

Astrobiologie

Origine et évolution de la vie

Vassilissa Vinogradoff, Beatriz García, Rosa M. Ros

International Astronomical Union

CNRS, Aix-Marseille Université, PIIM laboratory, Marseille, France.

CONICET/Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza, Argentina

Universidad Politécnica de Cataluña, Spain



Définition de l'astrobiologie

L'astrobiologie n'est pas une discipline mais une activité interdisciplinaire autour de la question de l'origine et de l'évolution de la vie sur Terre et de sa possible présence dans d'autres parties de l'Univers; Il couvre tous les domaines intéressés par cette problématique, de l'astronomie à la biologie, en passant par la géologie et la chimie, mais aussi l'histoire et la philosophie des sciences.



Etymologie : Exobiologie et Astrobiologie

Avec la course à l'espace et les premières missions d'exploration lunaire et martienne, le risque de contamination biologique apparaît.

Premièrement, les scientifiques ont supposé il était peu probable que les microbes résistent aux conditions de l'espace.

On sait aujourd'hui que ce n'est pas le cas et que, par exemple, les tardigrades sont capables de résister à des conditions extrêmes, y compris celles de l'espace, et ce n'est pas un cas isolé.



Ours d'eau (tardigrade), *Hypsibius exemplaris*, micrographie électronique balayage, Bob Goldstein Vicky Madden.

Etymologie : Exobiologie et Astrobiologie

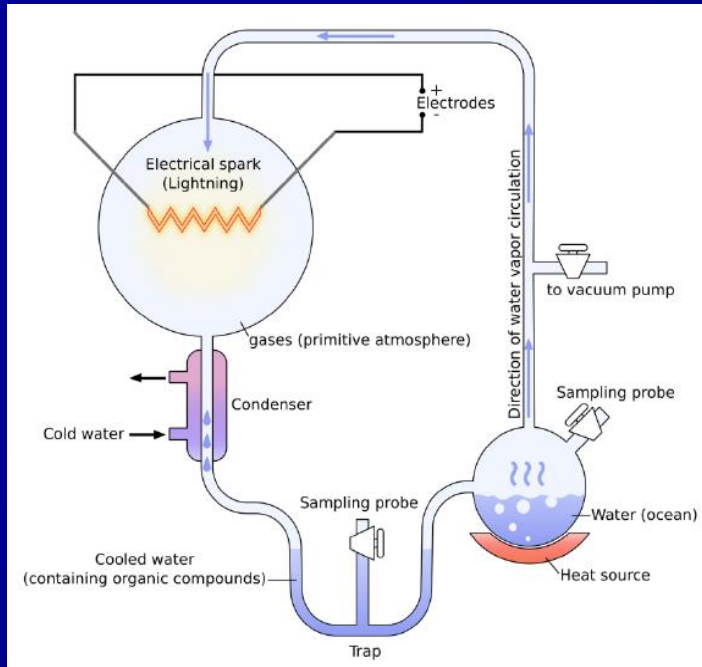


Schéma de l'expérience Miller-Urey. (Crédit : La Barre, Stéphane. 2014)

Avec l'expérience pionnière de Miller-Urey ont commencé les études chimiques pour la **synthèse des premières molécules prébiotiques en laboratoire.**

Une nouvelle discipline clé pour la recherche de l'origine de la vie à travers l'exploration spatiale apparaît : l'Exobiologie, terme introduit par Joshua Lederberg en 1960.

Le terme « Astrobiologie » a été adopté en 2015 par l'AIU.

Objectifs d'astrobiologie

- Définissez ce qu'est la vie.
- Déterminez l'origine de la vie.
- Recherchez ses empreintes les plus anciennes.
- Comprendre ses mécanismes d'évolution sur Terre.
- Recherchez la vie dans l'univers.



Définir la vie



Cette question nécessite des arguments scientifiques, mais c'est aussi une question philosophique.

La vie est une caractéristique d'un organisme vivant qui distingue ce dernier d'un organisme mort ou d'un être non vivant, se distinguant spécifiquement par la capacité de

- **Grandir.**
- **Métaboliser.**
- **Répondre aux stimuli.**
- **Adapter.**
- **Reproduire.**

Diversité des êtres vivants sur Terre

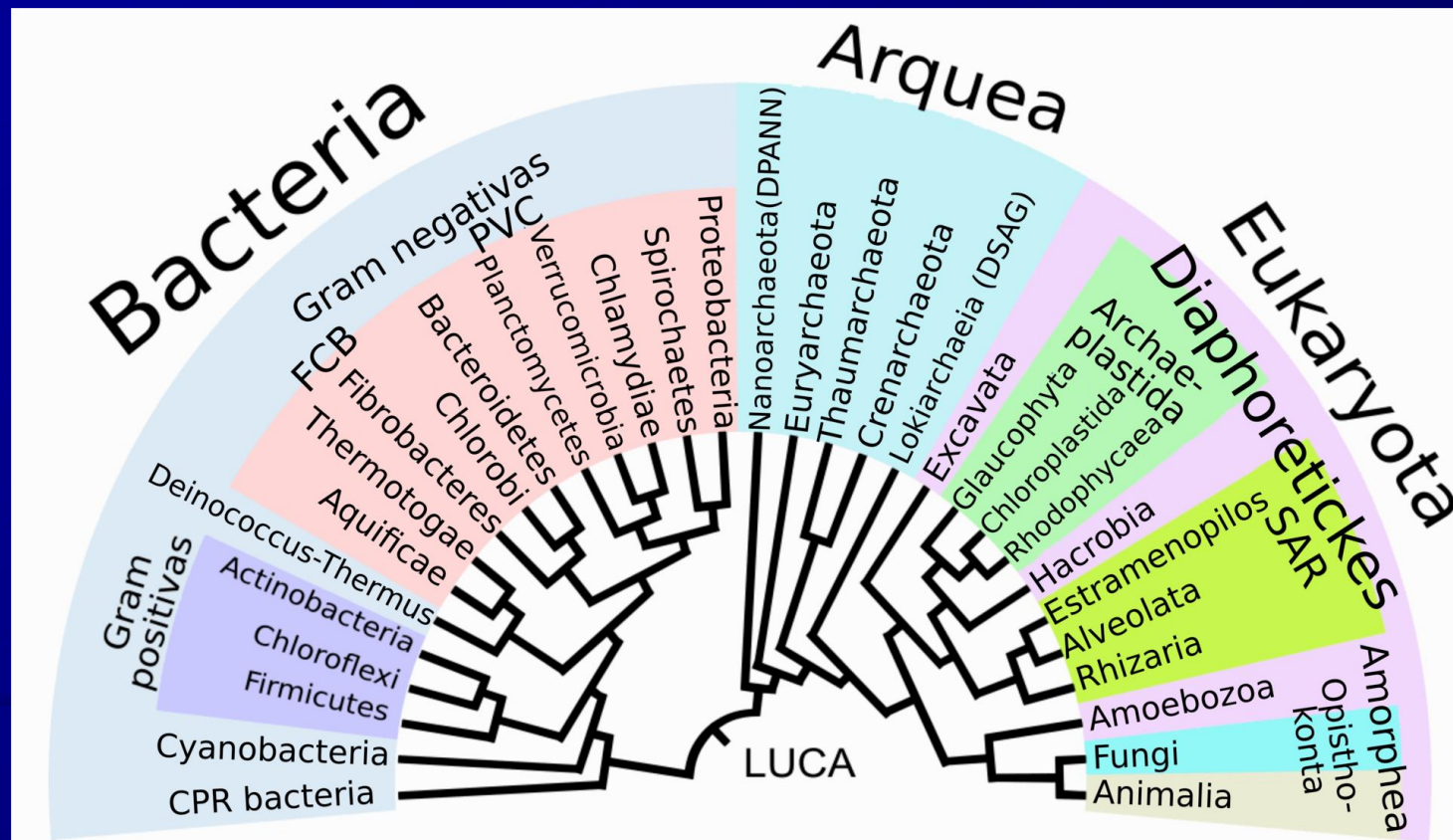
Le seul exemple connu de vie est la vie terrestre.

L'astrobiologie concentre une grande partie de ses efforts sur l'étude de la vie terrestre dans tous les environnements, en particulier dans les plus extrêmes, comme les sources hydrothermales sous-marines, les lacs salés ou les endroits gelés.

Ce type d'environnement peut être un bon analogue pour les emplacements extraterrestres.

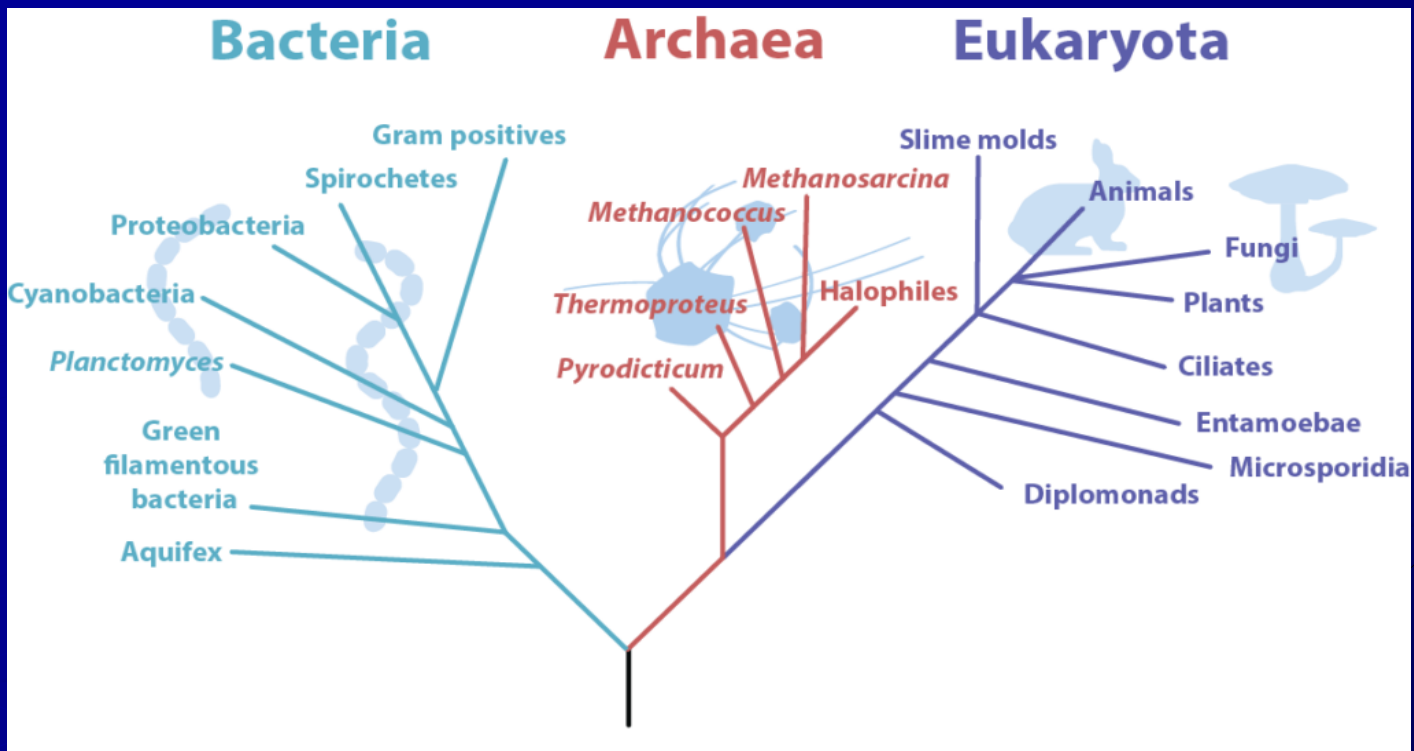


Pour mieux comprendre les limites du vivant et les mécanismes à l'œuvre dans les environnements extrêmes, les scientifiques cherchent à déterminer la diversité phylogénétique et métabolique des organismes vivants.



Crédit: Wikipedia, https://es.wikipedia.org/wiki/Filogenia_bacteriana





Credit: <https://open.oregonstate.edu/generalmicrobiology/chapter/archaea/>

Une des branches de l'arbre de vie qui présente un intérêt particulier sont les archéobactéries (ou archées), différentes des bactéries procaryotes par leur séquence d'ARN ribosomique et particulièrement adaptées aux environnements extrêmes (en termes de pression, température, salinité, nutriments, etc).



Rechercher les plus anciennes traces de vie sur Terre : difficultés

- 1) La Terre est une planète « vivante » (tectonique, érosion) et a donc beaucoup évolué depuis sa formation il y a 4,5 milliards d'années. D'après la généalogie des espèces, les premiers organismes vivants devaient être des êtres unicellulaires semblables à des bactéries.
- 2) Les organismes primitifs devaient être microscopiques. Les plus anciennes traces prouvées de vie sur Terre remontent à 3,48 milliards d'années et ont été découvertes en Australie.
- 3) Difficulté d'interprétation et de comparaison avec des systèmes abiotiques, qui auraient pu former des empreintes digitales proches de signatures ou de morphologies biologiques.



Chimie prébiotique et transition du non-vivant au vivant

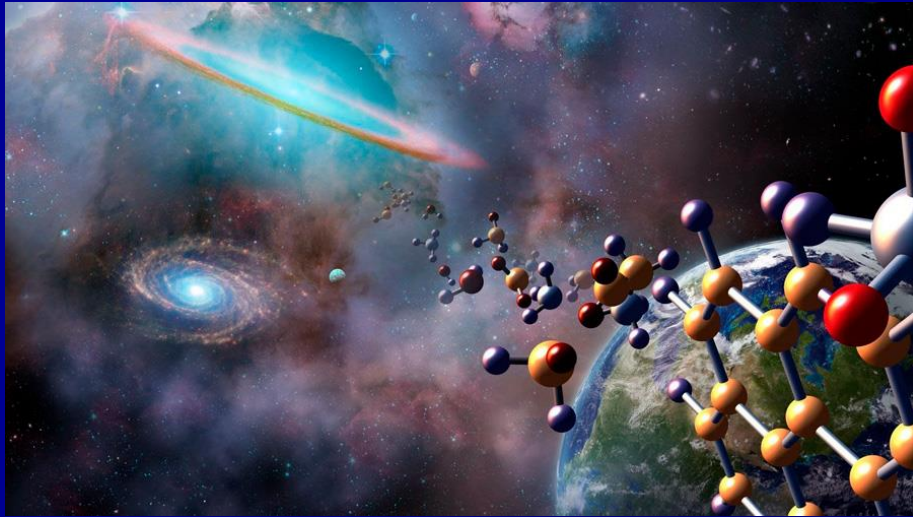
Aujourd'hui, chez toutes les espèces vivantes sur Terre, parmi toute la diversité existante, il existe des blocs élémentaires constitués de C, H, N et O.

Ces blocs sont des protéines, base de la réplication, de l'ADN (acide désoxyribonucléique), qui transporte l'information génétique, et des amphiphiles, qui constituent les parois cellulaires pour la compartimentation.

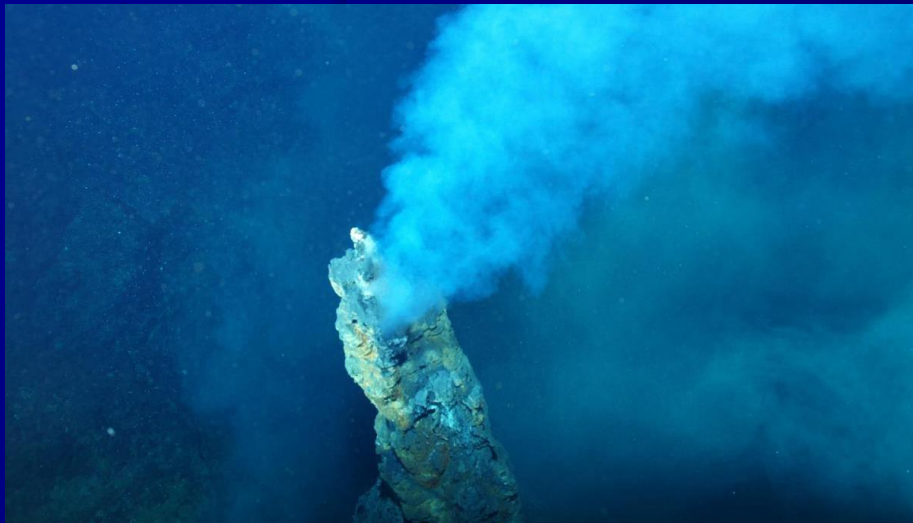
Les briques élémentaires que possède chaque espèce vivante sur Terre sont donc cinq types de molécules (parfois appelées les briques de la vie), des acides aminés, des bases azotées, des sucres, du phosphore, des lipides (ou acides gras).



Chimie prébiotique et transition du non-vivant au vivant



Ces éléments sont essentiels à la vie terrestre et l'étude de leur origine permet de donner plus de limites à l'origine de la vie elle-même.

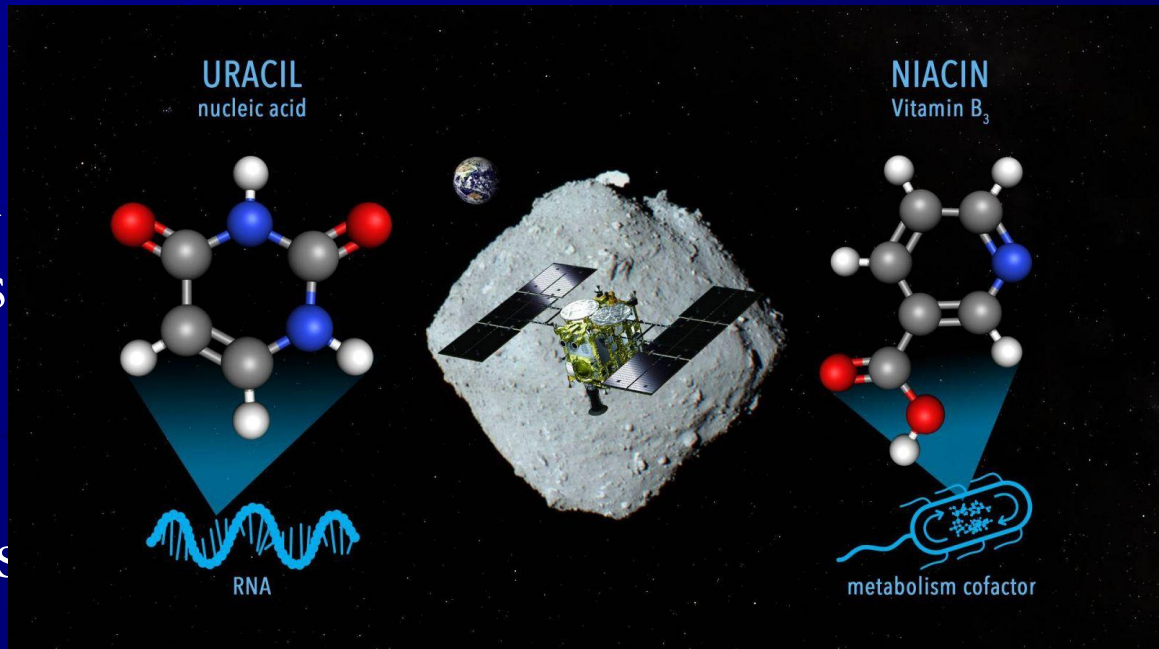


Sur le plan abiotique, ces molécules pourraient s'être formées dans l'atmosphère terrestre, mais aussi dans les cheminées hydrothermales.



Chimie prébiotique et transition du non-vivant au vivant

Une autre hypothèse propose que ces molécules auraient pu être apportées par des objets célestes (météorites), provenant d'astéroïdes et de comètes : les météorites se seraient révélées d'une grande richesse organique.



Représentation de l'astéroïde Ryugu et des matériaux trouvés dans les échantillons prélevés en 2019, NASA Goddard/JAXA/Dan Gallagher

Chimie prébiotique et transition du non-vivant au vivant



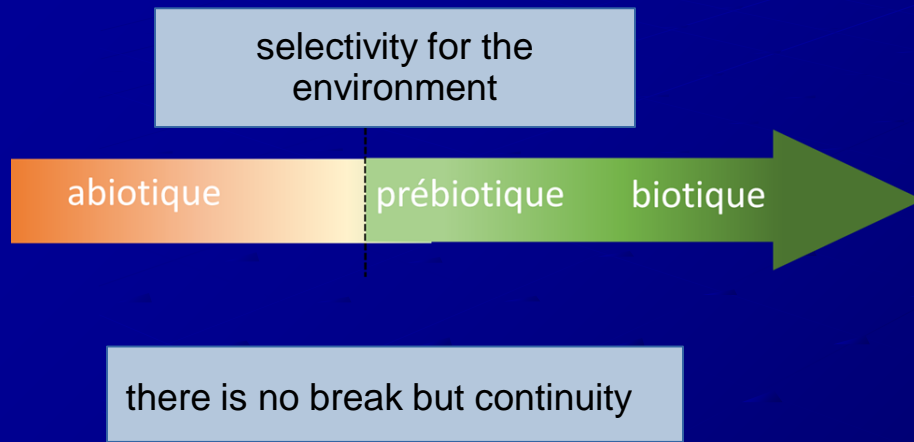
En tombant sur Terre, les météorites auraient transporté une partie de l'eau et des éléments sidérophiles trouvés à leur surface après différenciation il y a 4,5 milliards d'années.



Aucune forme de vie n'a encore été trouvée dans ces objets, mais ils contiennent des milliers de molécules aussi diverses et variées que celles nécessaires à la synthèse abiotique



Chimie prébiotique et transition du non-vivant au vivant

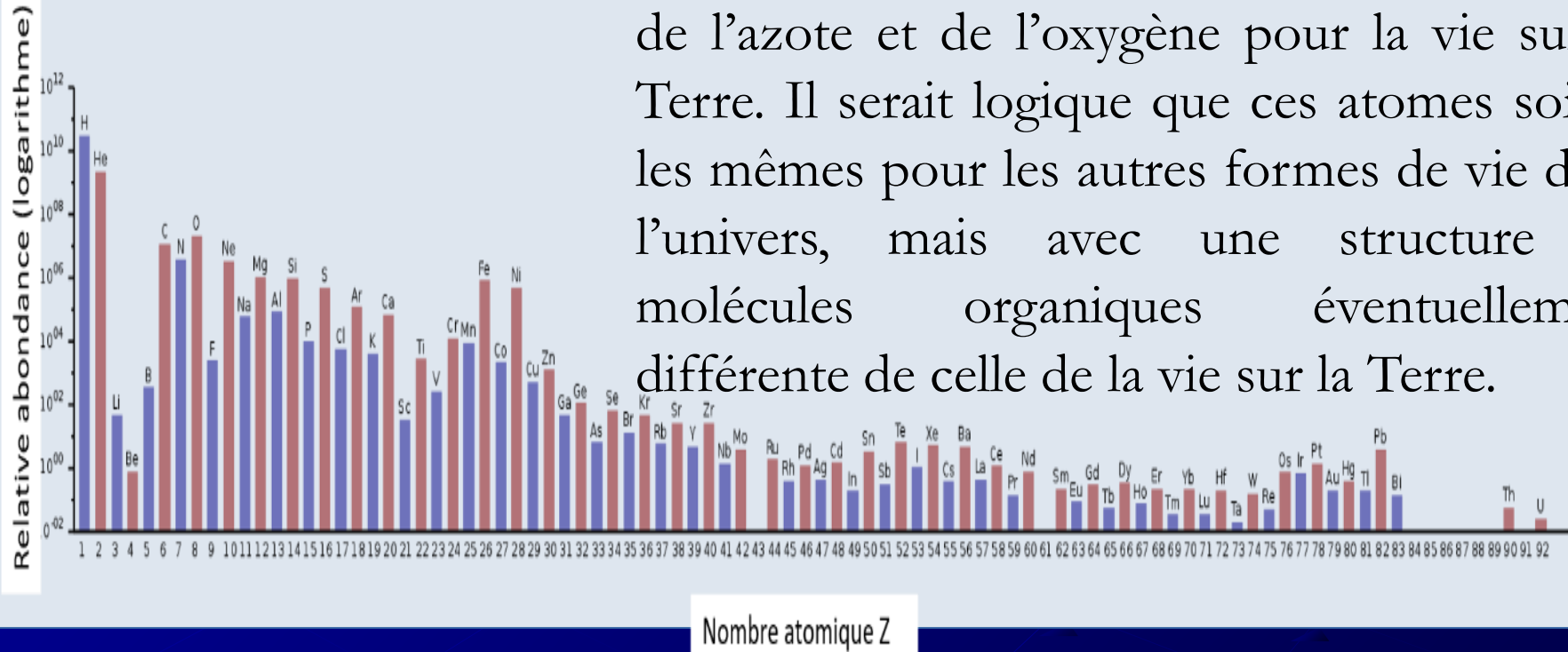


Il n'y aurait pas de séparation stricte entre un système abiotique et un système biotique, mais plutôt une continuité, passant par ladite chimie prébiotique.

Comment et où la vie est apparue sur la Terre reste la question exobiologique la plus complexe et les voies chimiques possibles sont si nombreuses qu'il n'est pas évident que la réponse soit un jour trouvée.

Rechercher la vie partout

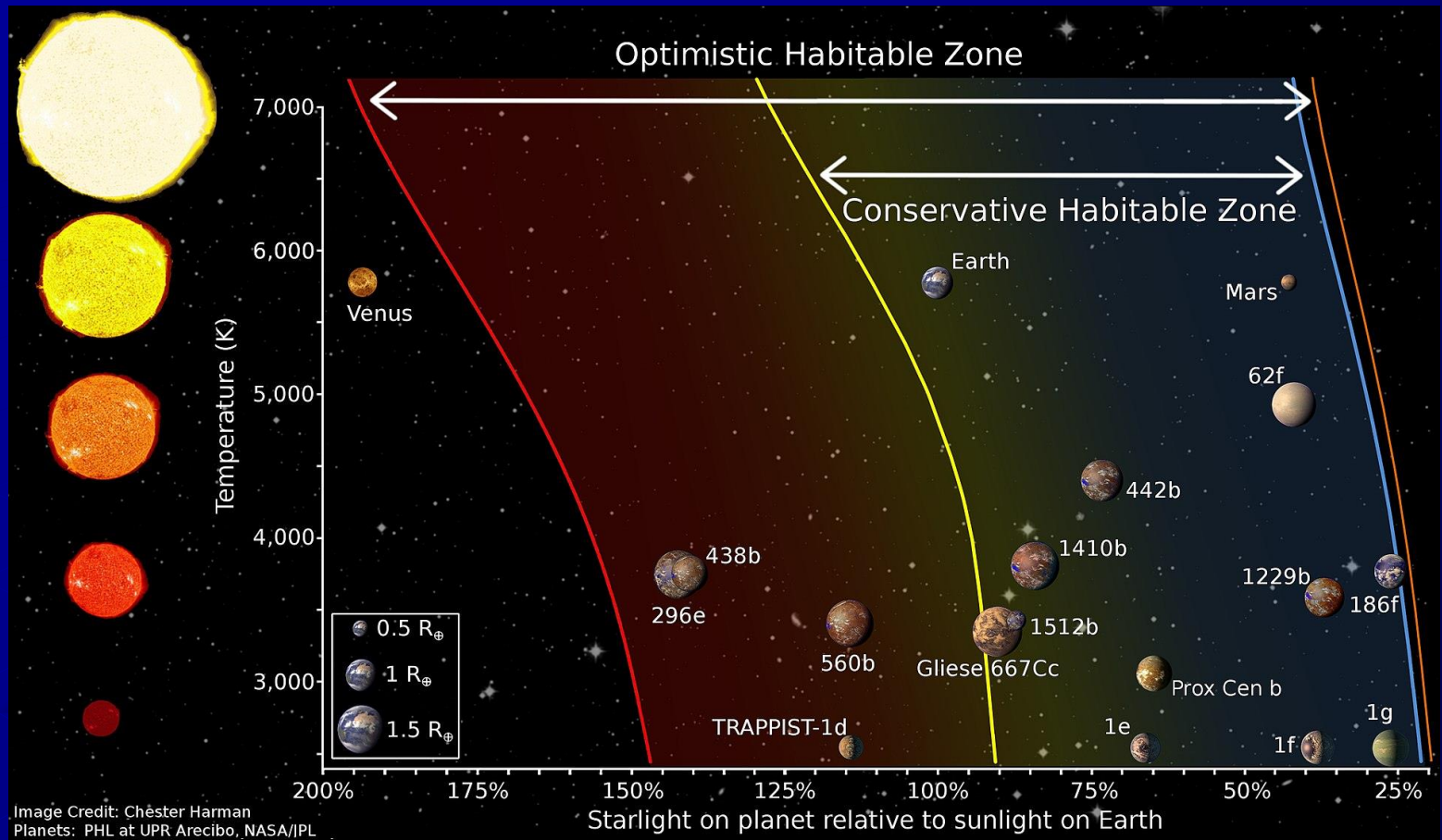
La disposition chimique des atomes dans l'Univers a déterminé l'utilisation du carbone, de l'azote et de l'oxygène pour la vie sur la Terre. Il serait logique que ces atomes soient les mêmes pour les autres formes de vie dans l'univers, mais avec une structure de molécules organiques éventuellement différente de celle de la vie sur la Terre.



Pour chercher la vie ailleurs, il faut savoir quoi chercher et l'une des bases de l'astrobiologie, mais aussi sa faiblesse, est la recherche d'une vie biologiquement similaire à la nôtre.



Rechercher la vie partout

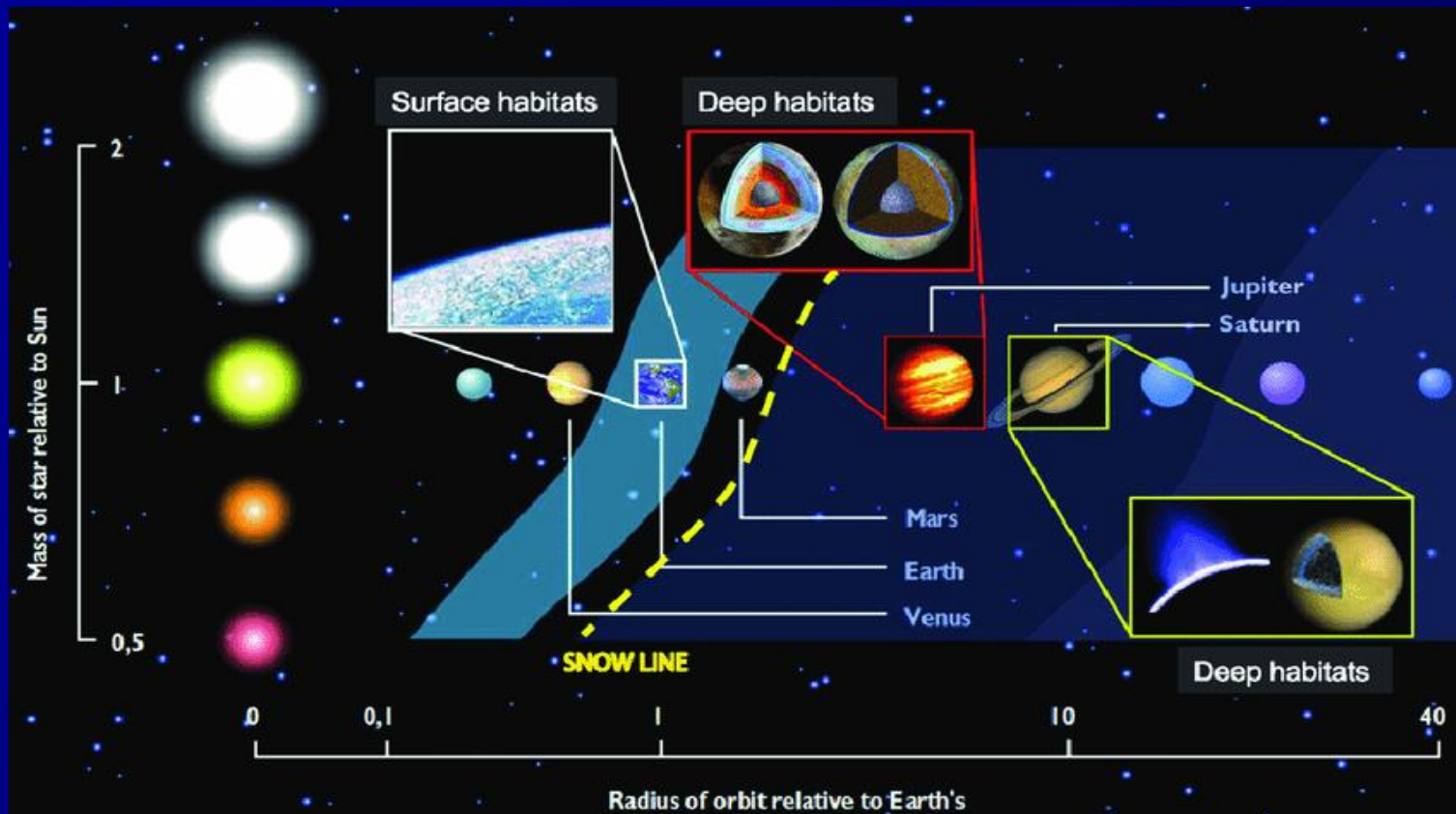


La notion d'habitabilité est un sujet débattu, sa définition est liée aux conditions qui ont permis l'émergence et l'évolution de la seule vie (terrestre) que nous connaissons



Rechercher la vie partout

L'extension de la zone habitable aux milieux souterrains est un exemple de recherche sur la possibilité de vie dans ces milieux du système solaire.

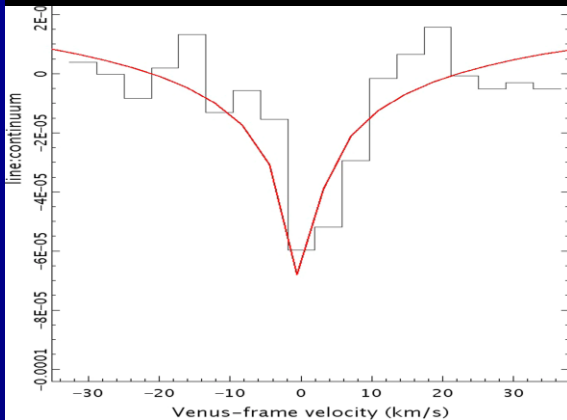
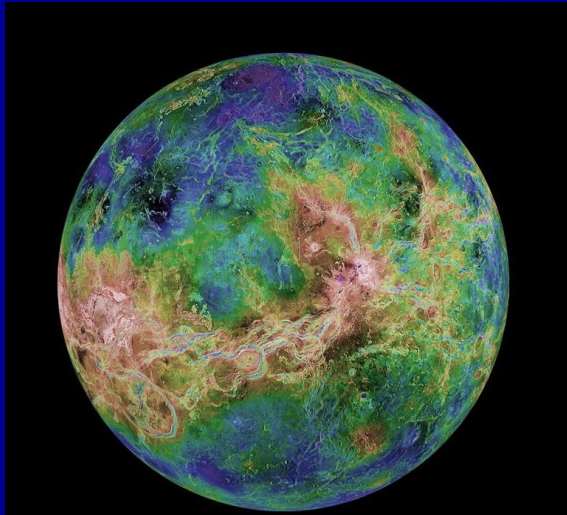


Les corps du système solaire et leur intérêt astrobiologique

Les études d'astrobiologie s'intéressent alors à l'émergence possible de la vie dans ces milieux, au-delà de la Terre, définis comme habitables.



Planètes du système solaire et leur intérêt astrobiologique : VENUS



Notre « planète sœur » possède une chimie organique relativement complexe, avec des molécules de soufre et de phosphore dans une atmosphère extrêmement dense composée à plus de 96 % de CO₂.

On ne le trouve pas dans la zone habitable du système solaire et il lui manque un composant essentiel : l'eau à sa surface.

Deuterated water (HDO) detection on Venus in ALMA data (Greaves, J.S., Richards, A.M., Bains, W. et al. Phosphine gas in the cloud decks of Venus. Nat Astron 5, 655–664 (2021).



Planètes du système solaire et leur intérêt astrobiologique : VENUS

Vénus a bénéficié d'apports exogènes comme la Terre après sa formation, elle aurait pu avoir de l'eau liquide à sa surface et une atmosphère riche en eau il y a 4,5 milliards d'années et pendant un certain temps.

Actuellement, sa surface est uniquement constituée de volcanisme actif avec des températures avoisinant les 460°C.

Si la vie s'est développée au moment le plus favorable, il est proposé qu'elle ait survécu sous forme de micro-organismes dans les nuages de son atmosphère, à une température de ~75°C.



Les planètes du système solaire et leur intérêt astrobiologique : MARS



Cette planète a souvent été proposée comme le meilleur endroit du système solaire où il y avait, ou encore, des conditions propices à la vie.

L'existence de la vie microbienne était déjà envisagée dans les années 70 lors de la préparation de la mission Viking : les atterrisseurs étaient équipés d'instruments capables de réaliser des expériences visant à mettre en évidence la vie martienne, à détecter l'activité biologique photosynthétique ou à fournir des nutriments aux bactéries martiennes, avec des répo négatives..



Les planètes du système solaire et leur intérêt astrobiologique : MARS

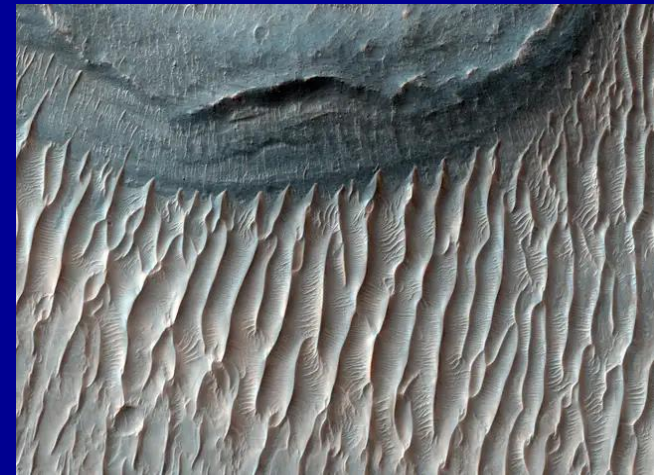
Les Vikings ont confirmé la présence d'eau liquide dans le passé de Mars, en observant des canaux, des rivières asséchées et des vallées dendritiques.

L'eau pourrait être restée à sa surface pendant au moins un milliard d'années et est toujours présente dans les minéraux qui recouvrent actuellement la surface.

Aux pôles, il y a de la glace d'eau dans les calottes polaires et on soupçonne que l'eau est présente en plus grande quantité dans la croûte martienne.



Evidence of ancient presence of water on Mars. (Curiosity, NASA/JPL)



Les planètes du système solaire et leur intérêt astrobiologique : MARS

La vie aurait pu se développer sur Mars en même temps que sur Terre et peut-être persister sous terre.

Trouver de la vie sur Mars apporterait de nombreuses réponses sur l'émergence de la vie sur notre planète.

Si la vie existait sur Mars, même sous forme de micro-organismes, et comme la planète n'est plus géologiquement active, il devrait être possible de la découvrir sous forme de traces de fossiles à la surface ou même d'espérer qu'elle existe et ait survécu sous terre.



Les corps du système solaire et leur intérêt astrobiologique : SATELLITES

Ces dernières décennies, d'autres corps habitables d'intérêt astrobiologique ont été découverts au-delà de la barrière des astéroïdes : les satellites des planètes gazeuses géantes.

Les planètes géantes présentent un intérêt limité pour l'astrobiologie car elles n'ont pas de surface et donc pas de roches.

Leurs satellites sont également importants pour comprendre l'origine et l'évolution du système solaire.



Les satellites du système solaire et leur intérêt astrobiologique

Autour de Jupiter : Ganymède, Callisto et Europe.

Autour de Saturne : Encelade et Titan.

Révélés grâce à la sonde Cassini-Huygens (1997-2017), qui a visité ces mondes pendant 15 ans, les satellites de glace de Saturne surprennent par leur diversité et l'abondance d'eau liquide qu'ils contiennent.

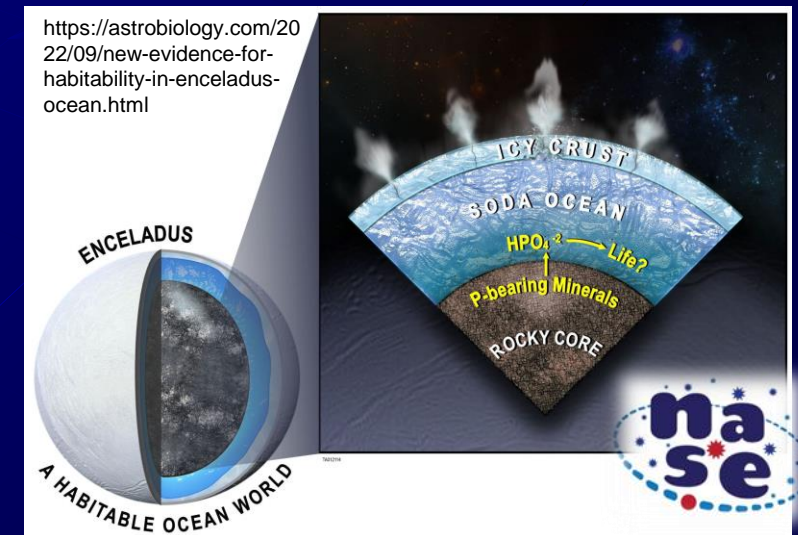
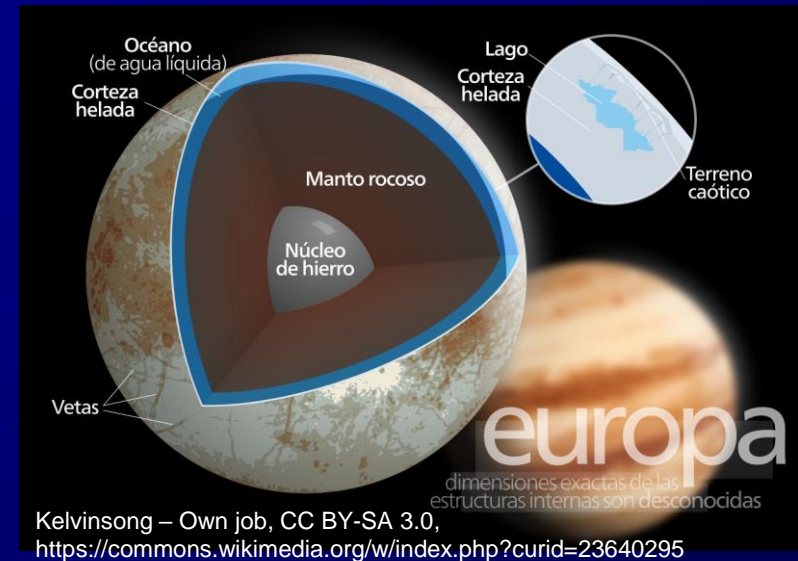


Les satellites du système solaire et leur intérêt astrobiologique

Europe contiendrait un océan dix fois plus grand que celui de la Terre, tout en étant trois fois plus petit que notre planète.

Encelade En 2014, des geysers d'eau à sa surface, qui s'étendent jusqu'à 100 km au-dessus de sa surface, ont été découverts.

Cette observation a révélé la présence d'un océan sous la calotte glaciaire.



Les satellites du système solaire et leur intérêt astrobiologique : TITAN

Titan, le plus gros satellite de Saturne, présente une grande quantité de matière organique qui se forme dans son atmosphère.

En 1980 et 1981, les sondes Voyager 1 et 2 révélèrent une atmosphère extrêmement dense composée essentiellement d'azote et de méthane.

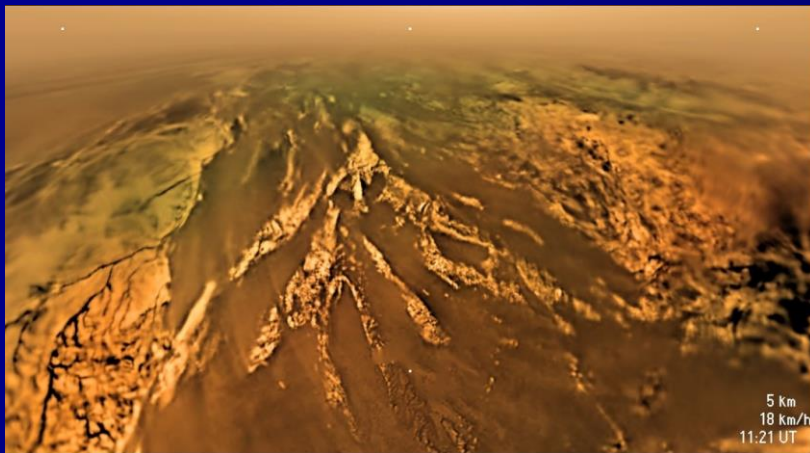
La chimie de l'atmosphère de Titan s'est révélée extrêmement complexe, entraînant la formation d'aérosols organiques qui se déposent à la surface.



La mission Cassini-Huygens (1997-2017) a confirmé une chimie organique complexe dans l'atmosphère de Titan.



Cassini/Huygens Mission, NASA,



Surface of Titan.(Cassini/Huygens, NASA)

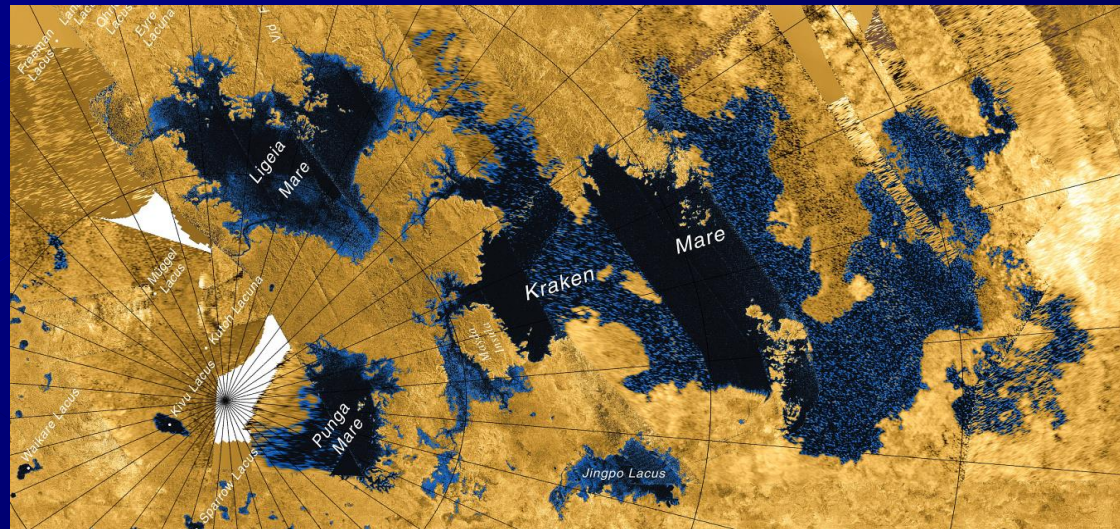
Des images impressionnantes ont été obtenues de la surface recouverte de grains organiques, de dunes et de lacs d'hydrocarbures.

Des modèles astrophysiques suggèrent que Titan pourrait abriter un océan d'eau liquide sous sa surface et présenterait tous les ingrédients nécessaires à l'émergence d'une riche chimie prébiotique et d'une forme possible de vie.



Les modèles géochimiques évolutifs suggèrent que dès le premier million d'années après la formation de Titan, cet océan souterrain était en contact avec l'atmosphère, dans laquelle auraient été produites les premières molécules complexes.

Par analogie avec la Terre, la présence de cheminées hydrothermales est attendue dans cet océan Titan, qui constituent une source d'énergie pour les molécules organiques et un environnement potentiel pour les systèmes prébiotiques.



Au-delà du système solaire

5 500 exoplanètes (jusqu'en 2024) ont été découvertes et confirmées dans notre galaxie. Cela nous aide à comprendre la formation de notre système solaire et c'est probablement unique.

Avec l'état actuel des connaissances et les avancées dans le domaine de l'Astrobiologie, il est très difficile d'émettre l'hypothèse d'une planète habitée et de la présence avérée de vie dans notre galaxie ou au-delà.

Il semble y avoir de plus en plus de sites potentiels pour le développement de la vie, mais qu'en est-il de développement réel de la vie ?



Conclusions

L'astrobiologie tente de déterminer si la vie pourrait exister dans d'autres parties de l'univers et, si oui, sous quelle forme, pour tenter de répondre à une question existentielle : **sommes-nous seuls dans l'univers ?**

Depuis plusieurs décennies, comprendre l'apparition de la vie sur Terre est crucial pour déterminer s'il s'agit d'une coïncidence ou d'un phénomène reproductible dans des conditions et des environnements spécifiques.



Conclusions

Cette compréhension est nécessaire pour tirer des conclusions sur la possibilité de vie ailleurs dans l'univers.

Malgré des efforts actifs, aucune conclusion de ce type n'a encore été tirée.



**Merci pour votre
attention!**

