard aux différentes formes de vie que nous connaissons sur Terre, le processus a été long et complexe. Nous pouvons dire que la vie est une conséquence d'une série de facteurs qui l'ont produite et lui ont permis d'évoluer. Connaître les moments qui ont été des jalons fondamentaux pour l'apparition de la vie tout au long de l'histoire de l'Univers, approcher les outils que les astronomes ont conçus, construits et installés, même en dehors de la Terre, pour étudier la possibilité de l'existence de la vie au-delà du seul endroit dans l'Univers où elle a été détectée, et découvrir les théories qui tentent d'expliquer comment, quand et où la vie est originaire, telle est la mission de cet atelier.

### Objectifs

- Visualisez l'histoire de l'Univers à travers une chronologie
- Comprendre l'importance du processus qui était nécessaire pour atteindre la formation de la vie
- Comprendre l'adaptation de la vie à de nombreuses conditions variées

### Introduction cosmologique

L'Univers est le seul système isolé de la nature: il n'échange ni énergie ni matière avec l'environnement, car il en est le médium.

On estime que l'univers est apparu il y a 13800 millions d'années, à la suite d'une libération d'énergie. Le processus de naissance et d'évolution de l'univers, ainsi que les scénarios possibles pour sa destination finale, ont été abordés dans l'atelier sur l'évolution de l'univers.

Au-delà de l'étude de l'Univers dans son ensemble, il est intéressant d'élargir la proposition liée aux modèles réduits qui nous permettent d'entrevoir ce que signifie l'âge du Cosmos, mais en même temps, introduisent un concept fondamental pour l'espèce humaine: celui de la vie, l'une des caractéristiques ou propriétés uniques de l'Univers.

La question de l'origine de la vie, et son corollaire, l'existence de la vie intelligente, est au centre de l'exo et de l'astrobiologie; C'est un événement inhabituel, qui peut être étudié d'un point de vue scientifique, dans le but de comprendre comment il s'est produit sur Terre et comment il pourrait se produire ailleurs.

La recherche de la vie est un objectif commun en astronomie et en astrophysique et, par conséquent, mettre le sujet à l'échelle cosmologique nous permet de comprendre le long intervalle de temps qui sépare l'origine de l'Univers de l'apparition des formes de vie les plus primitives.

Pour la recherche de la vie, nous avons quelques outils qui sont la base du travail en astrobiologie et en astrochimie.

Dans le processus de formation et de naissance d'une étoile à partir de l'effondrement gravitationnel d'un nuage de gaz et de poussière interstellaires, un système planétaire peut être formé avec les restes de matière de ce nuage.

De la même manière que l'on peut connaître la composition de l'étoile considérée en étudiant son spectre, il est possible de connaître l'existence et la composition chimique d'une atmosphère planétaire, dans le cas du Système solaire, ou d'exoplanètes, dans le cas des Systèmes Exoplanétaires ou Extrasolaires. Chaque élément chimique, chaque molécule, a un spectre certain et unique.

Si une planète ou une exoplanète a une atmosphère, et si le spectre de l'étoile est connu, lorsque la lumière de cette étoile traverse l'atmosphère de l'exoplanète, elle sera partiellement absorbée par les éléments chimiques de cette atmosphère. De cette façon, nous serons en mesure de déterminer la composition chimique de n'importe quelle atmosphère.

Un exemple de ceci est les découvertes récentes du télescope James Web, dans ce qui fait divers systèmes exoplanétaires.

Un exemple: de la façon dont il est possible d'aborder la recherche de la vie, serait le suivant. dans la modélisation détaillée de l'exoplanète WASP-39b, réalisée grâce aux observations du télescope Web, a révélé que le SO<sub>2</sub> dans son atmosphère est produit par la photochimie, ce qui est extrêmement important car la photochimie est fondamentale pour que la vie sur Terre prospère, car elle est liée à la production d'O<sub>3</sub> (ozone), avec la photosynthèse et avec la production de vitamine D fondamentale pour l'organisme humain.

À partir du moment zéro dans la chronologie que nous allons proposer, seulement environ 100 secondes se sont écoulées jusqu'à la transformation de ce qui était toute l'énergie en atomes. Pour l'apparition de la vie, les galaxies devaient d'abord apparaître, puis les étoiles, celles-ci devaient transformer les éléments chimiques, enrichir l'environnement intergalactique et interstellaire et les conditions devaient être données pour que les molécules désordonnées soient ordonnées pour former des structures complexes qui pourraient se répliquer et finalement céder la place à la vie.

Dans les sections suivantes, nous verrons ce long processus qui, il n'est pas miraculeux, est une conséquence de l'évolution du Cosmos.

## Activité 1: La ligne du temps

Il s'agit de visualiser la chronologie de l'histoire de l'Univers sur une bande. en utilisant comme unité de mesure un mètre égal à un milliard d'années ( $1\text{m} = 10^9 \text{ans}$  , soit  $10 \text{cm} = 10^6 \text{ans}$ ).

Au fur et à mesure que la science progresse et que des instruments plus précis deviennent disponibles, la détermination de grandeurs aussi importantes pour l'histoire de l'Univers, telles que le temps et la distance, peut entraîner certains changements dans les périodes au cours desquelles les événements les plus importants du cosmos se produisent. Rappelez-vous que ce que nous savons de l'Univers est statistique, des observations plus nombreuses et de meilleure qualité peuvent nous obliger à revoir tous nos résultats.

Le Bing Bang, le big bang, a eu lieu il y a 13800 millions d'années ( $13,8 \cdot 10^9 \text{ans}$ ), puis, pendant une courte période de temps,  $10^{-45}$  secondes, on ne sait pas très bien expliquer ce qui s'est passé car vous ne pouvez même pas appliquer la théorie de la relativité d'Einstein, c'est ce qu'on appelle l'ère Planck.



Fig. 1 : Présentation simple de la chronologie sur une bande de 13,8 m de long. Certains objets sont cousus ensemble ce qui facilite la relation et la comparaison des valeurs et permet de fixer l'échelle.

Après  $10^{-35}$  du Big Bang, l'INFLATION commence, qui répond à une expansion exponentielle de l'Univers. Une microseconde ( $10^{-6}$  secondes) après le Big Bang commence la formation de la soupe primordiale (composée de diverses particules élémentaires).

Après 3 minutes du Big Bang, la nucléosynthèse primordiale de « H » est initiée. Toute cette première partie ne peut pas vraiment être représentée dans la timeline par un problème de mise à l'échelle puisque nous considérons 1 millimètre équivalent à un million d'années, les secondes ou minutes sont invisibles. Pour cette raison, il n'est pas affiché dans la chronologie, mais est présenté séparément.

Après 100 millions d'années (après 10 cm), c'est-à-dire il y a 13700 millions d'années, les premiers éléments primordiaux se sont formés. Après encore 100 millions d'années, ou encore 10 cm,  $13,6 \cdot 10^9$  ans se sont formées, et parmi celles-ci, les premières molécules d'eau.

Approximativement, également dans ce laps de temps, il y a 13600 millions d'années, les premières étoiles se sont formées et quelque chose plus tard, il y a 13100 millions d'années, les premières galaxies. Après cent millions d'années, la Voie lactée primitive s'est formée ( $13,0 \cdot 10^9$  ans) (Figure 1).

Pendant environ 8400 millions d'années (8,4 mètres : à notre échelle,  $10^9$  ans équivalent à un mètre) une série de phénomènes simultanés ont lieu. Les premières étoiles évoluent, donnant lieu à différentes explosions qui expulsent différents types d'atomes et la diversité des éléments primordiaux du tableau périodique apparaît. Dans le même temps, de nouvelles étoiles continuent de se former, qui évoluent également, et différents types d'objets apparaissent, à différents stades d'évolution.



Fig. 2 : Il y a 4600 millions d'années, le Soleil se forme et avec lui apparaissent les différents corps du système solaire, en particulier la Terre et les planètes rocheuses se sont formées il y a 4560 millions d'années. Environ 20 millions d'années plus tard, le champ magnétique terrestre est apparu, qui sert de protection contre divers rayonnements dangereux pour la vie telle que nous la connaissons.

Après les 8,4 millions d'années susmentionnées, c'est-à-dire il y a  $4,6 \cdot 10^9$  ans, la formation de notre Soleil a lieu, ainsi que la formation des premiers alcools. Les groupes OH sont nécessaires plus tard car ils apparaissent dans la formation de nombreuses molécules qui seront importantes pour réaliser la constitution de l'ADN.

Environ 3 cm plus tard, il y a 4570 millions d'années, le système solaire est né, 4mm plus tard, il y a 4566 millions d'années, les planètes gazeuses se sont formées et 6mm plus tard, il y a 4560 millions d'années, la Terre et les autres planètes rocheuses se sont formées (figure 2).

Environ 2 cm plus tard, le champ magnétique terrestre a émergé, il y a 4540 millions d'années, avec ce que cela représentait une protection contre divers types de rayonnements nocifs pour la vie sur notre planète.

Par la suite, à 6 cm, la formation de la Lune a commencé, il y a environ 4 480 millions d'années, constituant le système Terre-Lune au sein de notre système planétaire.

Seulement 3 cm plus tard, il y a 4450 millions d'années, l'atmosphère primitive de la Terre est constituée.

Il y a  $4.1 \cdot 10^9$  ans, c'est après 45 cm que le bombardement intense tardif a eu lieu, qui a affecté les corps du système solaire, ainsi que la Terre et la Lune.

Il y a 4000 millions d'années ( $4,0 \cdot 10^9$  ans), c'est-à-dire 10 cm plus tard, les premières cellules procaryotes apparaissent (sans noyau) et la molécule d'ADN apparaît.



Fig. 3 : La Ligne est vierge depuis ses débuts jusqu'à l'apparition des premières plantes vertes. En rose de ce point à aujourd'hui.

Après 2 mètres, c'est-à-dire il y a 2 milliards d'années, la vie qui respire l'oxygène O<sub>2</sub> commence.

Après 40 cm, il y a  $1,6 \cdot 10^9$  ans, l'apparition de plantes vertes sur notre planète commence, c'est-à-dire que la fonction chlorophylle entre en jeu (figure 3).

Au-delà de 90 cm ou 90 millions d'années, c'est-à-dire il y a 700 millions d'années ( $0,7 \cdot 10^9$  ans), les premiers tissus et organes spécialisés commencent à apparaître.

Après 18 cm, pour  $0,52 \cdot 10^9$  ans apparaissent ceux des Trilobites, fossiles bien connus de nous tous.

Après 5 millions d'années, c'est-à-dire 5 cm plus tard, pendant 470 millions d'années, la première sortie des animaux de l'eau vers la zone terrestre a lieu.

Après seulement 7 cm, il y a 400 millions d'années, les Ammonites (fossiles connus) apparaissent.

3 mm plus tard, il y a 397 millions d'années, les premiers vertébrés apparaissent sur Terre.

Si nous nous déplaçons de 14,7 cm, il y a environ 250 millions d'années, apparaissent les Nautili, animaux que l'on trouve encore sur notre planète.

Seulement 5 millions plus tard, c'est-à-dire 5 mm plus tard, il y a 245 millions d'années, les premiers dinosaures apparaissent.

Après 4,5 cm, il y a 200 millions d'années, ces premiers mammifères émergent, au départ ils étaient petits, bien que plus tard les plus grands apparaissent.

5 cm plus tard, à partir de ce 150 million d'années, apparaissent les premiers dinosaures à plumes, ancêtres de nos oiseaux. En fait, l'un des moins évolués et des plus proches des anciens dinosaures ailés sont les simples poulets que nous avons dans nos enclos (figure 3).

Au-delà de 14,75 cm, c'est-à-dire après 14,75 millions d'années,  $0,0025 \cdot 10^{11}$  il y a 9 ans = 2,5 millions d'années = 2 500 000 ans, les premiers Humanoïdes apparaissent.

Après seulement 2,2 mm, c'est-à-dire seulement  $0,0003 \cdot 10^{10}$  il y a  $9 \cdot 10^9$  ans =  $0,3 \cdot 10^6$  ans = 300 000 ans, Homo sapiens apparaît.

## Galaxies cannibales

Les galaxies sont des groupes d'étoiles liées entre elles par la gravité qui tournent sur elles-mêmes. Les différents groupes de galaxies forment des filaments où l'activité de formation de nouvelles galaxies est très active.

Tous les amas de galaxies sont inclus dans un grand ballet cosmique où ils se rencontrent, entrent en collision et le cannibalisme des plus grands sur les plus petits fait que les jeunes galaxies rivalisent pour acquérir le gaz libre qui reste pour favoriser la formation de nouvelles étoiles (figure 4).

C'est ainsi que les zones les plus riches de formation d'étoiles correspondent aux zones de grandes collisions, où les grands gagnants sont toujours les plus grandes galaxies. Toute cette

activité a lieu dans les zones filamenteuses de l'univers, laissant de grands espaces plus libres de matière (figure 5).

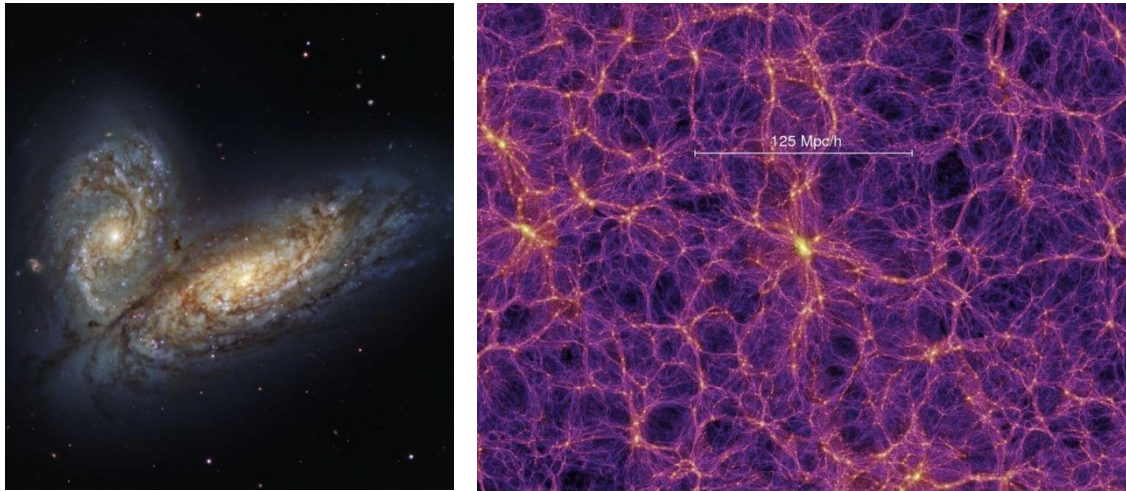


Fig. 4: Collision de galaxies cannibales (Crédit: ESO). Fig. 5: Modélisation de la structure filamenteuse de l'univers (Crédit: Springel et al.)

## Activité 2: Modèle filamenteux

La structure filamenteuse de l'univers peut être simulée avec un plateau ou un plat où de l'eau avec du détergent peut être placée. En introduisant quelques pailles pour siroter des boissons gazeuses, vous agissez à l'envers, en soufflant de l'air à travers elles et obtenant ainsi un bon nombre de bulles en très peu de temps.

Comme on peut le voir dans le modèle avec de grosses bulles de savon, la majeure partie du liquide savonneux est disposée dans les zones d'intersection entre les bulles, donnant naissance à des zones d'aspect plus ou moins filamenteux.

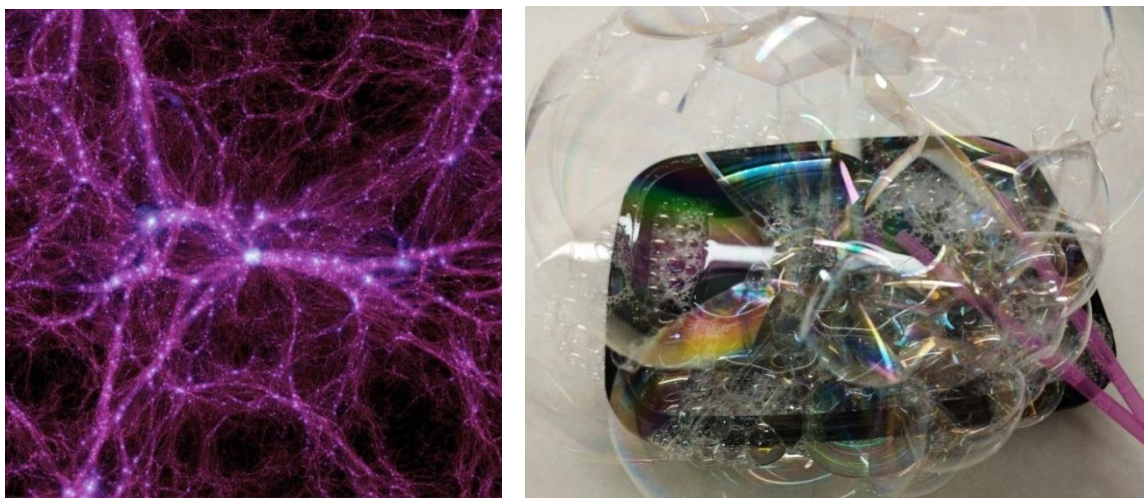


Fig. 6: Modélisation de la structure filamenteuse de l'univers (Crédit: Projet Illustris). Fig. 7: Modélisation de la structure susmentionnée dans des filaments à l'aide d'eau et de détergent.

## Classification des galaxies

Il existe des galaxies spirales, barrées, elliptiques, sphériques et irrégulières, qui sont généralement classées en fonction de leur morphologie dans la séquence de Hubble bien connue. Comme mentionné ci-dessus, cette classification ne s’occupe que de sa forme et ne correspond pas à l’évolution de celle-ci.

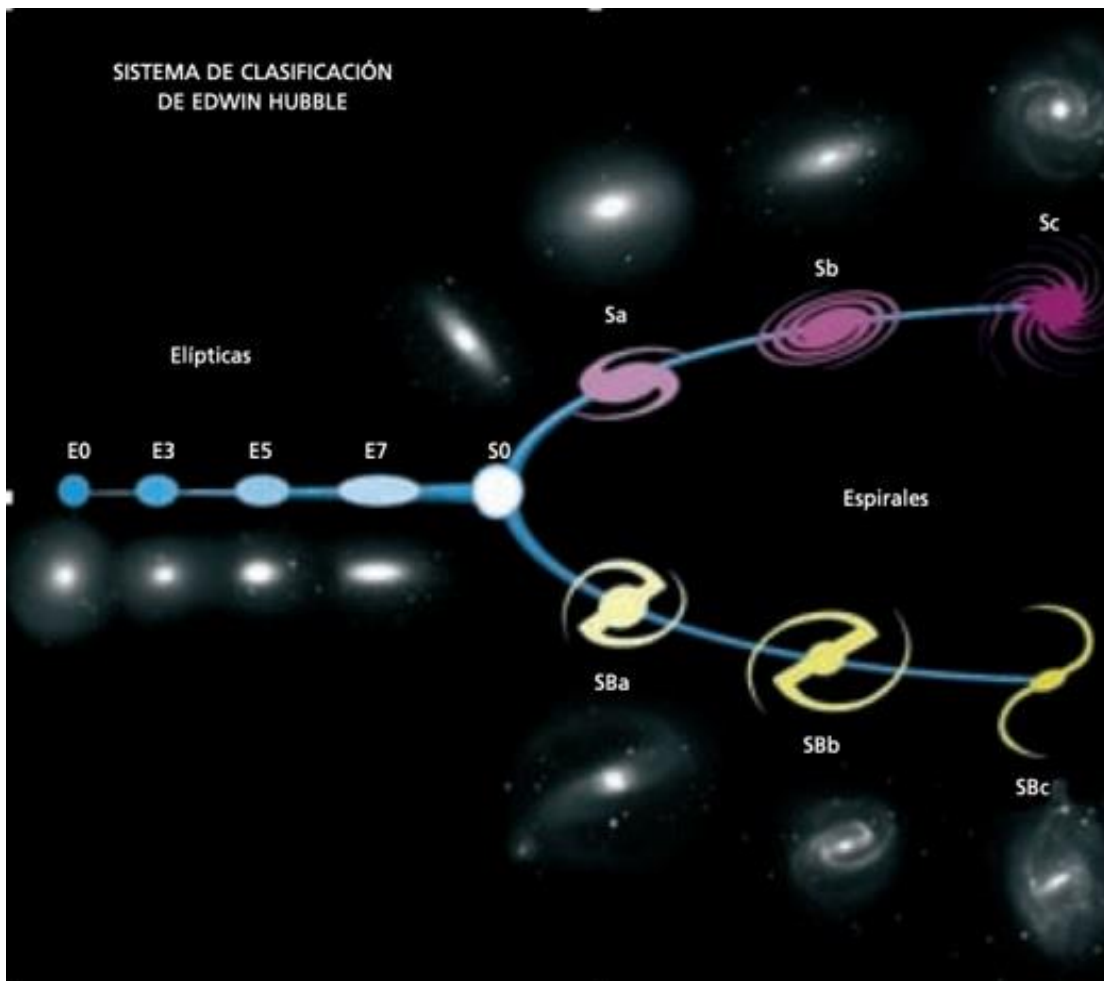


Fig. 8: Système de classification Edwin Hubble (Crédit NASA-ESO)

### Activité 3 : Simulation de la formation des galaxies spirales

Un modèle de galaxies spirales (Fig 9a) peut être réalisé avec un verre rempli d’eau et un produit qui a des grains très fins, par exemple, du bicarbonate de sodium (Fig 9b), du sel de table (NaCl), bien qu’il se dissout plus facilement dans l’eau, et du sable (Fig 9c), tant qu’il est très fin, même passé à travers un tamis.





Figure. 9a. Galaxy NGC 5457 (ESA/Hubble)



Figure. 9b. Galaxie avec bicarbonate.



Figure. 9c. Galaxie avec du sable.

Remuez l'eau du verre avec une cuillère à café et avec énergie, arrêtez de remuer, versez une cuillère à soupe du produit et attendez que les grains se déposent. Vous obtenez une pile centrale et des bras spiraux, très similaires à ceux des galaxies.

En regardant le verre de côté, le modèle simule également la forme des galaxies vues de bord, avec le bulbe central (Fig. 10 a, b et c).

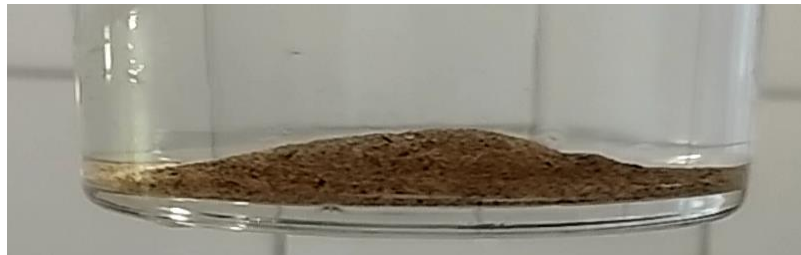


Fig. 10a, modèle de galaxie de sable, vu de côté.

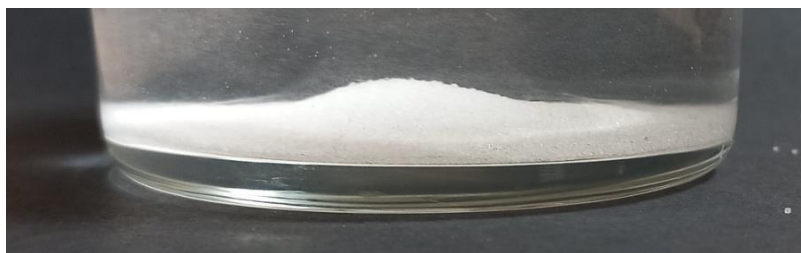


Figure. 10b. Modèle de bicarbonate, également vu de côté.



Figure. 10c. Galaxy NGC 4565, avec bulbe central (Crédit ESO/NASA)

Si vous continuez à remuer lentement, vous pouvez modéliser les bras spiraux et obtenir quelque chose de similaire aux galaxies elliptiques, un autre type de galaxie dans la séquence de Hubble (Fig. 8). Notre modèle seul ne parvient pas à reproduire les galaxies barrées.

## Zone habitable dans les galaxies

Dans la zone centrale des galaxies, il y a un niveau élevé d'énergie, il y a des sursauts gamma massifs et d'énormes événements très énergétiques et violents, qui rendent la vie impossible. D'autre part, dans la zone du bord de la galaxie, il y a un manque d'atomes plus lourds que l'hydrogène et l'hélium, qui sont nécessaires à la vie, de sorte que la zone habitable correspond à une zone circulaire comme la chambre d'un pneu de voiture et correspond à la zone où le Soleil se déplace. La zone habitable dans les galaxies est normalement située dans un rayon compris entre 23000 et 30000 a.l. du centre de la galaxie (le Soleil est à 27000 a.l.).

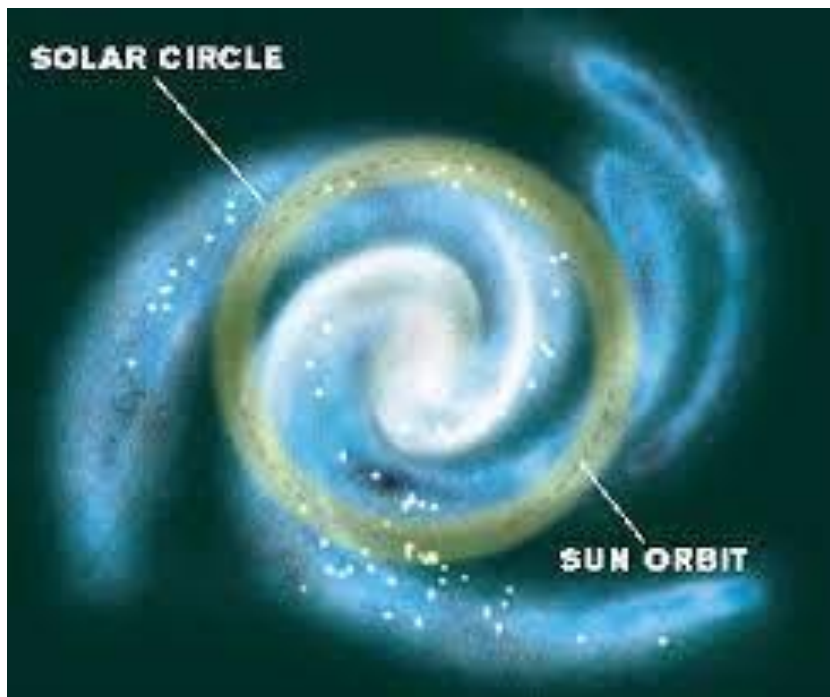


Fig. 11: Zone habitable de la galaxie (Crédit: NASA)

## Plasma et champ magnétique

Dans le milieu intergalactique, dans le milieu interstellaire et dans les étoiles elles-mêmes, la matière est généralement à l'état plasmatique. Ce plasma est constitué d'électrons, de protons, de particules de haute énergie et de gaz ionisé.



Fig. 12a : Nébuleuse du Voile, (Crédit Hubble), Fig. 12b : Comète C/2002 E3 (Crédit Rykis Babianskas et Carlos Viscasillas)

Sur Terre, il y a de la matière dans cet état comme la foudre, l'intérieur de tubes fluorescents ou de lampes à économie d'énergie, des moniteurs et des écrans de télévision, des boules de plasma ou la flamme d'une bougie.



Fig. 13a, 13b et 13c : Il y a de la matière à l'état plasma dans la boule de plasma, dans une flamme et dans un tube fluorescent

C'est aussi le plasma du vent solaire, un flux de particules chargées qui sont libérées de la couronne solaire dans tout le système solaire, dans toutes les directions. Le flux de ces particules est variable, fortement influencé par l'activité solaire, qui produit des taches solaires et des éruptions. Le vent solaire peut déformer le plasma des queues des comètes, qui pointent toujours contre le Soleil.

Sur Terre, il peut générer des tempêtes géomagnétiques et donner lieu à des aurores boréales (lumières au nord et au sud). Les particules du vent solaire voyagent à grande vitesse et avec beaucoup d'énergie, ont un grand pouvoir de pénétration et peuvent endommager l'ADN des cellules. Le champ magnétique terrestre forme la magnétosphère, qui agit comme un bouclier protecteur, comme un parapluie, déviant les particules chargées qui sont si dangereuses pour la vie, les empêchant d'atteindre la surface de la Terre.

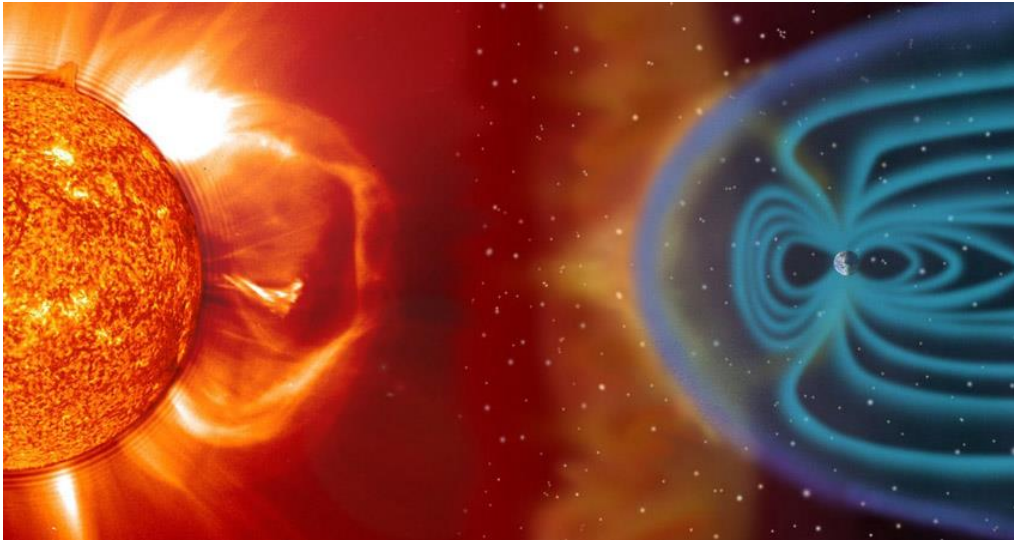


Fig. 14: Le champ magnétique terrestre sert de bouclier ou de parapluie contre le vent solaire.

Lorsqu'il y a de fortes éjections coronales sur le Soleil, l'intensité du vent solaire augmente considérablement et il peut percer la magnétosphère terrestre. À ces occasions, une partie du vent solaire atteint l'atmosphère dans les zones proches des pôles, générant de belles aurores boréales (dans l'hémisphère nord) et australes (dans l'hémisphère sud).

L'énergie de ces particules excite les atomes dans l'atmosphère, provoquant l'émission de photons par leurs électrons de différentes longueurs d'onde. Si les particules sont de haute énergie, l'oxygène produit une lumière verte/jaune, et si elles sont de faible énergie, une lumière rouge/violette. Dans le cas de l'azote, il produit une lumière bleuâtre ou rouge/violette sur les bords inférieurs des aurores boréales.



Fig. 15a et 15b : Les différentes couleurs des aurores dépendent de l'ionisation de l'oxygène et de l'azote. (Crédits , S.Ekko, Finlande)

## Activité 4 : Le champ magnétique terrestre

Nous pouvons visualiser le champ magnétique terrestre avec un aimant, qui représente le champ magnétique terrestre, et une boussole, avec laquelle nous traversons les lignes de force du champ. Il suffit de comprendre que l'aiguille de l'aimant est placée « tangente » aux lignes de champ magnétique (figures 17a, 17b et 17c).

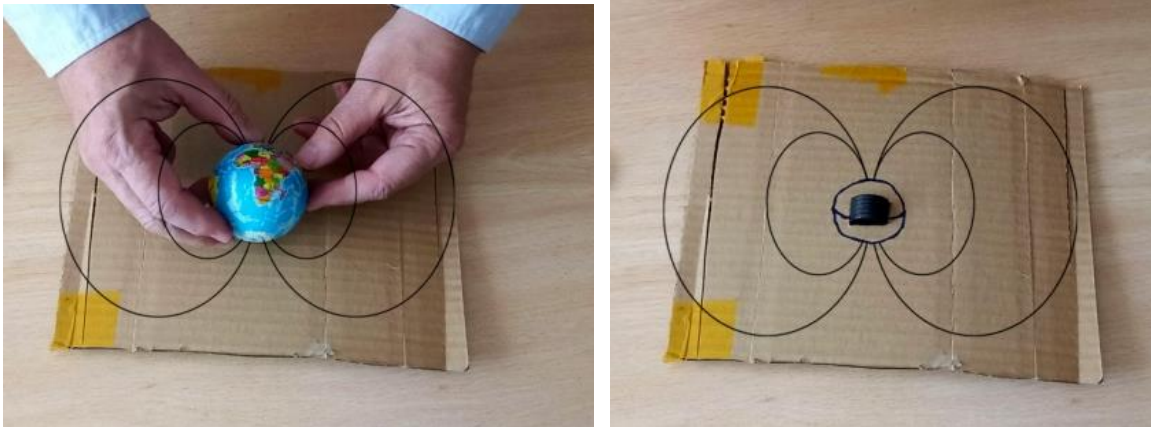


Fig. 16a, 16b Modèle du champ magnétique terrestre avec quelques lignes de force représentées.

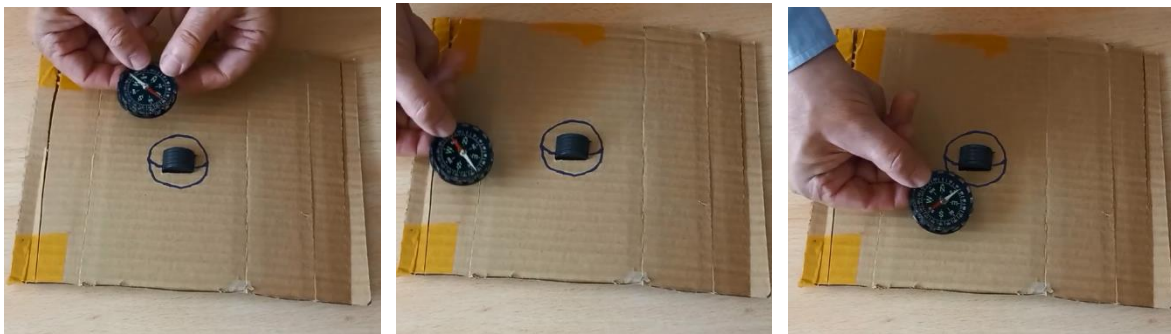


Fig. 17a, 17b, 17c : Avec une boussole, les lignes de champ sont « tracées » (l'aiguille de la boussole est toujours tangente aux lignes de champ).

À l'intérieur d'une sphère en plastique, nous avons mis un aimant enveloppé dans une serviette en papier. Il représente la Terre. Nous saupoudrons près des pôles de la limaille de fer, qui visualise très bien les lignes de champ magnétique dans cette zone.



Fig. 18: Un aimant à l'intérieur d'une sphère en plastique, comme modèle du champ magnétique terrestre.

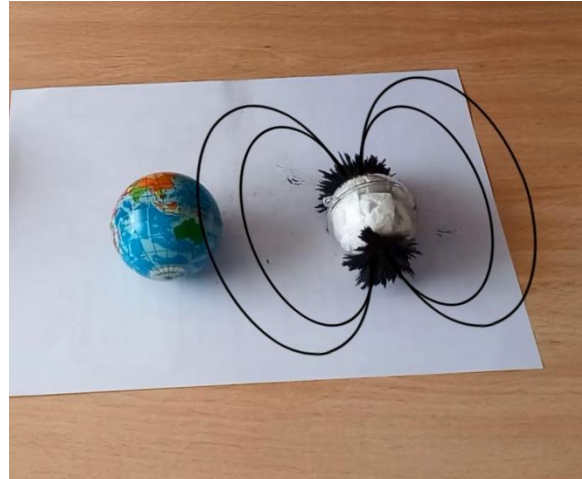
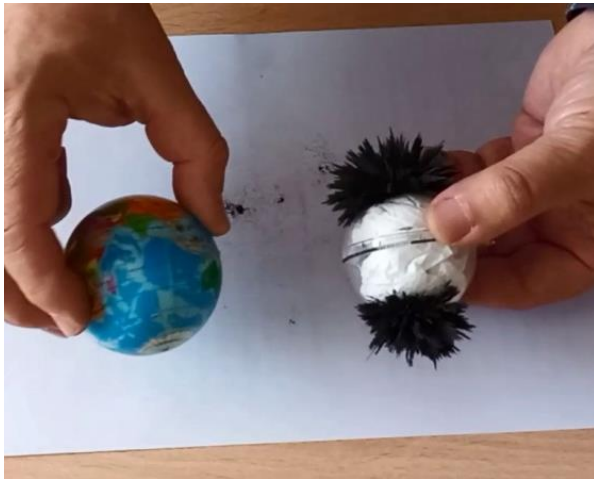


Fig. 19a et 19b : Avec la limaille de fer, les lignes de champ dans les zones polaires sont visualisées. C'est dans ces zones que les aurores se produisent.

## L'origine de la vie sur Terre

Il est admis que l'origine de la vie sur Terre remonte à plus de 3 milliards d'années, évoluant des microbes les plus élémentaires à une grande complexité au fil du temps. Mais comment les premiers organismes se sont-ils développés dans le seul foyer connu de la vie dans l'univers ?

La science reste indécise et conflictuelle quant à l'origine exacte de la vie, même la définition même de la vie est remise en question et réécrite. Certaines des nombreuses théories scientifiques sur l'origine de la vie sur Terre qui sont en vigueur sont:

- L'une des théories les plus acceptées est celle qui propose que la vie ait pu commencer dans les cheminées hydrothermales que l'on peut trouver dans les profondeurs de l'océan, généralement sur des plaques continentales divergentes et qui perdent des

éléments clés pour la vie, tels que le carbone et l'hydrogène. Les fluides expulsés se refroidissent lorsqu'ils traversent la croûte terrestre, absorbant les gaz dissous et les minéraux, tels que le carbone et l'hydrogène. On sait maintenant que ces événements, riches en énergie chimique et thermique, chaude et alcaline, ont une grande variété d'espèces (Figure 20a et 20b).

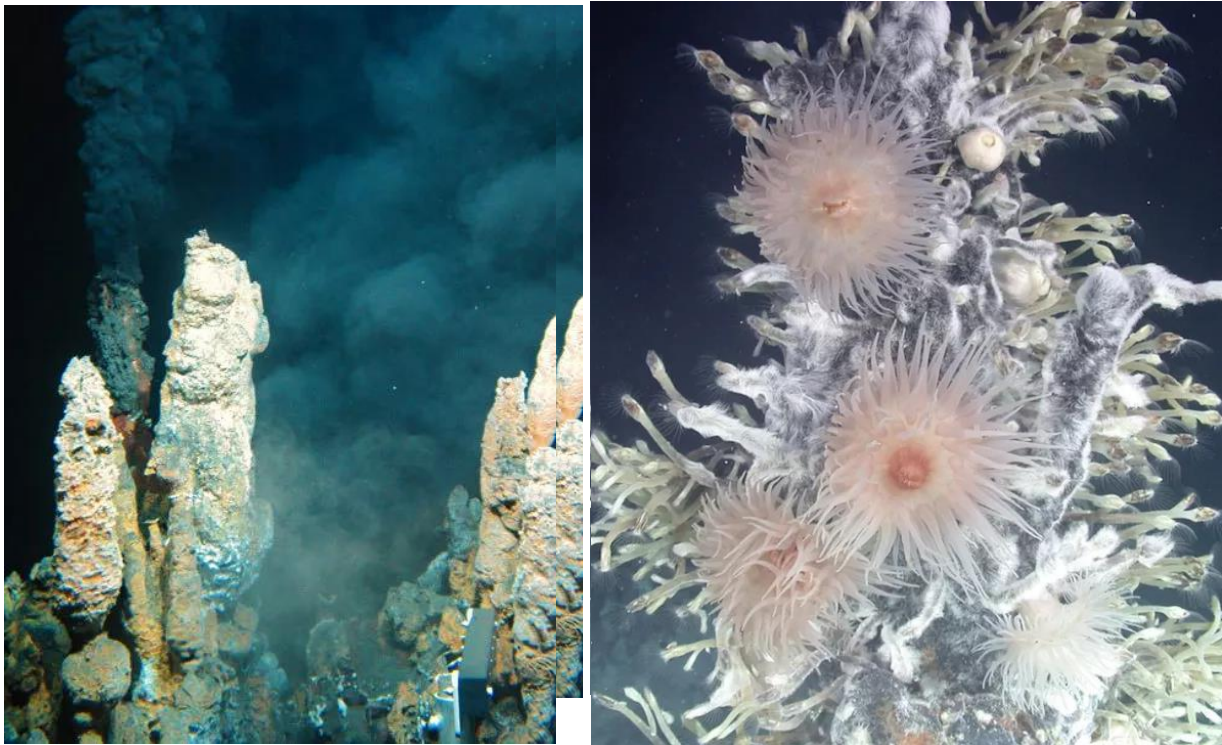


Fig. 20a: La vie a peut-être commencé dans les cheminées hydrothermales où l'eau de mer acide a rencontré un fluide alcalin de la croûte terrestre (Crédit: Woods Hole Oceanographic Institution). Fig. 20b: Anémones prospères dans les eaux chaudes des événements (Crédit : NERC ChEsSo Consortium)

- La foudre a peut-être fourni l'étincelle nécessaire pour que la vie commence. Les étincelles électriques peuvent générer des acides aminés et des sucres à partir d'une atmosphère chargée d'eau, de méthane, d'ammoniac et d'hydrogène. Au cours de millions d'années, des molécules plus grosses et plus complexes pourraient se former. Bien que la recherche ait depuis révélé que l'atmosphère primitive de la Terre était en fait pauvre en hydrogène, les scientifiques ont suggéré que les nuages volcaniques dans l'atmosphère primitive auraient pu contenir du méthane, de l'ammoniac et de l'hydrogène et des décharges électriques, les premières molécules de vie auraient pu être trouvées dans l'argile, les cristaux minéraux dans l'argile auraient pu disposer des molécules organiques selon des motifs organisés. Cependant, cette théorie n'a pas été démontrée catégoriquement (figures 21a et 21b).

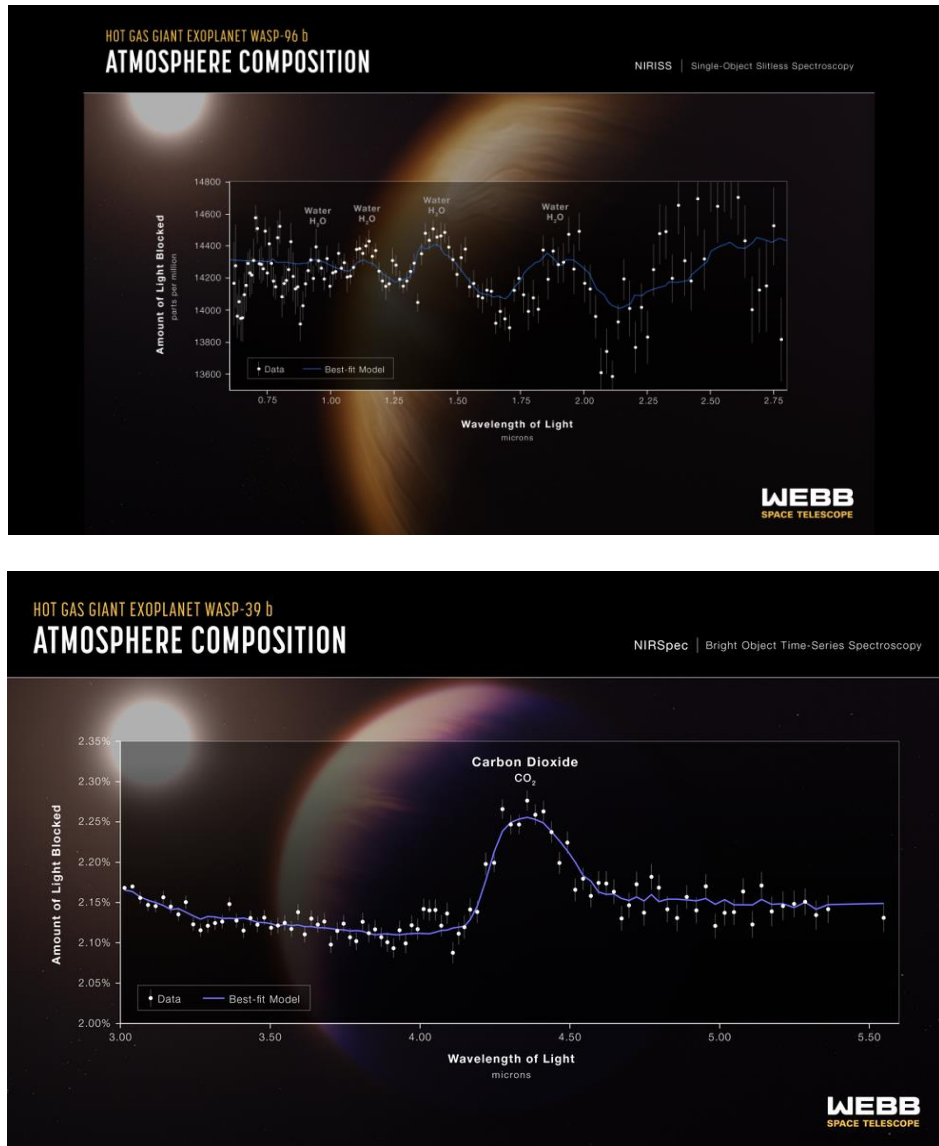


Fig. 21a. Spectres d’atmosphères exoplanétaires, acquis avec le télescope James Web. WASP-96 b (en haut) Fig 21b : la présence de la molécule d’eau est notée ; WASP-39 b (en bas): la bande de dioxydède carbone qui n’est pas au centre du spectre. Notez que ces spectres sont des spectres de transmission et que les longueurs d’onde correspondent au proche infrarouge, c’est-à-dire que les bandes apparaissent en dehors de la région visible du spectre électromagnétique.

- Il y a 3 milliards d’années, la glace a peut-être recouvert les océans et facilité la naissance de la vie, car on pense que les composés organiques sont plus stables à basse température. La glace aurait également pu protéger les composés organiques fragiles de l’action de la lumière ultraviolette et des impacts cosmiques. Aujourd’hui, nous savons que dans le sol gelé, connu sous le nom de pergélisol, il y a des formes de vie en dormance.

Mais, il serait également possible de soutenir que la vie commence en dehors de la Terre et serait arrivée par l’échange de roches sur des millions d’années grâce à l’impact des comètes,



des astéroïdes, des météorites, dans le cadre de la théorie appelée panspermie. Protégés des conditions de l'espace, les microbes pourraient survivre piégés dans les roches, mais la question doit être prise très au sérieux, car il est également possible qu'en atteignant la Terre, du matériel extraterrestre soit contaminé par la vie préexistante sur la planète, comme cela s'est produit avec la célèbre météorite ALH 84001 (Fig. 22), pour laquelle des recherches récentes, financées par le programme d'astrobiologie de la NASA, montrent que la matière organique qu'il contient n'a pas été formée biologiquement, mais par des interactions géochimiques entre l'eau et la roche.

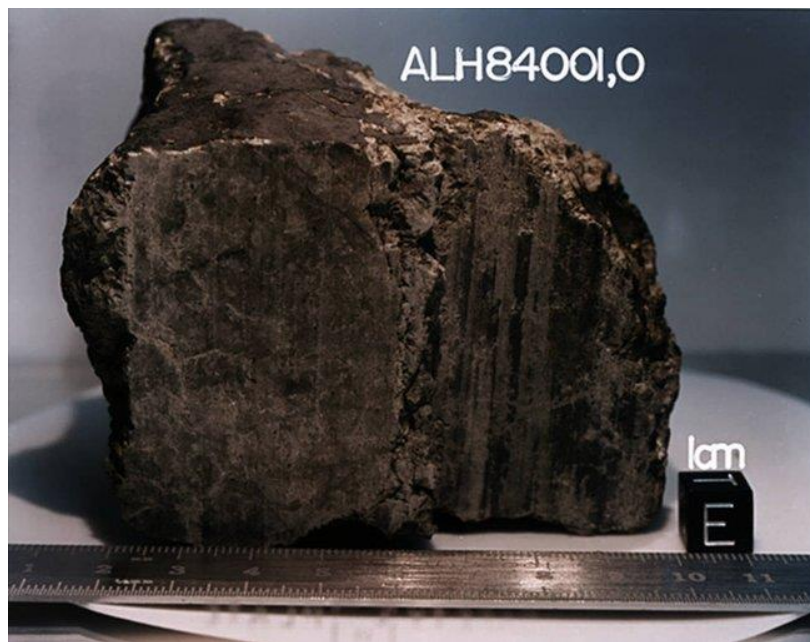


Fig. 22. Météorite ALH 84001: arrivée de Mars, était le protagoniste de l'annonce prématurée de la vie arrivant de cette planète. Aujourd'hui, nous savons que ce qui est détecté comme matière organique n'a pas d'origine biologique.

Cependant, même si la panspermie était vraie, la question de savoir comment la vie a commencé sur Terre ne changerait que pour savoir comment la vie a commencé ailleurs sur l'Univers.

L'exploration des environnements extrêmes sur Terre a conduit à la découverte de nombreux habitats qui étaient considérés comme inhabitables il y a seulement quelques années. L'intérêt pour la diversité et l'écologie des environnements extrêmes a augmenté pour plusieurs raisons, non seulement en raison de l'utilisation potentielle des extrémophiles et de leurs composants dans les processus biotechnologiques (tels que la bio-mine, la bio-remédiation), mais aussi en raison de la recherche de limites à l'existence de la vie.

Les premières espèces vivantes devaient être de simples formes de vie qui servaient de lien entre le premier organisme (comme les bactéries) et la vie telle que nous la connaissons.

Comme on le sait, il n'est pas possible de simplement assembler des éléments chimiques dans un tube à essai et de s'attendre à ce qu'un nouveau type de vie apparaisse spontanément. L'origine de la vie est un événement qui prend des millions d'années à se produire, mais une

fois qu'il commence, la vie peut se multiplier de manière exponentielle et s'adapter à des zones d'une planète qui peuvent être très différentes de son origine.

## Micrométéorites

Le matériau solide provenant du système solaire formait les lunes et les planètes. Cette accrétion n'est pas terminée, et environ 5 tonnes de matériaux de l'espace tombent encore sur Terre. Ces météores traversent l'exosphère et la thermosphère à grande vitesse sans difficulté car ces couches ne sont pas très denses. Mais quand ils atteignent la mésosphère, la densité est plus grande et il y a un grand frottement qui peut faire fondre le matériau. Lors du refroidissement dans la stratosphère et la troposphère, à la fin ils présentent une forme sphérique, parfois avec des stries et parfois de petites bulles effet de solidification rapide.

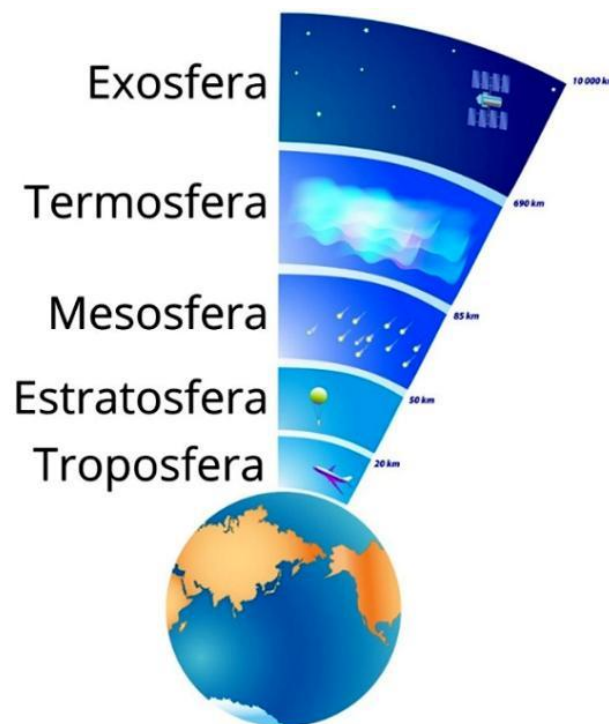


Fig. 23 Couches de l'atmosphère (Crédit : Lifeder)

## Activité 5: Simulation de micrométéorites sphériques.

Remplissez un grand récipient cylindrique transparent avec de l'huile de tournesol en colonne. À l'aide d'une seringue (Figure 24a et 24b), quelques gouttes d'eau ou de cola sont lâchées (car sa couleur est meilleure). L'état physique initial de l'eau ou de la boisson gazeuse provoque

immédiatement la formation de petites sphères que l'on voit lentement tomber dans la colonne d'huile.



Fig. 24 a: Goutte à goutte avec une seringue, Fig. 24b: Colonne où se forment les sphères.

## Activité 6: Recherche de micrométéorites

Les micrométéorites peuvent être obtenues dans le matériau qui se dépose continuellement sur les toits, les routes, etc. Quand il pleut, l'eau les lave à travers les gouttières de drainage des toits et dans les fossés des rues ou des routes. Il est recueilli sur une feuille de papier avec un pinceau un peu de sable provenant de ces sites.



Fig. 25a: Sur la voie publique, vous pouvez trouver des fossés ou des gouttières avec du gravier où nous pouvons localiser les météorites. Fig. 25b : Nous recueillons ce grain avec un papier pour l'analyser.

Un aimant est ensuite passé sous la feuille de papier avec le matériau: on verra clairement comment de petites particules de matière ferreuse sont attirées par l'aimant (Figure 26). Sans séparer l'aimant, renversez le papier et tout le sable tombera, à l'exception de ces fines particules sombres, qui seront attirées par le champ magnétique de l'aimant. Retournez le papier et retirez l'aimant. Il peut y avoir des micrométéorites possibles là-bas.



Fig. 26a et 26b : En passant l'aimant sous la feuille de papier, faites glisser le matériau ferromagnétique

Lors de la visualisation de l'échantillon avec l'appareil photo du téléphone portable au zoom maximal, les particules qui sont des micrométéorites sont de forme sphérique, comme de petites billes.

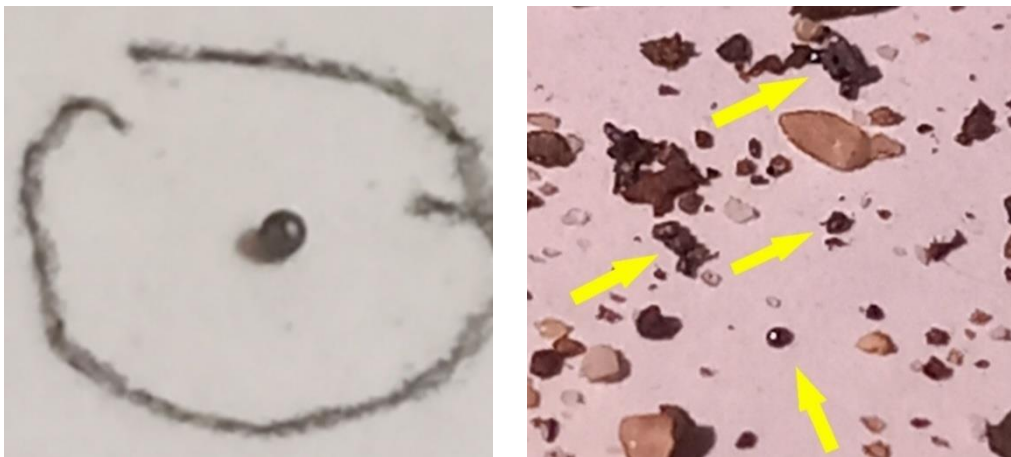


Fig. 27a: Photographie d'une seule micrométéorite isolée avec l'appareil photo mobile, Fig. 27b: Photographie avec plusieurs micrométéorites utilisant le même appareil photo;

Vous pouvez également construire des « pièges » simples. Cela nécessite les éléments suivants: un plateau de cuisine et du papier cellophane transparent (papier film de cuisine). Couvrir le plateau avec le papier cellophane en pliant les bords ou en collant la cellophane en dessous, pour l'empêcher de voler (figure 28a, 28b et 28c).



Fig. 28a : Plateau, papier cellophane et ruban adhésif pour collage, Fig. 28b : Collage du papier cellophane au dos du plateau, Fig. 28c : « piège » à micrométéorites installé dans le jardin.

Placez le plateau légèrement à l'écart du sol, pour éviter que la poussière environnante ou la présence d'animaux ne contamine l'échantillon (figure 28c), dans un endroit où il n'y a pas beaucoup de vent et où rien ne recouvre le ciel. Laissez cet établissement à l'extérieur pendant au moins une semaine. Le papier commencera à avoir l'air « sale ». À la fin de la semaine, déplacez tout le matériel accumulé sur une feuille de papier. L'aimant est passé en dessous et analysé avec l'appareil photo du téléphone.

Il est également possible de préparer un piège individuel pour chaque élève. Vous avez besoin d'un gobelet en papier, d'une corde pour l'attacher et d'un petit aimant.



Fig. 29a et 29b: Le verre attaché avec un fil et un petit aimant à l'intérieur. Fig. 29c : Élève utilisant le verre, à la recherche des micrométéorites.

Pour préparer le piège pour chaque élève, nous attachons le verre avec un fil et mettons un petit aimant à l'intérieur du verre. Les élèves se déplacent dans la cour d'école avec les gobelets magnétiques. Ensuite, ils enlèvent l'aimant, et s'il y a des particules de fer (micrométéorites), elles tomberont sur la feuille de papier blanche. Les élèves regardent avec les caméras de leur téléphone pour trouver des micrométéorites, les identifiant comme de minuscules sphères.

## Classification des extrêmophiles

Un extrêmophile est un organisme, souvent un micro-organisme, qui vit dans des conditions extrêmes, c'est-à-dire dans des circonstances très différentes de celles vécues par la plupart des formes de vie terrestres.

Jusqu'à récemment, on pensait que dans les endroits où nous savons maintenant que les extrêmophiles poussent, il était impossible qu'il y ait de la vie. Par exemple, dans les zones extrêmement froides de l'Antarctique, dans les eaux très acides et riches en métaux du Rio Tinto, ou dans le désert extrêmement sec et lourd de l'Atacama. Mais il a été démontré qu'il existe des organismes qui vivent dans toutes ces zones.

Les astrobiologistes de la NASA et de l'ESA étudient au sol (Antarctique, désert d'Atacama, mines de Río Tinto, etc.) comment la vie évolue ou s'adapte pour comprendre son origine.

L'Antarctique, pour la plupart, est froid et désolé, cependant, plusieurs groupes de scientifiques ont réussi à trouver une grande quantité de vie sous sa surface. Ils ont trouvé des microbes extrémophiles vivant à des profondeurs de 36m avec des températures de  $-20^{\circ}\text{C}$  dans l'eau salée (qui ne gèle pas en raison de la forte concentration de sel), un autre groupe a trouvé à 800m de profondeur un écosystème entier en absence totale de lumière (figure 30).



Fig. 30: Différents groupes scientifiques trouvent des extrémophiles sous la surface de l'Antarctique

Certains extrémophiles vivent en l'absence d'eau ou sont capables de résister à la dessiccation en vivant avec très peu. Comme les microbes du sol du désert d'Atacama.

Il y a un phénomène très spectaculaire : le désert fleuri. C'est le désert le plus sec du monde, les années où il y a plus de précipitations que la normale et puis un front froid apparaît un grand nombre et une diversité de fleurs (jusqu'à 14 variétés) qui reste pendant quelques mois.

La zone minière de Riotinto depuis le premier siècle avant JC a été exploitée par l'Empire romain et la situation actuelle, après des centaines d'années d'exploitation minière à ciel ouvert où des minéraux lourds ont été extraits, est d'un grand intérêt pour étudier la vie dans des conditions extrêmes.



Fig. 31: Photographie d'août 2022 Après plusieurs années de sécheresse, les dernières années étaient 2015 et 2017

D'autres extrémophiles se développent dans des environnements de forte acidité et de fortes concentrations de métaux (fer, cuivre, cadmium, arsenic, zinc, plomb). Les réactions dans cette rivière sont catalysées par des bactéries acidophiles, de sorte que si l'acidité est réduite, la population de bactéries se multiplie, ce qui génère plus d'oxydation des sulfures et plus d'acidité dans un processus qui se nourrit. Les habitants de la région savent combien il va pleuvoir en raison des changements de couleur de la rivière (les bactéries génèrent plus d'acidité pour maintenir le pH pendant la crue de la rivière).



Fig. 32: Les eaux rouges de Rio Tinto où vivent les bactéries acidophiles.



Fig. 33: Erica andevalensis est répandue dans toute la région, dont les racines sont dans les sols acides et avec très peu de nutriments

Il existe de vastes zones d'arbustes d'Erica Andevalencis ou « bruyère minière », répartis le long du lit de la rivière. Ces plantes ont leurs racines dans des sols très acides avec peu de nutriments. Même certaines plantes poussent sur les rives de la rivière avec leurs racines partiellement submergées dans l'eau acide et les sols avec de fortes concentrations de cuivre et de plomb.

La recherche spatiale nécessite le travail d'astrobiologistes dans des zones extrêmes telles que l'Antarctique, le désert d'Atacama ou les mines de Ríotinto. La première étape de nombreux protocoles qui sont effectués pour découvrir les extrémophiles est le processus d'extraction de l'ADN et pour cette raison , cette activité est effectuée ci-dessous.

## Activité 7: Extraction de l'ADN

Après avoir observé qu'il y a de la vie dans des conditions très extrêmes, il a été décidé de faire le test ADN lorsque vous voulez détecter l'existence de la vie. Les restes d'ADN permettent de détecter l'existence de la vie (actuelle ou passée), et cela est utilisé pour rechercher la vie dans l'espace.

La molécule d'ADN est une molécule très longue et est compactée avec des protéines (comme un enchevêtrement) à l'intérieur des cellules. Ainsi, afin de détecter la présence de restes d'ADN, il est nécessaire de préparer une solution avec laquelle nous pouvons briser la membrane enveloppante de la cellule.



Nous procéderons à titre d'exemple pour extraire l'ADN d'une tomate mûre car il est très facile de la liquéfier.

#### Solution pour casser la cellule

Dans un demi-verre d'eau, une cuillère à café de sel (chlorure de sodium) est dissoute pour libérer les protéines et ainsi libérer l'ADN qui apparaîtra blanc en raison de la présence de sel. Trois cuillères à café de sodium sulfureux, pour maintenir le pH de la solution constant et que l'ADN ne se dégrade pas. Ensuite, ajoutez le lave-vaisselle jusqu'à ce que l'eau ait la couleur de ceci, pour briser la membrane des cellules grasses. Il est nécessaire de mélanger sans mousse pour pouvoir bien voir l'ADN.

#### Préparer le jus de cellules « de la tomate »

Nous allons commencer par extraire deux cuillères à soupe de pulpe de tomate, l'écraser avec une cuillère et l'écraser avec une fourchette jusqu'à obtenir une purée plus ou moins liquide (figure 34).

Verser la solution briseuse des cellules sur la purée de tomates. Deux fois le volume de solution que la purée de tomates. Pour casser les cellules, secouez en prenant soin de ne pas mousser et de forcer pour enlever les gros morceaux. Le contenu à l'intérieur des cellules est dans le jus et c'est là que se trouve l'ADN que nous voulons extraire.



Fig. 34: Préparation de la purée de tomates liquide, pour procéder à verser deux fois plus de solution de briseur des membranes, pour extraire l'ADN.

#### Rendre l'ADN visible

Quand il y a beaucoup de brins d'ADN, il ressemble à un nuage blanc (le sel lui donne la couleur blanchâtre). Nous laissons tomber de l'alcool sur la paroi du verre de jus, parce que nous voulons qu'une couche d'alcool reste sur le jus sans se mélanger avec lui. En trois ou quatre minutes, un nuage blanc d'ADN se forme et s'agglutine et devient visible (monte). L'alcool est ajouté parce que l'ADN n'est pas soluble dans l'alcool et que le nuage d'ADN est formé qui est bien visible (figure 35).



Fig. 35: Le nuage d'ADN est très visible flottant au-dessus du mélange

## Bibliographie

- Arisa, E., Mazón, J. and Ros, R.M. 2012, Looking for the north, EU-UNAWA, Barcelona, Spain.
- Dill K.A. and Agozzino L. 2021, “Driving forces in the origins of life”, Open biology, Volume 11, <https://doi.org/10.1098/rsob.200324>
- Kostov, R. I., Kurchatov, V. 2001. Bulgarian meteorites – history and stage of study. – Geology and Mineral Resources, 8, 10, 16-20, Bulgaria.
- Larsen L., 2019, On the Trail of Stardust: The Guide to Finding Micrometeorites: Tools, Techniques, and Identification, Voyageur Press, Beverly, MA (USA).
- Levy M. et al. 2000, “Prebiotic Synthesis of Adenine and Amino Acids Under Europa-like Conditions”, Icarus, Volume 145, <https://doi.org/10.1006/icar.2000.6365>
- Martin W. 2008, “Hydrothermal vents and the origin of life”, Nature Reviews Microbiology, Volume 6, <https://doi.org/10.1038/nrmicro1991>
- Moreno, R., 2022, Experimentos para todas las edades, 3ª Edición. Editorial Rialp, Madrid (Spain).
- Declaration for scientists/researchers using the NHM Collection, 2013.
- La plus Grande Histoire jamais contée, Des Origines de l’Univers a la vie sur Terre, Belin, Paris, France, 2017.
  - <https://www.sciencefriday.com/articles/up-on-the-roof-a-handful-of-urban-stardust/>
  - <https://micro-meteorites.com/>
  - <https://www.astrogc.com/index-otros-projects-met.html>
  - <https://www.pbslearningmedia.org/resource/5762943c-af62-4a3b-8340-36660545628a/go-outside-and-play-micrometeorites-young-explorers/>