

Où le Système solaire a t-il été et serait-il encore habitable ?

Le point sur la question en ce mois de janvier 2017.



Avant de parler de vie extraterrestre, demandons nous ce qu'est la vie terrestre ? Une immense variété d'organismes ! Et « on » ne pense pas toujours à la « vraie » vie.



Qu'est-ce qui est vivant dans ce paysage ?

Un animal



Qu'est-ce qui est vivant
dans ce paysage ?

Un animal



**Des
centaines
de plantes**



**Qu'est-ce qui est vivant
dans ce paysage ?**

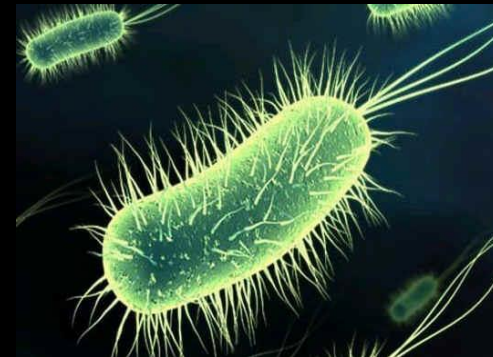
Un animal



**Des
centaines
de plantes**



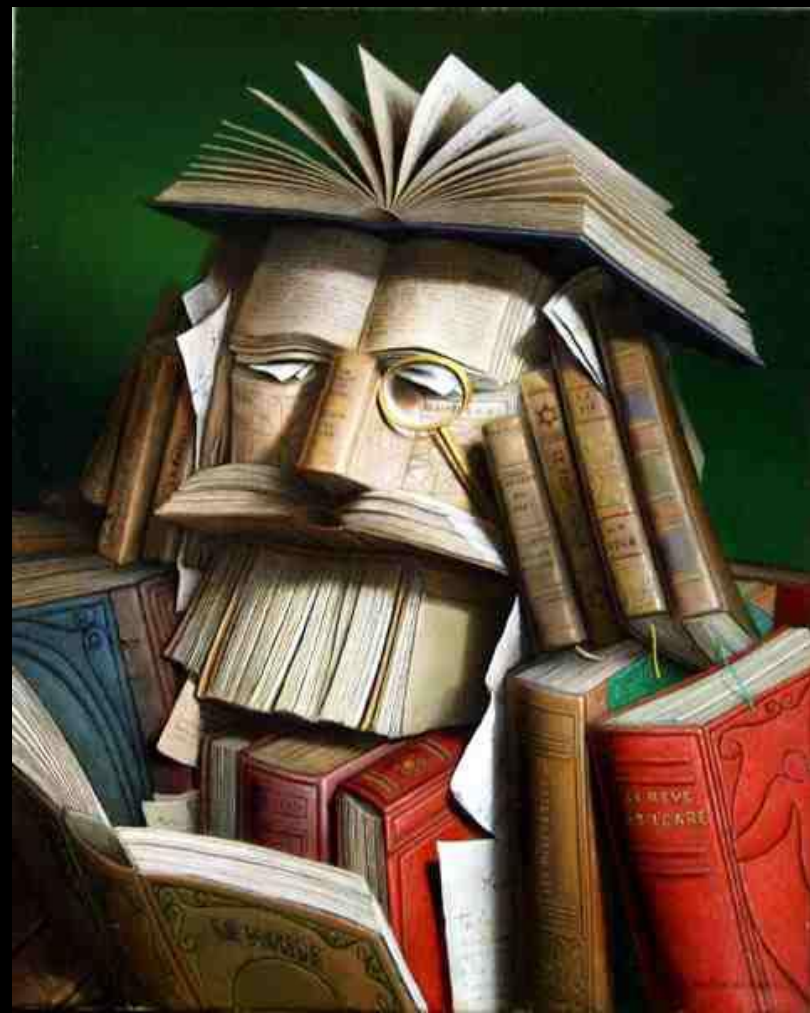
**Des milliards
de bactéries**



**Qu'est-ce qui est vivant
dans ce paysage ?**

Je ne tenterai pas de définir la vie (ça fait au moins 2000 ans que des « penseurs » essaient); il y a cet éternel problème aux limites avec l'inerte, le mort ... Je vais simplement détailler quatre des caractéristiques-exigences de la vie, et en me contentant de la vie «normale» bien de chez nous, sans aller chercher de la vie au silicium ou encore des êtres ectoplasmiques flottant dans des nuages galactiques.

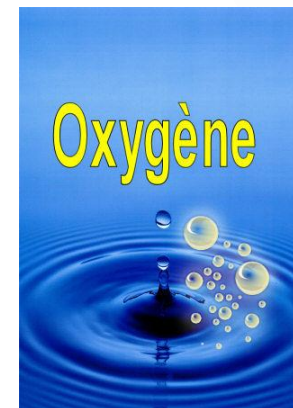
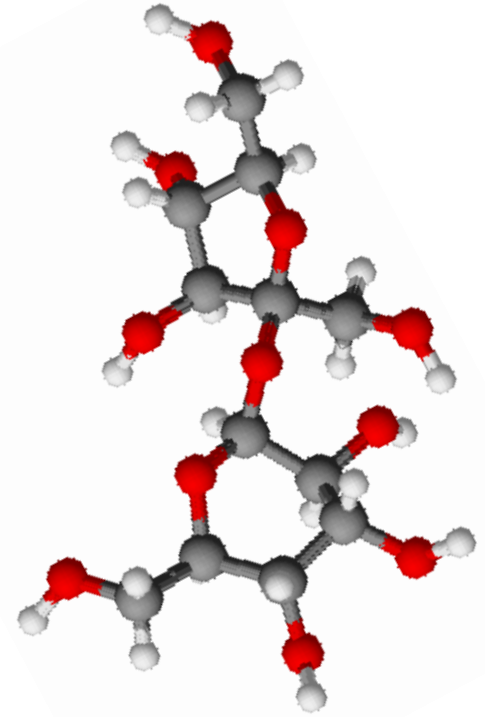
<http://laphilopourtous.fr/2011/06/19/agora-la-philosophie-sous-lolivier/>



<http://trenelvalerie.wifeo.com/cosmos-univers-planetes-etc-en-video-image-len-texte-etc..php>

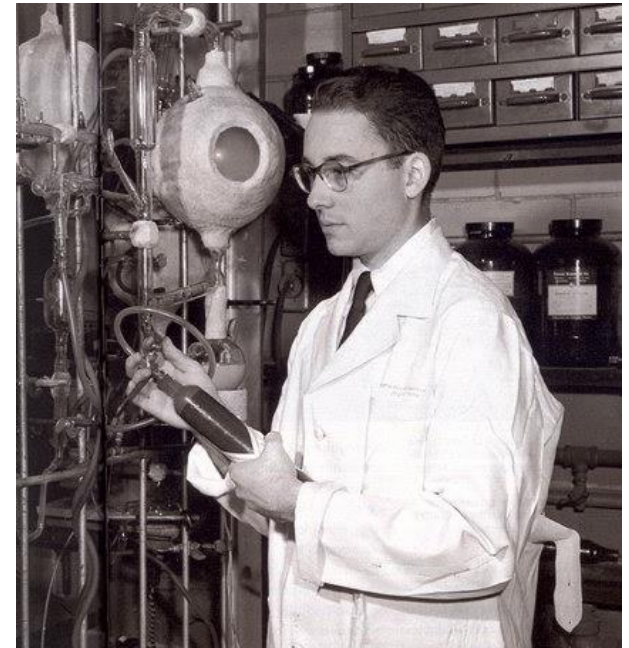
Première caractéristique / exigence :

- La matière vivante est faite des « grosses » molécules complexes, avec de multiples possibilités de conformations, de transformations, d'associations, de réactions ...
- Parmi les 92 éléments, seul le **carbone** est capable de faire des molécules aussi complexes et aussi variées. Deux possibilités : (1) la vie doit se procurer ce carbone déjà associé en molécules complexes à de l'hydrogène et autres atomes comme l'azote, l'oxygène ... (les hétérotrophes), (2) la vie doit faire elle-même ces molécules complexes avec des molécules simples comme CO_2 , H_2O ... (les autotrophes), ce qui nécessite de l'énergie.



Deuxième caractéristique / exigence :

- La vie est issue d'une vie antérieure et se reproduit quasiment à l'identique. Mais il a bien fallut que ça commence un jour et qu'il y ait eu au moins une fois présence de matière carbonée complexe mais non vivante suivie du passage à la vie aussi simple soit-elle.
Il ne peut y avoir vie que si il y a eu, avant, une chimie prébiotique et des molécules carbonées complexes abiotiques



Deuxième caractéristique / exigence :

- La vie est le résultat d'une vie antérieure et se reproduit
quelque chose d'antérieur. Mais il a bien fallu que ça
commence au moins une fois

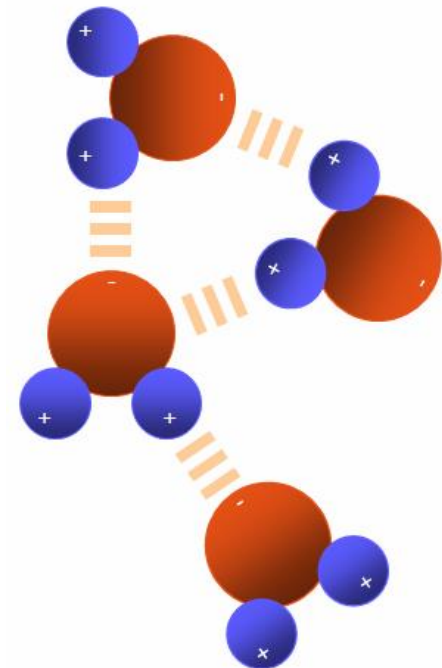
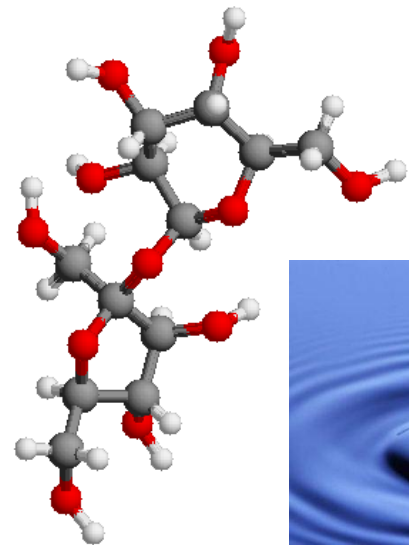
Mais si on cherchera ces molécules complexes pré-biotiques, on ne parlera pas de « comment » s'est fait ce passage des macromolécules abiotiques à la première forme de vie ! On ne parlera que très peu de l'origine de la vie !

hi, my name is
FRANKENSTEIN



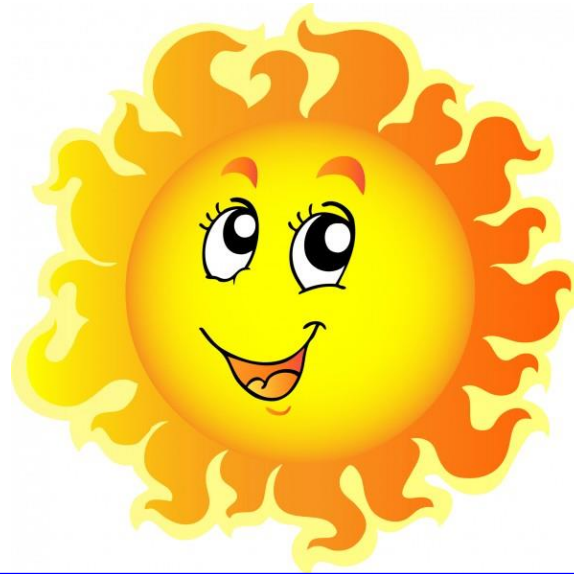
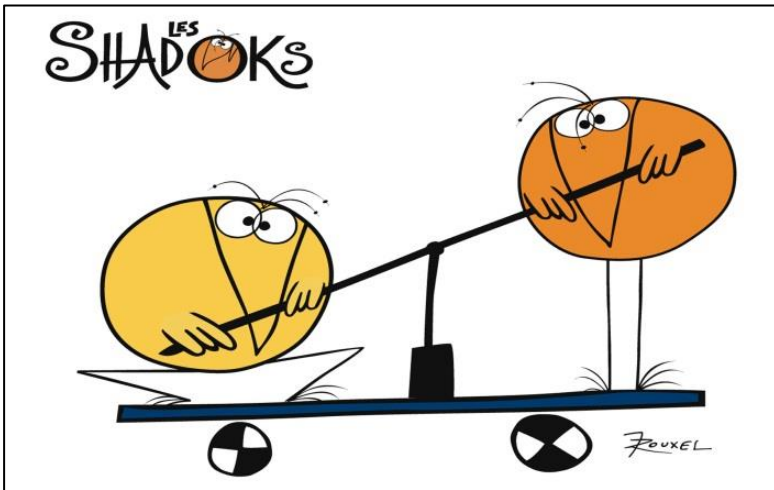
Troisième caractéristique / exigence :

- Ces molécules complexes faites de carbone associé à de l'hydrogène et d'autres atomes comme l'azote, l'oxygène, le phosphore ... doivent, pour réagir entre elles, se trouver en solution (ou en suspension) dans un excellent solvant. Les chimistes nous disent **l'eau liquide** est, et de loin, le meilleur solvant et qu'elle seule a toutes les propriétés « solvatantes et suspenseuses » nécessaires à ces réactions multiples et complexes.



Quatrième caractéristique / exigence :

- La vie doit disposer d'énergie pour « vaquer » à ses besoins divers et variés. Ceux qui absorbent les grosses molécules toutes faites (hétérotrophes) fabriquent leur énergie en les dégradant. Mais les autres (les autotrophes) ont besoin d'énergie pour faire ces fameuses molécules. Et pas n'importe quelle énergie : de l'énergie « noble » .



Voyons où dans le système solaire existent (et/ou ont existé) ces quatre caractéristiques-exigences !

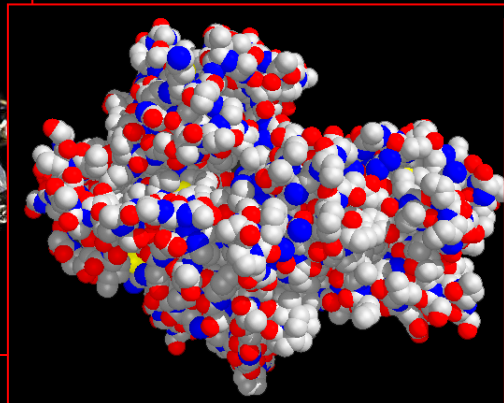
On va donc étudier ces quatre caractéristiques-exigences, en commençant par la plus « populaire » : l'eau liquide. Ensuite on cherchera le carbone, puis les molécules complexes initiales nécessaires au début de la vie, et enfin l'énergie « noble ».



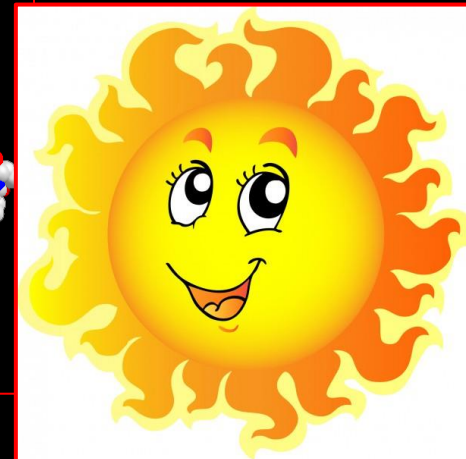
L'eau liquide



Le carbone



**Les molécules complexes
initiales**



**L'énergie
« noble »**

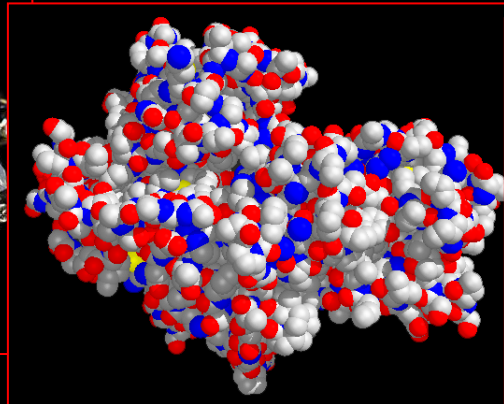
On va donc étudier ces quatre caractéristique-exigences, en commençant par la plus « populaire » : l'eau liquide. Ensuite on cherchera le carbone, puis les molécules complexes initiales nécessaires au début de la vie, et enfin l'énergie « noble ».



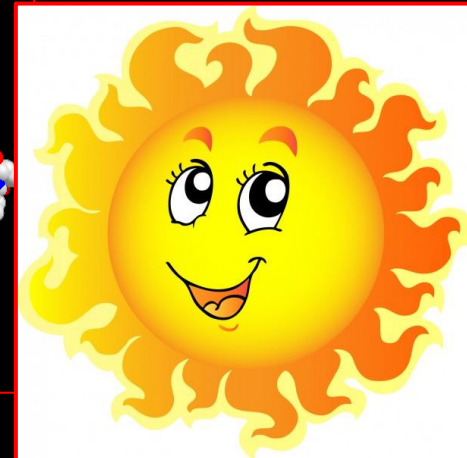
L'eau liquide



Le carbone



Les molécules complexes
initiales



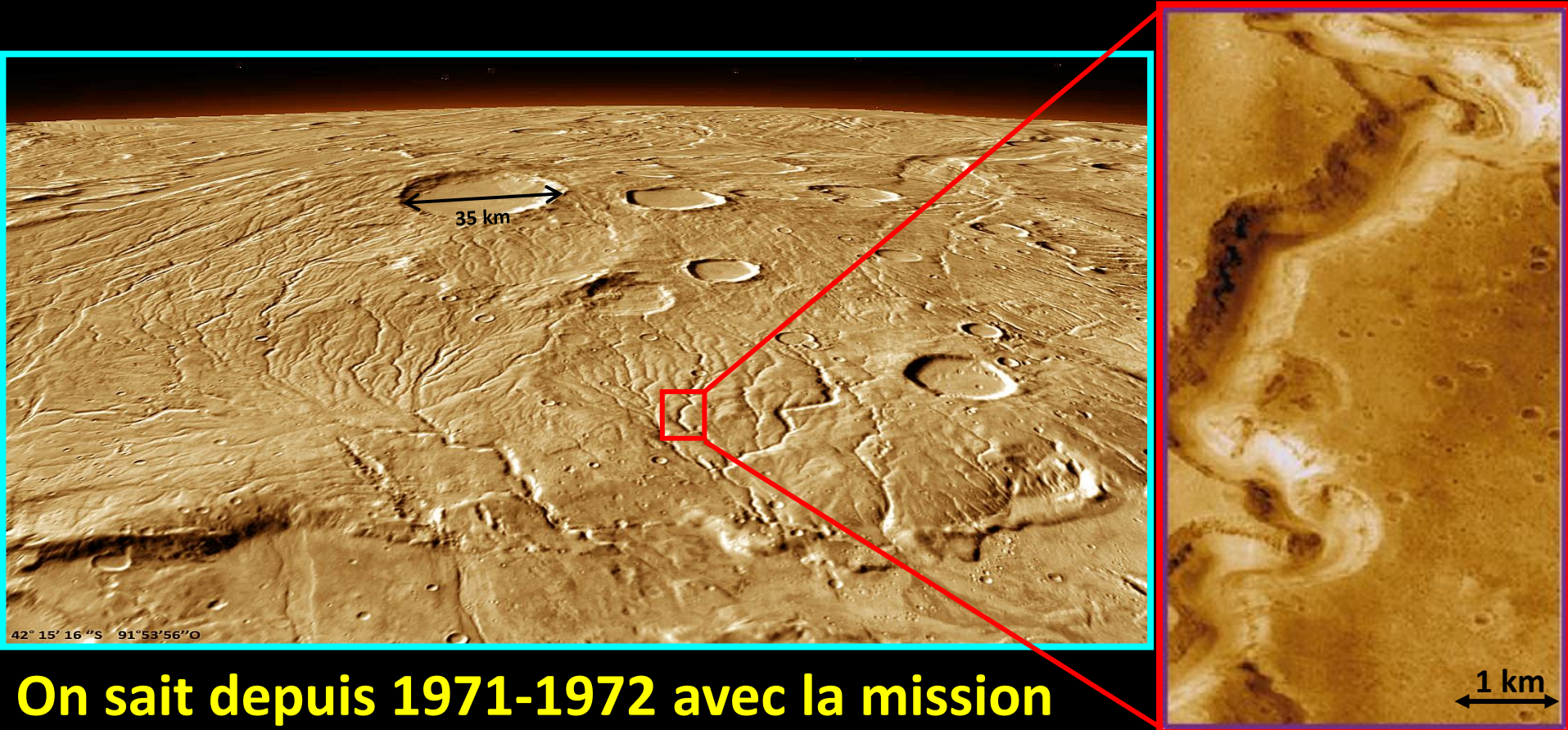
L'énergie

On commence par la caractéristique-exigence la plus connue, celle à laquelle tout le monde pense : l'eau liquide. Où y a t-il (et y a t-il eu) de l'eau liquide dans le Système Solaire ?

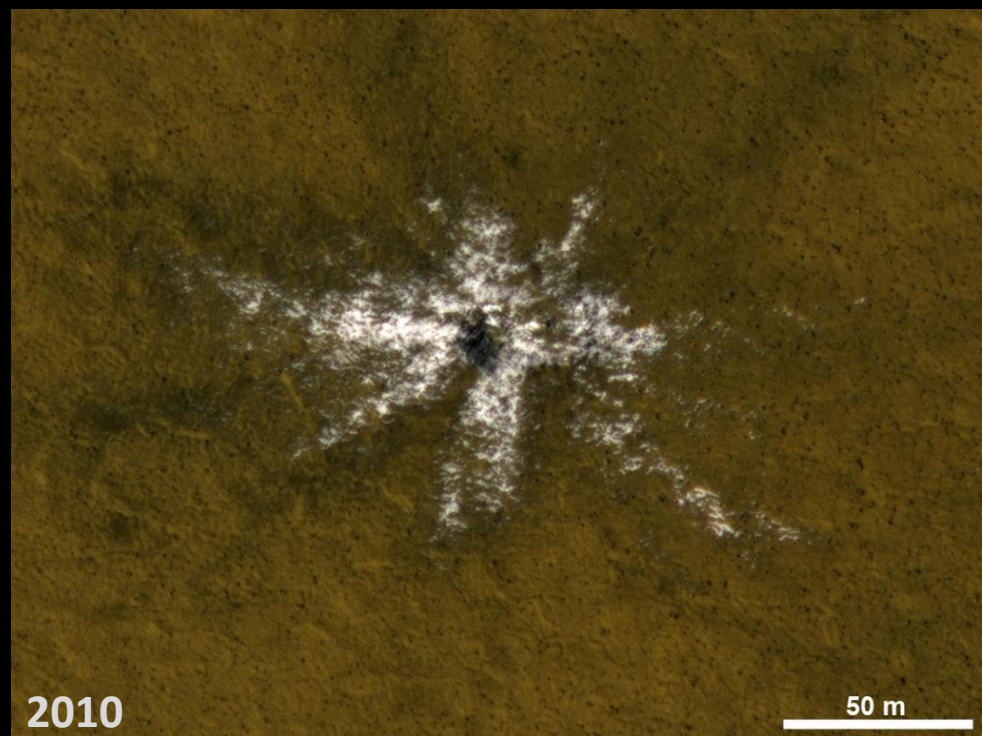
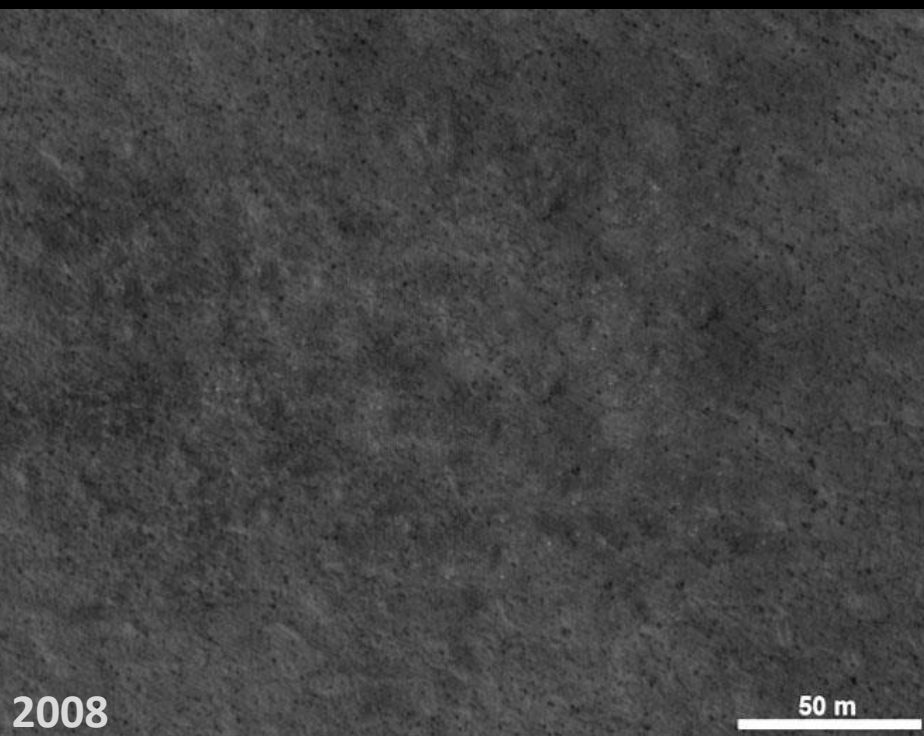


**D'abord, Mars.
On sait depuis
1666 qu'il y a de
la glace aux
pôles de Mars.**

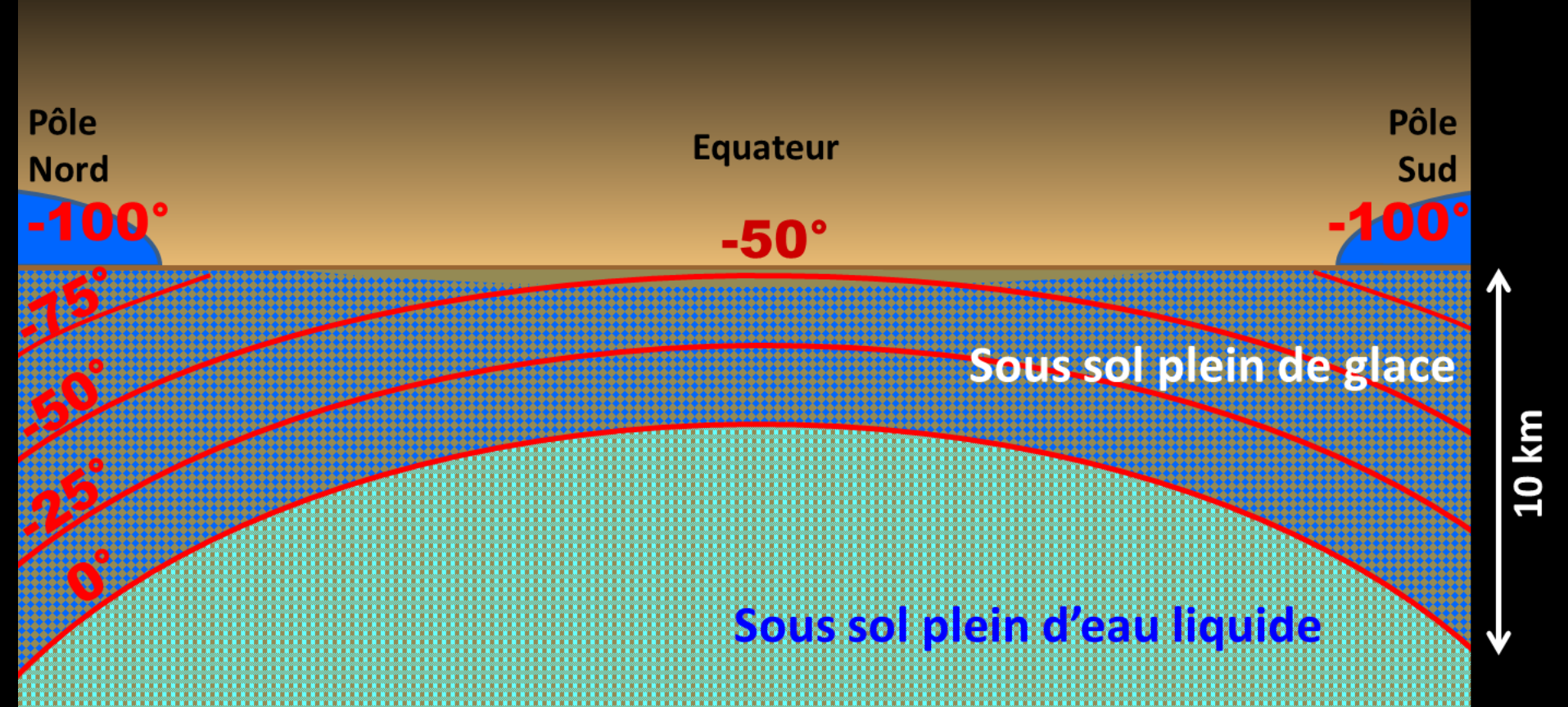
**Rappel : la
température
moyenne est de
– 50°C, la pression
de 0,6% de celle de
la Terre (ce qui
règnerait sur Terre
à 50 km
d'altitude).**



On sait depuis 1971-1972 avec la mission Mariner 9 que de l'eau liquide a coulé sur Mars dans un passé lointain ($\approx -3,5$ Ga), avec petits ruisseaux formant de grandes rivières ... Ce qu'on veut savoir, en 2017, c'est si cette eau liquide a pu permettre, ou a permis, l'existence d'une chimie pré-biotique, voire même le développement d'une vie ancienne et « primitive ».

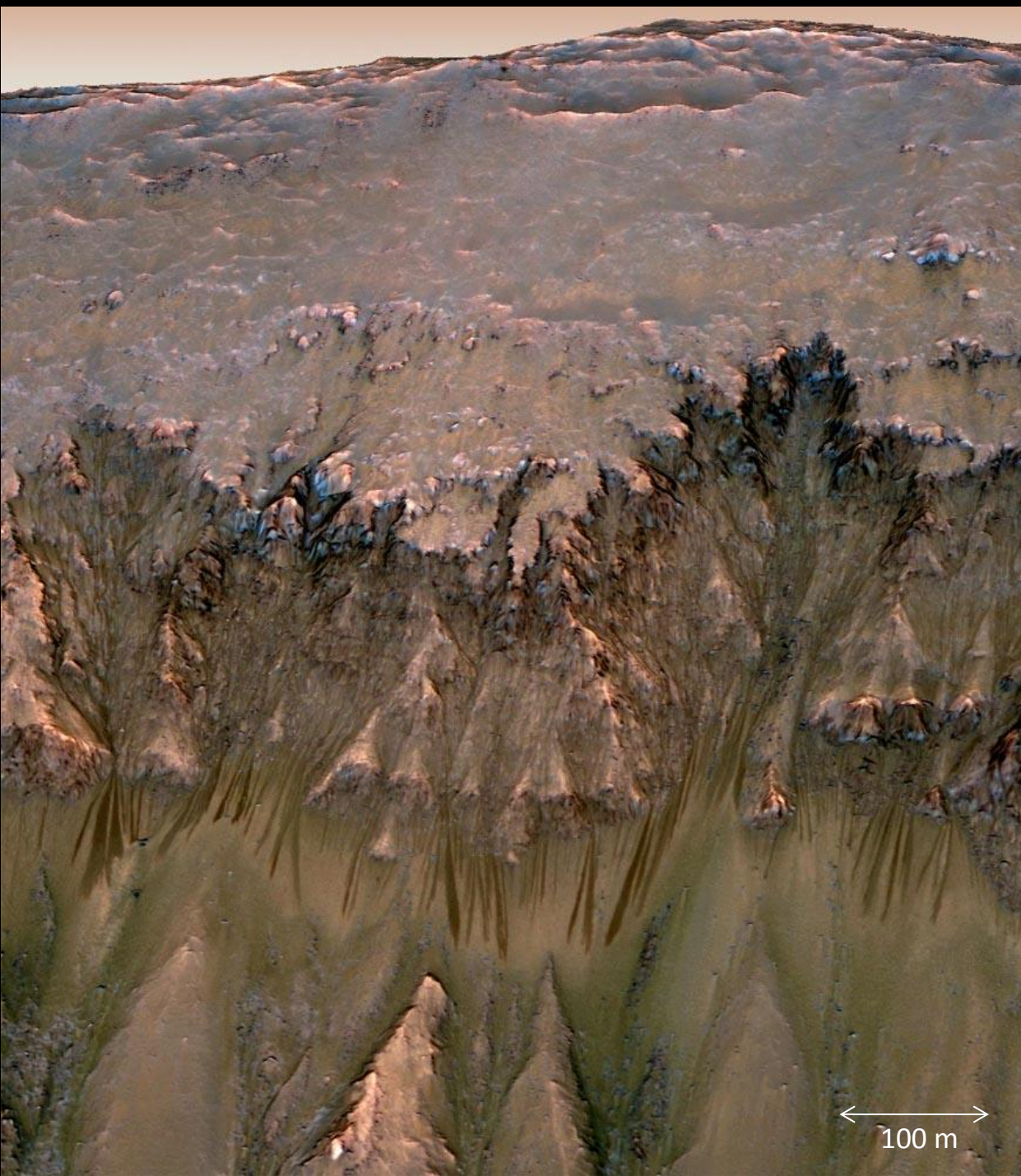


Ce cratère (à droite) a été creusé par une météorite entre 2008 et 2010. Il mesure 15 m de diamètre, pour 2 m de profondeur. Il est entouré d'éjectas blancs, que les spectres IR révèlent être fait de glace d'eau. De la glace d'eau existe donc à faible profondeur dans cette région (63° lat. N)



La température superficielle moyenne va de -50°C à -100°C . L'eau du sous sol proche est gelée en permanence (permafrost). Avec un degré géothermique (marsothermique ?) que l'on peut estimer à $10^{\circ}/\text{km}$ (sur Terre, c'est $30^{\circ}/\text{km}$), l'eau du sous-sol est dégelée à -5 km sous l'équateur, -10 km sous les pôles.

Le sous-sol de Mars est donc théoriquement plein d'eau liquide dès quelques km de profondeur.

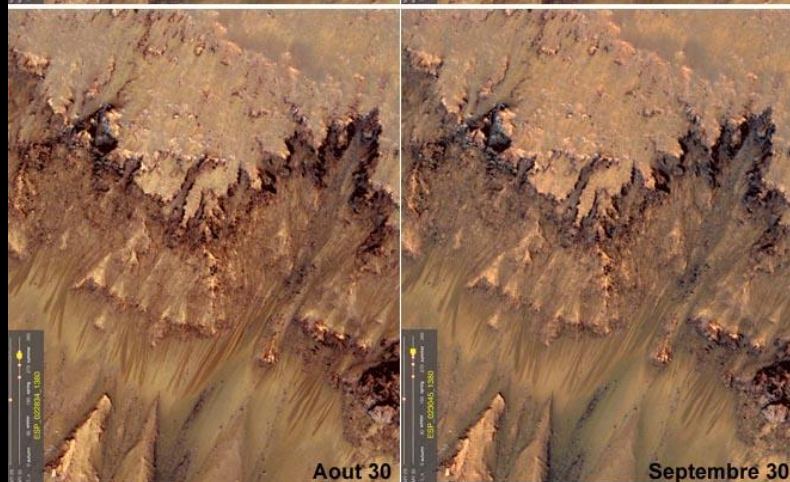
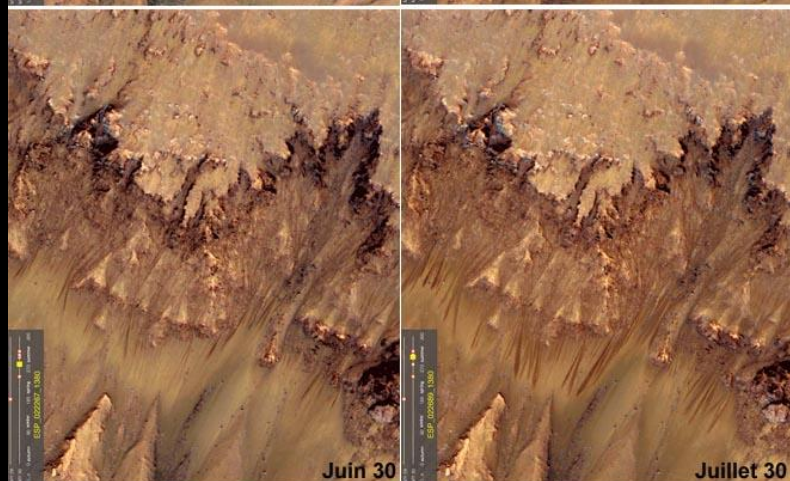
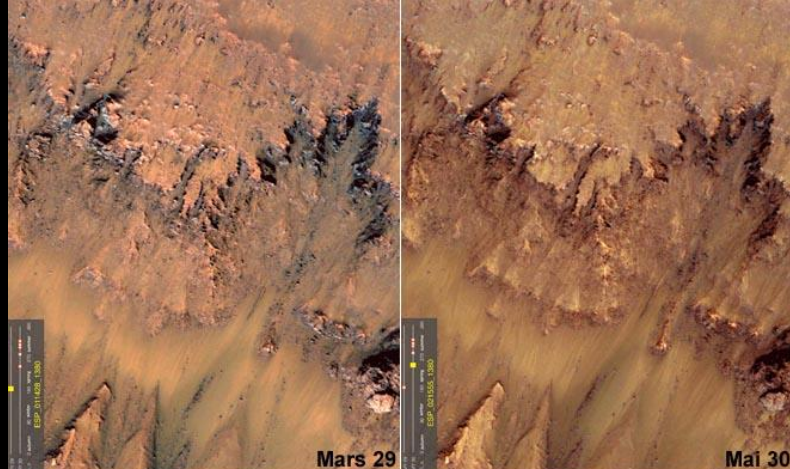


**Cette glace du
sol et du sous-
sol peut-elle
fondre
aujourd'hui ?**

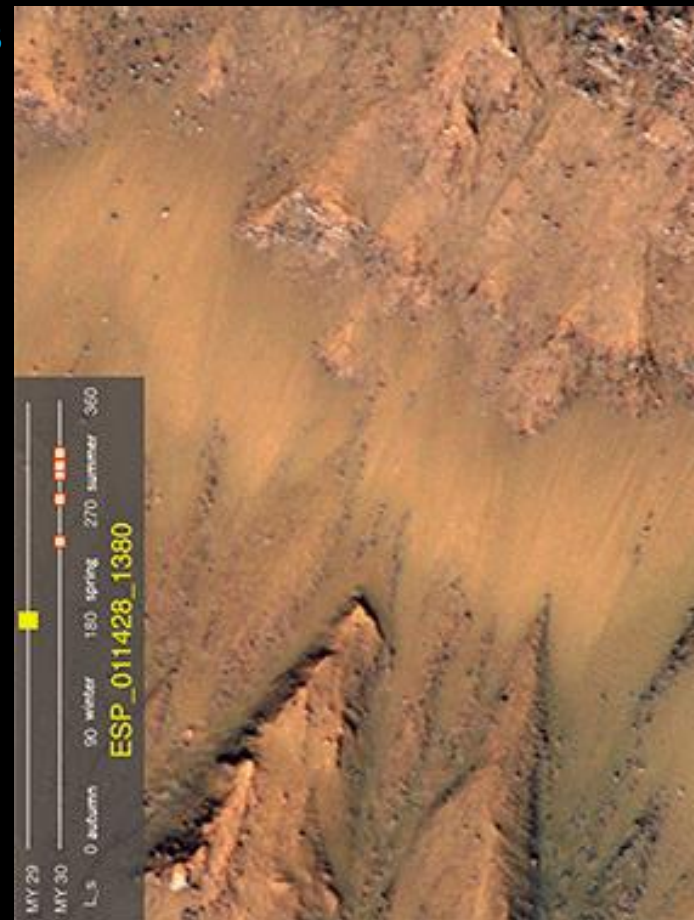
**En août 2011,
on a découvert
des trainées
sombres ...**

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-ecoulement-estival-eau-Mars-2011.xml>

... inexistantes l'hiver, qui apparaissent au printemps, s'allongent l'été et disparaissent l'automne.



Photos prises les années (martiennes) 29 et 30 ; les mois indiqués correspondent à l'équivalent saisonnier pour l'hémisphère nord terrestre





Interprétation des Nasa News du 4 août 2011 : « Some aspects of the observations still puzzle researchers, but flows of liquid brine fit the features' characteristics better than alternate hypotheses », phrase que l'on peut traduire par « *certain aspects de ces observations laissent encore les chercheurs perplexes, mais des écoulements de saumures et d'eau salée liquide expliquent mieux ces figures que d'autres hypothèses alternatives* ».

[home](#) ► [archive](#) ► [issue](#) ► [letter](#) ► [abstract](#)

ARTICLE PREVIEW

[view full access options](#) ►

NATURE GEOSCIENCE | LETTER



Spectral evidence for hydrated salts in recurring slope lineae on Mars

Lujendra Ojha, Mary Beth Wilhelm, Scott L. Murchie, Alfred S. McEwen, James J. Wray, Jennifer Hanley, Marion Massé & Matt Chojnacki

[Affiliations](#) | [Contributions](#) | [Corresponding author](#)

Nature Geoscience **8**, 829–832 (2015) | doi:10.1038/ngeo2546

Received 22 April 2015 | Accepted 21 August 2015 | Published online 28 September 2015

| Corrected online **14 October 2015**

[Corrigendum \(November, 2015\)](#)



Citation



Reprints



Rights & permissions



Article metrics

Determining whether liquid water exists on the Martian surface is central to understanding the hydrologic cycle and potential for extant life on Mars. Recurring slope lineae, narrow streaks of low reflectance compared to the surrounding terrain, appear and grow incrementally in the downslope direction during warm seasons when temperatures reach about 250–300K, a pattern consistent with the transient flow of a volatile species^{1, 2, 3}. Brine flows (or seeps) have been proposed to explain the formation of recurring slope lineae^{1, 2, 3}, yet no direct evidence for either liquid water or hydrated salts has been found⁴. Here we analyse spectral data from the Compact

<http://www.nature.com/ngeo/journal/v8/n11/full/ngeo2546.html>

Authors with Loop profiles beta



Jennifer Hanley



Marion Massé

[More on Loop](#) ►

IJOS

International Journal of
ORAL SCIENCE

**Submit your next
research article**

*2014 Journal Citation Reports®
Science Edition (Thomson Reuters, 2015)

Editors' pick



Octobre 2015 : les spectres de MgClO_4 , NaClO_4 et MgClO_4 hydratés ont été identifiés dans ces trainées saisonnières sombres les 2 étés qui ont suivi la découverte de 2011

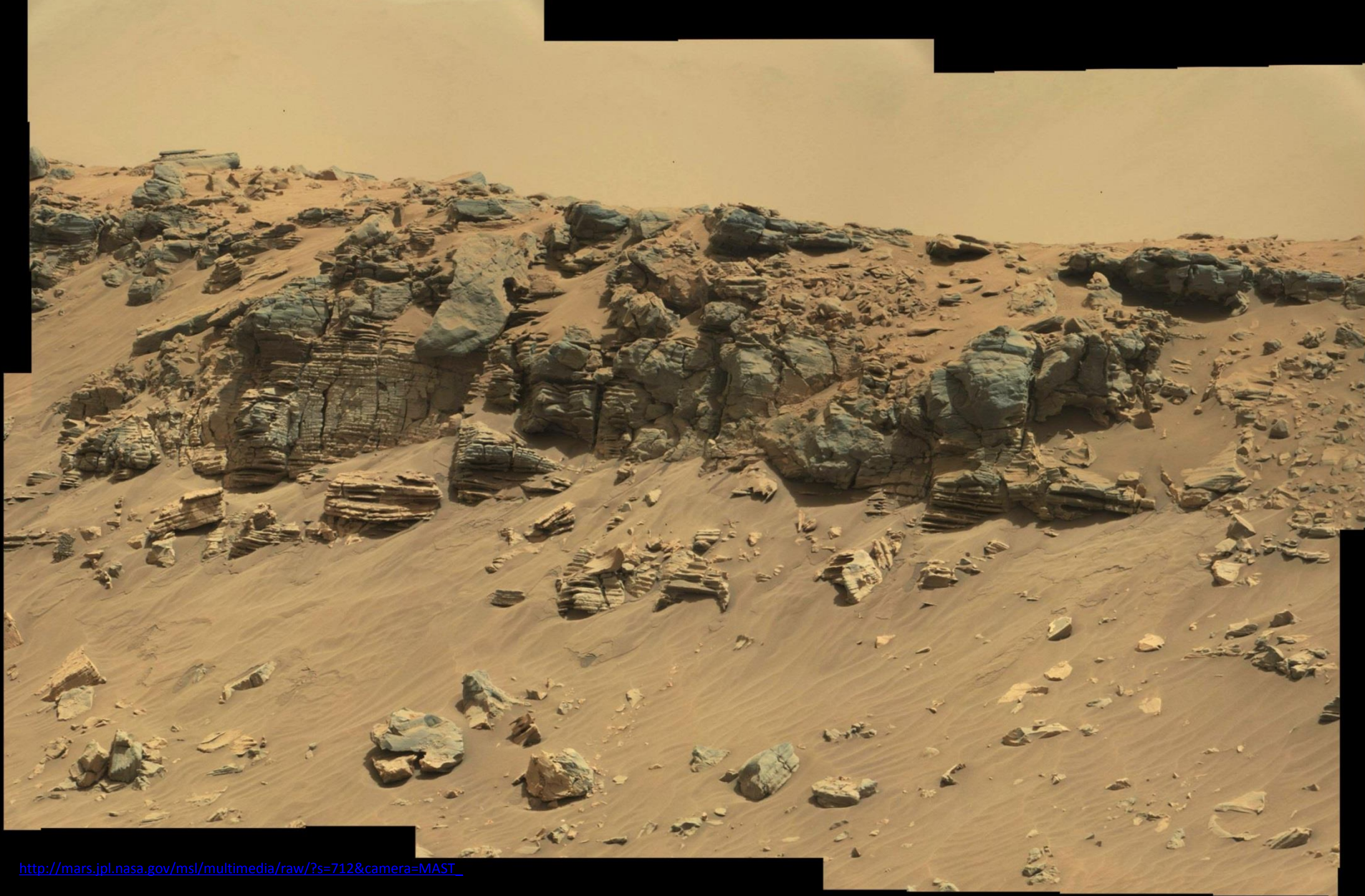


Mais pour un géologue comme moi, ce sont les robots (surtout Opportunity et Curiosity) qui ont apporté des informations inédites à propos de l'eau liquide sur Mars !



Opportunity et Curiosity se sont posés dans des terrains sédimentaires, avec de fort belles couches (Spirit s'est posé en terrain volcanique). Ces couches se sont déposées sous l'eau !

Ce sont ces couches qui constituent la cible de Curiosity

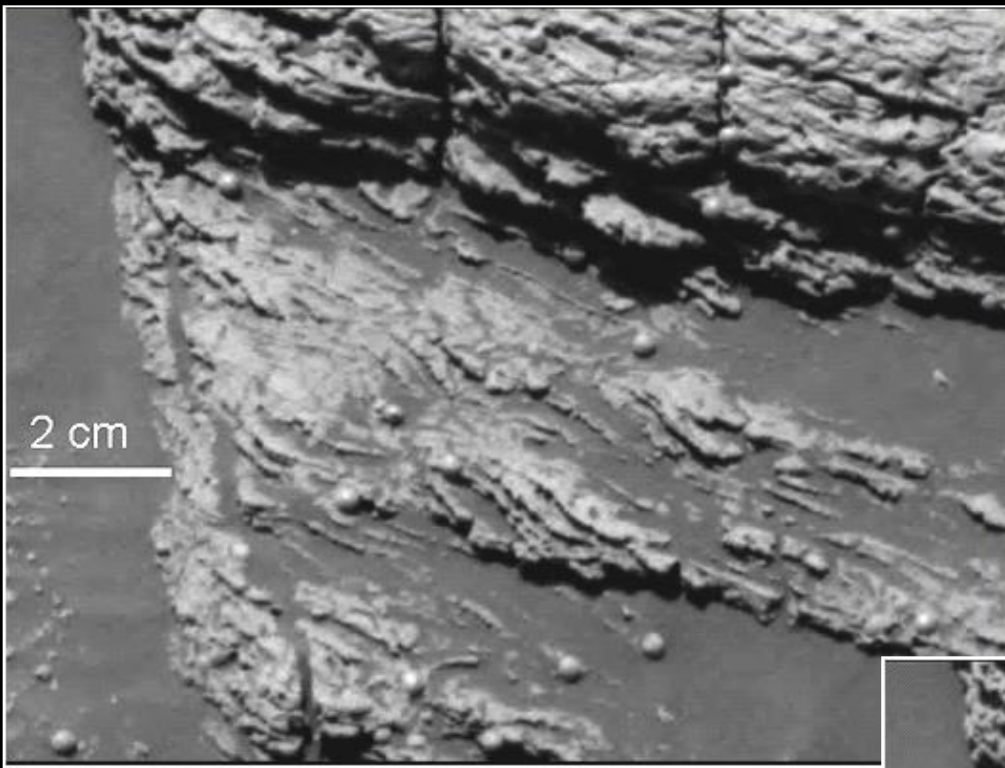


http://mars.jpl.nasa.gov/msl/multimedia/raw/?s=712&camera=MAST_

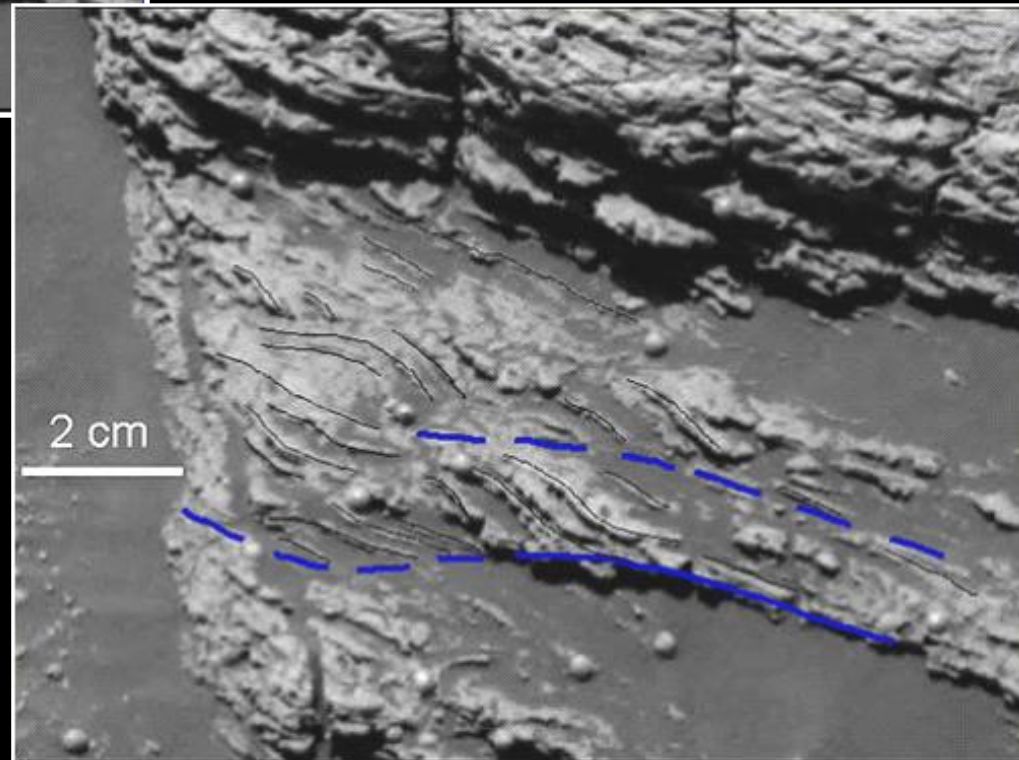
On va voir des détails de ces strates sédimentaires, aussi bien vues par Curiosity que par Opportunity.



**Et en regardant le détail
des stratifications, on
découvre des
stratifications obliques !**

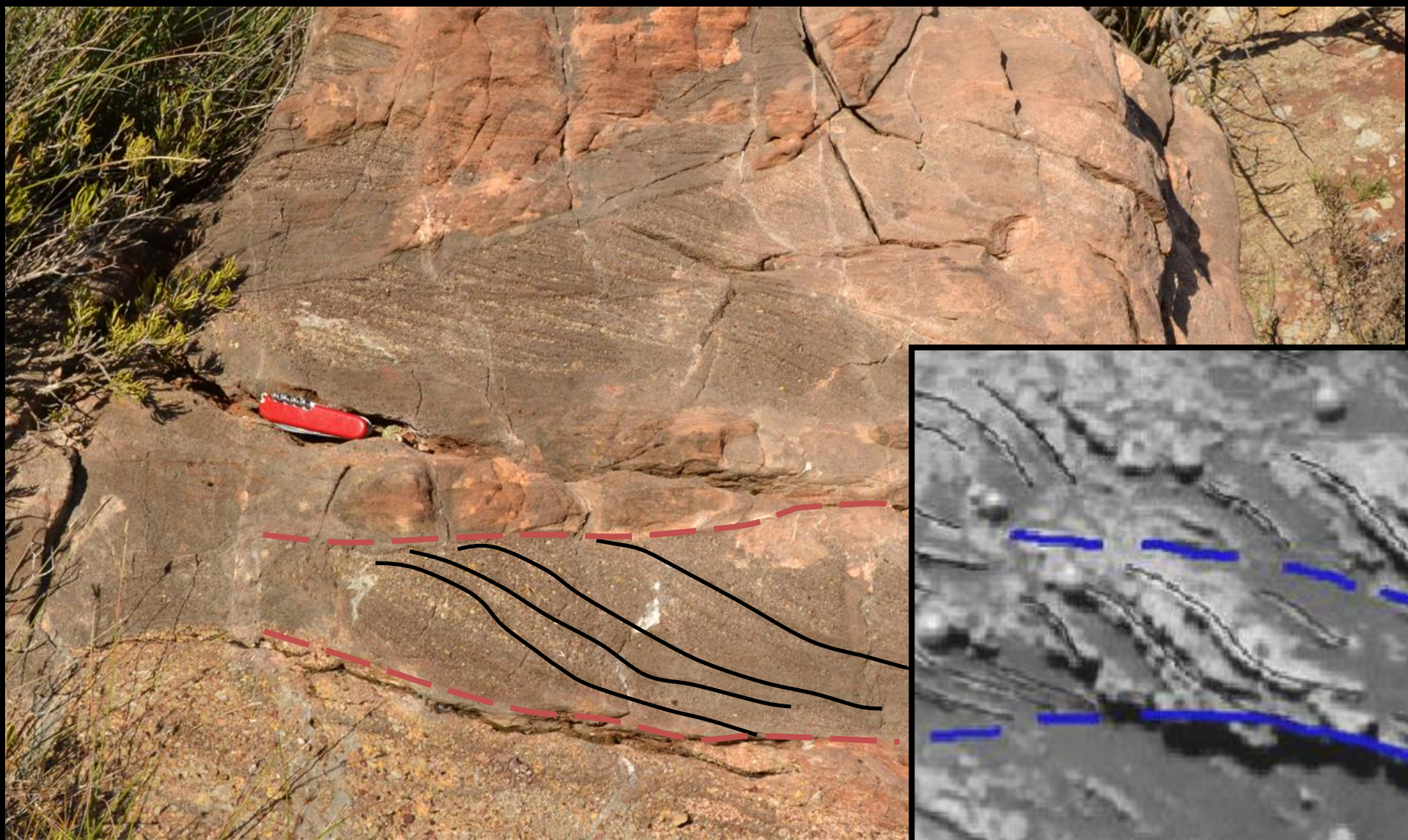


**Et ce genre de
sédimentations
obliques sont des
stratifications faites
sous un courant d'eau.**





Une analogie terrestre des stratifications obliques du cratère Eagle, ici dans le Crétacé supérieur des Corbières.



Ca ressemble, n'est-ce pas !



1 cm

Ailleurs, on voit des couches de galets arondis

Mars



<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA16189>

Terre



1 cm

Une comparaison riche d'enseignements



http://lithothèque.ac-sa-marseille.fr/Mileurements_PACA/04_terrasses_bleone/04_terrasses_alluv_acs.htm

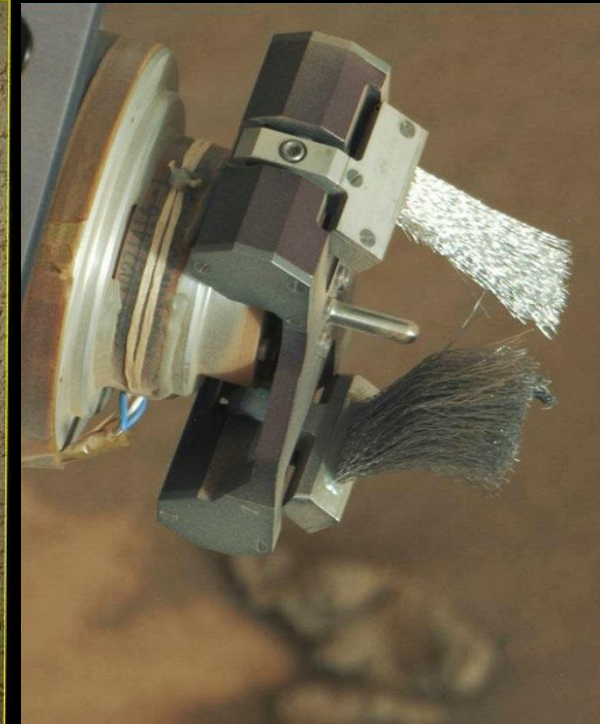
**Un équivalent
terrestre de ce
contexte géologique :
un torrent qui se jette
dans un grand lac !**





**Ici, on a des
strates très
fines
étudiées le
15 novembre
2014.
L'instrument
CheMin
y identifie
des argiles.
Et Regardons
la surface
brossée :**

**Regardons cette surface
brossée : on voit des ...**





... des cristaux qui ont la forme de cristaux de sulfates (gypse), diagnostique confirmé par Chemcam. Ce type de cristaux, sur Terre, se forme par évaporation d'une eau salée.

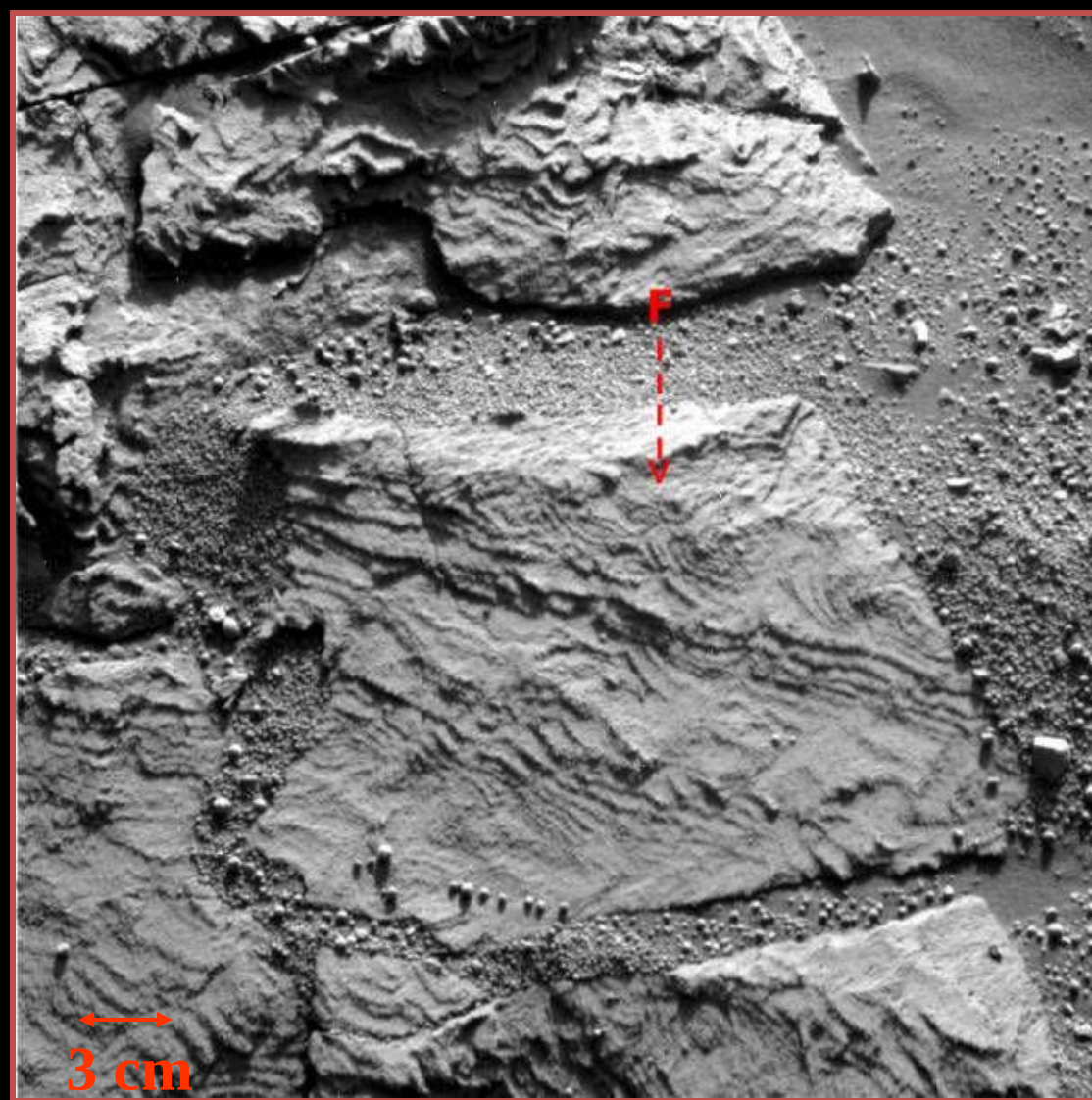


Photo Pierre Thomas

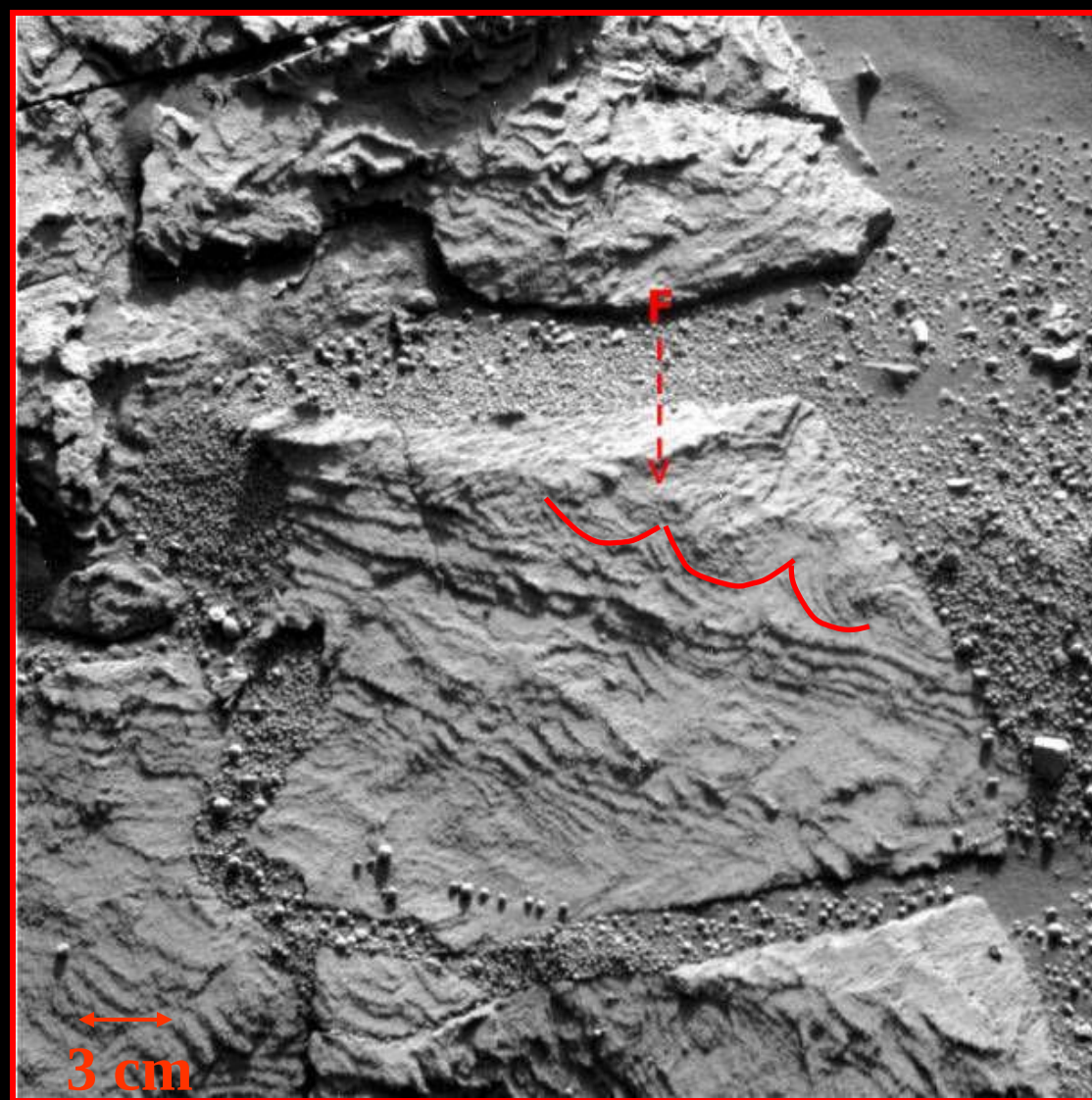
Photo Pierre Thomas

**Equivalent terrestre de ces cristaux de gypse dans
des argiles d'âge Oligocène du Languedoc.**

... Et-là ? Là, les strates sont « festonnées ». Sur Terre, on connaît de telles states festonnées.



... Et-là ? Là, les strates sont « festonnées ». Sur Terre, on connaît de telles states festonnées.





**Sur Terre, de tels festons,
symétriques, indiquent que la boue
s'est déposée dans de l'eau
clapottante, sous une profondeur
d'eau de quelques cm.**





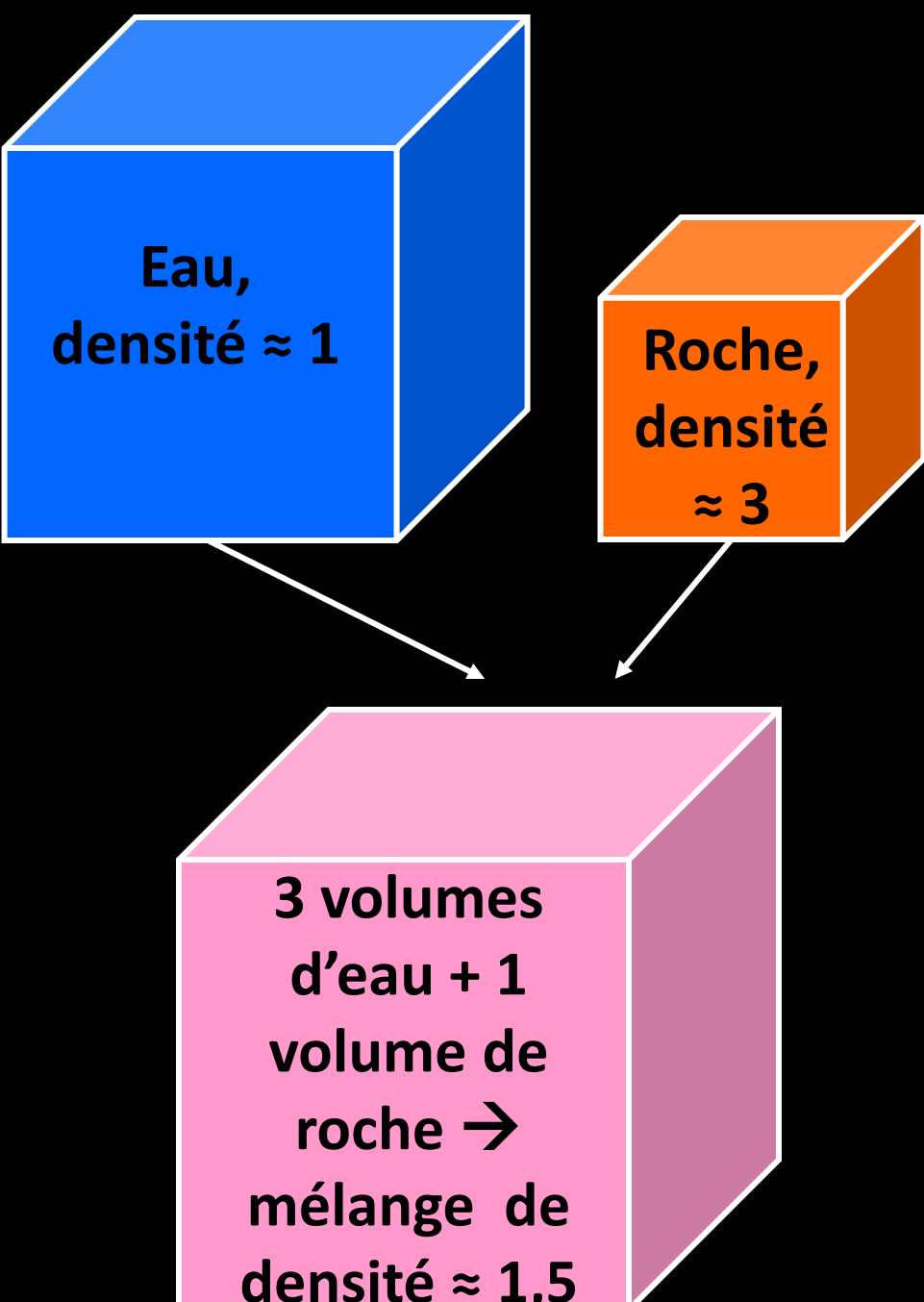
Les roches et couches déjà étudiées par Curiosity ont été déposées par de l'eau courante ou stagnante dans un ancien lac. Elles se sont déposées dans de l'eau parfois peu salée, parfois salée, avec un Ph neutre. Cet ancien environnement serait aujourd'hui tout à fait habitable par la majorité des bactéries terrestres actuelles. Ce Ph neutre est une condition à priori favorable à la chimie prébiotique (polymérisation des acides aminés ...).

L'ancien environnement étudié par Opportunity ne le serait que pour des bactéries bien particulières (acidophiles et halophiles).

Toujours à la recherche de l'eau liquide, on change de monde. Voici une des quatre planètes géantes, Jupiter ($\varnothing \approx 11$ fois la Terre) et deux de ces quatre satellites majeurs ($\varnothing \approx 1/4$ de la Terre $\approx$ celui de la Lune).

La température superficielle est de - 150 à - 220°C
Les études spectrales et des densités indiquent que 15 de ces 17 satellites majeurs sont majoritairement constituées de glace d'eau.



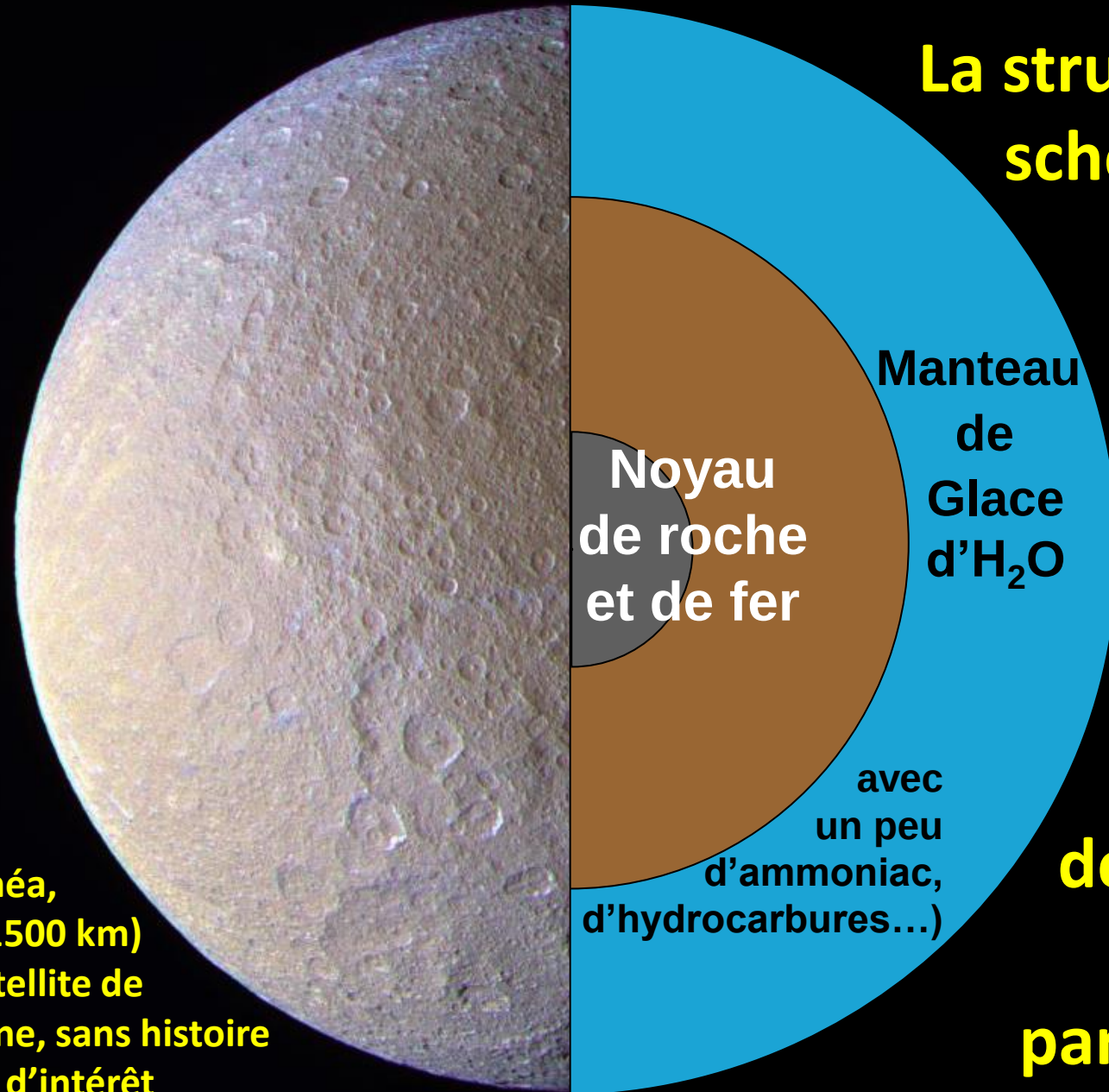


Eau,
densité ≈ 1

Roche,
densité
 ≈ 3

3 volumes
d'eau + 1
volume de
roche →
mélange de
densité $\approx 1,5$

**Pour les 15 satellites dits
« de glace », grande
variété de taille (5 000 à
500 km de diamètre),
mais identité de
composition pour ces
satellites qui ont une
densité d'environ 1,5.
Ils sont constitués
(approximativement)
d'un mélange de
3 volumes d'eau
+
1 volume de roche**



**La structure interne
schématique des
satellites
externes
du système
solaire.
Ils sont
constitués
pour partie
de roche (et de
fer) et pour
partie de glaces.**

**Ici, Rhéa,
($\varnothing = 1500$ km)
un satellite de
Saturne, sans histoire
digne d'intérêt**



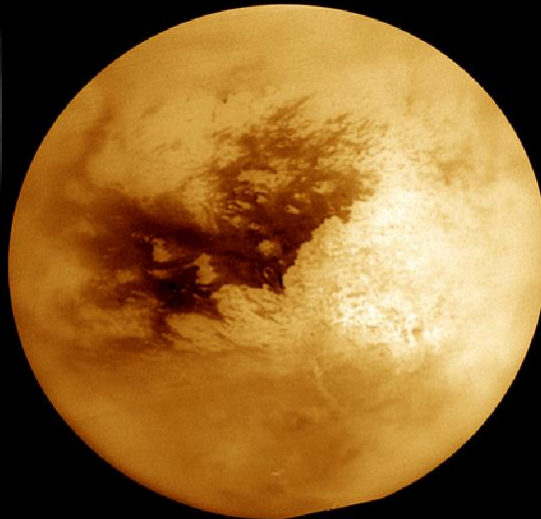
**Ces satellites très
riches en glace
d'eau peuvent-ils
contenir (en
profondeur) des
niveaux d'eau
liquide ?
Oui, si ils sont
assez gros
et/ou si une
source d'énergie
importante
en réchauffe
l'intérieur**

Ganymède, $\varnothing$ = 5276 km, plus gros que Mercure

Des satellites de glace assez gros pour être (probablement) partiellement fondus en profondeur grâce à la chaleur interne, il y en a quatre dans le système solaire.



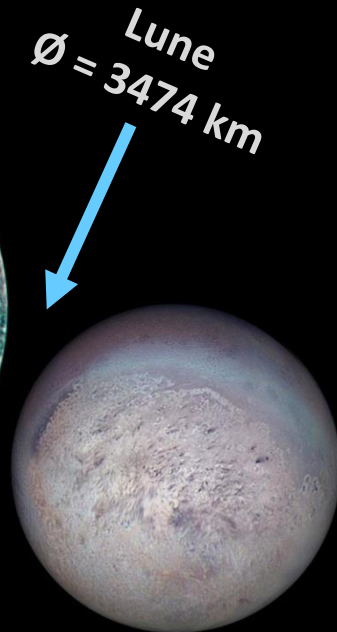
Ganymède
 $\varnothing = 5276 \text{ km}$
(Jupiter)



Titan
 $\varnothing = 5151 \text{ km}$
(Saturne)

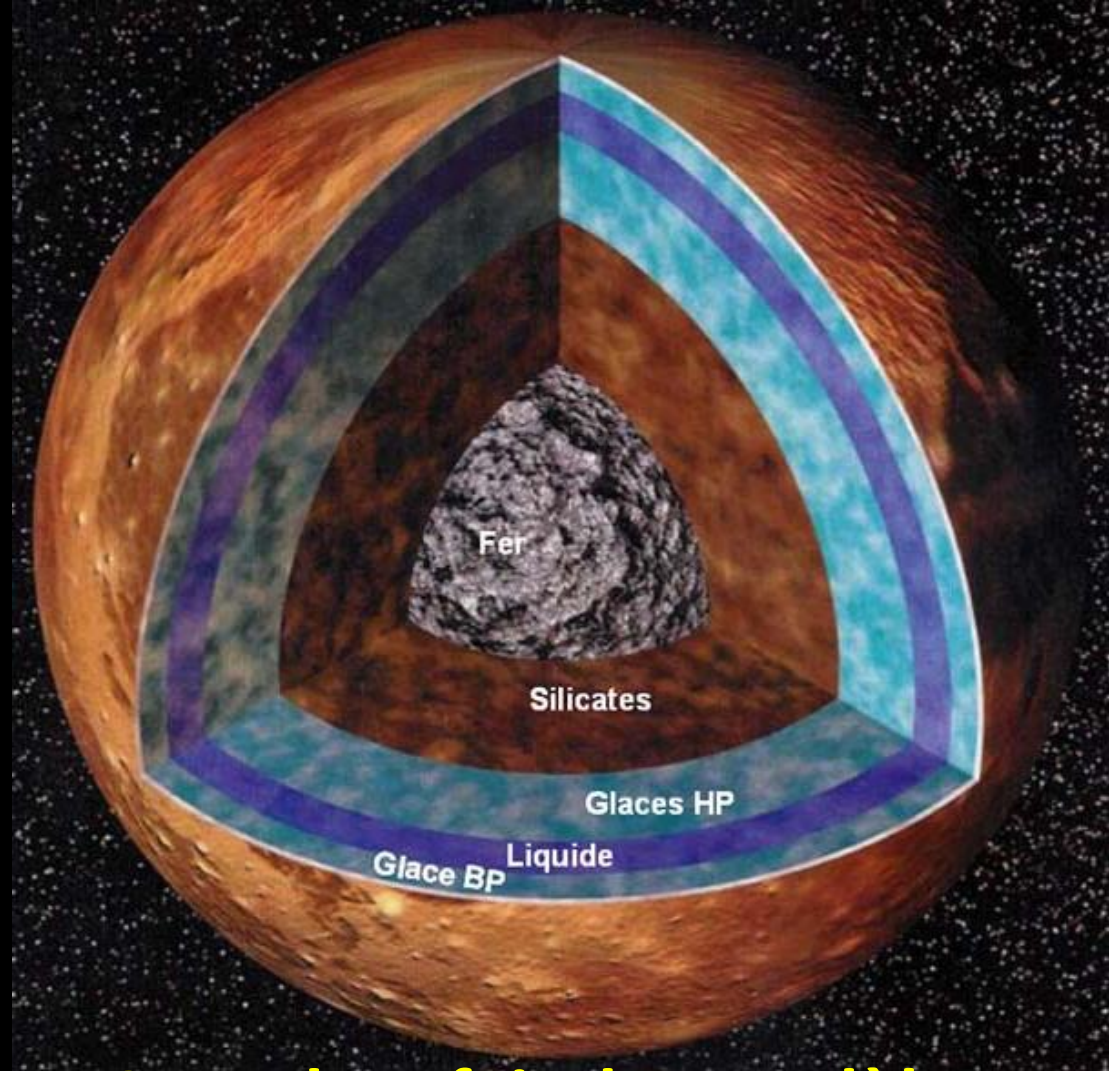
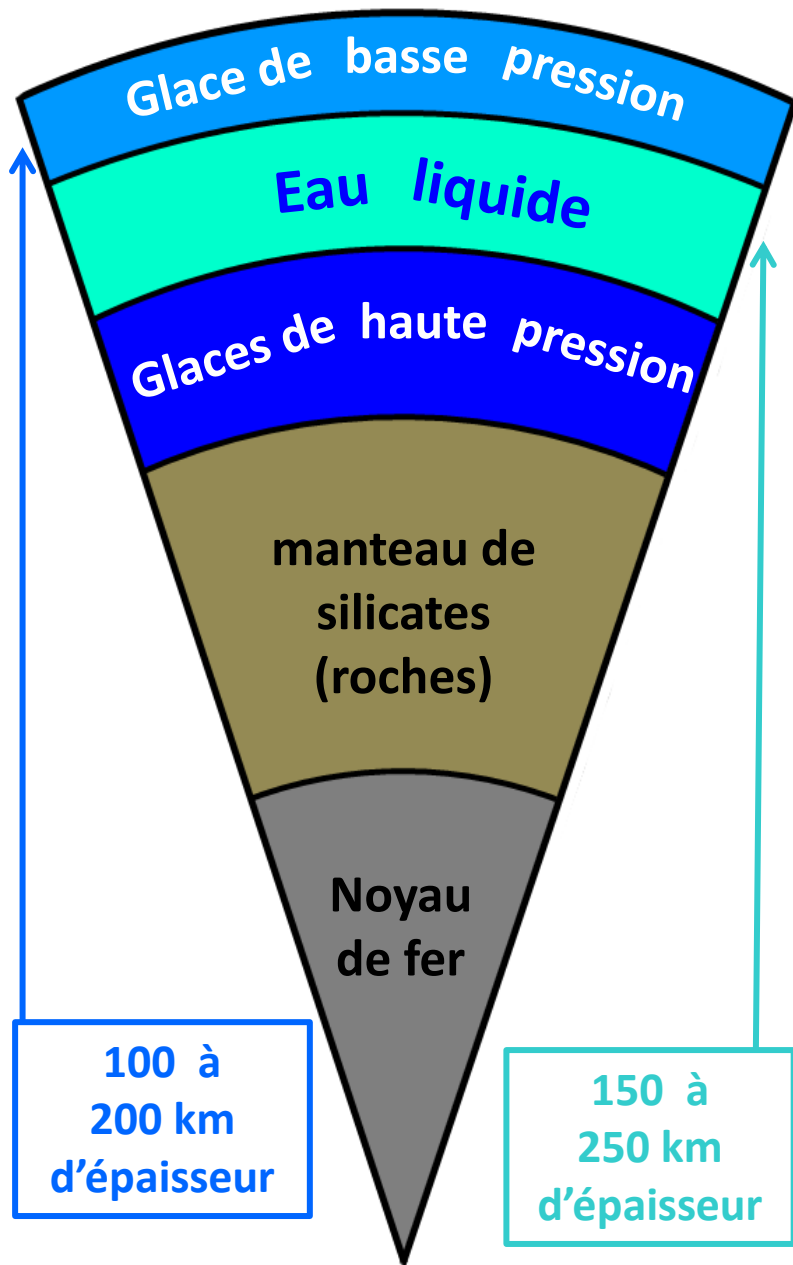


Callisto
 $\varnothing = 4820 \text{ km}$
(Jupiter)



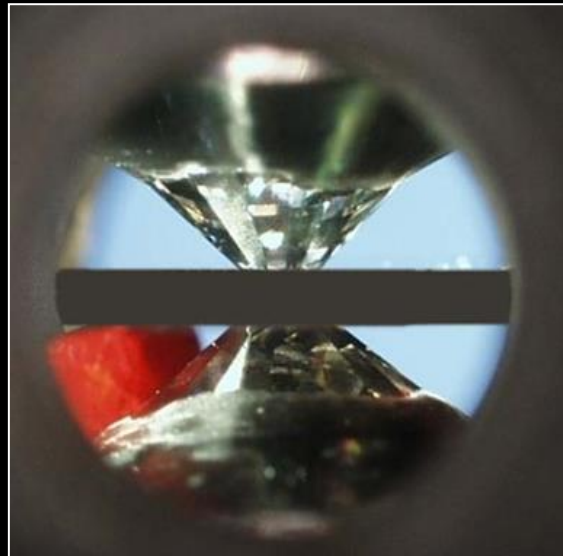
Triton
 $\varnothing = 2706 \text{ km}$
(Neptune)

Ganymède

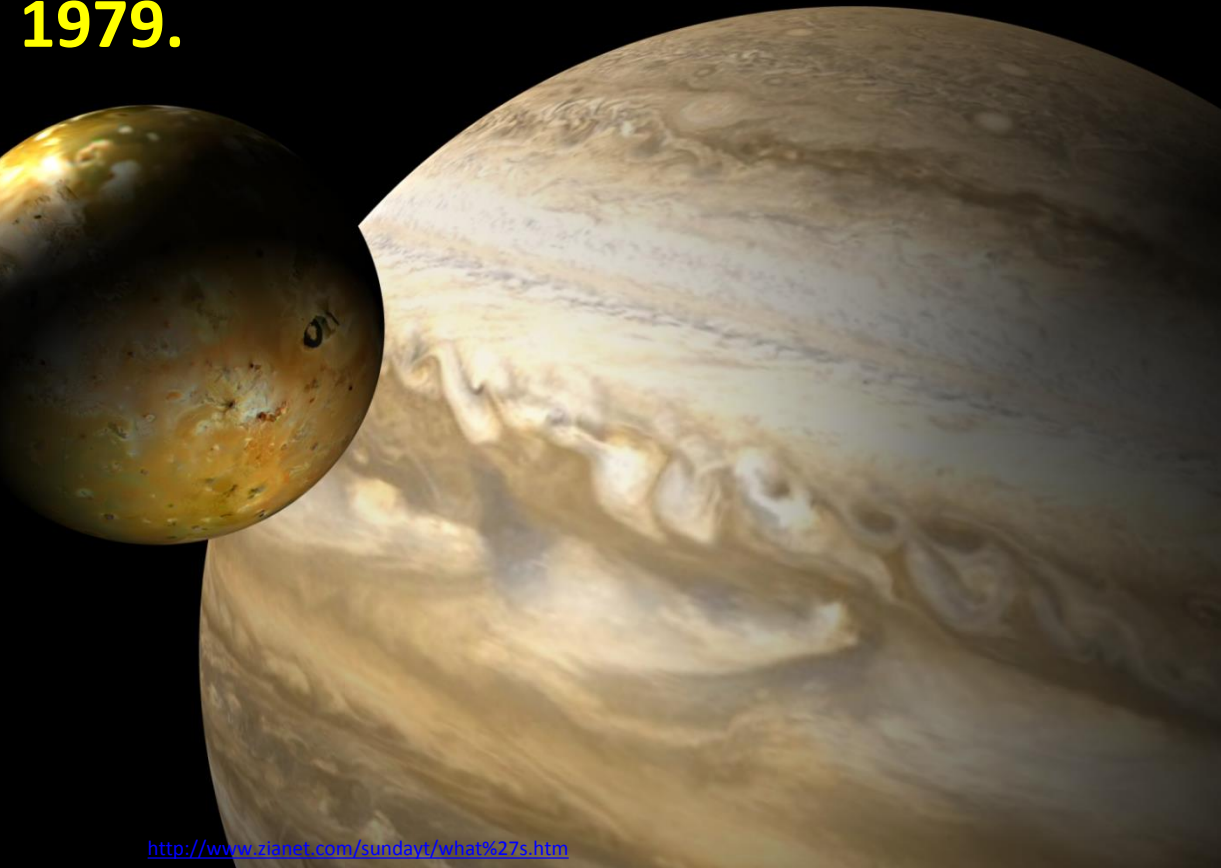


Quand on fait des modèles chimiques et thermiques sur ces satellites, ici Ganymède, voilà ce que ça donne.

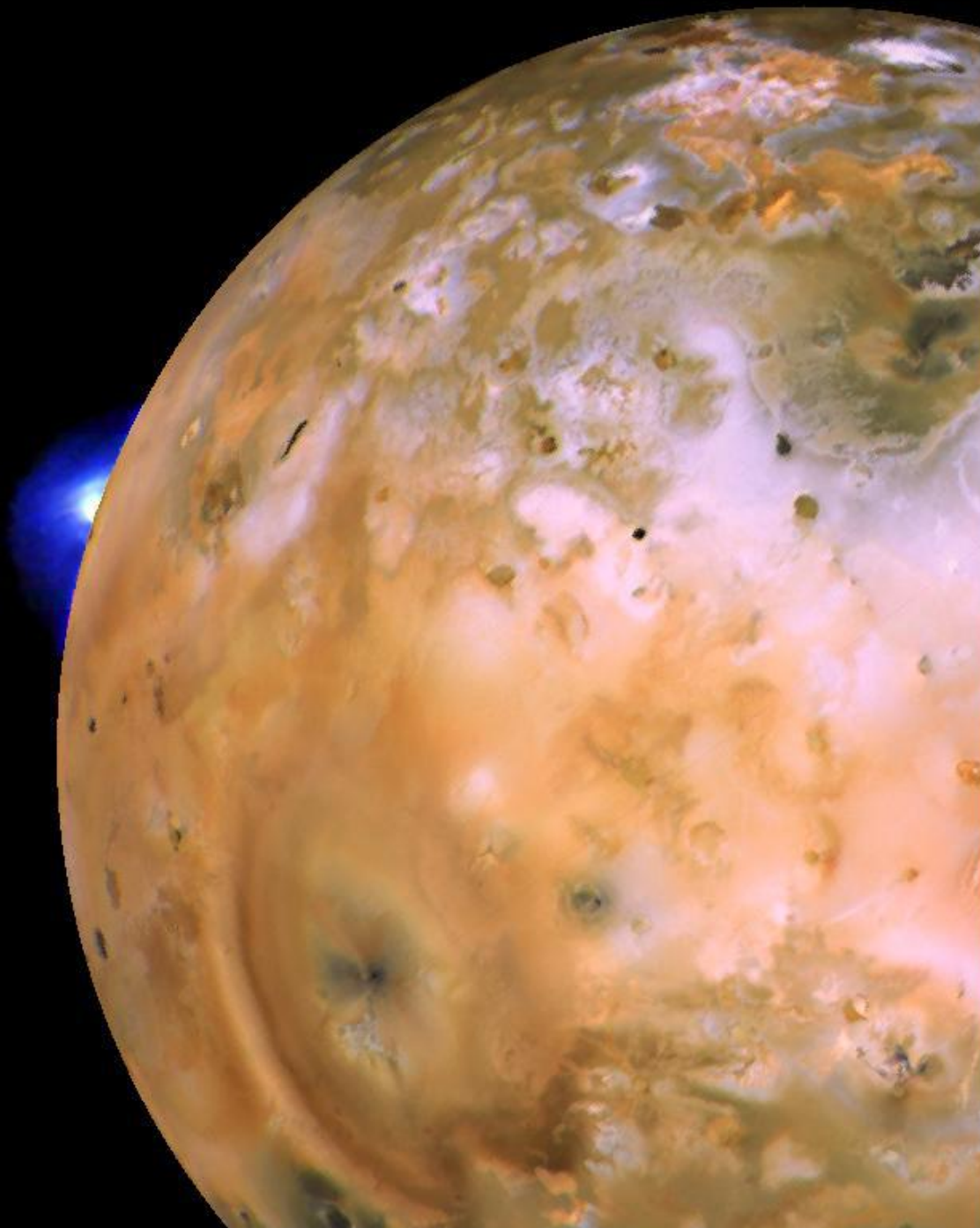
De la glace en surface, normal, il fait -200°C .
En profondeur, il fait plus chaud à cause du « degré ganymédothermique », l'eau est liquide. Toujours normal !
Mais pourquoi une nouvelle couche de glace encore plus en profondeur alors qu'il fait encore plus chaud ?
A cause de la pression ! En effet, à partir d'une pression d'environ 10 000 atmosphères, l'eau liquide « gèle » et devient une glace « tiède » voire chaude, très dense, dite glace de haute pression.



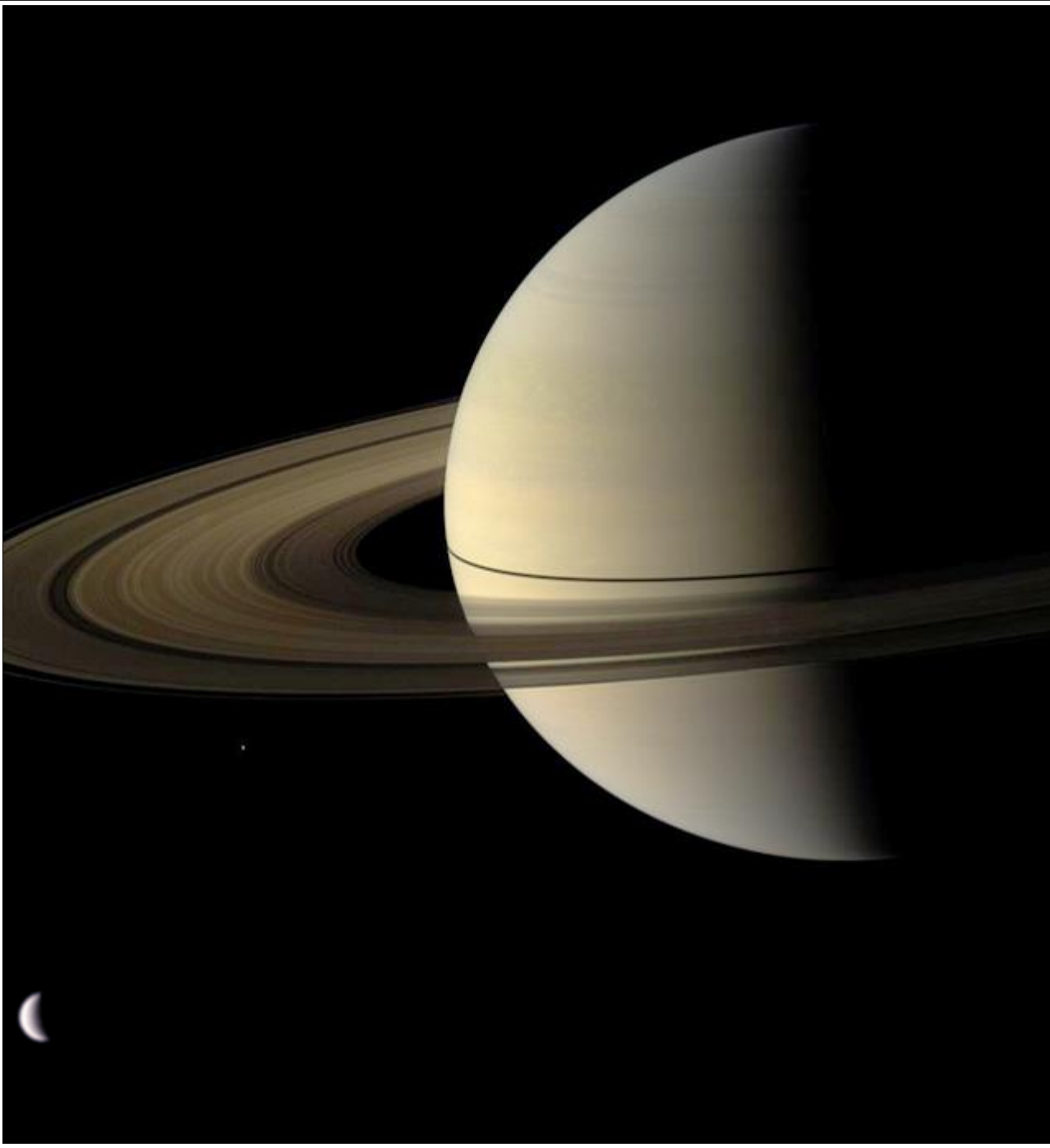
Et dans les « petits » satellites, à priori trop petits pour être chaud à l'intérieur ? Mais, Jupiter, de masse égale à 300 fois la masse terrestre, provoque des marées sur son satellite proche, Io. Ces marées déforment Io à chaque orbite. Et déformer, cela produit des frottements et de la chaleur. Et sur Io, on connaît ces éruptions volcaniques depuis 1979.



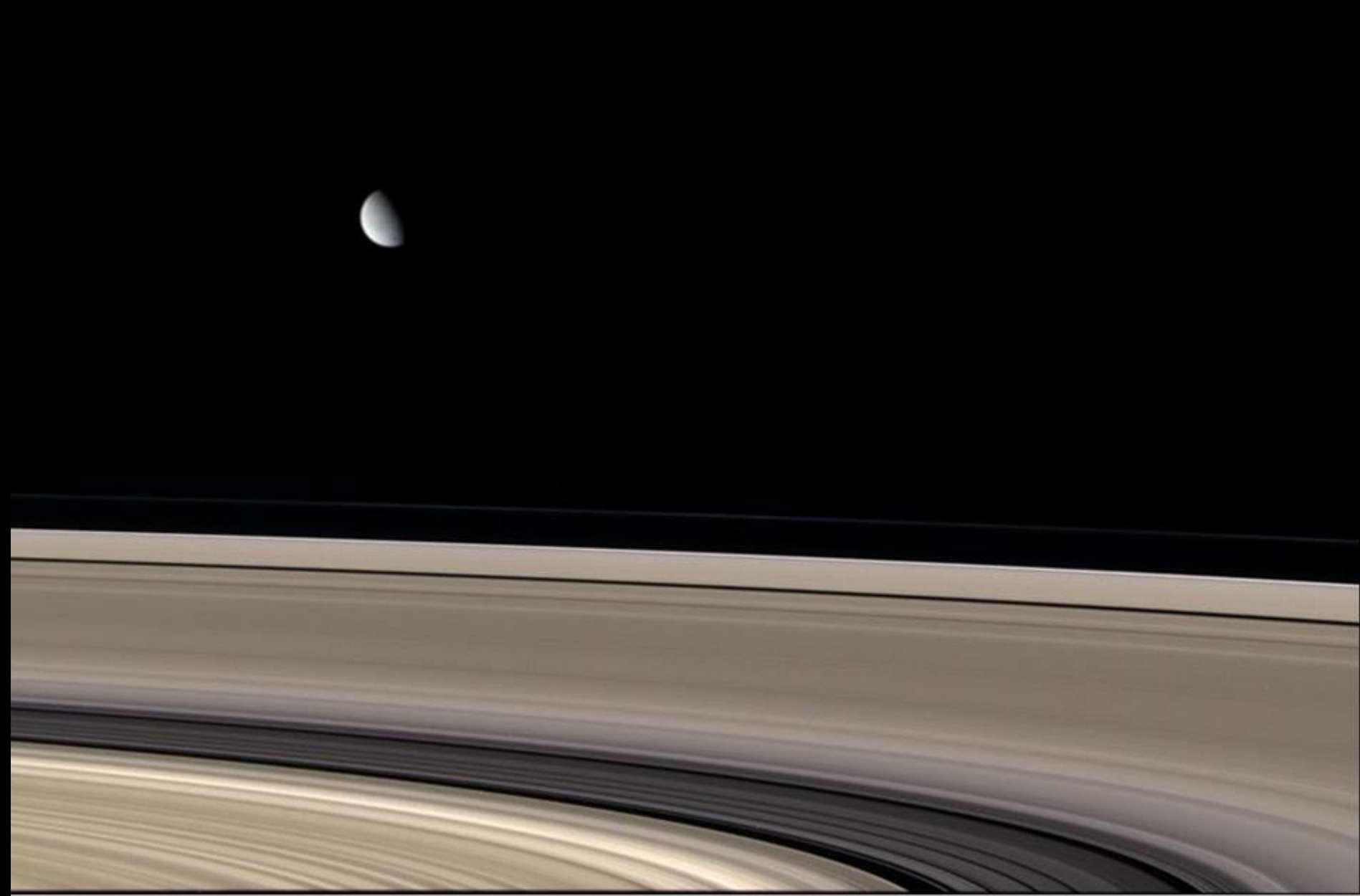
Si il est bien connu que ce phénomène des marées réchauffe Io (satellite silicaté), il réchauffe aussi certains des petits satellites de glace, en particulier Encelade.



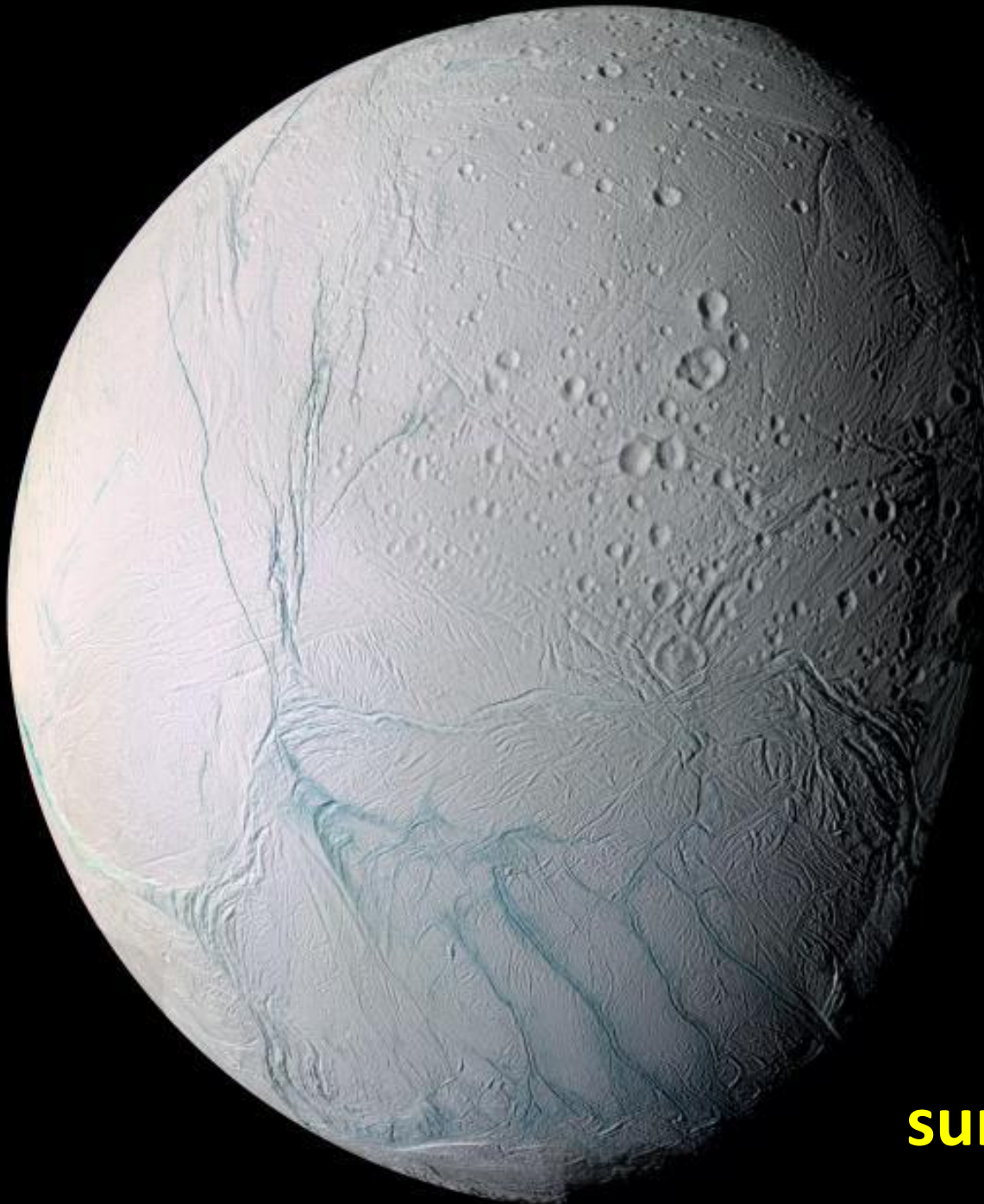
**Une belle
éruption
volcanique
sur Io**



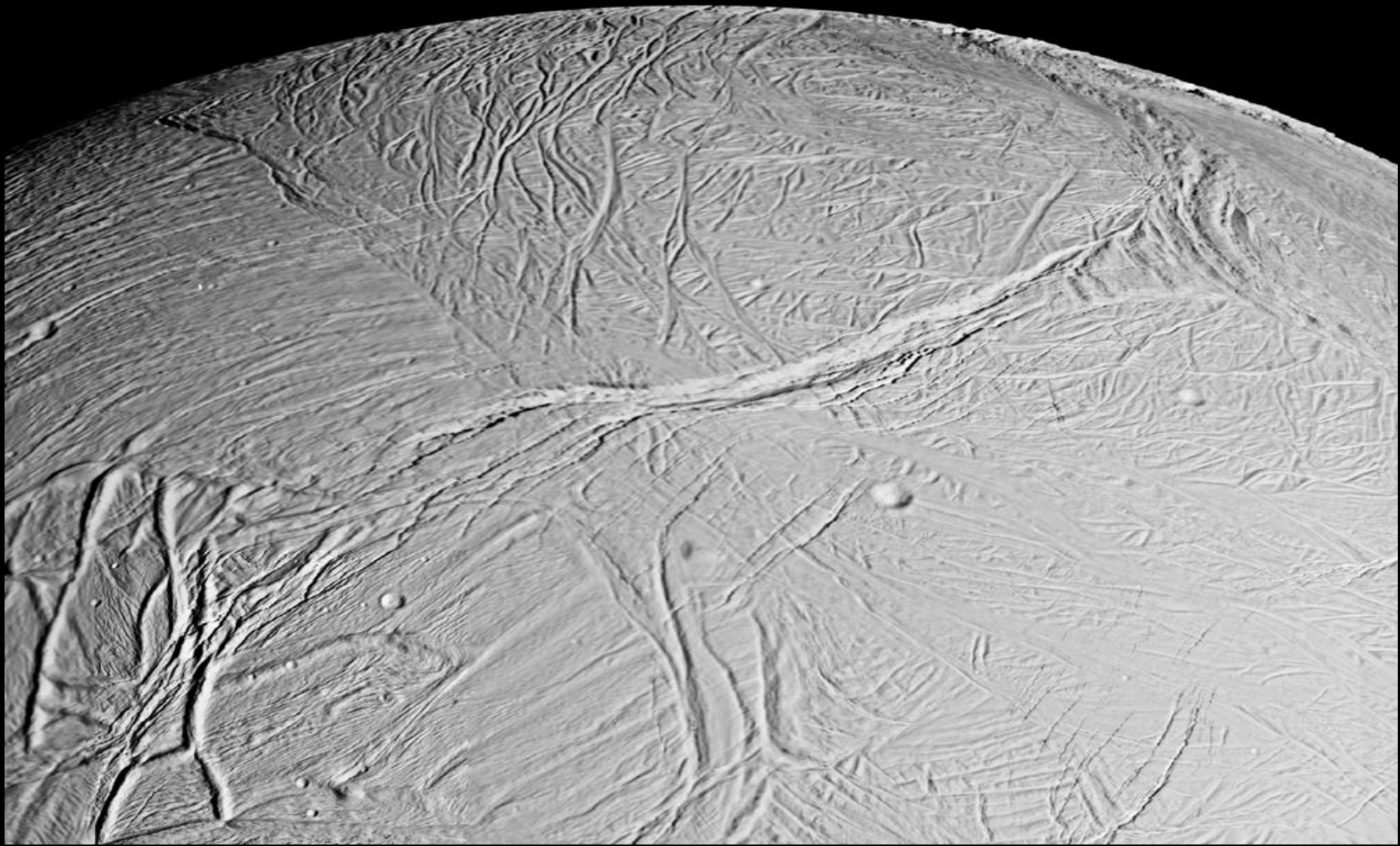
**Voici donc
Encelade (au
premier plan),
un petit
satellite
de glace de
Saturne
($\varnothing = 502$ km)
réchauffé par
les marées,
comme Io
autour de
Jupiter.**



Encelade au dessus des superbes anneaux.



**Vue générale
d'Encelade. Sa
densité montre
qu'il y a en volume
 $\frac{2}{3}$ de glace ($\frac{1}{3}$
en rayon) pour $\frac{1}{3}$
de fer + silicates
($\frac{2}{3}$ en rayon). Ce
satellite est chauffé
par les marées
comme l'atteste sa
surface« tourmentée ».**

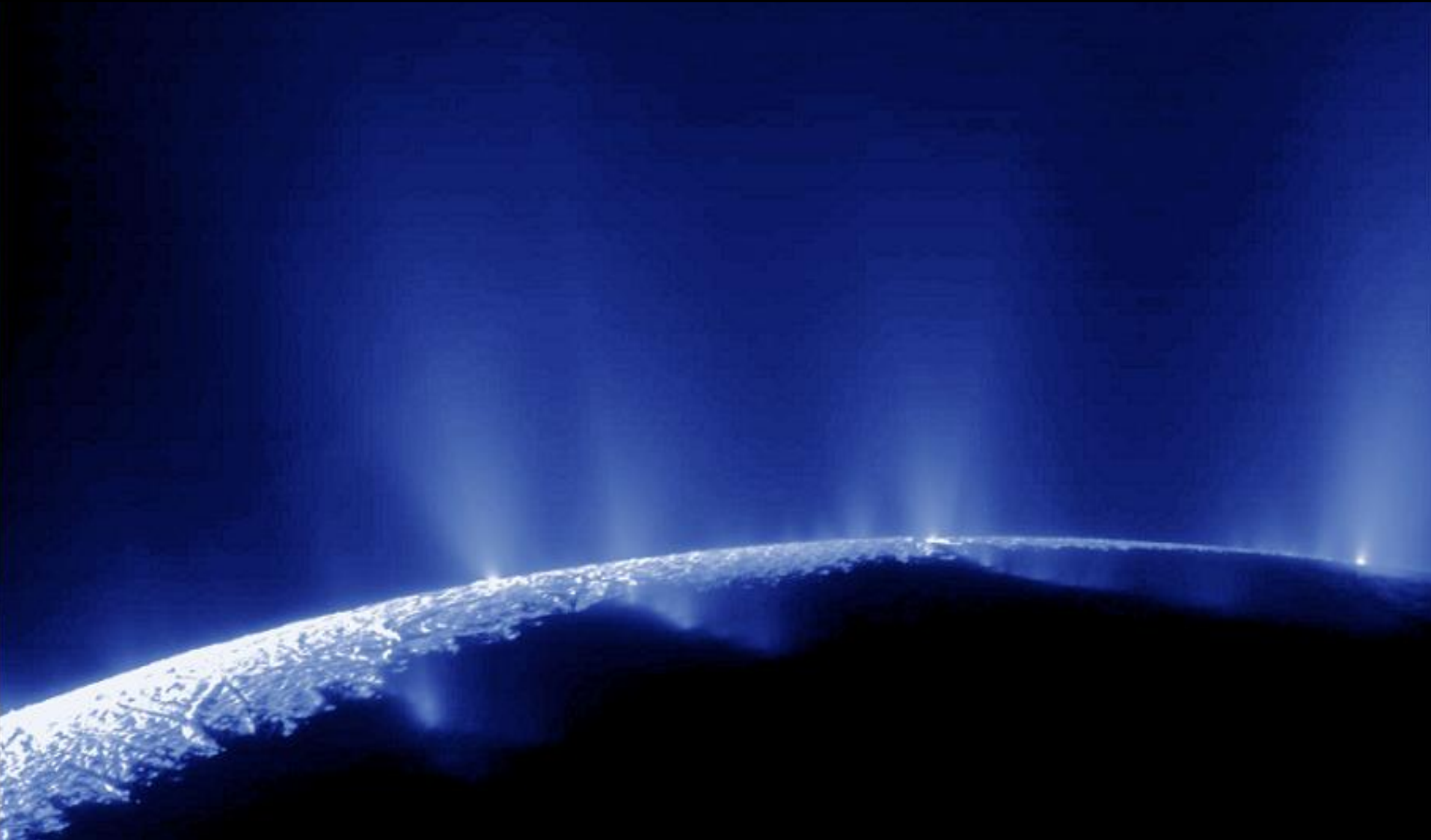


Des images rapprochées montre que la surface est vraiment très tourmentée, avec de nombreuses fractures (ça bouge en dessous !).

**Quand on
photographie
Encelade à
contrejour, la
diffusion de la
lumière
solaire met en
évidence des
« jets d'eau »
près du pôle
sud. Des
volcans (ou
geysers)
d'eau, actifs !**

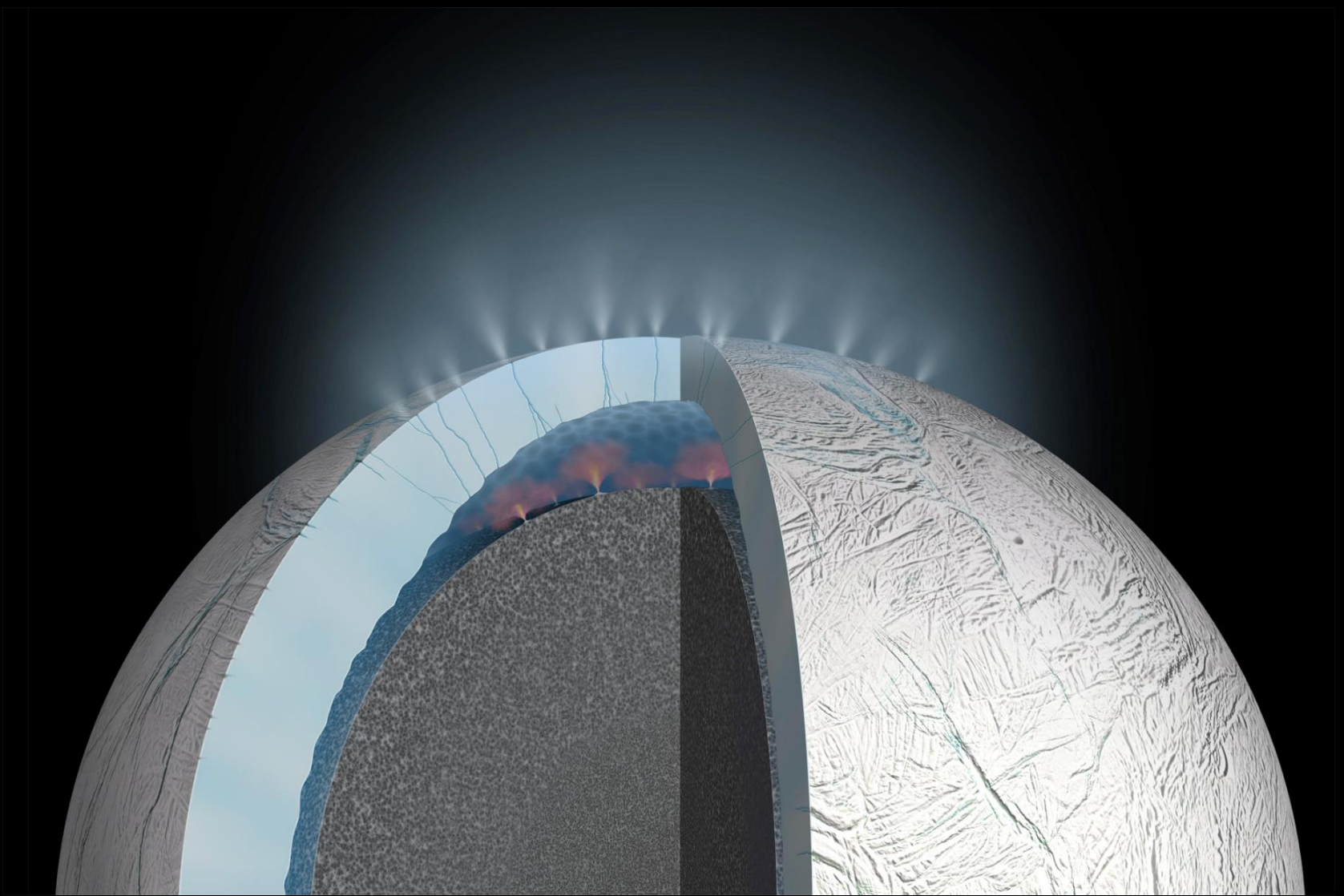


**Et cette eau qui sort par les fissures se transforme
immédiatement en panaches de givre dans
le froid du vide spatial (ici en 2008).**

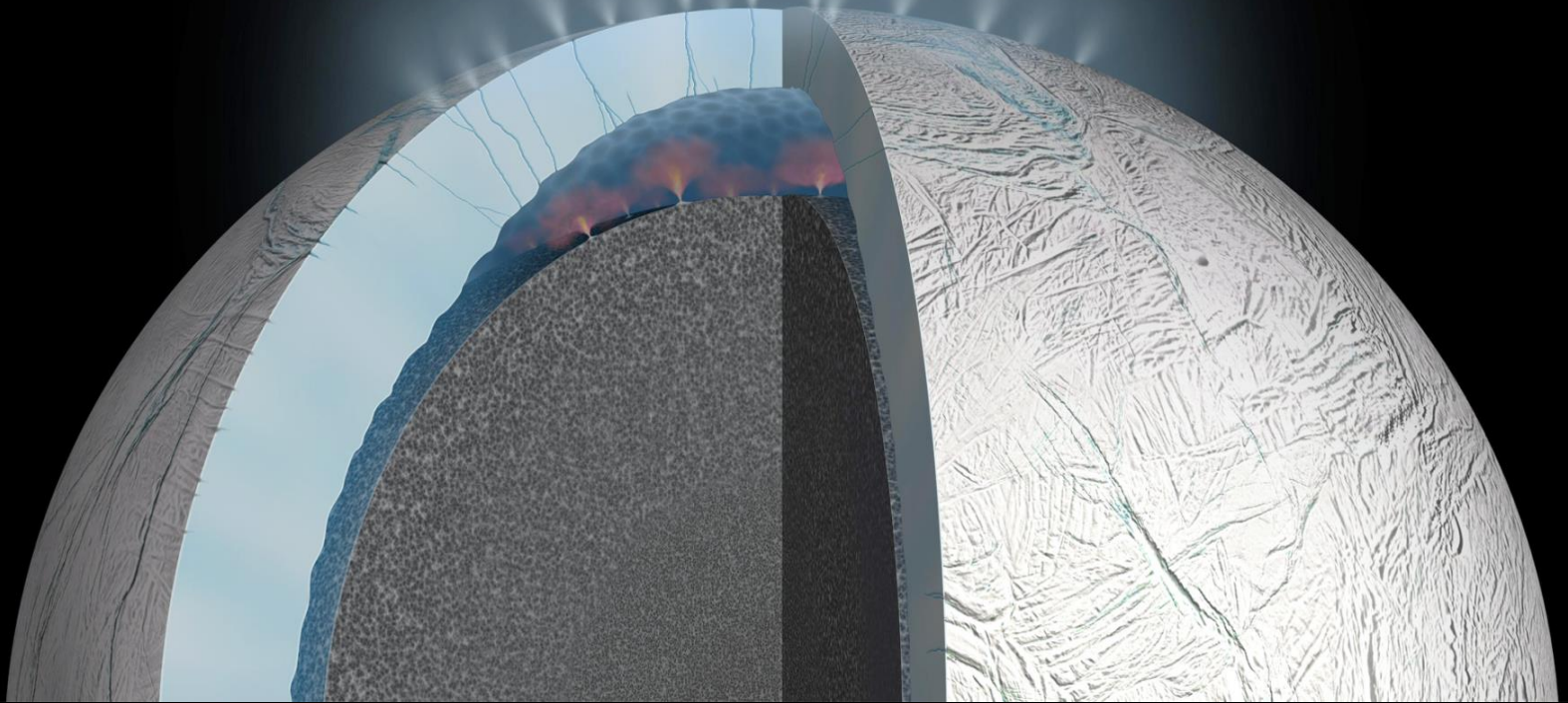


Les mêmes jets, vus deux ans plus tard (2010) sous un autre angle et avec un autre éclairage.

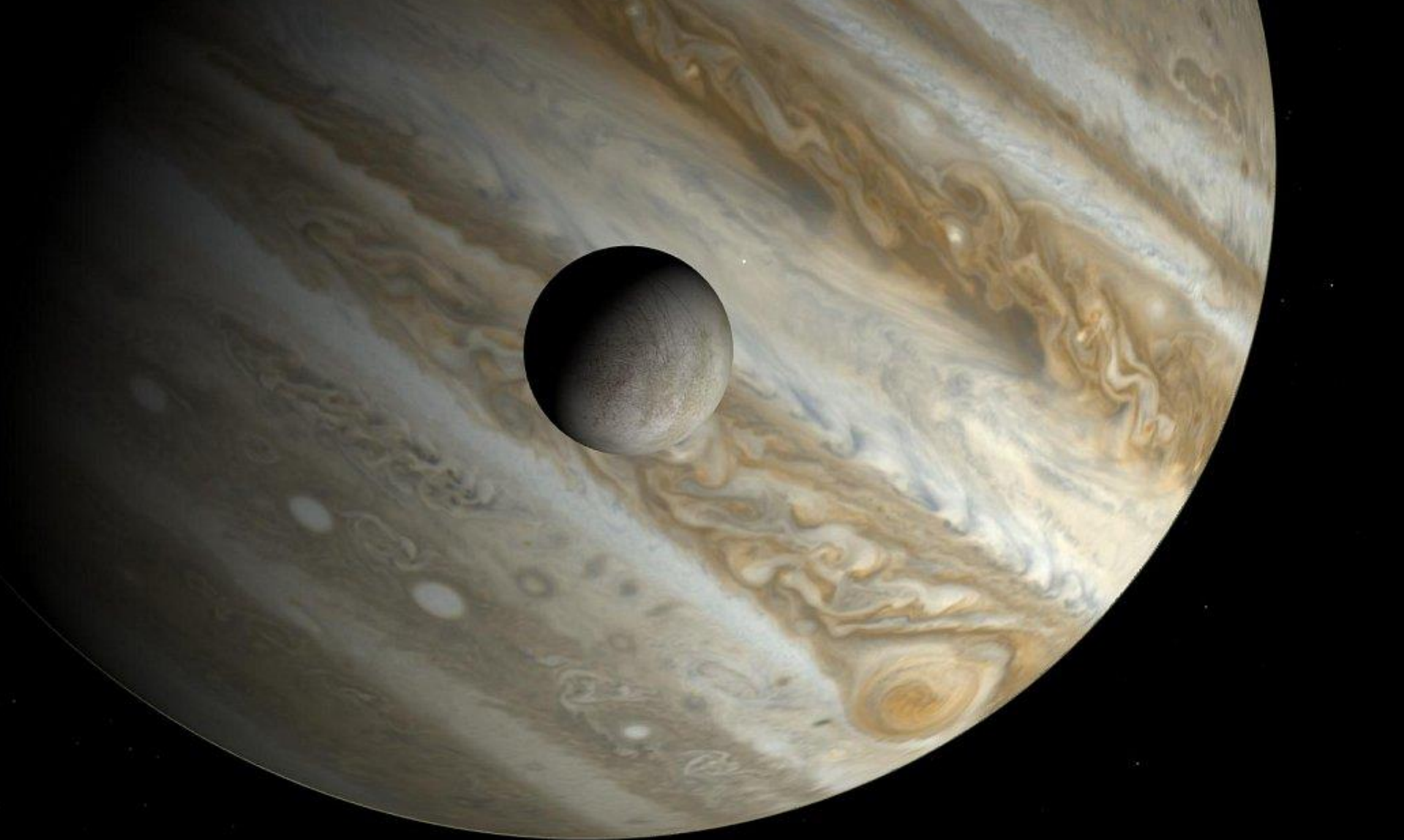




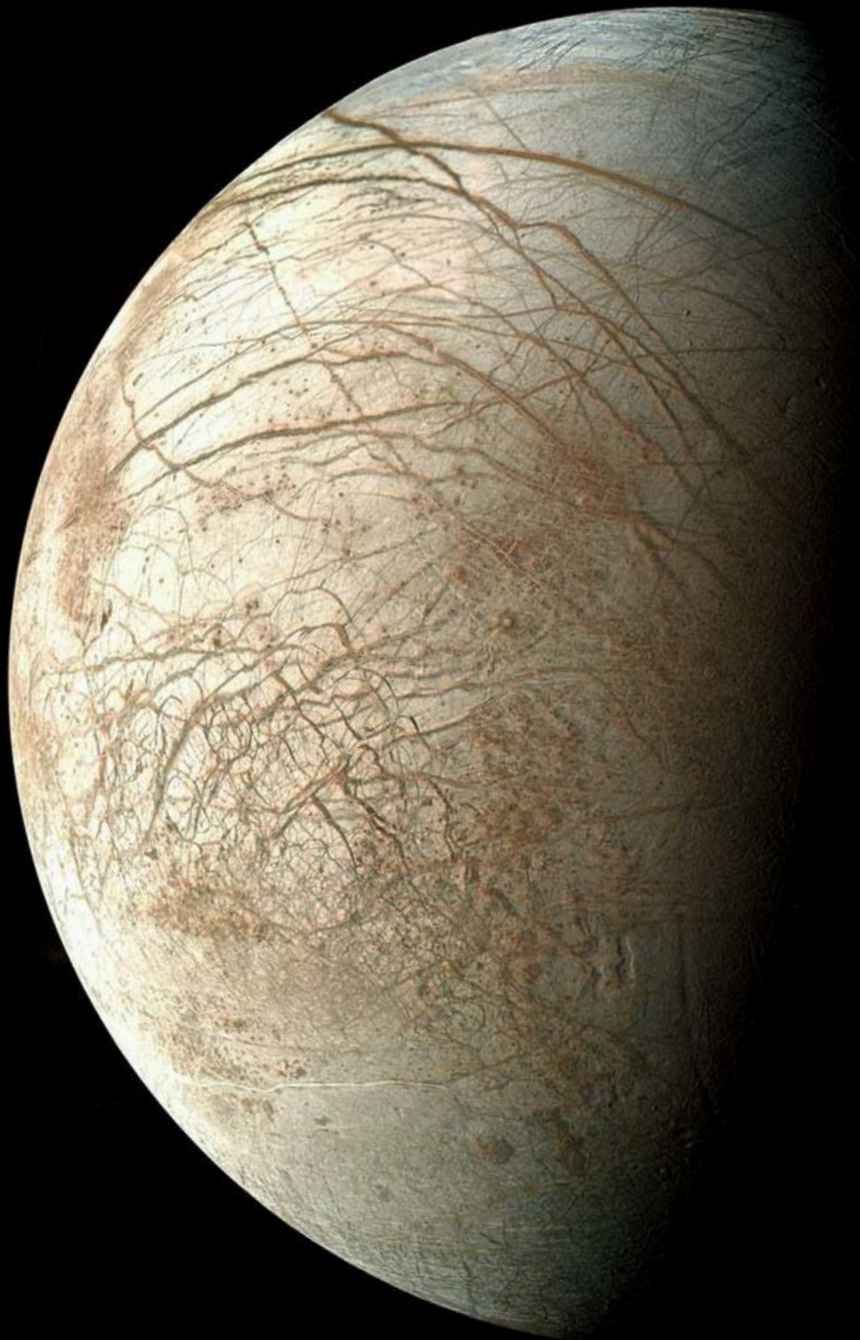
La structure interne d'Encelade : un océan sous une banquise, océan réchauffé par des volcans sous-marins. Noter bien qu'eau liquide et roches sont en contact.



Après la Terre, Mars, les quatre gros satellites de glace, Encelade. L'eau liquide commence à être une « banalité » dans le système solaire.

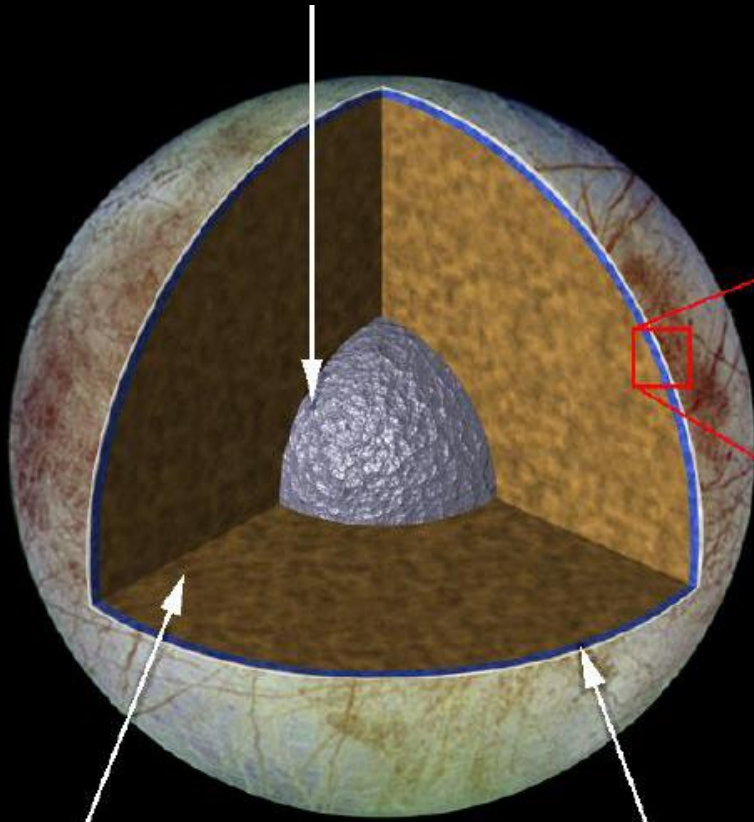


Dernier corps où on va chercher de l'eau liquide : Europe, presque une densité de roche, et la taille de la Lune, avec une température superficielle de -150 à -220°C.



**Europe, la taille
de la Lune, une
température
superficielle de
-150 à -220°C, et
une surface qui
ressemble à une
boule de billard
rayée.**

Noyau métallique

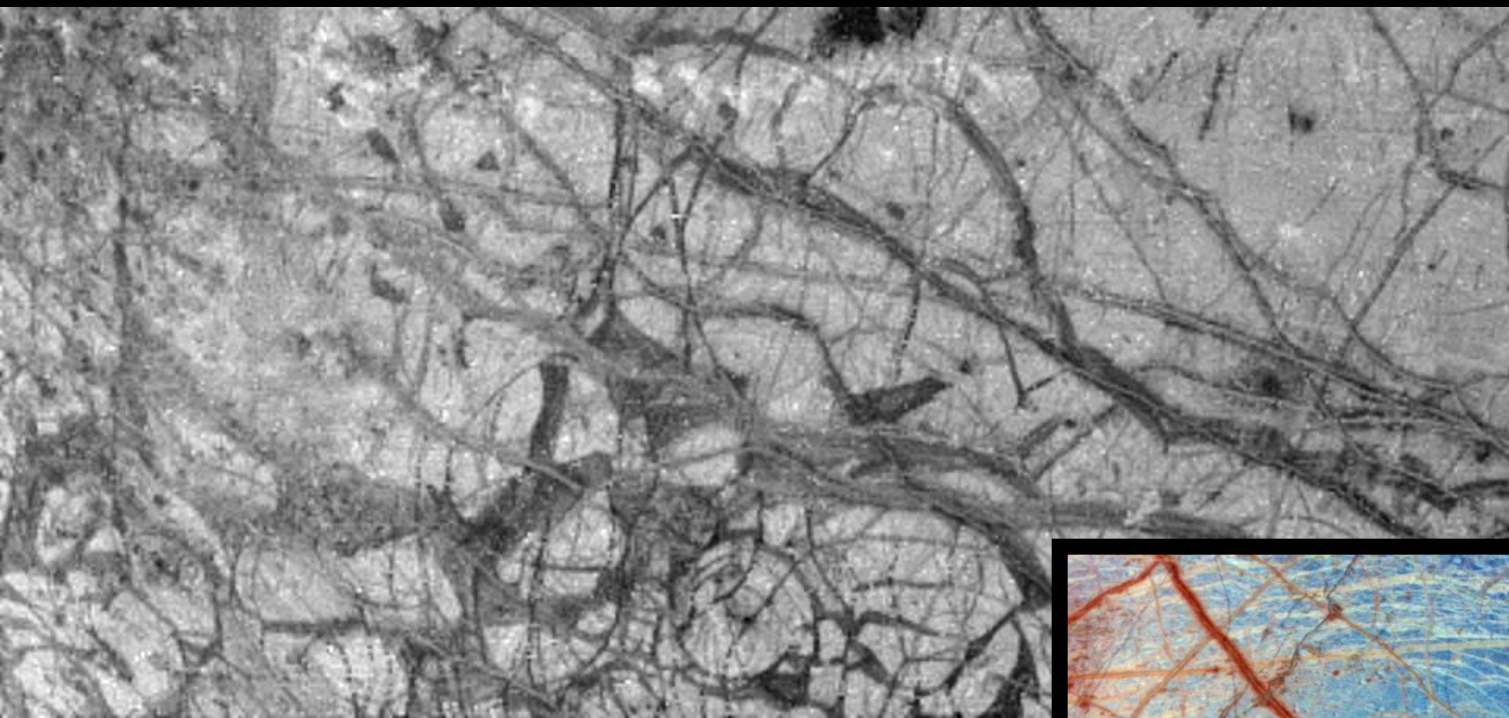


Manteau rocheux

Océan d'eau, gelé

Europe, un des quatre satellites galiléens de Jupiter.

La masse volumique ($\approx 3,04 \text{ g/cm}^3$) indique que c'est un corps identique à la Terre, recouvert d'un océan de 100 km d'épaisseur (Terre 3 km), mais cet océan est gelé, car il fait entre - 150 et - 220°C.

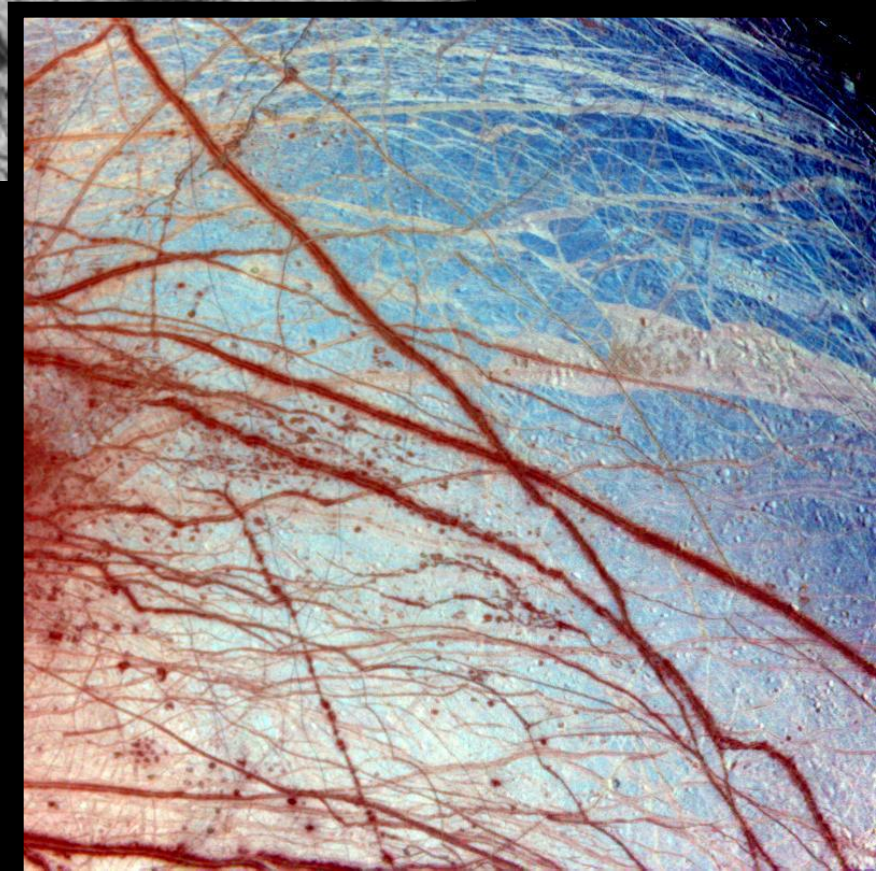


300 km



100 km

**Cette surface de glace est
« tourmentée »,
fracturée, comme la
surface d'une banquise
vue d'avion.**

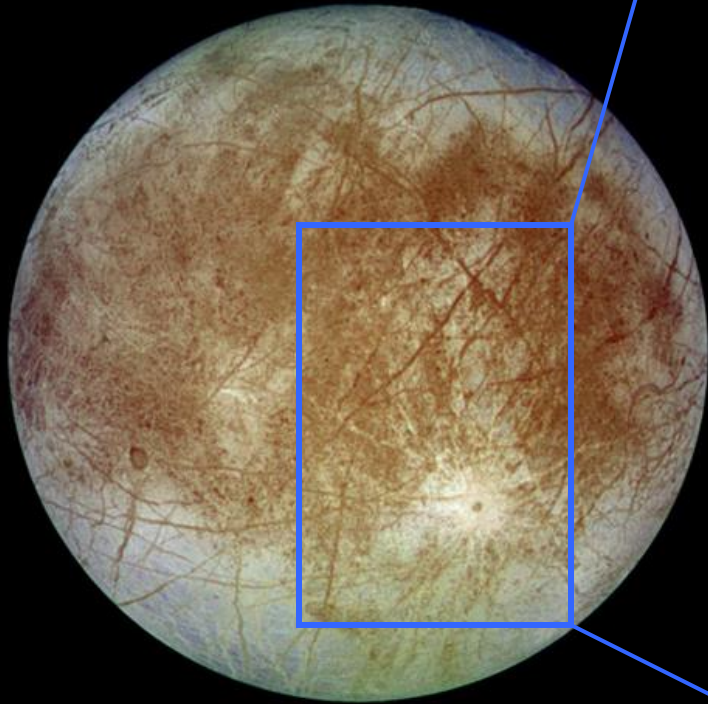


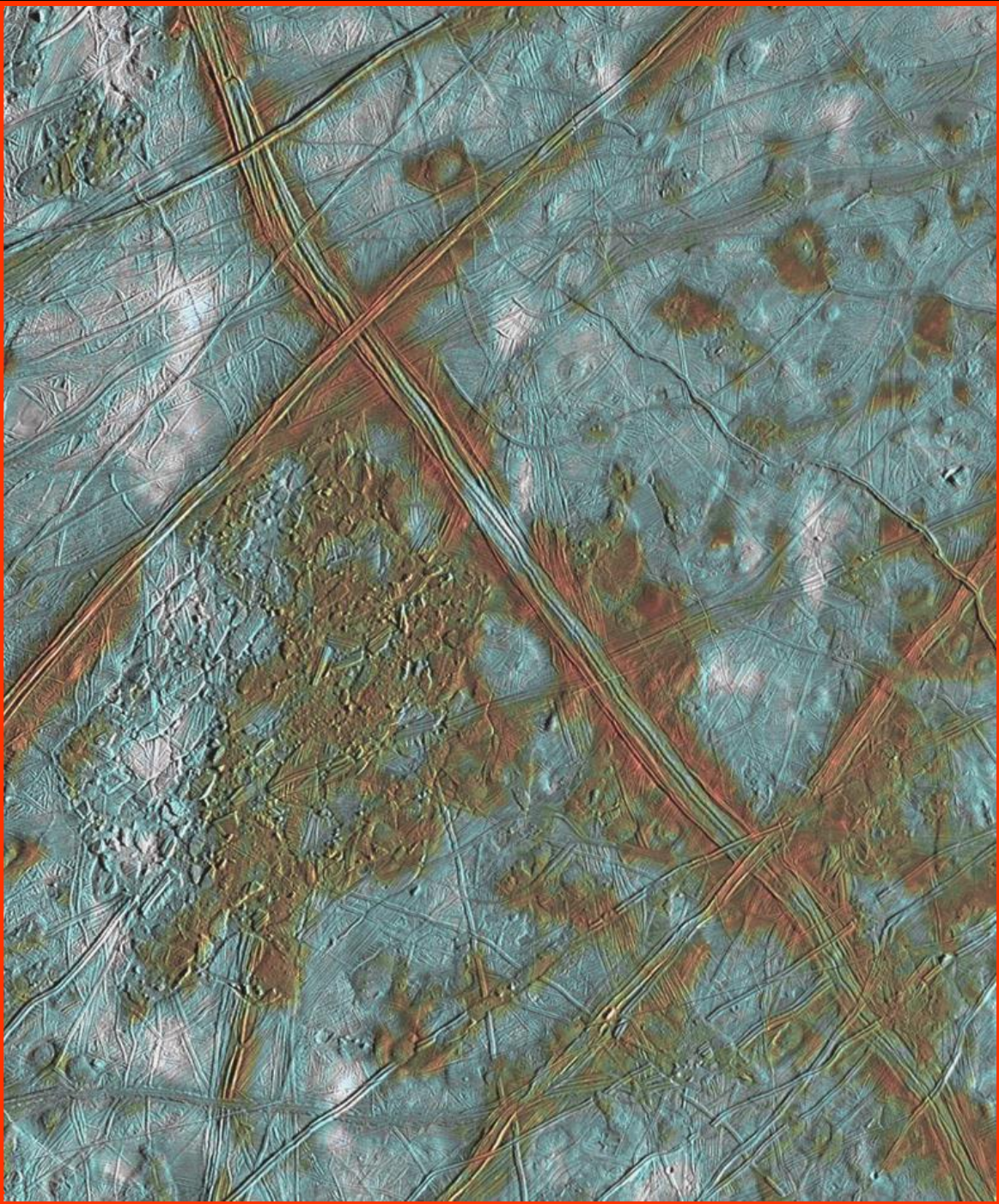
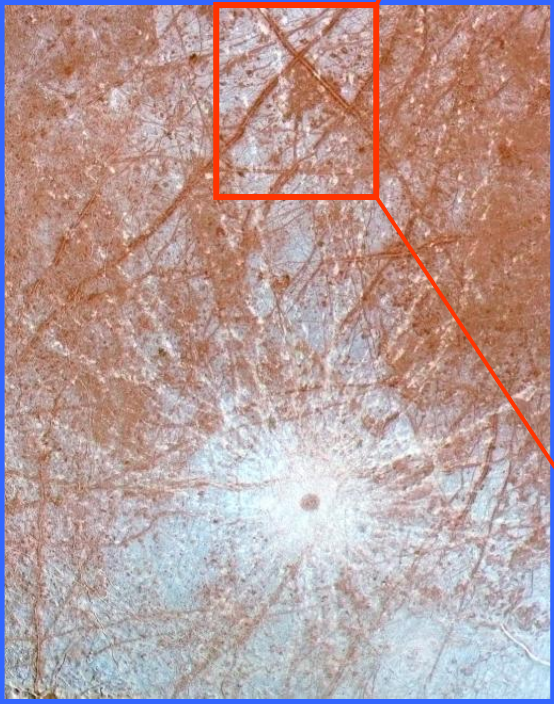


<http://www.alaskaphotoworld.com/alaska365/2013/03/25/bering-sea-ice-patterns/>

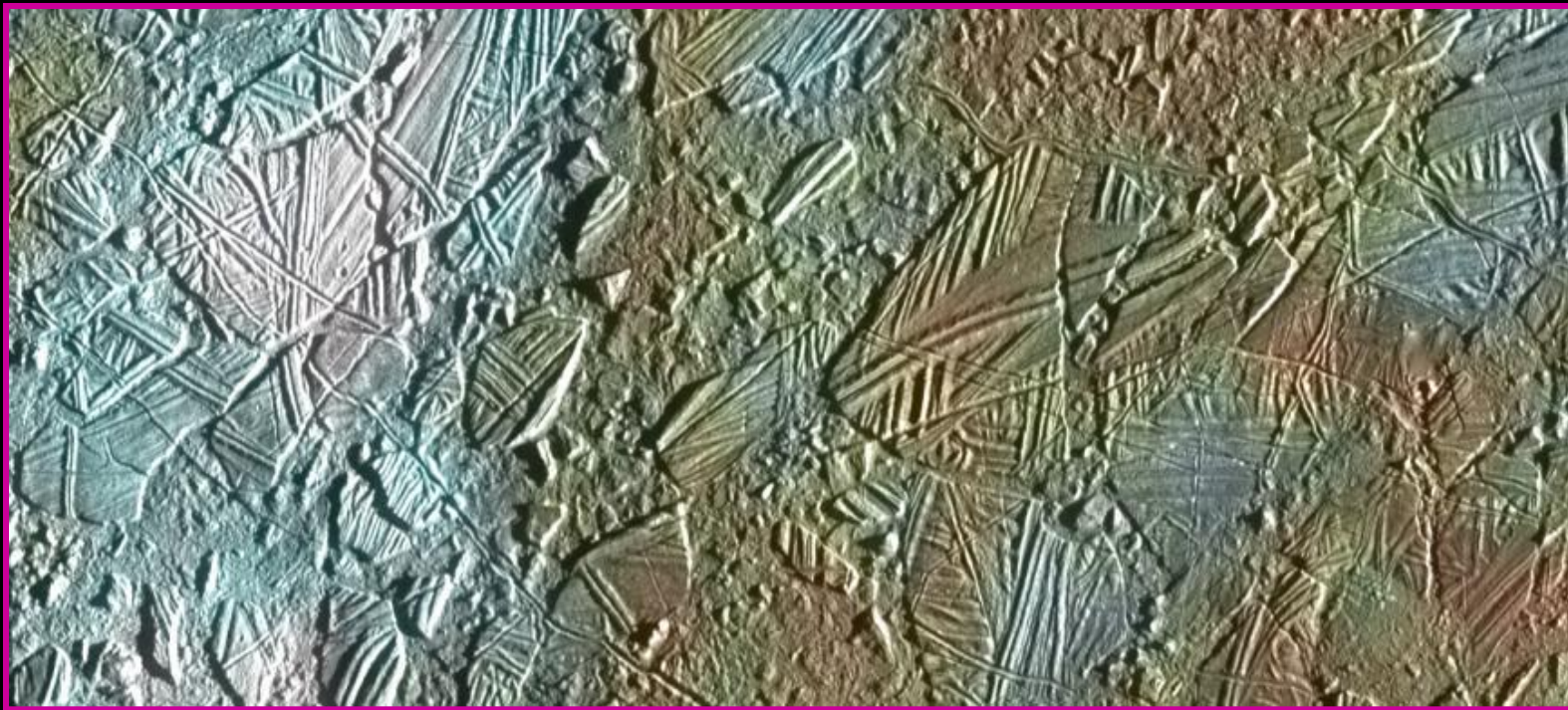
Pour comparaison, une vue aérienne de la banquise arctique.

**Faisons une
série de zooms
sur Europe**





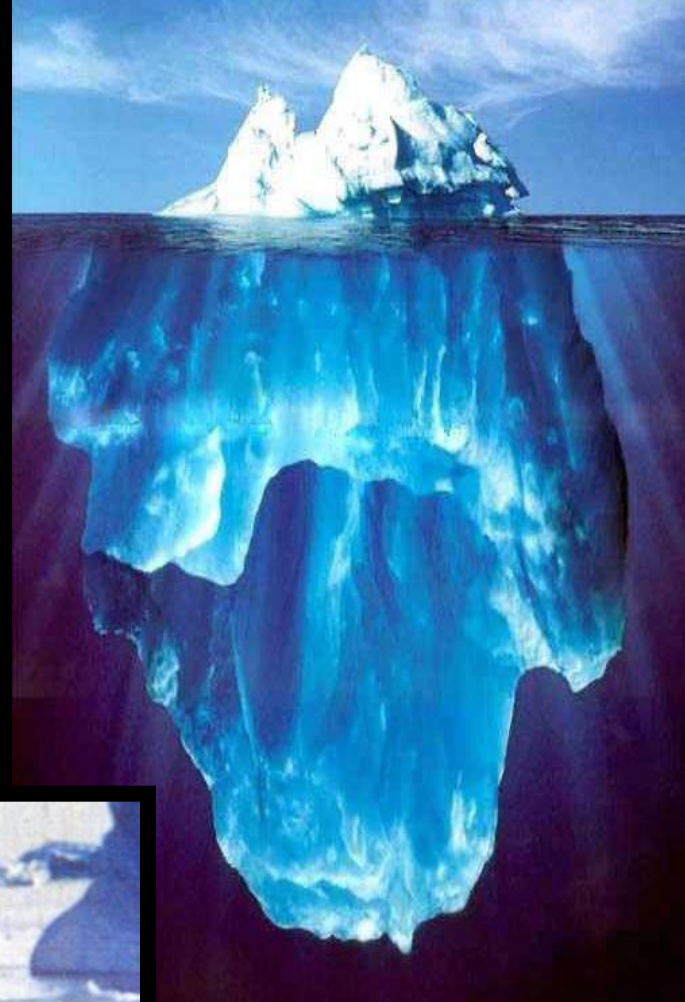
10 km



Avouez que ça
ressemble !

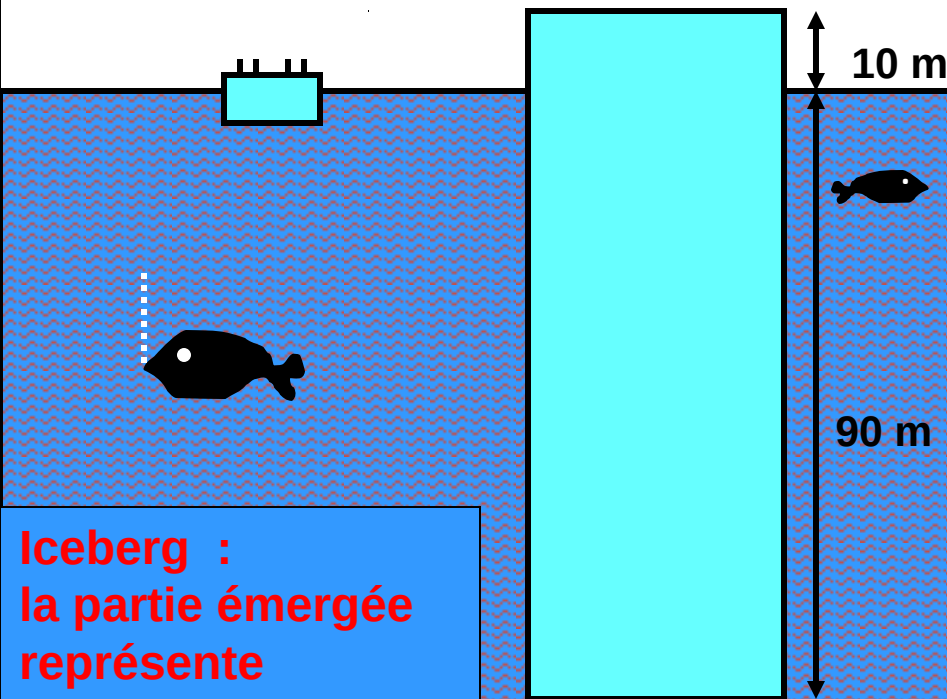


Avec la hauteur de la partie émergée de l'iceberg, on peut connaître la hauteur totale de l'iceberg



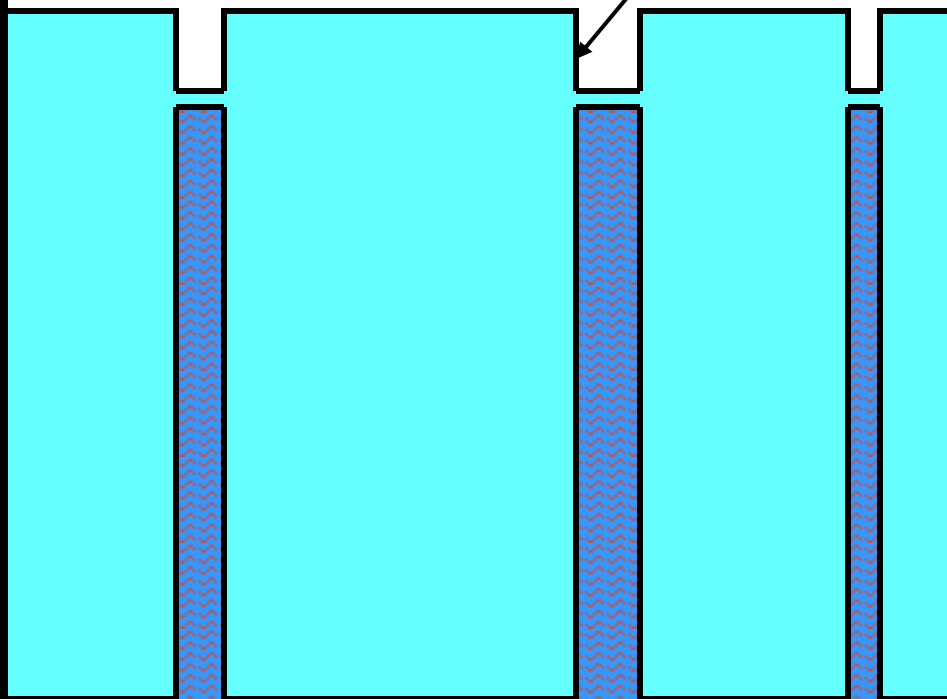


Terre



Iceberg :
la partie émergée
représente
10% du total

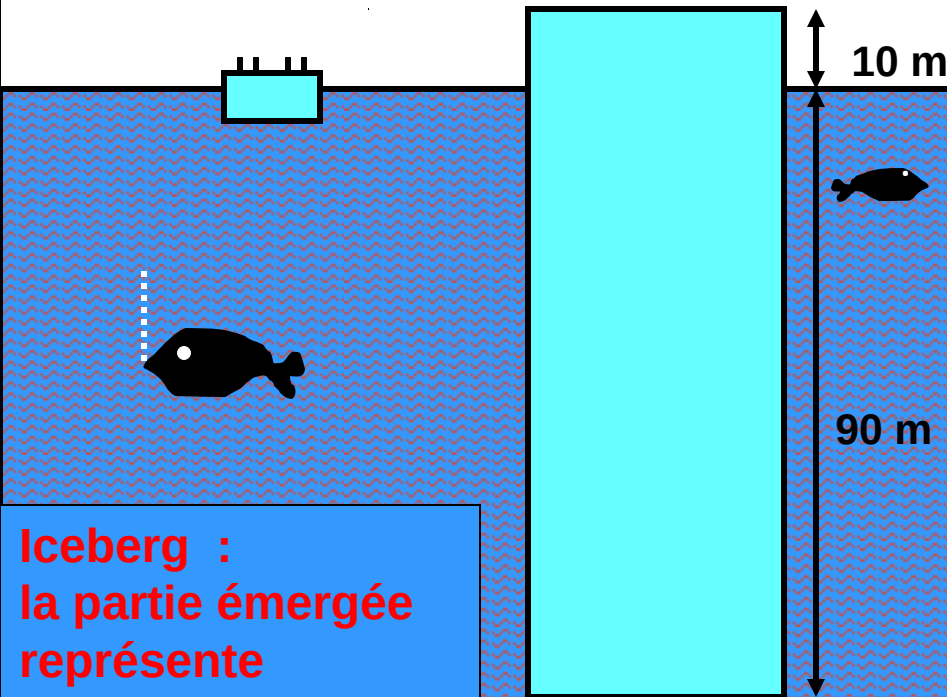
Europe



La banquise mesure 5 à 30 km

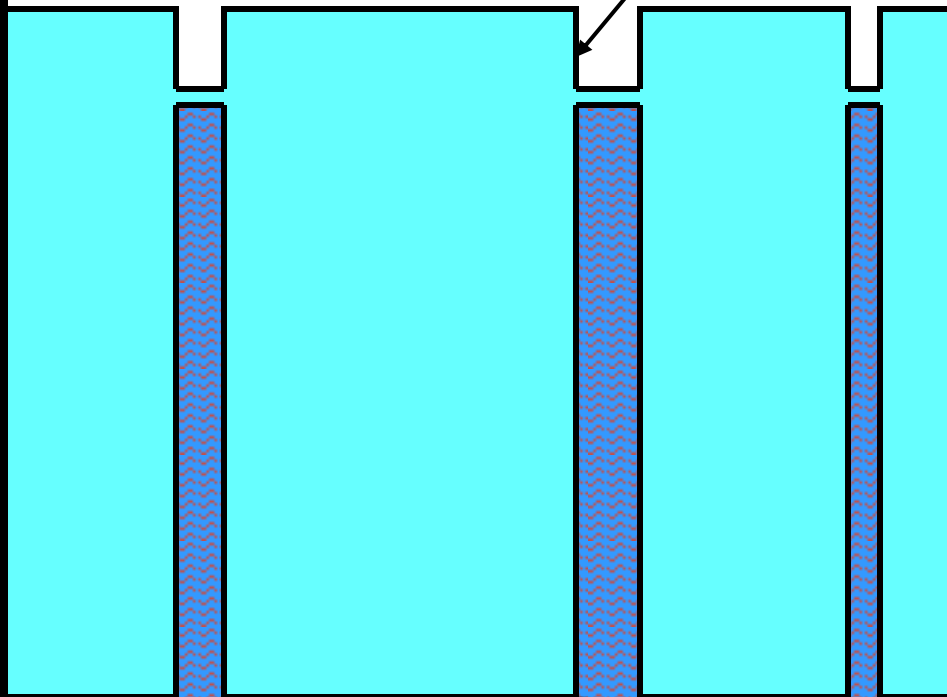


Terre



Iceberg :
la partie émergée
représente
10% du total

Europe

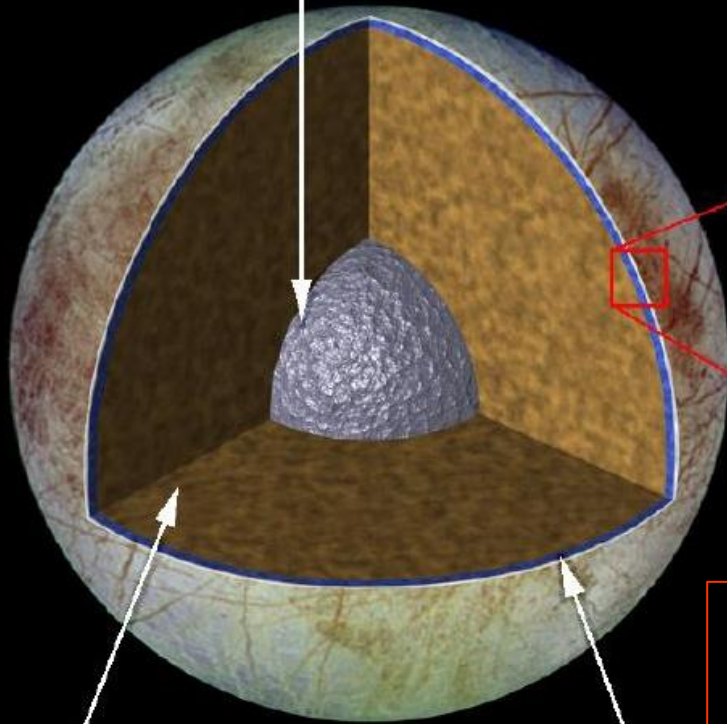


La partie
émergée
mesure
500 à 3000 m

L'océan mesure 70 à 95 km

Noyau métallique

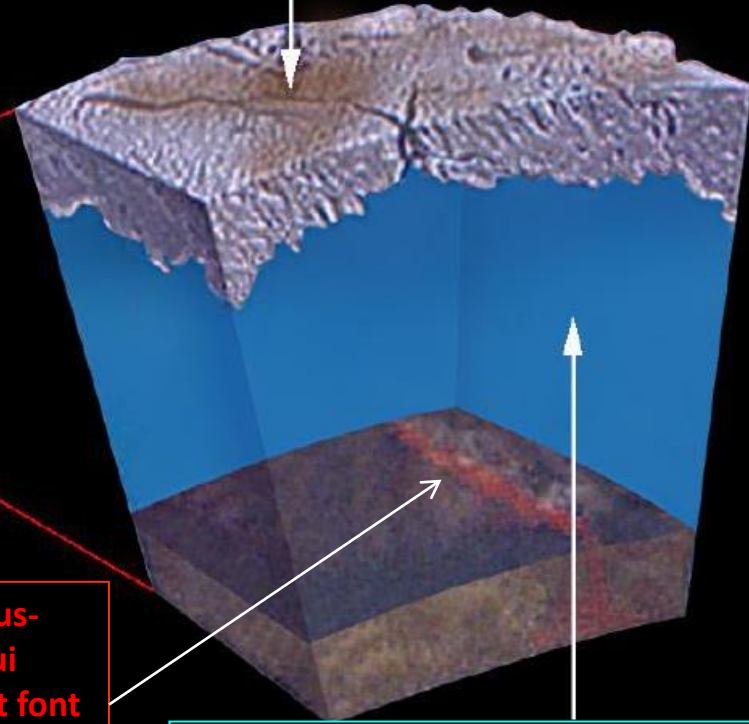
Banquise de glace



Intérieur rocheux

Couche d'H₂O

Volcans sous-marins qui réchauffent et fondent la base de la couche de glace

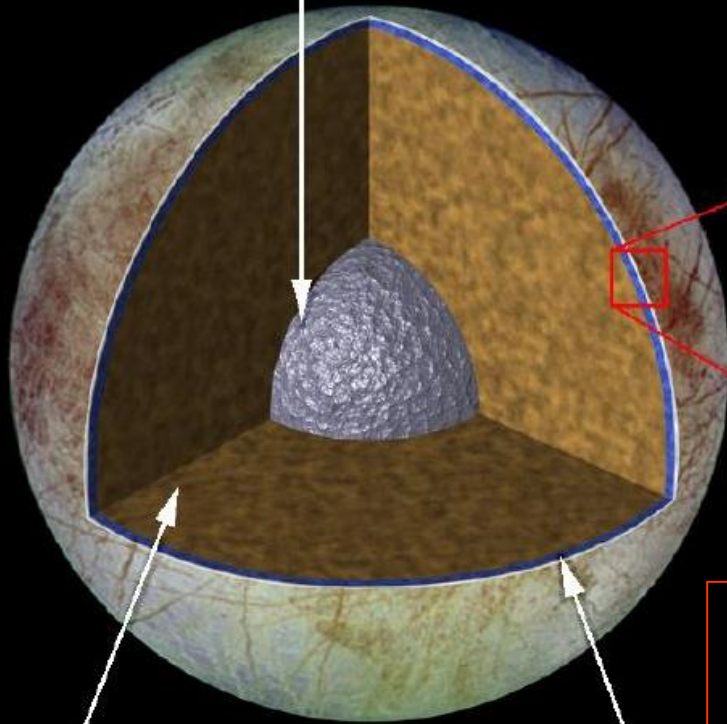


Océan liquide sous la glace

Europe serait donc une « planète » océan. Qu'est-ce qui chaufferait cet océan pour qu'il soit liquide en profondeur malgré le froid glacial de l'extérieur : le volcanisme (cf Io).

Noyau métallique

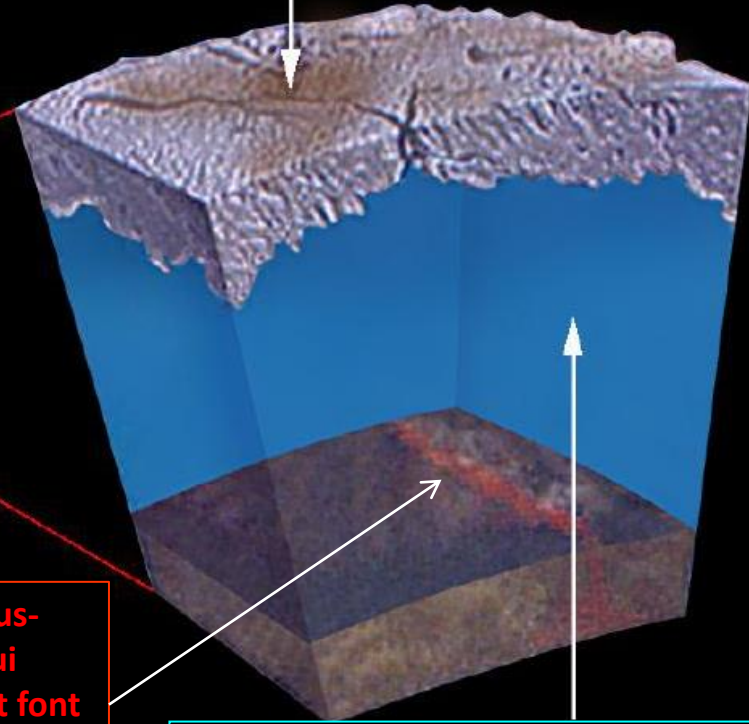
Banquise de glace



Intérieur rocheux

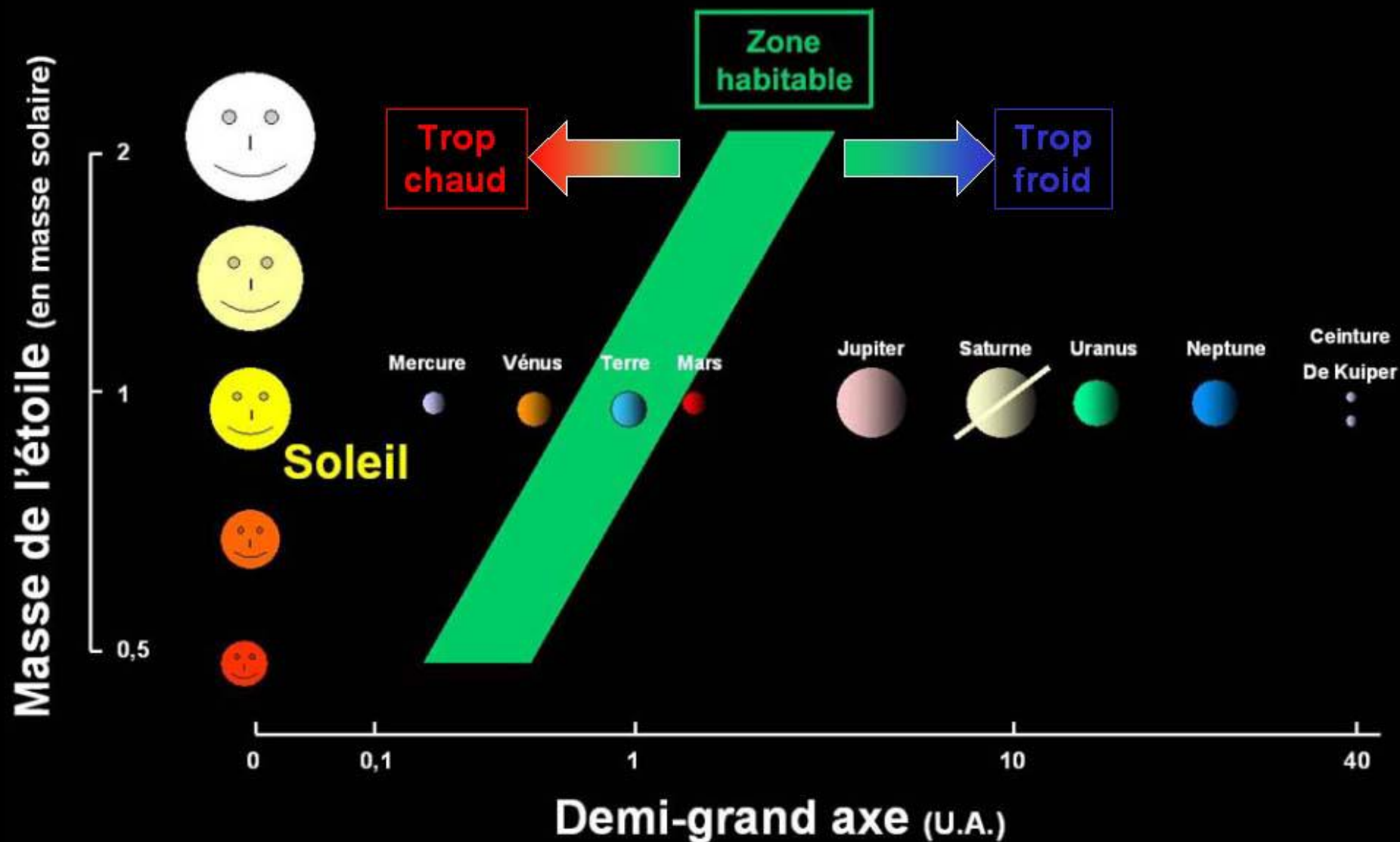
Couche d'H2O

Volcans sous-marins qui réchauffent et fondent la base de la couche de glace

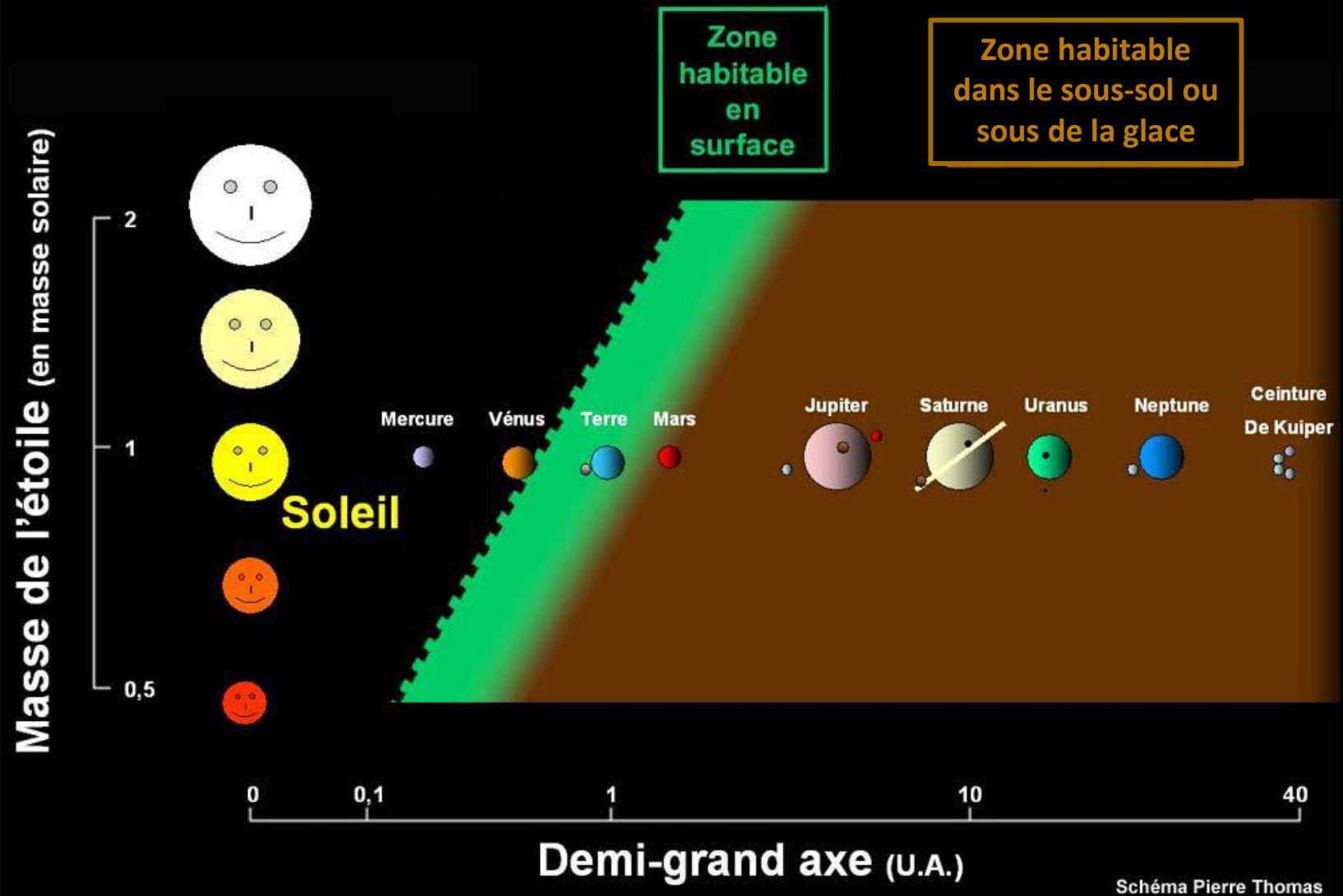


Océan liquide sous la glace

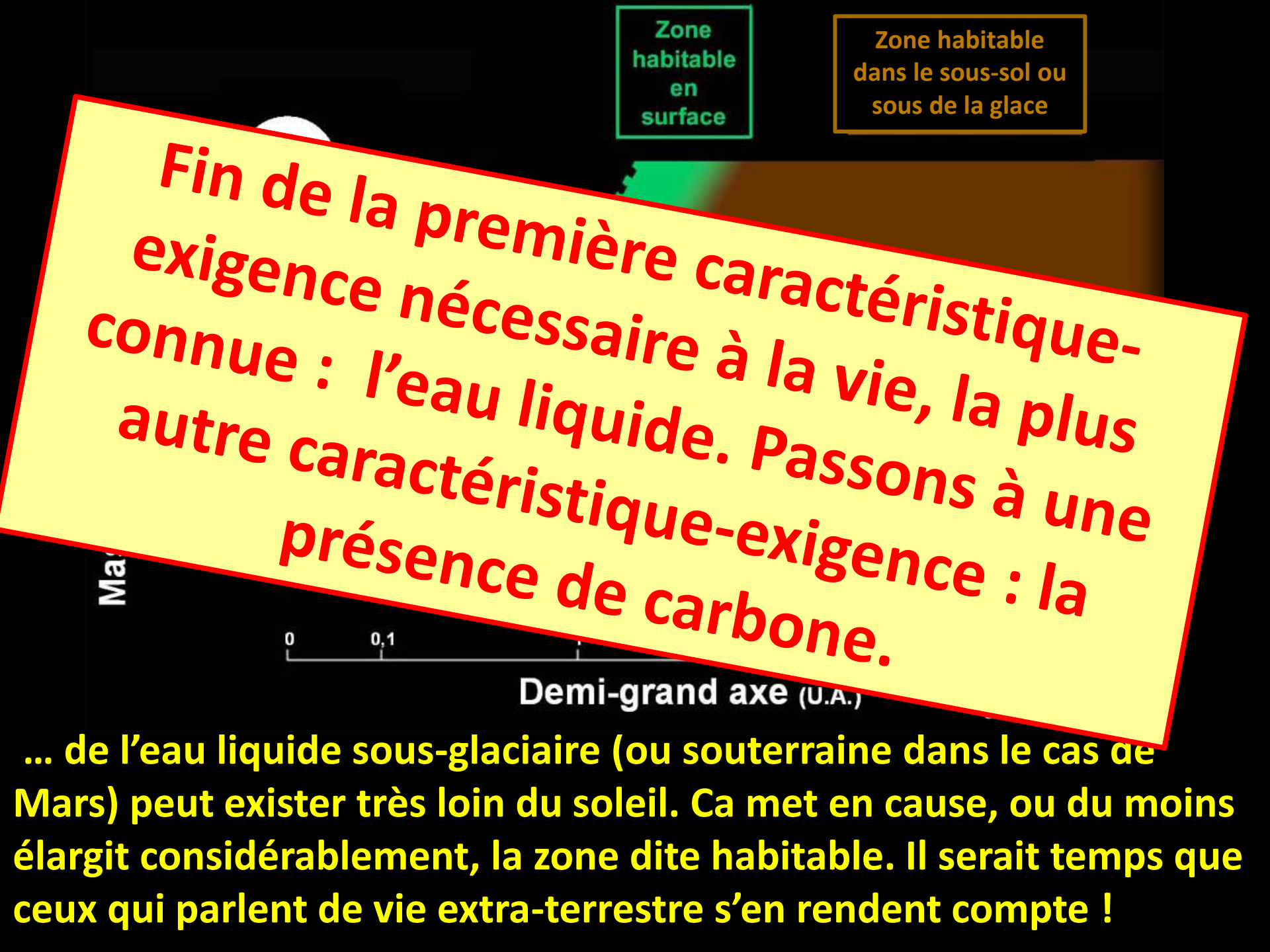
La « faible » épaisseur de la couche d'H₂O et la faible gravité font qu'il n'y a pas de couche de glace Haute Pression à la base de la couche d'eau, qui est au contact avec les roches.



Tout ça permet de revoir la notion classique (et très imparfaite) de zone habitable (ou de fenêtre d'habilité). Europe, Encelade ... sont très largement en dehors. Mais ...



... de l'eau liquide sous-glaciaire (ou souterraine dans le cas de Mars) peut exister très loin du soleil. Ca met en cause, ou du moins élargit considérablement, la zone dite habitable. Il serait temps que ceux qui parlent de vie extra-terrestre s'en rendent compte !



Zone habitable en surface

Zone habitable dans le sous-sol ou sous de la glace

Fin de la première caractéristique-exigence nécessaire à la vie, la plus connue : l'eau liquide. Passons à une autre caractéristique-exigence : la présence de carbone.

Demi-grand axe (U.A.)

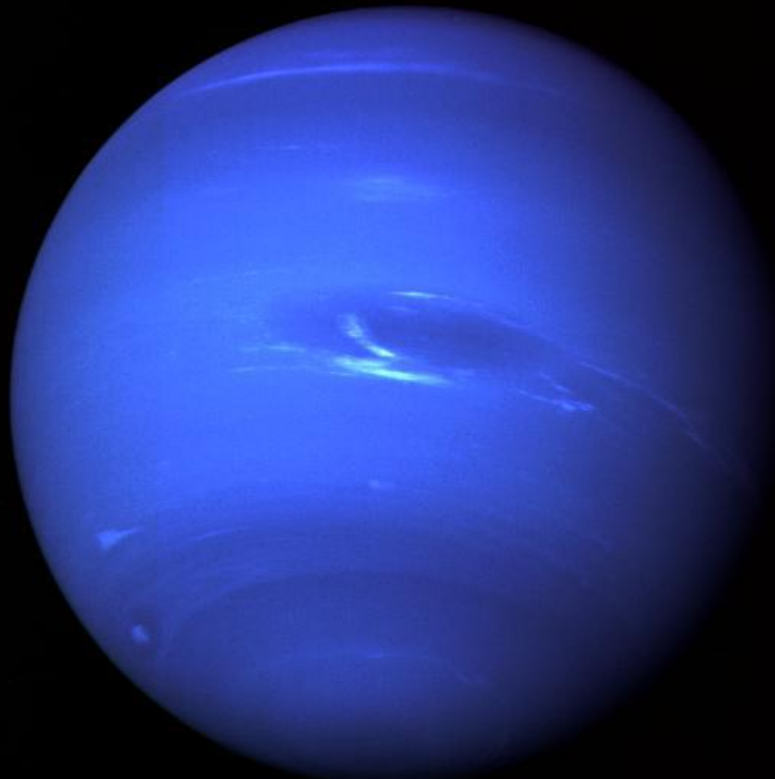
... de l'eau liquide sous-glaciaire (ou souterraine dans le cas de Mars) peut exister très loin du soleil. Ca met en cause, ou du moins élargit considérablement, la zone dite habitable. Il serait temps que ceux qui parlent de vie extra-terrestre s'en rendent compte !

Où y a t-il (et y a t-il eu) du carbone et des molécules carbonées simples dans le Système Solaire ?

CO_2 , CH_4 et autres petites molécules carbonées sont présents « partout », de l'atmosphère de Vénus aux comètes en passant par les planètes géantes ...



Vénus



Neptune



Comète Hale Bopp

Où y a t-il (et y a t-il eu) du carbone et de la matière organique (simple) dans le Système Solaire ?
CO₂, « tout », de l'atmosphère
de
gé

Fin très rapide d'une autre caractéristique-exigence nécessaire à la vie : le carbone. Passons à une autre caractéristique, nécessaire au début de la vie : la présence de molécules carbonées complexes.



Vénus



Neptune



Comète Hale Bopp

Où y a t-il eu des molécules carbonées complexes dans le Système Solaire pour que la vie ait pu (puisse) débuter ?

Première possibilité : il en est tombé (et en tombe encore) partout et en abondance dans le 1^{er} milliard d'années du Système solaire via les comètes et les météorites.



1 cm

Chondrite carbonée, jusqu'à 5 % de carbone organique



Les comètes, avec carbone organique sous forme de fonctions complexes variées, dont la fonction



La matière carbonée dans les chondrites dites « carbonées » : jusqu'à 5 % en poids

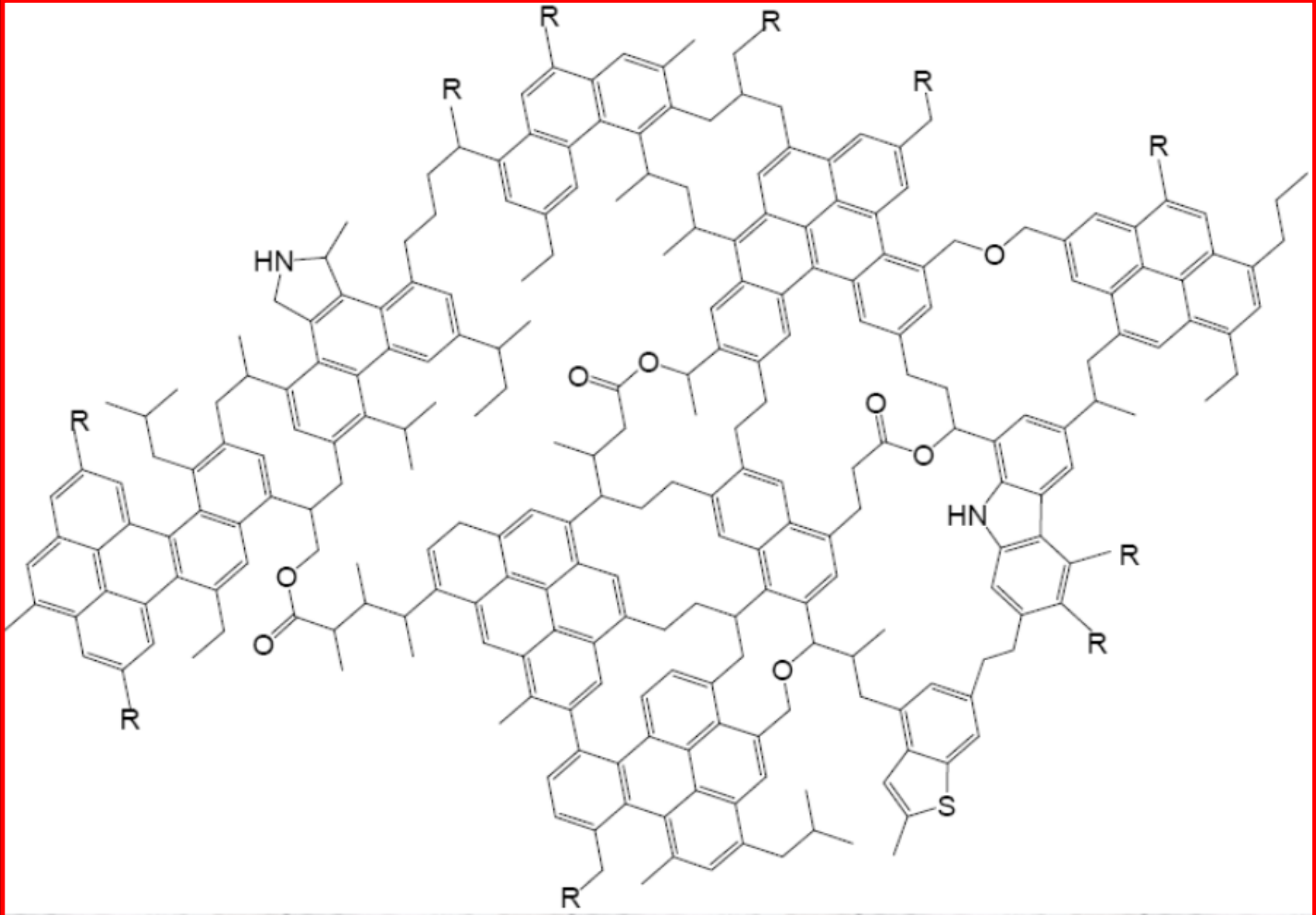


Majoritairement sous forme
de macromolécules
insolubles (MOI)

Une faible proportion est
constituée de molécules
solubles (dans l'eau ou
d'autres solvants)

Questions : quelles sont ces molécules ?

Les macromolécules carbonées ont une formule structurale qui ressemble à ça !



Les composés organiques solubles, donc facilement analysables, mais minoritaires. Connus depuis longtemps, mais on soupçonnait la contamination terrestre

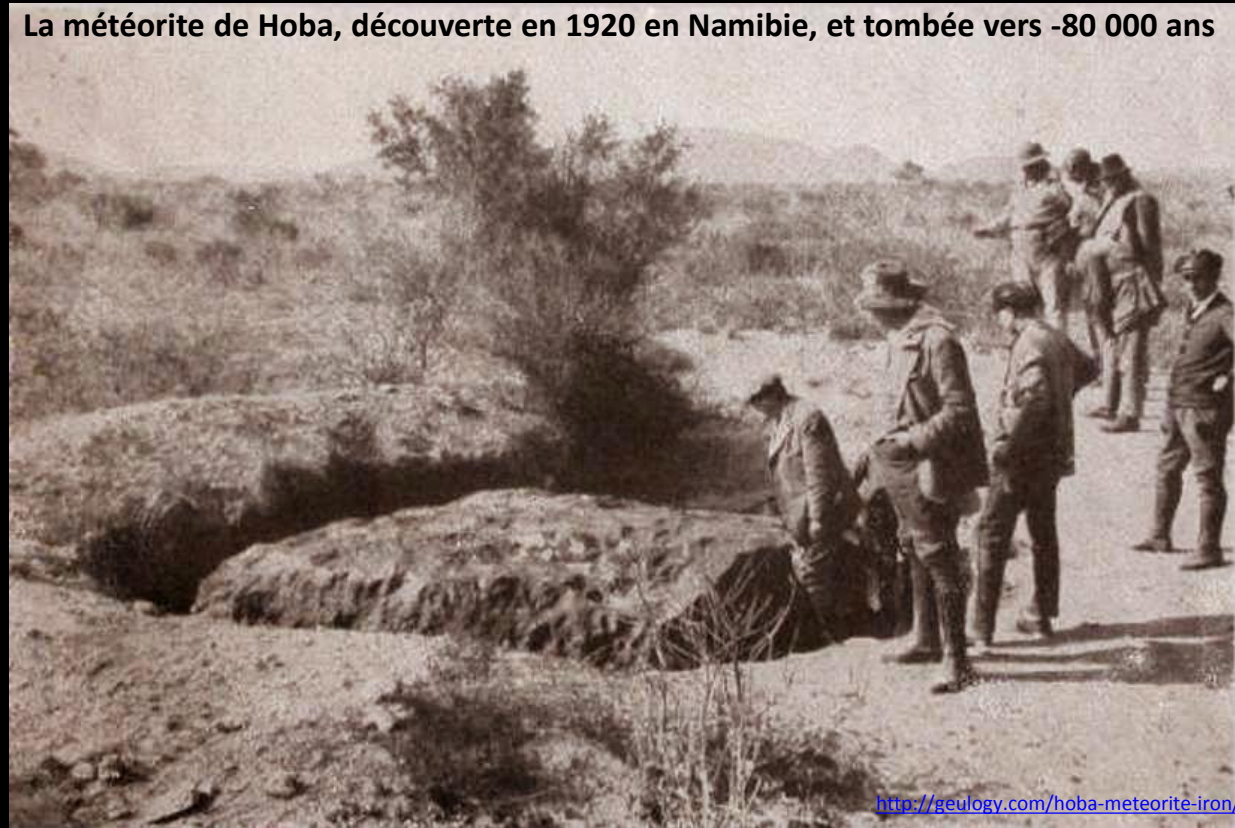
Concentrations and Molecular Characteristics of Soluble Organic Compounds of Meteorites^a

Class	1 Concentration (ppm)	2 Compounds Identified	3 Chain Length	4 Homologous Decline	5 Branched- or Straight-Chain Predominance	6 Structural Diversity	7 Chirality
<u>Amino acids</u>	60	74	C ₂ -C ₇	yes	Br	yes	R
Aliphatic hydrocarbons	> 35	140	C ₁ -C _{≈23}	?	$\left\{ \begin{array}{l} < C_{10} \text{Br} \\ > C_{10} \text{St} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{yes} \\ \text{no} \end{array} \right.$	?
Aromatic hydrocarbons	15-28	87	C ₆ -C ₂₀	NA	(Br)	yes	?
Carboxylic acids	> 300	20	C ₂ -C ₁₂	yes	Br	yes	?
Dicarboxylic acids	> 30	17	C ₂ -C ₉	yes	Br	yes	R
Hydroxycarboxylic acids	15	7	C ₂ -C ₆	yes	St	yes	R
<u>Purines & Pyrimidines</u>	1.3	5	NA	NA	NA	no	NA
Basic N-heterocycles	7	32	NA	NA	NA	yes	?
Amines	8	10	C ₁ -C ₄	yes	Br	yes	?
Amides	55-70	> 2	NA	NA	NA	yes	?
Alcohols	11	8	C ₁ -C ₄	yes	?	yes	?
Aldehydes & Ketones	27	9	C ₁ -C ₅	yes	?	yes	?
Total	≥560	411					

^aNA: not applicable; Br: branched; St: straight; R: racemic; ?: unknown.

Le nombre de composés (74 acides aminés !) et les propriétés optiques (mélange 50 % (−ε) D et 50 % (+ε) G montrent l'origine extra-terrestre de ces composés

La météorite de Hoba, découverte en 1920 en Namibie, et tombée vers -80 000 ans



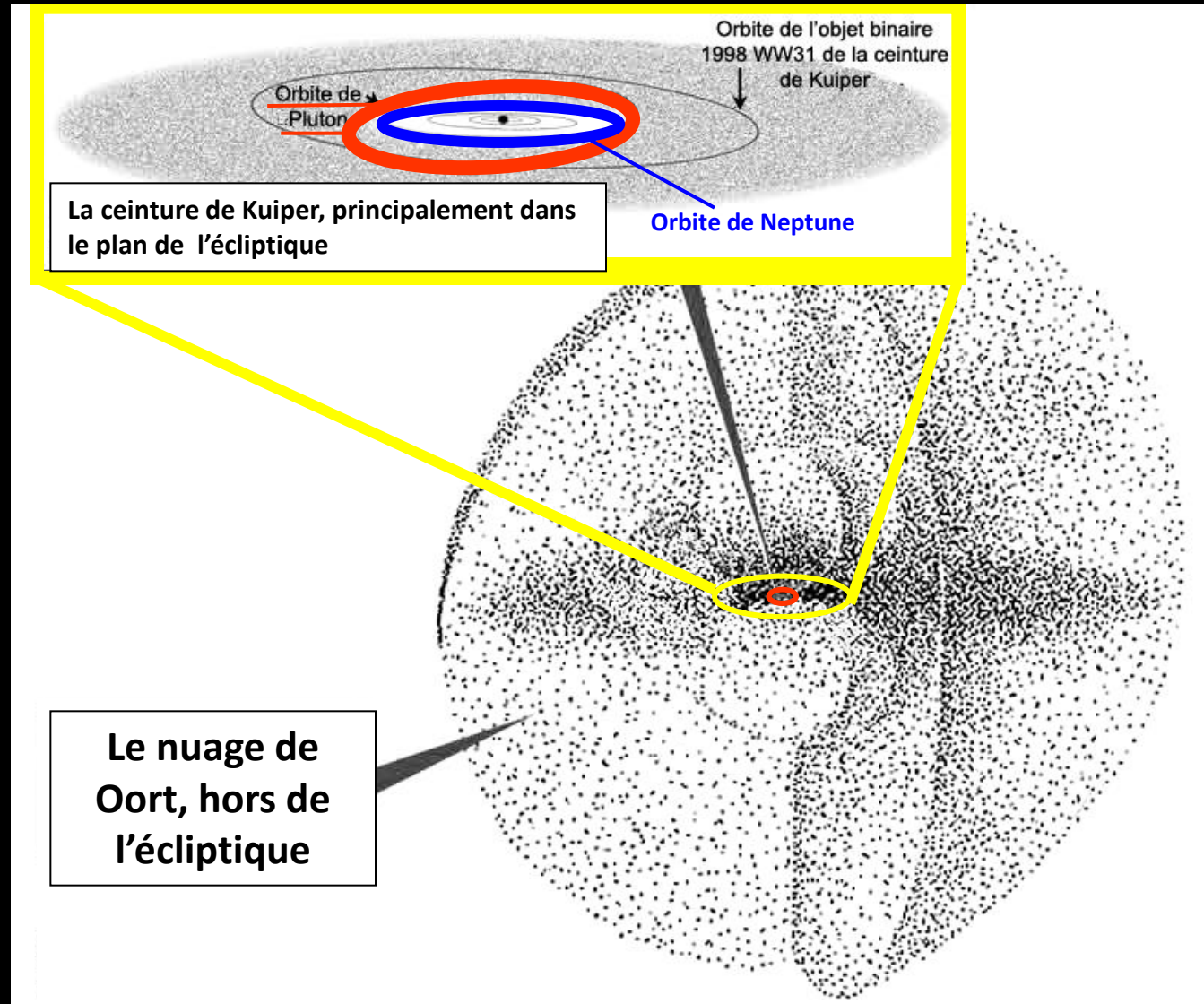
<http://geology.com/hoba-meteorite-iron/>

- Voici le plus gros fragment de météorite jamais trouvé sur Terre. Si c'était une chondrite carbonée, elle contiendrait environ 3 kg de matière organique, dont :**
- 400 g d'hydrocarbures
 - 300 g d'acides aminés (l'équivalent de 5 œufs)
 - 60 g d'alcool
 - 7 g de bases azotés (adénine, guanine ...)
 - ...

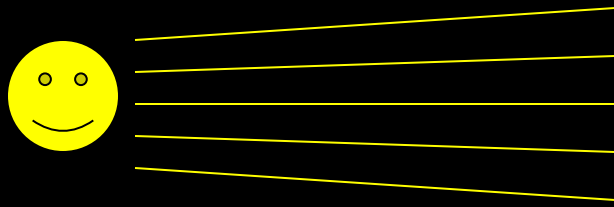


D'autres « fournisseurs » plus lointains, les comètes qui, suite à des perturbations orbitales, viennent de la ceinture de Kuiper ou du nuage de Oort.

Des perturbations orbitales font que, parfois, certains de ces objets s'approchent du soleil et deviennent des comètes



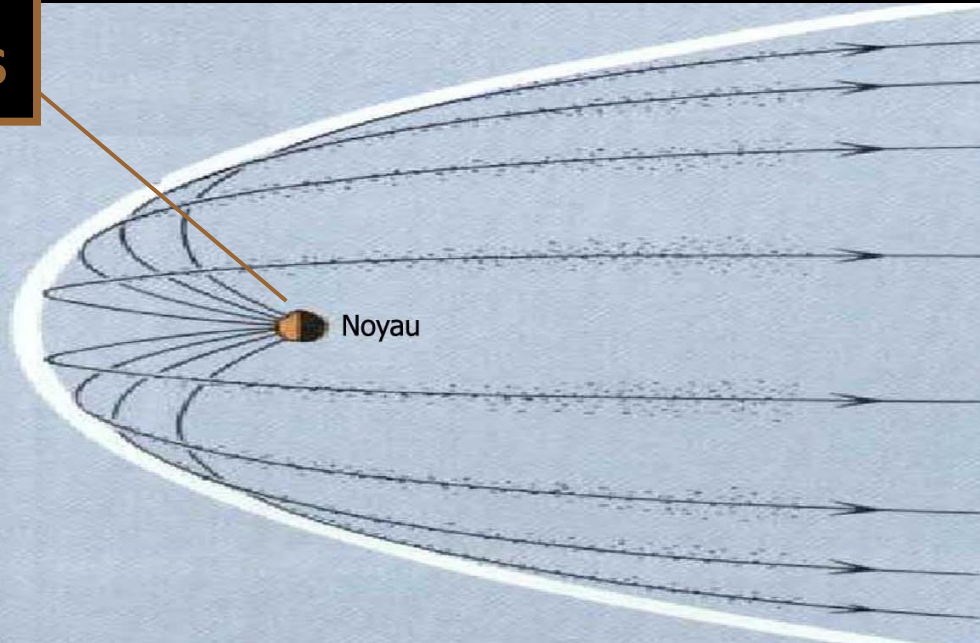
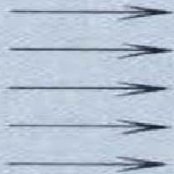
Une comète, comment ça marche ? Près du soleil, la glace du noyau devient vapeur d'eau, déviée par le vent solaire, ce qui forme la célèbre queue



**Noyau de
glaces sales**



Photons et
vent solaire



Déviations des
poussières
par les photons
et le vent solaire
dans la direction
opposée au soleil
--> formation de
la queue

Les molécules et ions (gaz et poussières) cométaires identifiées depuis la Terre

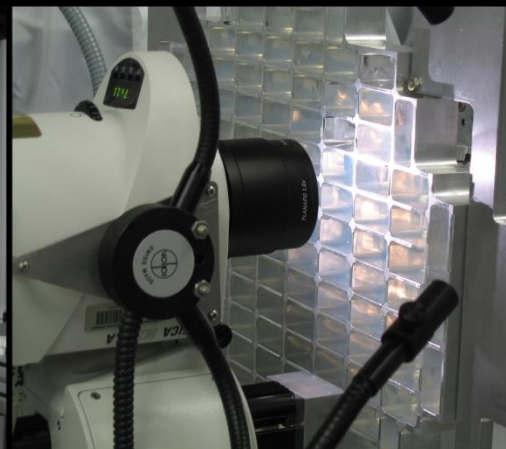


- H_2O , OH , H_2O^+ , H_3O^+ ,
- CO , CO_2 , CO^+ , HCO^+ ,
- H_2S , SO , SO_2 , H_2CS , OCS , CS ,
- CH_3OH , H_2CO , HCOOH , CH_3OCHO ,
- HCN , CH_3CN , HC_3N , HNCO , CN , NH_3 , NH_2 , NH_2CHO , NH ,
- CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6 , CH^+ , C_3 , C_2 ,
- He , Na , K , O^+ ,
- Mg_2SiO_4 (olivine magnésienne)
- ainsi que les variétés isotopiques suivantes :
 HDO , DCN , H^{13}CN , HC^{15}N , C^{34}S

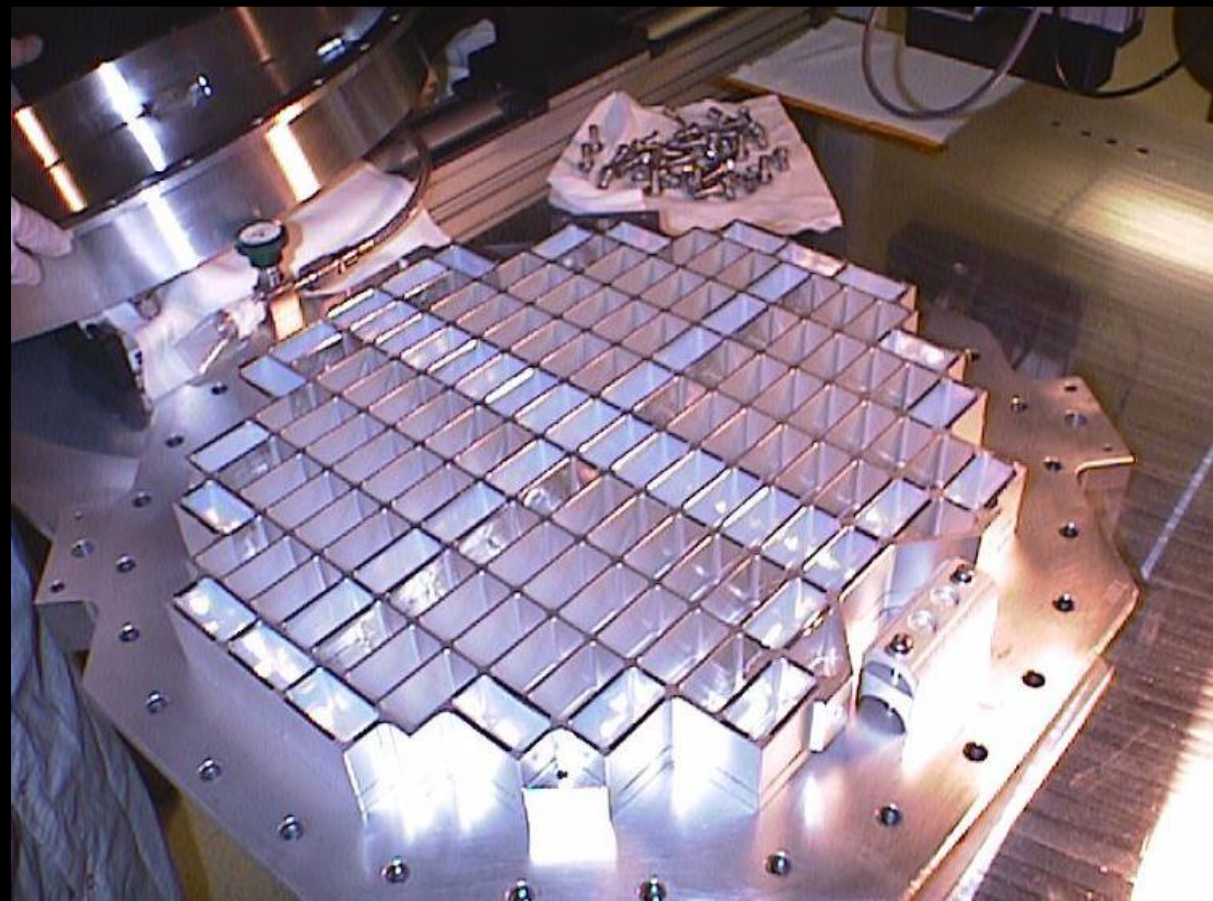


Une sonde, Stardust, a été programmée pour traverser (en 2004) la queue d'une comète (Wild 2). Elle a sorti une « raquette » attrape poussière qu'elle a ramené sur Terre (en 2006)





**Dans les loges
de la raquette,
de l'aérogel,
pour freiner et
capturer les
poussières
(sans trop les
abîmer)**



**Gros plan (en coupe) sur
un de ces fragments
d'aérogel.**

**Les grains noirs, au bout
des traces, sont des
micro-grains cométaires,
dont la taille « standard »
est celle d'un globule
rouge unique (7 μ). Ce
sont ces micro-grains qu'il
s'agit d'analyser, dans un
premier temps sans les
détruire.**



C,N,O-XANES analyses of thin sections of individual grains confirm the presence of 1s- * transitions consistent with variable abundances of aromatic, keto/aldehydic, and carboxyl moieties, as well as amides and nitriles ([Fig. 3A](#)). XANES data suggest that considerably less H- and C-substituted sp²-bonded C (olefinic and aromatic) is present than in highly primitive chondritic organic matter. Aliphatic C likely contributes to spectral intensity around 288 eV in most of the particles. One particle (particle 1 in [Fig. 3A](#)) has remarkably simple C chemistry, consistent with a predominance of alcohol and/or ether moieties. However, the XANES data generally indicate complex molecular structures variably rich in hetero atoms O and N and, compared with the macromolecular material in primitive meteorites, containing additional materials that are relatively poor in aromatic and olefinic C. The high abundances of heteroatoms and the low concentration of aromatic C in these organics differ greatly from the acid insoluble organic matter in meteorites and , in terms of thermal processing, appear to be more primitive.



Dernière nouvelle de cette comète (17 août 2009) :

**Jet Propulsion Laboratory**
California Institute of Technology

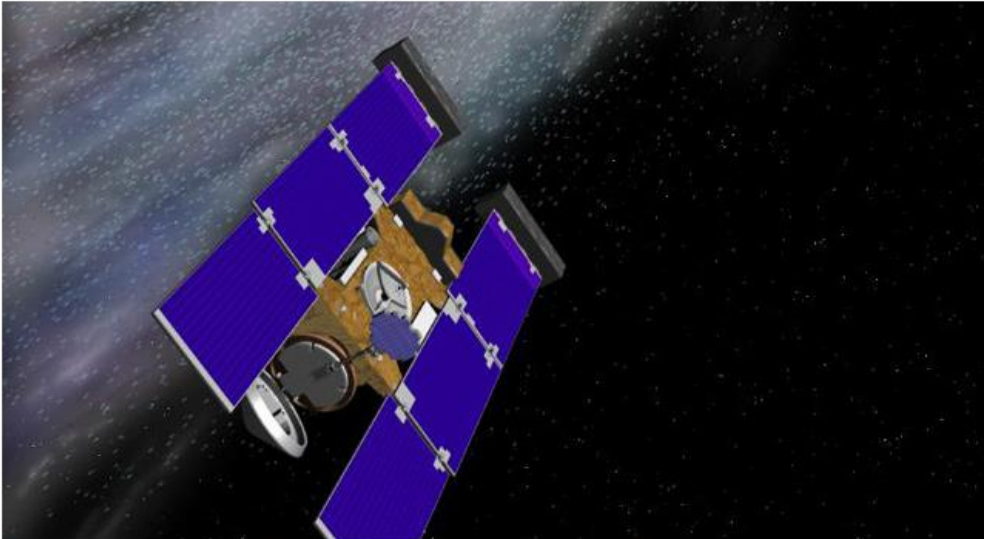
JPL HOME EARTH SOLAR SYSTEM STARS & GALAXIES SCIENCE & TECHNOLOGY
BRING THE UNIVERSE TO YOU: JPL Email News | RSS | Podcast | Video

News Missions Multimedia Kids Education Public Events Work at JPL About JPL

NEWS & FEATURES Text Size

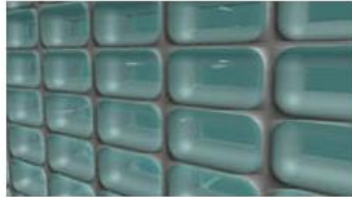
LATEST NEWS | BLOG | MEDIA ROOM | PRESS KITS | FACT SHEETS | PROFILES

NASA Researchers Make First Discovery of Life's Building Block in Comet



This is an artist's concept of the Stardust spacecraft beginning its flight through gas and dust around comet Wild 2. The white area represents the comet. The collection grid is the tennis-racket-shaped object extending out from the back of the spacecraft. Credit: NASA/JPL

Images



This is an artist's concept of particle hits on the aerogel collection grid. The greenish areas represent the aerogel. Hits are the light green teardrop-shaped areas. Particles are represented by dots at the tips of the teardrops. Credit: NASA/JPL

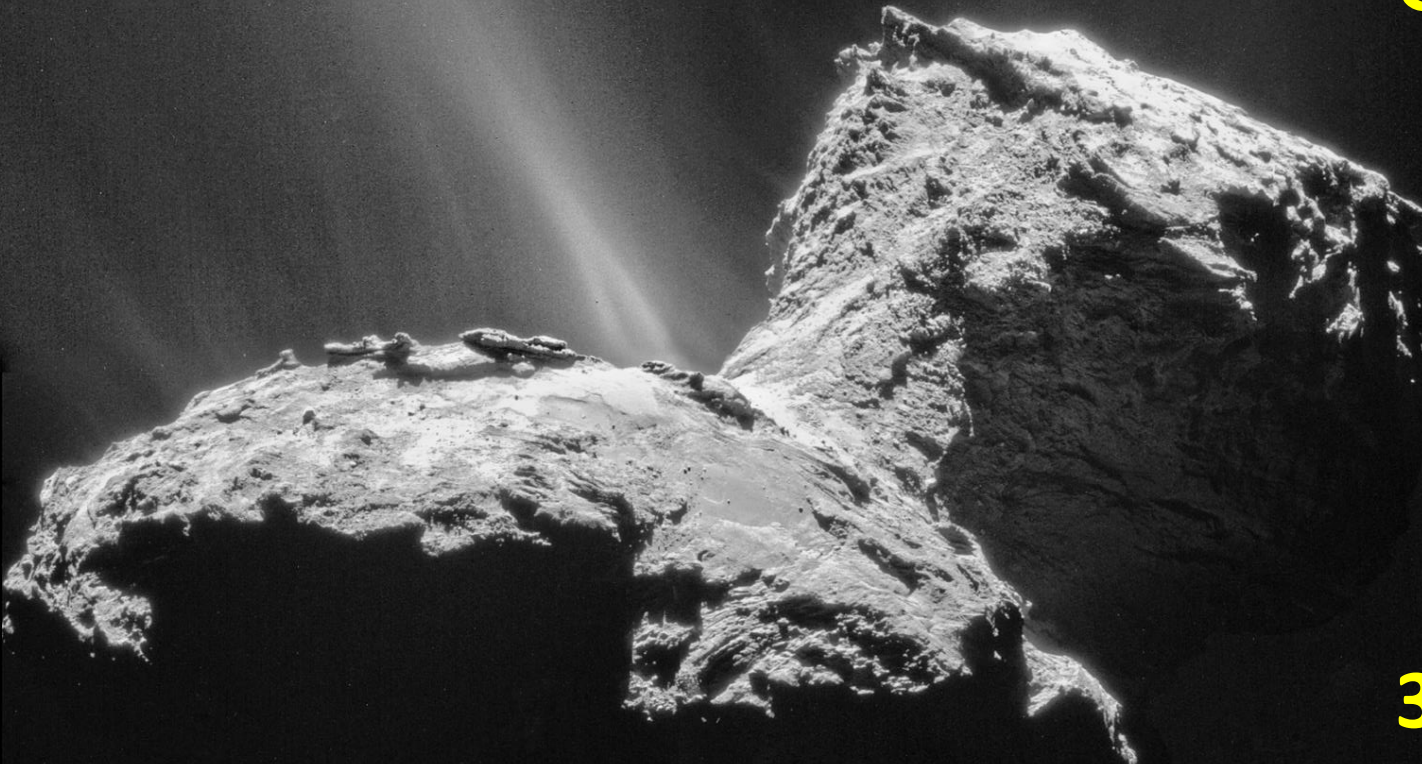
[enlarge image](#)

Related Links

[Stardust site](#)

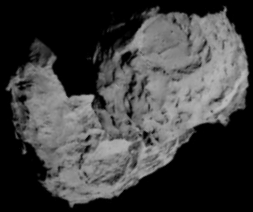
August 17, 2009. PASADENA, Cal -- NASA scientists have discovered **glycine**, a fundamental buyilding block of life, in samples of comet Wild 2 returned by NASA Stardust spacecraft

**Et bien sur
Churyumov-
Gérasimenko,
avec Rosetta
qui s'y est
mise en
orbite du
6 aout 2014
jusqu'au
30 septembre
2016 et Philae
qui s'y est
(mal) posé.**



<https://www.flickr.com/photos/lunext/16271680510/in/set-72157640456168396>

31 janvier 2015



6 août 2014



6 août 2015

http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/08/Comet_on_6_August_2014_and_6_August_2015

La comète au moment de l'arrivée de Rosetta, et un an après, presque au moment du périhélie (13 août 2015). On voit l'augmentation du dégazage.



**Une brutale éjection
le 12 août 2015**

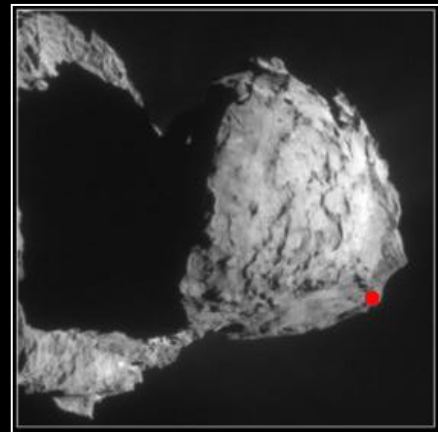
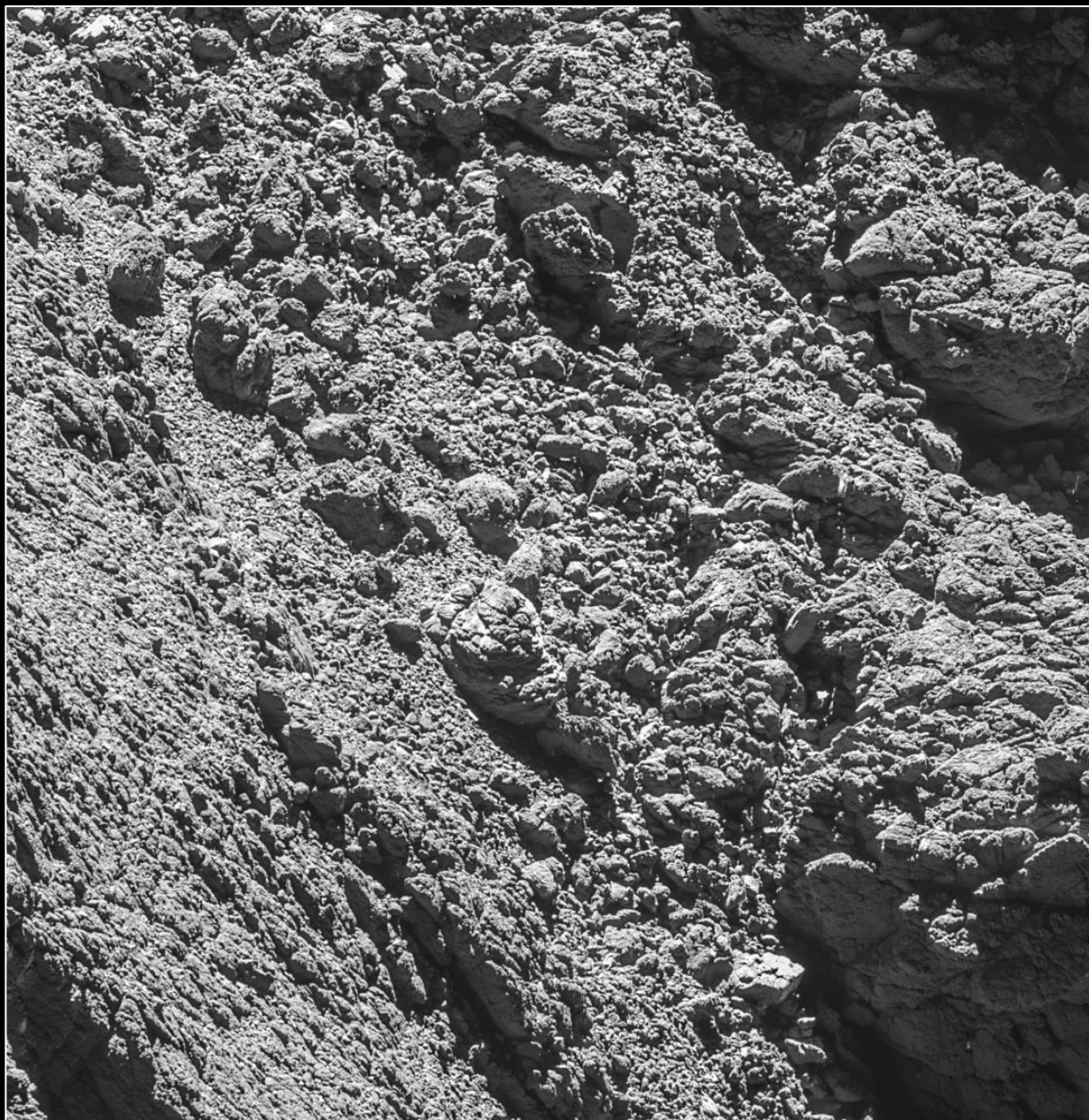
**Zone du
1^{er} contact**

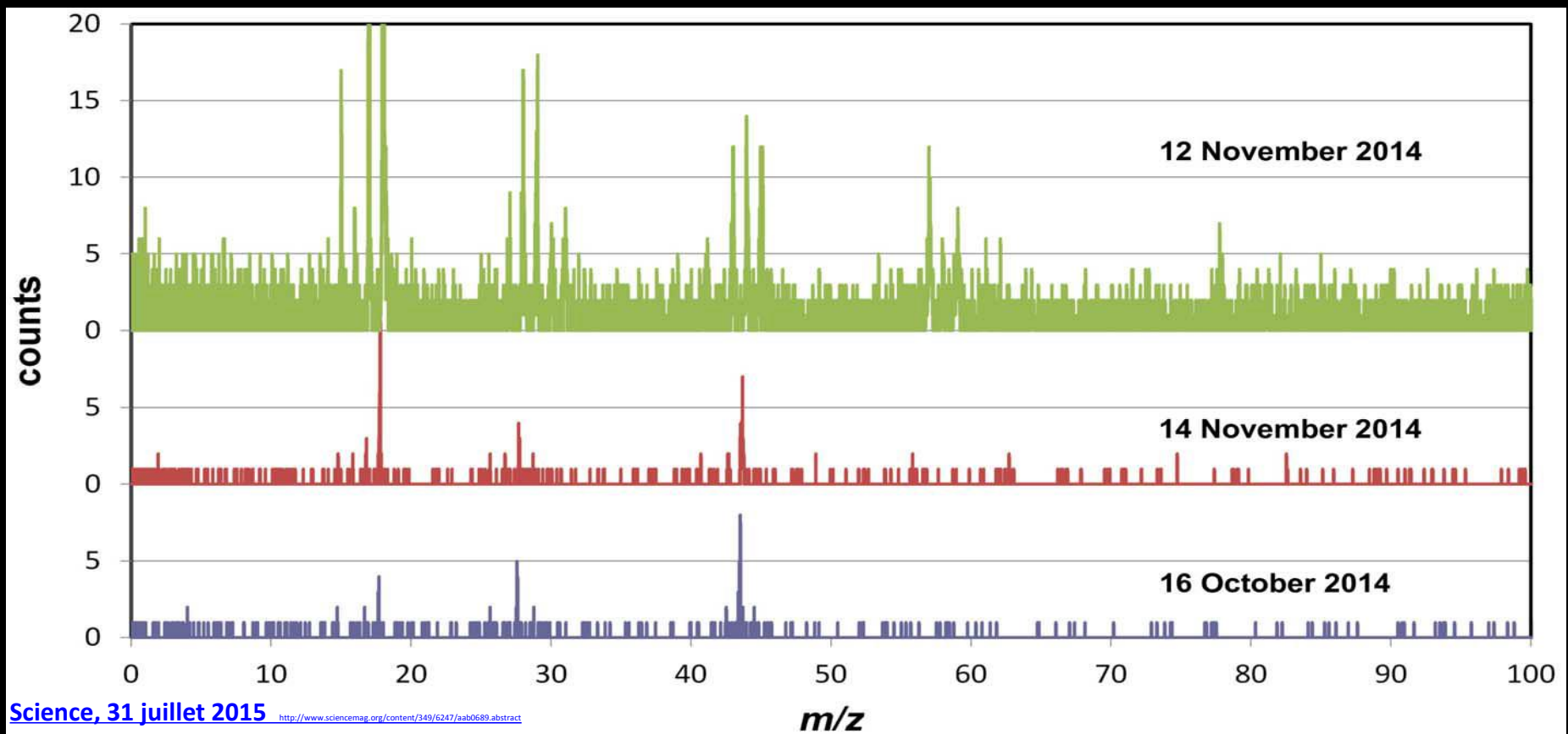
**L'odyssée
semi-ratée
de Philae**

**Zone de
l'immobilisation
définitive**

**Une trajectoire possible
de Philae (perspective non
garantie)**

Voici Philae couché à l'ombre d'un bloc.





Science, 31 juillet 2015 <http://www.sciencemag.org/content/349/6247/sab0689.abstract>

Les résultats de COSAC, le chromatographe/spectromètre de masse de Philae qui analyse les molécules volatiles :

En vert, 25 mn après le 1^{er} choc, en survolant la surface au soleil à 100 m d'altitude.

En bleu, avant l'atterrissage, à 10 km de la surface.

En rouge, 2 jours après l'immobilisation à l'ombre

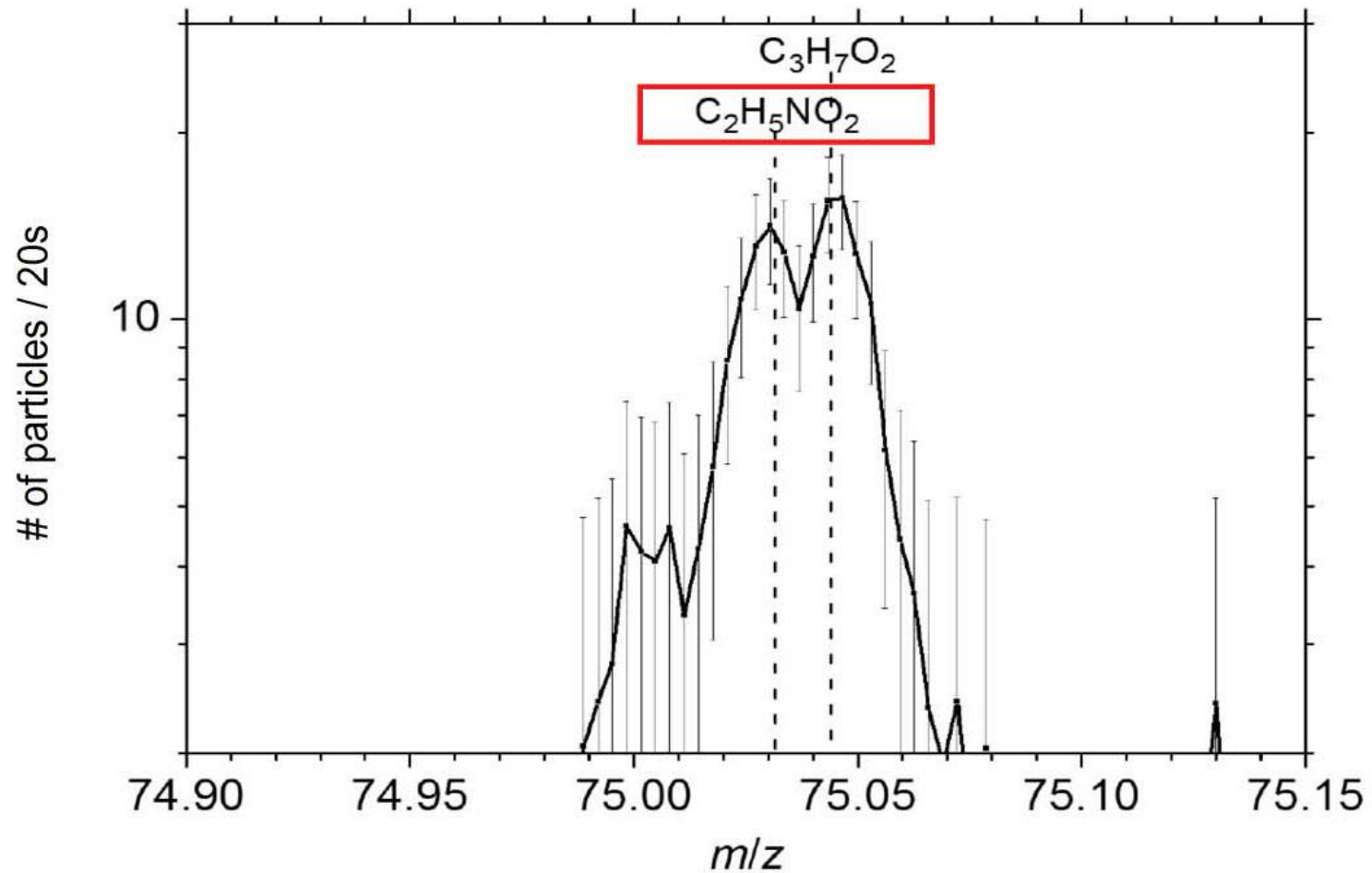
Table 1. The 16 molecules used to fit the COSAC mass spectrum.

Name	Formula	Molar mass (u)	MS fraction	Relative to water
Water	H ₂ O	18	80.92	100
Methane	CH ₄	16	0.70	0.5
Methanenitrile (hydrogen cyanide)	HCN	27	1.06	0.9
Carbon monoxide	CO	28	1.09	1.2
Methylamine	CH ₃ NH ₂	31	1.19	0.6
Ethanenitrile (acetonitrile)	CH ₃ CN	41	0.55	0.3
Isocyanic acid	HNCO	43	0.47	0.3
Ethanal (acetaldehyde)	CH ₃ CHO	44	1.01	0.5
Methanamide (formamide)	HCONH ₂	45	3.73	1.8
Ethylamine	C ₂ H ₅ NH ₂	45	0.72	0.3
Isocyanomethane (methyl isocyanate)	CH ₃ NCO	57	3.13	1.3
Propanone (acetone)	CH ₃ COCH ₃	58	1.02	0.3
Propanal (propionaldehyde)	C ₂ H ₅ CHO	58	0.44	0.1
Ethanamide (acetamide)	CH ₃ CONH ₂	59	2.20	0.7
2-Hydroxyethanal (glycolaldehyde)	CH ₂ OHCHO	60	0.98	0.4
1,2-Ethanediol (ethylene glycol)	CH ₂ (OH)CH ₂ (OH)	62	0.79	0.2

Science, 31 juillet 2015 <http://www.sciencemag.org/content/349/6247/aab0689.abstract>

Traduction : voici la liste des molécules auxquelles ces spectres correspondent probablement.

Glycine detection



http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_s_comet_contains_ingredients_for_life

Et en mai 2016, l'ESA annonce qu'un acide aminé, la glycine, a été détecté dans la comète Chury. Mais quel dommage que Philae n'ait pas pu tout faire ce qui était prévu et n'ait fonctionné que 48h !

→ THE COMETARY ZOO: GASES DETECTED BY ROSETTA



THE LONG CARBON CHAINS

Methane
Ethane
Propane
Butane
Pentane
Hexane
Heptane



THE AROMATIC RING COMPOUNDS

Benzene
Toluene
Xylene
Benzoic acid
Naphthalene



THE KING OF THE ZOO

Glycine (amino acid)



THE "MANURE SMELL" MOLECULES

Ammonia
Methylamine
Ethylamine



THE "POISONOUS" MOLECULES

Acetylene
Hydrogen cyanide
Acetonitrile
Formaldehyde



THE ALCOHOLS

Methanol
Ethanol
Propanol
Butanol
Pentanol



THE VOLATILES

Nitrogen
Oxygen
Hydrogen peroxide
Carbon monoxide
Carbon dioxide



THE "SMELLY" MOLECULES

Hydrogensulphide
Carbonylsulphide
Sulphur monoxide
Sulphur dioxide
Carbon disulphide



THE "SMELLY AND COLOURFUL"

Sulphur
Disulphur
Trisulphur
Tetrasulphur
Methanethiol
Ethanethiol
Thioformaldehyde



THE TREASURES WITH A HARD CRUST

Sodium
Potassium
Silicon
Magnesium



THE "SALTY" BEASTS

Hydrogen fluoride
Hydrogen chloride
Hydrogen bromide
Phosphorus
Chloromethane



THE BEAUTIFUL AND SOLITARY

Argon
Krypton
Xenon



THE "EXOTIC" MOLECULES

Formic acid
Acetic acid
Acetaldehyde
Ethylenglycol
Propylenglycol
Butanamide



THE MOLECULE IN DISGUISE

Cyanogen



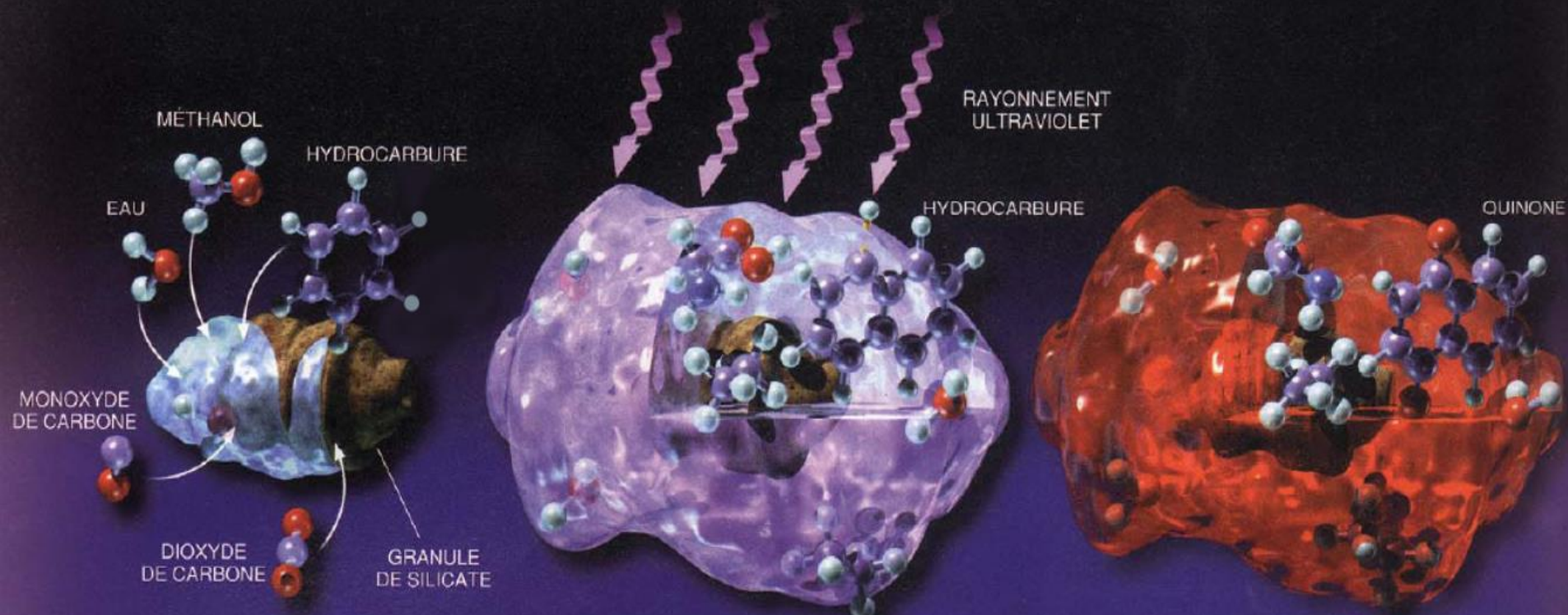
www.esa.int

Credits: Based on data from ROSINA

European Space Agency

Résumé : Rosetta et Philae ont détecté tout un « zoo » de molécules variées. Je n'en citerai que deux : la glycine (un acide aminé) et l'alcool éthylique, avec lequel on va trinquer.

D'où viennent ces molécules complexes qu'on trouve dans certaines météorites et dans les comètes ? De réactions de polymérisations entre les petites molécules omniprésentes dans le système solaire sous l'action des rayons cosmiques et des rayons UV.



Grains de silicates recouvert de « Givre », où se passent des réactions de complexification sous l'action des UV et du rayonnement cosmique

Bernstein et al., PLS 1999

D'où viennent ces macromolécules complexes qu'on trouve dans certaines météorites et dans les comètes ?
D'où viennent ces polymérisations entre les petites molécules dans le système solaire sous les rayons UV.

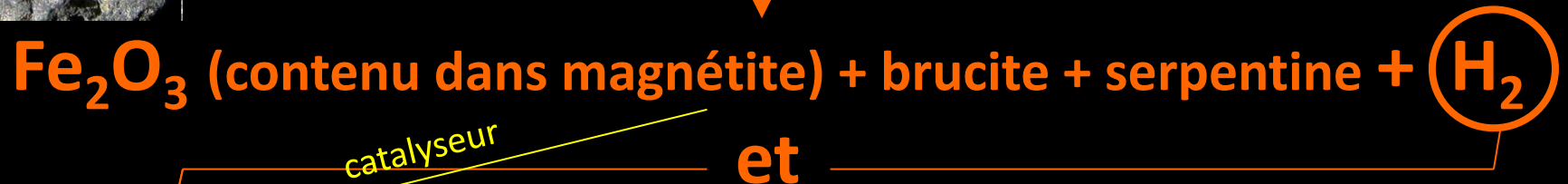
**Météorites et comètes correspondent à la 1^{ère} possibilité quand à l'origine de ces molécules organiques complexes (molécules pré-biotiques) nécessaires à l'origine de la vie.
Il existe une deuxième origine possible.**



Grains de silicates recouvert de « Givre », où se passent des réactions de complexification sous l'action des UV et du rayonnement cosmique

Bernstein et al., PLS 1999

Deuxième possibilité : dès qu'il y a du Fe^{++} (contenu dans des silicates) au contact d'eau (liquide, gazeuse ou supercritique) à une température $\geq 80^\circ\text{C}$, il peut se produire des réactions connues sous le nom de Réactions de type Fischer-Tropsch.



catalyseur



C'est comme ça
que les Allemands
faisaient leur
essence à la fin de
la Guerre



Deuxième possibilité : dès qu'il y a du Fe^{++} (contenu dans des silicates) au contact d'eau (liquide, gazeuse ou supercritique) à une température $\geq 80^\circ\text{C}$, il peut se produire des réactions connues sous le nom de Réactions de type Fischer-Tropsch.



Réactions de type
Fischer-Tropsch (1923)



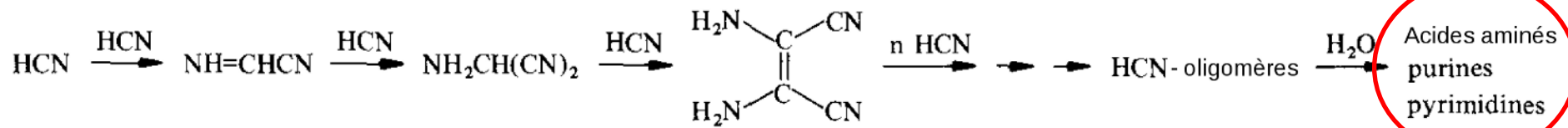
C'est comme ça
que les Allemands
faisaient leur
essence à la fin de
la Guerre





Une preuve que ce type de réaction est possible dans la nature : un mélange de méthane, d'éthane, de propane, d'hydrogène ... sort de ce substrat de serpentine en Turquie.

Et à ces réactions de types Fischer-Tropsch peuvent s'associer des réactions de type Strecker (1850)



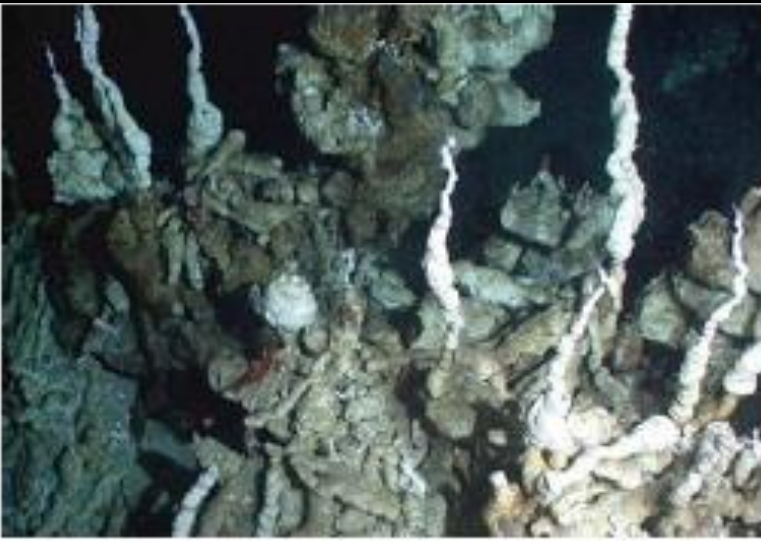
Strecker



Fischer



Tropsch



De telles synthèses sont observées dans les sources hydrothermale à Ph alcalin, c'est-à-dire sur les sources hydrothermales sur périclites

Deuxième possibilité : dès qu'il y a du Fe^{++} (contenu dans des silicates) et un acide gazeux ou supercritique) des réactions

Ces réactions

eau + silicates (avec fer) + CO_2 + NH_3 + HCN + ...



quelques molécules carbonées, oxygénées et azotées complexes

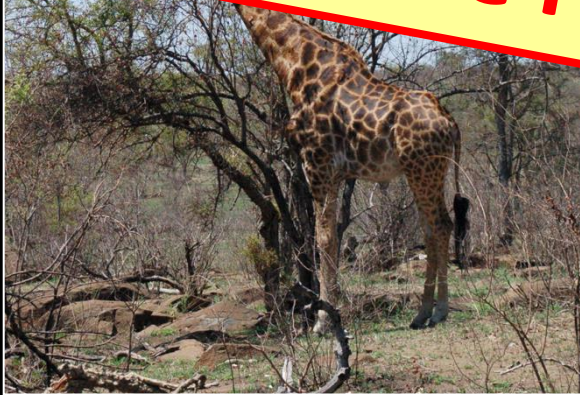
semblent assez spontanées si le Ph n'est pas acide !

essence à la
la Guerre



En plus de l'eau liquide et du carbone, la vie a besoin d'énergie, au moins au départ des « chaînes alimentaires » ! Sur Terre, la principale (ou du moins la plus importante) source d'énergie, c'est la lumière solaire.

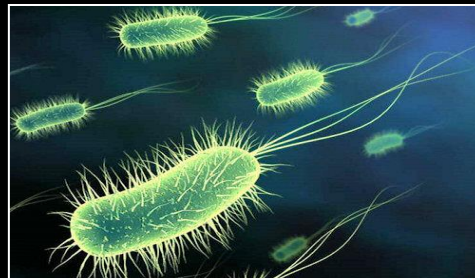
Dernière caractéristique-exigence nécessaire à la perpétuation de la vie une fois qu'elle est apparue : de l'énergie « noble ».



Soleil → arbre → girafe



Lion

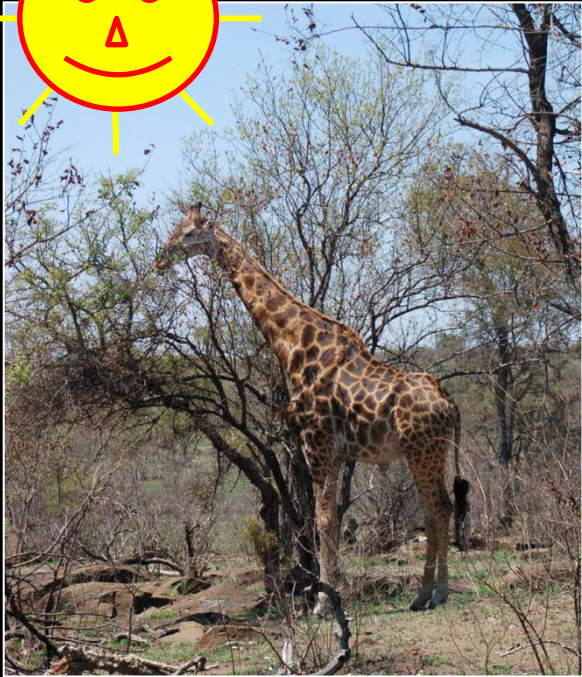
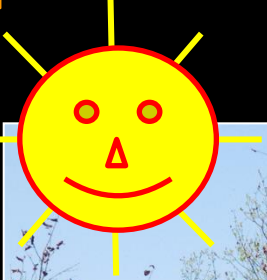


Bactérie



Puce

En plus de l'eau liquide et du carbone, la vie a besoin d'énergie, au moins au départ des « chaînes alimentaires » ! Sur Terre, la principale (ou du moins la plus connue) de cette énergie, c'est la lumière solaire.



Soleil → arbre → girafe



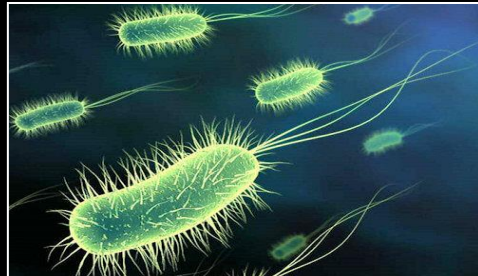
Lion



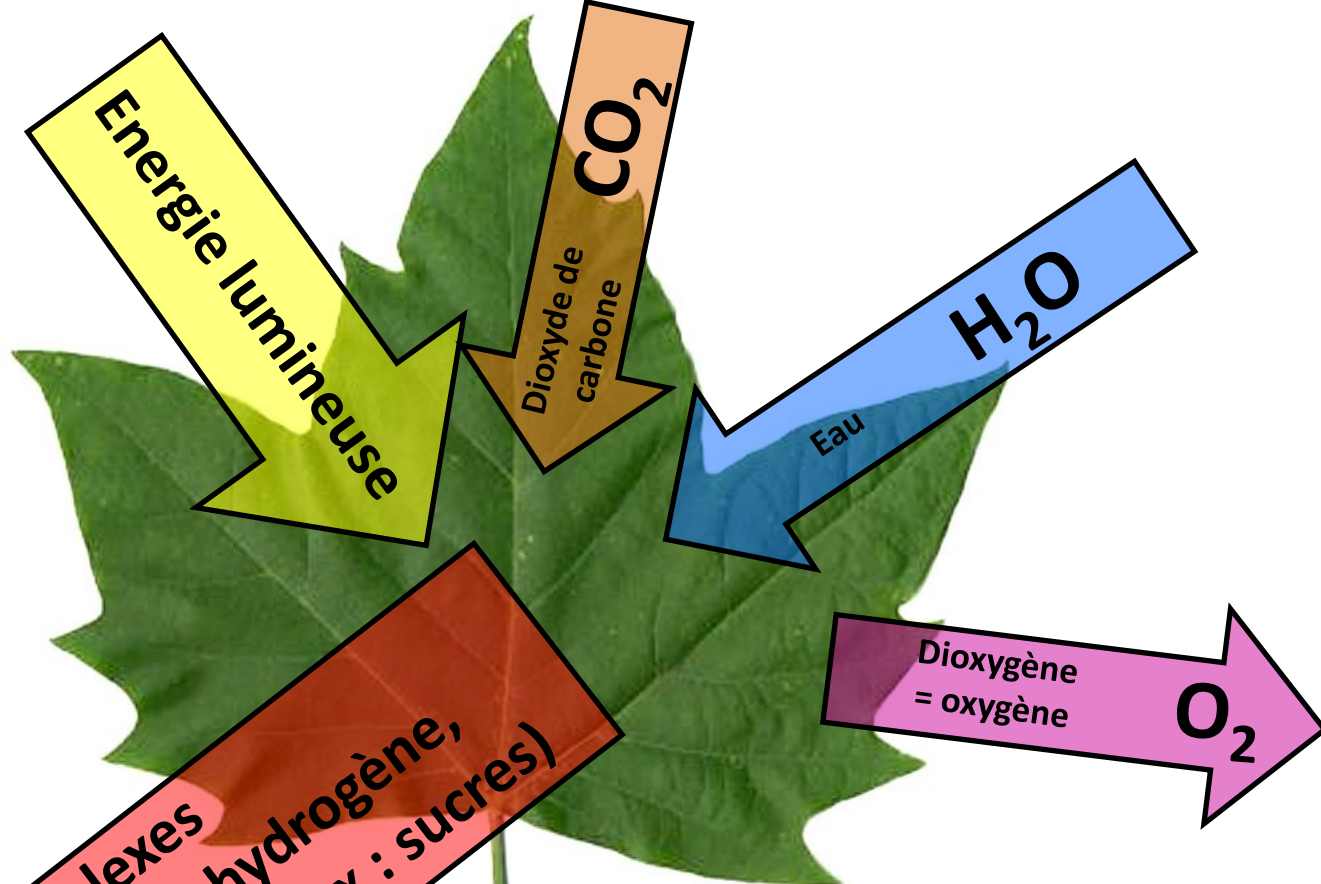
Vautour



Puce

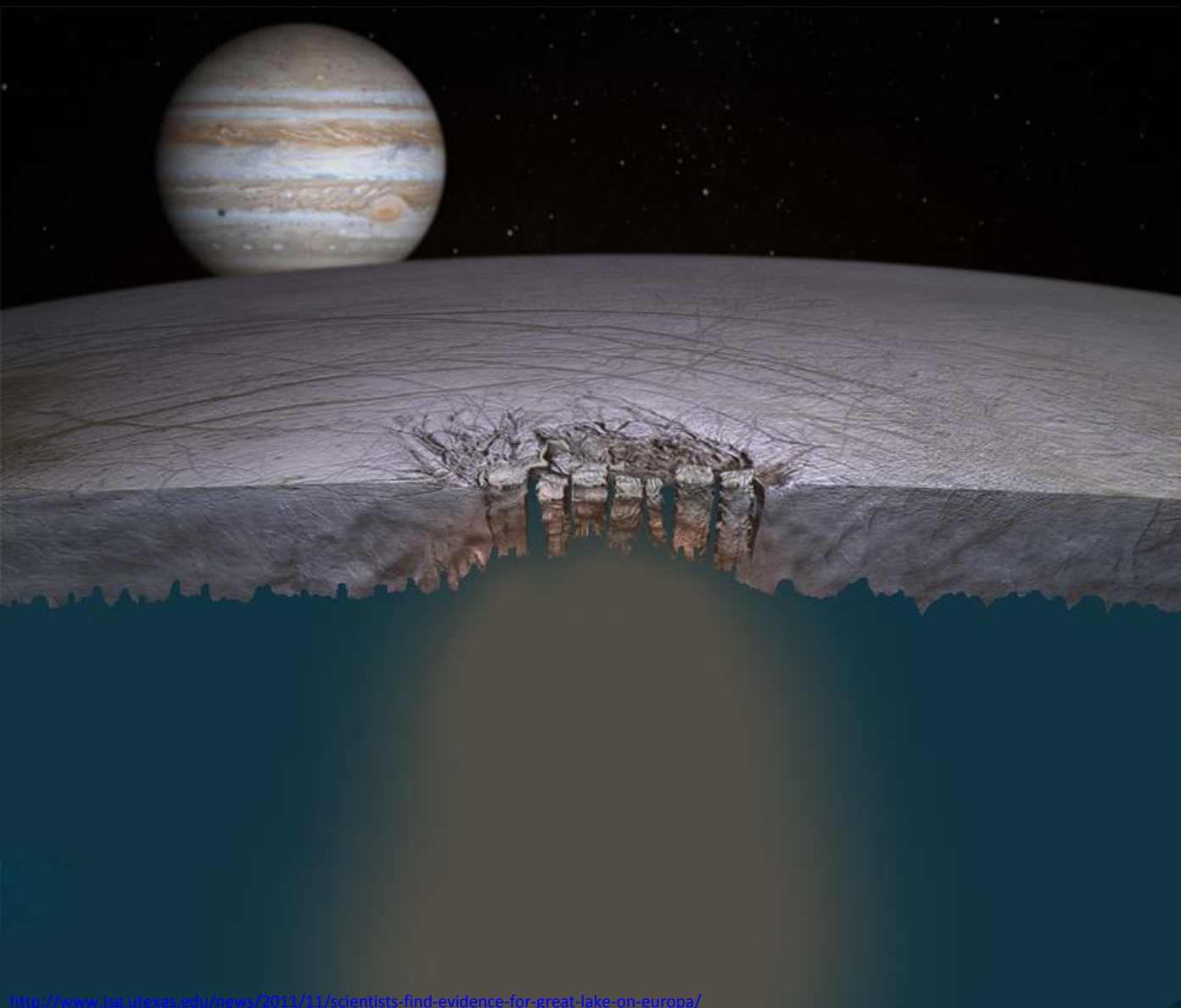


Bactérie



Molécules complexes
contenant carbone, hydrogène,
oxygène ... et énergie (ex : sucres)

C'est la photosynthèse
qui permet l'utilisation
de cette énergie
lumineuse solaire

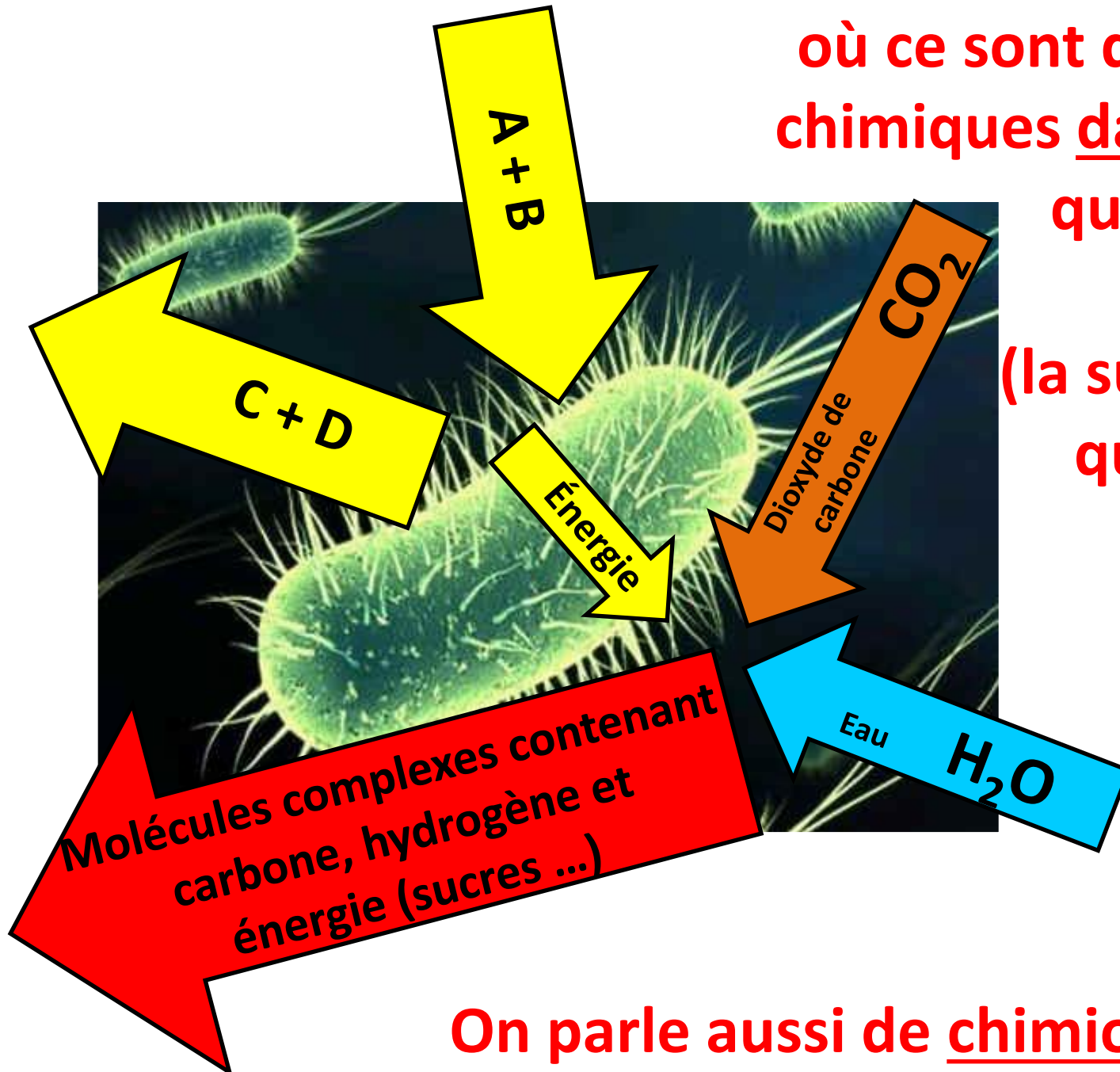


<http://www.jsg.utexas.edu/news/2011/11/scientists-find-evidence-for-great-lake-on-europa/>

Bien sur, aucune lumière dans l'océan profond d'Europe ou d'Encelade, ni dans le sous-sol de Mars !

Mais sur Terre, il y a aussi la chimiosynthèse,
où ce sont des réactions
chimiques dans la cellule
qui fournissent
de l'énergie
(la suite est pres-
que la même).

De très
nombreuses
bactéries
savent faire
cela !

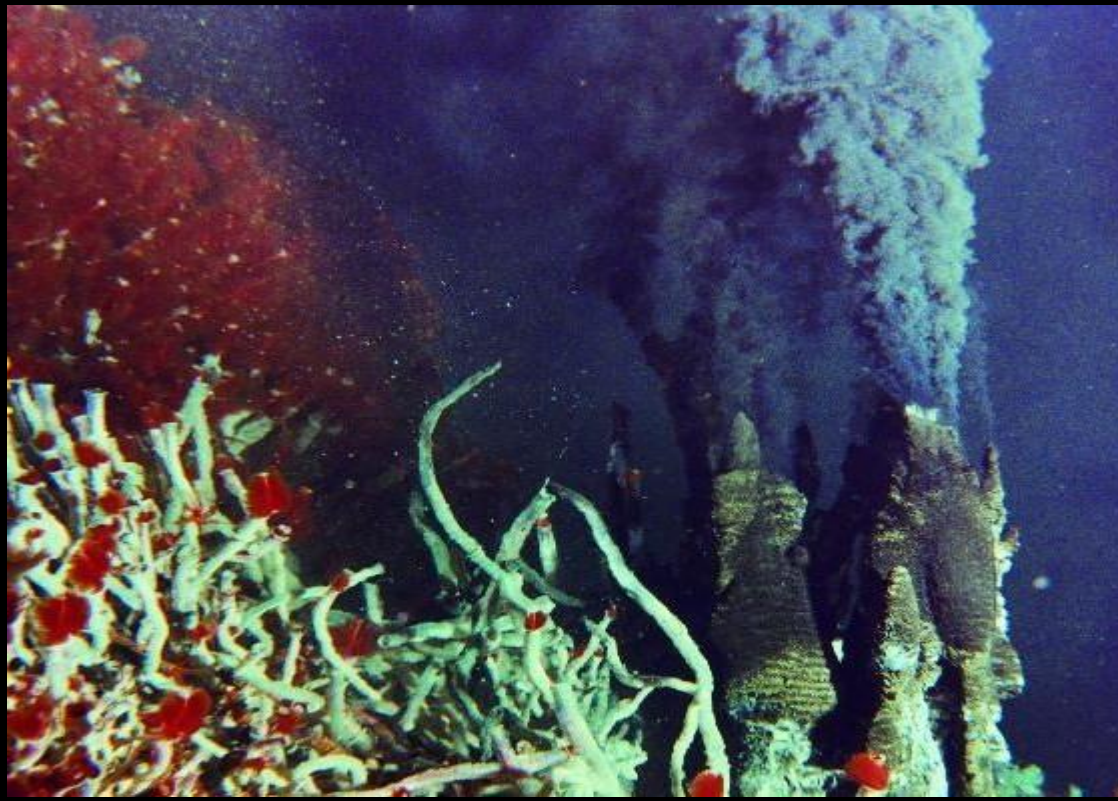


On parle aussi de chimolithotrophie



Un exemple bien de chez nous (une grotte bien terrestre) de chimiolithotrophie : des bactéries (et des archées) oxydent des sels de fer « ferreux » (Fe^{++}) d'une source ferrugineuse avec l'oxygène (O_2) de l'air, ce qui fabrique de la « rouille » (Fe^{+++}), et donne de l'énergie qu'utilisent pour leur synthèses des bactéries, appelées bactéries ferroxydantes.

Un autre exemple bien connu de chimiosynthèse : les sources hydrothermales des dorsales (basaltiques). Ces sources volcaniques crachent du gaz sulfureux (H_2S). Ce gaz pénètre dans des bactéries et des archées qui l'oxydent grâce au di-oxygène (O_2) dissout dans l'eau de mer. Cela fabrique des sulfates et libère de l'énergie chimique que les bactéries et archées utilisent pour associer H_2O et CO_2 et



faire des molécules contenant carbone, hydrogène et énergie qu'elles utilisent pour se développer et se reproduire. Ces bactéries et archées sont à la base d'écosystèmes complexes.

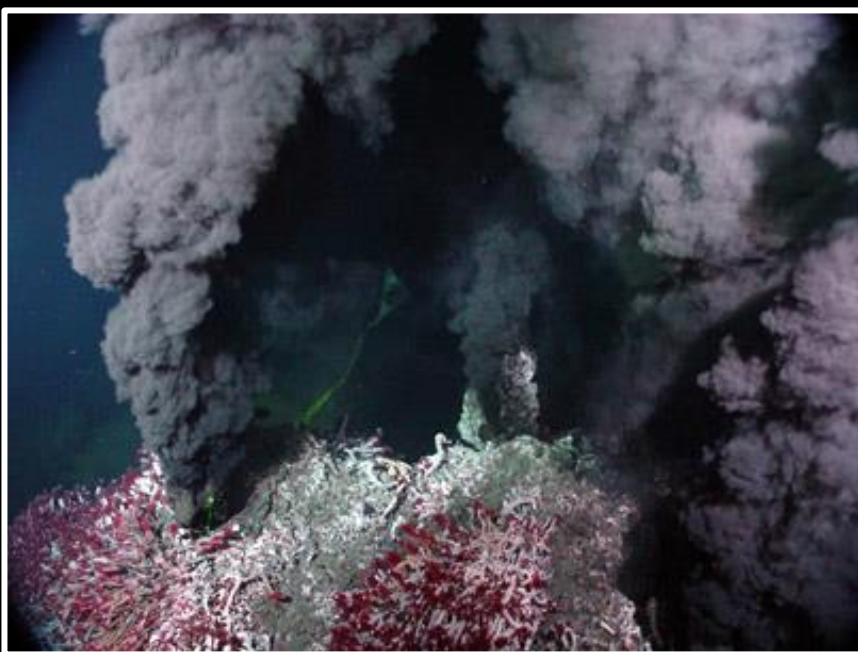


Attention, parfois, en résumant un peu vite, on dit que c'est la chaleur de la Terre qui fournit l'énergie à la base de ces écosystèmes. Ce n'est pas la chaleur qui fournit l'énergie, mais des réactions chimiques.

Si chauffer de l'eau et du dioxyde de carbone (chauffer de l'eau gazeuse !) donnait de grosses molécules, ça se saurait ! Chauffez de l'eau Perrier pour voir si elle devient de l'eau sucrée !!!



Photographie : Pierre Thomas

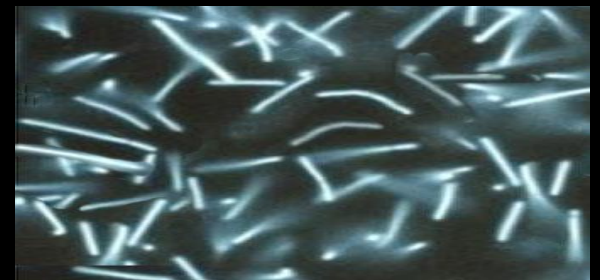


Les 2 écosystèmes précédents, certes, ne dépendent pas directement de l'énergie solaire et de la photosynthèse.

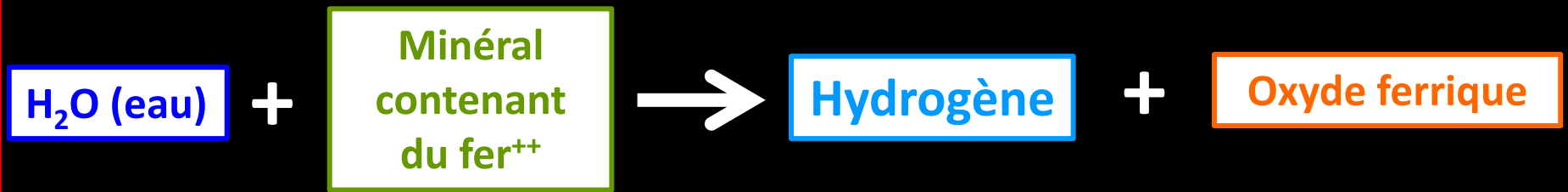
Mais ils en dépendent malgré tout indirectement car ils utilisent le di-oxygène de l'air ou dissout dans la mer, qui, lui, vient de la photosynthèse (et donc de l'énergie solaire).

Sur Europe, Encelade, Mars ... pas de photosynthèse, donc pas de di-oxygène dissout dans les eaux profondes, donc pas d'écosystèmes équivalents.

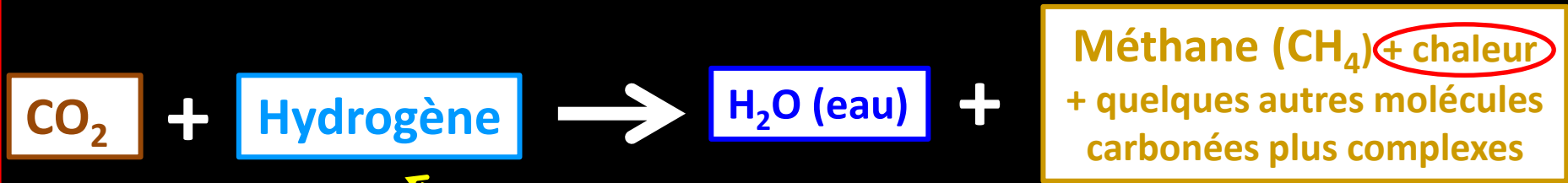
**Sur Terre, dans des forages profonds
entre la surface (ou le fond de la mer)
et une profondeur allant jusqu'à
cinq km, jusque là où la température
peut atteindre 120°C, vivent plein de
bactéries (et d'archées), dans un
milieu totalement indépendant du
soleil et totalement
dépourvu de di-oxygène.
Comment font elles ?**



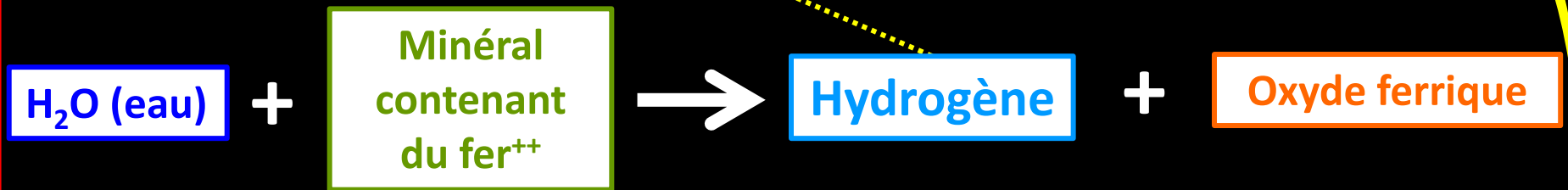
Voyons comment font ces archées et bactéries. Ça se fait en 2 étapes. Rappel de la 1^{ère} étape, déjà connue :



Etape 1, réaction minérale, purement abiotique



Etape 2, première possibilité, réaction minérale, purement abiotique



Etape 1, réaction minérale, purement abiotique

Rappel d'une 2^{ème} étape (abiotique) possible, déjà connue :



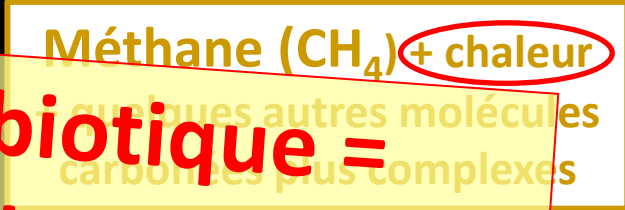
+



→

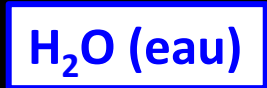


+



**Organosynthèse abiotique =
réaction de type Fischer-Tropsch**

Etape 2, première possibilité, réaction minérale, purement abiotique



+



+



Etape 1, réaction minérale, purement abiotique

CO₂

+

Hydrogène

→

H₂O (eau)

+

Méthane (CH₄) + chaleur

quelques autres molécules
carbonées plus complexes

**Organosynthèse abiotique =
réaction de type Fischer-Tropsch**

Etape 2, première possibilité, réaction minérale, purement abiotique

H₂O (eau)

+

Minéral
contenant
du fer⁺⁺

→

Hydrogène

+

Oxyde ferrique

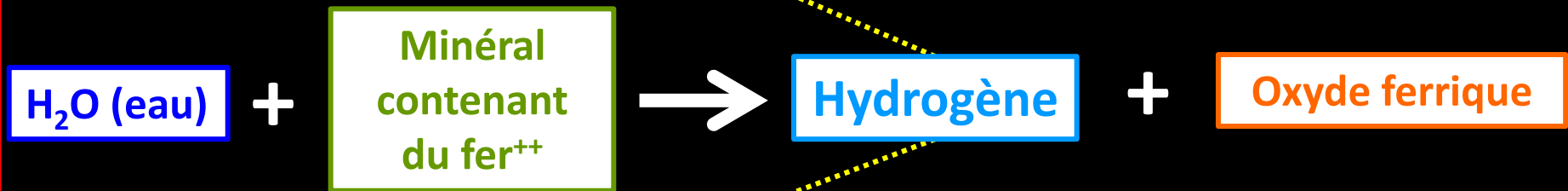
Etape 1, réaction minérale, purement abiotique

Etape 2, deuxième possibilité, réactions biologiques intra-bactériennes

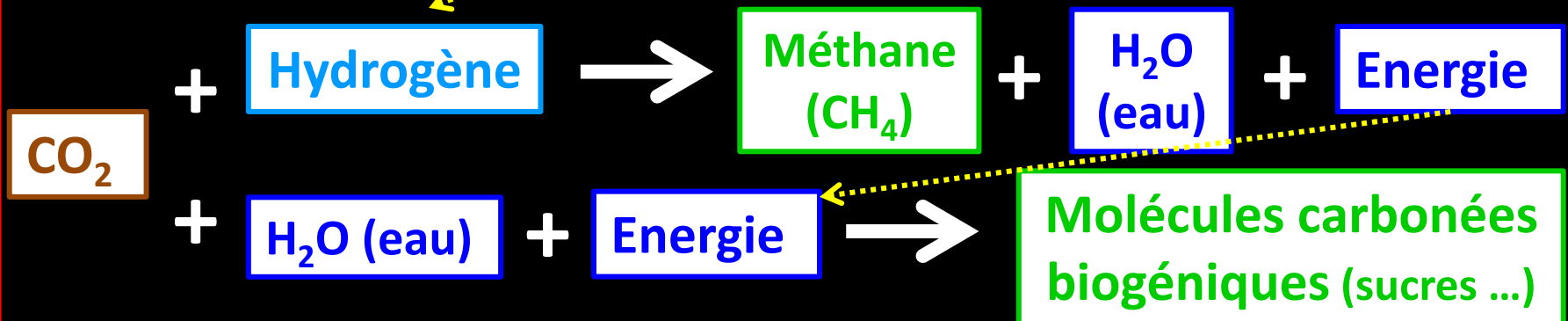
**Organosynthèse abiotique =
réaction de type Fischer-Tropsch**

Méthane (CH_4) + chaleur
quelques autres molécules
carbonées plus complexes

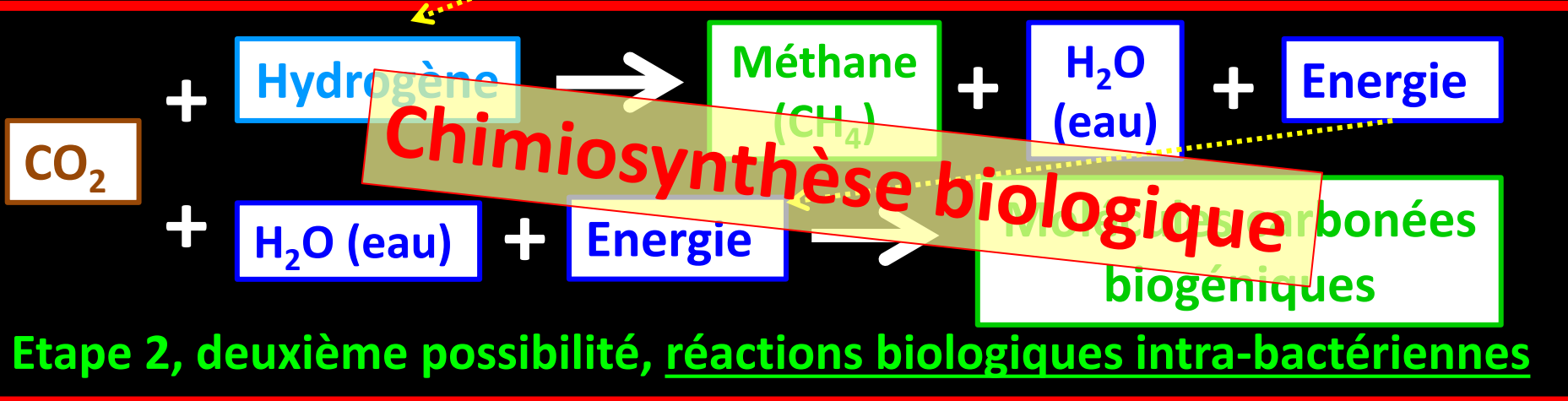
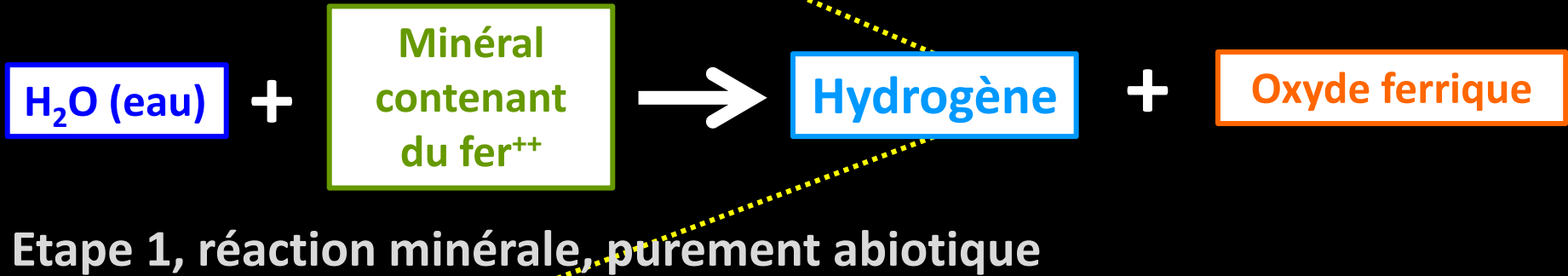
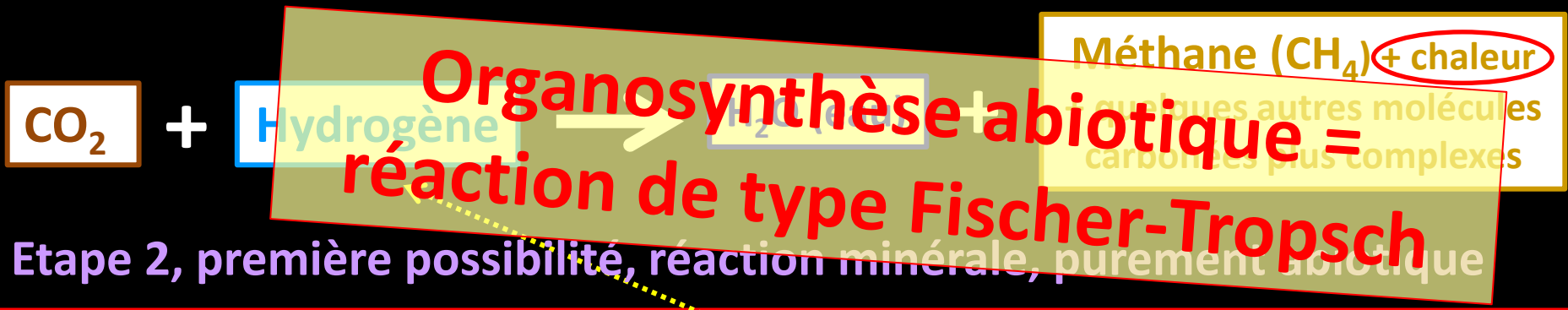
Etape 2, première possibilité, réaction minérale, purement abiotique



Etape 1, réaction minérale, purement abiotique



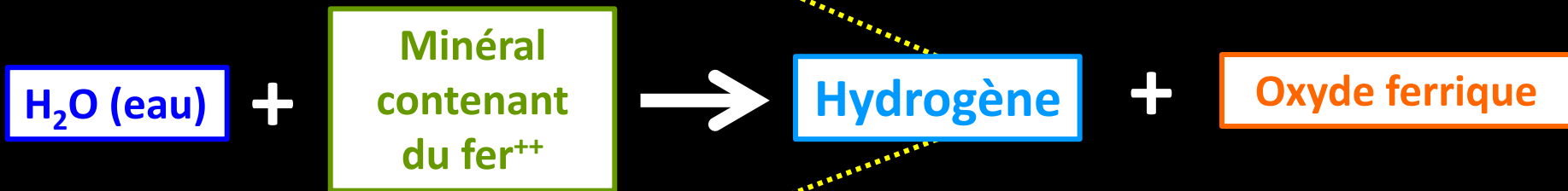
Etape 2, deuxième possibilité, réactions biologiques intra-bactériennes



Synthèse de quelques molécules organiques → Favorable à l'origine de la vie

Méthane (CH_4) + chaleur

Etape 2, première possibilité, réaction minérale, purement abiotique



Etape 1, réaction minérale, purement abiotique



Etape 2, deuxième possibilité, réactions biologiques intra-bactériennes

Peut-être les réactions chimiques les plus importantes de la vie !

Où, dans le système solaire, a-t-on vraisemblablement ce contact eau liquide / roches (avec Fe^{++}).

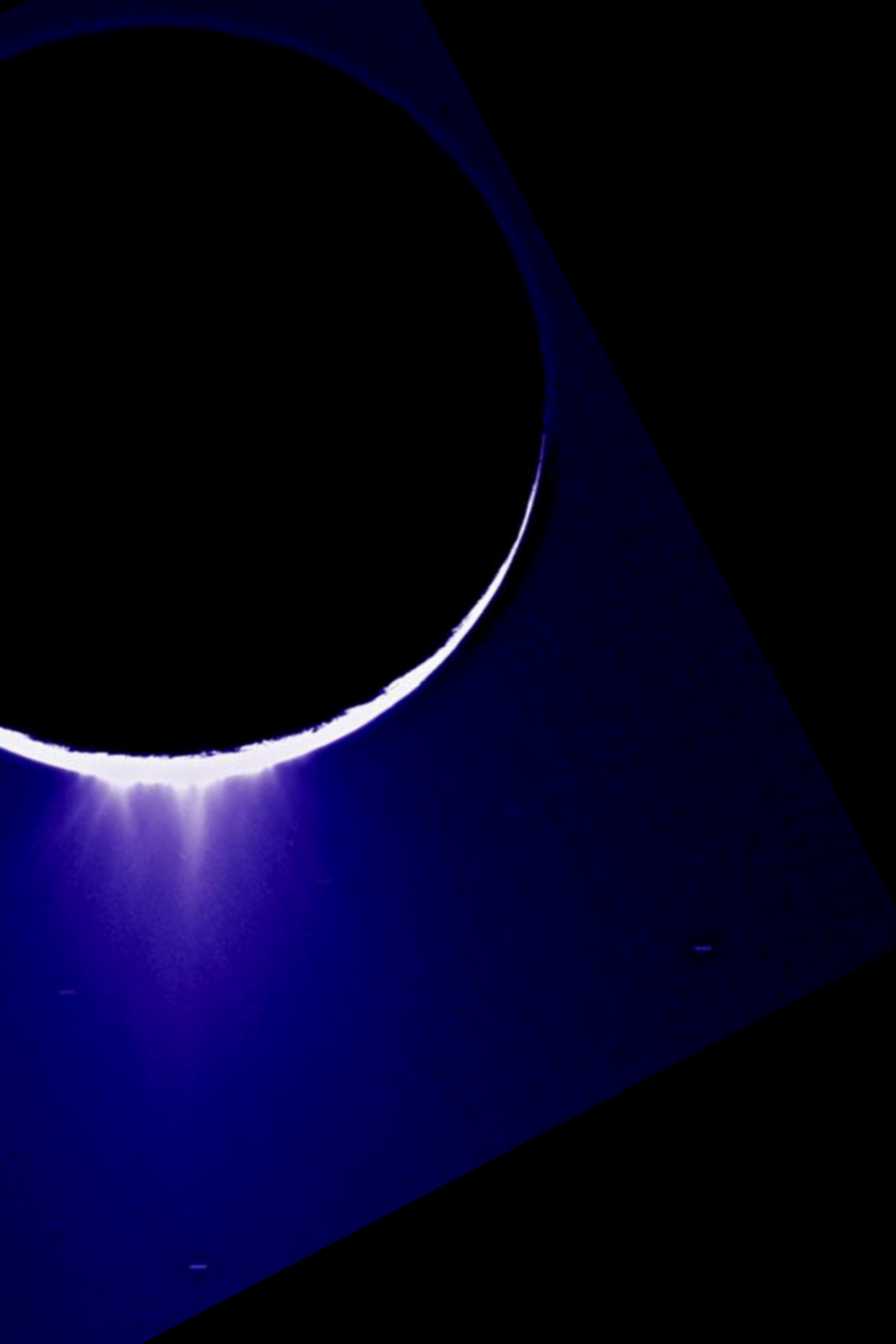
Dans les sous-sol de la Terre et de Mars bien sûr.

Sans doute pas dans les océans de Ganymède, Titan et autres « gros » satellites de glace, à cause des glaces de Haute Pression.

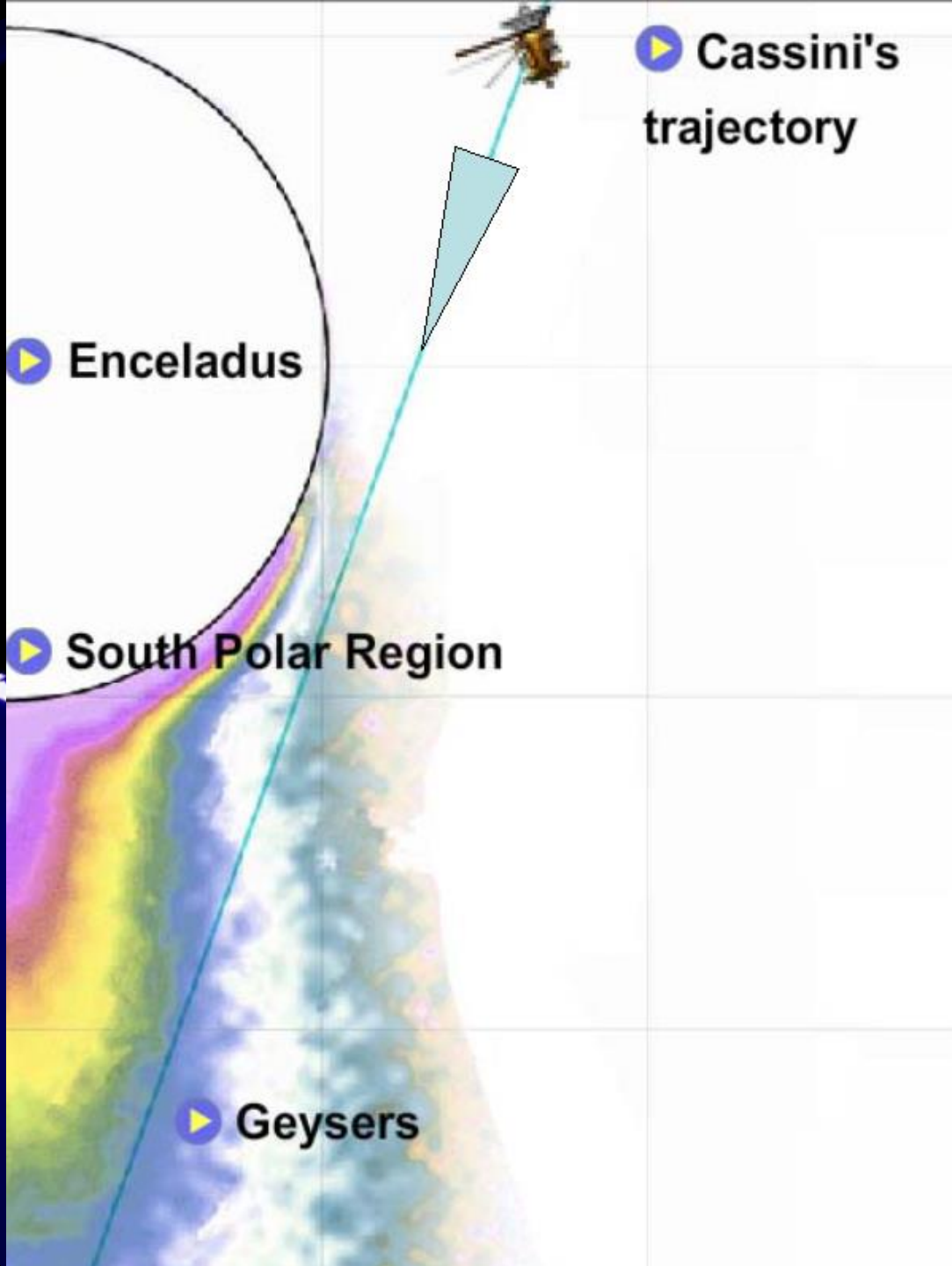
Mais à la base des océans d'Encelade et d'Europe, si !

Mais a-t-on des preuves que ce contact existe et qu'il s'y produit au moins une organosynthèse ?





**Après leur découverte,
des survols ont été re-
programmés pour
traverser les panaches
« geyseriens »
d'Encelade, Encelade où il
« doit y avoir » contact
roche /eau liquide . Tous
les instruments destinés à
la haute atmosphère de
Titan ont fonctionné à
plein régime fin 2008**



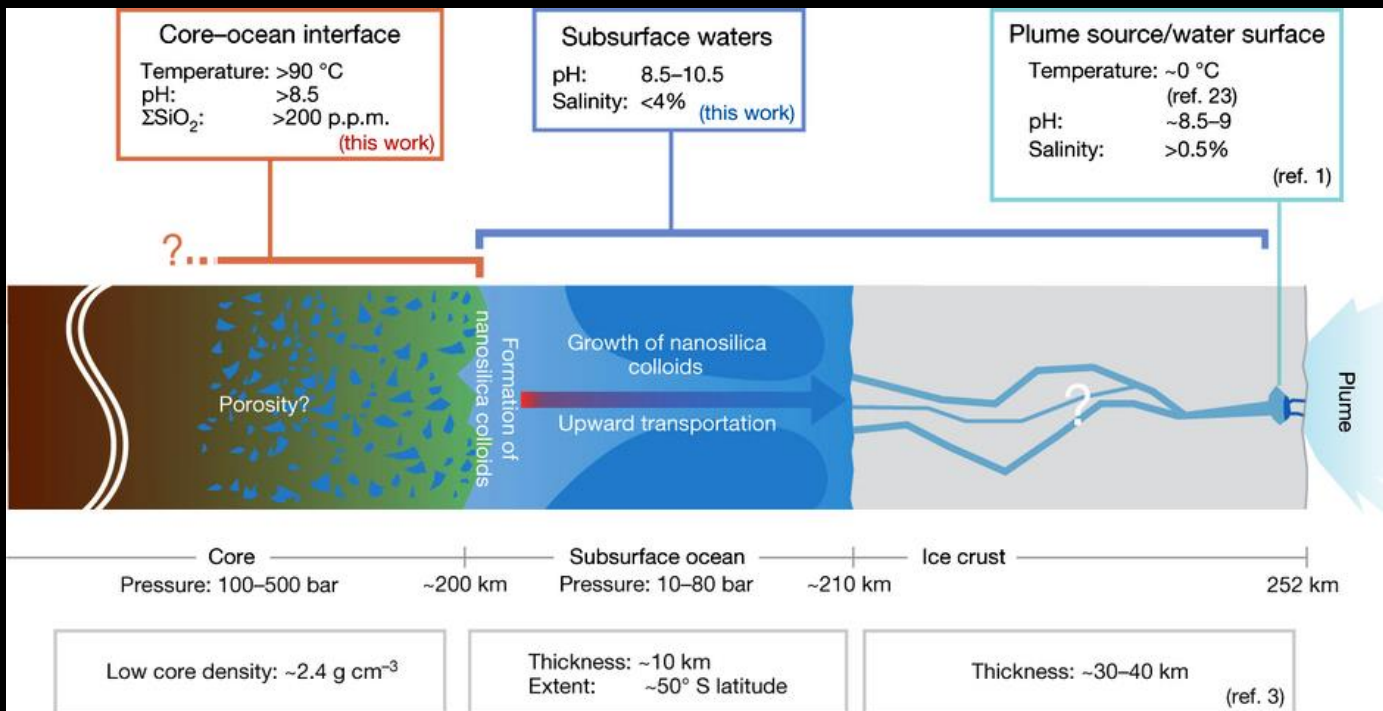
Après leur découverte, des survols ont été re-programmés pour traverser les panaches « geyseriens » d'Encelade. Tous les instruments destinés à la haute atmosphère de Titan ont fonctionné à plein régime fin 2008



Premiers résultats concernant la matière organique des panaches : il y en a, en quantité non négligeable, et de fort complexes (jusqu'à C₆) ! Il semble y avoir organosynthèse abiotique (et/ou chimiosynthèse biologique) sur Encelade.

Dernière nouvelle (Nature, 12 mars 2015)

Here we report an analysis of silicon-rich, nanometre-sized dust particles^{5, 6, 7, 8} (so-called stream particles) that stand out from the water-ice-dominated objects characteristic of Saturn [...] The composition and the limited size range (2 to 8 nanometres in radius) of stream particles indicate ongoing high-temperature (>90 °C) hydrothermal reactions associated with global-scale geothermal activity that quickly transports hydrothermal products from the ocean floor at a depth of at least 40 kilometres up to the plume of Enceladus.

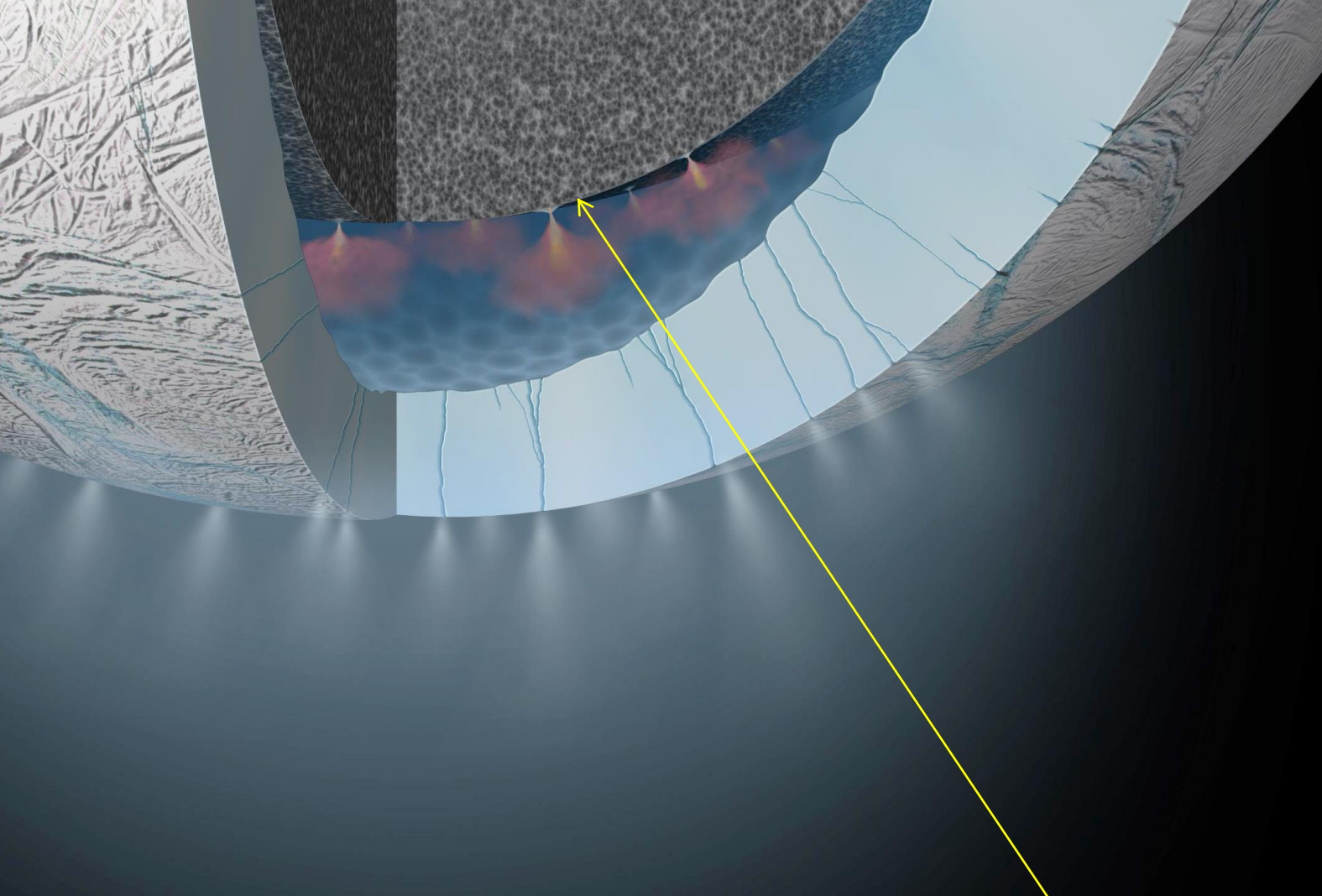


Hsiang-Wen Hsu

et al, Nature 519, 207–210 (12

March 2015) ,

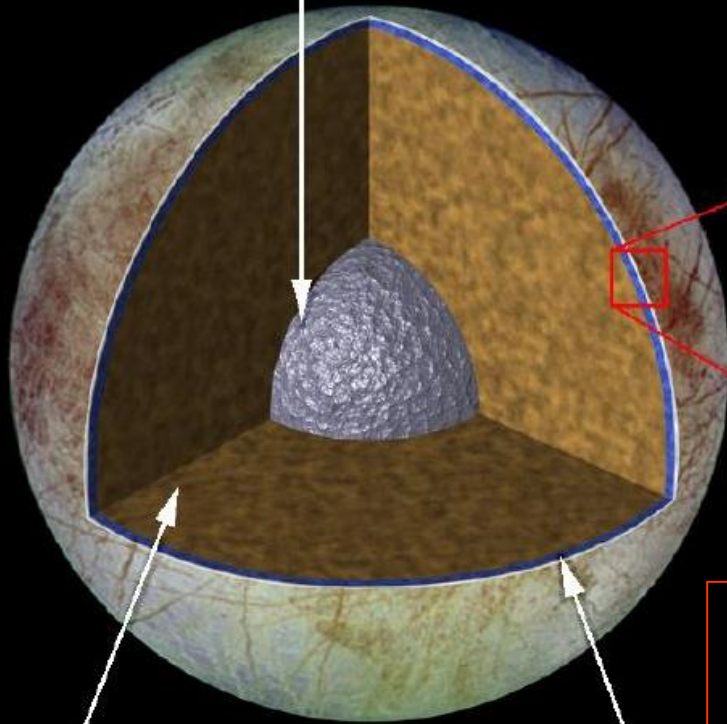
<http://www.nature.com/nature/journal/v519/n7542/full/nature14262.html>



**Alors, y-a-t-il de
la vie dans ces
sources
hydrothermales ?**

Noyau métallique

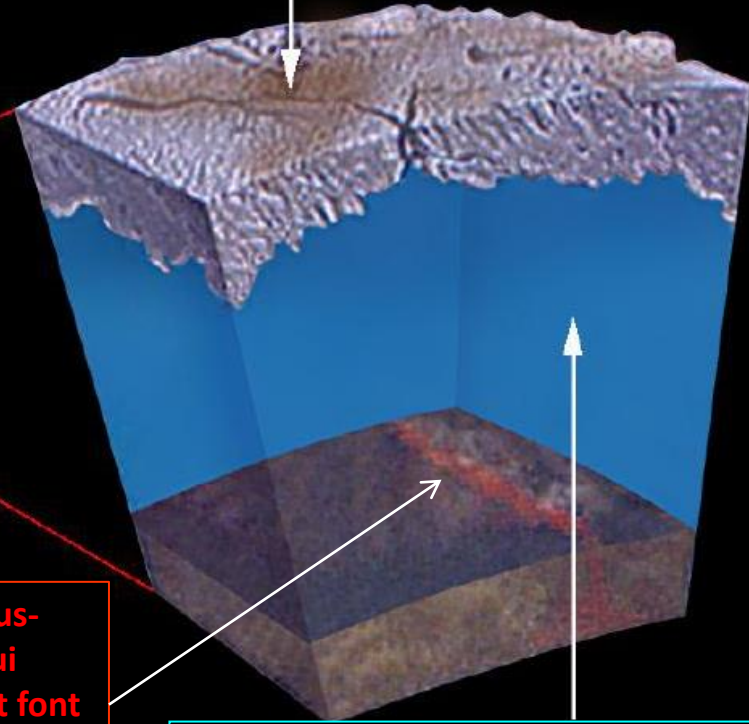
Banquise de glace



Intérieur rocheux

Couche d'H₂O

Volcans sous-marins qui réchauffent et fondent la base de la couche de glace



Océan liquide sous la glace

Et a-t-on des preuves de ce contact eau liquide / roche et de cette éventuelle organosynthèse sur Europe ?

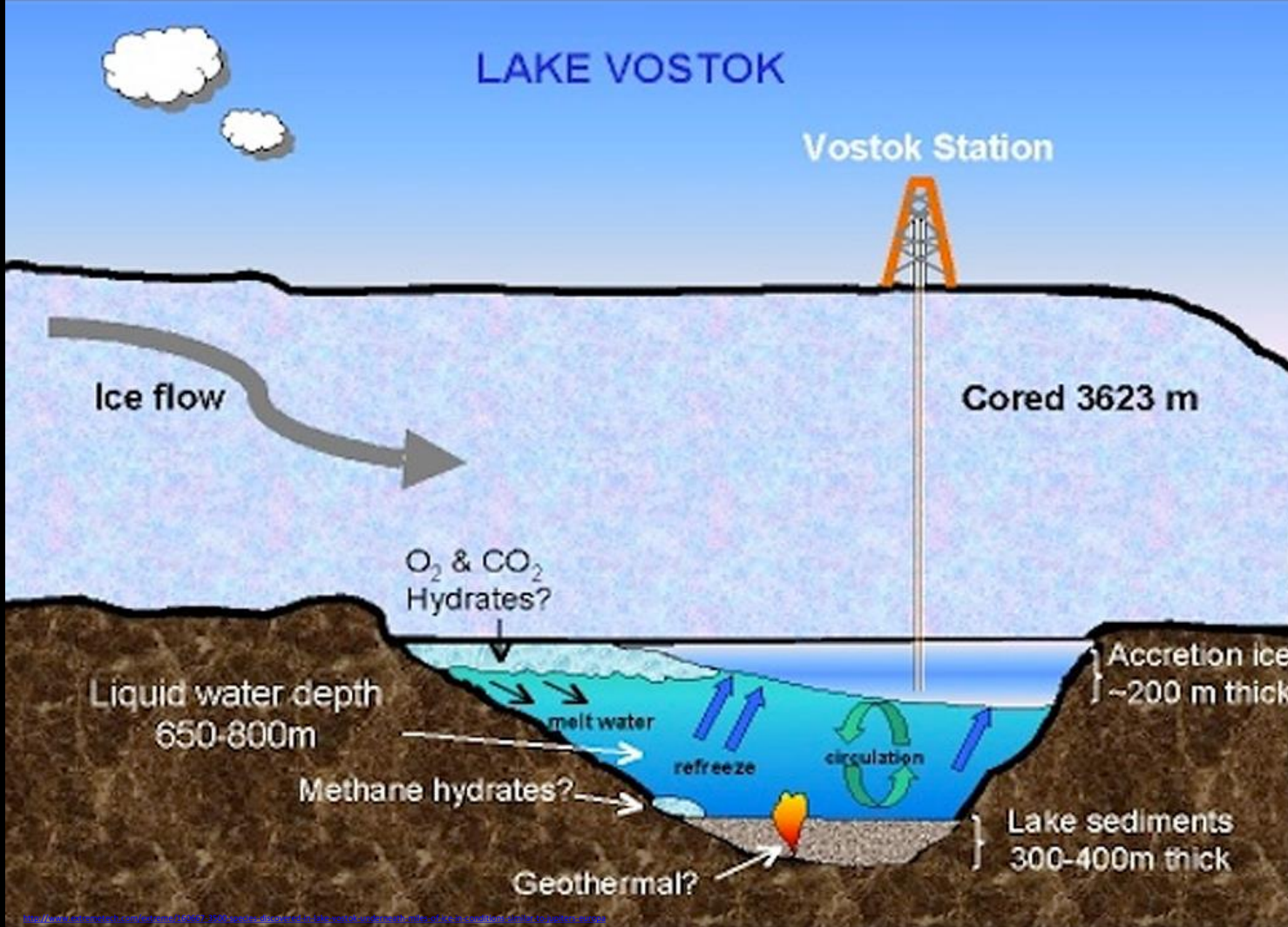
View GL-01
Mode target-relative
Dist 1.903k

UT Tue Apr 10 10:57:07 2001
MJD 52009.4563 Wrp 10x
Sim 105894s FoV 40°



<http://www.natureworldnews.com/articles/24/20120730/jupiters-europa-may-hold-life-similar-to-the-microorganisms-arctic-in-a-fjord-in-canada.htm>

En effet, s'il y a organosynthèse abiotique et/ou chimio-synthèse biologique sur Encelade, pourquoi pas sur Europe ? Mais le savoir sera difficile. Il faudrait percer au moins 10 km de glace, alors que le record en Antarctique n'est que de 3700 m.



Un analogue terrestre : le lac Vostok en Antarctique. On a analysé l'ADN trouvé dans la glace d'accrétion (eau du lac regelée)

On y a trouvé plein d'ADN (normal, le forage ne s'est pas fait de manière stérile), dont de l'ADN de bactéries thermophiles. Et ça, c'est probablement de l'ADN « indigène ». Ça suggère très fortement une vie spécifique sous 3600 m de glace.

ARTICLE PREVIEW

[view full access options](#) ►

NATURE | NEWS & VIEWS

[日本語要約](#)

Biogeochemistry: Microbes eat rock under ice

Martyn Tranter

Nature 512, 256–257 (21 August 2014) doi:10.1038/512256a

Published online 20 August 2014

[Citation](#)[Reprints](#)[Rights & permissions](#)[Article metrics](#)

The first description of the microorganisms inhabiting a subglacial lake deep below the Antarctic ice sheet reveals some of the complex interactive metabolic processes that sustain these microbial communities. **See Letter** p.310

Subject terms: [Microbiology](#) · [Geochemistry](#) · [Ocean sciences](#)

Editor's summary

العربية

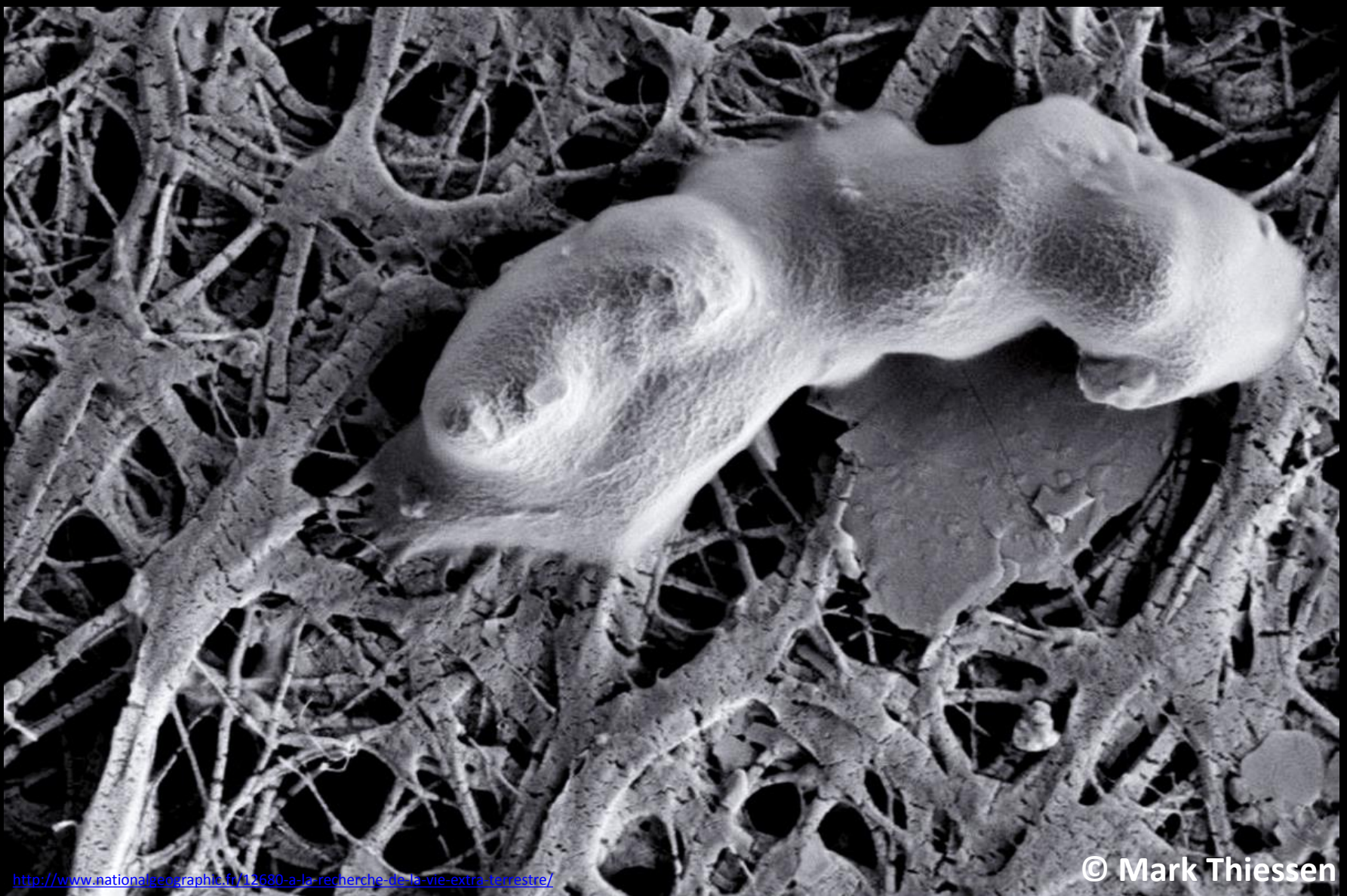
Whether there is microbial life in subglacial lakes in the Antarctic has been a matter of controversy, as early results were compromised when it was discovered that contamination may have occurred dur...

Associated links

Letter

[A microbial ecosystem beneath the West Antarctic ice sheet](#)
by Christner *et al.*

Aucune bactérie n'a encore été trouvée dans le Lac Vostok. Mais on vient d'en trouver « plein » dans le lac Whillans et dans ses sédiments sous 800 m de glace dans l'Ouest antarctique.



<http://www.nationalgeographic.fr/12680-a-la-recherche-de-la-vie-extra-terrestre/>

© Mark Thiessen

**Exemple d'une bactérie chimiolithotrophe trouvée
dans les sédiments du lac Whillans**

Autre nouvelle (12 décembre 2013)



Report sur une
image Galileo
des zones où les
spectros du
Télescope Spatial
ont détecté de la
vapeur d'eau
autour d'Europe.
Il y des panaches
volcaniques (ou
geysériens) actifs
sur Europe.



LATEST
NEWS

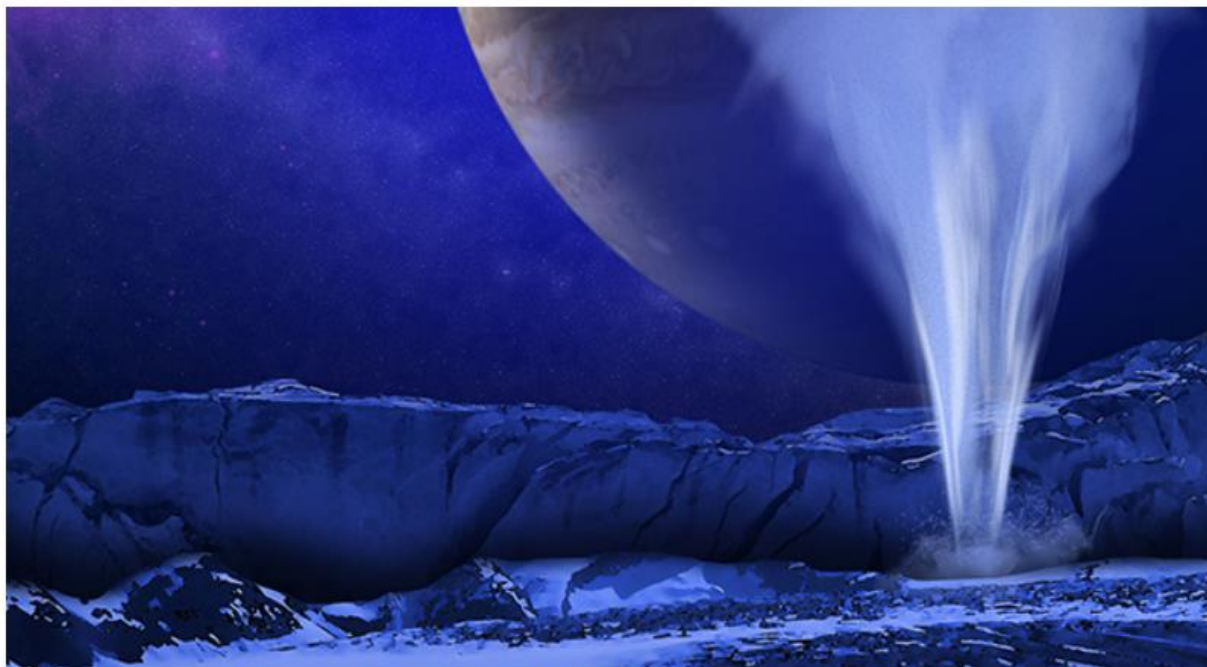
Search articles

Search

Share this page:

[All 2013 releases](#) [Archives](#)

Hubble Sees Evidence of Water Vapor at Jupiter Moon



This is an artist's concept of a plume of water vapor thought to be ejected off the frigid, icy surface of the Jovian moon Europa, located about 500 million miles (800 million kilometers) from the sun. Image credit: NASA/ESA/K. Retherford/SWRI

[Full image and caption](#)



112



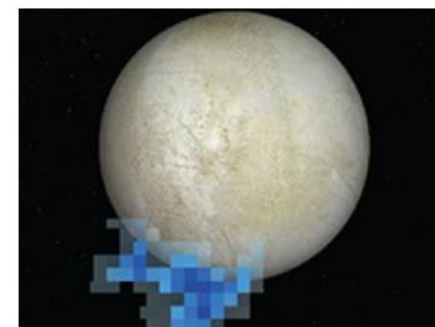
Recommend 1.5k

Tweet 183

Share 953

December 12, 2013

Images



This graphic shows the location of water vapor detected over Europa's south pole in observations taken by NASA's Hubble Space Telescope in December 2012. This is the first strong evidence of water plumes erupting off Europa's surface. Image credit: NASA/ESA/L. Roth/SWRI/University of Cologne

[Full image and caption](#)

[enlarge image](#)

Most Popular

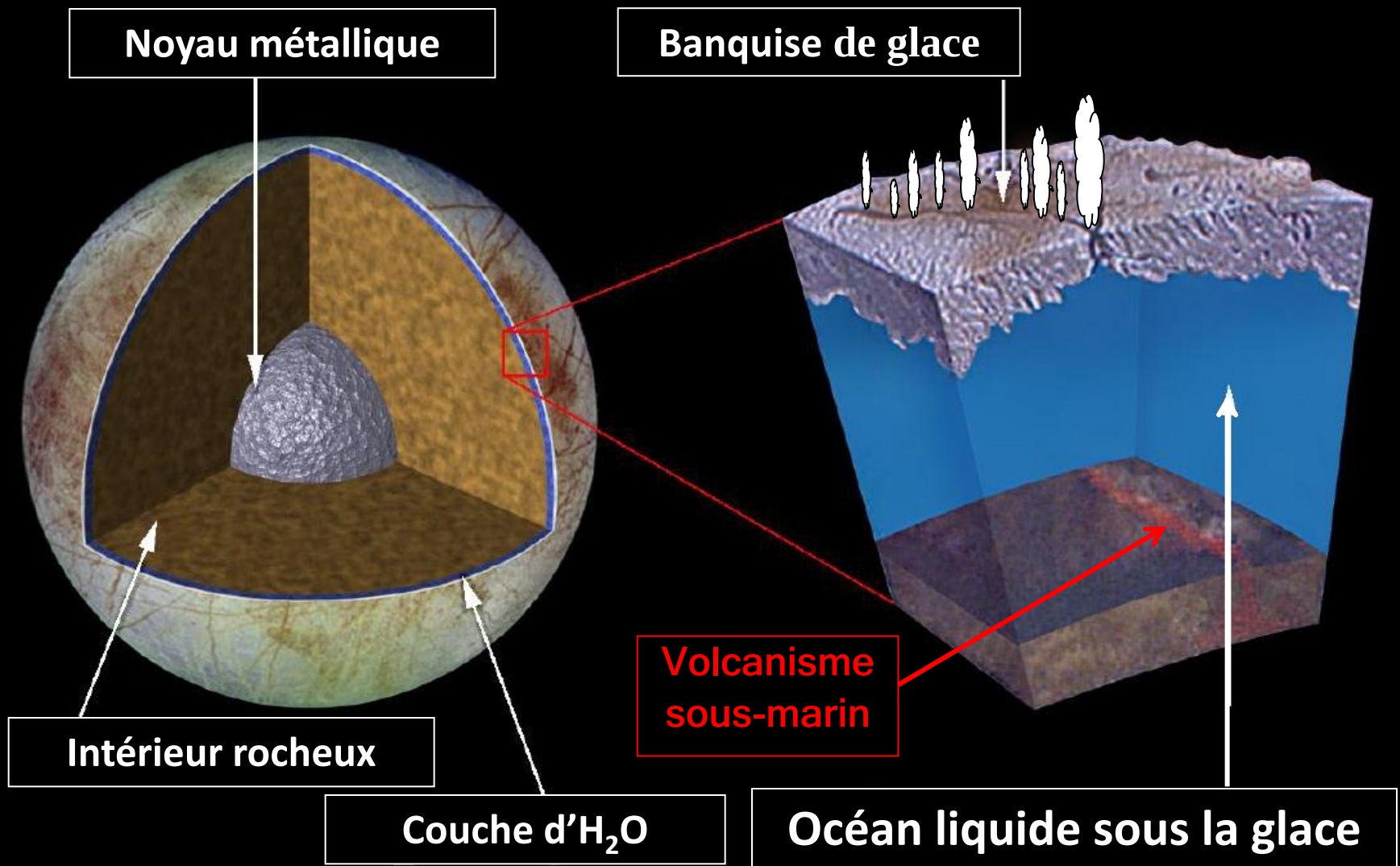


Europe



Encelade

Il y a sur Europe le même « volcanisme » que sur Encelade, mais en beaucoup moins visible.



Ca facilitera les recherches exobiologiques. Pas la peine de percer la banquise pour chercher une éventuelle vie, l'océan sous-glaciaire vient à nous.

Résumons. Où, dans le système solaire, y a-t-il ...

Du carbone et des molécules complexes précoces : partout.



De l'eau liquide superficielle pérenne : sur Terre (et sur Mars dans un passé lointain).

De l'eau liquide souterraine ou sous-glaciaire : dans la Terre, Mars, Europe, Ganymède, Callisto, Titan, Encelade, Triton ...



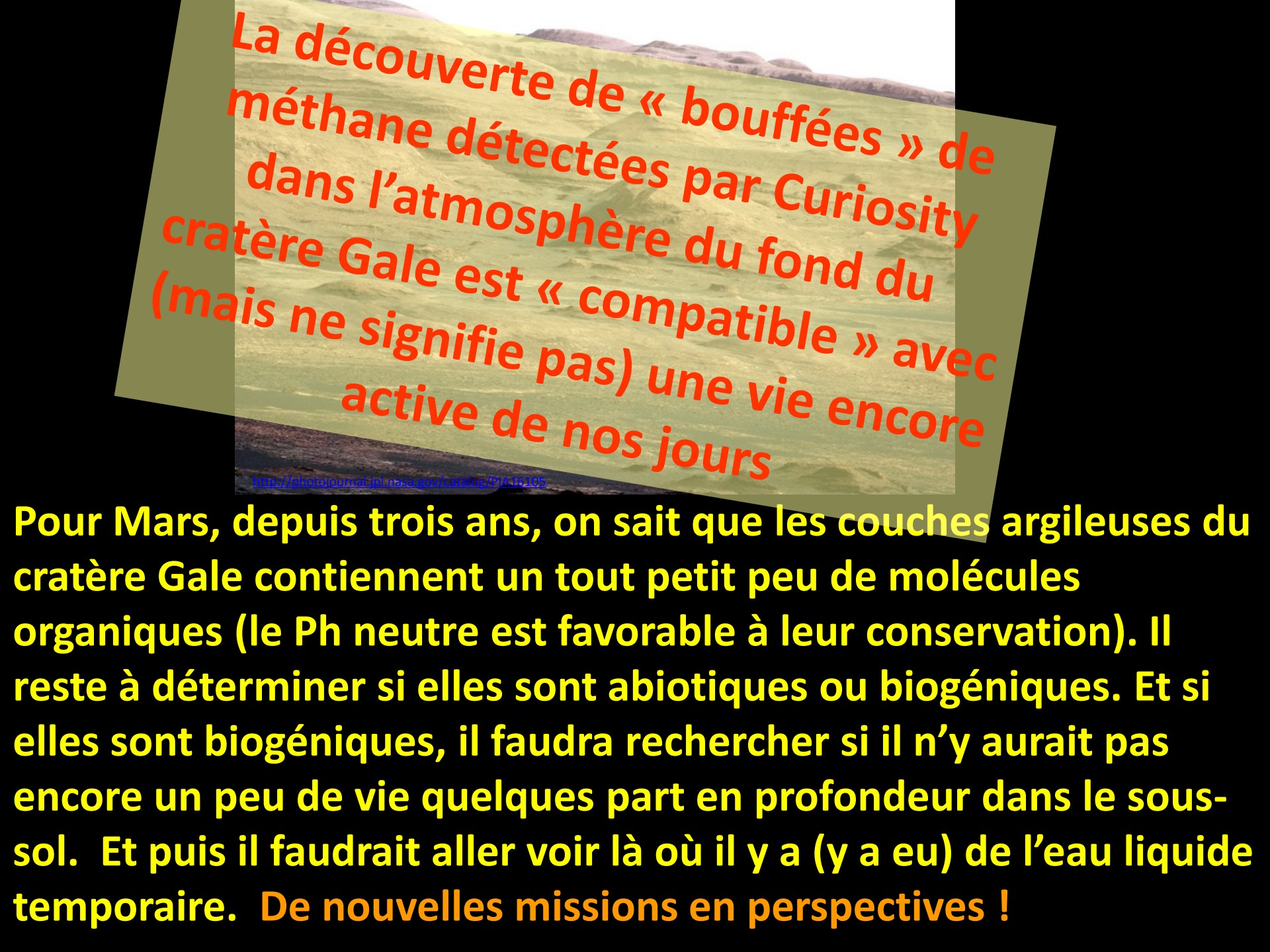
De l'eau liquide profonde en contact avec des roches : dans la Terre, Mars, Europe et Encelade.



Alors ??



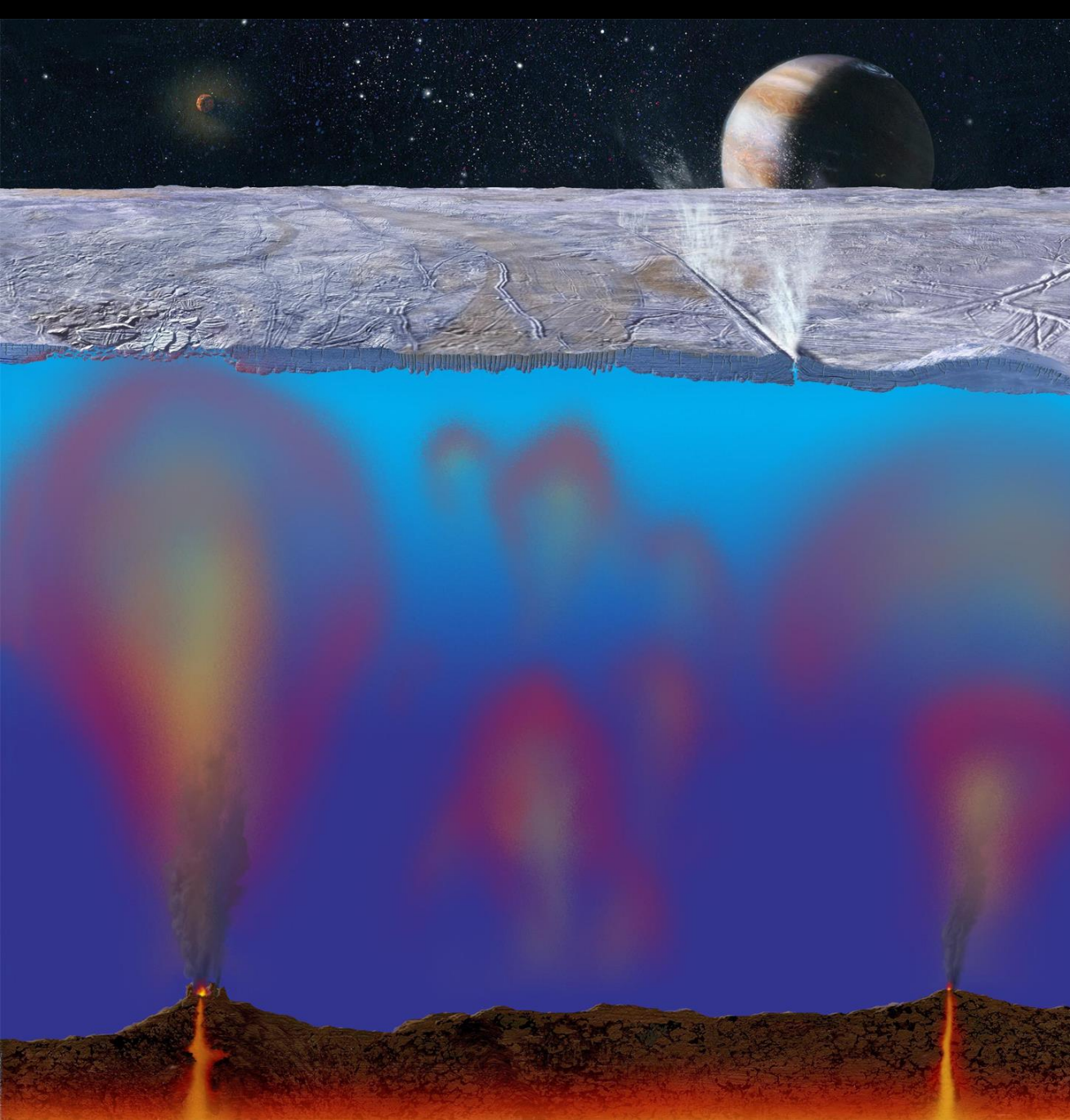
Pour Mars, depuis trois ans, on sait que les couches argileuses du cratère Gale contiennent un tout petit peu de molécules organiques (le Ph neutre est favorable à leur conservation). Il reste à déterminer si elles sont abiotiques ou biogéniques. Et si elles sont biogéniques, il faudra rechercher si il n'y aurait pas encore un peu de vie quelques part en profondeur dans le sous-sol. Et puis il faudrait aller voir là où il y a (y a eu) de l'eau liquide temporaire. De nouvelles missions en perspectives !

The background of the slide is a photograph of the Martian surface, showing a vast, flat, reddish-brown landscape with some low hills in the distance. Overlaid on this is a semi-transparent, tilted rectangular box containing red text. The text is in French and discusses the discovery of methane on Mars. At the bottom of the tilted box, there is a small blue URL.

La découverte de « bouffées » de méthane détectées par Curiosity dans l'atmosphère du fond du cratère Gale est « compatible » avec (mais ne signifie pas) une vie encore active de nos jours

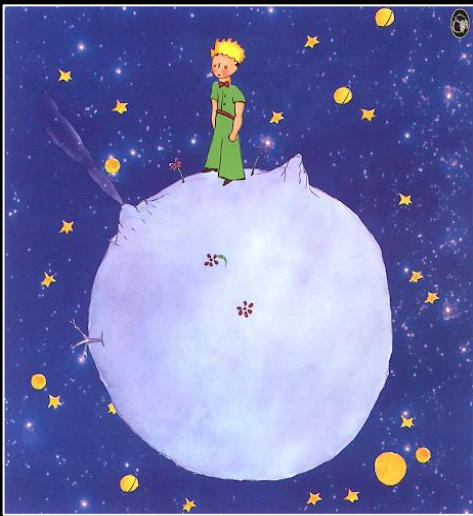
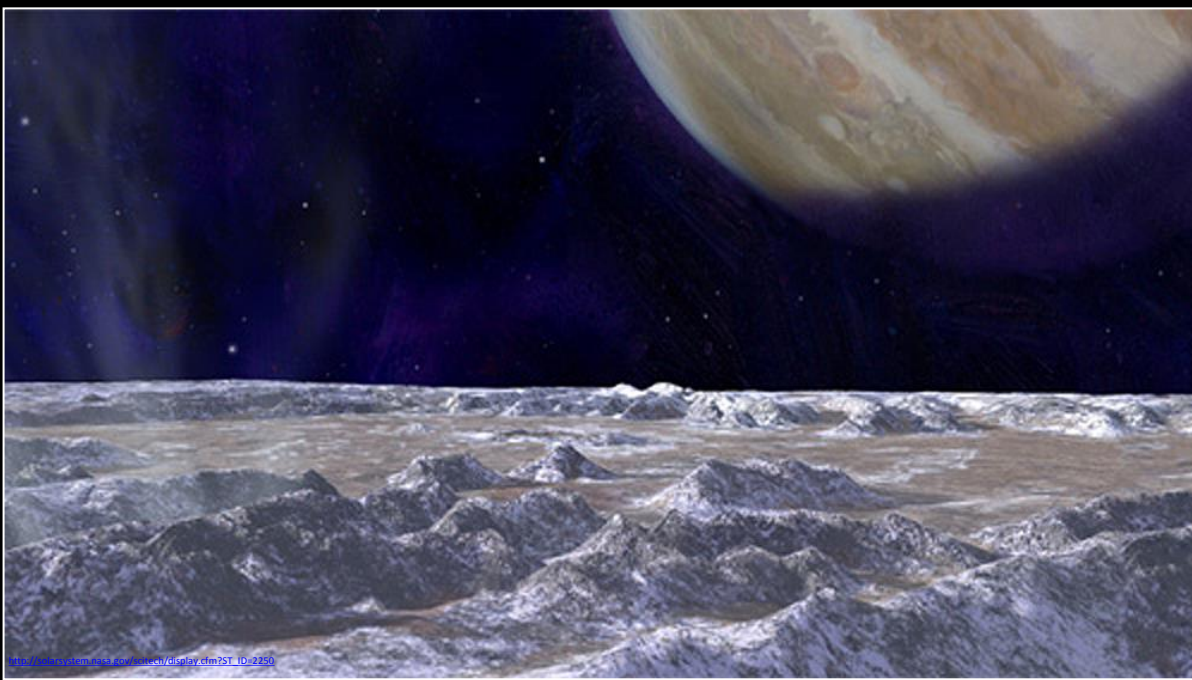
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PKA1610x>

Pour Mars, depuis trois ans, on sait que les couches argileuses du cratère Gale contiennent un tout petit peu de molécules organiques (le Ph neutre est favorable à leur conservation). Il reste à déterminer si elles sont abiotiques ou biogéniques. Et si elles sont biogéniques, il faudra rechercher si il n'y aurait pas encore un peu de vie quelques part en profondeur dans le sous-sol. Et puis il faudrait aller voir là où il y a (y a eu) de l'eau liquide temporaire. De nouvelles missions en perspectives !



Pour Europe et Encelade, la réponse est aussi à portée de missions spatiales qui paraissent réalisables. Mais pour quand, en ces périodes de disettes budgétaires ?

La Nasa commence à y réfléchir sérieusement. Elle vient de lancer un « appel d'offre » à la recherche d'instrumentation pour une prochaine mission.



**Alors, *vie ou pas vie* actuelle ou passée
sur (dans) Europe, Encelade ou Mars ? On n'a aucune
réponse définitive, mais tous les espoirs sont permis !**

Une dernière question à laquelle je réponds ici : combien ça coûte ? Et cet argent, ne pourrait-il pas être mieux employé par les temps qui courent ?

Le budget annuel (civil) de la NASA est d'environ : 15 milliards \$. Le budget annuel (total) du CNES est d'environ : 2 milliards \$, dont un gros tiers va à l'ESA.

Les missions Curiosity, Cassini ...ont coûté chacune : 2,5 milliards \$ étalés sur environ 10 ans, soit 250 millions \$ /an.

Le montant annuel de la fraude et de l'évasion fiscales en France est d'environ 60 à 80 milliards € !

Le montant des avoirs mondiaux (particuliers, entreprises ...) dissimulés dans les paradis fiscaux est estimé à 25 000 000 000 000 \$ (vingt cinq milles milliards de dollars) !!!

Si on récupérait le montant annuel de la fraude fiscale française, on pourrait multiplier par 30 à 40 le budget annuel du CNES.

Si on taxait à 10% les avoirs dissimulés dans les paradis fiscaux, on récupérerait 2 500 milliards \$, soit 1000 fois le coût total de la mission Curiosity ou 1250 fois le budget annuel du CNES .

Si il faut récupérer de l'argent pour la santé, l'éducation, l'aide au développement, la lutte contre le terrorisme ... ce n'est peut-être pas sur le spatial qu'il faut le faire ! On sait où est l'argent !

Une dernière question à laquelle je réponds ici : combien ça coûte ? Et cet argent, ne pourrait-il pas être mieux employé par les temps qui courent ?

Le budget annuel (civil) de la NASA est d'environ :

15 milliards \$. Le budget annuel (total) du CNES est d'environ :

2 milliards \$. Un gros tiers va à l'ESA.

Le coût de la mission Curiosity a coûté chacune :

2,5 milliards \$ et 250 millions \$ /an.

Le coût de la mission Mars Express est d'environ :

Le montant des avoirs non déclarés dissimulés dans les paradis fiscaux est :

25 000 000 000 000 \$ (vingt cinq milles milliards \$).

Si on récupérait le montant annuel de la fraude fiscale française, on pourrait multiplier par 30 à 40 le budget annuel du CNES.

Si on taxait à 10% les avoirs dissimulés dans les paradis fiscaux, on récupérerait 2 500 milliards \$, soit 1000 fois le coût total de la mission Curiosity ou 1250 fois le budget annuel du CNES.

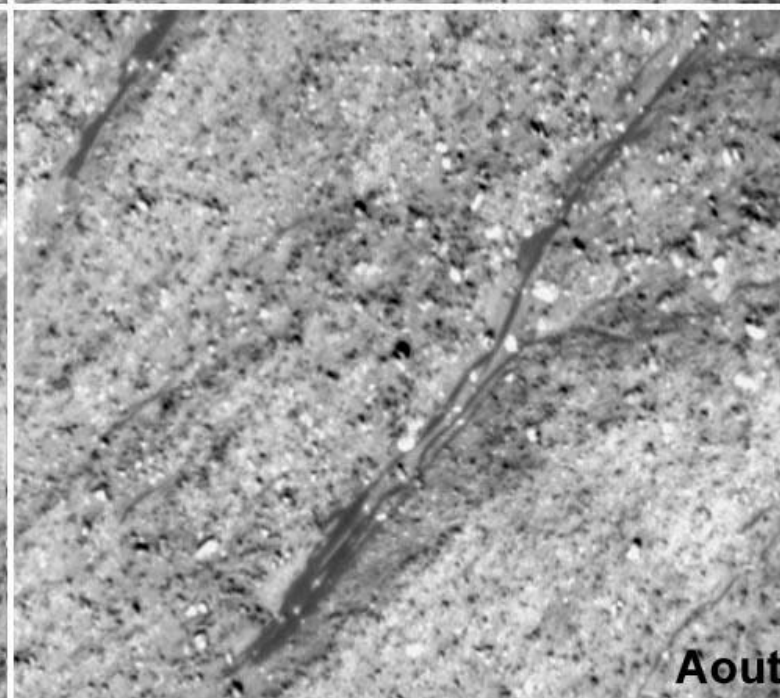
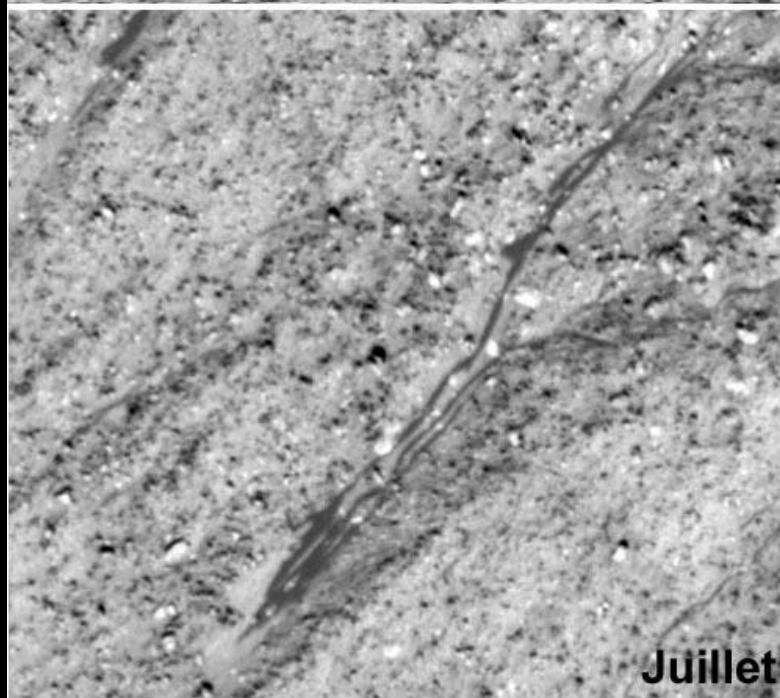
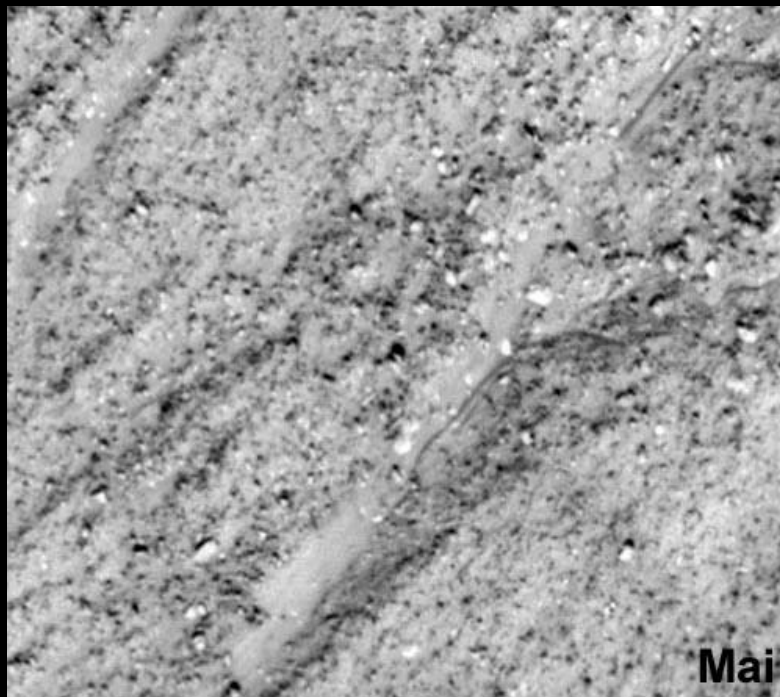
Si il faut récupérer de l'argent pour la santé, l'éducation, l'aide au développement, la lutte contre le terrorisme ... ce n'est peut-être pas sur le spatial qu'il faut le faire ! On sait où est l'argent !

**Merci de votre attention !
Avez-vous des questions ?**

**La
progression
de deux de
ces trainées
de mi-
printemps à
mi-été**

(les mois indiqués
correspondent à
l'équivalent
saisonnier pour
l'hémisphère nord
terrestre)

100 m



NASA Seeks Proposals for Europa Mission Science Instruments



This colorized image of Jupiter's moon Europa is a product of clear-filter grayscale data from one orbit of NASA's Galileo spacecraft, combined with lower-resolution color data taken on a different orbit. Image Credit: NASA/JPL-Caltech/SETI Institute
 > Full image and caption

July 15, 2014

NASA has issued an Announcement of Opportunity (AO) for proposals about science instruments that could be carried aboard a future mission to Jupiter's moon Europa. Selected instruments could address fundamental questions about the icy moon and the search for life beyond Earth.

"The possibility of life on Europa is a motivating force for scientists and engineers around the world," said John Grunsfeld, associate administrator for NASA's Science Mission Directorate at the agency's headquarters in Washington. "This solicitation will select instruments which may provide a big leap in our search to answer the question: are we alone in the universe?"

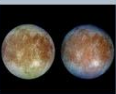
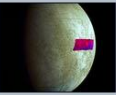
The Decadal Survey deemed a mission to Europa among the highest priority scientific pursuits for NASA. It listed five key science objectives in priority order that are necessary to improve our understanding of the potentially habitable moon:

- Characterize the extent of the ocean and its relation to the deeper interior
- Characterize the ice shell and any subsurface water, including their heterogeneity, and the nature of surface-ice-ocean exchange
- Determine global surface, compositions and chemistry, especially as related to habitability
- Understand the formation of surface features, including sites of recent or current activity, identify and characterize candidate sites for future detailed exploration
- Understand Europa's space environment and interaction with the magnetosphere.

Most Popular

- Looking Back at the Jupiter Crash 20 Years Later
- NASA Honors First Moon Landing, Looks Ahead to Mars
- NASA Seeks Proposals for Europa Mission Science Instruments
- NASA Rover's Images Show Laser Flash on Martian Rock
- NASA Spacecraft Observes Further Evidence of Dry Ice Gullies on Mars
- NASA Mars Rover Curiosity Sees 'Evening Star' Earth

You Might Like

- 
 NASA Seeks External Concepts for Mission to Oceanic Jovian Moon
 > Read more
- 
 Hubble Sees Evidence of Water Vapor at Jupiter Moon
 > Read more
- 
 Clay-Like Minerals Found on Icy Crust of Europa
 > Read more

Explore

> visit blog

Get JPL Updates


 Register today and receive up-to-the-minute e-mail alerts delivered directly to your inbox.

La preuve datée du 15 juillet 2014.
Quand au financement, n'oublions pas qu'une grosse mission ne coûte que 3 à 5 milliards d'€, étalés sur 10-15 ans, ce qui correspond à peu près au budget du PSG ou d'autres clubs sportifs identiques sur ces mêmes 10-15 ans. Et de tels clubs sportifs, il en existe des dizaines et des dizaines dans les pays de l'ESA ou aux USA. Et rappelons que fraude et évasion fiscales mondiales représenteraient environ 25 000 milliards d'€/an. Réduire ce scandale de 1% financerait 50 missions spatiales annuelles.

Tout ça, c'est de l'eau liquide ancienne (disons plus de 3 Ga). Y en aurait-il encore ?

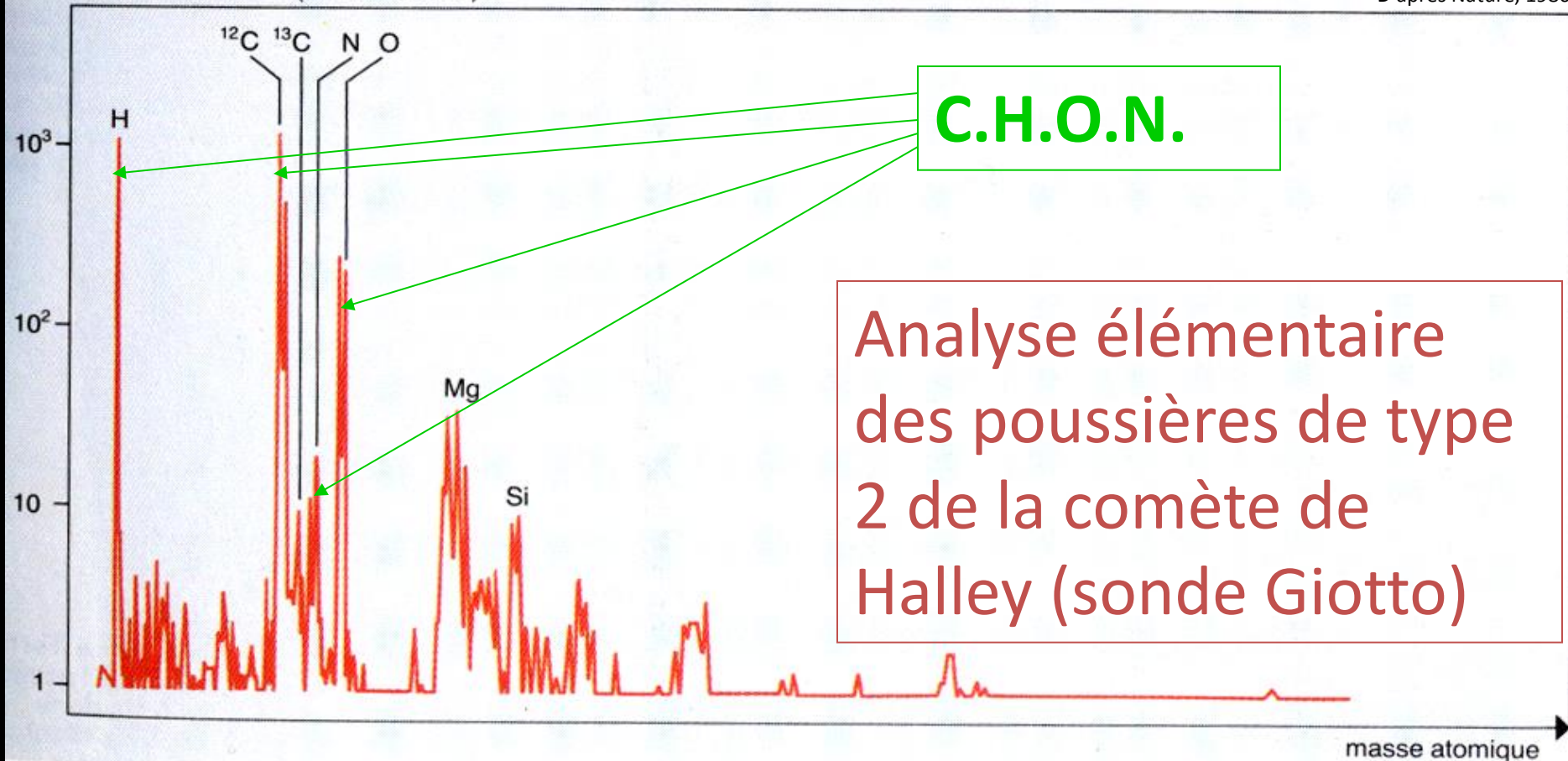
Le sous-sol est plein de glace. On le sait, entre autres, grâce à des sondes naturelles : les impacts.



Le premier noyau photographié : la comète de Halley (1986, ESA)

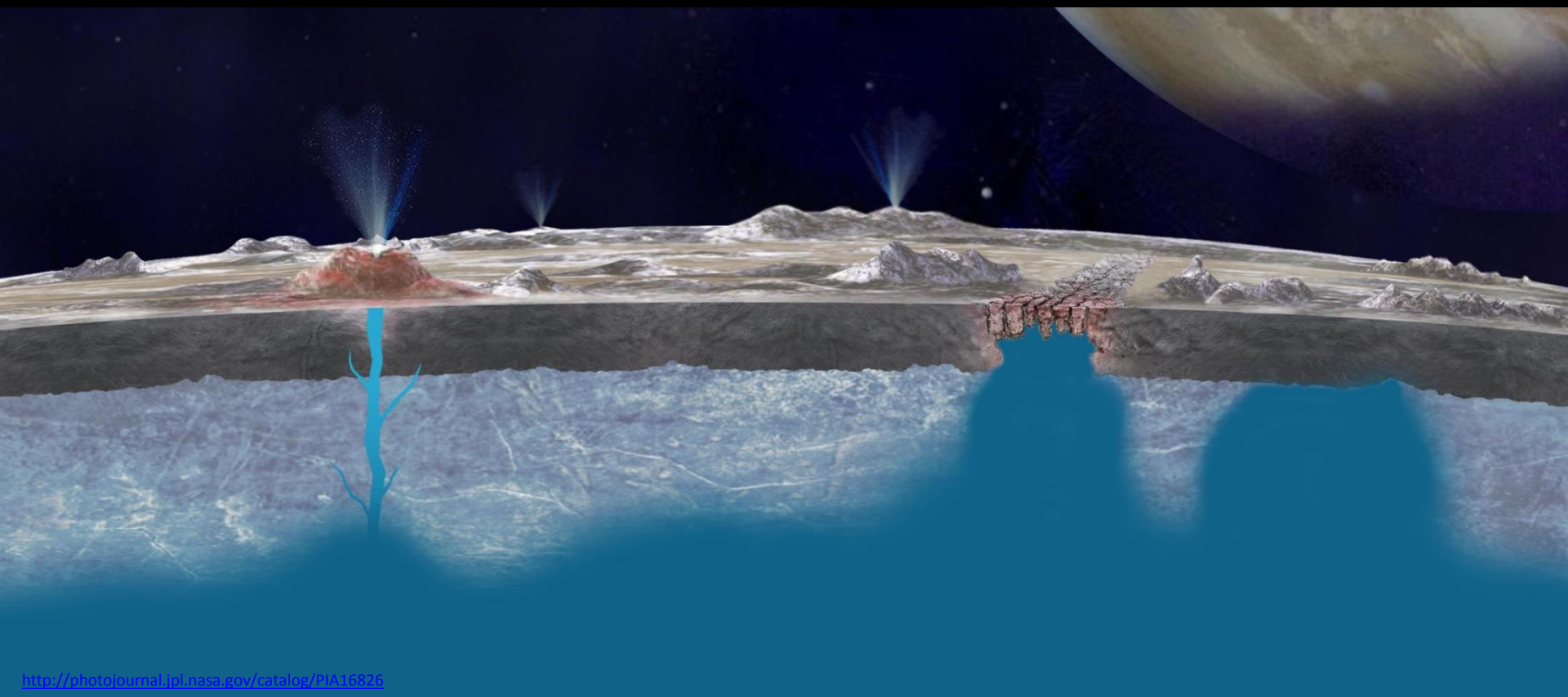
15 km





Résultats 1986

Et voilà pourquoi c'est important d'analyser ces poussières cométaires, de chimie C.H.O.N., initiales qui ravissent n'importe quels biologistes (et même géologues) ! Il y a donc eu d'autres (4) missions.



<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA16826>

Pour Europe et Encelade, la réponse est aussi à portée de missions spatiales qui paraissent réalisables. Mais pour quand, en ces périodes de disettes budgétaires ? La Nasa commence à y réfléchir sérieusement. Elle vient de lancer un « appel d'offre » à la recherche d'instrumentation pour une prochaine mission.