

ASSOCIATION MARSEILLAISE
D'ASTRONOMIE



amas-marseille.fr

MAIRIE DES ORRES



<http://www.mairie-lesorres.fr/>

OFFICE DU TOURISME LES ORRES



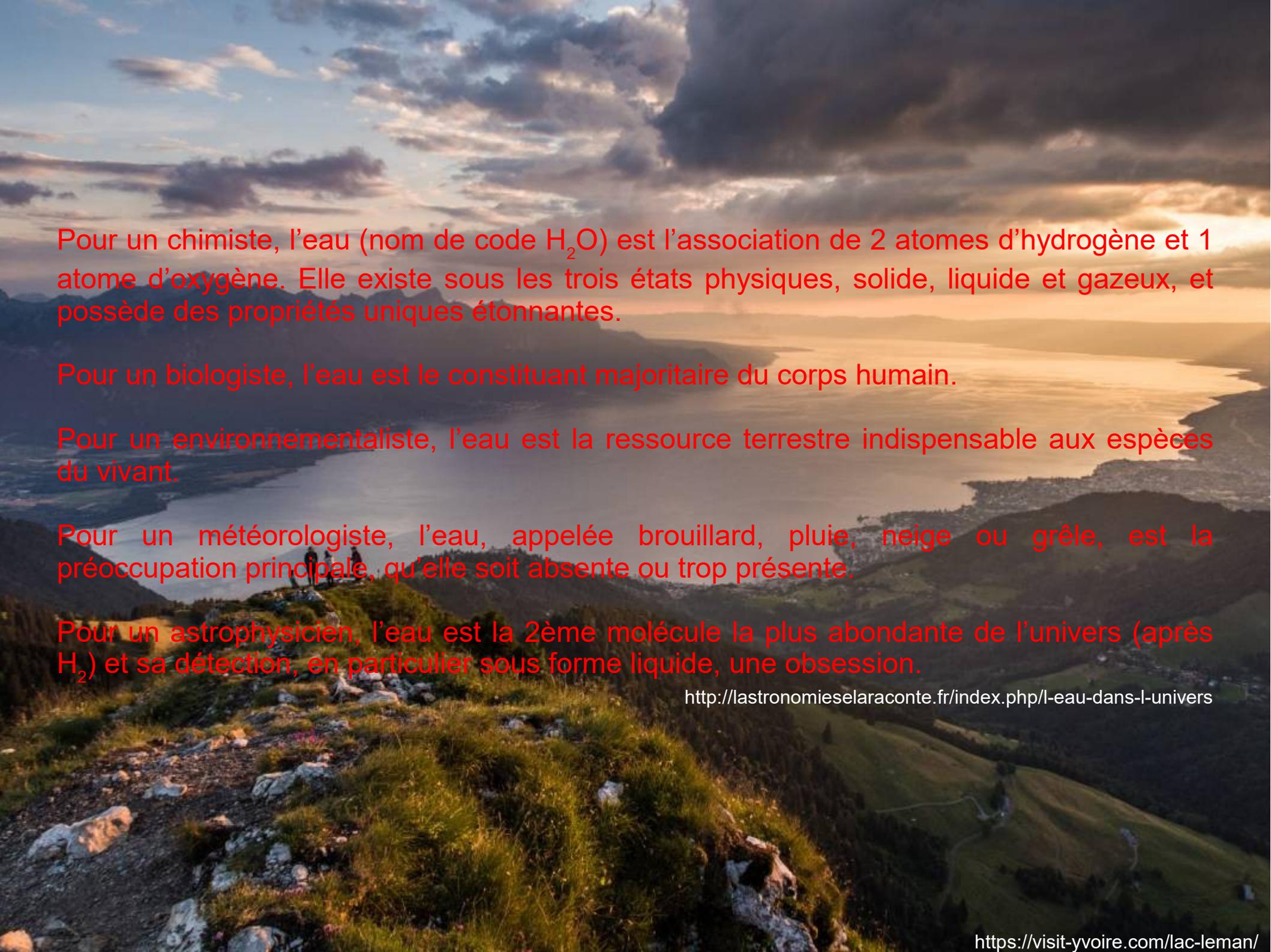
<https://www.lesorres.com/>

© AFA



L'EAU DANS L'UNIVERS



A scenic view of a lake at sunset. The sky is filled with dramatic, colorful clouds ranging from deep blues and purples to bright yellows and oranges. The lake reflects the warm light of the setting sun. In the foreground, there are green hills and rocky terrain. In the background, a range of mountains is visible under the vast sky.

Pour un chimiste, l'eau (nom de code H_2O) est l'association de 2 atomes d'hydrogène et 1 atome d'oxygène. Elle existe sous les trois états physiques, solide, liquide et gazeux, et possède des propriétés uniques étonnantes.

Pour un biologiste, l'eau est le constituant majoritaire du corps humain.

Pour un environnementaliste, l'eau est la ressource terrestre indispensable aux espèces du vivant.

Pour un météorologue, l'eau, appelée brouillard, pluie, neige ou grêle, est la préoccupation principale, qu'elle soit absente ou trop présente.

Pour un astrophysicien, l'eau est la 2ème molécule la plus abondante de l'univers (après H_2) et sa détection, en particulier sous forme liquide, une obsession.

<http://lastronomieselaraconte.fr/index.php/l-eau-dans-l-univers>

Qu'est que l'eau ?

Définition de « eau »

nom féminin

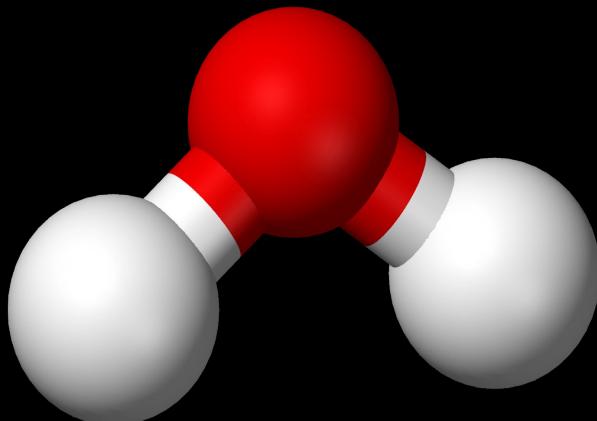
Liquide naturel, inodore, incolore et transparent quand il est pur. → aqua-, hydr(o)-.

L'eau est formée d'hydrogène et d'oxygène (H_2O). Eau lourde (composée d'hydrogène lourd). Eau de pluie. Eau de source. Eau douce ; eau de mer. L'eau gèle à 0 °C (→ glace), s'évapore à 100 °C (→ vapeur).

<https://dictionnaire.lerobert.com/definition/eau>

L'**hydrogène** H est l'atome le plus léger de tous, avec un seul **proton**. C'est l'élément le plus abondant de l'Univers, représentant 90% des atomes qui y sont présents et 75% de sa masse.

L'**oxygène** O, doté de 8 protons, est le troisième élément de l'Univers par son abondance, et représente environ 1% de sa masse.



Par Benjah-bmm27
Travail personnel, Domaine public

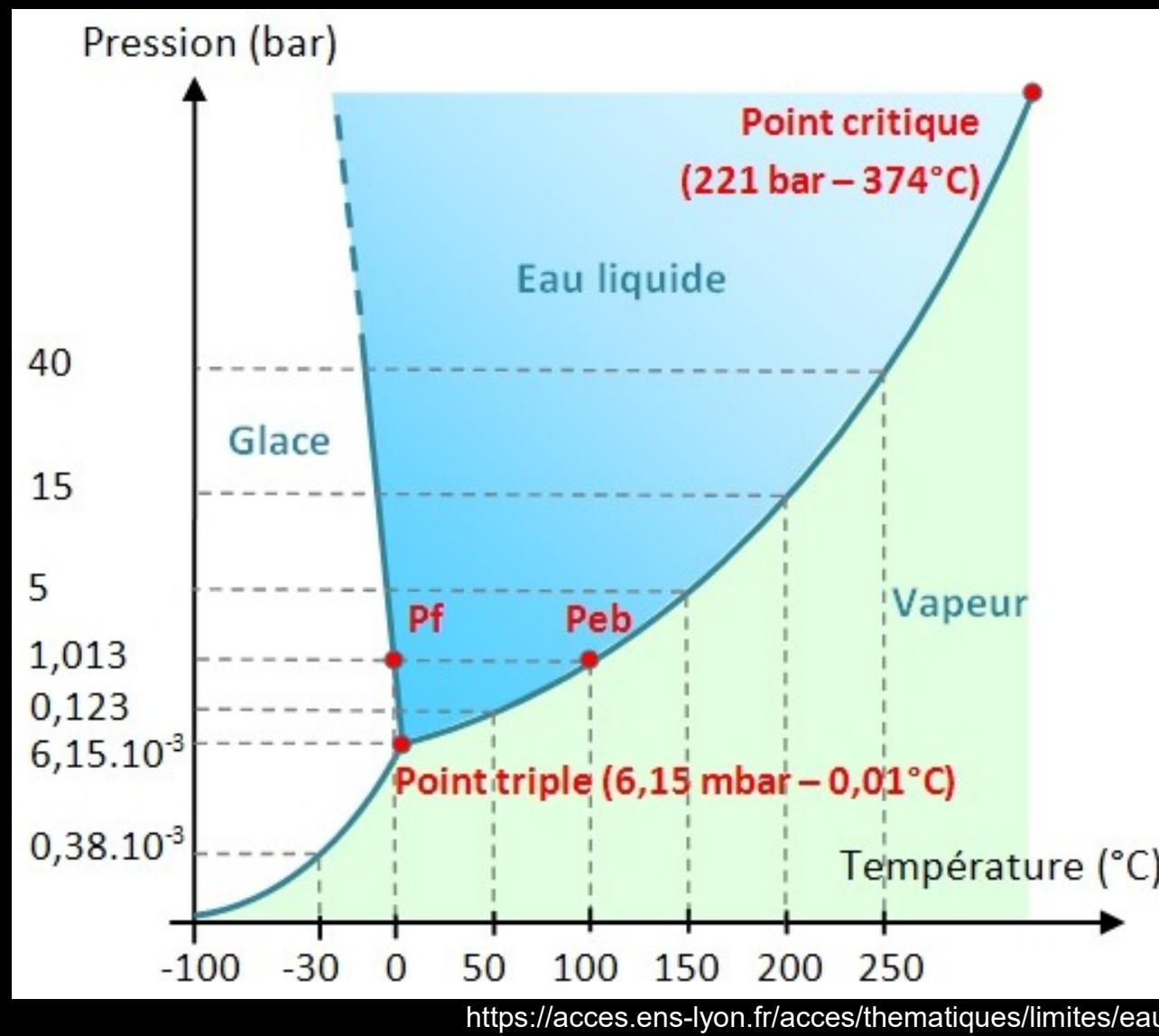
Si l'hydrogène a existé dès les « premières heures » de l'Univers (**nucléosynthèse primordiale**), l'oxygène s'est formé plus tardivement par **nucléosynthèse stellaire** (**calme** par fusions successives au sein des étoiles ou **explosive** lors d'explosion d'étoiles massives) ou par **spallation** (formation d'éléments légers lorsque un noyau lourd est bombardé par des rayons cosmiques de haute énergie)



Par Kim Hansen — Photographie personnelle

L'eau est présente sur Terre sous trois états physiques :

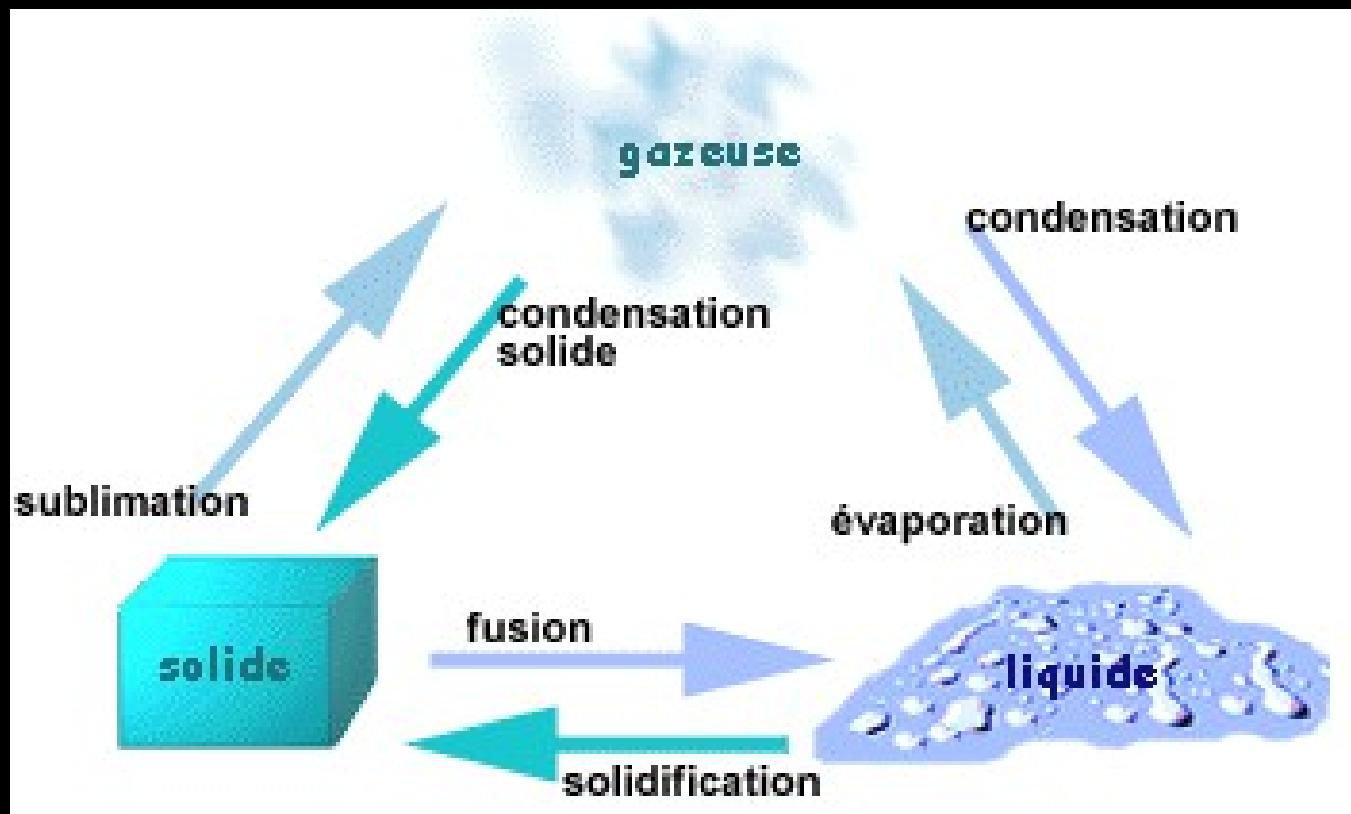
- **liquide** ;
- **solide** (sous forme de glace) ;
- **gazeux** (vapeur d'eau invisible, présente dans l'air)



<https://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/limites/eau>

Cet état (cette **phase**) dépend des conditions de température et de pression. Sur Terre, à la pression atmosphérique (1,013 bar), l'eau est liquide entre 0°C (**point de fusion** Pf) et 100°C (**point d'ébullition** Peb). Ce diagramme permet de comprendre pourquoi on trouve l'eau essentiellement sous forme de glace et de vapeur dans le cosmos, ou pourquoi nous glissons facilement sur nos patins ou nos skis !

D'une phase à l'autre



https://meteocentre.com/intermet/eau/phases_eau.htm

Les propriétés de l'eau ?

De par ses caractéristiques électro-chimiques, chaque molécule d'eau est susceptible de se lier avec quatre de ses voisines, ce qui lui confère des **propriétés remarquables** :

- point d'ébullition élevé 100°C sous 1 bar ;
- capacité thermique massique importante, qui lui permet d'amortir les variations de température ;
- grande enthalpie de vaporisation, qui permet à notre corps d'abaisser sa température par la transpiration ;
- grand pouvoir de cohésion et forte adhérence entre elle et la paroi des tissus végétaux, facilitant la montée dans les tiges des plantes malgré la gravité ; possibilité pour une membrane cellulaire de retenir un plus grand volume d'eau pour une surface donnée grâce à une tension superficielle importante ;
- masse volumique plus faible à l'état solide : la glace constitue un isolant thermique empêchant le fond des rivières de geler.

D'après Johan KIEKEN « L'eau dans l'Univers »



FONTAINE DE REOTIER (05600)

<https://www.reotier.fr/histoire-patrimoine/patrimoine-naturel/fontaine-petrifiante>

L'eau est un **solvant** (propriété de dissoudre et diluer d'autres substances – y-compris des gaz – sans provoquer leur modification chimique et sans elle-même se modifier). Ces éléments peuvent participer à la fabrication du squelette ou la coquille dans certains organismes marins. Elle peut provoquer des dépôts comme la fontaine pétrifiante de Réotier

D'après Johan KIEKEN « L'eau dans l'Univers »



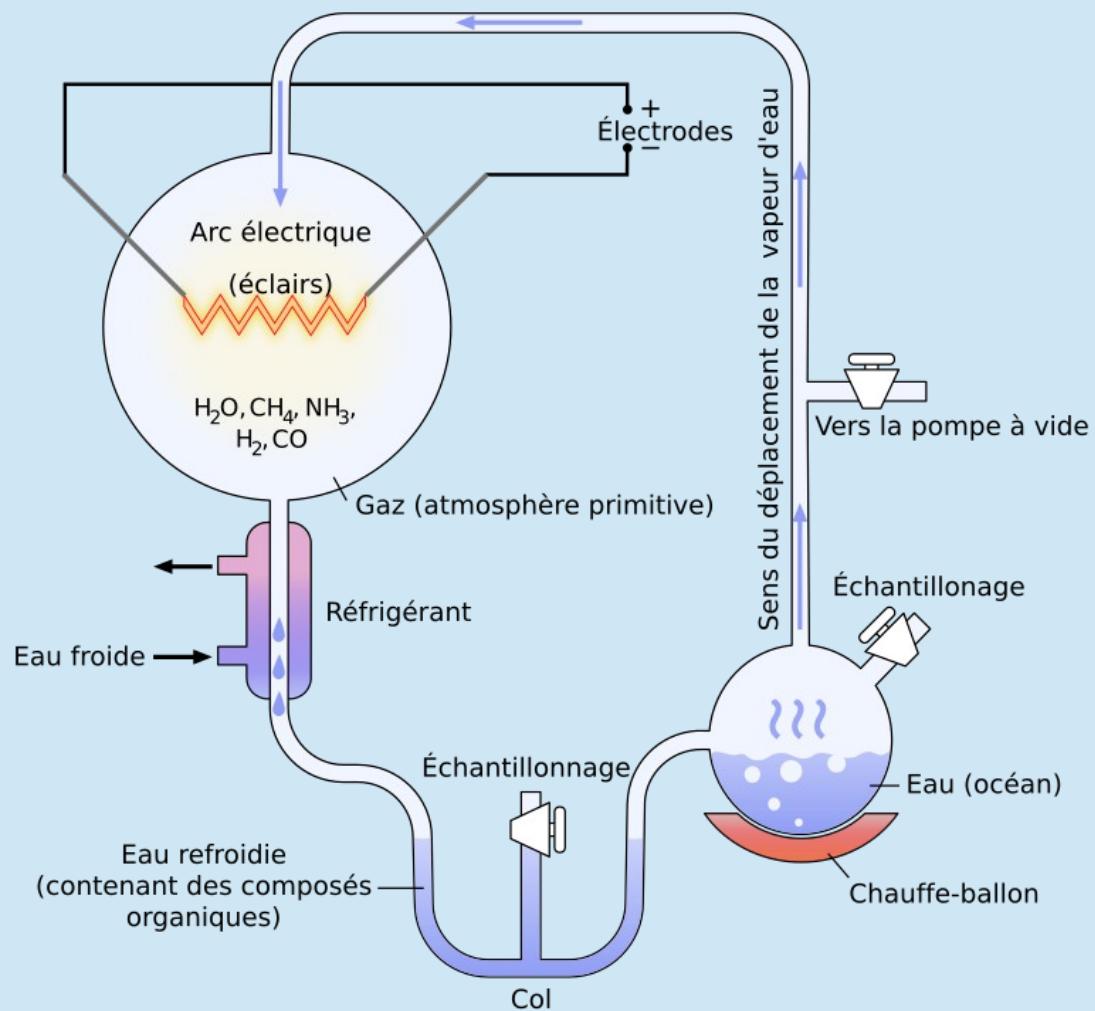
DOLINES DE DIDYMA (GRECE)

<https://www.reotier.fr/histoire-patrimoine/patrimoine-naturel/fontaine-petrifiante>

... ou dissoudre des structures (karst).

D'où la recherche de carbonates sur Mars, de saumures à basse température sous des glaces.

D'après Johan KIEKEN « L'eau dans l'Univers »



La présence d'eau sur Terre, des différents gaz de son atmosphère primitive, pourrait être à l'origine de la vie (création de molécules organiques briques, du vivant), comme a tenté de le démontrer, en 1953, **l'expérience de MILLER-UREY**. Elle donna naissance au concept de « **soupe primitive (ou primordiale) de la vie** »

L'eau liquide est **probablement abondante** dans l'Univers, même si sa présence stable n'est attestée, en 2025, que sur un seul corps, la **Terre**.

L'existence d'eau liquide sur d'autres corps est un sujet particulièrement étudié car, entre autres, elle est généralement considérée comme **l'un des préalables essentiels à la vie**. La **recherche d'eau liquide** ailleurs que sur Terre est donc une partie importante du travail effectué dans le cadre de la **recherche de vie extraterrestre**.

Par sa surface recouverte à environ 71 % par des océans (2,8% de son volume), la Terre est le seul astre connu pour abriter des zones stables d'eau liquide, dont l'origine est encore largement débattue . Par ailleurs, l'eau liquide est essentielle à tous les organismes vivants connus qui y vivent. La présence d'eau liquide sur Terre est le résultat d'une pression atmosphérique suffisante à sa surface et du fait que l'orbite terrestre est située dans la **zone d'habitabilité** du Soleil.

D'après https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_liquide_dans_l%27Univers

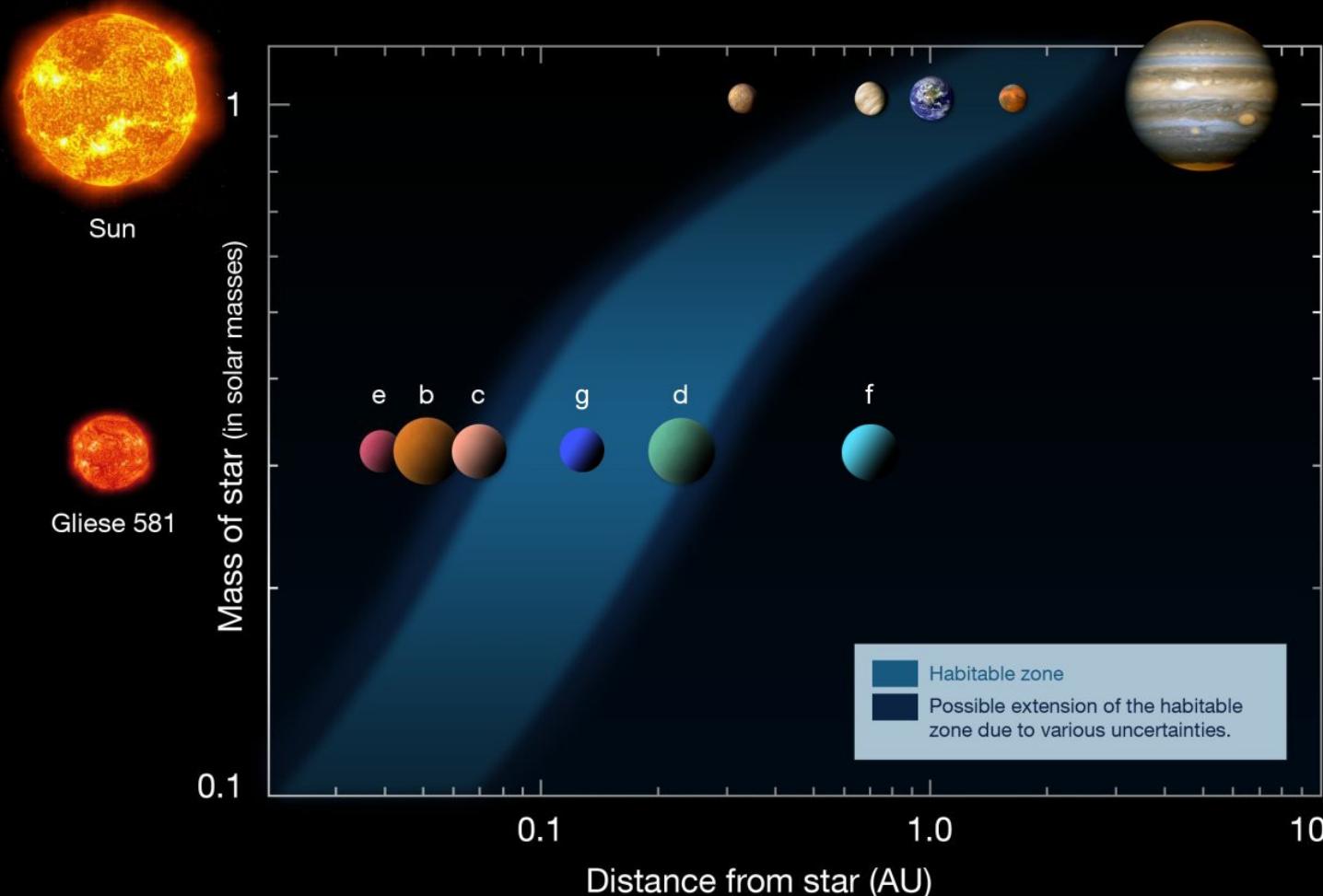


Sa détection dans l'Univers devrait nous permettre :

- de comprendre l'origine de cette eau sur Terre ;
- de trouver des traces de vies extraterrestres (éventuellement passées).

Zone habitable

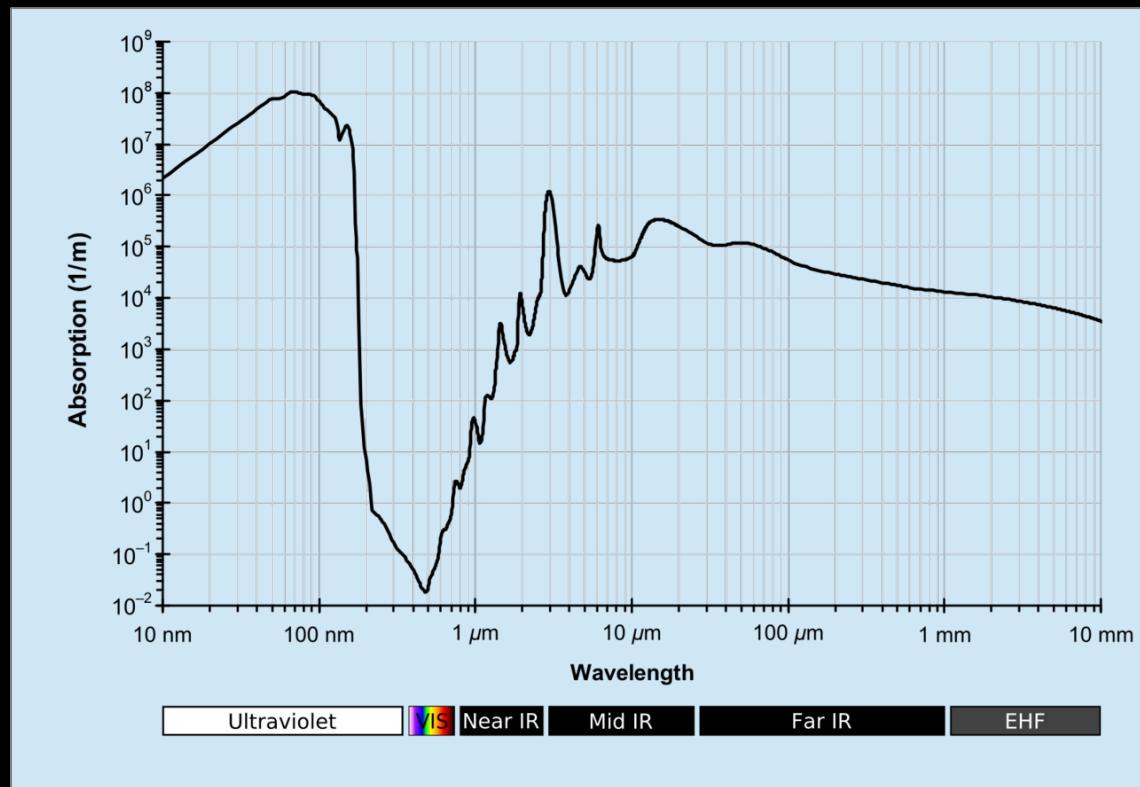
Une zone habitable, en astronomie, est une région de l'espace où les conditions sont favorables à l'apparition de la vie telle que nous la connaissons sur Terre (présence d'eau liquide). Il existe deux types de régions qui peuvent être conjointement favorables, l'une au niveau d'un système planétaire, l'autre au niveau d'une galaxie. Les planètes et les lunes situées dans ces régions sont des candidates possibles à l'habitabilité d'une planète et donc potentiellement capables d'héberger une vie extraterrestre.



Les méthodes de détection

Les principales méthodes de détection sont basées sur la **spectroscopie** : les éléments absorbent (ou émettent) les rayonnements lumineux d'une manière caractéristique propre à chacun.

Par exemple, l'orbiteur martien « **Mars Odyssey** », emportait plusieurs spectromètres utilisés pour mesurer l'abondance des atomes d'hydrogène présents dans le sol martien à une profondeur inférieure à un mètre et ont permis de mettre en évidence de grandes quantités de glace stockées sous les deux pôles ainsi que la présence de glaces en quantités plus modérées aux latitudes moyennes, confirmant que les principaux éléments nécessaires à l'apparition de la vie étaient présents sur Mars.



Une autre méthode est l'**observation directe** (par télescopes, satellites, rovers ...)

La présence d'eau pourrait être détectée par certaines caractéristiques géologiques. Par exemple par des traces d'écoulement sur les bords du cratère Newton sur Mars (cliché de la sonde « Mars Reconnaissance Orbiter »)

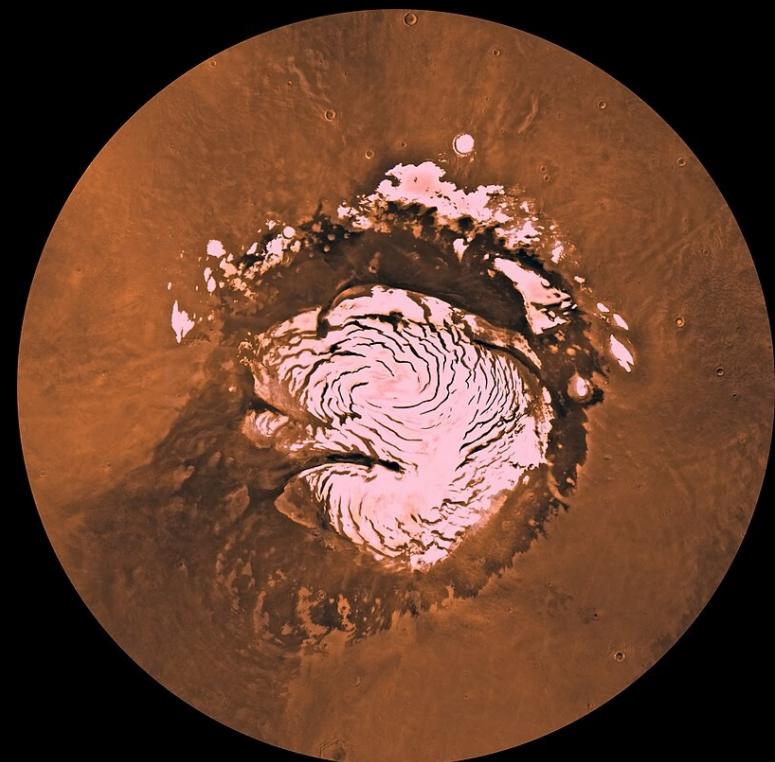


NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona – Domaine public



NASA – Domaine public

Ou la présence de glace dans la zone ombragée du cratère « Shackleton » au pôle sud de la Lune (photo prise par la sonde « Lunar Reconnaissance Orbiter »)



Ou dans la calotte boréale de Mars.
Pendant l'été boréal, la glace d'eau qui compose la calotte polaire résiduelle nord se sublime, injectant de grandes quantités de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Si toute la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère venait à précipiter, elle formerait une couche de moins de 10 μm d'épaisseur durant l'hiver et de plus de 40 μm en plein été.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_\(plan%C3%A8te\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_(plan%C3%A8te))

NASA/JPL/USGS – Domaine public

L'eau aux premiers âges de l'Univers

Le spectre d'émission du **quasar APM 08279+5255**, dans la constellation du Lynx, fait apparaître la signature de vapeur d'eau, alors que son âge est estimé à environ **un milliard d'années après le « big bang »**.



Photo prise par le télescope Jacobus Kapteyn
JKT — <https://www.ing.iac.es//PR/apm08279+5255.html>

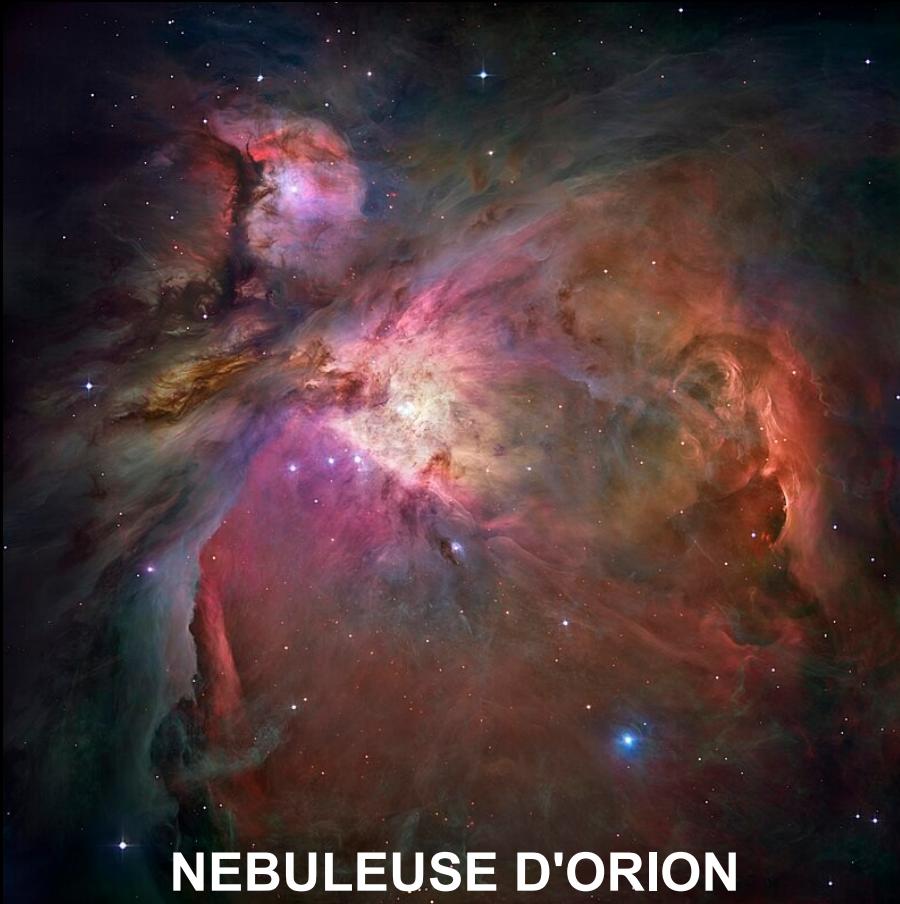
« Nous avons de bonnes raisons de penser que l'univers très primordial ne contenait pas d'eau : l'atome d'oxygène de la molécule n'aurait été enfanté que bien plus tard dans les fourneaux stellaires que sont les étoiles massives. L'observation de APM 08279+5255 impose donc une contrainte temporelle stricte sur l'évolution de la matière et de la formation des étoiles massives, seules capables de fabriquer autant d'oxygène dans un délai si court »

Johan KIEKEN – op. cit.

L'eau dans le milieu interstellaire

Le milieu interstellaire est rempli de gaz et de poussière. Le gaz (très majoritairement l'hydrogène) se trouve sous forme :

- de nuages froids (température $<-170^{\circ}\text{C}$) ;
- de nuages chauds (plusieurs millions de degrés) près d'étoiles jeunes.

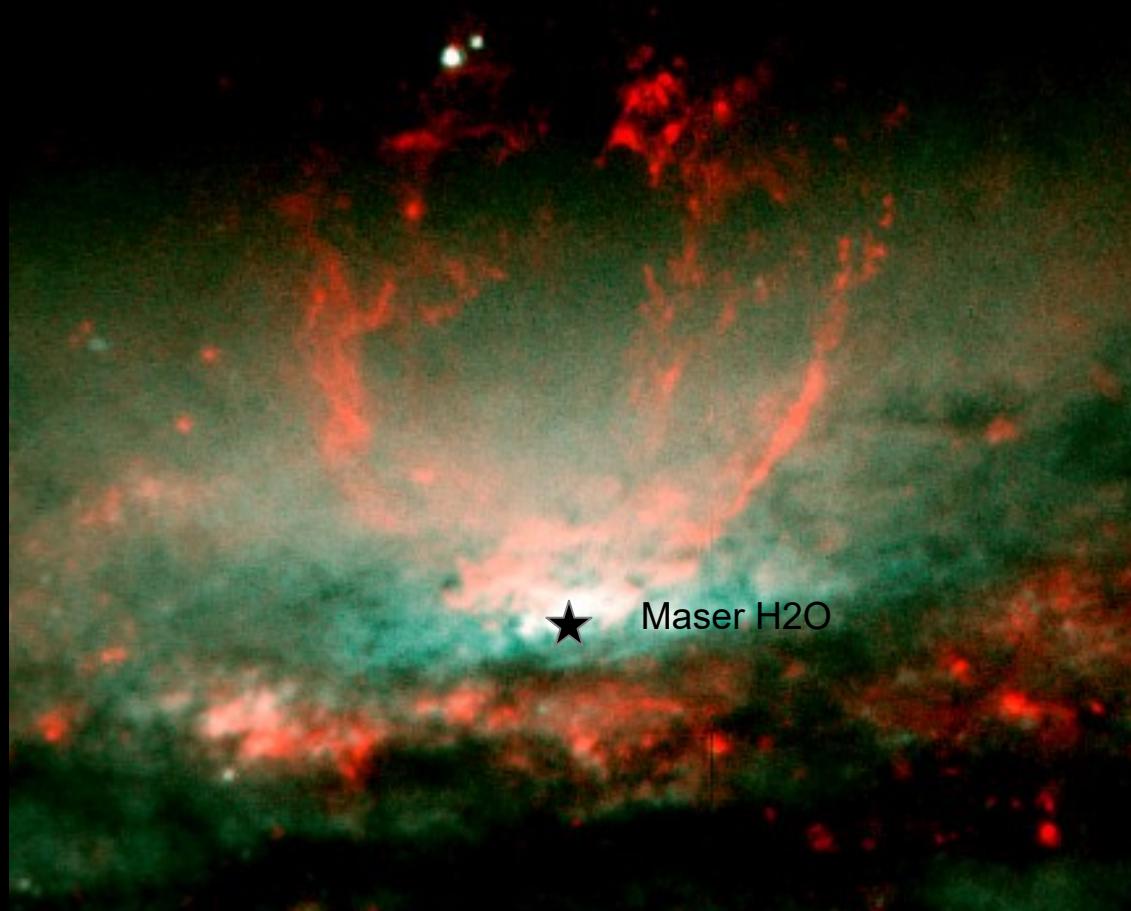


NASA, ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA) and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team – Domaine public

Les poussières se forment par condensation d'éléments réfractaires (silicates, graphite ..) au sein du matériau éjecté par les étoiles froides en fin de vie (novae, supernovae). Au gré des collisions, elles voient leur taille s'accroître. Dans le milieu interstellaire froid, elles s'entourent de manteaux de glace d'eau, de monoxyde de carbone, de méthane

Dans de nombreuses régions de formation d'étoiles, comme la **nébuleuse d'Orion**. Ces régions sont parfois le siège d'une émission intense et caractéristique de l'eau : « **effet Maser** » qui conduit à l'amplification du rayonnement.

D'après Johan KIEKEN – op. cit.

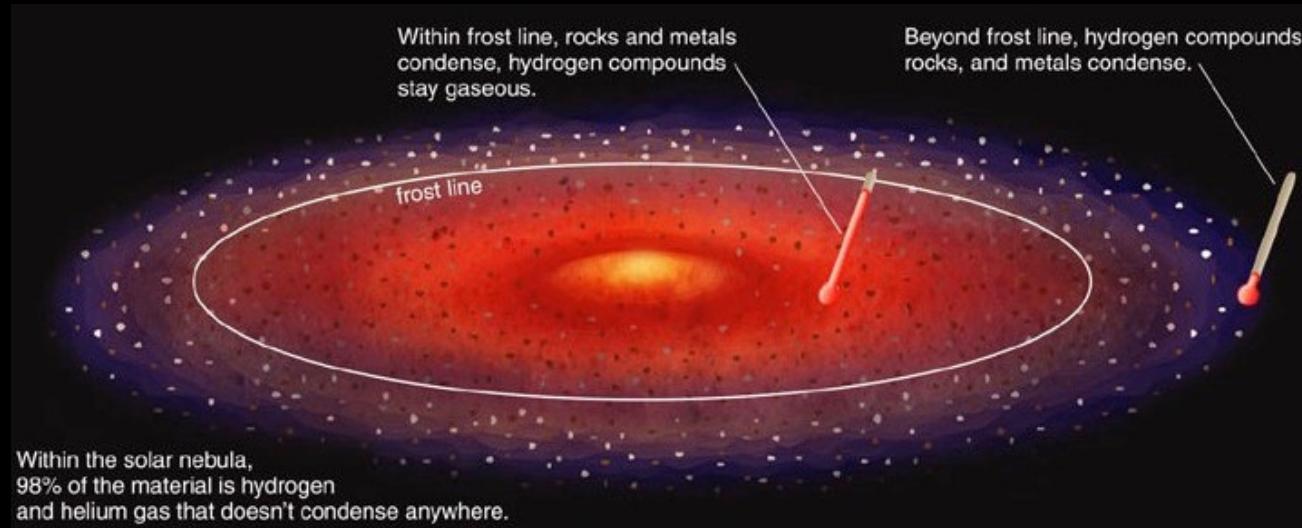


<https://www.spacetelescope.org/images/opo0128c/> - Domaine public

De la vapeur d'eau a été détectée dans le spectre infrarouge d'étoiles super-géantes, sous forme de coquilles à plus de mille degrés entourant ce type d'étoile. Comme ce maser H₂O dans la nébuleuse NGC 3079, constellation de la Grande Ourse à environ 60 millions d'années-lumière de nous.

D'après Johan KIEKEN – op. cit.

La ligne des glaces



NASA/JPL-Caltech edited by Invader Xan

En astrophysique et en planétologie, la **ligne des glaces** ... d'un système planétaire est la ligne isotherme au-delà de laquelle une espèce chimique donnée existe, dans les conditions interplanétaires, sous **forme solide**, donc de « glace ». En deçà de cette ligne, l'espèce se trouve sous forme de gaz. Dans l'absolu, il n'y a donc pas une unique « ligne de glace », mais **une par espèce chimique** considérée. Cependant, généralement, quand l'espèce considérée n'est pas précisée, il est sous-entendu qu'on parle de la ligne de glace de l'eau.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne_des_glaces

Elle se situe à environ 3 au dans notre système solaire, et correspond donc peu ou prou à la limite entre planètes telluriques et planètes géantes. On pense que cela n'est pas un hasard, car, au delà de la limite des glaces, la matière solide est 3 à 4 fois plus abondante et permet donc l'accrétion de corps plus gros, pouvant de plus retenir une épaisse enveloppe de gaz.

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_planetologie-formation/disque-portoplanetaire.html

De l'eau dans les comètes ...



© Jason Hullinger - Flickr

Les **comètes** sont des petits corps glacés orbitant aux confins de notre Système solaire. Mais lorsqu'elles reviennent vers le Soleil, elles offrent aux scientifiques des données précieuses sur son passé. C'est un petit corps solide constitué de **roches et de glaces**. On en a aujourd'hui détecté moins de 5 000, de formes et d'orbites très irrégulières. Leur (petite) taille varie de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de km de diamètre.

<https://cnes.fr/dossiers/cometes>

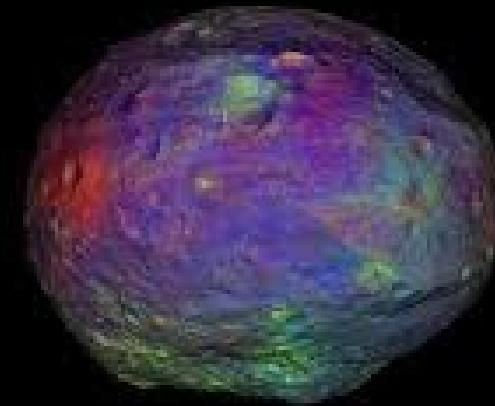
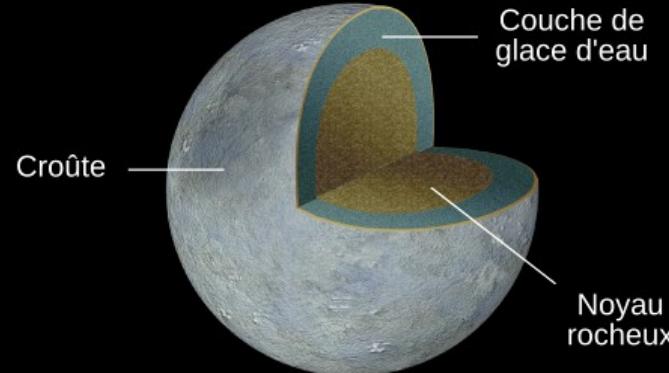
« Certains résultats [(rapport Deutérium-Hydrogène)] semblent exclure une origine [de l'eau terrestre] purement cométaire. »

Johan KIEKEN – op. Cit

Le débat reste ouvert !

... dans les astéroïdes

Structure géologique de Cérès



NASA – Domaine public

NASA, ESA, and A. Feild (STScI) – Domaine public

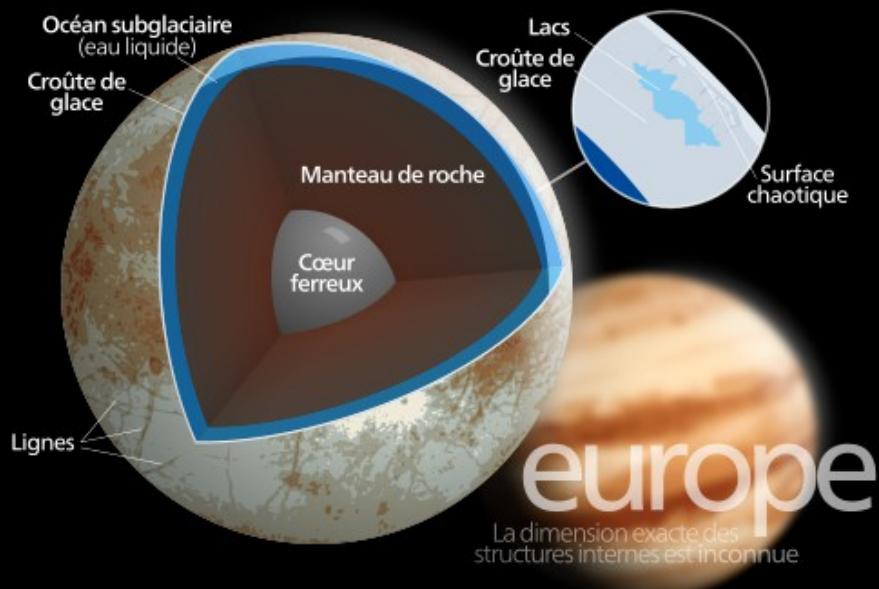
De la vapeur d'eau dans l'atmosphère de plusieurs astéroïdes, dont (1) **Cérès**, ou des minéraux hydratés comme sur (4) **Vesta** (à droite), sont la signature de présence d'eau dans la ceinture d'astéroïdes.

En 2009, l'**Infrared Telescope Facility** de la NASA a confirmé la présence de glace d'eau sur l'ensemble de la surface de (24) **Thémis**. Comme cette glace subit en permanence une légère sublimation, on suppose qu'elle se renouvelle depuis un réservoir souterrain.

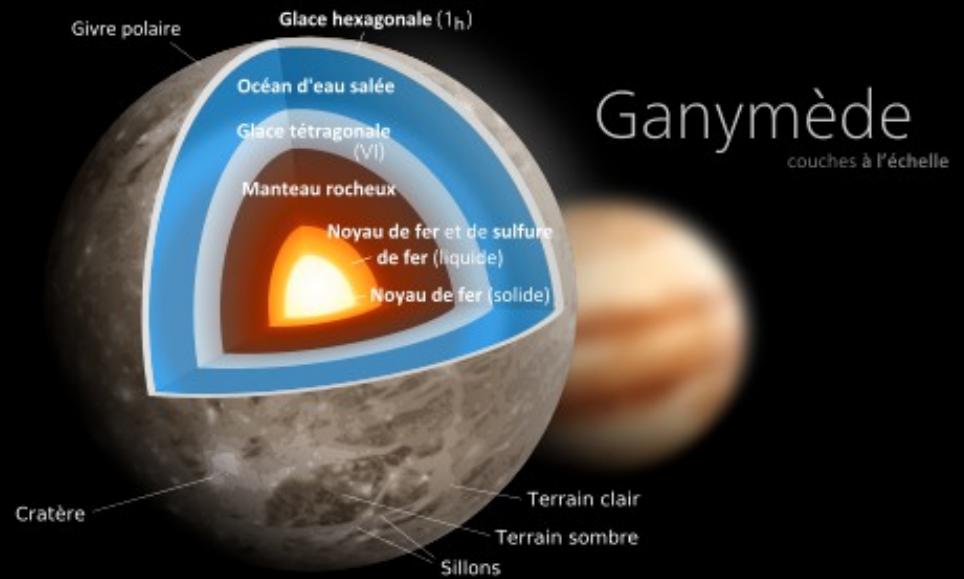


NASA – Domaine public

... ailleurs dans le système solaire



Kelvinsong — Travail personnel



Kelvinsong — Travail personnel

Comme certains satellites de Jupiter

Europa

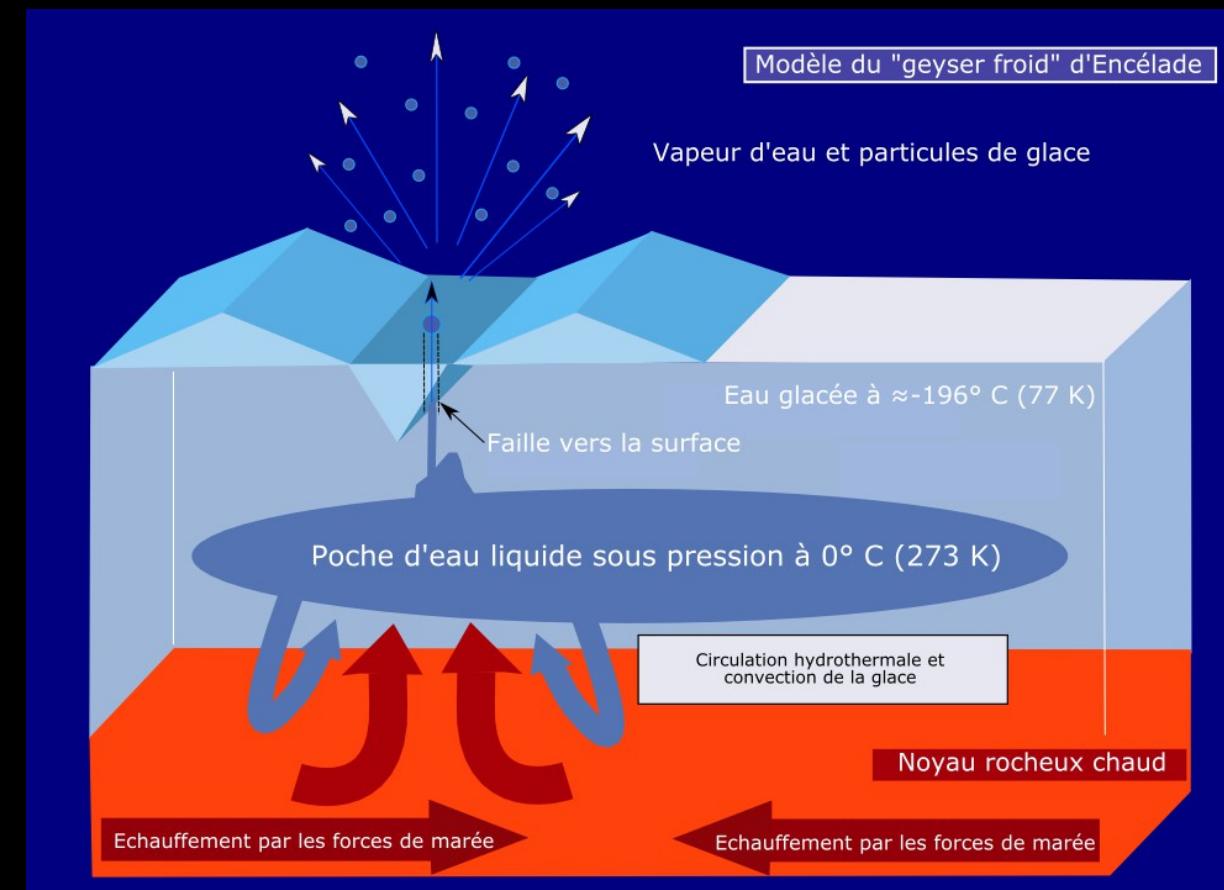
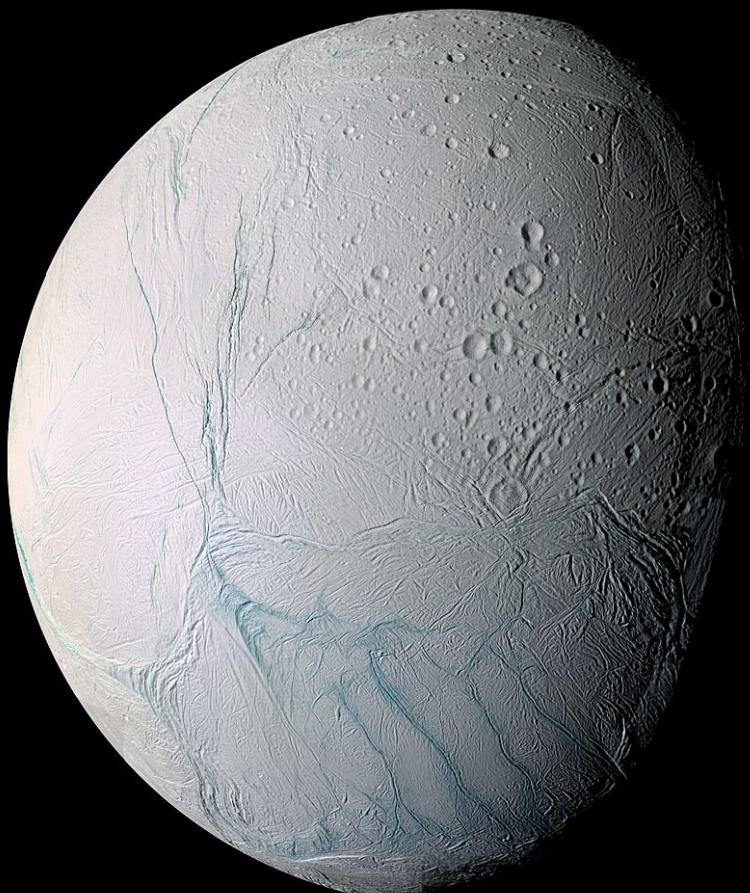
Io

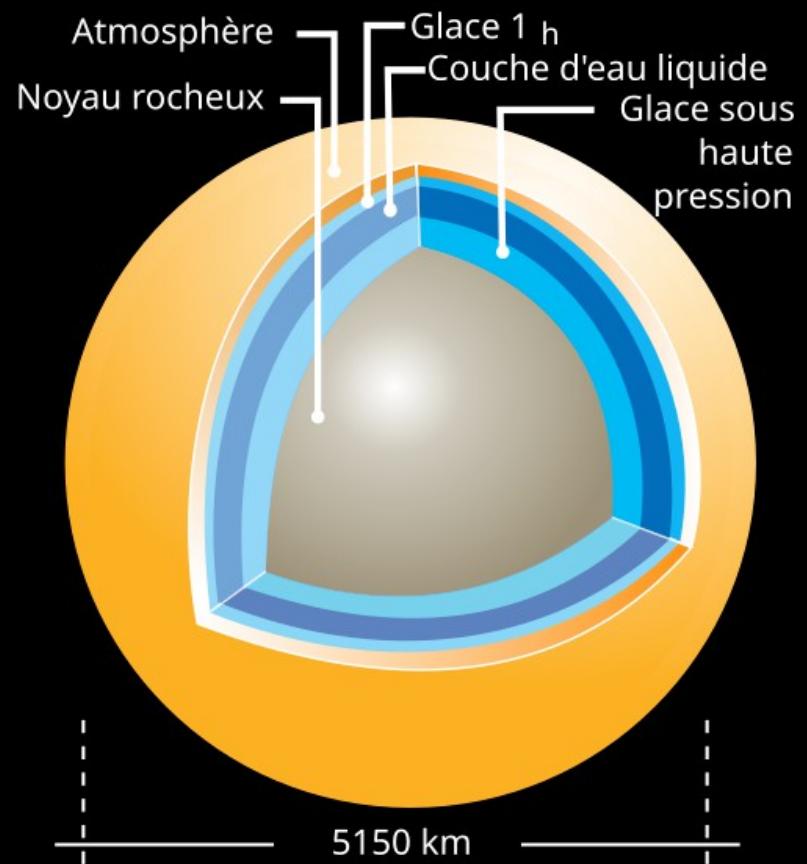
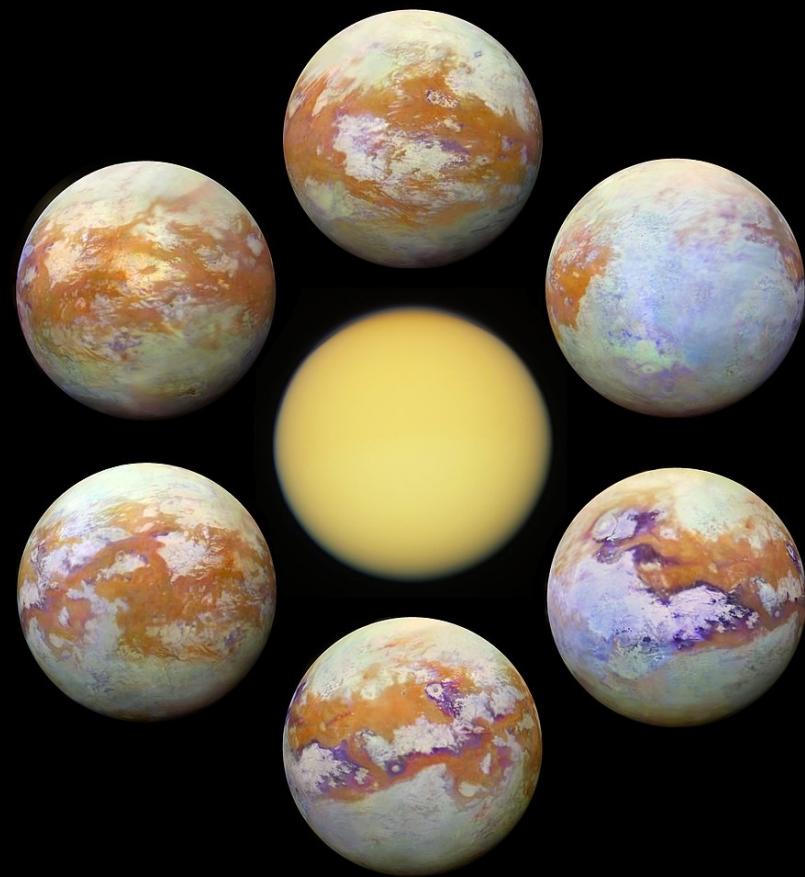
Callisto

Ganymede

Ou **Encélade**, lune de Saturne sur laquelle « *la sonde Cassini a ... observé à sa surface des jets de matière qui pourraient être semblables à des geysers composés « d'une sorte d'eau carbonique mélangée à une essence de gaz naturel », et qui semblent indiquer la présence d'eau liquide sous la surface ... De récentes observations ont permis de confirmer cette hypothèse, en démontrant la présence d'un océan d'eau liquide sous sa surface. Les trois ingrédients de la vie (chaleur, eau, molécules organiques) seraient donc potentiellement présents sur Encelade »*

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Encelade_\(lune\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Encelade_(lune))





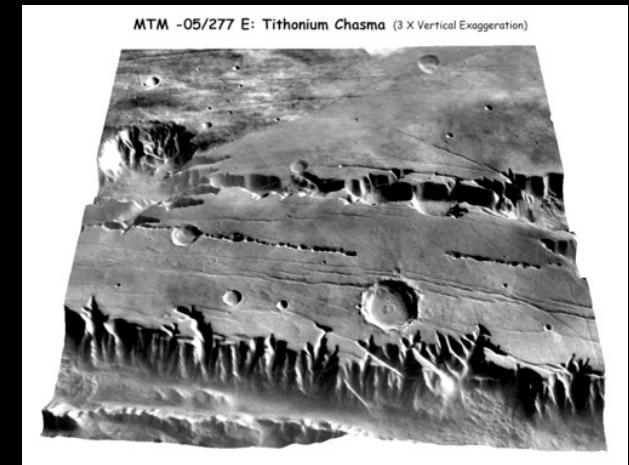
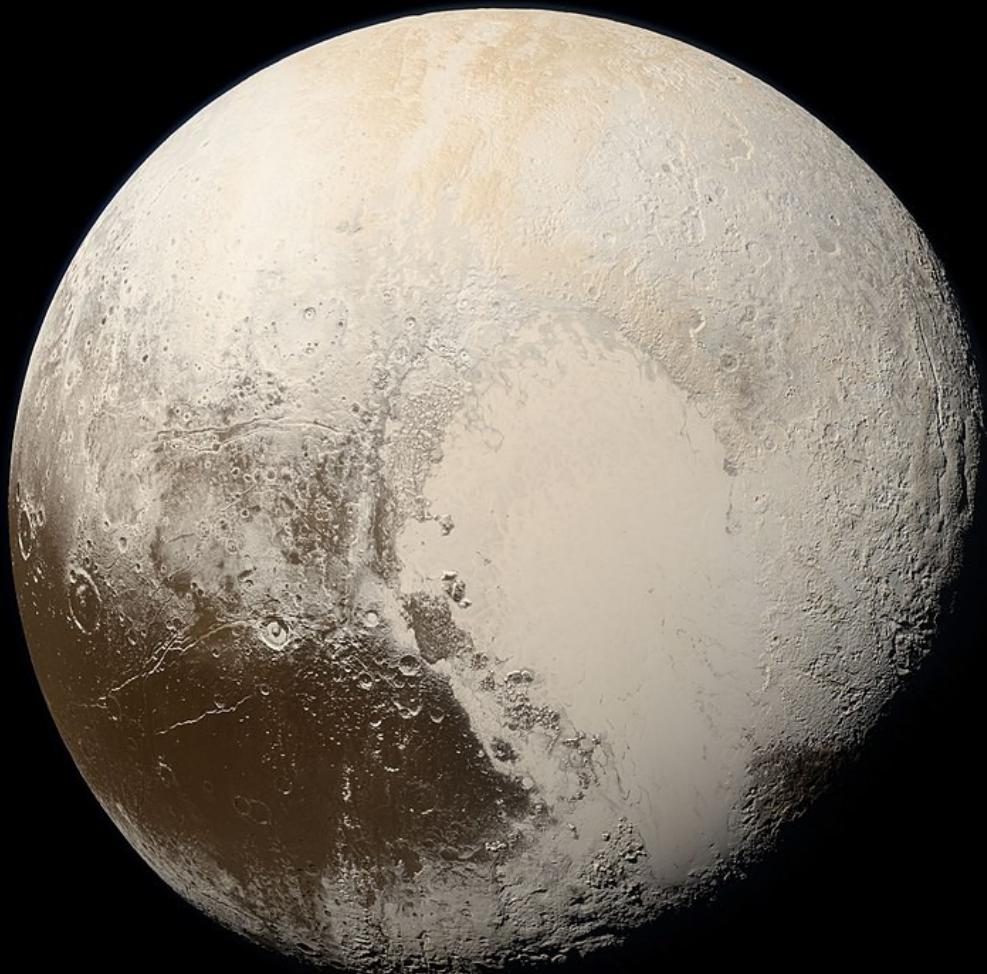
NASA/JPL-Caltech/University of Nantes/University of Arizona
– Domaine public

Nasa, User:Mysid and stanlekub – Domaine public

TITAN en lumière naturelle (centre) et par la sonde CASSINI en infrarouge.

Ou **Titan**, autre lune de Saturne où la mission Cassini-Huygens entre 2004 et 2015 « ...a permis la découverte de lacs d'hydrocarbures liquides dans les régions polaires du satellite. Du point de vue géologique, la surface de Titan est jeune ; quelques montagnes ainsi que des **cryovolcans** éventuels y sont répertoriés ».

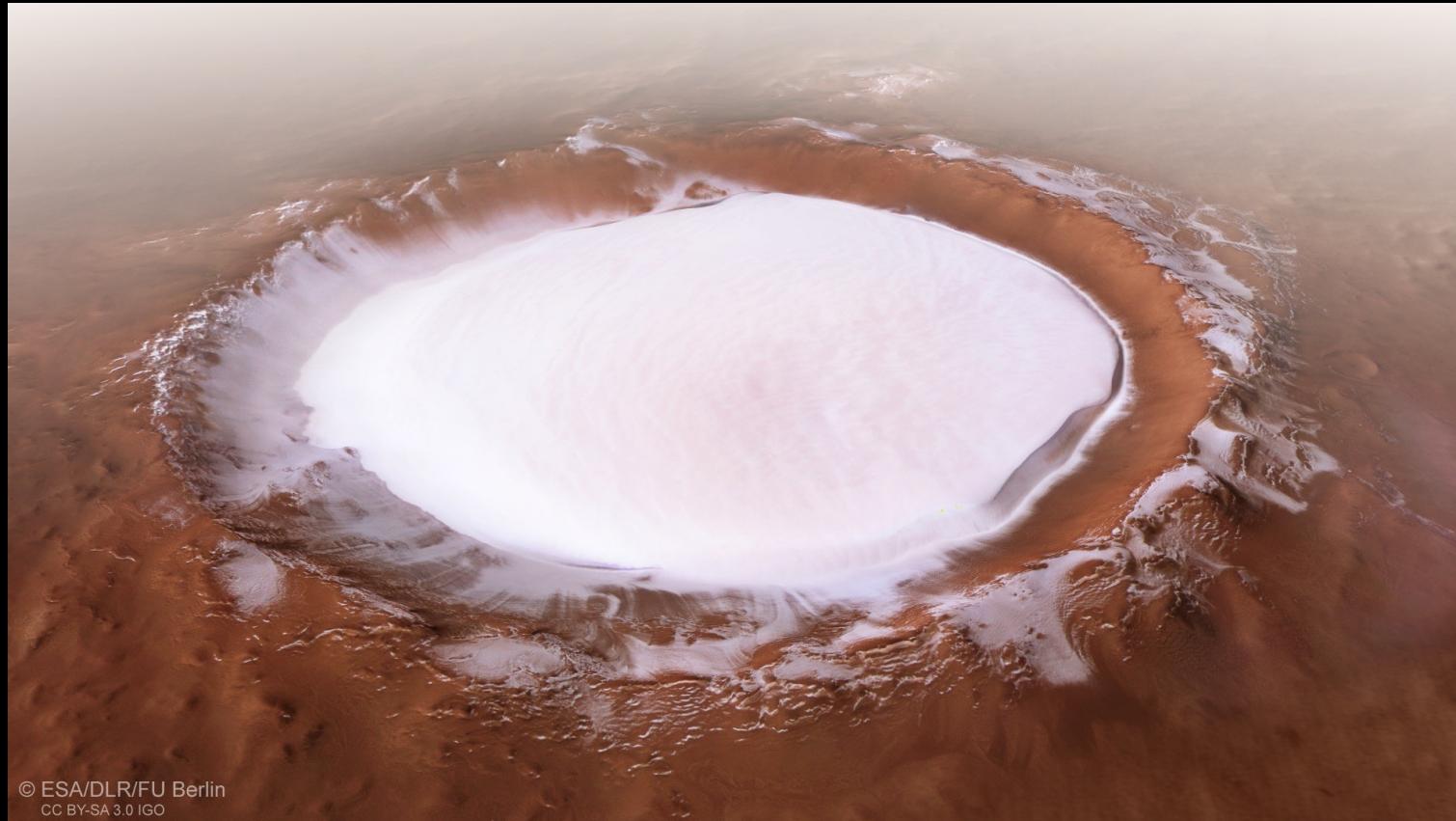
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Titan_\(lune\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Titan_(lune))



Sur **Pluton**, la présence de **Chasmata** (vallées à fortes pentes ou un larges canyons) pourrait être signe d'une présence d'eau.

De même, pour sa lune **Charon**.

... et sur Mars



Cratère d'impact Korolev, de 81 km de diamètre, rempli d'une zone de glace d'eau de 60 km de diamètre et 1,8 km d'épaisseur.

Les conditions actuelles sur la surface de la planète — la température moyenne sur Mars est d'environ -65°C —, à l'exception de l'équateur, ne permettent donc pas l'existence à long terme d'eau douce liquide ou d'eau légèrement salée. Malgré cela, les recherches suggèrent que, dans le passé, il y avait de l'eau liquide s'écoulant sur toute la surface de la planète, créant de grandes surfaces semblables aux océans de la Terre. Toutefois, la question demeure de savoir où l'eau est allée.



[http://photojournal.jpl.nasa.gov/
catalog/PIA04682](http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04682)

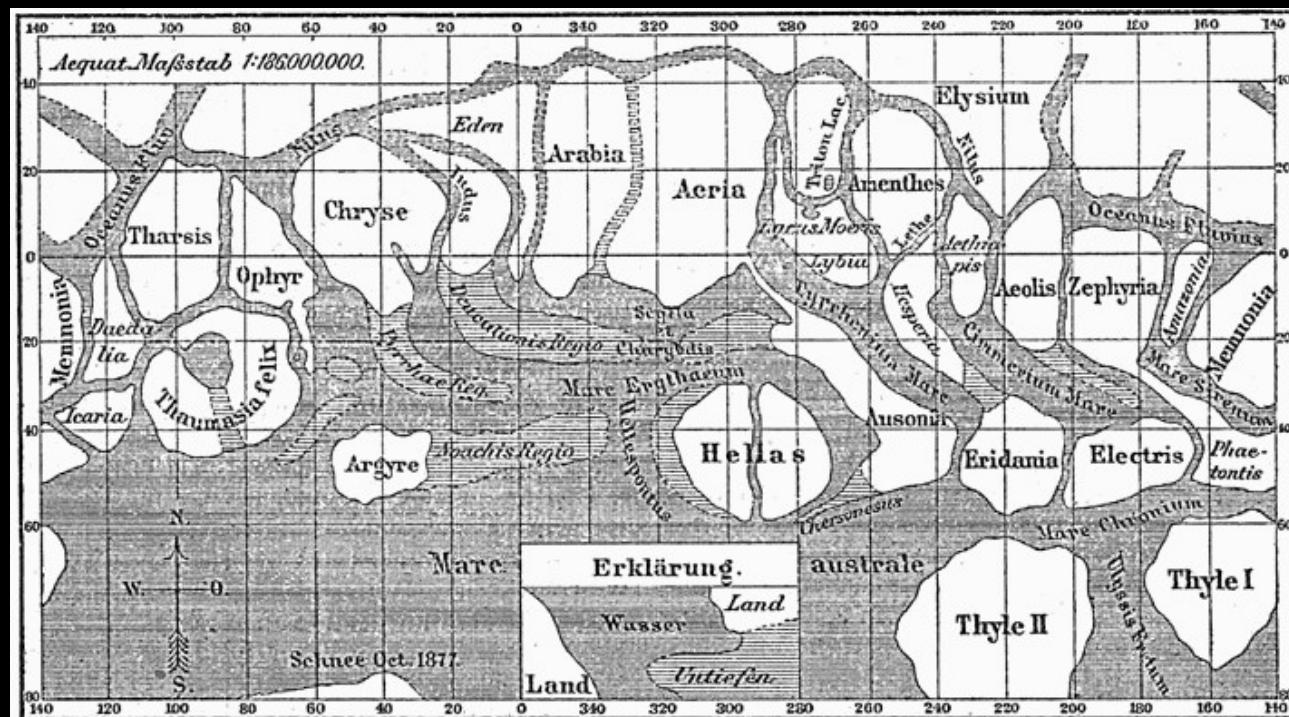
Pour preuve, ce méandre dans la Scamander Vallis, vu par Mars Global Surveyor. De telles images impliquent que de grandes quantités d'eau ont coulé par le passé à la surface de Mars.

Quoique ...

Ou les réseaux de canaux comme ceux situés dans le quadrangle de Thaumasia sont de solides preuves de l'existence d'ancienne pluie martienne.



<http://history.nasa.gov/SP-441/ch4.htm>



Auteur inconnu — Meyers Konversations-Lexikon (German encyclopaedia), 1888

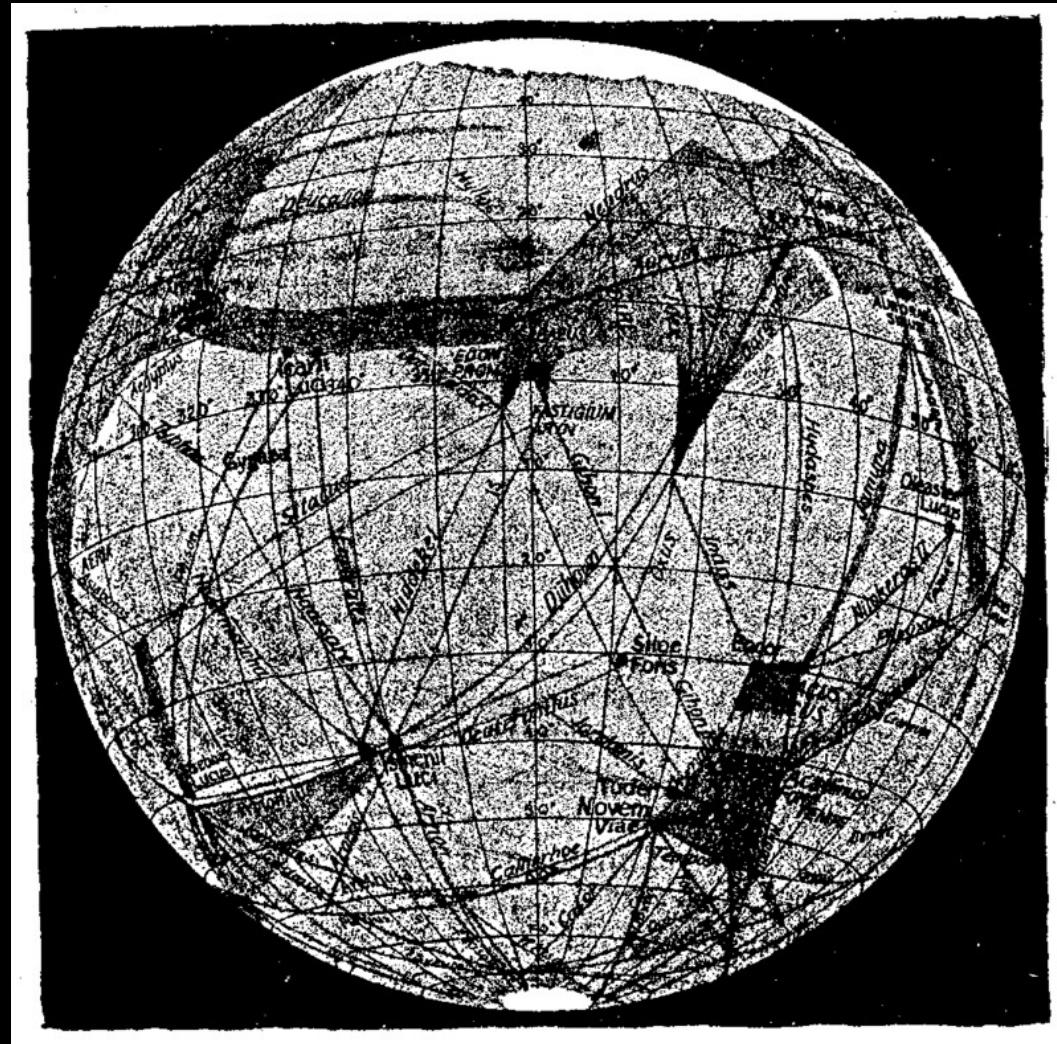
CARTE DE MARS PAR SCHIAPARELLI

Giovanni **SCHIAPARELLI** (1835-1910) fut le premier à observer sur Mars des formations rectilignes qu'il appela « **canaux** » (canali), sans s'avancer dans un premier temps quant à leur interprétation.

C'est **Percival LOWELL** (1855-1916), qui fut le principal promoteur de l'hypothèse des canaux d'irrigation. Il était convaincu de l'existence sur Mars d'habitants qui luttaient contre la sécheresse et la désertification en irriguant les terres jusque dans les régions équatoriales à partir de la fonte des calottes polaires, grâce à un système de pompes et d'écluses.

D'après https://fr.wikipedia.org/wiki/Canaux_martiens

CARTE DE MARS D'APRES LOWELL



Percival Lowell — s:1911 Encyclopædia Britannica/MarsArticle "Mars" on
1911 Encyclopædia Britannica

Les cartes américaines officielles de Mars étaient des cartes de Lowell avec des canaux jusqu'en 1965, année où fut envoyée la sonde Mariner 4 réaliser le premier survol de Mars. Les photos prises par la sonde spatiale confirmeront la sécheresse générale de la surface.

Principales sources :

- *Johan KIEKEN « L'eau dans l'Univers » CNRS-Editions 2023*

- *Wikipédia : L'eau dans l'Univers*

https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_liquide_dans_l%27Univers

- *L'eau dans l'Univers – Observatoire de Paris*

<http://lastronomieselaraconte.fr/index.php/l-eau-dans-l-univers>

- *L'eau dans le système solaire – Planète Terre*

<http://lastronomieselaraconte.fr/index.php/l-eau-dans-l-univers>

- *L'eau dans l'Univers – Institut français de l'éducation*

<https://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/limites/eau>

Merci pour votre attention