

Astro bio game

Éditeur responsable : Réjouissances (ULiège)

Créatrice : Yaël Nazé

Consultante : Emmanuelle Javaux

Conception graphique : Réjouissances

La vie ailleurs ?

La piste d'une planète (ou lune) habitable et habitée

La vie existe-t-elle ailleurs dans l'Univers ?

Cette question passionne depuis des siècles, mais elle est à présent au cœur d'un domaine de recherche en plein essor : l'astrobiologie. De nature multidisciplinaire, elle repose sur la collaboration entre biologistes, chimistes, biochimistes, géologues, physiciens, astrophysiciens, historiens et philosophes. Son ambition est d'étudier les origines, l'évolution, la distribution et le futur de la vie dans l'Univers. Parmi les nombreuses problématiques abordées par l'astrobiologie, on trouve notamment la formation des systèmes planétaires ; l'origine des composés organiques prébiotiques ; l'origine, l'évolution et les limites de la vie sur Terre ; l'habitabilité planétaire ; la recherche de traces de vie (biosignatures) dans notre système solaire (par exemple sur Mars) ou au-delà (sur des exoplanètes) ; et même la recherche de civilisations extraterrestres.

Exoplanètes

L'essor actuel de ce domaine de recherche s'explique par les développements récents de plusieurs disciplines scientifiques. L'une d'elles est l'exoplanétologie, la détection et l'étude des planètes en orbite d'autres étoiles que le Soleil. Cette discipline a connu un premier tournant en 1995 avec la première détection d'une planète en orbite autour d'une étoile similaire au Soleil, découverte récompensée en 2019 par un Prix Nobel (M. Mayor & D. Queloz). Depuis lors, ce sont plus de quatre mille de ces exoplanètes qui ont été découvertes.

Cette multitude de systèmes ne ressemblent pas souvent à notre système solaire. Ainsi, certaines planètes sont très proches ou très éloignées de leur étoile, d'autres tournent autour d'étoiles très froides (émettant de la lumière infrarouge, mais pas beaucoup de lumière visible), et d'autres encore tournent autour de deux étoiles en même temps ! Parmi les planètes connues, plusieurs dizaines sont particulièrement intéressantes car «potentiellement habitables». Cela veut dire (1) qu'elles tournent autour d'une étoile (il existe des planètes non liées à une étoile, mais elles ne bénéficient pas d'une abondante lumière comme source d'énergie), (2) qu'elles possèdent un « sol », soit une surface rocheuse solide (il s'agit donc d'une planète rocheuse de petite taille, comme la Terre, ou éventuellement d'une lune, mais pas d'une planète géante gazeuse), (3) qu'elles ne sont ni trop près ni trop loin de leur étoile, de manière à avoir une température modérée. Tout cela permet d'avoir des conditions a priori propices à la vie mais, pour être réellement habitables, bien d'autres caractéristiques doivent être remplies (par exemple posséder une atmosphère et de l'eau liquide). D'autre part, des objets hors de la zone tempérée car plus éloignés de leur étoile, peuvent s'avérer aussi accueillants, à condition d'avoir une source d'énergie supplémentaire. Grâce aux recherches scientifiques, nous savons à présent que la plupart des étoiles abritent leur propre système planétaire et que notre galaxie contient plusieurs dizaines de milliards d'exoplanètes potentiellement habitables.

Les multiples visages de la vie sur Terre

Un autre domaine dont le développement a joué un rôle majeur dans l'essor de l'astrobiologie est l'étude des limites du vivant, plus exactement la découverte de nombreux organismes prospérant dans des conditions physico-chimiques extrêmes jugées auparavant impropres à la vie (par ex. à des températures ou des pressions très élevées, dans des milieux très acides, etc). De par leur adaptation à diverses conditions létales pour la plupart des organismes, ces extrémophiles ont étendu le champ des conditions terrestres et extraterrestres potentiellement propices à la vie.

De son côté, l'étude des plus anciennes traces de vie sur Terre a montré que la vie est apparue et s'est diversifiée sur notre planète bien plus tôt qu'on ne le pensait précédemment, rendant a priori plus plausible l'apparition de la vie ailleurs dans l'Univers, là où les conditions seraient propices.

La vie ailleurs ?

La piste d'une planète (ou lune) habitable et habitée

Qu'est-ce que la vie ?

La vie est un phénomène naturel. La chimie organique, chimie de molécules contenant au moins une liaison carbone-hydrogène, est banale dans l'univers. L'eau aussi. Cela signifie-t-il que la vie est banale dans l'univers? Pas forcément ! L'origine exacte de la vie est encore inconnue et on ne peut que tester des hypothèses.

Les conditions requises classiquement invoquées pour la présence de vie sur une planète ou une lune sont la présence d'eau liquide (un solvant aux propriétés remarquables !), d'une source d'énergie (lumière d'une étoile, marées, réactions chimiques au sein de matériaux) et des éléments chimiques C, H, O, N, P, S. Cependant, en examinant de près l'histoire et les caractéristiques de la seule planète habitée connue, la Terre, il semble que d'autres facteurs comme le contact persistant entre l'eau liquide et les roches, sources de nutriments indispensables à la vie, et l'activité géologique (formation de volcans, de montagnes, d'océans, de sources hydrothermales,...) puissent jouer un rôle non seulement dans l'habitabilité initiale d'une planète (càd le fait que les conditions soient propices à la vie au départ), mais aussi dans le maintien et l'évolution de la vie.

Comment la vie peut-elle apparaître et se diversifier ?

Au départ, une planète ou une lune se forme par agrégation de petits corps. Pour des objets assez gros, ce processus conduit à une température très élevée. Une fois formé, le refroidissement s'enclenche, et finit par aboutir à la formation d'une croûte solide. De plus, l'eau vaporisée dans l'atmosphère se condense alors et tombe en pluie, formant des océans (pour la Terre, c'était il y a 4,3 milliards d'années). De nombreuses réactions chimiques commencent alors. Les molécules gazeuses (méthane, CO₂, eau, ammoniac) de l'atmosphère réagissent entre elles, avec l'aide des éclairs. D'autres réactions se produisent pour les minéraux en contact avec de l'eau liquide, dans les sources hydrothermales océaniques ou émergées, sur des plages ou dans de petits lacs d'eau tiède. Des minéraux comme les argiles ou la pyrite facilitent les réactions chimiques, conduisant à plus de complexité moléculaire.

Sur une planète ou lune glacée, une telle chimie prébiotique pourrait peut-être se développer sous la banquise, dans l'océan sous-jacent, là où l'eau est en contact avec des roches et des sources hydrothermales. Cela reste cependant très hypothétique.

Au fil du temps, cette chimie prébiotique se complexifie et produit des assemblages de grosses molécules. Ces assemblages acquièrent les propriétés inhérentes à la vie, à savoir (1) s'autoentretenir en transformant de la matière et de l'énergie (ce qu'on appelle un métabolisme) et (2) la capacité de se reproduire et d'évoluer par sélection naturelle.

Les premières formes de vie unicellulaire apparaissent donc. Ce sont des vésicules entourées d'une membrane organique qui permet les échanges avec l'environnement (càd rejeter ou puiser des éléments et de l'énergie) tout en protégeant les composants internes. Il y a là des molécules impliquées dans le métabolisme et dans l'information génétique mais pas de structures internes complexes. Ces cellules peuvent rester attachées ensemble suite à leur reproduction par division pour former des filaments ou des colonies. Sur la Terre, les plus anciennes traces de vie unicellulaire ont plus de 3,4 milliards d'années et l'on pense que la vie est apparue il y a entre 4,3 et 3,4 milliards d'années sur notre planète.

La vie ailleurs ?

La piste d'une planète (ou lune) habitable et habitée

Au cours de leur évolution, certaines lignées de ces unicellulaires peuvent donner des formes de vie unicellulaire plus complexes où le contenu de la cellule est organisé en compartiments (organelles) et où le matériel génétique se trouve dans un noyau. Les diverses organelles facilitent le transport de molécules, le gain d'énergie, la déformation, la nutrition et le déplacement de la cellule. Sur la Terre, les traces de ce type de vie ont plus de 1,7 milliards d'années.

Certaines de ces lignées de cellules à noyau peuvent ensuite évoluer en organismes multicellulaires complexes. Ils sont constitués de plusieurs cellules organisées en tissus, qui peuvent former des organes aux fonctions différentes (nutrition, reproduction, déplacement, attachement au substrat, ...) au sein d'un même organisme. Ces formes de vie peuvent utiliser l'énergie lumineuse de l'étoile autour de laquelle leur planète ou lune gravite, ou bien absorber des molécules et éléments de l'environnement ou encore avaler d'autres cellules ou organismes. Elles peuvent vivre dans ou sur un substrat (où elles sont attachées ou non), ou se déplacer librement. Sur la Terre, les traces de ce type de vie ont plus de 1,2 milliards d'années. Certains de ces organismes multicellulaires complexes peuvent donner naissance à des organismes qui développent des technologies plus ou moins avancées, leur permettant par exemple d'explorer l'espace, sur la Terre, une espèce -Homo sapiens- développe cette technologie spatiale depuis moins d'un siècle.

Cependant, l'évolution biologique n'est pas un long fleuve tranquille conduisant inévitablement à des êtres complexes et intelligents technologiquement. La vie évolue par simplification aussi, pas seulement par complexification. De plus des phénomènes naturels ou d'origine biologique modifient continuellement les conditions dans lesquelles les espèces évoluent. L'évolution est donc un phénomène naturel imprévisible sur la Terre comme ailleurs si la vie y existe.

Pour la détecter dans le système solaire ou sur des exoplanètes, il faut chercher tout ce qui n'est pas explicable uniquement par des processus physiques ou chimiques et qui pourrait donc être potentiellement d'origine biologique. On ne pourra prouver que la vie extraterrestre existe que si des biosignatures incontestables sont découvertes, mais si on n'en trouve pas, on ne pourra jamais certifier qu'il n'y a pas de vie ailleurs !

Nous vous invitons à découvrir l'aventure extraordinaire de la vie avec le jeu Astro Bio Game.

Règle de jeu

Installation

Ce serious game se joue à 2 ou 3 joueurs (ou équipes). Chaque joueur a un plateau individuel devant lui. Le plateau commun est installé au milieu de la table. Comme la matière est à disposition dans tout l'univers, chaque joueur prend une carte "éléments chimiques".

Début de la partie

Au premier tour, lancez le dé et gagnez la carte « étoile » correspondant à votre résultat. Si votre étoile est jaune ou rouge, prenez également une carte « source d'énergie-lumière ».

Au deuxième tour, lancez le dé et gagnez la carte « planète » correspondant à votre résultat.

Au troisième tour, lancez le dé et gagnez la carte « température » correspondant à votre résultat. Si votre température est « froide » ou « tempérée », prenez la carte « eau+roche ».

Déroulé du jeu

Mélangez le reste des cartes, déposez-les en un tas sur le plateau principal ; déposez votre pion sur le plateau principal, près de l'image de votre étoile.

À chaque tour, un joueur avance son pion d'un cran sur le trajet stellaire et prend 3 cartes dans la pioche. On ne peut garder que maximum 6 cartes en main, il faut se défausser du reste. On ne peut garder deux exemplaires (main+plateau individuel) de la même carte.

À chaque tour, on peut jouer une seule carte pour :

- Ajouter un élément de diversification biologique (carte verte) à son plateau individuel
- Ajouter un ingrédient (carte bleue) à son plateau individuel
- Jouer une carte rouge contre un adversaire

Si vous êtes dans la zone froide, vous ne pouvez commencer à bâtir la diversité biologique que si vous avez déposé sur votre plateau une source d'énergie supplémentaire (marée, activité géologique). Une banque sera également nécessaire à un moment pour protéger les organismes vivants.

Si vous êtes dans la zone tempérée, vous ne pouvez commencer à bâtir la diversité biologique que si vous avez déposé sur votre plateau la carte « atmosphère ».

Pour bâtir votre diversité biologique, vous devez d'abord installer de la vie unicellulaire sans noyau, puis de la vie unicellulaire avec noyau, puis de la vie multicellulaire.

Quand un adversaire vous pénalise d'une carte rouge, regardez les cartes bleues de votre plateau - certaines peuvent contrer des événements rouges. Dans ce cas, sortez la carte bleue du plateau individuel et les deux cartes (rouge+bleue) rejoignent la défausse. Si vous n'avez pas de quoi contrer l'événement, appliquez la sanction écrite sur la carte rouge.

Quand il n'y a plus de cartes dans la pioche, mélangez le tas de défausse et faites-en une nouvelle pioche.

Lorsque vous avez perdu toutes vos cartes de diversification biologique (vertes), vous devez recommencer au prochain tour l'aventure biologique avec une nouvelle planète - attention, cette fois, vous pouvez lancer trois fois le dé en un seul tour (sélection de étoile/planète/température en une fois).

Quand un pion, quel qu'il soit, atteint la fin de vie de son étoile, le jeu est terminé : le gagnant est celui qui a le plus de cartes diversité biologique (vertes).



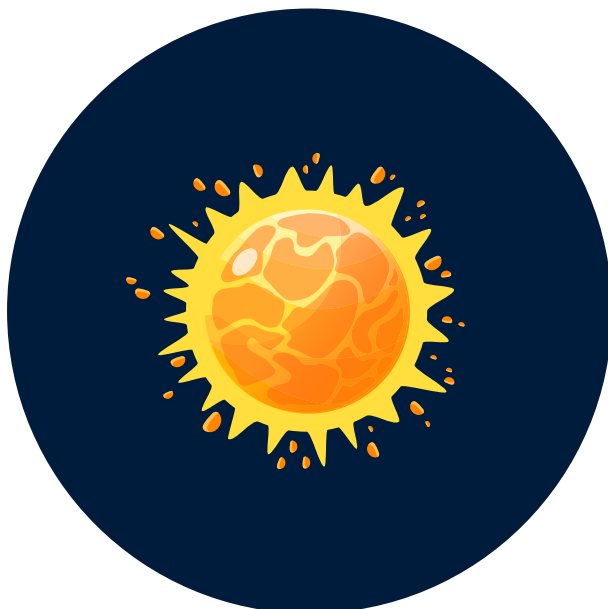
Si



Étoile

Cette rare étoile bleue est extrêmement chaude, lumineuse et éphémère (vie de quelques millions d'années) : la vie ne pourra pas se développer près d'elle.

Réessayez au prochain tour !



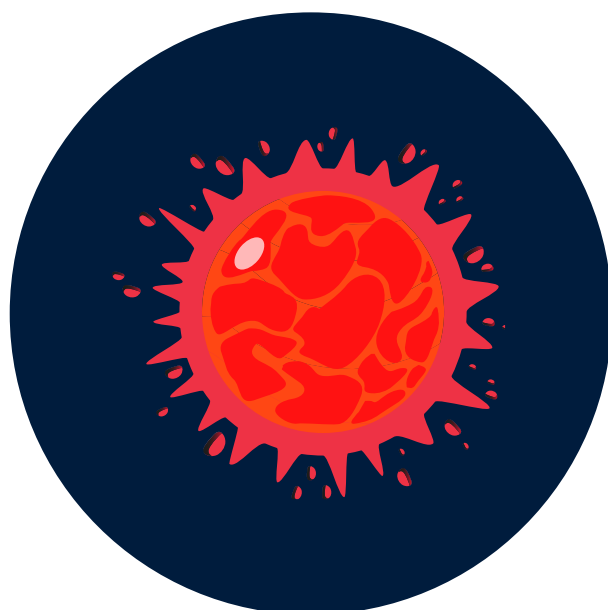
Si



Étoile

Cette étoile semblable au Soleil a une température moyenne de 5500°C en surface et vit assez longtemps (10 milliards d'années).

Prenez la carte «source d'énergie-lumière».



Si



Étoile

Cette étoile, rouge, est plus froide que le Soleil et bien moins lumineuse, mais vit beaucoup plus longtemps.

Prenez la carte «source d'énergie-lumière».



Si



Cette planète rocheuse a une taille similaire à la Terre.

Planète



Si



Cette planète rocheuse a une taille similaire à la Terre.

Planète



Si



Cette planète rocheuse a une taille similaire à la Terre.

Planète



Si



Cette planète rocheuse type « super-Terre » est un peu plus grande et massive que la Terre.

Planètes



Si



Cette planète rocheuse type « super-Terre » est un peu plus grande et massive que la Terre.

Planètes



Si



Cette planète rocheuse type « super-Terre » est un peu plus grande et massive que la Terre.

Planètes




Si 

Cette planète géante et gazeuse ressemble à Neptune. La vie peut éventuellement se développer sur une de ses lunes.

Prenez la carte « Lune »

Planète




Si 

Cette planète géante et gazeuse ressemble à Neptune. La vie peut éventuellement se développer sur une de ses lunes.

Prenez la carte « Lune »

Planète

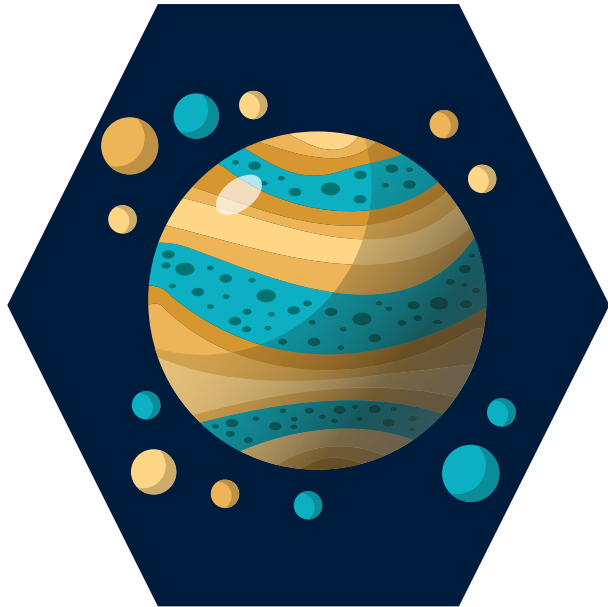


Si 

Cette planète géante et gazeuse ressemble à Neptune. La vie peut éventuellement se développer sur une de ses lunes.

Prenez la carte « Lune »

Planète

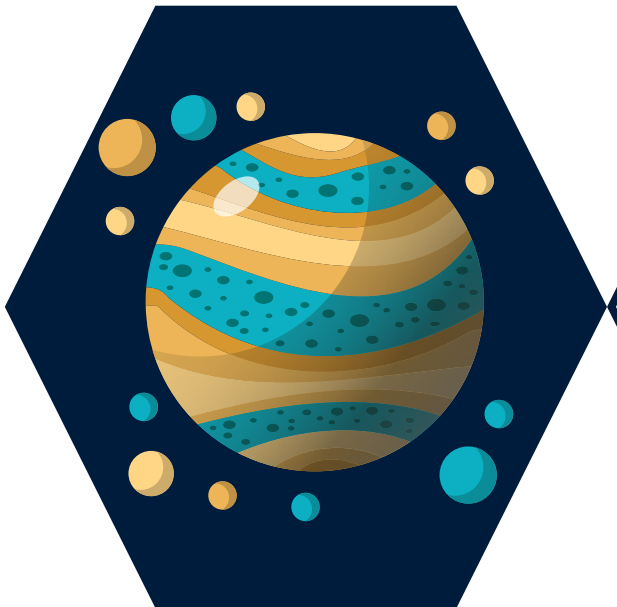


Si 

Cette planète géante gazeuse ressemble à Jupiter. La vie peut éventuellement se développer sur une de ses lunes.

**Prenez la carte
« Lune »**

Planètes

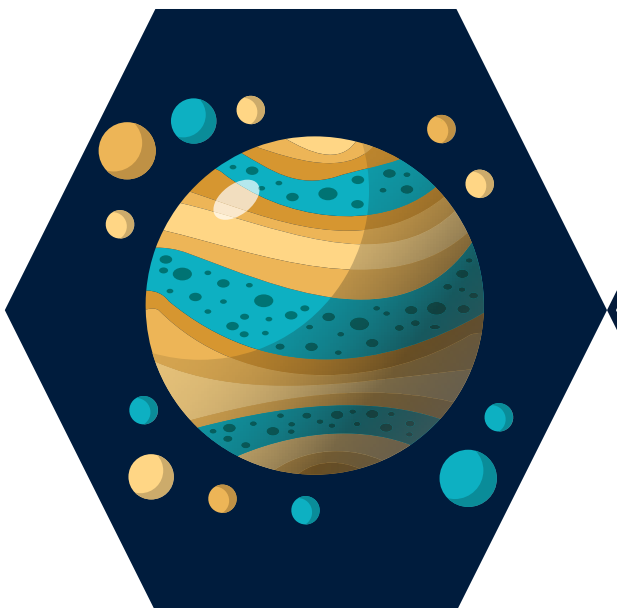


Si 

Cette planète géante gazeuse ressemble à Jupiter. La vie peut éventuellement se développer sur une de ses lunes.

**Prenez la carte
« Lune »**

Planètes

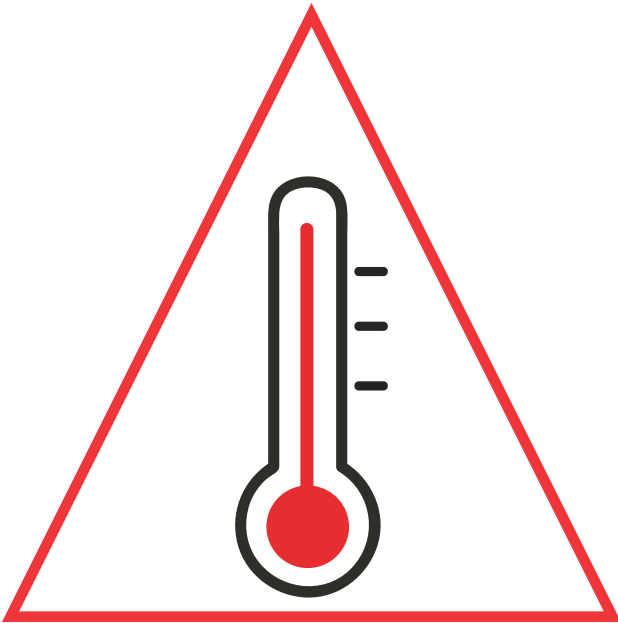


Si 

Cette planète géante gazeuse ressemble à Jupiter. La vie peut éventuellement se développer sur une de ses lunes.

**Prenez la carte
« Lune »**

Planètes

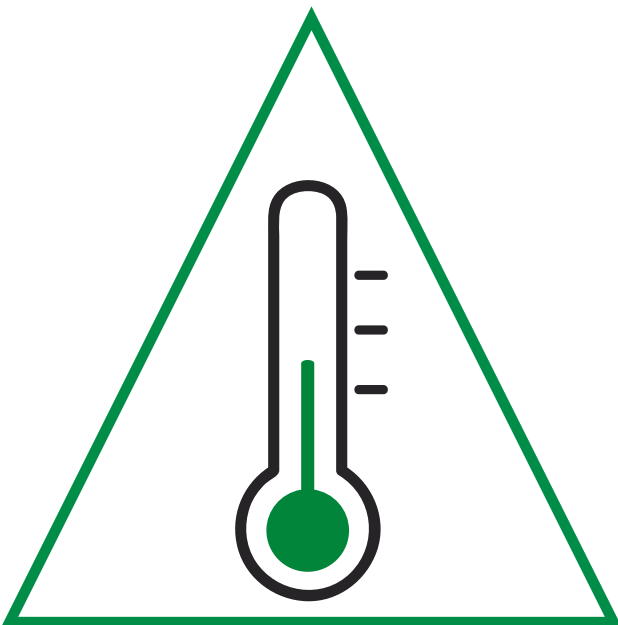


Si



La planète est trop près de son étoile, il y fait trop chaud : la vie ne peut s'y développer.

Réessayez au prochain tour !

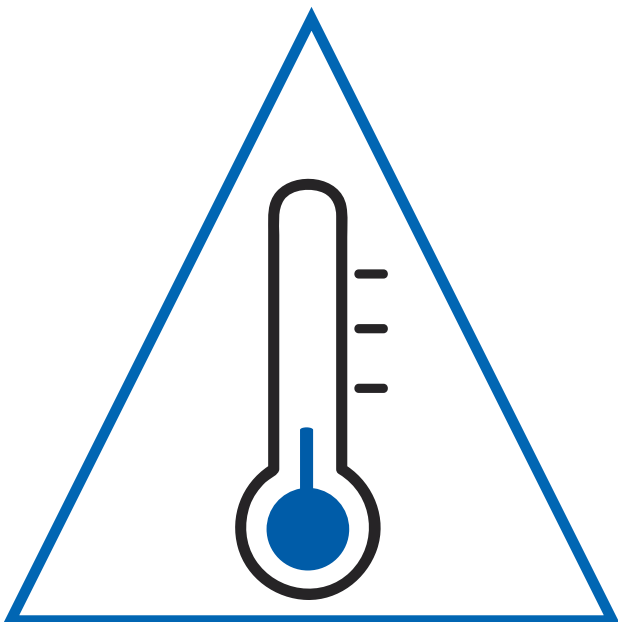


Si




La planète n'est ni trop près ni trop loin de son étoile : son climat devrait être tempéré.

Prenez la carte « eau+roche ».



Si



La planète est loin de son étoile, il y fait très froid. Pour que la vie s'y développe, il faudra une source d'énergie en plus (marées, activité géologique). **Si vous ne voulez pas tenter cette aventure, vous pouvez retenter votre chance au prochain tour. Sinon, prenez la carte « eau+roche » et continuez.**

INGREDIENT

Éléments chimiques



Le vivant utilise principalement du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote, du phosphore et du soufre. Sont particulièrement importantes les molécules organiques, longs composés basés sur des chaînes de carbone.



INGREDIENT

Source d'énergie : la lumière

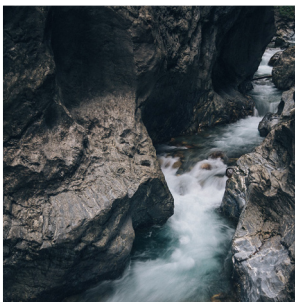


Pour que la vie existe, une source d'énergie est nécessaire. La source la plus abondante et accessible est la lumière envoyée par l'étoile autour de laquelle tourne la planète.



INGREDIENT

Eau et roche



Si la température est modérée, l'eau liquide peut exister. En contact avec de la roche, elle favorise l'éclosion de la vie car les roches sont faites de minéraux qui concentrent les éléments dont la vie a besoin pour construire et maintenir ses cellules.



INGREDIENT

**Source d'énergie :
activité géologique**



Pour que la vie existe, une source d'énergie est nécessaire. L'activité géologique produit des zones chaudes. Cette chaleur peut être utilisée.



INGREDIENT

**Source d'énergie :
les marées**



Pour que la vie existe, une source d'énergie est nécessaire. Des marées, induites par une lune ou par une orbite particulière autour de l'étoile, peuvent en fournir.



INGREDIENT

Lune de planète gazeuse



Dénuée de sol, une planète gazeuse ne peut accueillir de vie, mais ses lunes peuvent s'avérer accueillantes si elles sont assez grosses et ont une atmosphère épaisse permettant la présence d'eau liquide en surface ou une banquise protégeant un océan.



L **Oxygène**

INGREDIENT

CONTRE A




La présence conséquente d'oxygène dans l'atmosphère permet d'autres réactions chimiques, diversifiant certaines formes de vie et conduit à la formation d'une couche d'ozone capable d'arrêter le rayonnement ionisant.



M **Formation de lune**

INGREDIENT

CONTRE E




L'impact d'un astéroïde conduit à la formation d'une lune dont les marées pourraient aider à faire émerger la vie et qui stabilise l'orientation de la planète (évitant des changements climatiques extrêmes).



N **Tectonique des plaques**

INGREDIENT

CONTRE I



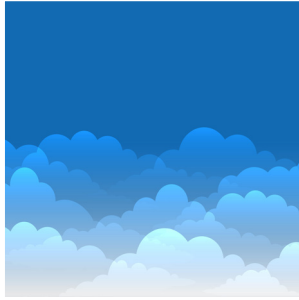
La surface de la planète est composée de plaques tectoniques qui se rapprochent et s'éloignent. Cela conduit à la formation de montagnes, d'océans, à une activité volcanique et hydrothermale ainsi qu'au recyclage des roches (les nouvelles fournissant les nutriments) et de l'atmosphère. Si un continent unique se forme, il ne sera que temporaire.



O

Atmosphère

INGREDIENT



PROTÉGÉ PAR P

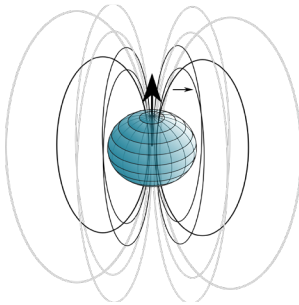
Sans atmosphère suffisamment épaisse, l'eau liquide ne peut subsister à la surface planétaire ou lunaire.



P

Champ magnétique

INGREDIENT



CONTRE J
ÉLIMINÉ PAR F

Grâce à un champ magnétique global, l'atmosphère évite de s'éroder au gré de l'activité de l'étoile.



Q

Banquise globale

INGREDIENT



S'il n'y a pas d'atmosphère, un océan peut néanmoins exister en étant protégé par une couche glacée, comme sur la lune Europe de Jupiter.

Nécessaire pour les lunes de planète géantes en zone froide.



Unicellaire sans noyau

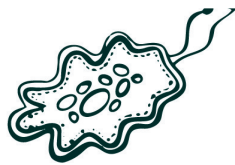


Les premières formes de vie cellulaires sont des vésicules entourées d'une membrane et renfermant du matériel génétique et des molécules nécessaires à leur métabolisme. Ces cellules peuvent former des filaments ou des colonies. Ils peuvent vivre dans (ou sur) un substrat ou se déplacer librement.

1



Unicellaire avec noyau



L'organisation du contenu interne des formes de vie unicellaire se complexifie : le matériel génétique se trouve dans un noyau et des organelles remplissant diverses fonctions sont présentes. Ces cellules peuvent former des filaments ou des colonies. Ils peuvent vivre dans (ou sur) un substrat ou se déplacer librement.

2



Multicellaire complexe



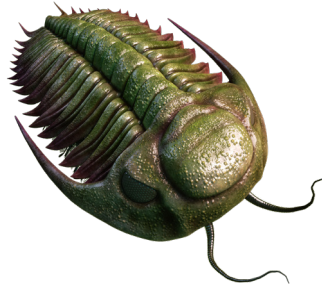
Ces organismes sont constitués de plusieurs cellules organisées en tissus, qui peuvent former des organes aux fonctions différentes au sein d'un même organisme. Ils peuvent vivre dans (ou sur) un substrat ou se déplacer librement.

3



DIVERSIFICATION BIOLOGIQUE

Prédation et défense

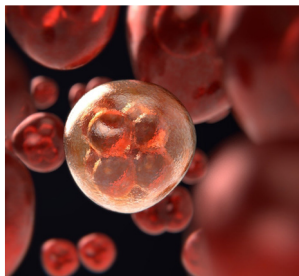


Pour vivre, certains organismes se nourrissent d'autres, devenant ainsi des prédateurs. En réaction, les proies développent diverses stratégies dont la biominéralisation (carapaces de défense).



DIVERSIFICATION BIOLOGIQUE

Reproduction sexuée

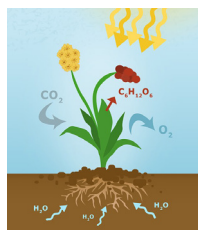


Pour avoir des descendants, une cellule pouvait se diviser et pouvait échanger des gènes. Désormais, la rencontre entre cellules à noyau, avec échange de chromosomes, peut aussi se produire, conduisant à une plus grande diversification.



DIVERSIFICATION BIOLOGIQUE

Métabolismes diversifiés



Les organismes (unicellulaires ou multicellulaires) diversifient leur moyen de produire de l'énergie : consommation de diverses matières organiques ou d'autres organismes, production variée de sa propre matière organique (photosynthèse, transformation de CO₂ en méthane, réduction ou oxydation du soufre, du fer, ...).



DIVERSIFICATION BIOLOGIQUE

Sortie de/retour dans l'eau



L'adaptation progressive fait passer la vie d'un mode marin à un mode terrestre. Au contraire, certains organismes peuvent retourner à l'océan, comme les cétacés.

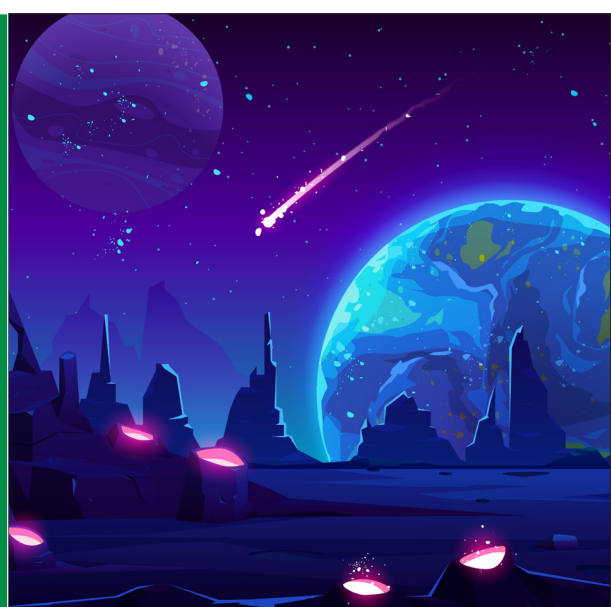


DIVERSIFICATION BIOLOGIQUE

Extrémophiles



Certains organismes s'adaptent à des conditions extrêmes en température, pression, salinité, acidité, radioactivité,...



DIVERSIFICATION BIOLOGIQUE

Diversification biologique vie technologique



Certains organismes développent des outils et techniques diverses, conduisant à l'éclosion d'une civilisation plus ou moins « avancée » (technologiquement du moins).



DIVERSIFICATION BIOLOGIQUE

Civilisation spatiale

JOKER

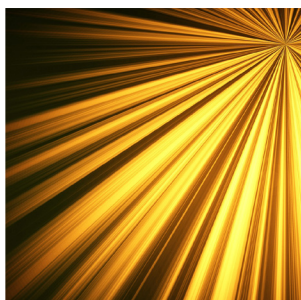


Une civilisation technologique développe les techniques de conquête spatiale et colonise le cosmos, terraformant les planètes si nécessaire. Elle ne craint plus aucun événement négatif extérieur (DANGER A-J) mais elle s'expose à une crise environnementale (K).



A Rayonnement ionisant

DANGER



La lumière ultraviolette, les rayons X, les rayons gamma ainsi que les particules rapides appelées rayons cosmiques peuvent éroder l'atmosphère et détruire la vie en surface. ***Si vous n'avez pas d'oxygène protecteur (L), éliminez une carte biologique.***



B Changement climatique

DANGER



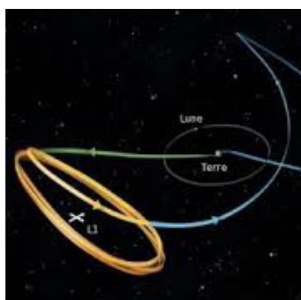
Un changement climatique important (glaciation ou effet de serre extrême) se produit.

Éliminez une carte biologique.



C instabilité orbitale

DANGER



Des interactions gravifiques entre planètes éjectent votre planète du système ou la précipitent vers son étoile, détruisant toute vie.

Éliminez toutes vos cartes biologiques et recommencez le jeu.



D Volcanisme extrême

DANGER



Des éruptions volcaniques extrêmement fortes conduisent à des pluies acides ainsi qu'à un long blocage de la lumière provoquant un bouleversement climatique. Une extinction s'ensuit.

Éliminez une carte biologique.



E Impact

DANGER



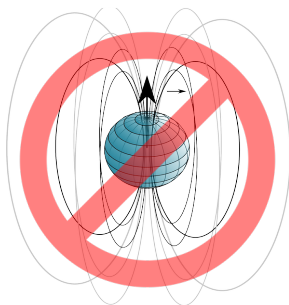
Un gros astéroïde entre en collision avec votre planète (ou votre lune), produisant une catastrophe globale avec extinction de nombreuses espèces.

À moins de créer une lune (M), éliminez une carte biologique.



F Arrêt de champ magnétique

DANGER



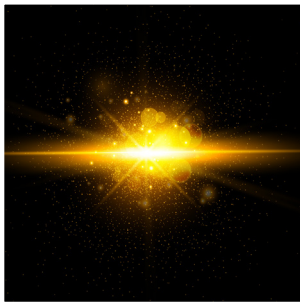
Avec le temps, votre planète se refroidit. Les mouvements internes cessent, arrêtant de générer un champ magnétique.

Éliminez la carte « Champs magnétique » (P) et une carte biologique.



G Explosion cosmique

DANGER



Une explosion de supernova ou un sursaut gamma se produit non loin de votre système planétaire. Ces événements émettent de nombreux rayons gamma capables de détruire l'atmosphère ainsi que la vie en surface. Une extinction se produit.

Éliminez une carte biologique.



H Verrouillage gravitationnel

DANGER



Votre planète tourne autour de son étoile en lui présentant toujours la même face, du coup un côté est très chaud et son opposé très froid.

Éliminez une carte biologique.



I Continent unique

DANGER



Les terres émergées forment un continent unique, diminuant la diversité de la biosphère : les zones côtières, à grande diversité, diminuent, les espèces sont en compétition directe pour les ressources et les conditions climatiques deviennent extrêmes.

S'il n'y a pas de tectonique (N), éliminez une carte biologique.



J

Activité stellaire

DANGER



Votre étoile entre souvent en éruption et ses éjections de particules et de lumière énergétique érodent votre atmosphère et empêchent la vie en surface.

Si vous n'avez pas de champ magnétique (P) protégeant l'atmosphère, éliminez une carte biologique.



K

Crise environnementale

DANGER

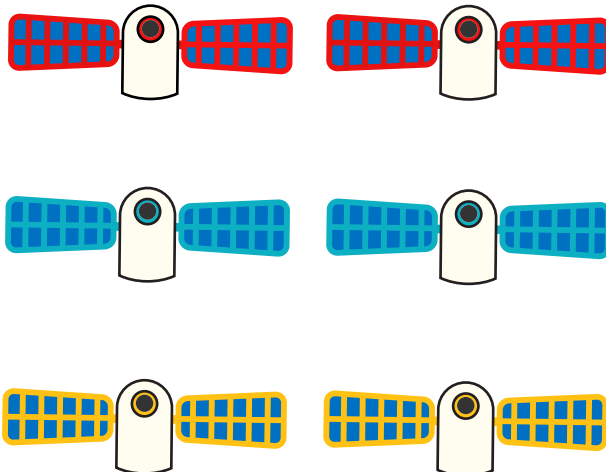


Si une vie technologique est présente, elle peut, hélas, annihiler toute vie en faisant de mauvais choix (guerre globale, pollution, etc).

Éliminez le joker biologique.



Pions



1. Mon étoile

2. Ma planète

3. Ma température

Source d'énergie :
Marées/Activité géologique

Vie unicellulaire
sans noyau

Vie unicellulaire
avec noyau

Vie multicellulaire
complexe

Ingrédients

Joker
technologique

Autre diversité
biologique

Eau et roche

Source d'énergie : la lumière

Éléments chimiques

