

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Exobiologie

<http://aaa.guillaumeponce.org/>

Réunion de réflexions cosmologiques de l'AAA du
12/05/2017

Sujet d'étude

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Le sujet de l'exobiologie, par opposition à la biologie, est l'étude de la vie, pas seulement telle qu'il est avéré qu'elle existe, mais telle qu'elle pourrait exister ; et pas seulement sur Terre mais également ailleurs dans l'Univers.

Deux approches :

- La recherche active au moyen de sondes, pour le système solaire, ou d'instruments de mesure pour les corps célestes (exoplanètes) plus lointains.
- La biologie spéculative et, éventuellement, expérimentale (xénobiologie).

Les deux approches sont complémentaires. La réflexion sur les formes de vie possibles donne des indications sur où et quoi chercher.

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Définition de la vie

Absence de définition unanime

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Il n'existe pas de définition de la vie faisant l'unanimité dans la communauté scientifique.

Larousse :

Caractère propre aux êtres possédant des structures complexes (macromolécules, cellules, organes, tissus), capables de résister aux diverses causes de changement, aptes à renouveler, par assimilation, leurs éléments constitutifs (atomes, petites molécules), à croître et à se reproduire.

Dans la perspective de l'émergence (thème précédemment traité), peut être vu comme une propriété émergente de l'organisation spontanée de la matière.

Définition plus ou moins consensuelles

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Une définition plus ou moins consensuelle consiste à qualifier un être comme vivant s'il est doté de **chacune** des caractéristiques suivantes (mais pas forcément simultanément) :

- **Développement** ou **croissance** (généralement par **assimilation** de matière issue de l'environnement pour créer sa propre substance).
- **Métabolisme** : consommation, transformation et stockage d'énergie ou de masse.
- **Motilité** externe (locomotion) ou interne (circulation).
- **Reproduction**.
- **Homéostasie** (autorégulation) sur différents paramètres : pression osmotique, taux de sucre, degré d'acidité, température ...

A la limite de la définition

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

- On désigne comme **réplicateurs** (Dawkins) des entités capables de se reproduire à l'identique, mais ne possédant pas les autres caractéristiques distinctives du vivant :
 - Feuillettes d'argile.
 - Prions.
 - Virus (?)
- Le cas des virus fait débat, en particulier concernant les virus géants (découverts en 2003), dotés « d'usines à virions » dont le fonctionnement semble similaire à celui du noyau d'une cellule eucaryote.

Etres vivants composites

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Le statut d'être vivant appelle quelques réflexions d'ordre philosophique :

- Chacune de nos cellule est-elle un être vivant ?
- Chacun d'entre nous est-il un être vivant ?
- Chacun de nos organes constitué est-il un être vivant ?
- Ces différentes assertions sont-elles mutuellement exclusives ?

Caractéristiques associées au vivant

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Il existe un certain nombre de caractéristiques systématiquement observées dans le vivant tel qu'on le connaît, mais qui ne participent de sa définition :

- La cellule.
- La notion d'espèce (diversification).
- La génétique.
- L'évolution.

Caractéristiques invariantes de la vie sur Terre

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

- Tous les terriens sont composés de polymères carbonés.
- Tous les terriens sont composés de cellules dont le substrat est l'eau.
- Tous les terriens sont « programmés » avec le même « langage » génétique, basé sur les nucléotides A, G, T, C (Adénine, Guanine, Thymine et Cytosine).

Exobiologie

Définition de
la vie

**Biologie
spéculative**

Stratégies de
recherche

Documentation

Biologie spéculative

Différences à la marges

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

On peut commencer par imaginer des formes de vie présentant des caractéristiques différentes de celles que nous connaissons sur de petits points de détail :

- Différentes chiralités de molécules (sur Terre, les acides aminés sont presque tous lévogyres et les sucres sont tous dextrogyres).
- Nucléotides différents des nôtres (A, G, T, C). Résultats produits en xénobiologie par Philippe Marlière en 2010 (substitution de 5-chloro-uracile à la thymine dans des bactéries).
- Organisation géométrique différente de l'ADN.

De telles formes de vie resteraient donc encore relativement semblables à ce que nous connaissons. On les chercherait dans des milieux semblables à la Terre.

Fondements d'une biochimie

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Toutes les formes de vie connues voient leur existence reposer sur des réactions chimiques complexes et nombreuses. Pour qu'une biochimie puisse se mettre en œuvre il faut :

- Des **éléments lourds** (d'un poids atomique supérieur à celui du lithium), seuls capables de se combiner en molécules suffisamment complexes (**polymères**). Sur Terre, ce rôle est rempli par le **carbone**.
- Un **solvant liquide**, permettant la circulation, la combinaison et diverses réactions entre tous ces éléments. Sur Terre, ce rôle est rempli par l'**eau**.
- Une **source d'énergie** exploitable, directement ou indirectement, par un **métabolisme**. Sur Terre, ce rôle est rempli d'une part par le **Soleil** et d'autre part par la **géothermie**.

Quel(s) élément(s) sinon du carbone ? Le silicium

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Caractéristiques favorables

- Beaucoup de propriétés chimiques semblables à celles du carbone (dues à son appartenance à la colonne 14 de la table périodique des éléments).

Caractéristiques défavorables

- Difficulté à former des liaisons doubles ou triples covalentes, importantes en biochimie.
- Les silanes (qui sont au silicium ce que les alcanes sont au carbone) sont extrêmement réactifs avec l'eau et ceux à longues chaînes se décomposent spontanément aux températures auxquelles l'eau est liquide.
- Si $C \rightarrow Si$ alors $CO_2 \rightarrow SiO_2$ (silice), or SiO_2 est un solide non soluble aux températures auxquelles l'eau est liquide.

Quel(s) élément(s) sinon du carbone ? L'azote et le phosphore

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Le phosphore seul pourrait en théorie suffire à former les polymères nécessaires. Mais en pratique, il est trop réactif à moins d'être combiné avec de l'azote (avec lequel il est capable de former des liaisons covalentes plus stables).

Quel(s) élément(s) sinon du carbone ? L'azote et le phosphore

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Caractéristiques favorables

- On conçoit assez bien un métabolisme compatible avec ces éléments dans une atmosphère réductrice ammoniacale, plausible et stable à une échelle planétaire avec de l'hydrogène et de l'azote moléculaire.
- On peut aussi imaginer une atmosphère oxydante riche en oxydes d'azote. Mais ce schéma est beaucoup moins probable car les oxydes d'azote réagissent avec l'azote et l'oxygène et auraient donc tendance à se recombinaer séparément.

Caractéristiques défavorables

- L'azote et le phosphore sont peu susceptibles d'être suffisamment abondants à l'échelle d'une planète.

Quel(s) élément(s) sinon du carbone ? Le bore

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Caractéristiques favorables

- Présente des caractéristiques chimiques similaires à celles du carbone ou du silicium.

Caractéristiques défavorables

- Un électron de valence de moins (3 au lieu de 4).
- Pas d'équivalents chimiques des hydrates de carbone (glucides) pour le bore.

Quel(s) élément(s) sinon du carbone ? Petits candidats

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

L'arsenic

- En 2010, dans un lac californien, des chercheurs de la NASA ont cru observer des organismes capables d'utiliser de l'arsenic à la place du phosphore dans la constitution de leur ADN.
- En fait, il s'agissait juste d'extrêmophiles capables de tolérer de hautes concentrations en arsenic, mais nécessitant toujours du phosphore.

Le soufre Mêmes problèmes de réactivité que le phosphore ou les silanes.

Quel solvant sinon de l'eau ? L'ammoniac (nitrure d'hydrogène)

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Caractéristiques favorables

- Peut dissoudre la plupart des molécules organiques au moins aussi bien que l'eau.

Caractéristiques défavorables

- Tension de surface 3 fois moindre que l'eau, ce qui rend improbable la tenue des molécules prébiotiques ensemble.
- Combustible.
- Oxydable.
- Nécessite des températures glaciales ou des pressions très importantes pour rester liquide sur une plage de températures suffisante. De telles conditions peuvent néanmoins exister (par exemple sous la surface de Titan).

Quel solvant sinon de l'eau ? Le fluorure d'hydrogène

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Caractéristiques favorables

- Molécule polaire, comme l'eau, pouvant dissoudre de nombreux composés ioniques.
- Liquide de -84°C à 19°C (soit une plage de 104°C).
- Le fluor pourrait servir d'oxydant pour une photosynthèse.

Caractéristiques défavorables

- Néfaste aux systèmes moléculaires connus pour la vie terrestre. Les parafines résisteraient, mais on ne voit pas comment elle pourraient former une biochimie.
- Des mers de fluorure d'hydrogène sont quasi-invisageables, car de l'eau serait très probablement présente dans les mêmes conditions.
- Le fluor est un élément peu abondant dans l'Univers.

Quel solvant sinon de l'eau ? Petits candidats

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Le formamide Ne peut être présent en vaste quantité à une échelle planétaire ; mais envisageable pour une physiologie interne d'organismes.

Le méthanol Idem formamide.

Le sulfure d'hydrogène Réactivité élevée.

Le chlorure d'hydrogène Chlore peu abondant dans l'Univers.

Les sources d'énergie : bases d'un biotope

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Il faut une source d'énergie pour amorcer une pyramide :

- Les formes de vie en bas de la pyramide l'exploiteront directement.
- Les formes de vie plus haut dans la pyramides exploiteront indirectement **cette même énergie** en exploitant le produit des échelons plus bas dans la pyramides.

Exemples sur Terre

- Les plantes exploitent directement l'énergie du Soleil par la photosynthèse.
- Les herbivores l'exploitent indirectement sous la forme des sucres, graisses et protéines constituées par les plantes.
- Les carnivores l'exploitent encore plus indirectement.

Les sources d'énergie

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Avérées (sur Terre)

Les étoiles Quantités phénoménales d'énergie. A la base des plus gros biotopes observés sur Terre.

La géothermie Observé sur Terre dans certains biotopes des fonds océaniques. Nécessite un corps céleste géologiquement actif (typiquement : une planète ou une lune rocheuse pas complètement refroidie).

Hypothétiques

Les effets de maré / friction gravitationnelle Hypothèse sur la cause des geysers sur Encelade (lune de Saturne).

Présence d'éléments radioactifs Autre élément de l'hypothèse Encelade.

Métabolisme : quoi sinon de l'oxygène ?

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Sur Terre, les métabolismes sont fondés sur des réactions d'oxydoréduction (donc basées sur l'oxygène). Les autres candidats sont :

- Le chlore
 - Très réactif avec les composés hydrogénés (or l'hydrogène est l'élément le plus abondant de l'univers).
 - Beaucoup moins abondant que l'oxygène.
 - Appartient à la famille des halogènes, très réactive sous forme gazeuse quelle que soit la température.
- Le fluor
 - Idem, en pire. Le fluor est l'élément le plus réactif qui soit.
- Le soufre
 - Des bactéries réductrices de soufres ont été découvertes sur Terre.

Spéculations au delà de la chimie

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

On peut, par l'imagination, aller beaucoup plus loin dans les spéculations.

Formes de vie non chimiques

- Plasma
- Magnétisme

Matière noire

Ne pas oublier que la matière baryonique ne constitue que 4,9% de la masse calculée de l'Univers, contre 26,8% pour la matière noire. On ignore presque tout de cette « matière exotique », beaucoup plus abondante, y-compris sa tendance à s'auto-organiser ou non en formes de vie.

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Stratégies de recherche

Priorités

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Nos capacités à rechercher la vie ailleurs que sur Terre est limitée :

- Par l'état de l'art de la technologie des instruments de mesure.
- Par la quantité de ressources que nos sociétés peuvent, ou acceptent, de consacrer à cette recherche.

Les priorités en matière de stratégies de recherche vont donc naturellement s'établir sur :

- Les probabilités des différentes caractéristiques du vivant hypothétique.
- Les possibilités offertes par la technologie, et à quel coût.

La recherche de manifestations biologiques

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Les spéculations en biochimie nous indiquent quels sont les éléments les plus intéressants à rechercher par spectrométrie.

Les probabilités basées sur l'abondance des différents éléments dans l'univers ainsi que leur stabilité dans les différentes réactions chimiques possibles nous plutôt poussent à rechercher :

- Des composés carbonés.
- De l'eau.

Bref, comme avant qu'on spécule sur des biochimies alternatives.

Où chercher ?

Les conditions physiques nécessaires à l'établissement d'une biochimie permettent de définir une notion de zone habitable.

Zone habitable galactique

- Suffisamment proche du noyau galactique pour assurer la présence d'éléments lourds.
- Suffisamment éloigné du noyau galactique pour éviter frôlements d'étoiles, supernovæ et trous noirs.

Zone habitable circumstellaire

- Suffisamment proche de l'étoile pour que le solvant ne gèle pas.
- Suffisamment éloigné de l'étoile pour que le solvant ne se vaporise pas.

Dans le système solaire

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Mars Présence d'eau par le passé avérée. On recherche plus des traces fossiles d'une vie passée qu'une vie actuelle.

Europe Océan d'eau, gelée à la surface, mais liquide à 10 km de profondeur.

Titan Atmosphère contenant de l'azote, du méthane et d'autres corps composés (atmosphère ressemblant à celle de la Terre avant l'apparition de la vie).

Encelade Océan d'eau liquide sous la surface et activité géologique complexe et étonnante. Geysers composés d'une « sorte d'eau carbonique mélangée à une essence de gaz naturel ».

Astéroïdes et comètes On a retrouvé sur Terre des acides aminés provenant de météorites. Théorie de la panspermie.

Exoplanètes

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Au jour de cet exposé (le 12/05/2017), on recense 47 exoplanètes potentiellement habitables, dont 21 confirmées.

Parmi lesquelles :

- 3 terriennes chaudes (confirmées)
- 1 super-terrienne froide (non confirmée, douteuse)
- 1 super-terrienne tempérée (confirmée)
- 43 super-terriennes chaudes (dont 17 confirmées)

Comment chercher ?

Exobiologie

Définition de la vie

Biologie spéculative

Stratégies de recherche

Documentation

Dans le système solaire

Envoi de sondes (Viking, Mars Express, Beagle 2 et Mars Exploration Rover sur Mars ; Cassini / Huygens sur Titan).

Plus loin

- **Télescopie** : projet Darwin de l'agence spatial européenne, prévu pour 2025.
- **Spectrométrie** : pour analyser la composition chimique des atmosphères des exoplanètes.
- **Radiotélescopie** : pour trouver des signaux cohérents pouvant être émis par des formes d'intelligence extraterrestres.

La recherche de civilisation extraterrestres

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Si l'on trouvait de la vie ailleurs que sur Terre, sa forme la plus probable étant d'un niveau de sophistication similaire à celui de nos bactéries, ce serait déjà merveilleux. Mais ce que l'on rêverait vraiment de trouver, ce sont des civilisations extraterrestres.

Le programme SETI utilise des radiotélescopes pour rechercher des signaux électromagnétiques manifestement artificiels provenant de l'espace.

Signal « Wow! » détecté le 15 août 1977, toujours inexpliqué. Réponse envoyée en 2012, pour le 35ème anniversaire du signal.

Les possesseurs d'ordinateurs connectés à Internet peuvent participer avec le projet de calcul distribué SETI@home, via le programme BOINC.

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

Documentation

- Exobiologie
- Vie
- Virus géant
- Homéostasie
- Xénobiologie
- Biochimies hypothétiques
- Zone habitable
- Liste d'exoplanètes potentiellement habitables
- Signal Wow !

The Internet Encyclopedia of Science

Exobiologie

Définition de
la vie

Biologie
spéculative

Stratégies de
recherche

Documentation

- Ammonia-Based Life
- Silicon-Based Life
- Nitrogen-Based Life
- Boron-Based Life
- Phosphorus-Based Life