

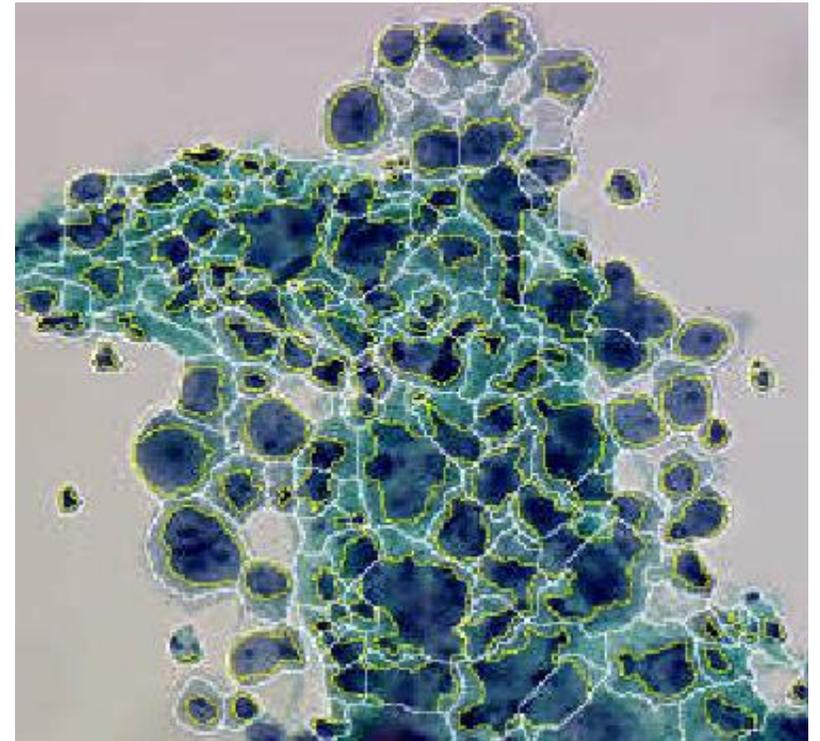
L'AVENTURE DE LA VIE

PARTIE 1

Le système solaire

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Définition suivant le Petit Robert:
- Propriété essentielle des êtres organisés qui évoluent de la naissance à la mort.
- Ensemble des phénomènes (croissance, métabolisme, reproduction) que présentent tous les organismes, animaux ou végétaux, de la naissance à la mort.
- Autrement dit il ne s'agit pas d'une simple réaction chimique qui ne saurait se reproduire par elle-même et se perpétuer seule.
- Pourquoi, quand, comment, voilà bien des questions que les hommes se sont posés depuis fort longtemps, que se soit les religions, les philosophes puis les scientifiques.



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Il semble que la vie soit présente partout sur notre Terre:
- dans les océans même dans les fosses abyssales là où la lumière ne pénètre pas
- dans des eaux très froides ou au contraire près des sources d'eau très chaude près desquelles se développent des organismes appelés extrémophiles
- dans le sol des déserts
- sous les glaciers y compris l'Antarctique
- partout en sous-sol jusqu'à des grandes profondeurs (3200m sous la surface)

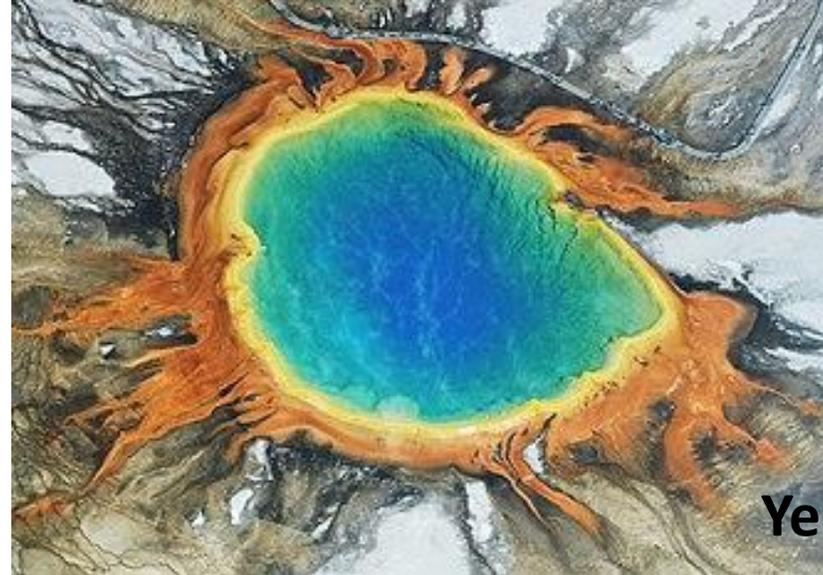


LA VIE DANS L'UNIVERS

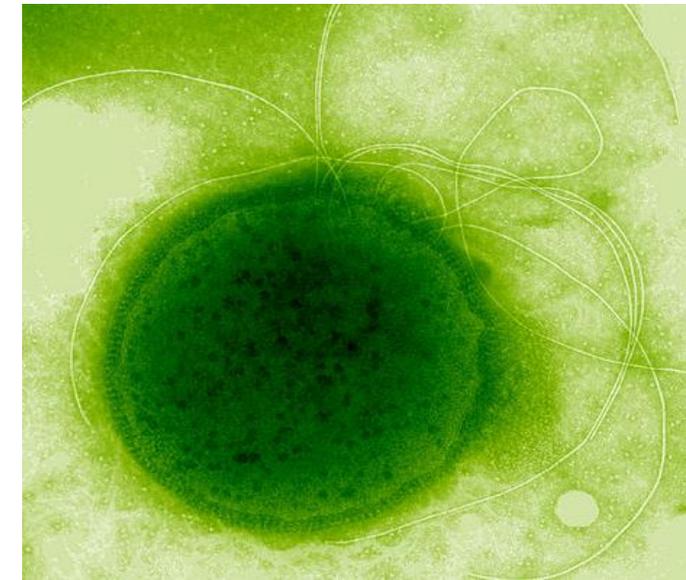
Un organisme est dit extrêmophile lorsque ses conditions de vie normales sont mortelles pour la plupart des autres organismes : températures proches ou supérieures à 100°C (hyperthermophiles) ou inférieures à 0°C (psychrophiles)

Sources WIKIPEDIA

Une souche archéenne de *Thermococcus gammatolerans* est hyperthermophile et tolérante à une forte radioactivité. Elle vit dans les grands fonds, idéalement dans une eau salée, anoxique (sans oxygène), légèrement acide et à 88 °C.

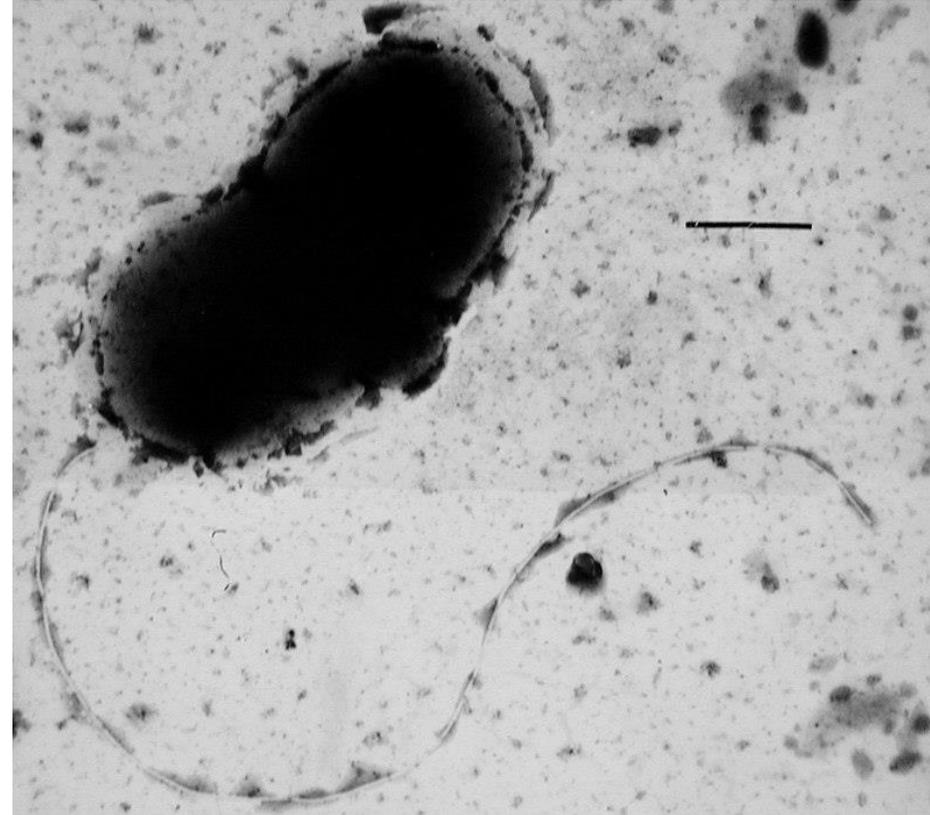


Yellowstone



LA VIE DANS L'UNIVERS

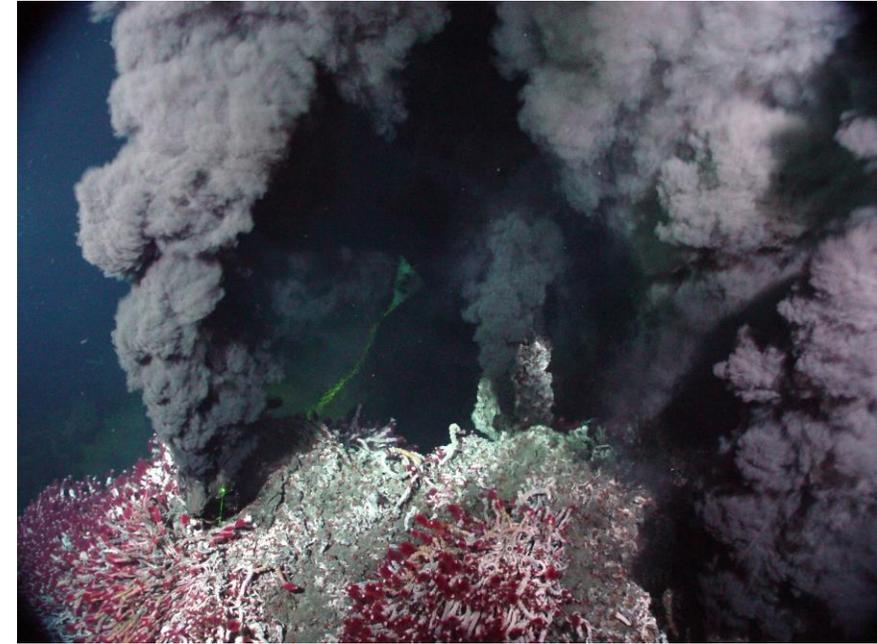
- **Donc certaines bactéries n'ont même pas besoin d'oxygène pour vivre. On les appelle anaérobies. Elles sont d'une énorme diversité et on en trouve dans tous les milieux, y compris dans le corps humain.**
- **Notamment on en trouve dans l'eau et même dans le pétrole! Bactéries sulfato-réductrices bien connues des professionnels de la tuyauterie industrielle car à l'origine de gros problèmes de corrosion, elle sont très résistantes.**
- **Pour vous montrer la diversité de la vie et la difficulté à la caractériser ci-après un petit détour à propos des bactéries sulfato-réductrices.**



Source Wikipédia

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Elles respirent grâce aux sulfates contenus dans leur milieu tels l'eau de mer et H_2S (en particulier près des cheminées volcaniques du fond des océans), dans le pétrole, etc....
- Elles rejettent des ions qui finissent par former de l'acide sulfurique qui attaquent les parois sur lesquelles la colonie s'est fixée. D'où des gros problèmes de corrosion dont l'origine est parfois difficile à déceler....
- Elles auraient joué un grand rôle lors de la formations de la Terre il y a 3,8 milliards d'année (cyanobactéries).
- En 2009 on dénombrait 60 genres et 220 espèces de bactéries sulfato-réductrices!



Black Smokers - The Biogeologist

LA VIE DANS L'UNIVERS

1

- **Beaucoup de scientifiques pensaient que la vie est apparue dans des conditions bien plus favorables: eaux salées, tièdes et peu profondes.... Et a évolué ensuite vers des niches différentes parfois très rudes!**
- **Aujourd'hui on pense plutôt que la vie est directement apparue dans des sources très chaudes et sulfureuses, comme l'étaient les premiers océans....**
- **Les roches les plus anciennes montrent que les premières cyanobactéries ont vécu longtemps. Ce seraient même elles qui ont créé l'atmosphère riche en oxygène. On voit que la vie peut prendre des formes très variées!**
- **Certains envisagent même une origine extraterrestre..... Ce qui ne fait que repousser la question: comment?**



LA VIE DANS L'UNIVERS

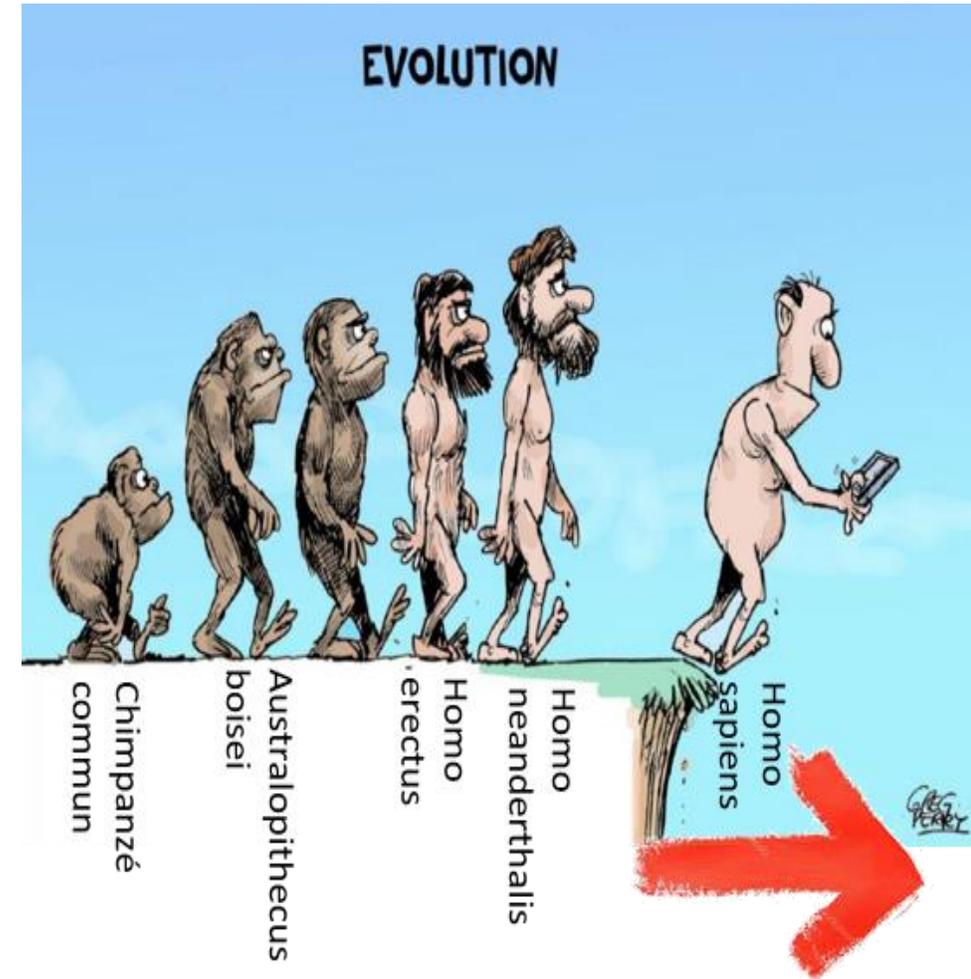
- Un exemple de vie déjà très évoluée est le tardigrade (taille 0,1 à 1,5 mm)
- Les tardigrades se singularisent par des capacités de résistance incroyables lorsqu'ils entrent en vie ralentie. Ils sont alors capables de résister à :
 - une température voisine du zéro absolu et une température maximale de 151 °C ;
 - des durées très importantes de congélation (des tardigrades récoltés dans des carottes glaciaires et qui s'y trouvaient depuis 2.000 ans sont revenus à la vie)
 - le vide ;
 - une pression de 600 mégapascals (soit la pression qui règnerait au fond d'un hypothétique océan de 60.000 mètres de profondeur) ;
 - une dose de rayons X de 570.000 rads (alors que 500 rads constituent la dose létale pour l'Homme) ;
 - d'après des zoologistes russes, des tardigrades ont résisté à une sortie dans l'espace.

Sources: FUTURA



LA VIE DANS L'UNIVERS

- La représentation ci-contre est fautive bien entendu. En réalité l'évolution n'a pas été linéaire. Un peu de philosophie....
- L'homme ne serait qu'un animal parmi tant d'autres avec ses fonctions indispensables à la survie de son espèce: se nourrir et se reproduire...
- L'homme sait bâtir des scénarios comme beaucoup de mammifères: ex le léopard qui chasse...



LA VIE DANS L'UNIVERS

A

- Ce qui le caractérise c'est sa capacité à réfléchir, à théoriser et à généraliser, autrement dit à faire de l'abstraction, à écrire, à faire des maths, à fabriquer avec ses mains! Et puis la poésie et la **MUSIQUE**.
- Comprendre comment cela a pu se produire est un peu hors sujet ici et il nous faudrait beaucoup de temps pour y parvenir!
- D'où la question: La naissance de la vie et l'évolution vers la complexité sont-ils des phénomènes inéluctables et universels?



LA VIE DANS L'UNIVERS

2

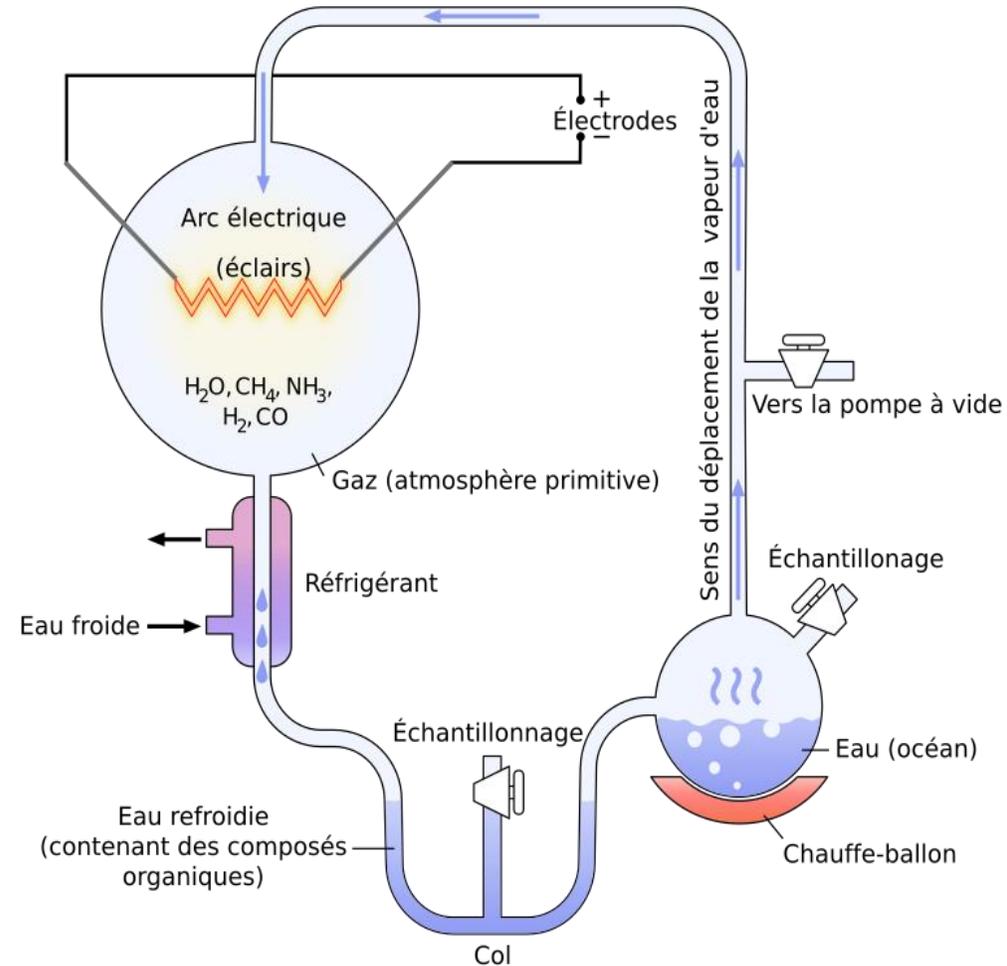
- Ainsi sur notre Terre la vie, selon les scientifiques, serait apparue il y a sans doute plus de 3,8 milliards d'années, évidemment sous une forme très primitive comme vu plus haut dont nous serions les descendants: c'est peu glorieux!
- On sait qu'il y a eu des périodes chaudes et des périodes de grandes glaciations, des changements d'atmosphère. Les organismes qui n'ont pas pu s'adapter ont disparu, les autres ont évolué pour supporter les nouvelles conditions de vie.
- Et puis il y a eu aussi les grands épisodes volcaniques ou l'impact de gros astéroïdes qui ont entraîné des changements climatiques violents. Il a fallu s'adapter très vite, ceux qui ne pouvaient pas ont disparu....



LA VIE DANS L'UNIVERS

- De nombreux scientifiques ont tenté d'élucider comment on a pu passer de la chimie inorganique à la chimie organique puis à un complexe agencement de molécules capables de s'autoorganiser et de se reproduire.
- L'expérience de Miller en 1953 (dite encore de Miller-Urey), destinée à mettre en évidence une éventuelle origine chimique de l'apparition de la vie sur Terre, consista à simuler les conditions supposées régner originellement après la formation de la croûte terrestre.

Wikipédia



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Stanley Miller et Harold Urey à l'Université de Chicago, ont enfermé dans un ballon des gaz (méthane CH₄, ammoniac NH₃, hydrogène H₂ et eau H₂O) et soumis le mélange à des décharges électriques pendant sept jours.
- Ils ont obtenu des molécules organiques, les briques du vivant, et notamment de l'urée (CON₂H₄), du formaldéhyde (H₂CO), de l'acide cyanhydrique (HCN), des bases et des acides aminés (AA), certains composés étant présents à plus de 2 %



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Bien entendu cette expérience fut reproduite par d'autres équipes, et les résultats furent les mêmes.
- Bien que très critiquée, notamment sur les concentrations en gaz, elle est considérée comme classique dans le domaine de l'origine de la vie. Elle donna naissance au concept de « soupe primitive (ou primordiale) de la vie », qui a ensuite gagné en popularité.



Source Wikipédia

LA VIE DANS L'UNIVERS

- A la suite de cette expérience on a pu dire avec un bon degré de probabilité que la vie sur Terre et au moins ses briques élémentaires sont apparues dans les conditions résumées / imagées ci-dessous.



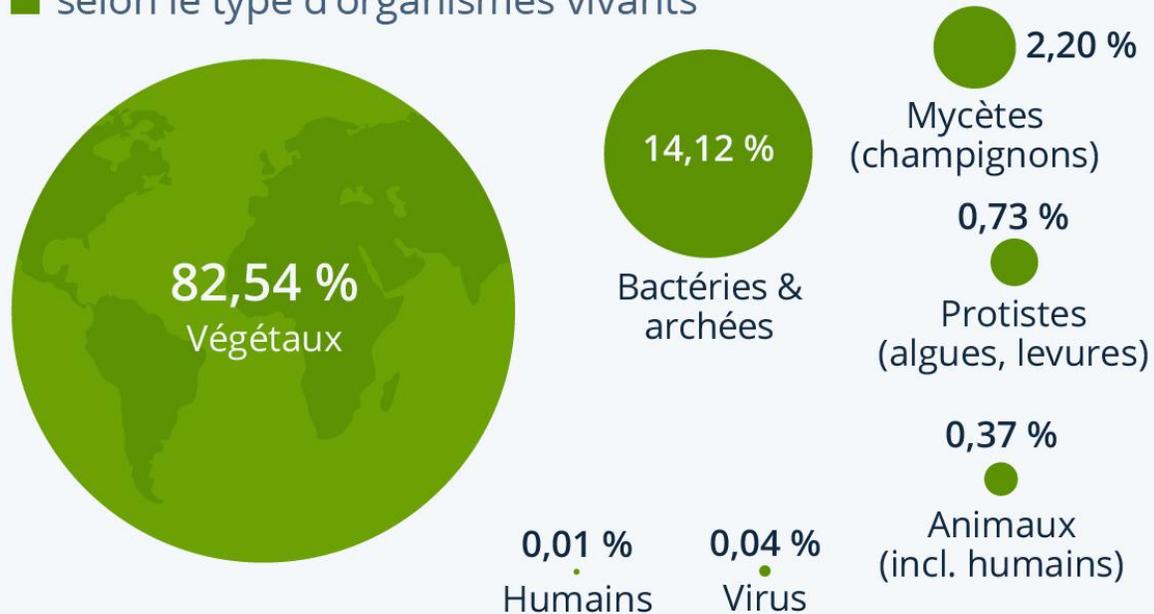
3

Depuis cette lointaine époque les choses sur Terre ont bien évoluées....

LA VIE DANS L'UNIVERS

L'humanité ne pèse que 0,01 % de la vie sur Terre

Répartition de la biomasse terrestre selon le type d'organismes vivants *



* Estimation basée sur des calculs de la biomasse exprimée en gigatonnes de carbone. Les virus sont considérés ici comme des organismes vivants.

Source : The Biomass Distribution on Earth (PNAS, 2018)

- Finalement nous les êtres humains ne représentons pas grand-chose.
- Tout cela devrait nous inspirer pour la recherche de la vie en se souvenant que cela ne ressemble peut être pas à ce que nous avons l'habitude de voir.
- Allons voir ailleurs que sur Terre

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Tout d'abord si on fait le tour des autres planètes que la Terre on s'aperçoit que les possibilités d'apparition de la vie sont bien faibles:
- Par exemple sur Mercure la température au soleil est de 425°C et dans la nuit c'est le froid spatial soit une température inférieure à -180°C . Pas d'eau, pas d'atmosphère, et puis le rayonnement solaire. Pas terrible pour la vie.
- Venus alors? Atmosphère épaisse 95% de CO_2 (92 bars) mais pas d'eau; pour cause la température y est autour de 460°C . De plus des nuages d'acide sulfurique. Bref un enfer! Oublions.

Venus débarrassée de ses nuages opaques



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Et Mars? Atmosphère très ténue , 150 fois moins dense que la nôtre, composée à 96% de CO₂ , températures de -120°C à +25°C .
- On a longtemps cru que l'eau et la vie existaient sur Mars et on est allé imaginer des petits bonhommes vert 
- Jusqu'au jour où il est devenu évident que Mars n'était qu'un gigantesque désert.
- Oui mais on sait depuis peu que Mars a eu d'immenses océans et une atmosphère protectrice. Donc la vie a pu s'y développer même si aujourd'hui les zones possibles se réduisent à des cratères ou dans le sous-sol. C'est bien l'objectif des robots envoyés sur Mars. Pour l'instant rien n'a été trouvé mais on n'a fait qu'égratigner le sol.



LA VIE DANS L'UNIVERS

4

- Mais imaginez qu'on y découvre les traces d'une ancienne colonie bactérienne ou même mieux des organismes dans un cratère enneigé ou glacé! Ce serait un véritable scoop et la preuve que la vie existe ailleurs.



Vue panoramique de « Greeley Haven », montrant le site environnant le rover Opportunity depuis le bord du cratère Endeavour

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Oui mais ailleurs et plus loin? En quelques décennies la recherche spatiale a énormément progressée.
- En 1985 l'ESA lance la sonde Giotto destinée principalement à étudier la comète de Halley de période 76 ans. Parmi les nombreux instruments elle embarque une caméra et un spectromètre de masse qui ont permis:
 - De confirmer la forme en cacahuète du noyau cométaire ($16 \times 8 \times 7$ km),
 - De détecter des molécules organiques dans le nuage émis par la Comète constituée de neige sale avec du méthane du CO₂ et de l'ammoniac.
 - Son aspect très noir du fait des poussières qui la recouvre.

ESA



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Prenons aussi la comète 67P Tchourioumov-Guérassimenko, appelée aussi familièrement Tchouri. Taille 4,1 x 3,2 x 1,3 km. Période 6,5 années.
- Elle a été visitée par la sonde européenne Rosetta en août 2014 qui s'est mise en orbite et a étudié la comète de près. Gravité : Variable g env. $2,3 \times 10^{-4}$ N/kg
- Puis le 12 novembre 2014 elle envoie un petit atterrisseur robot, Philae, qui malgré quelques soucis, va recueillir des données pendant 3 jours.

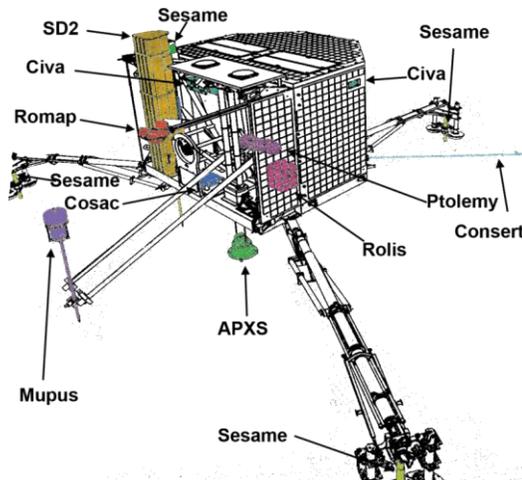
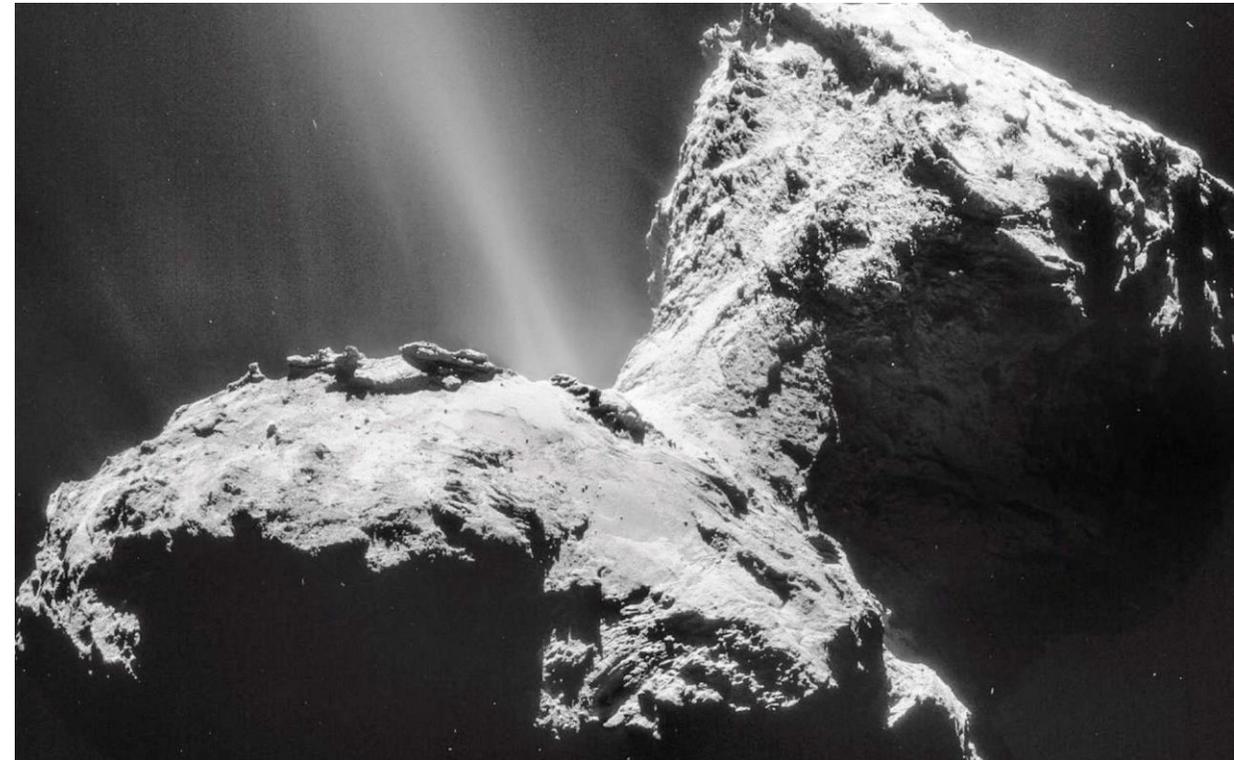
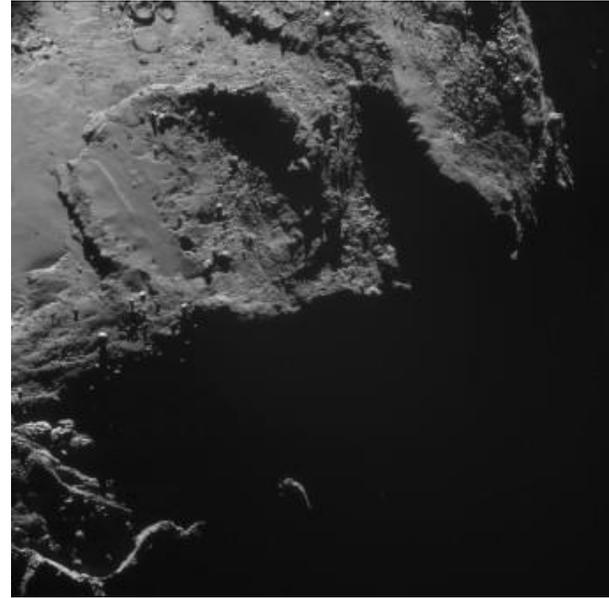
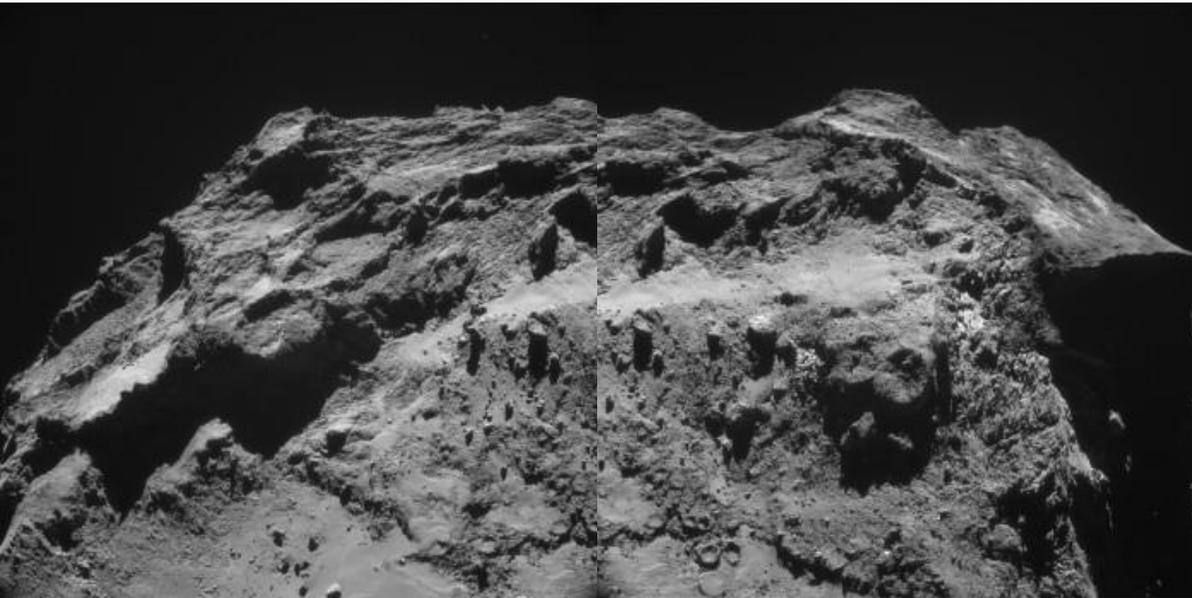


Photo ESA

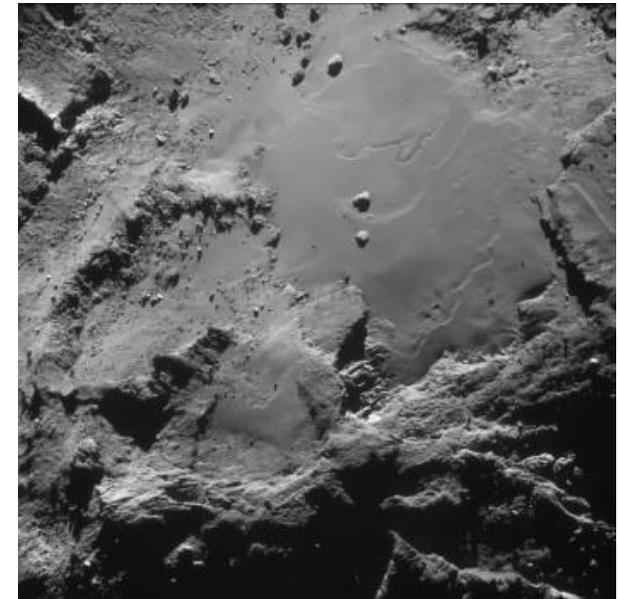


LA VIE DANS L'UNIVERS

- Quels sont les retours de Rosetta et de Philaé?
- Beaucoup de résultats comme vous allez le voir



Images ESA



LA VIE DANS L'UNIVERS

- La chevelure est majoritairement composée d'eau H_2O et de dioxyde de carbone CO_2 , mais aussi de monoxyde de carbone CO , d'ammoniac NH_3 , de méthane CH_4 et de méthanol CH_3OH . La sonde a également détecté des traces de formaldéhyde $HCHO$, de sulfure d'hydrogène H_2S , du cyanure d'hydrogène HCN , du dioxyde de soufre SO_2 , du sulfure de carbone CS_2 et du dioxygène O_2 . Par ailleurs, la présence de composés organiques jusqu'alors jamais détectés sur une comète a également été relevée : l'acétamide CH_3CONH_2 , l'acétone CH_3COCH_3 , l'isocyanate de méthyle $H_3C-N=C=O$ et le propanal CH_3CH_2CHO .
- En mai 2016, il est annoncé la détection de glycine, le plus simple des acides aminés, ainsi que d'atomes de phosphore, deux substances utiles à la formation de protéines.

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Autre exemple: les échantillons de la comète 81P/Wild 2 ramenés par la mission *Stardust* (janvier 2004) ont montré qu'on y trouve de la glycine, l'acide aminé le plus simple.
- Donc sur les astéroïdes du système solaire ou les comètes on peut trouver des molécules complexes qui font partie des briques élémentaires de la vie. Il s'agit d'un phénomène ordinaire et on peut donc s'attendre à trouver ces molécules partout dans l'univers.
- Ces astéroïdes et ces comètes sont de façon générale les traces originelles du grand nuage d'hydrogène et de « poussières » qui a créé notre système solaire.
- Plus récemment les astrophysiciens ont pensé à aller voir Jupiter. Mais pourquoi donc?



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Il y a donc les géantes gazeuses
- Jupiter, plus grosse planète du système solaire: Pas de sol, pas d'eau, temp. moy. de l'atmosphère à sa surface (1 bar) -160°C composée de 86% d'hydrogène et 13% d'hélium. Peu d'énergie reçue du Soleil. En dehors de la zone habitable*. Oublions ?
- * Le terme habitable n'est pas très bien choisi bien qu'utilisé par les spécialistes. Il désigne en réalité la zone où les planètes pourraient y développer la vie même de façon très primitive; et plus exactement avoir de l'eau liquide en surface.



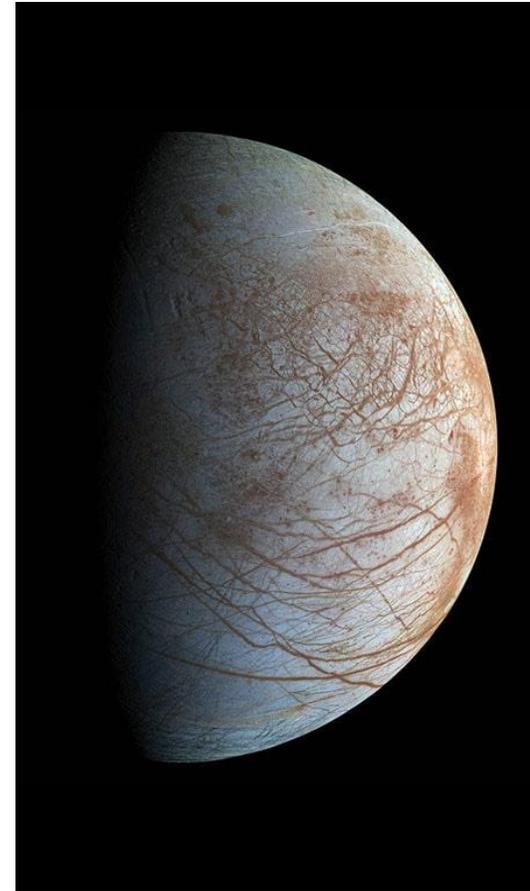
LA VIE DANS L'UNIVERS

- Les planètes suivantes, à savoir Saturne, Uranus et Neptune toutes géantes gazeuses ne sont pas mieux loties. Elles sont encore plus froides. Et pas du tout dans la zone habitable. Donc.....
- Pour revenir à Jupiter il y a un gros doute depuis quelques temps. Elle possède 4 grosses lunes nichées tout près, ce qui a des conséquences intéressantes.....



LA VIE DANS L'UNIVERS

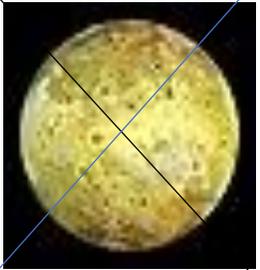
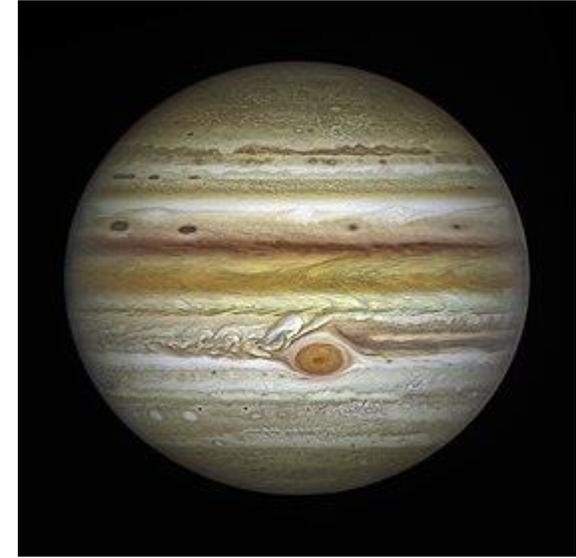
- En juillet 2023 la mission Juice de l'ESA est partie pour explorer les lunes galiléennes de Jupiter (Io, Europe, Ganymède et Callisto)
- En effet il a été remarqué que 3 des lunes principales émettaient des geysers d'eau. Ce qui signifie que de l'eau liquide existe sous la surface glacée de ces mondes bien qu'en dehors de la zone habitable. Peut être des océans souterrains gigantesques en contact avec un noyau minéral et chaud.
- Ce sont des conditions très propices à la création de molécules complexes et voire même à l'apparition de la vie.
- Il faut voir de plus près ce qu'il en est, d'où cette mission: réponse dans une dizaine d'années.... Patience!



Europe vue par JUNO NASA

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Supposez un instant que nous y découvriions la Vie, même sous une forme élémentaire; ce serait la quasi certitude que l'apparition de la vie est un phénomène universel !!!!
- Quel coup de canon dans notre monde scientifique.
- Mais sans cette information il est impossible d'affirmer à 100% que la vie est un phénomène universel.



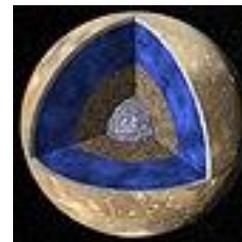
Io



Europe



Ganymède



Callisto



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Mais alors Saturne possède aussi des gros satellites....
- Tout d'abord Titan dont le diamètre est un peu plus grand que Mercure. Surtout une atmosphère à 1,5 bars composée de 98,4% d'azote et de 1,6% de CH₄ à une température à sa surface -170.C. Des grands lacs.... de méthane et des rochers de glace d'eau, une météo du méthane... Cependant si cela laisse peu de place à la vie, la sonde Cassini entre 2005 et 2007 a laissé entrevoir la possibilité d'océans souterrains, car certaines zones de la surface ont dérivées de 30km.
- Et puis Encelade, d'environ 500 km de diamètre, posséderait elle aussi un océan souterrain d'après les mesures de Cassini! Du coup nos certitudes en ont pris un sacré coup!

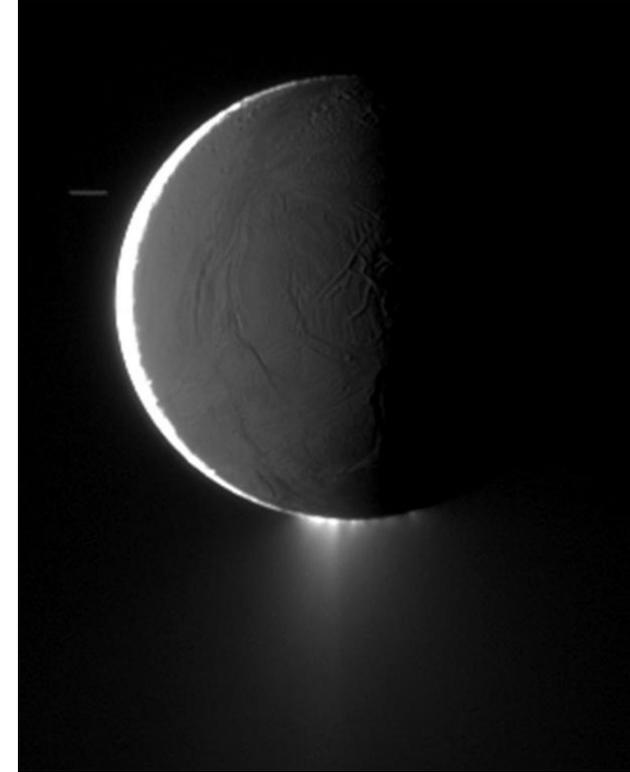
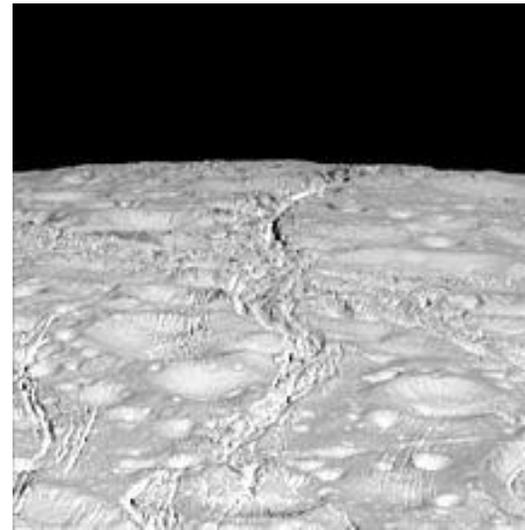
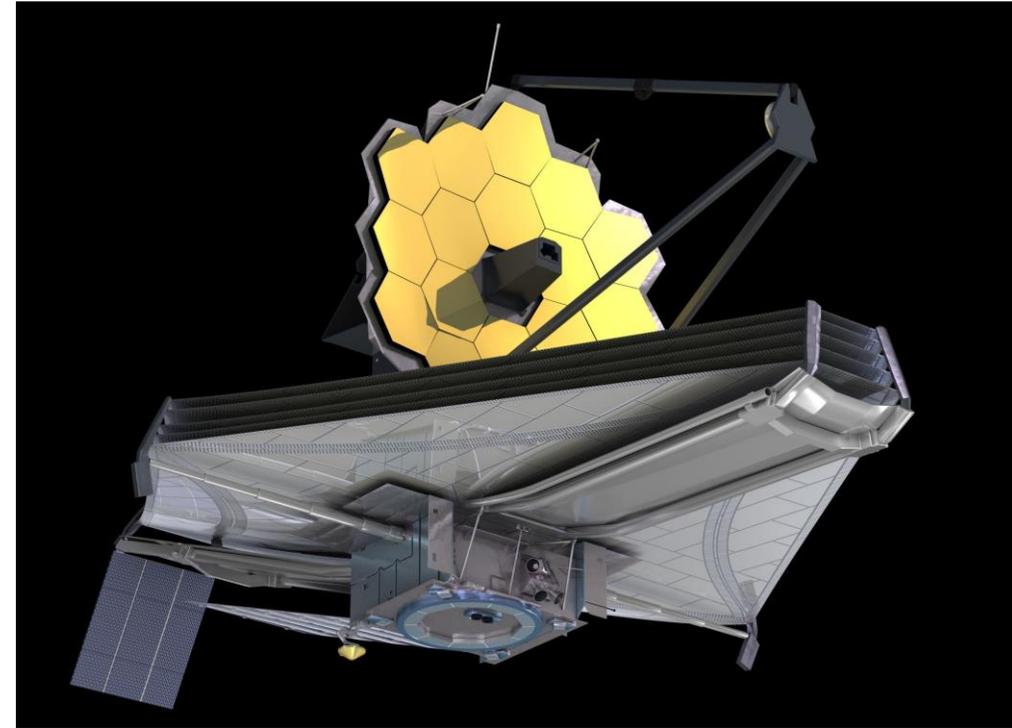


Photo JPL NASA
Geyser sur Encelade

- Les scientifiques ont aussi pensé à explorer des mondes plus lointains à savoir les exoplanètes. Mais évidemment pas question d'y aller comme sur Mars!
- Il faudra explorer à partir des images ou plutôt des signaux reçus.
- Un nouvel instrument de recherche est apparu et celui-ci devrait changer la donne.
- Il s'agit du James Webb Space Telescope (JWST) dont nous allons parler plus tard à plusieurs reprises tant il est prometteur de résultats passionnants.
- Même si pour l'instant rien n'a été trouvé dans le système solaire, nous ne sommes qu'au tout début de cette recherche et nous sommes si impatients.....



Fin de la 1^{re} partie

L'AVENTURE DE LA VIE

PARTIE 2

Attention polémique au menu !

LA VIE DANS L'UNIVERS

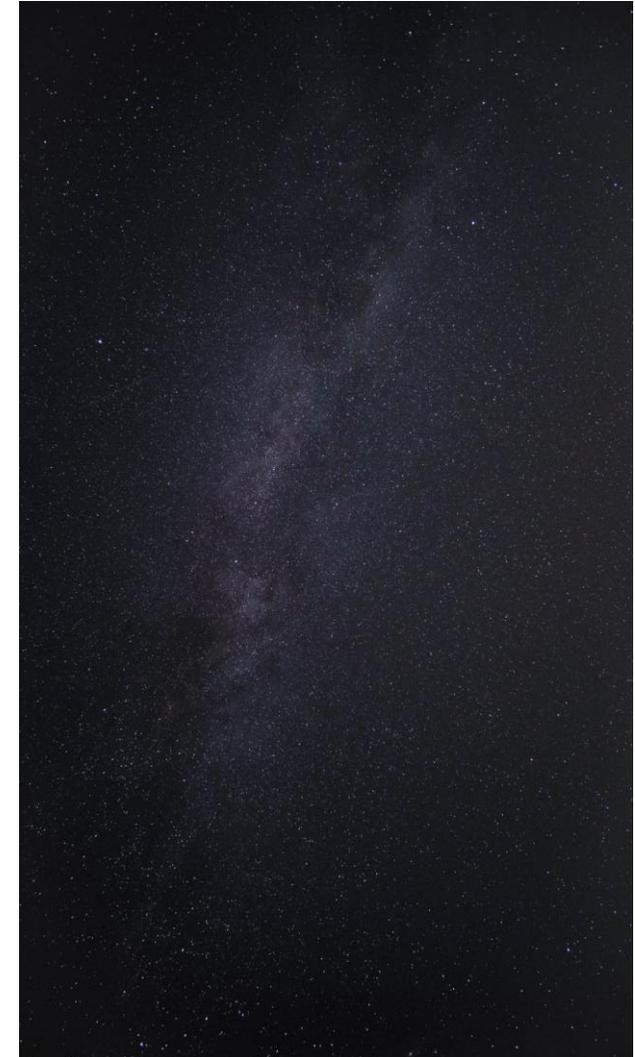
- Recherche de la vie ? Tout d'abord il faut définir ses objectifs. Des exoplanètes certes mais lesquelles et surtout comment?
- Les premières exoplanètes détectées étaient des géantes gazeuses pas du tout propices à l'éclosion de la vie d'autant qu'elles étaient appelées des Jupiter chaudes car logées très près de leur étoile. A croire qu'il n'y avait que des planètes géantes. Il s'agit d'un biais observationnel. Etant plus grosses elles ont plus de chances d'être détectées, surtout par 2 méthodes: vitesses radiales et transits (et plus récemment la méthode dite directe avec coronagraphie).
- Il faut chercher autre chose que ces planètes gazeuses .



Crédit: ESO/M. Kornmesser

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Il faut trouver des étoiles pas trop grosses car elles offrent plus de chance à la détection des petites planètes (transit ou vitesse radiale) et sont moins brillantes pour la détection directe.
- Il faut aussi des exoplanètes plus petites car elles ont plus de chance d'être des planètes telluriques; et avec une atmosphère ce serait mieux!
- Oui mais avec des étoiles pas trop petites, les plus nombreuses, car les naines rouges ou les naines brunes ou les naines orange ont la particularité d'émettre énormément de rayons X lors de violentes éruptions. Comme ce sont des étoiles « légères » leurs planètes souvent sont plus près d'elles. Et la zone habitable est plus restreinte. Tout ceci ne rend pas optimiste pour la recherche de la vie.

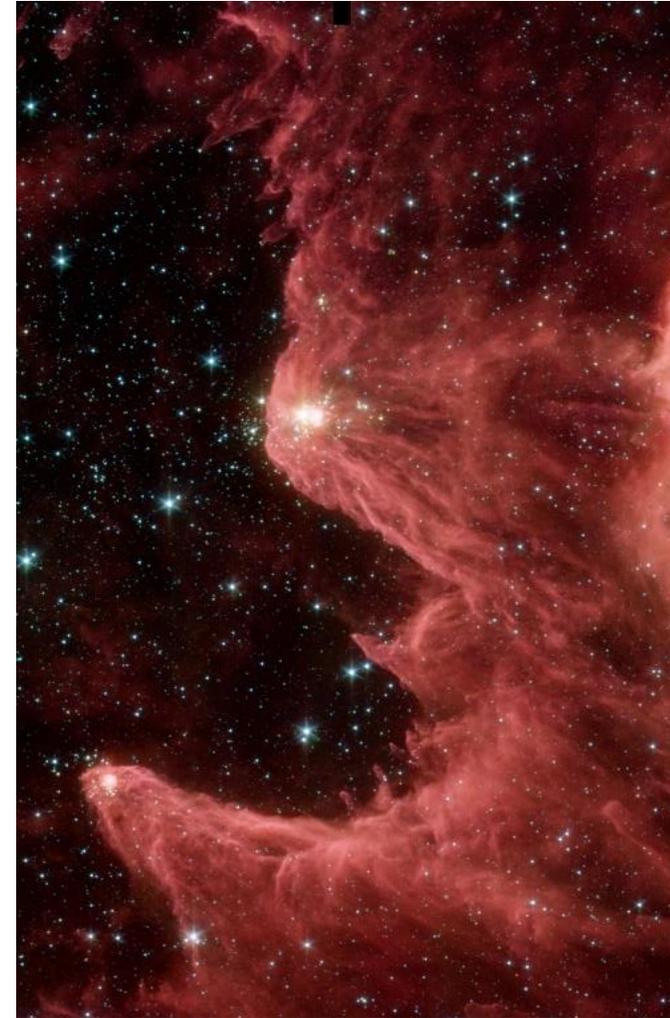


La Voie lactée par Pêcheurs d'étoiles

LA VIE DANS L'UNIVERS

7

- Par suite il faut une étoile moyenne, genre naine jaune; comme le soleil...!
- Dans ce cas il y a plus de chances de détecter les exoplanètes qui nous intéressent. Précisément celles qui ne sont pas trop près de leur étoile, qui ne sont pas des géantes gazeuses, qui ne sont pas trop chaudes, pas trop froides, une atmosphère et si possible avec de l'eau liquide : donc des planètes qui ressemblent à la Terre!
- Nous sommes devenus exigeants et très nombrilistes! Normal puisque cela a marché sur Terre.
- Heureusement nous sommes certains aujourd'hui que la plupart des étoiles de la galaxie possède son cortège planétaire. Théoriquement il y a le choix. A condition que ce ne soit pas trop loin....



NASA: Nébuleuse de l'Aigle

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Vous vous souviendrez peut être de Michel Mayor et Didier Queloz.
- Ils ont découverts la toute première exoplanète en 1995: « 51 Pegasi b », située à environ 50 AL de la Terre. Et ils ont eu un prix Nobel pour cette découverte.
- Depuis quel chemin parcouru! Il est vrai que nous avons des instruments de plus en plus sensibles.
- Actuellement on découvre plusieurs centaines d'exoplanètes par an.... Et on en compte actuellement des milliers.



Nobel de physique 2019

Leurs travaux ont contribué à «une nouvelle compréhension de la structure et de l'histoire de l'univers»



Découvertes théoriques en cosmologie physique

Découverte d'une exoplanète en orbite autour d'une étoile de type solaire



James Peebles
Canado-américain
84 ans, né en 1935 à Winnipeg (Canada)



Michel Mayor
Suisse
77 ans, né en 1942 à Lausanne (Suisse)



Didier Queloz
Suisse
53 ans, né en 1966

Actuellement

• Titulaire de la chaire Albert Einstein à l'Université de Princeton

• Professeur à l'université de Genève

• Professeur à l'université de Genève et à Cambridge (Roy.-Uni)

Doctorat obtenu à

• Princeton

• Genève

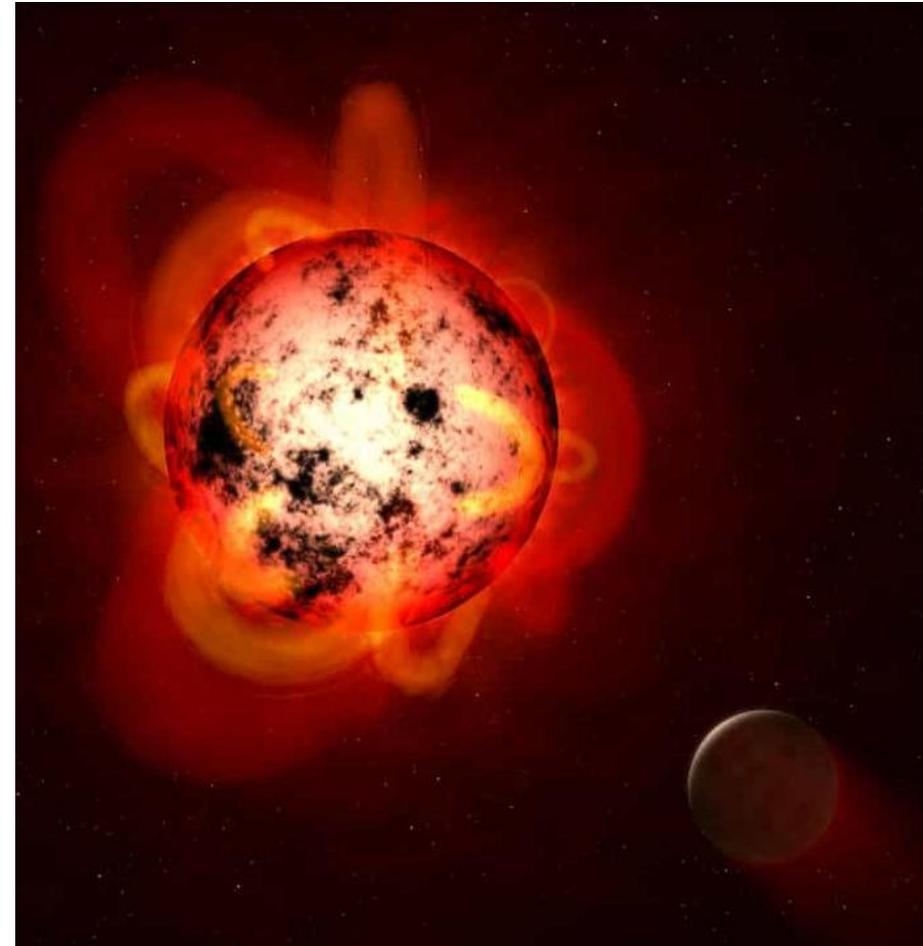
• Genève

- Pour revenir à la découverte de Michel Mayor et Didier Queloz, la planète 51 Pégasi b orbite autour de son étoile qui est une étoile jaune située à 51 AL de la Terre et de masse environ 1,04 masse solaire.
- Il s'agit d'un Jupiter chaud de masse environ 0,46 Jupiter et une température d'atmosphère de 1570 °K, contenant de la vapeur d'eau et du monoxyde de carbone et sans doute autre chose. Son rayon serait de 1,9 fois celui de Jupiter dilatée par sa température.
- Elle serait littéralement collée à son étoile puisque située à 1/20 la distance Terre – Soleil. Elle orbite en quelques jours autour de l'étoile. Cette planète s'évapore...
- Compte-tenu de ces caractéristiques pas de vie possible.



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Prenons deux autres exemples:
- Proxima du Centaure: c'est l'étoile la plus proche de notre système, située à 4,24 AL. C'est une naine rouge d'une masse de 0,123 fois le soleil. Elle possède une planète de masse 1,3 fois la Terre située à seulement 7,5 millions de km de son étoile (pour mémoire Mercure est à 60 millions de km du Soleil).
- Cela a pour conséquences probables: atmosphère inexistante, planète verrouillée sur son étoile et qui présente donc toujours la même face à l'étoile, cuite d'un côté et arrosée de rayons X, le froid spatial de l'autre côté. Passons notre chemin: ce n'est pas là que nous trouverons ce que l'on cherche.



Vue d'artiste: Futura Science

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Proxima: Elle aurait une autre planète bien plus grosse, 6 fois la Terre , mais située à 220 millions de km de l'étoile. Hélas monde gelé en dehors de la zone habitable* (elle ne reçoit pas assez d'énergie de son étoile).

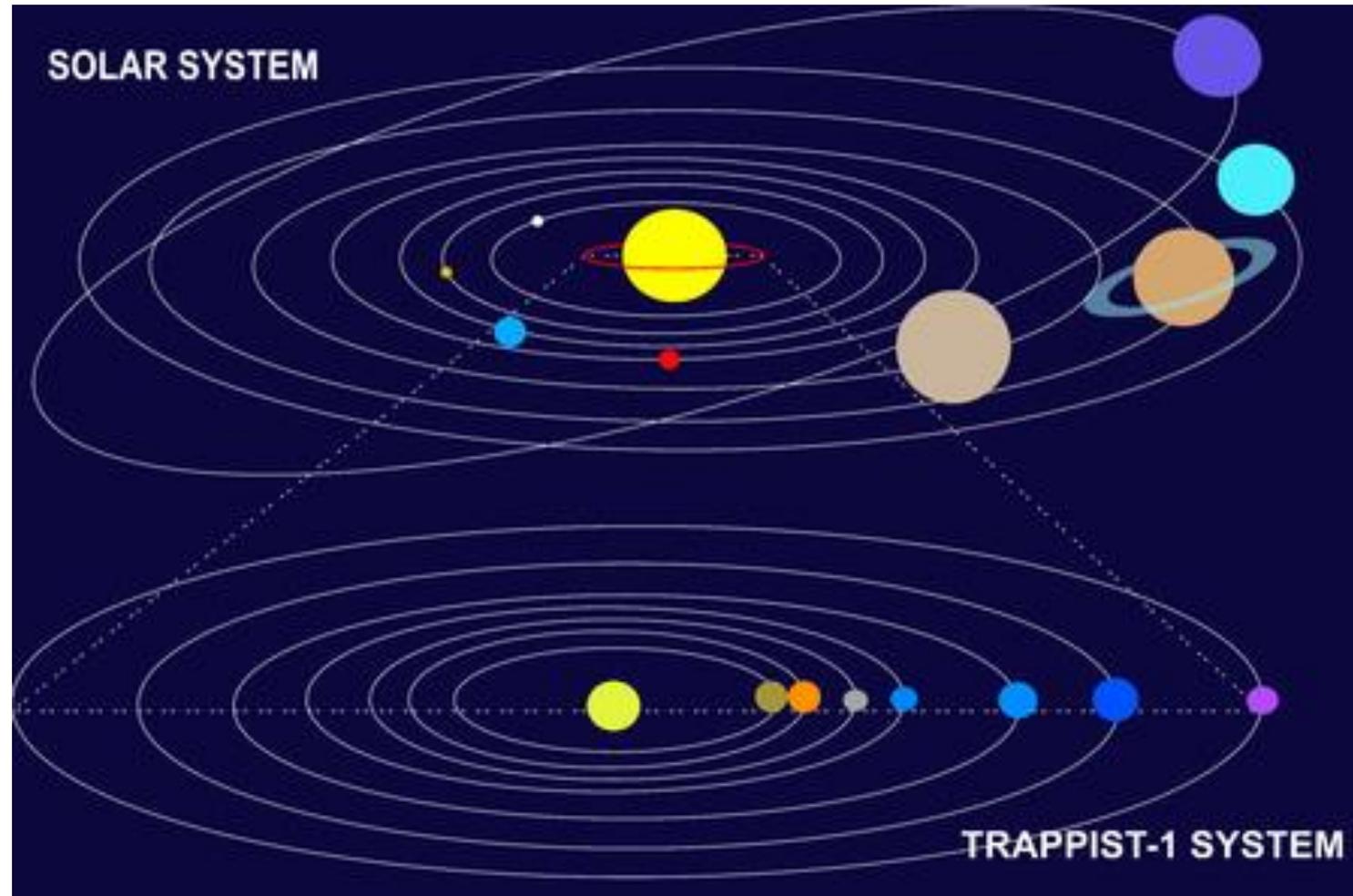
* Comme dit précédemment le terme habitable n'est pas très bien choisi bien qu'utilisé par les spécialistes. Il désigne en réalité la zone où les planètes pourraient y développer la vie même de façon très primitive.

Crédit : ESO / M. Kornmesser -
Licence : CC BY



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Il y a aussi le système Trappist: Naine rouge située à 40,5 AL du soleil, 0,08 fois la masse du soleil, elle comporterait 7 planètes littéralement collées à leur étoile. Pour les mêmes raisons que pour Proxima il n'y a peu de chance d'y détecter la vie.



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Parmi les candidates à la vie, on peut noter
- K2-18b découverte à l'automne 2024. Située à 124 AL de nous, elle orbite à 24 millions de km de son étoile (constellation du Lion) elle aurait une masse de 9 fois la Terre et une température située entre -23°C et $+27^{\circ}\text{C}$. Alors de l'eau liquide? La polémique est vive pour savoir si ces températures sont bien exactes compte-tenu de sa proximité avec l'étoile et la composition de son atmosphère aujourd'hui bien analysée par le JWST (CH_4 , CO_2 , vapeur d'eau et hydrogène) → effet de serre.

De plus elle montrerait toujours la même face à son étoile.

Tout cela semble bien contradictoire et des observations répétées seront nécessaires pour avoir une idée plus précise. A suivre...



Nasa Illustration

LA VIE DANS L'UNIVERS

- **LHS 1140b** découverte en avril 2017. Située à 48 AL de la Terre, elle orbite à 1,4 millions de Km de son étoile et aurait une masse de 5 à 6 fois la Terre. Elle aurait une température de surface de l'ordre de 30°C ce qui permettrait à l'eau de rester liquide. On parle même d'océans gigantesques....

**Problème: L'analyse du spectre de son atmosphère par le JWST* ne donne rien!!!
Spectre plat. Son atmosphère serait épaisse et son étoile serait particulièrement calme. Tous les espoirs sont encore permis mais il faudra beaucoup d'autres observations avant de pouvoir affirmer ses caractéristiques.**

*** Je parle du JWST plus loin....**



ESO vue d'artiste

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Et puis nous ne cessons de découvrir des nouvelles planètes. Aujourd'hui nous sommes à plus de 5600 exoplanètes confirmées. Il y en aurait 10 000 en attente de confirmation! Grâce notamment aux télescope spatiaux Kepler et JWST.
- Il y a une grande diversité dans ce que l'on découvre.
- Par exemple l'exoplanète TOI-849b serait 40 fois plus massive que la Terre Située à 700 AL de nous. Comme elle orbite très près autour de son étoile toute son atmosphère a été soufflée! Ce serait une ancienne géante gazeuse. Inutile d'y chercher la vie! On l'aurait appelé Super-Terre. Mais tout le monde n'est pas d'accord!
- La définition d'une Super-Terre serait une planète tellurique comprise entre 1 et 10 masses solaires. Après tout, peu importe!

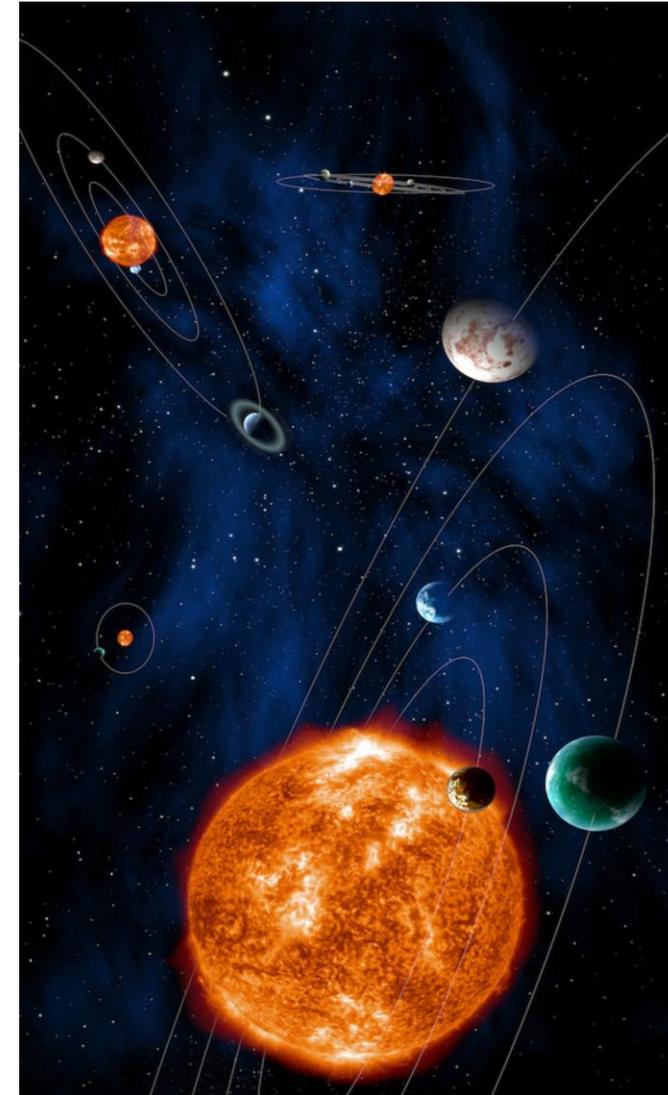
ESA



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Cela promet encore de bien belles surprises.
- Alors la suite? Nous possédons un nouvel instrument puissant et sophistiqué qui va venir compléter les observations faites depuis le sol: Le JWST
- Tout d'abord il peut s'attaquer à la détection directe par coronographie pour les exoplanètes les plus proches.
- La présence d'une exoplanète (0,37 masse de la Terre) autour de l'étoile de Barnard (0,17 masse du soleil) située à 6 AL du Soleil, vient d'être confirmée. Il va pouvoir s'attaquer à son atmosphère.
- Il est doté de détecteurs infrarouges sophistiqués. Cela va lui permettre d'étudier l'atmosphère des exoplanètes: Grâce à son spectromètre il peut analyser les gaz de l'atmosphère; et peut être y découvrir les signatures de la vie.

ESA Vue d'artiste



LA VIE DANS L'UNIVERS

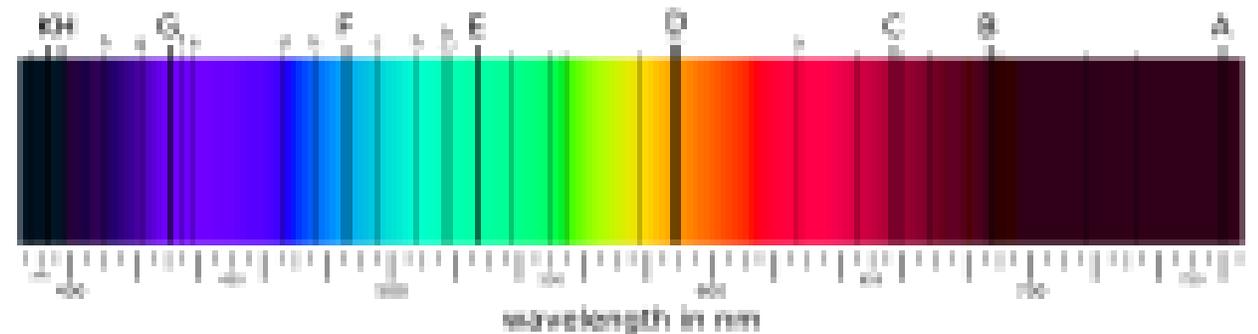
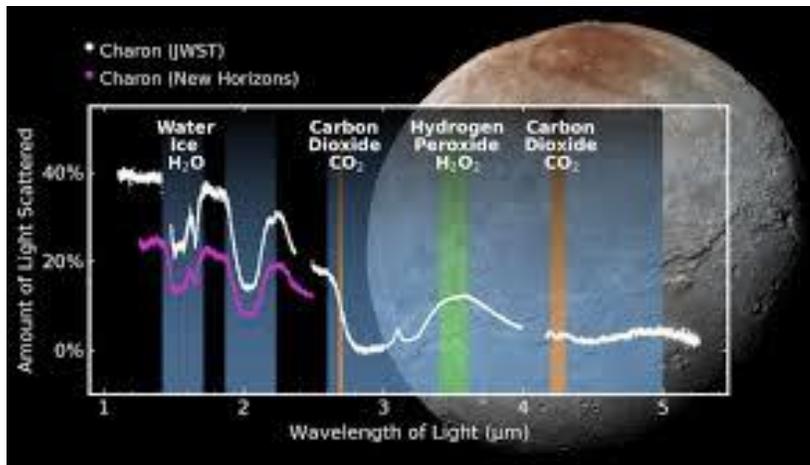
- Avant de continuer faisons un bref petit détour sur la spectroscopie. Qu'est-ce que c'est?
- Elle débute en 1666 quand Isaac Newton fait passer les rayons de lumière du soleil à travers un prisme en verre et observe les couleurs du spectre visible.
- Il réussit à prouver que c'est le résultat de la décomposition de la lumière.
- A l'époque on ne pouvait imaginer les applications incroyables de cette technique: Astronomie, astrophysique, biophysique, chimie, physique atomique, physique des plasmas, physique nucléaire, physique du solide, mécanique, acoustique ...
Plus tard on découvrit au 19^e siècle la nature ondulatoire de la lumière puis les raies d'absorption caractéristiques des corps traversés par la lumière.



Wikipédia

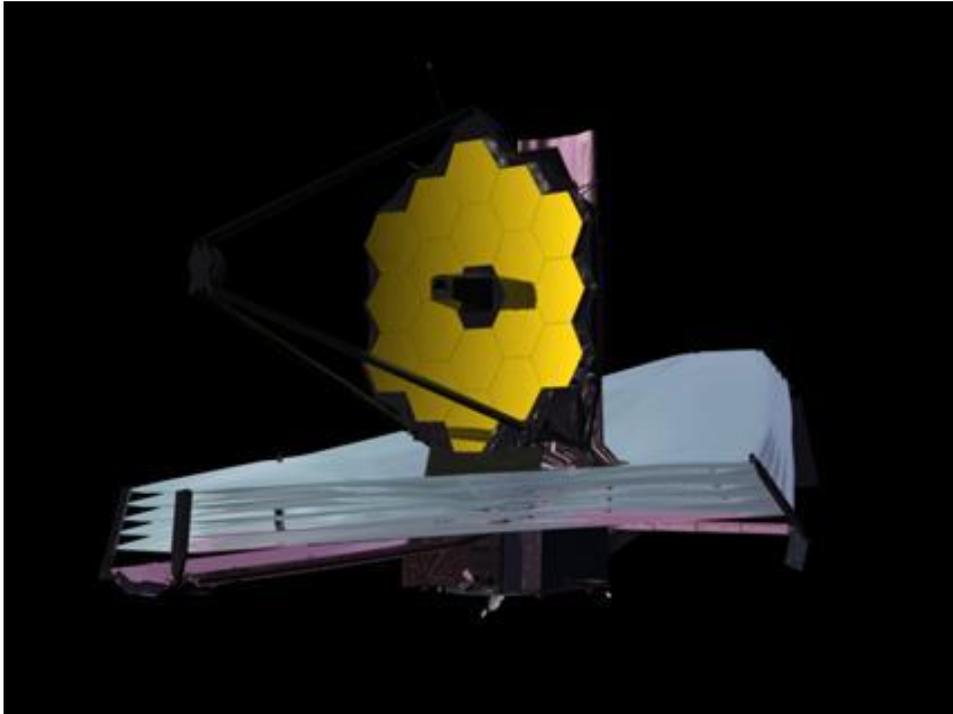
LA VIE DANS L'UNIVERS

- Aujourd'hui c'est ce qui sert en astronomie pour des quantités d'applications notamment pour caractériser l'atmosphère des étoiles puis déterminer l'atmosphère des planètes qui sont amenées à transiter devant leur étoile. Outil d'investigation puissant!
- De plus cela permet de savoir si l'étoile se rapproche ou s'éloigne de nous et à quelle vitesse.
- Sans compter que cela permet aussi de mesurer la vitesse d'éloignement des autres galaxies de l'univers qui nous entoure.... (cf l'expansion de l'univers)



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Pour revenir à nos exoplanètes, la spectroscopie infrarouge va nous apporter de nombreuses informations: de 1 à 20 μm : groupements fonctionnels d'une molécule organique, liaisons chimiques, structure de la molécule
- En bref de quoi en savoir beaucoup plus avec les instruments du JWST. On a hâte d'en savoir plus....



NASA

Le JWST: Les baffles de protection solaire ne sont pas déployés

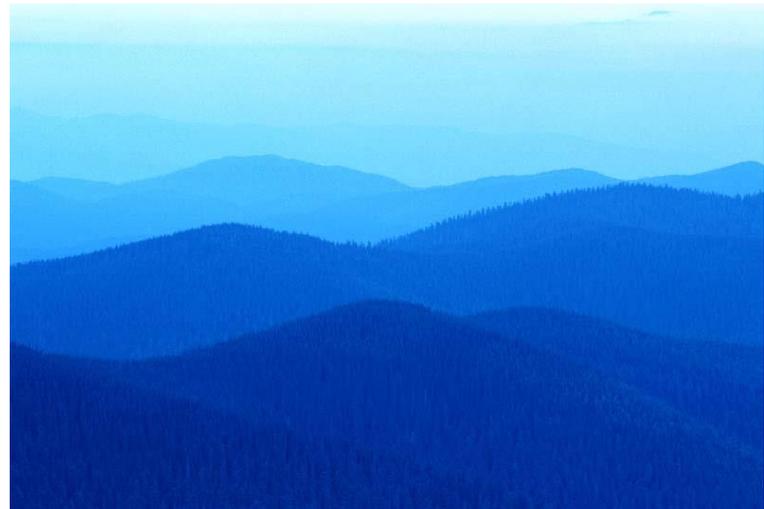


- Forcément si on trouve une atmosphère semblable à celle de la Terre, on peut espérer que la vie est bien présente (rappelons que l'oxygène de notre atmosphère serait due aux bactéries primordiales et aujourd'hui aux plantes).
- Mais même sans oxygène, si on trouve des molécules un peu complexes notamment des molécules organiques cela donnera des indices sérieux. A noter que sur Titan il y a du CH₄ mais pas la vie!
- Une équipe de recherche internationale impliquant des scientifiques de laboratoires CNRS-INSU et INP a pour la première fois détecté la molécule CH₃⁺ (méthyle cation) dans l'espace, grâce au spectromètre MIRI (JWST)
- CH₃⁺ est en quelque sorte à la racine de la chimie organique et était recherché depuis longtemps.
- Le problème c'est que nous ne savons pas quelle forme prend la vie sur une exoplanète. Par ex, saurait-on détecter de la végétation?



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Mais non seulement nous ne connaissons pas les formes de vie à détecter mais les exoplanètes sont d'une incroyable diversité (ce qui élargit le champ des possibilités)
- Nous recherchons des molécules basées sur la chimie du carbone comme sur Terre.
- Théoriquement la chimie du silicium permettrait aussi de produire des molécules complexes car il est situé juste dessous le carbone dans le tableau de Mendeleïev.
- Et puis il est le 2^e élément le plus abondant sur Terre après l'oxygène. Sauf que cette hypothèse s'est avérée erronée, chimie moins riche, pas de chimie organique à base de silicium sur Terre, les molécules formées étant bien moins malléables.



LA VIE DANS L'UNIVERS

- **En bref si nous résumons nous cherchons un système planétaire avec une naine jaune similaire à la Terre, munie d'un cortège planétaire avec un zone habitable assez étendue pour contenir au moins une exoplanète qui contiendrait des océans, et finalement une vie similaire à celle existante sur Terre..... Pas facile.**
- **Nous risquons peut être de passer à côté de quelque chose. La recherche spatiale nous a habitués à bien des surprises.**
- **Faisons donc fonctionner notre imagination....**



Illustration NASA

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Notre Galaxie comporterait entre 200 et 400 milliards d'étoiles. Si une grande majorité de celles-ci ont un cortège planétaire alors on peut parier qu'il y a au moins autant de planètes dans la Voie Lactée! Chiffre énorme.
- Il serait bien étonnant que parmi celle-ci aucune n'ait pu développer la vie si on considère que c'est un phénomène universel. Disons une sur un million d'étoiles. Cela ferait 400 000 planètes ayant développé la vie!
- Donc si on considère que la vie n'a mis « que » quelques milliards d'année à apparaître sur Terre alors il y a de grandes chances que la vie se soit développée ailleurs.



La Voie Lactée selon Wikipédia

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Les spécialistes disent qu'il existerait 1000 milliards de galaxies dans l'univers observable. Vous imaginez tout de suite le nombre d'exoplanètes... et celle habitables.
- On arrive à des chiffres gigantesques qui donnent le tournis.
- 400 000 milliards de planètes !
- Fantômes ou réalité?
- Personne n'est capable de le dire. Cela reste une possibilité fascinante.

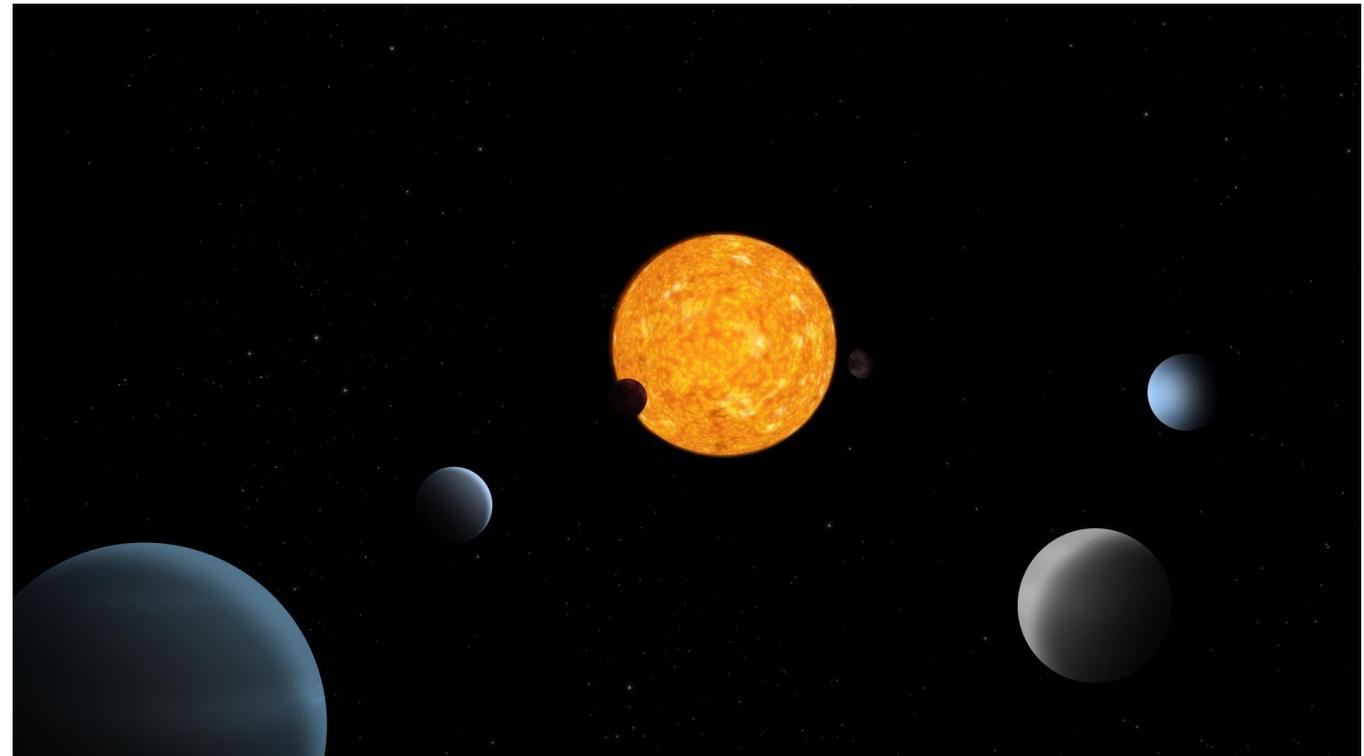


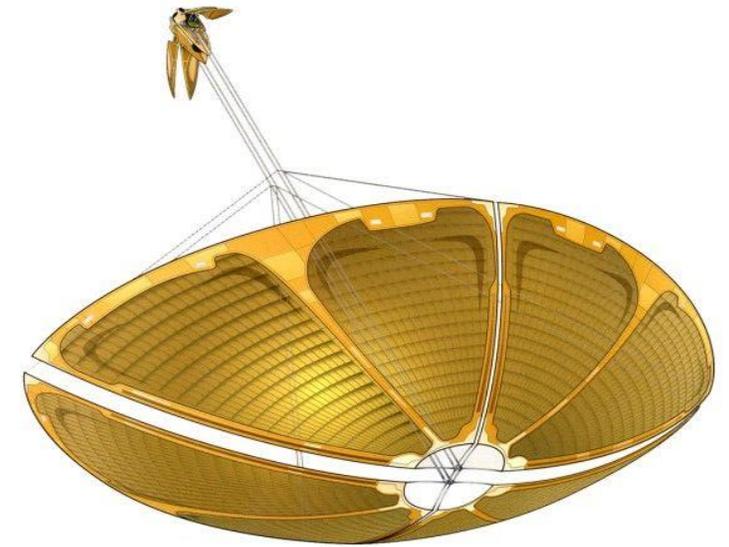
Illustration ESA

- Dans ces conditions pourquoi n'avons-nous pas eu de contacts avec des civilisations plus avancées que nous (rappelons que l'histoire de l'aventure scientifique de l'homme est toute récente).
- C'est qu'il y a un problème que nous avons tendance à négliger: la vitesse de la lumière qui est désespérément lente à l'échelle de notre Galaxie et encore plus à l'échelle de l'univers.
- Cela constitue un véritable mur temporel pour notre désir de connaître ce qui se passe très loin.



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Pour se faire une idée des distances, Proxima du Centaure qui est l'étoile la plus proche du Soleil est située à 4,24 AL de nous.
- Si on envoie une sonde pour examiner de près cette étoile et ses planètes, en supposant qu'elle voyage à 10 km/s, elle mettrait 7200 ans pour faire le voyage; et encore il faut freiner avant pour être certain de se mettre en orbite dans le système.
- Pas question d'une durée pareille qui est supérieure à notre histoire écrite. Il faudrait aller 1000 fois plus vite, c. à d. à une fraction non négligeable de la vitesse de la lumière. Là, notre technologie ne le permet pas.
- Et la situation est bien pire si l'objet à étudier est à 5000 années lumière.



Sonde imaginée par Stephen Hawkins

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Dans les films de science fiction on dépasse allègrement la vitesse de la lumière. Ce n'est plus une question de technologie, c'est une violation des principes de la relativité générale établis par un certain Mr Einstein. Et toutes les expériences effectuées lui ont donné raison.
- Pour accélérer une masse de 1 kg à la vitesse de la lumière il faudrait convertir 125 grammes de matière en énergie avec un rendement de 100%. Ça fait dans les 20 milliards de Mégajoules, soit 4700 kilotonnes de TNT. Excusez du peu!
- Voilà la vérité: c'est impensable!
- Donc notre seule façon d'étudier ces mondes lointains c'est d'enregistrer les signaux émis, dans toutes les longueurs d'onde accessibles.

NASA: Sonde Voyager 1



LA VIE DANS L'UNIVERS

- L'équation de Drake, ou formule de Drake, est une proposition mathématique qui estime le nombre potentiel de civilisations extraterrestres dans notre Galaxie avec qui nous pourrions entrer en contact.
- Cette équation dit que le nombre N probable de civilisations dans notre galaxie est égal au produit de sept paramètres $N=R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$ où :
 - R^* est le nombre d'étoiles qui se forment annuellement dans notre galaxie ;
 - f_p est la part des étoiles dotées de planètes ;
 - n_e est l'espérance du nombre de planètes potentiellement propices à la vie par étoile ;
 - f_l est la part de ces planètes où la vie apparaît effectivement ;
 - f_i est la part de ces planètes où apparaît la vie intelligente ;
 - f_c est la part de ces planètes capables et désireuses de communiquer ;
 - L est la durée de vie moyenne d'une civilisation, en années.



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Cette équation est une curiosité. Pour la résoudre il faudrait connaître tous les paramètres. Ces paramètres sont très discutables.
- Pour la petite histoire les valeurs utilisées par Drake et ses collègues en 1961 sont:
 - $R^* = 10$ /an ;
 - $f_p = 0,5$;
 - $n_e = 2$;
 - $f_l = 1$;
 - $f_i = f_c = 0,01$;
 - $L = 10\ 000$ ans.

Ce qui donne $N = 10$ civilisations en mesure de communiquer dans la Voie Lactée.



LA VIE DANS L'UNIVERS

- Bien entendu tous les scientifiques ont des avis différents sur le sujet.
- A l'initiative de Sir Francis Drake le programme SETI est lancé en 1960. Search for Extra-Terrestrial Intelligence. Ce programme est soutenu par l'astrophysicien Carl Sagan. Mise en service en 1963, arrêt en nov 2020.
- L'observatoire d'Arecibo avec son immense antenne va servir de base d'écoute des éventuels signaux émis par des civilisations extraterrestres; Certaines régions du ciel ont été ciblées plus que d'autres. Malheureusement un câble support de l'antenne a cédé en 2020 et a gravement endommagé tout l'équipement. Depuis, l'observatoire Fast en Chine a repris le concept de cette antenne.
- Pour être objectif notons que nous n'avons jamais rien trouvé si ce n'est un bref signal qui n'a jamais été retrouvé ni expliqué!



Observatoire d'Arecibo

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Si on résume ce que l'on sait:
- Pas de vie encore détectée dans le système solaire mais des sites potentiels intéressants
- Des molécules complexes détectées sur les comètes
- Une tendance naturelle des molécules carbonées simples à se réarranger en molécules plus complexes en présence d'eau et sous l'effet d'apports d'énergie (chaleur, rayonnements...)
- Des exoplanètes prouvées de plus en plus nombreuses et d'une très grande diversité, à tel point que l'on peut penser que la grande majorité des étoiles possède son système planétaire. Donc un gigantesque de nombre de planètes dans l'univers observable.
- Des outils de plus en plus puissants pour explorer et détecter des signes de vie sur ces exoplanètes, donc des espoirs raisonnables de voir des choses intéressantes.

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Pour revenir à la question posée plus haut, mais alors pourquoi n'a-t-on pas encore entendu ou détecté de signaux d'intelligence extraterrestre en dépit de fausses annonces?
- C'est que les distances sont bien trop grandes pour permettre une communication avec d'éventuels extraterrestres.
- Impossible d'envisager le moindre dialogue dans ces conditions alors que le signal émis peut mettre des milliers d'années pour faire un simple aller.
- Par ailleurs on peut se poser la question si ce contact serait souhaitable. Une autre civilisation plus développée que la nôtre pourrait ne pas être très amicale!!!!



Piliers de la création JWST
Dist. 6500 AL

LA VIE DANS L'UNIVERS

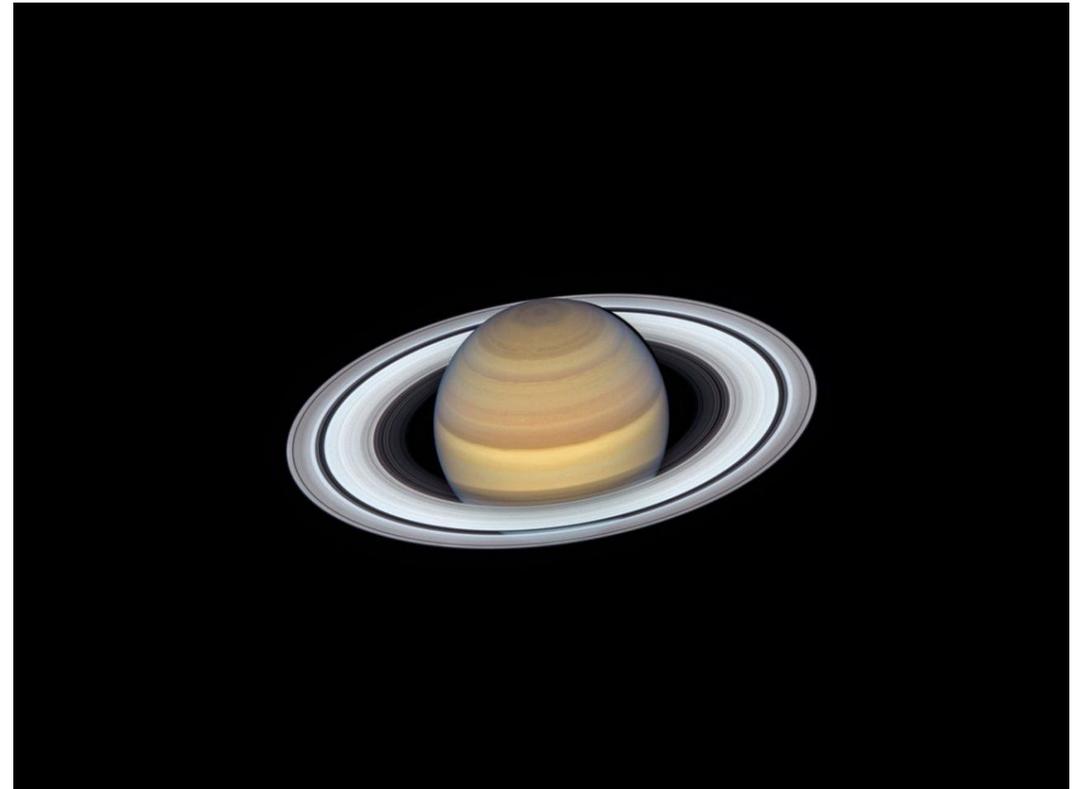
- Est-ce sans espoir? Pour l'instant dans l'état actuel de nos connaissances et de nos techniques on peut dire que oui....
- Mais dans 100 ou 200 ans, peut être aurons-nous trouvé des parades partielles à ce mur temporel: Il y a déjà le JWST...
- Certaines technologies qui émergent nous aideront peut être à mieux voir, mieux entendre, et plus vite: par ex. les ordinateurs quantiques! Si on imagine deux ordinateurs munis chacun d'une puce avec des particules intriquées, ils seront capables théoriquement de dialoguer d'un bout à l'autre de l'univers instantanément!

Bruno Nébuleuse du cœur



LA VIE DANS L'UNIVERS

- **Oui mais la matière ne pourra pas être transportée comme cela. En d'autres termes l'ordi en question il faudra l'apporter là où on le désire c'est-à-dire pas bien loin C'est déjà pas mal si on envoie des sondes vers nos planètes les plus éloignées.**
- **Par exemple si on envoie une sonde munie d'un tel système dans le fond de notre système solaire, on pourra dialoguer en direct avec elle et la piloter comme le drone qui vole au dessus de nos têtes. Et puis cette sonde munie d'intelligence artificielle sera capable de prendre des initiatives. Nous aurons en partie aboli les distances...**



NASA

LA VIE DANS L'UNIVERS

- Et puis la propulsion: il va falloir mettre au point des systèmes avec de bien meilleurs rendements pour aller plus loin et plus vite.... Certains existent déjà comme la propulsion plasma.

Bien mieux il y aura peut être la propulsion photonique..... SF !

Pour l'instant il faut donc se contenter de ce qui est accessible pour nous
ce qui est déjà vraiment très vaste et tellement prometteur.



Nébuleuse du pélican par Bruno

LA VIE DANS L'UNIVERS

12

FIN
(Et peut être suite)