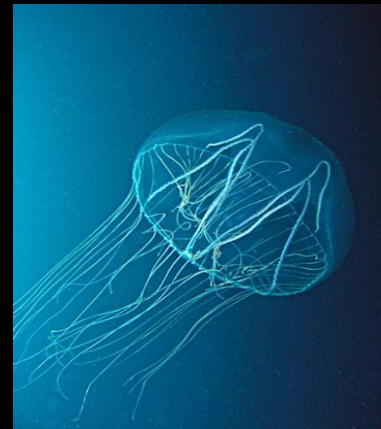
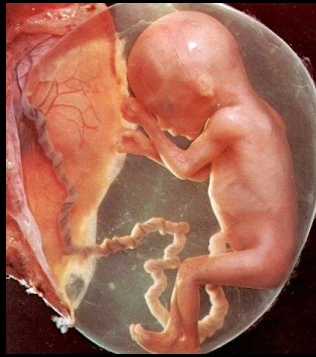
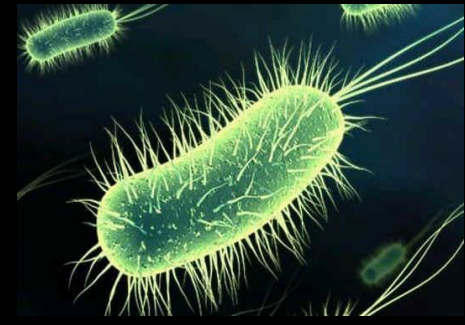


Où le Système solaire a t-il été et serait-il encore habitable ? Le point sur la question en ce milieu d'année 2014



Avant de parler de vie extraterrestre, demandons nous ce que 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 ?**

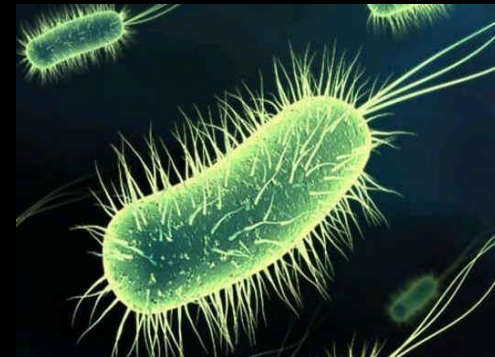
Un animal



**Des
centaines
de plantes**

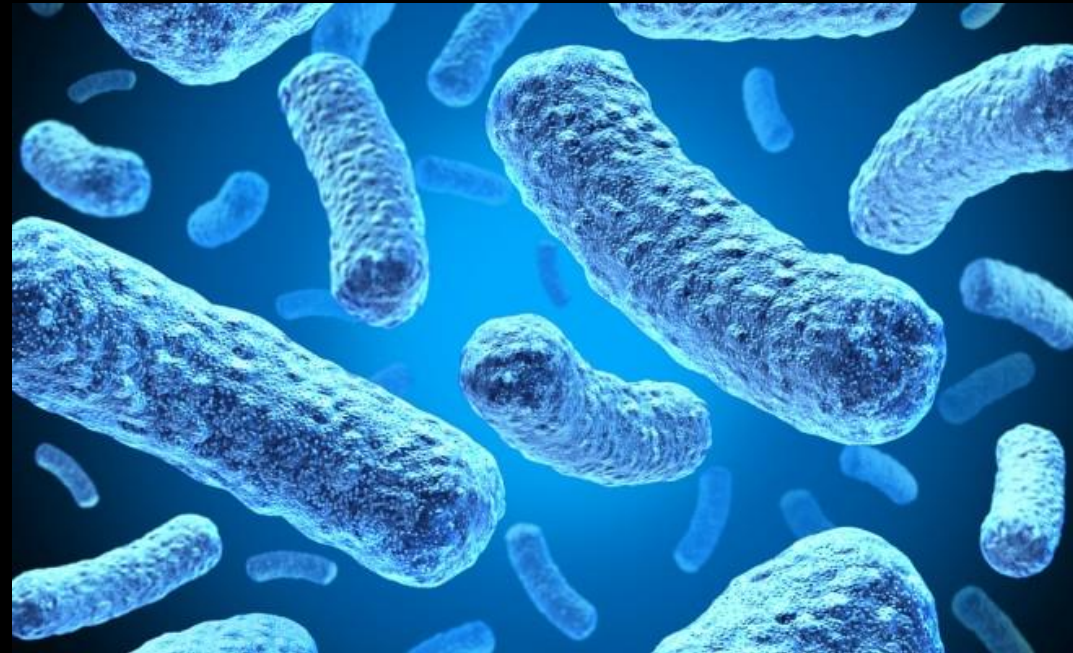


**Des milliards
de bactéries**

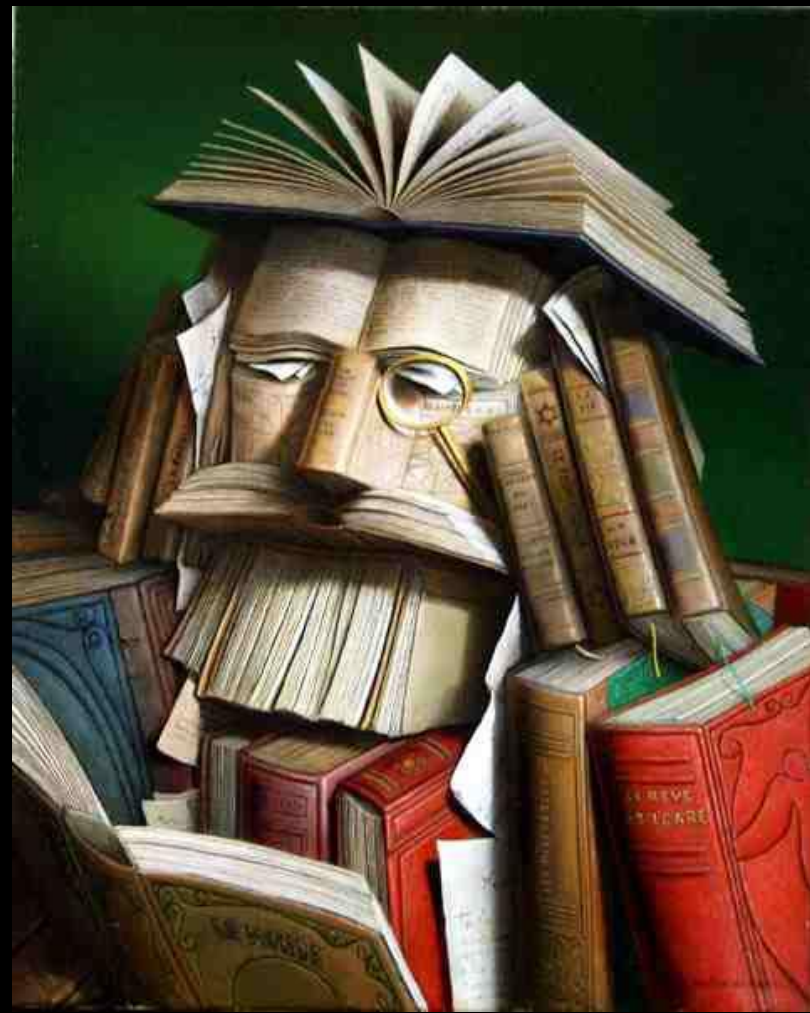


**Qu'est-ce qui est vivant
dans ce paysage ?**

On ne va donc pas chercher que des possibilités de vie pour des « êtres » grands, souvent laids, et intelligents, qui ont des lasers désintégrateurs et des vaisseaux spatiaux. Mais on va chercher des possibilités pour toutes espèces de « choses » vivantes, qui ont beaucoup plus de chances de ressembler à des « bactéroïdes » qu'à des « aliens de Science fiction ».

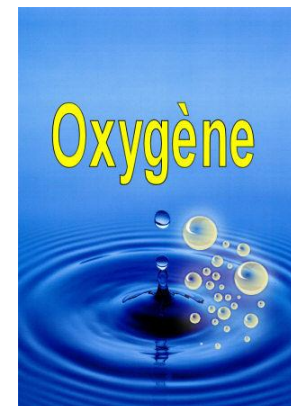
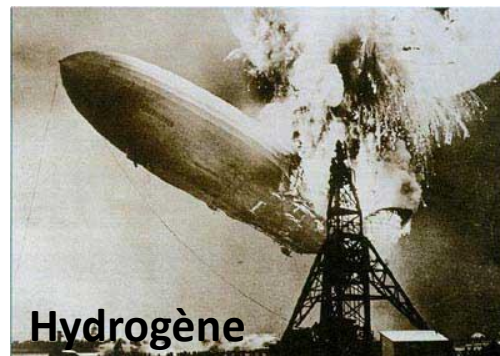
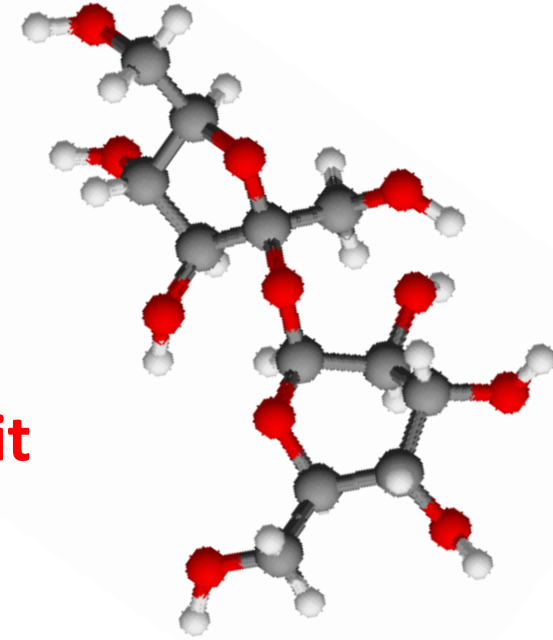


Je ne tenterai pas de définir la vie (ça fait au moins 2000 ans que des « penseurs » essaient); et il y a toujours ce problème aux limites. Je vais simplement détailler quatre des caractéristiques-exigences de la vie, et en me contentant de la vie « normale », bien de chez nous, sans aller chercher de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



Première caractéristique :

- 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. La vie doit soit se procurer ce carbone déjà associé à de l'hydrogène et autres atomes comme l'azote, l'oxygène ... (nous par exemple), soit les associer elle-même (les plantes vertes par exemple), ce qui nécessite de l'énergie.



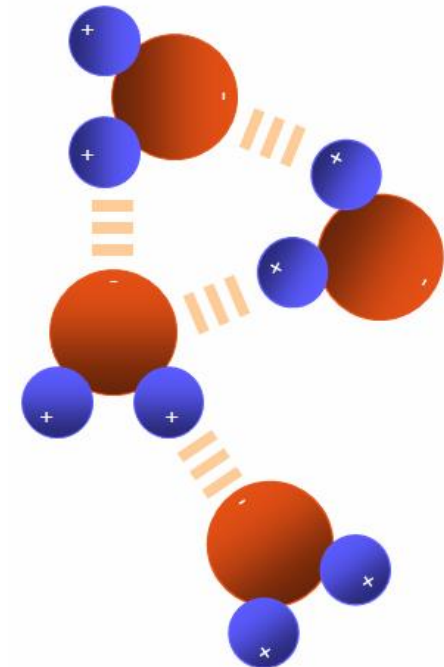
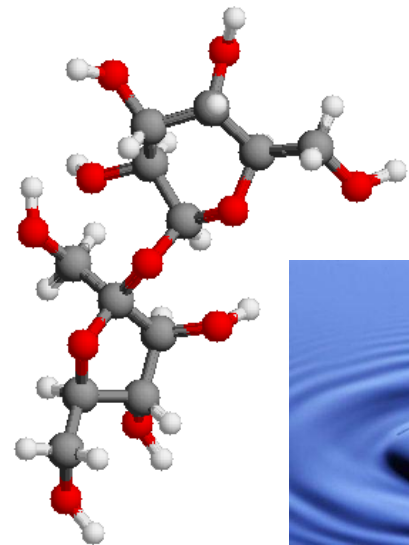
Deuxième caractéristique :

- La vie est issue d'une vie antérieure et se reproduit quasiment à l'identique. Mais il a bien fallu 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. Et c'est un problème plus sérieux que celui de la poule et de l'œuf. Mais nous ne l'aborderons pas.



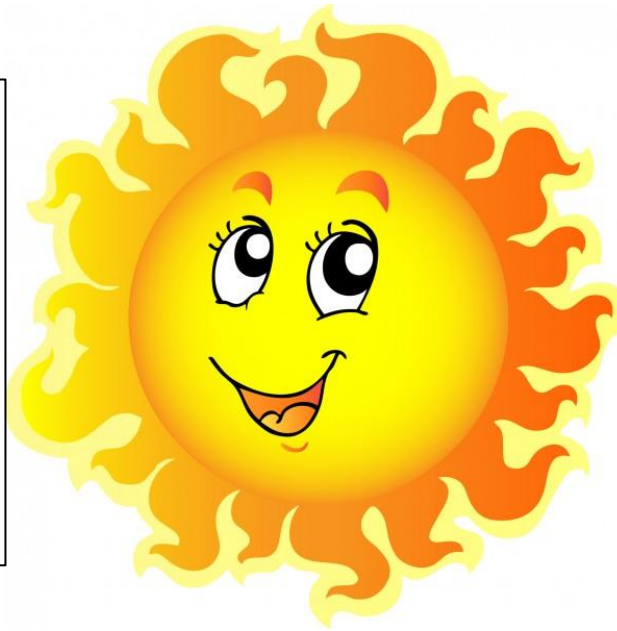
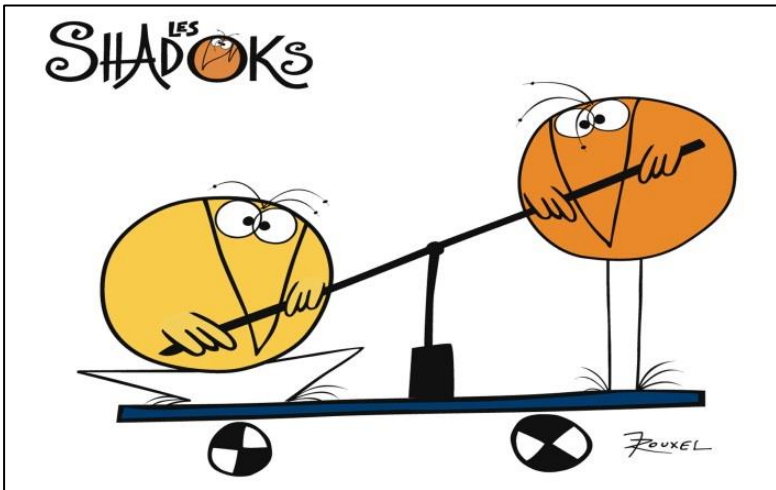
Troisième caractéristique :

- 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 :

- La vie doit disposer d'énergie pour « vaquer » à ses besoins divers et variés. Ceux qui absorbent les grosses molécules toutes faites fabriquent leur énergie en les dégradant. Mais les autres 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 !

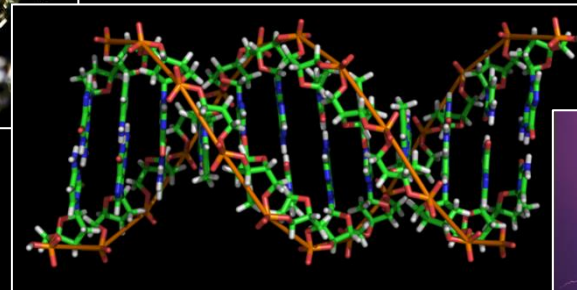
On va donc étudier ces quatre caractéristiques, en commençant par la plus « populaire » : l'eau liquide. Ensuite on cherchera le carbone, puis les molécules complexes initiales nécessaires au début de la vie, et enfin l'énergie « noble ».



L'eau



Le carbone

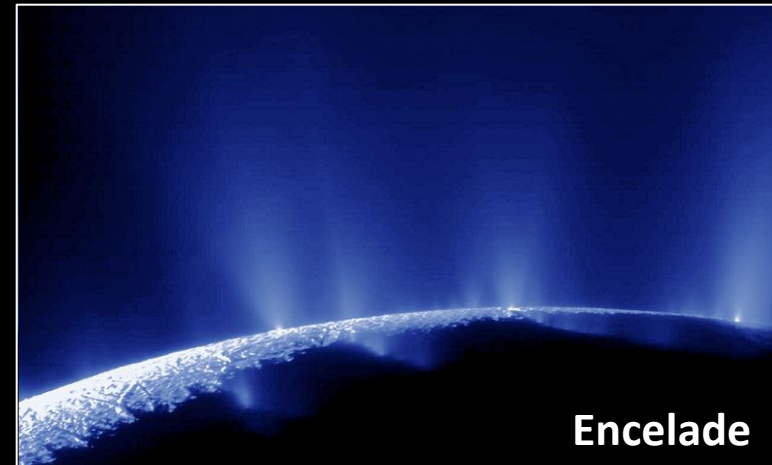
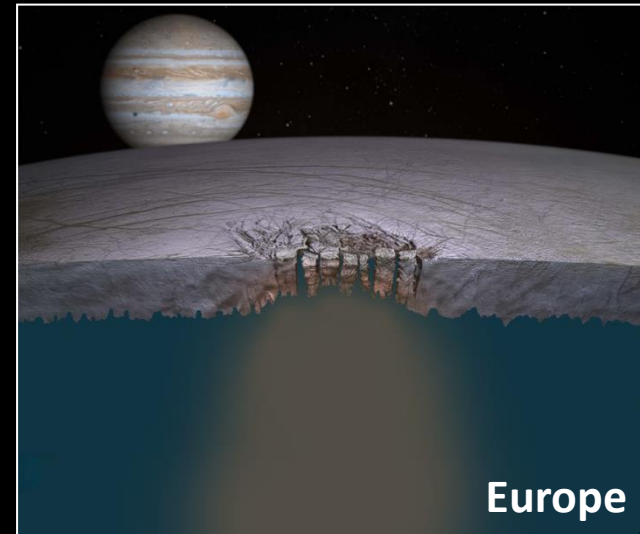
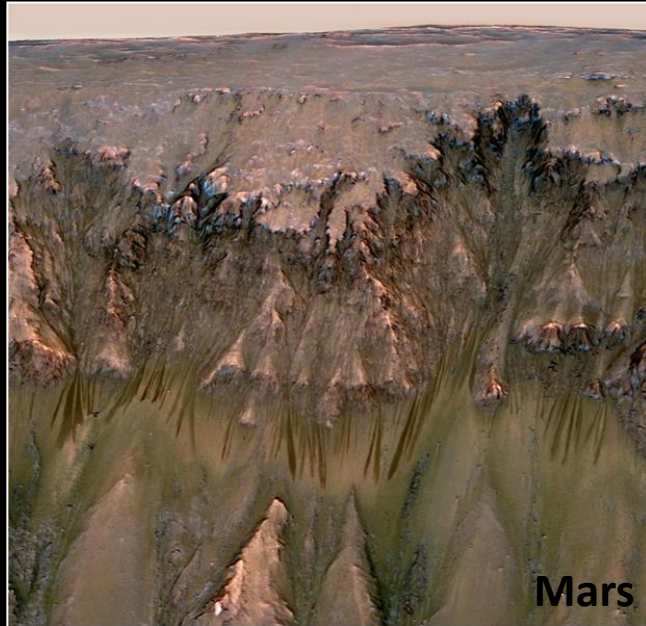


Les molécules complexes
initiales

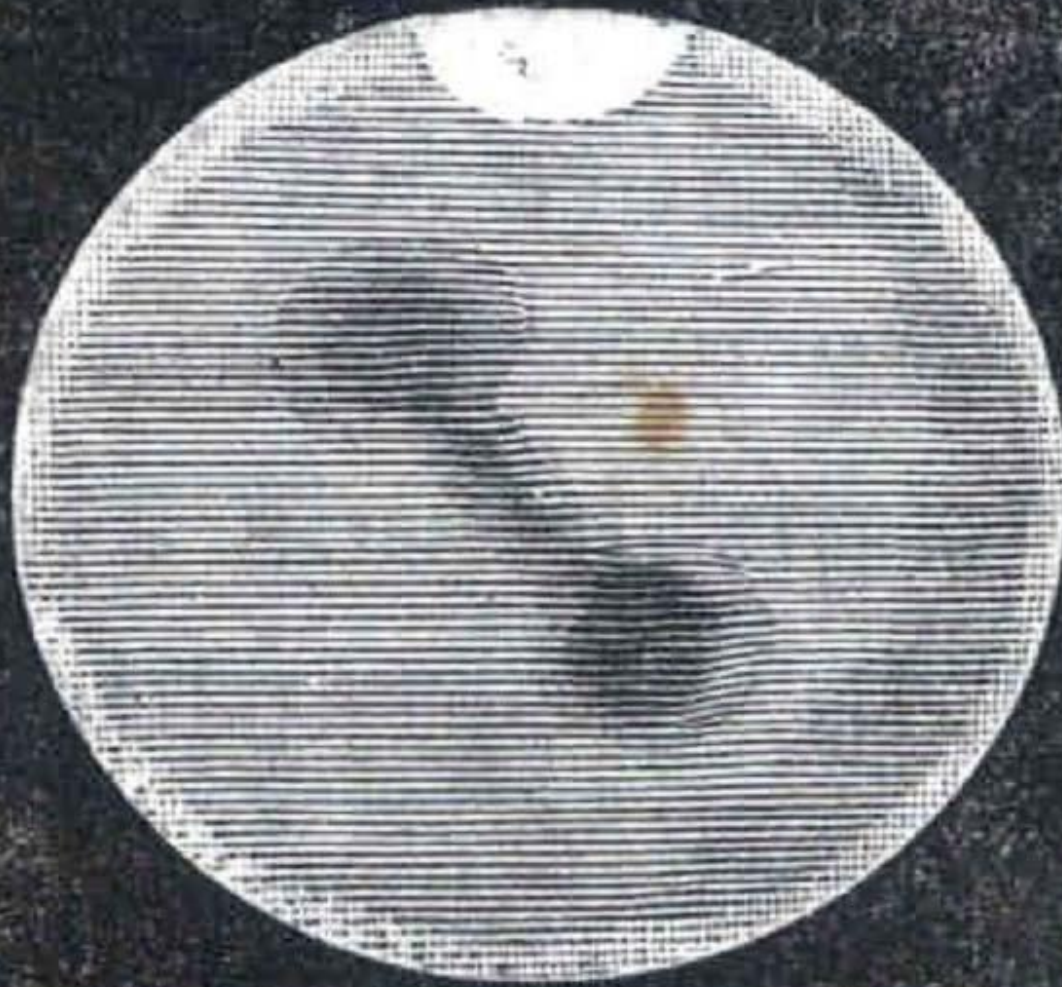


L'énergie

On commence donc 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 ?

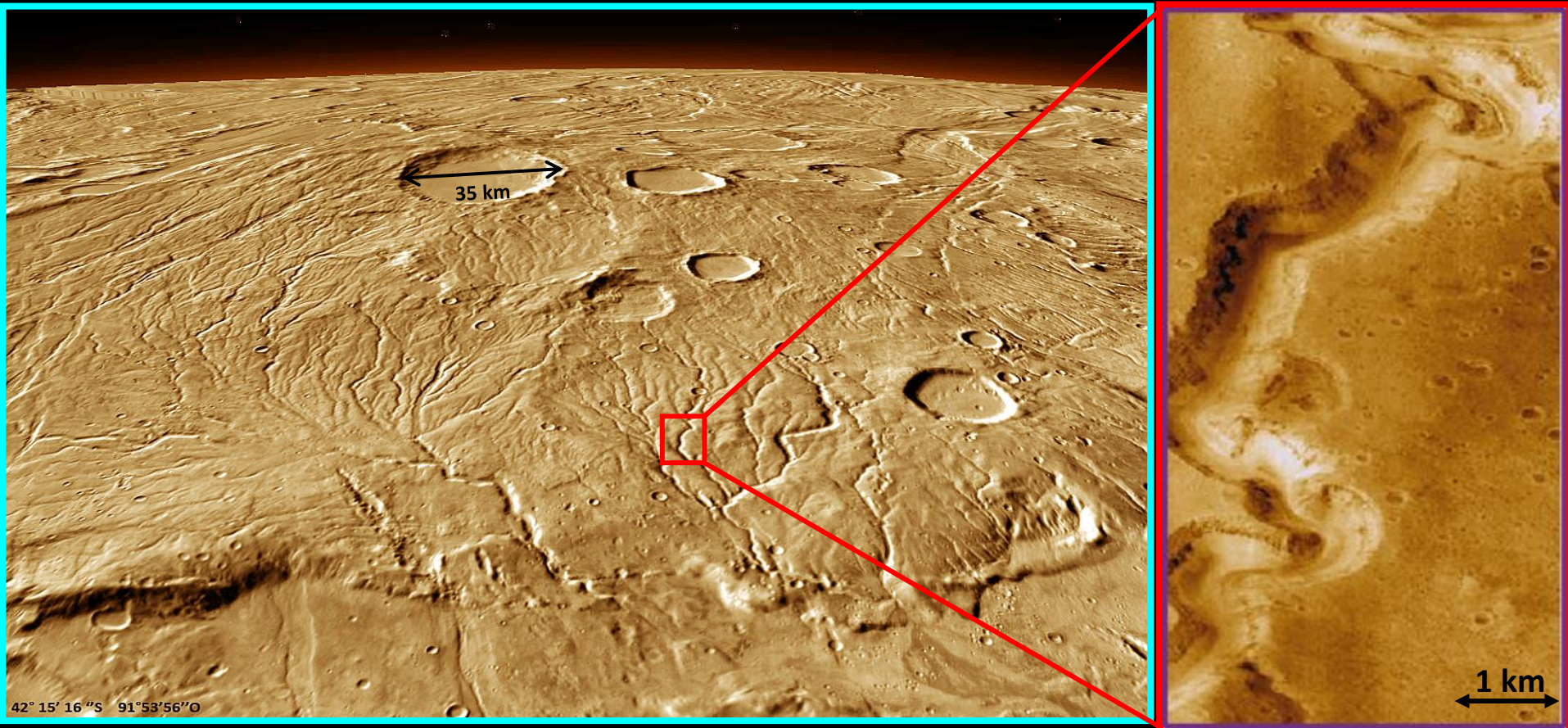


D'abord, Mars.



CASSINI 1666

Les calottes polaires de Mars, ont été découvertes au 17ème siècle, simultanément par Cassini et Huygens. Elles changent de taille avec les saisons. On soupçonne donc fortement donc depuis le 17eme siècle qu'il y a de l'eau (au moins solide) sur Mars. La preuve spectrale a été obtenue en 1964.



On sait depuis 1971-1972 avec la mission Mariner 9 que de l'eau liquide a coulé sur Mars dans un passé lointain, avec petits ruisseaux formant de grandes rivières ... Ce qu'on veut savoir, en 2014, 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 ».



Sol 10

Windy

Temperature
(min / max)



Air	Ground
-11°C	+4°C
-71°C	-89°C

Average
Pressure



8.2 hPa
Higher than
nominal

Average
Abs. Humidity



8 %

Summer solstice
Aug 16, 2012 on Earth

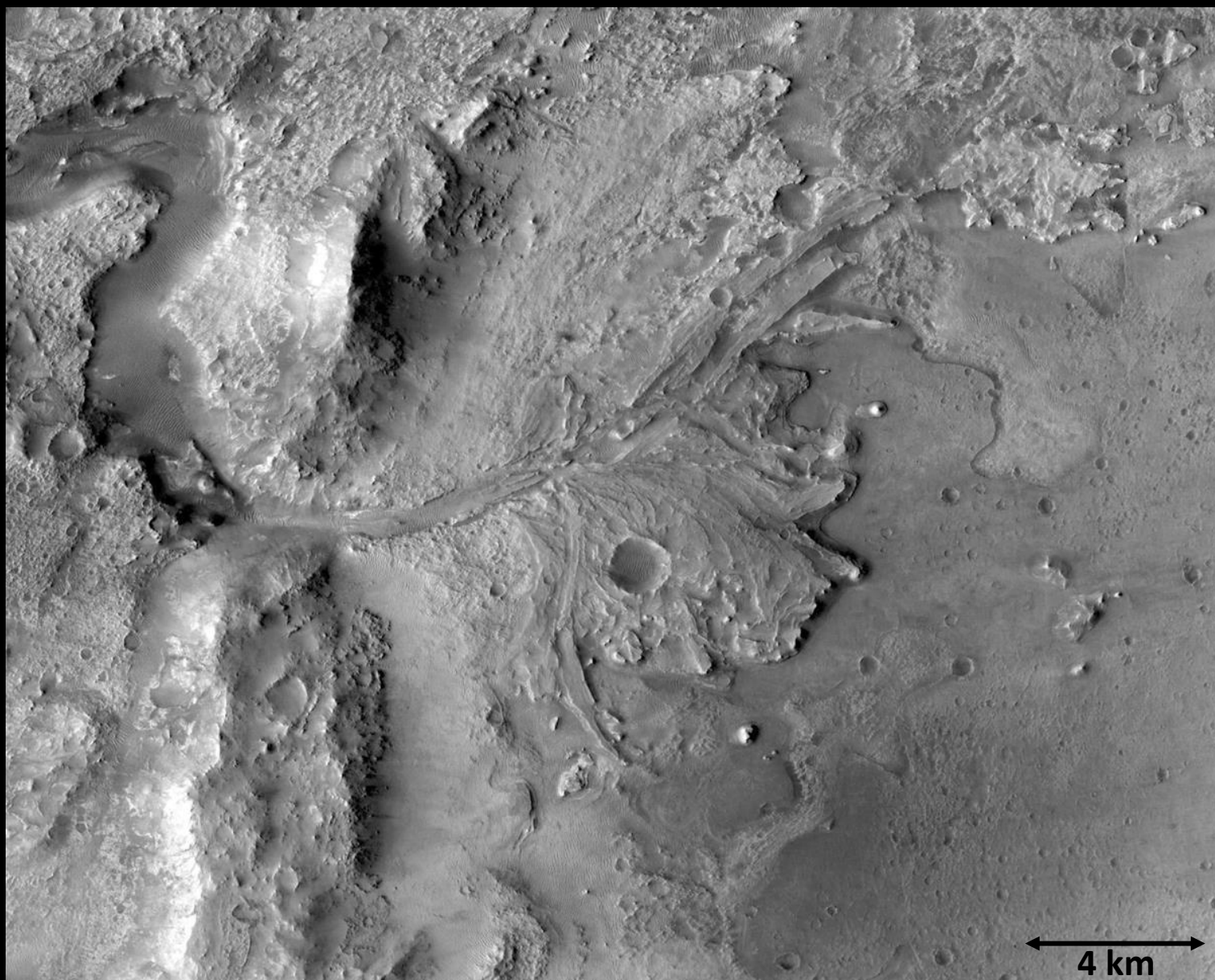
Dominant Winds



Blowing from the NW
at 25 m/s

MARS SCIENCE LABORATORY 2011 NASA
 REMS
CENTRO DE ASTROBIOLOGIA (CSIC-INTA)

Les conditions de pression et de température ne permettent pas aujourd'hui l'existence d'eau liquide stable en surface : il fait en général trop froid, et la pression n'est pas assez élevée, même quand on dépasse temporairement 0°C. Ici, le bulletin météo du premier solstice d'été vécu par Curiosity.



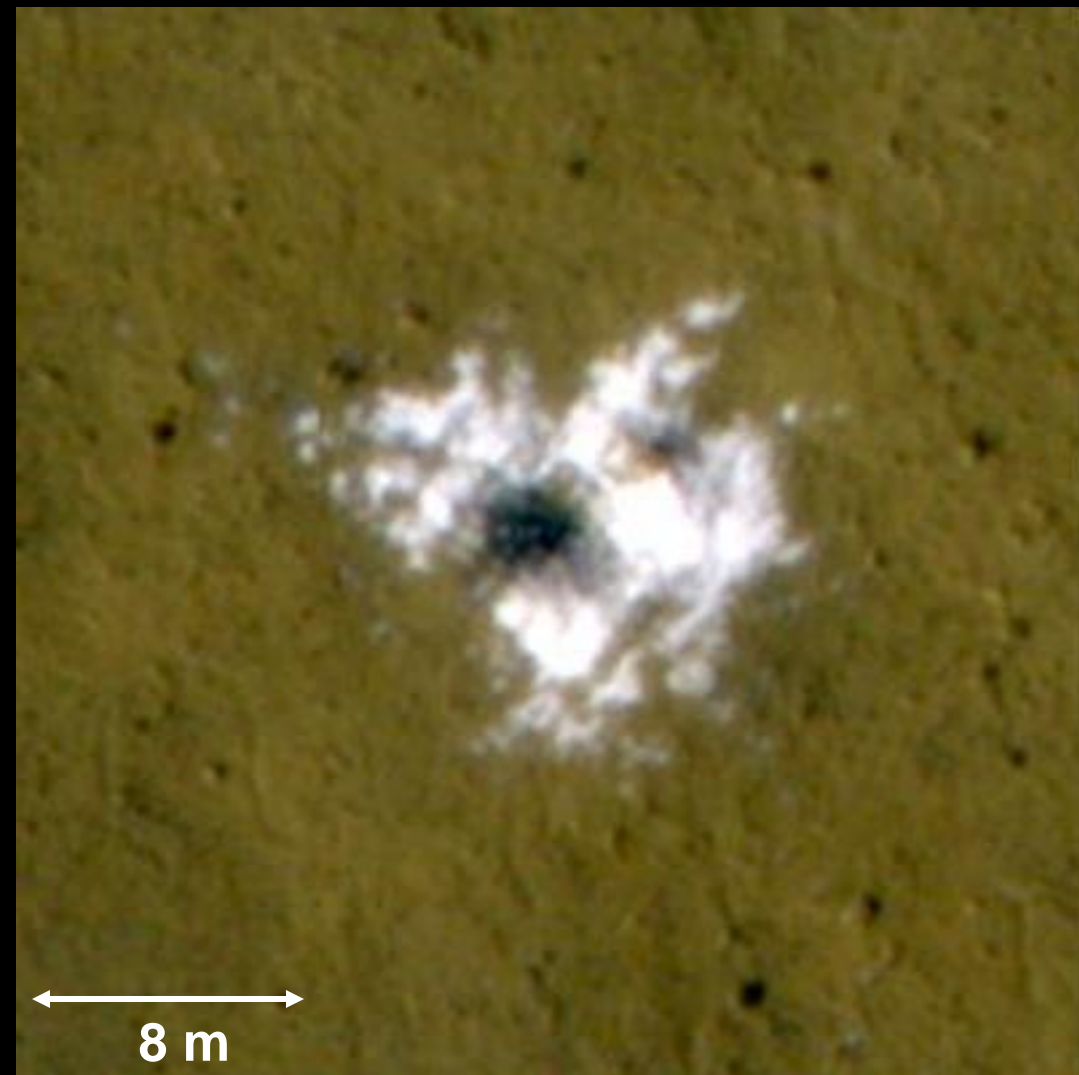
Mais entre -4 et -3,5 Ga coulaient des fleuves, qui ont fait des deltas, déposaient des sédiments ...

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.

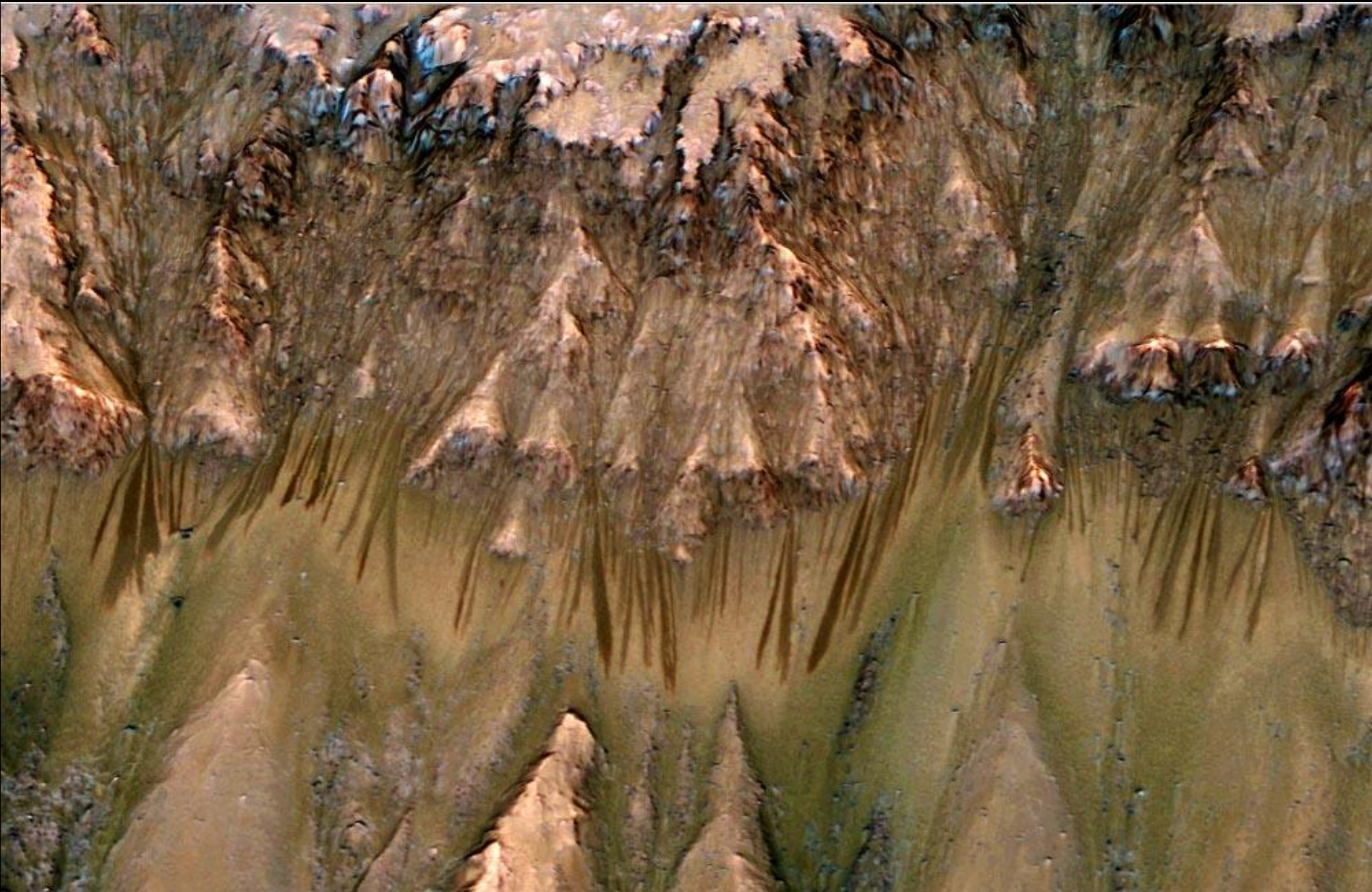


Les plus « grands » de ces cratères « actuels » sont souvent entourés d'éjectas blancs, que les spectres IR révèlent être fait de glace d'eau. Ce cratère a été creusé en 2008. Il mesure 8 m de diamètre, pour 1,5 m de profondeur. De la glace d'eau existe donc à faible profondeur dans cette région (56° lat. N)

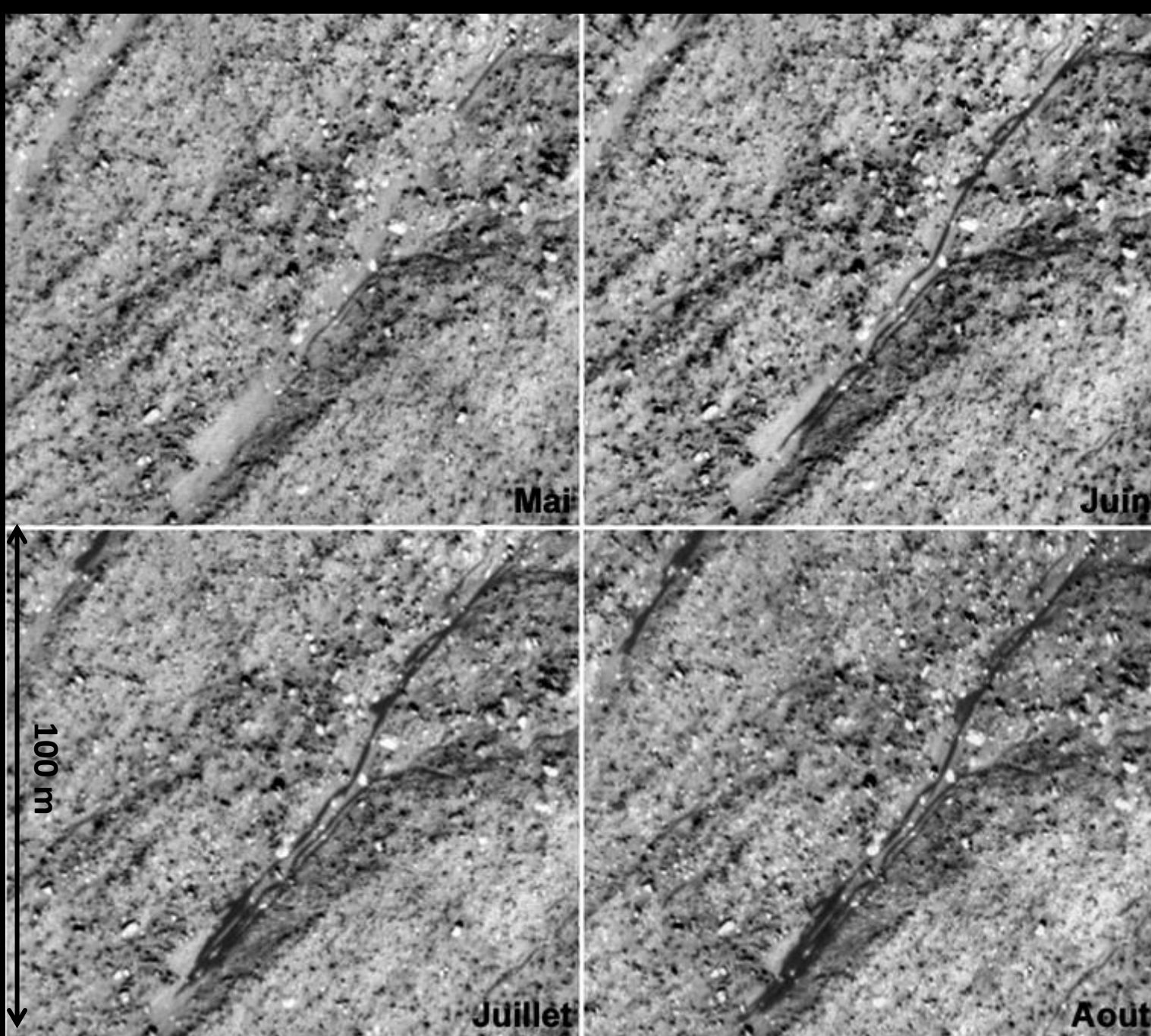




Il y en a certaines circonstances exceptionnelles où cette glace souterraine semble fondre encore aujourd'hui, par exemple sur certaines pentes exposées longtemps au soleil dans les hautes latitudes.



Des traces d'écoulement, inexistantes l'hiver, apparaissent au printemps, s'allongent l'été et disparaissent l'automne.

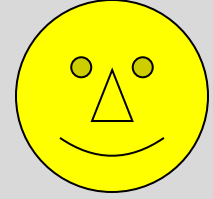


La progression de deux de ces trainées de mi-printemps à mi-été

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

Voici une proposition d'explication.

Plus de 10 m de terrains étanches. Leur poids confère une pression suffisante pour que l'eau puisse être liquide en dessous de 10 mètres de profondeur, si la température est suffisante



Sur les versants exposés longtemps au soleil, la température peut dépasser les 0°C

> 10 m

Terrains imbibés de glace, peut-être salée. Si la salinité est forte, la température de fusion peut baisser bien en dessous de 0°C

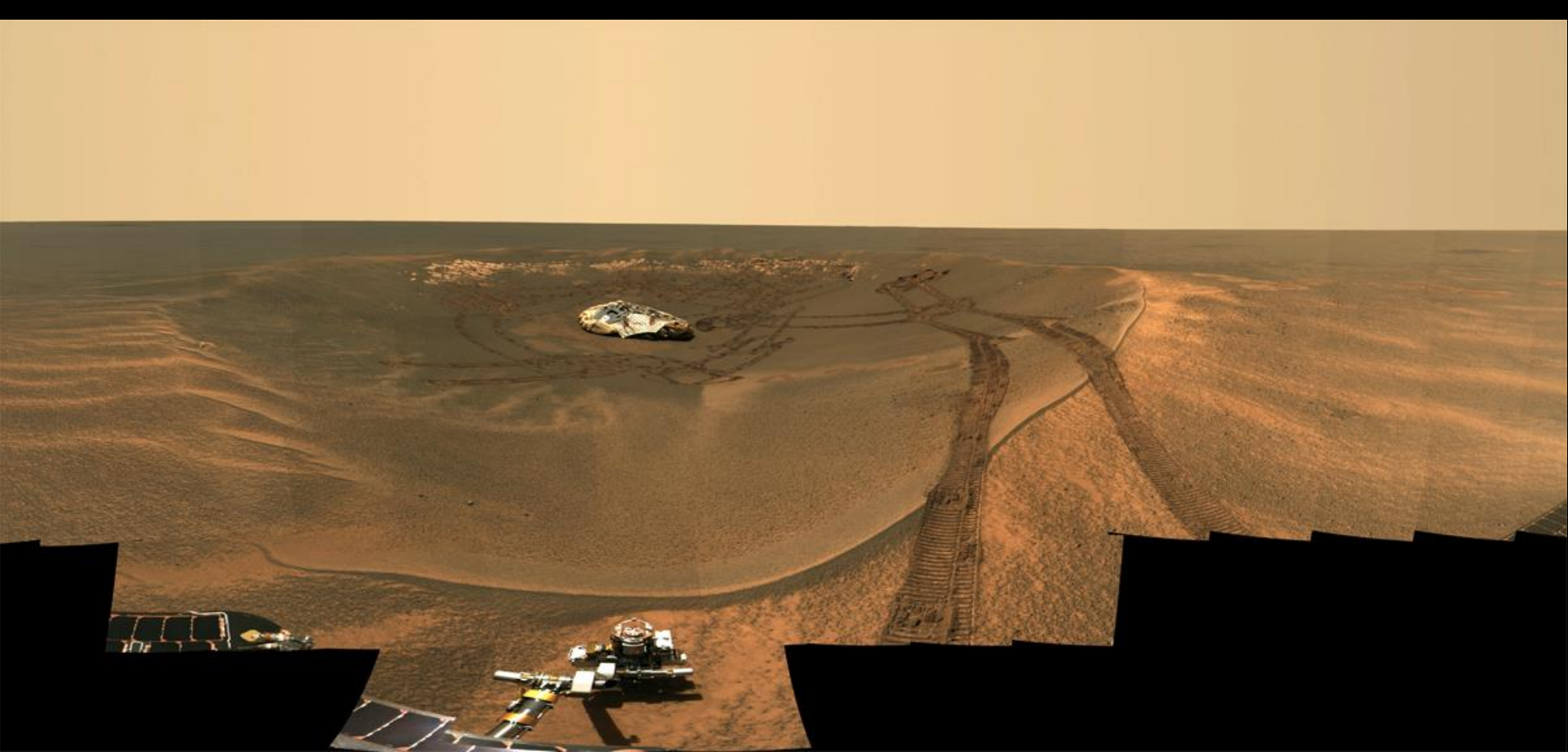
La glace peut fondre sous ces versants réchauffés, l'eau liquide peut crever les terrains étanches et s'écouler, brièvement.



Pour étudier *in situ* les sédiments (anciens) témoins du passé humide de Mars, quatre missions ont été envoyées sur place :

- Sojourner en 1997
- Spirit et **Opportunity** en 2004
- **Curiosity** en 2012.

On va voir quelques résultats d'Opportunity et de Curiosity

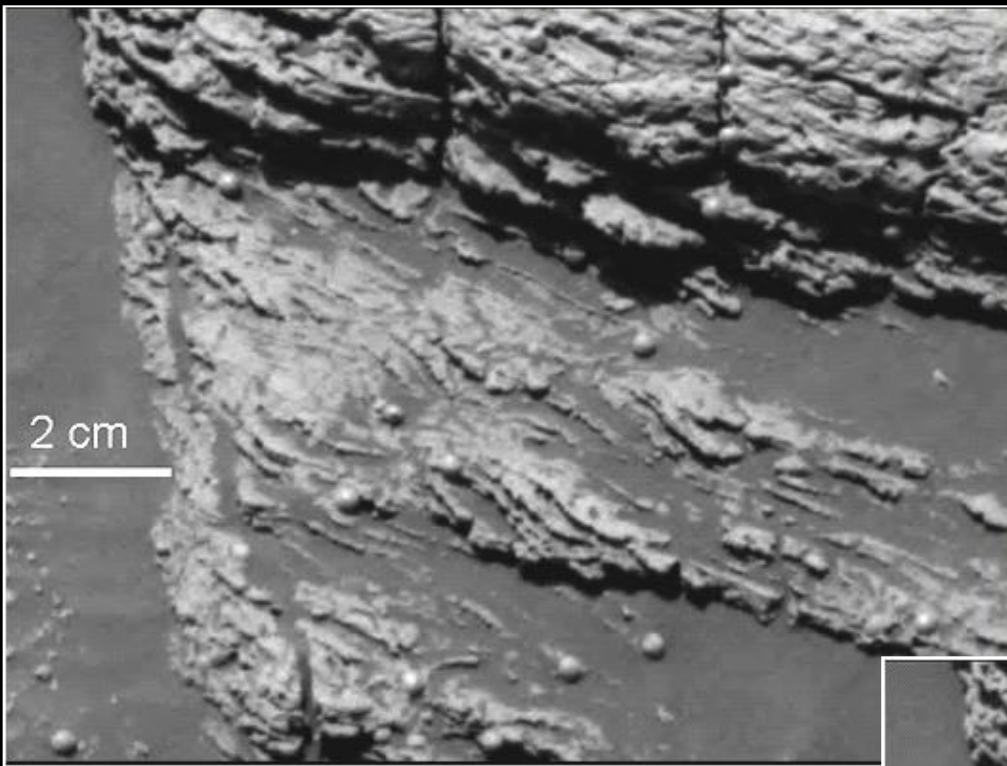


En 2004, Opportunity s'est posé dans la plaine « Méridiani » (faite d'un tapis de mini-dunes), et plus précisément et tout à fait par hasard dans le petit cratère *Eagle* ($\varnothing = 20\text{m}$, profondeur de 2 m). Voici les traces qu'il a fait pour en sortir, après 2 mois d'études géologiques approfondies.

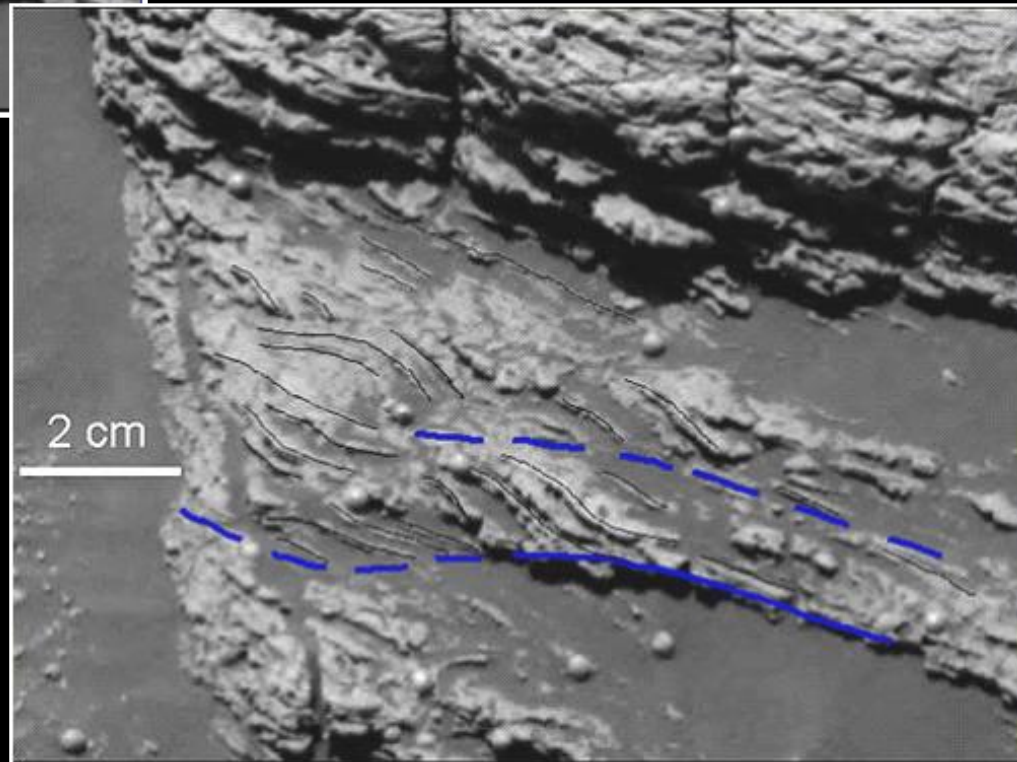


Dans ce cratère *Eagle*, on voit des affleurements disposés en strates ! Le jackpot !! Mais des strates de quoi ? Des laves, des cendres volcaniques, des sédiments ? Et si ce sont des sédiments, sont-ils éoliens, « aquatiques » ... ?

**En regardant le détail
des stratifications,
Opportunity découvre
entre autres des
stratifications obliques !**

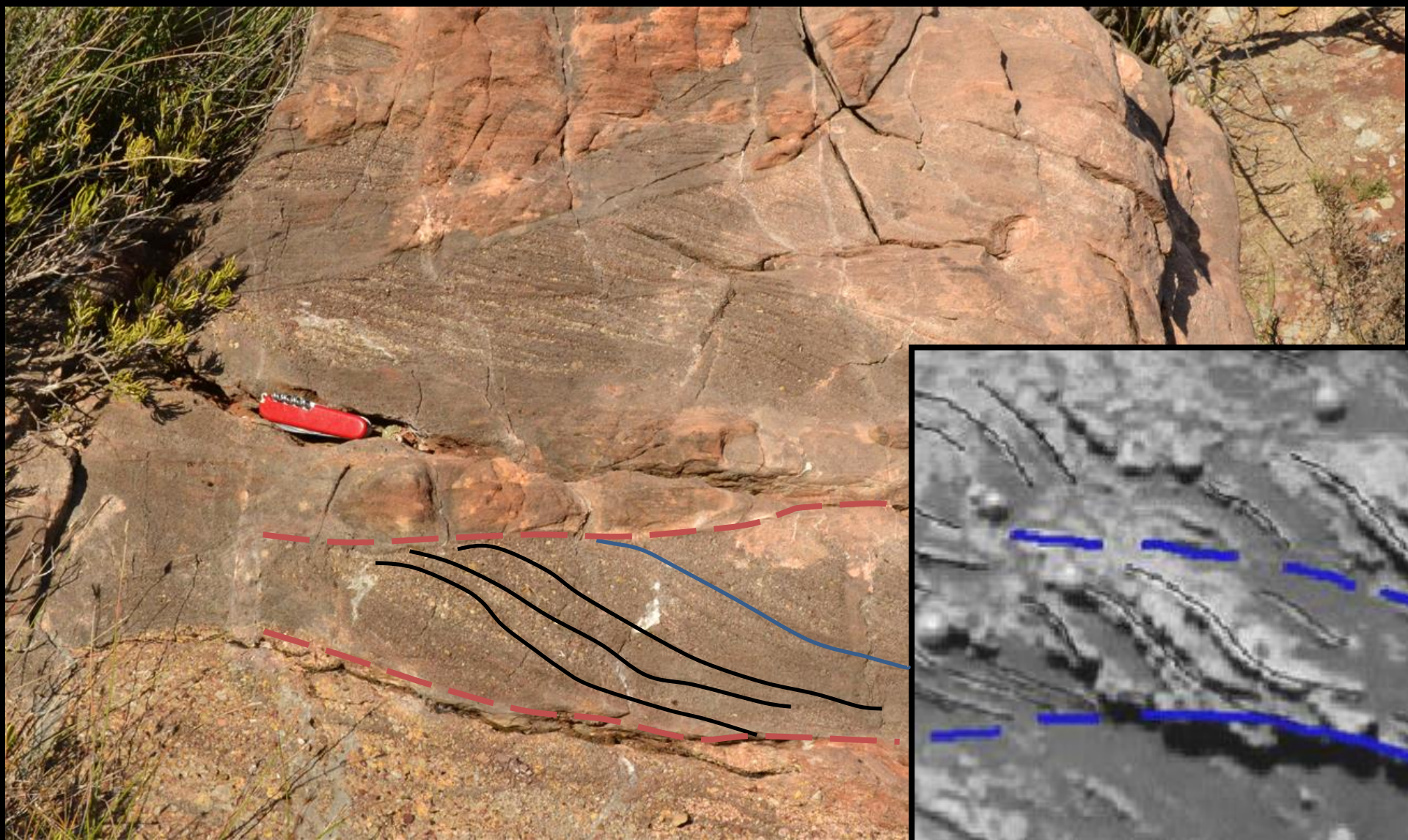


**Et des sédimento-
logues patentés nous
affirment que se sont
des stratifications
faites sous un
courant d'eau.**

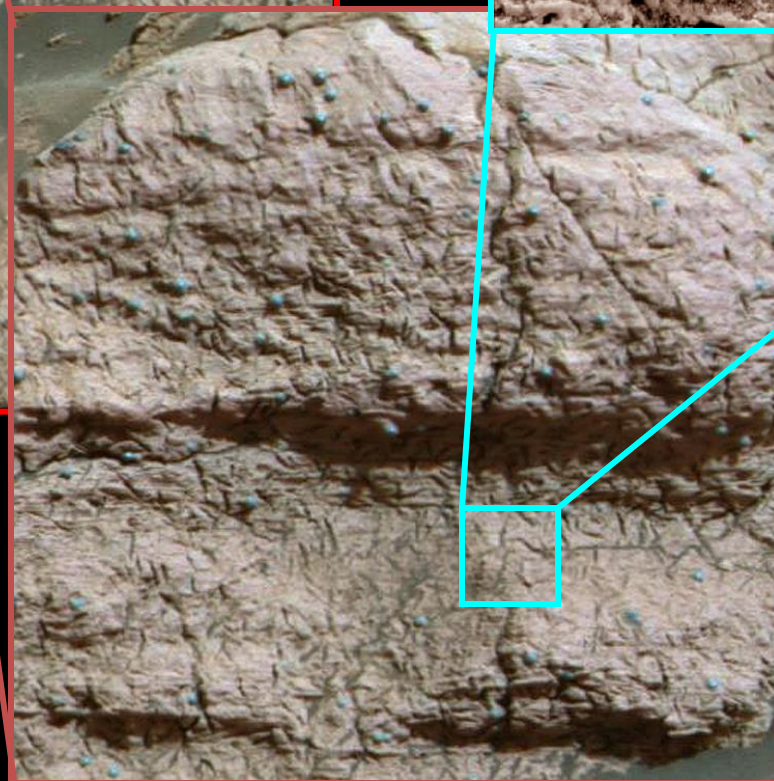
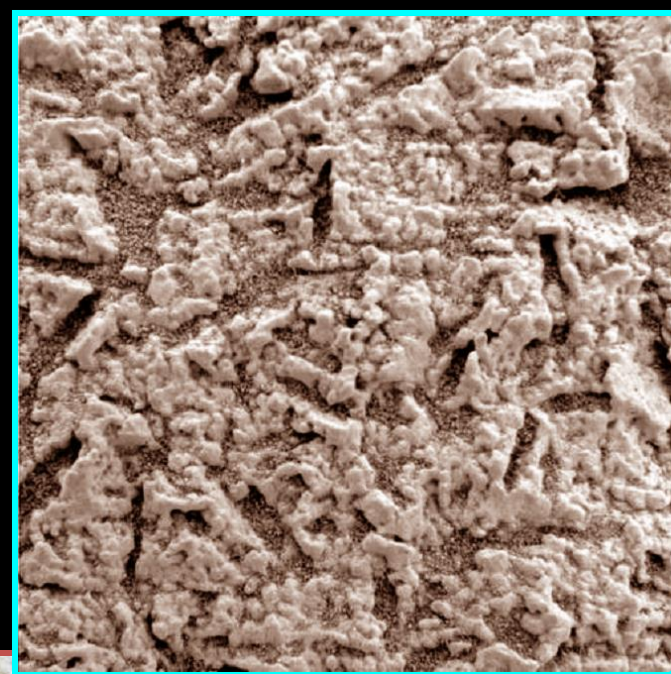
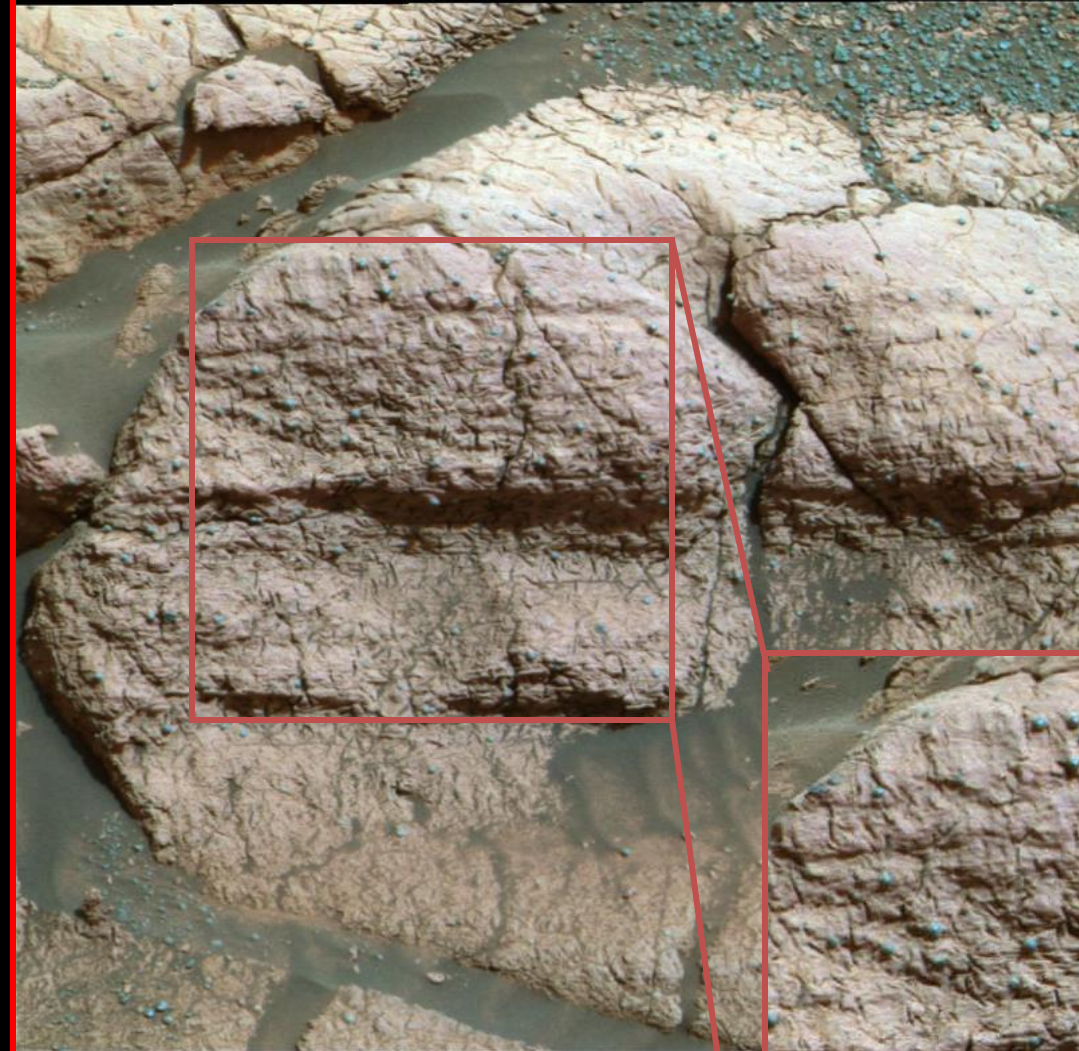




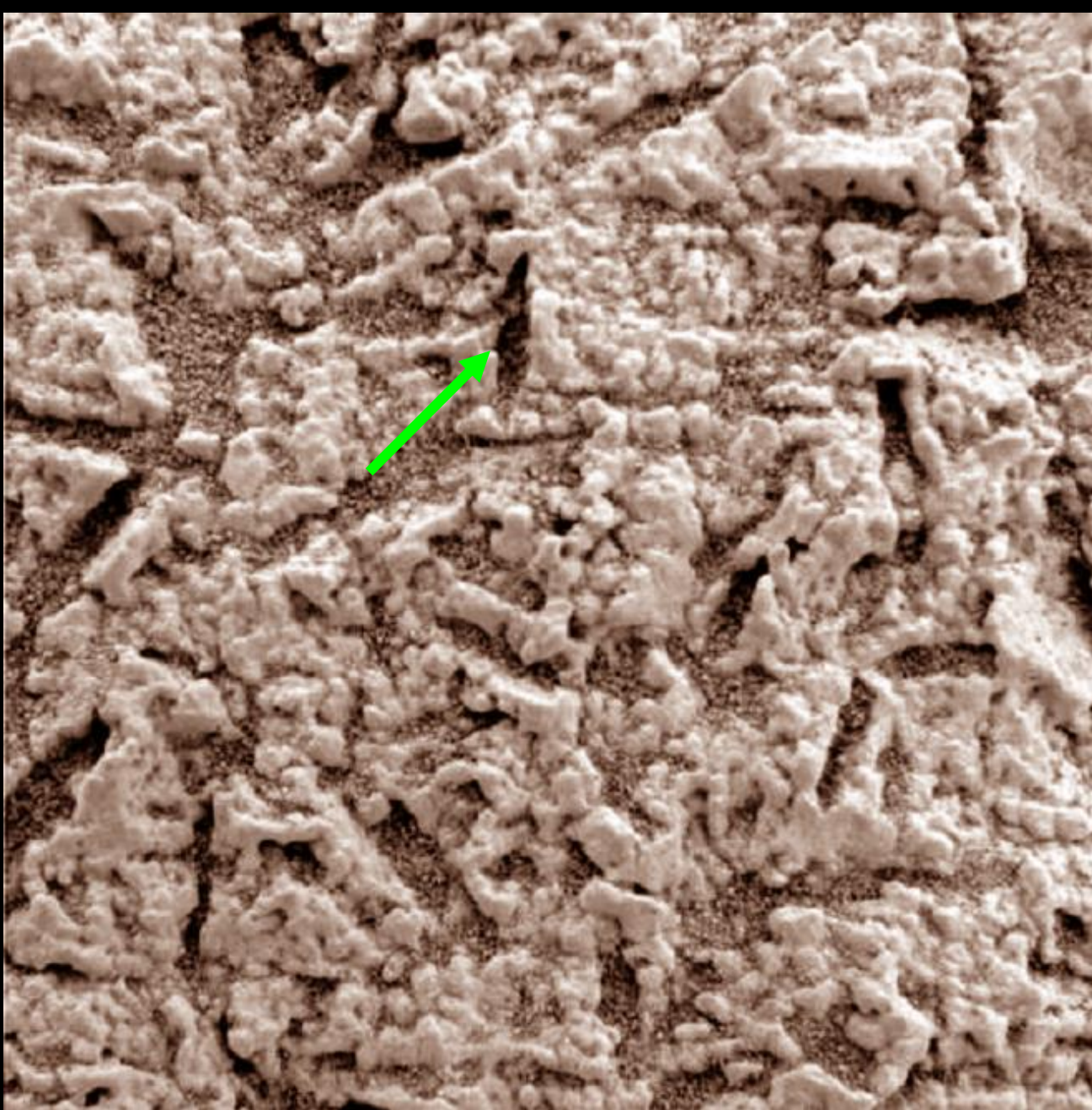
Une analogie terrestre des stratifications obliques du cratère Eagle, ici dans le Crétacé supérieur des Corbières.



Ca ressemble, n'est-ce pas !



Voici des strates bien régulières, avec dedans des « cavités » (vug en anglais).



**Les « vugs » ?
Parfois ils ont
des formes
«géométriques»
rappelant
furieusement la
forme des
cristaux de
sulfates (gypse
ou autres) se
formant par
évaporation
d'une mer ou
d'un lac salé).**



Les « vugs » ressemblent à des pseudomorphoses de gypse et autres sels.

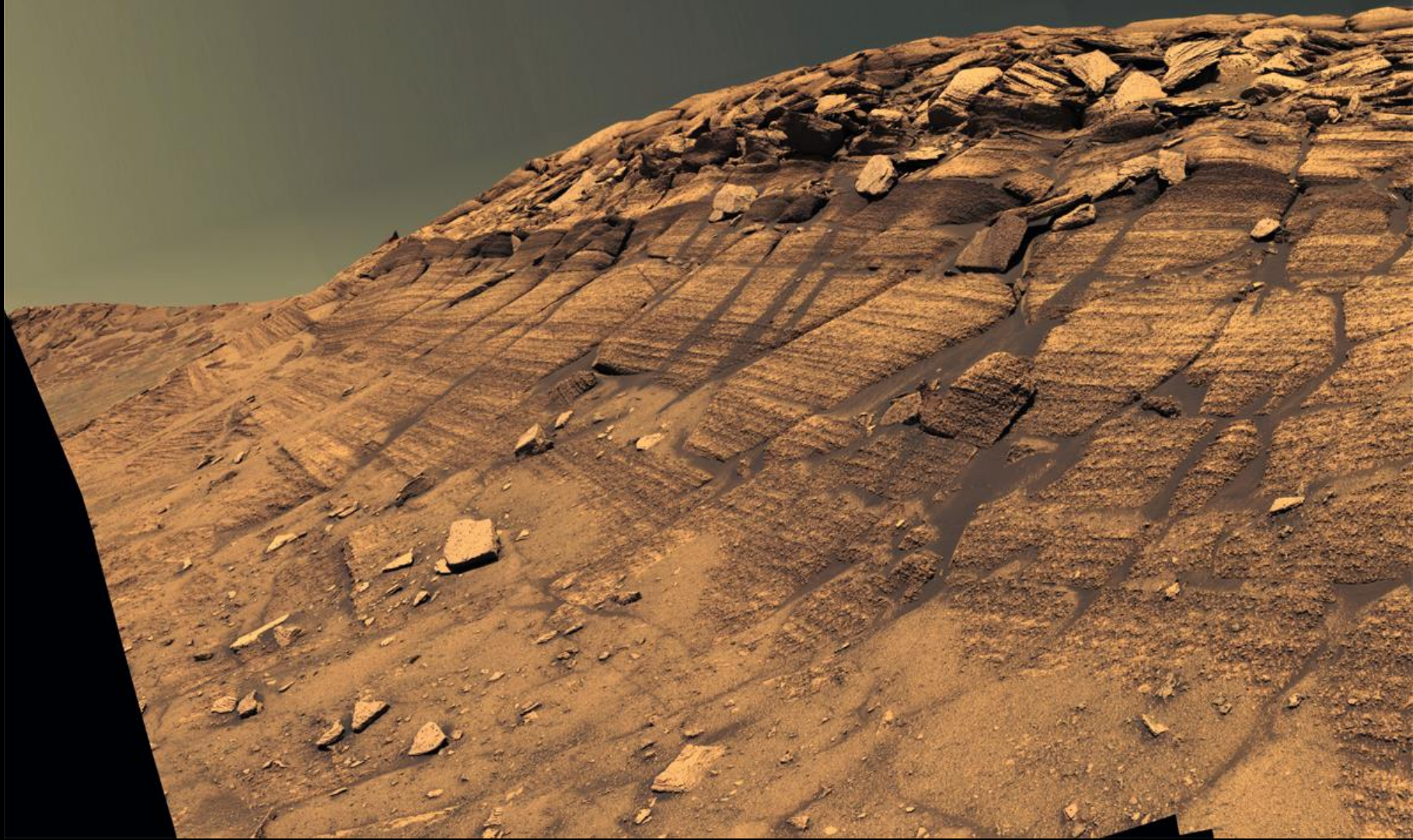




**Gypse, et autres sels,
ça se dépose dans des
lacs salés, des lagunes
en bord de mer ...**

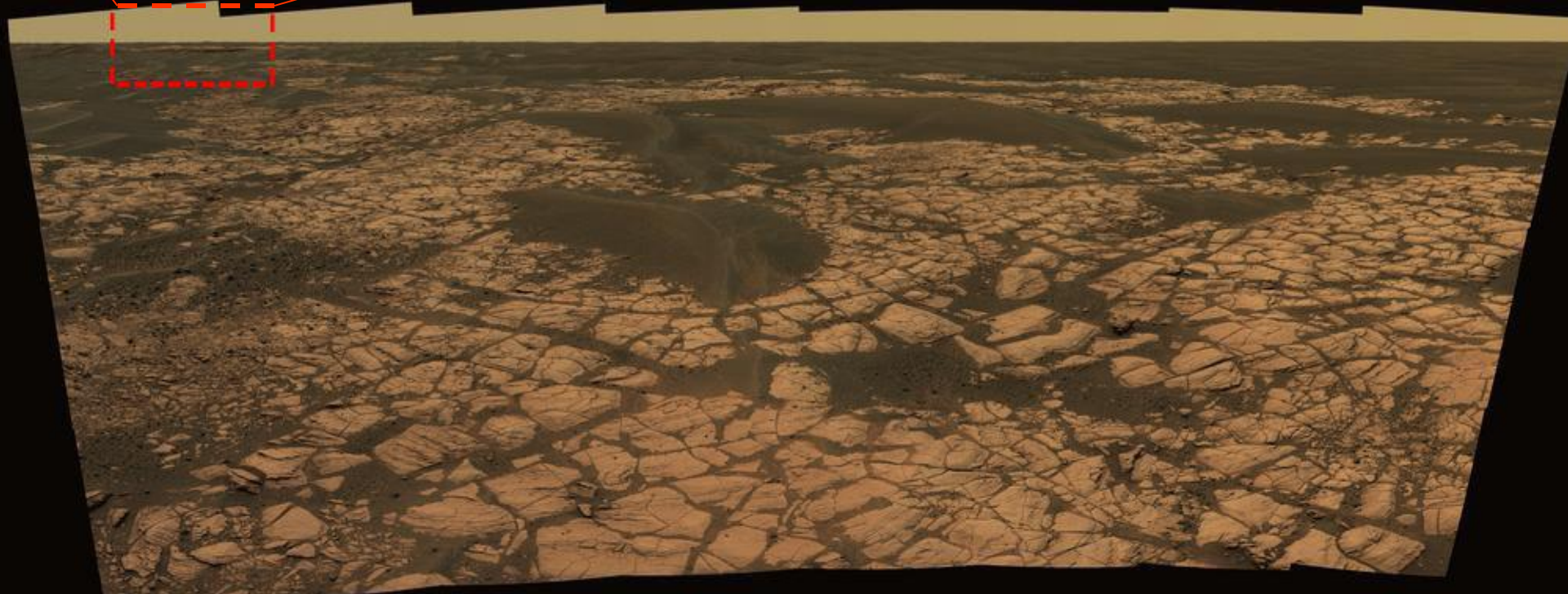
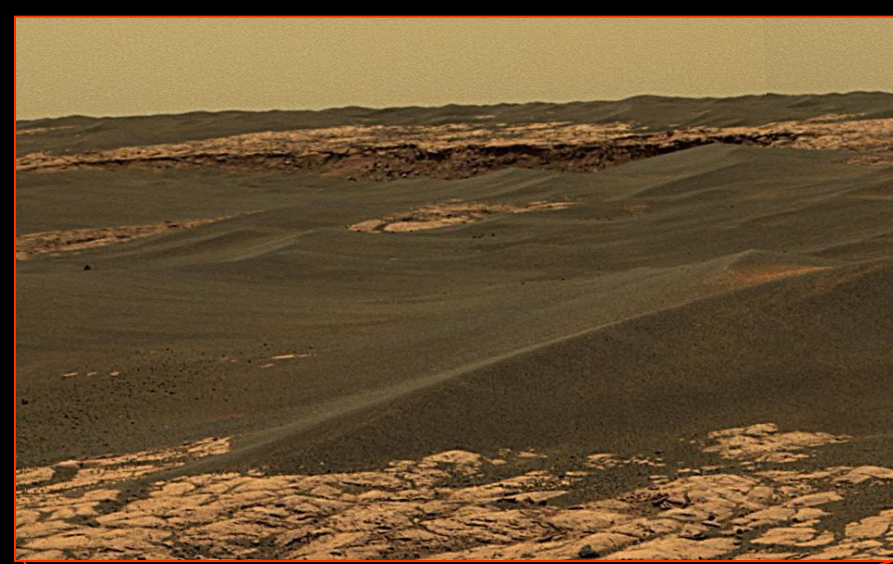


Puis Opportunity quitte Eagle, visite d'autres cratères, monte sur des montagnes ... Je vous donne deux autres résultats de ces dix ans et demi et 40 km de trajet.

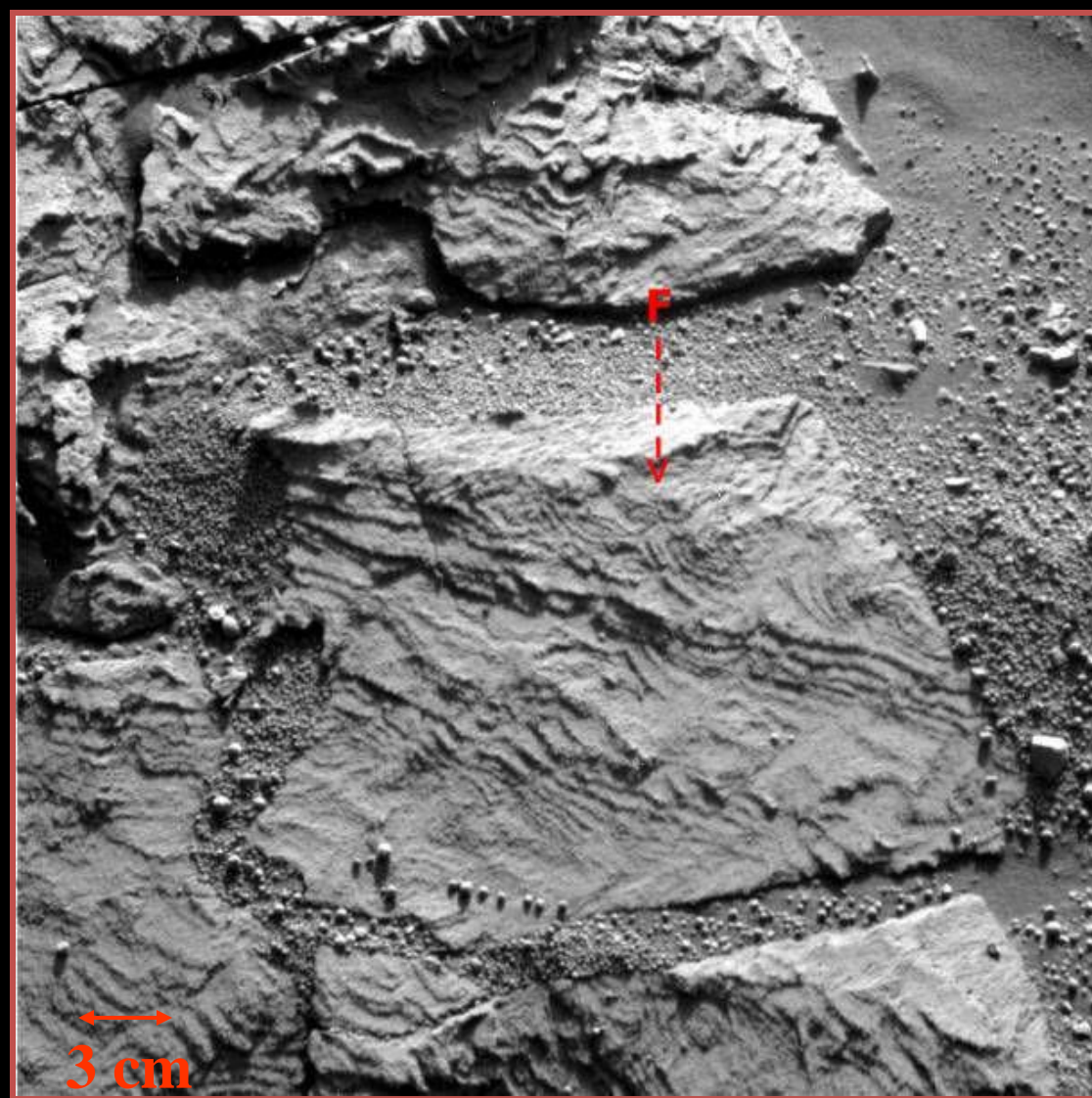


Ici, une belle coupe dans le cratère Endurance, de 7 mètres d'épaisseur. Un festival de strates pour les sédimentologues

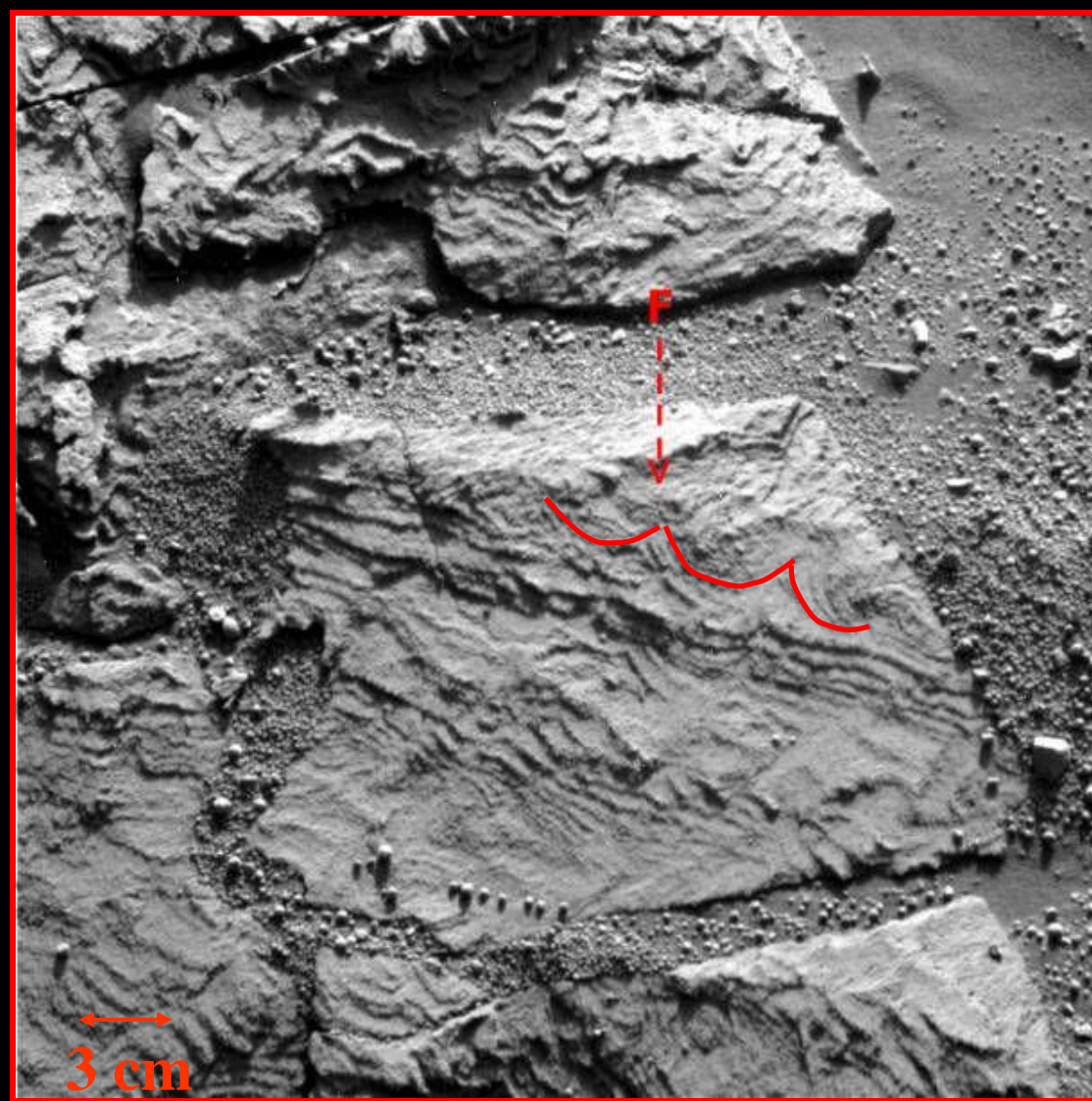
**Parfois, les couches
affleurent quasiment à
plat sur des centaines de
m². On peut étudier en
détail des dizaines de
mini-coupes, comme ...**



... celle-là ! Ici, les strates sont « festonnées ». Sur Terre, on connaît de telles strates festonnées.



... celle-là ! Ici, les strates sont « festonnées ». Sur Terre, on connaît de telles strates 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.



A part le gypse déterminé « morphologiquement », deux autres minéraux formés dans l'eau ont pu être identifiés formellement : l'hématite (Fe_2O_3), et la jarosite $[\text{K}^+ \text{Fe}^{3+}_3 (\text{OH}^-)_6 (\text{SO}_4^{2-})_2]$, minéral rare sur Terre, stable uniquement en Ph acide, et identifié pour la 1ere fois sur Terre dans les champs d'épandage des mines de sulfures.



Les eaux martiennes locales devaient avoir un Ph très bas (très acide) lors du dépôt des sédiments de Meridiani Planum !



<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA15101>

Changeons de mission : voici la cible de Curiosity : le cratère Gale ($\varnothing = 154$ km) avec au centre le *Mont Sharp* (5000 m de haut). Des études spectrales depuis l'orbite révèlent que sa base est stratifiée, très riche en argiles, sulfates ... **C'est le but de la mission.**

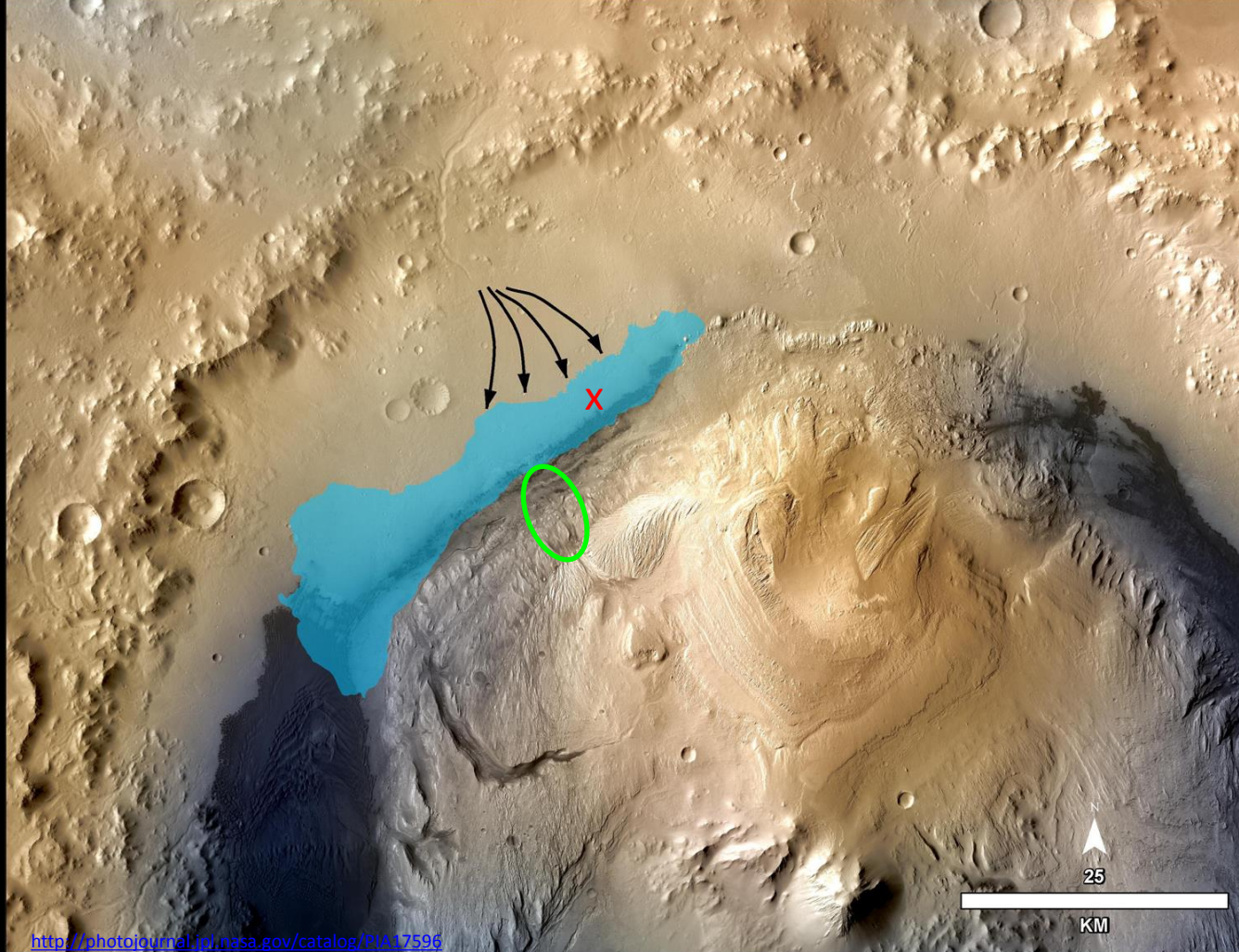


Le Mont Sharp vu depuis Yellowknife Bay en juin 2013. La cible : les couches de sa base, distante de 4 km à vol d'oiseau, 10 km avec les détours dus à un cordon de dunes.

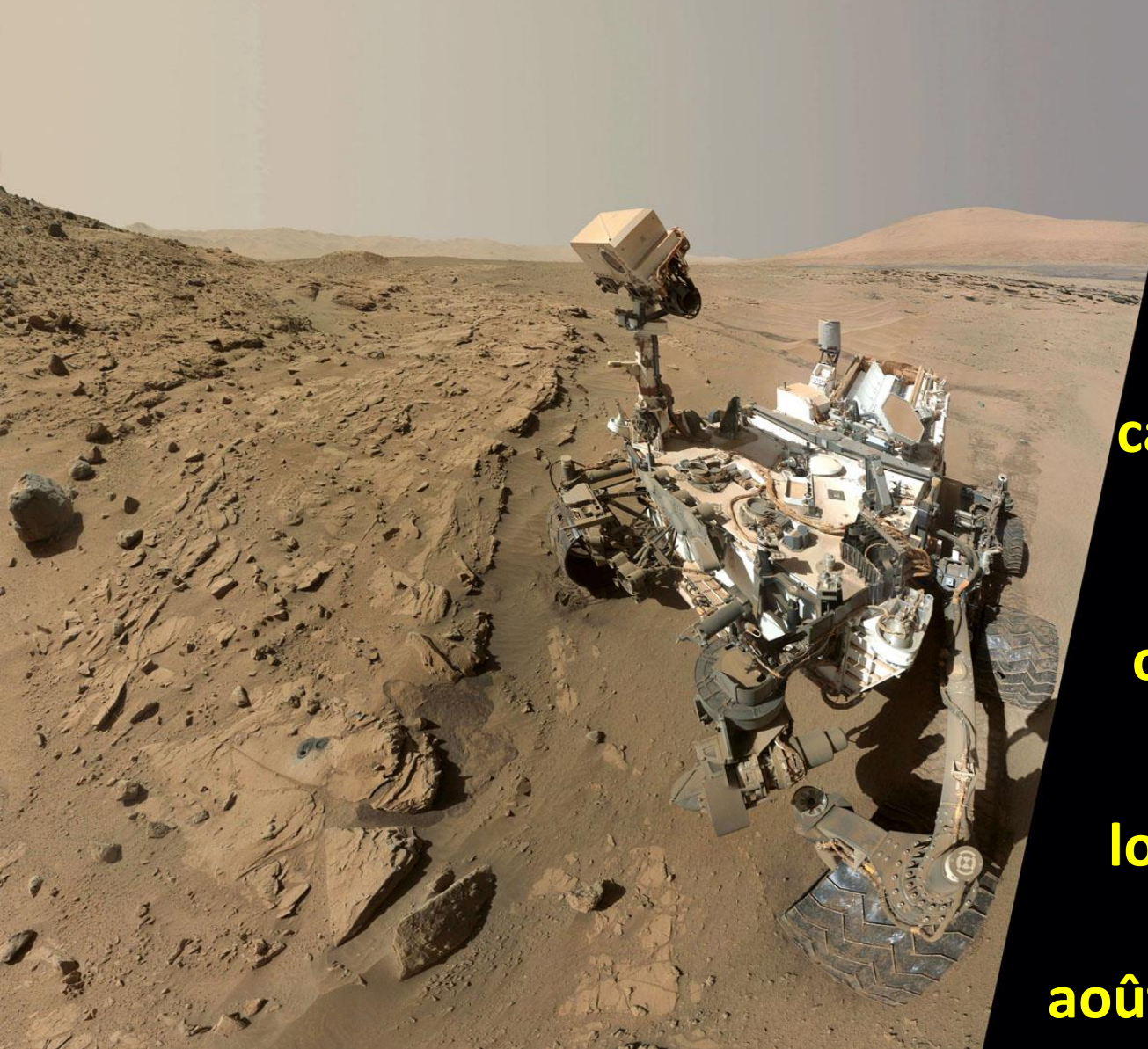


<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA10105>

Zoom sur ces couches basales. Prometteur n'est-ce pas !

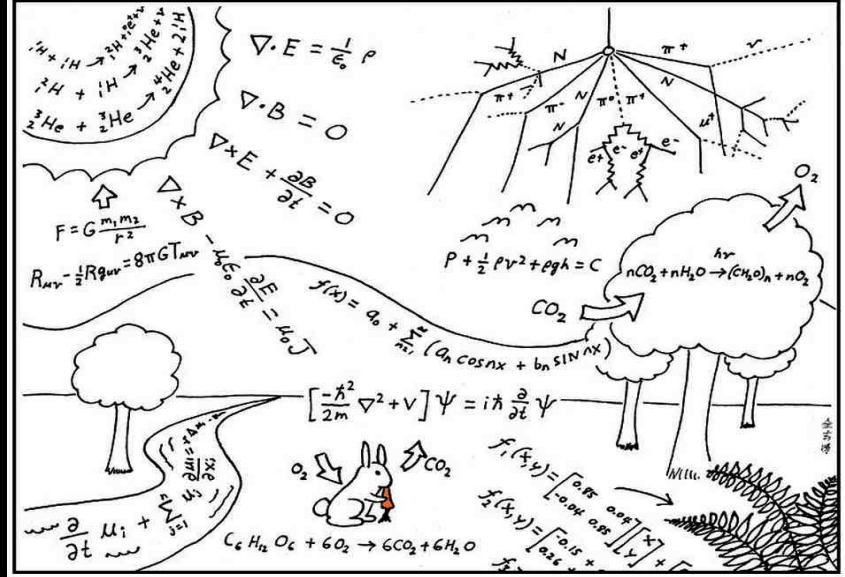


En progressant pour atteindre sa cible, Curiosity roule sur des couches. Avec les mêmes méthodes que celles d'Opportunity, on peut déterminer que ces couches se sont déposées dans un ancien lac qui remplissait une partie du cratère Gale et dont les vagues venaient déferler à la base du *Mont Sharp*



En plus de ces observations-interprétations « traditionnelles », Curiosity a des capacités analytiques beaucoup plus développées que celles d'Opportunity.

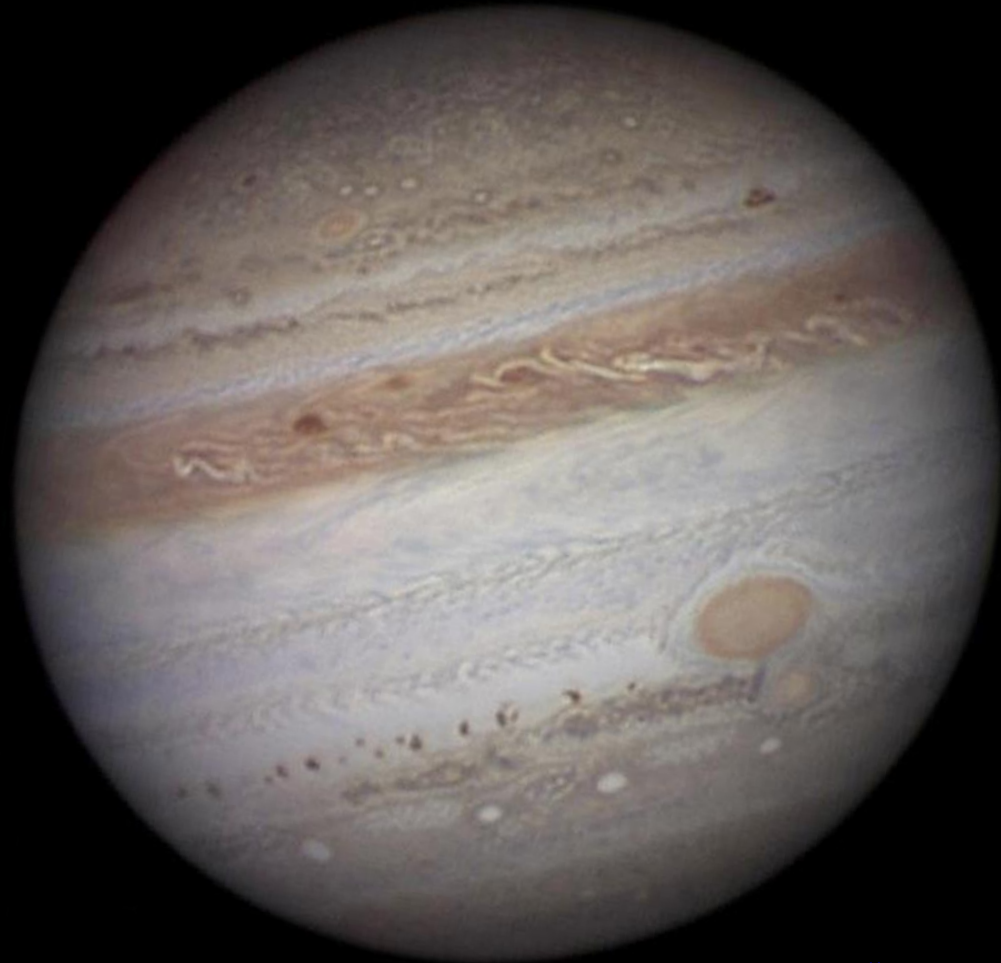
Comme je vais longuement parler de Curiosity ce jeudi 7 août, 14h 30 (fil vert), je ne vais que résumer ces 2 ans de résultats « préliminaires » :

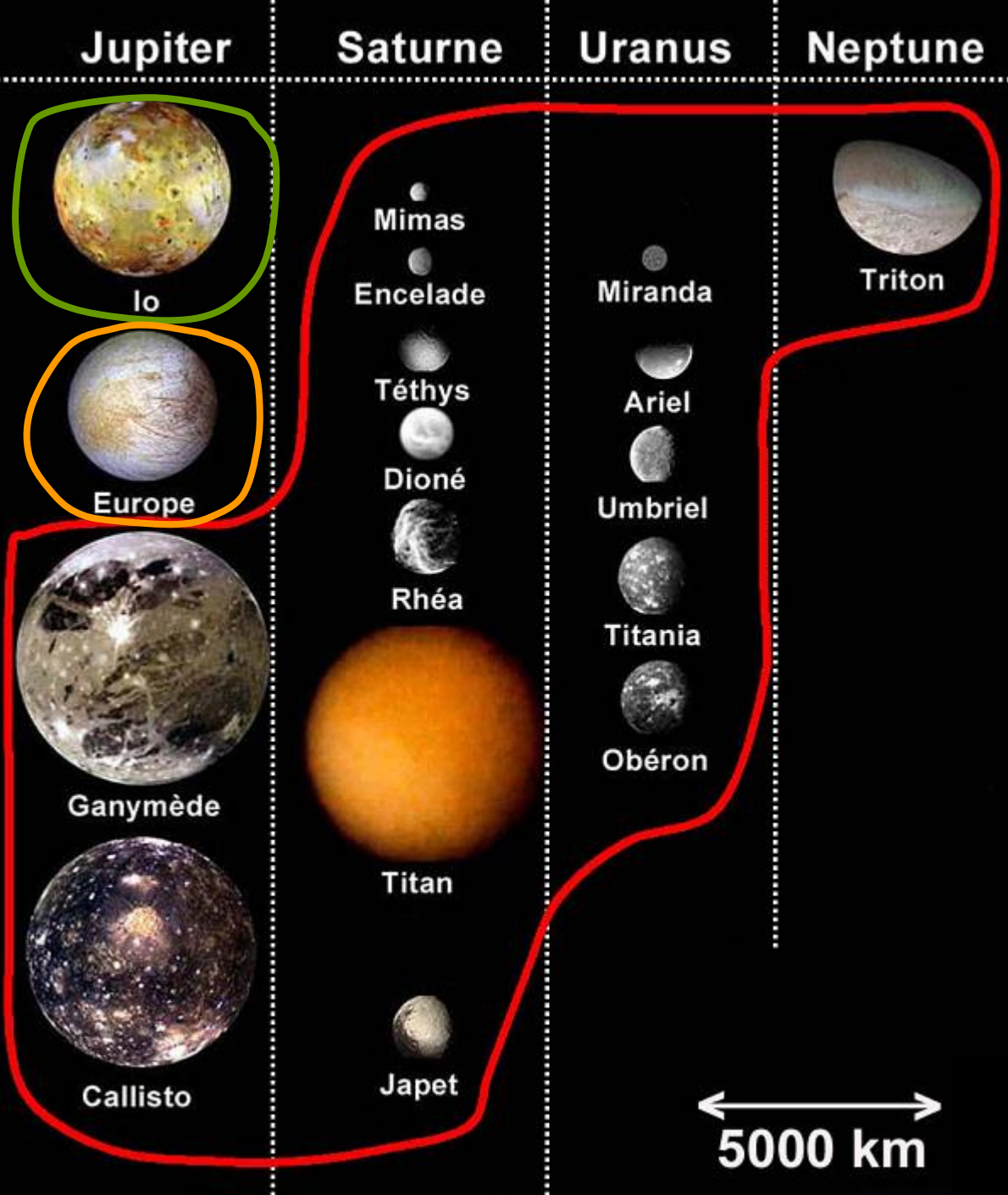


Les roches et couches déjà étudiées ont été déposées par de l'eau courante dans un ancien lac. Elles se sont déposées dans de l'eau peu salée, avec un Ph neutre. Cet ancien environnement serait aujourd'hui tout à fait habitable par la majorité des bactéries terrestres actuelles, alors que l'ancien environnement d'Opportunity ne le serait que pour des bactéries bien particulières (acidophiles et halophiles). Ce Ph neutre est une condition à priori favorable à la chimie prébiotique (polymérisation des acides aminés ...). Pas de résultats concluents sur la matière carbonée des roches. Pas de méthane détecté dans l'atmosphère.

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).

La température superficielle est de - 150 à - 220°C
Les études spectrales indiquent que les surfaces de ces satellites sont majoritairement constituées de glace d'eau.





Les planètes géantes ont 17 « gros » satellites, dont 15 sont dits « de glace » car surtout constitués d'H₂O et autres composés légers : ($\rho < 2$), un de silicates, Io ($\rho \approx 3,5$), et un de silicates, mais recouvert d'un peu de glace : Europe ($\rho \approx 3$).



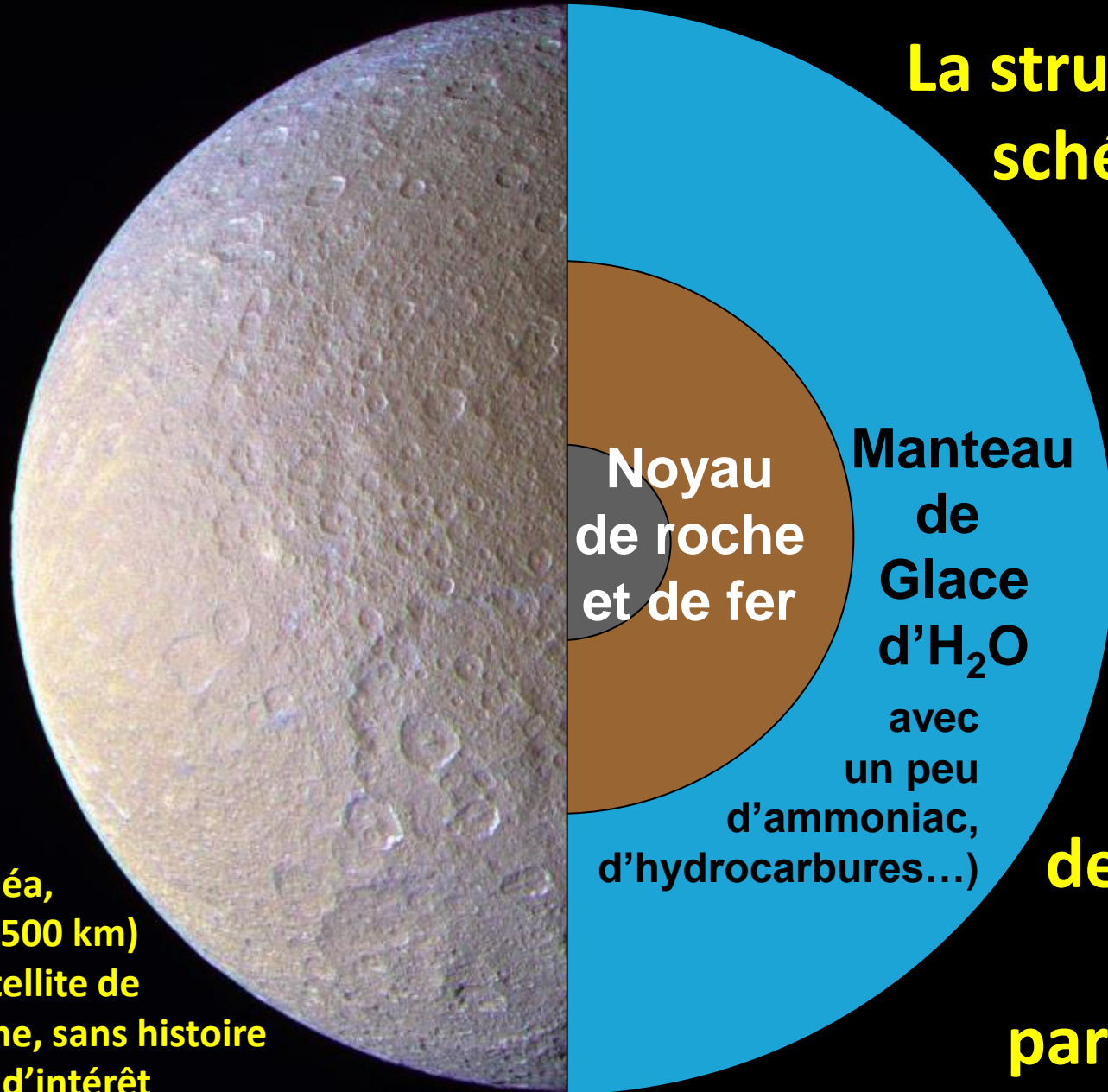
Eau,
densité ≈ 1

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, 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, (Ø = 1500 km) un satellite de Saturne, sans histoire digne d'intérêt



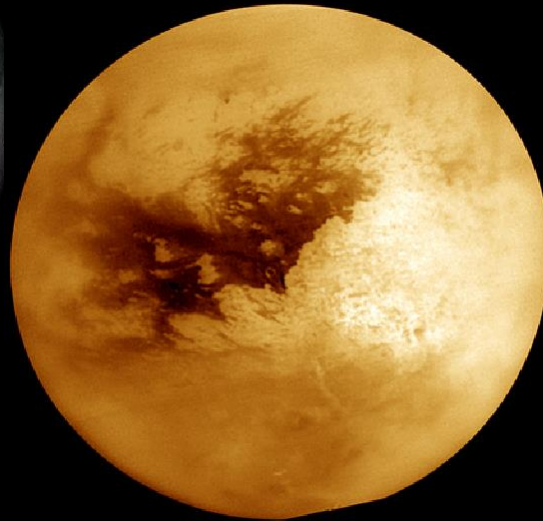
**Ces satellites très riches en glace d'eau peuvent-ils contenir (en profondeur) des niveaux d'eau liquide ?
Oui, si ils sont assez gros et/ou si une source d'énergie en réchauffe l'intérieur**

Ganymède, \emptyset = 5276 km

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



Ganymède
Ø = 5276 km



Titan
Ø = 5151 km

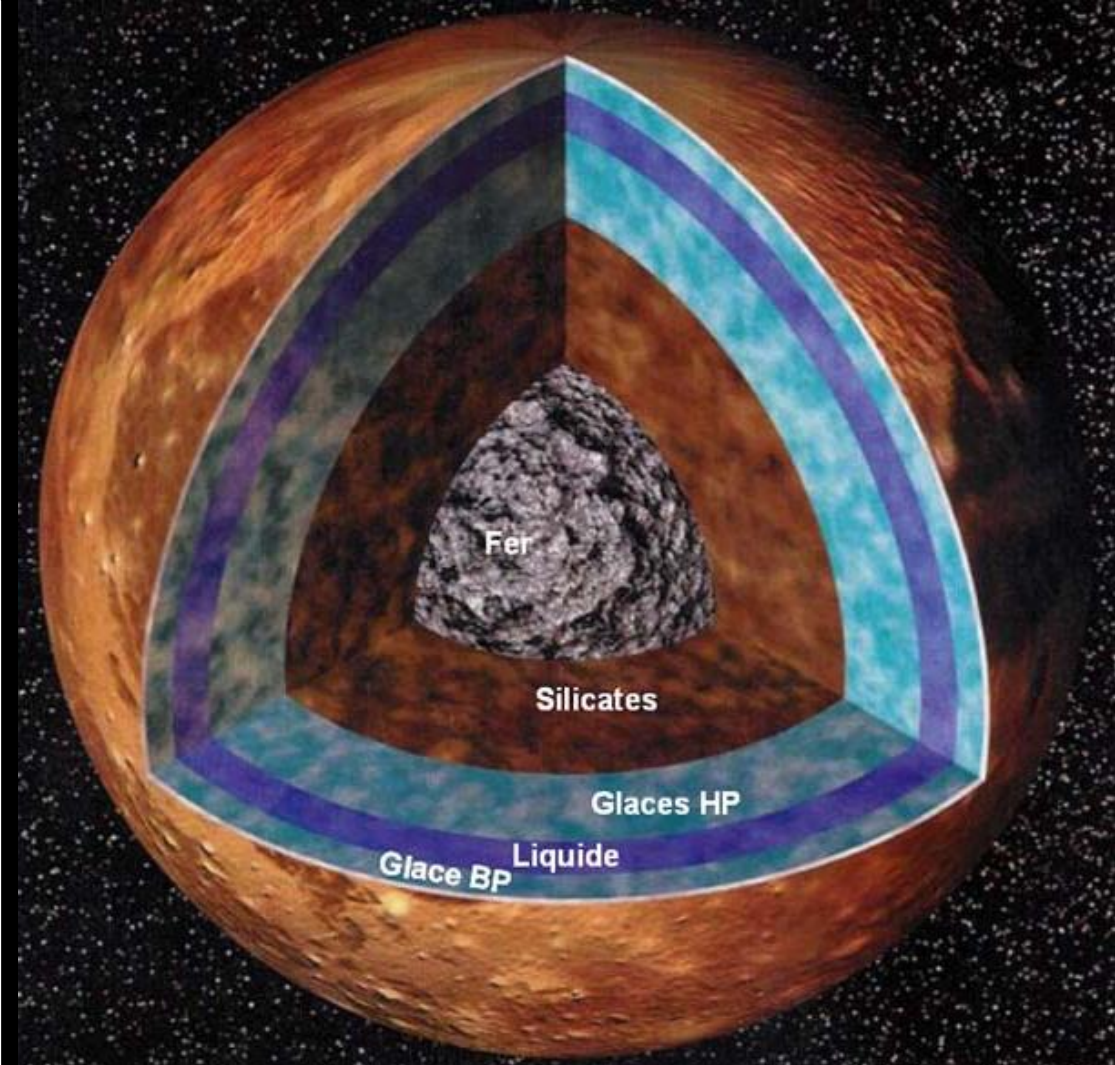
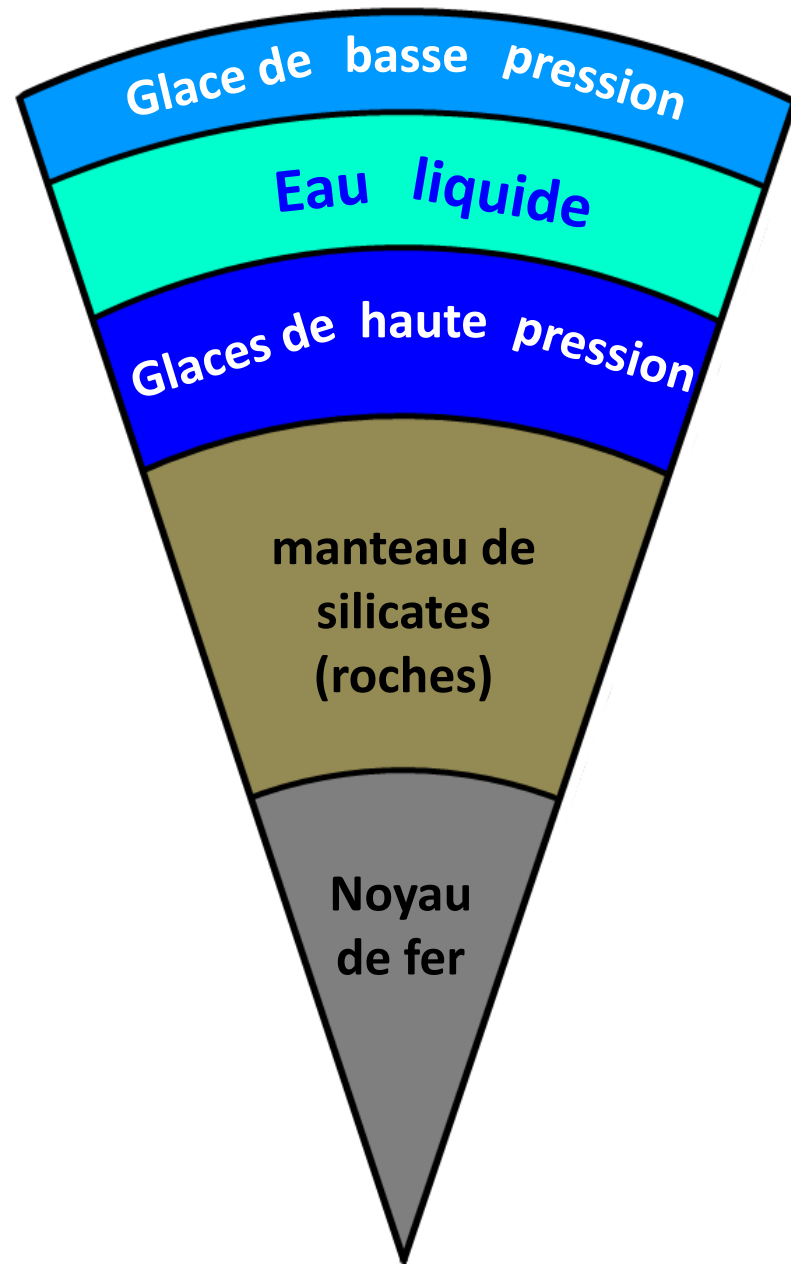


Callisto
Ø = 4820 km



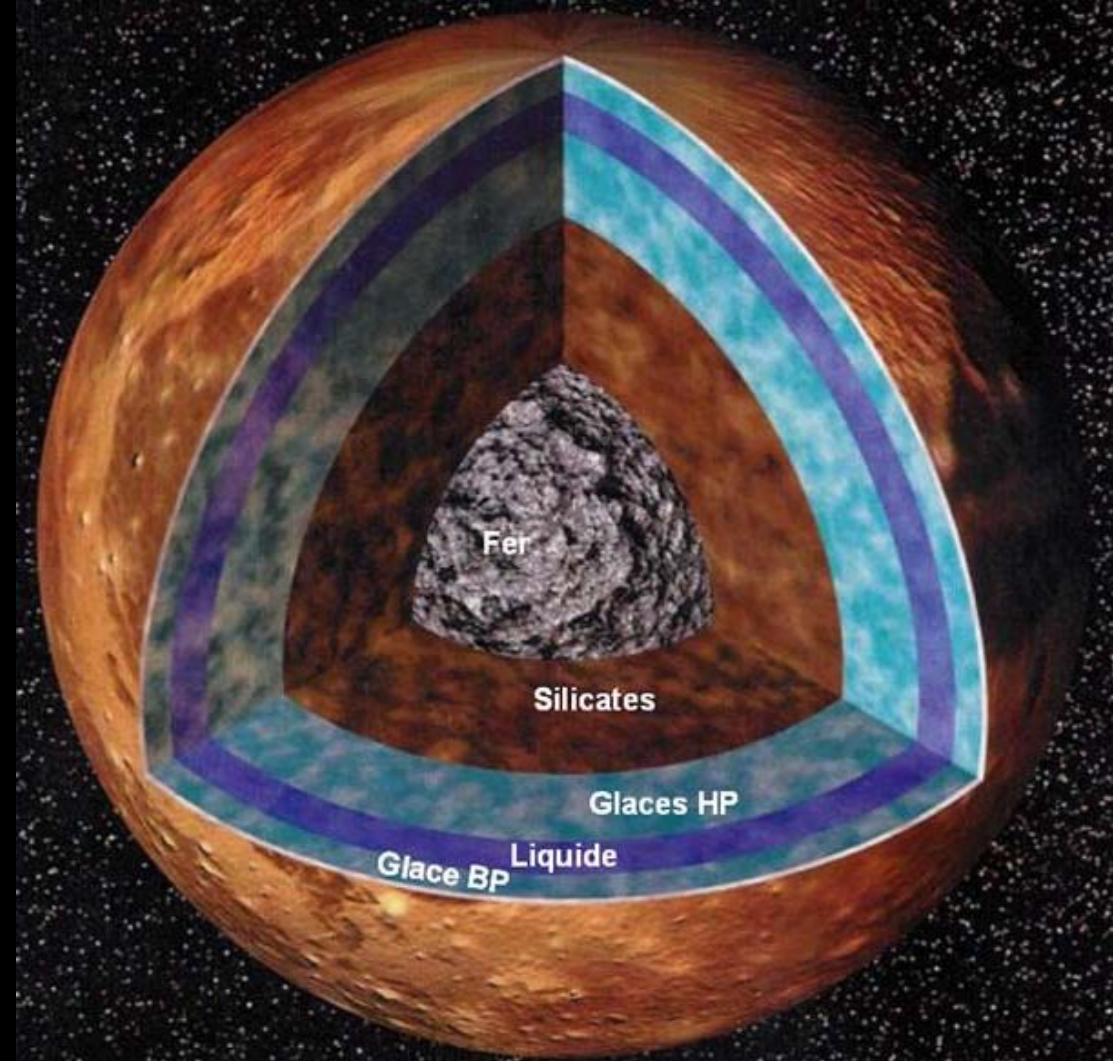
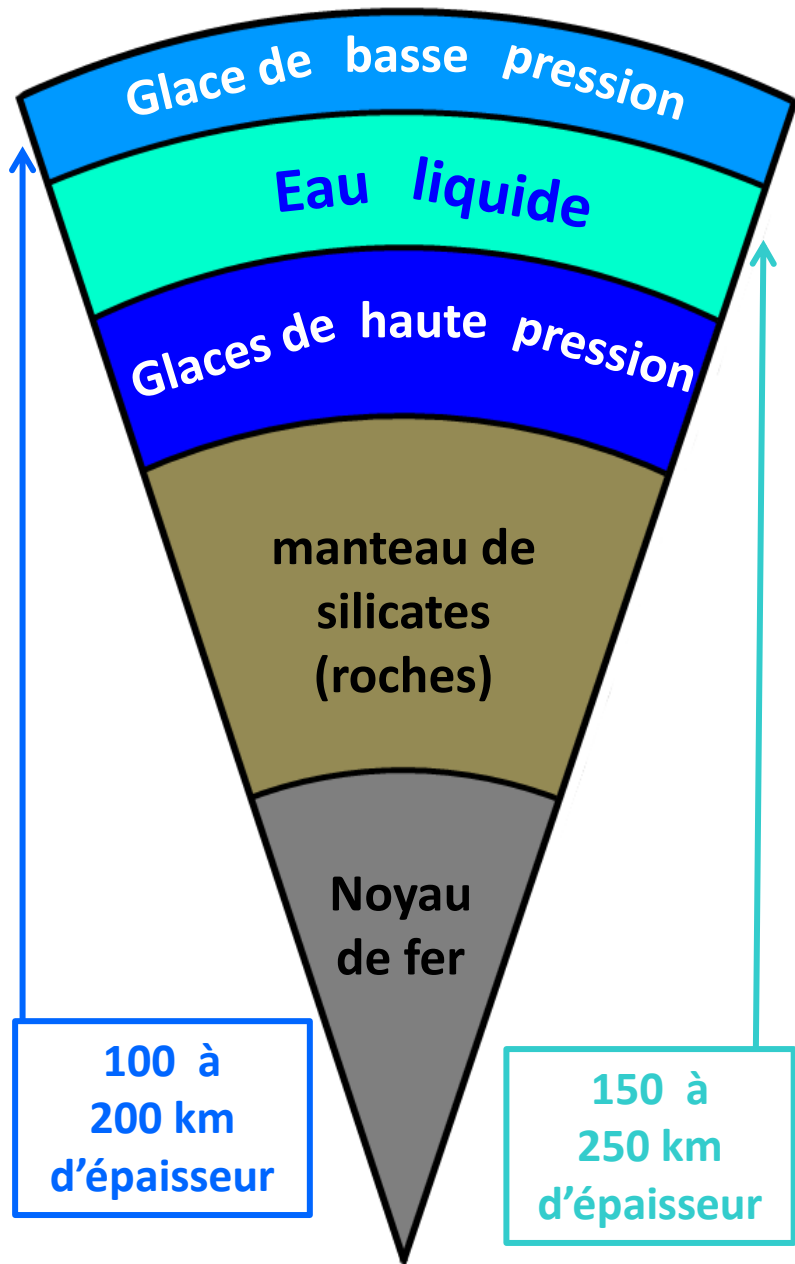
Triton
Ø = 2706 km

Ganymède



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

Ganymède



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

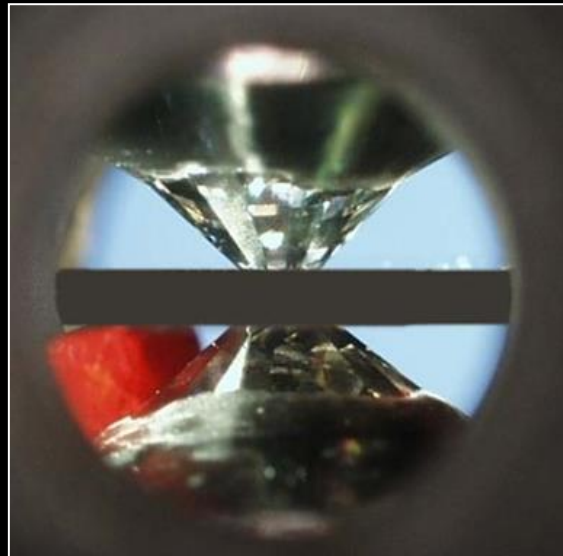
De la glace en surface, normal, il fait -200°C .

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 ?

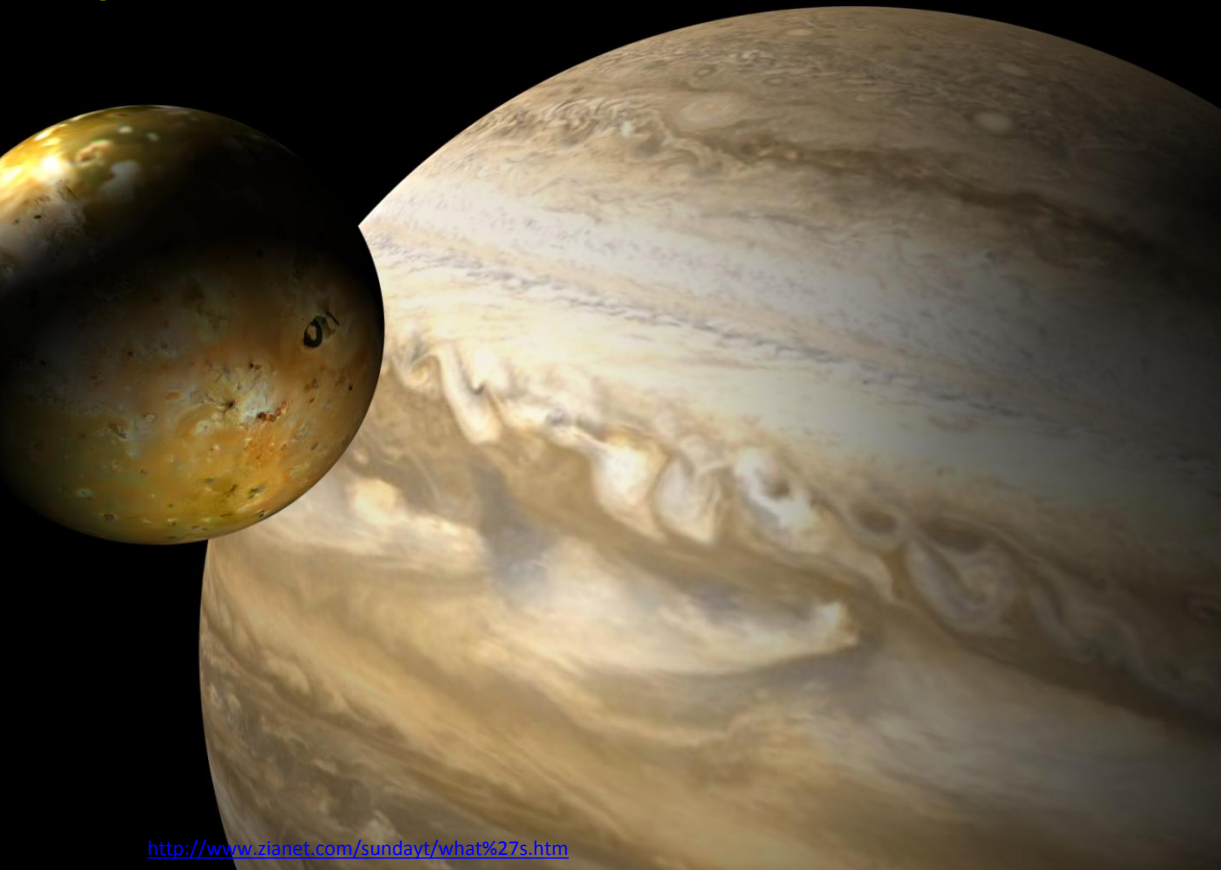
A cause de la pression ! En effet, à partir d'une pression d'environ 10 000 atmosphères, l'eau liquide

« gèle » et devient une glace « tiède » voire chaude, très dense, dite glace de haute pression.

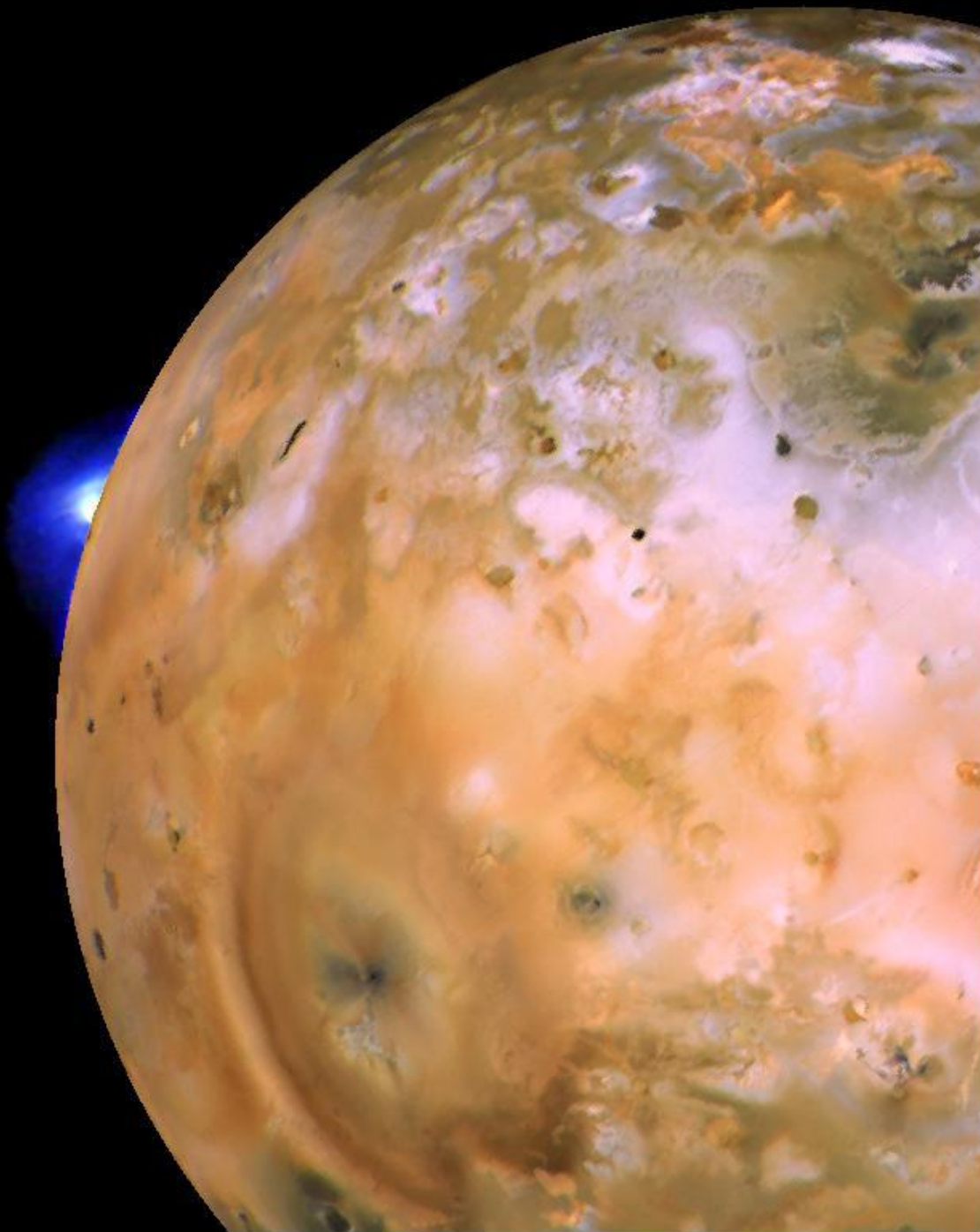


Et dans les « petits » satellites ?

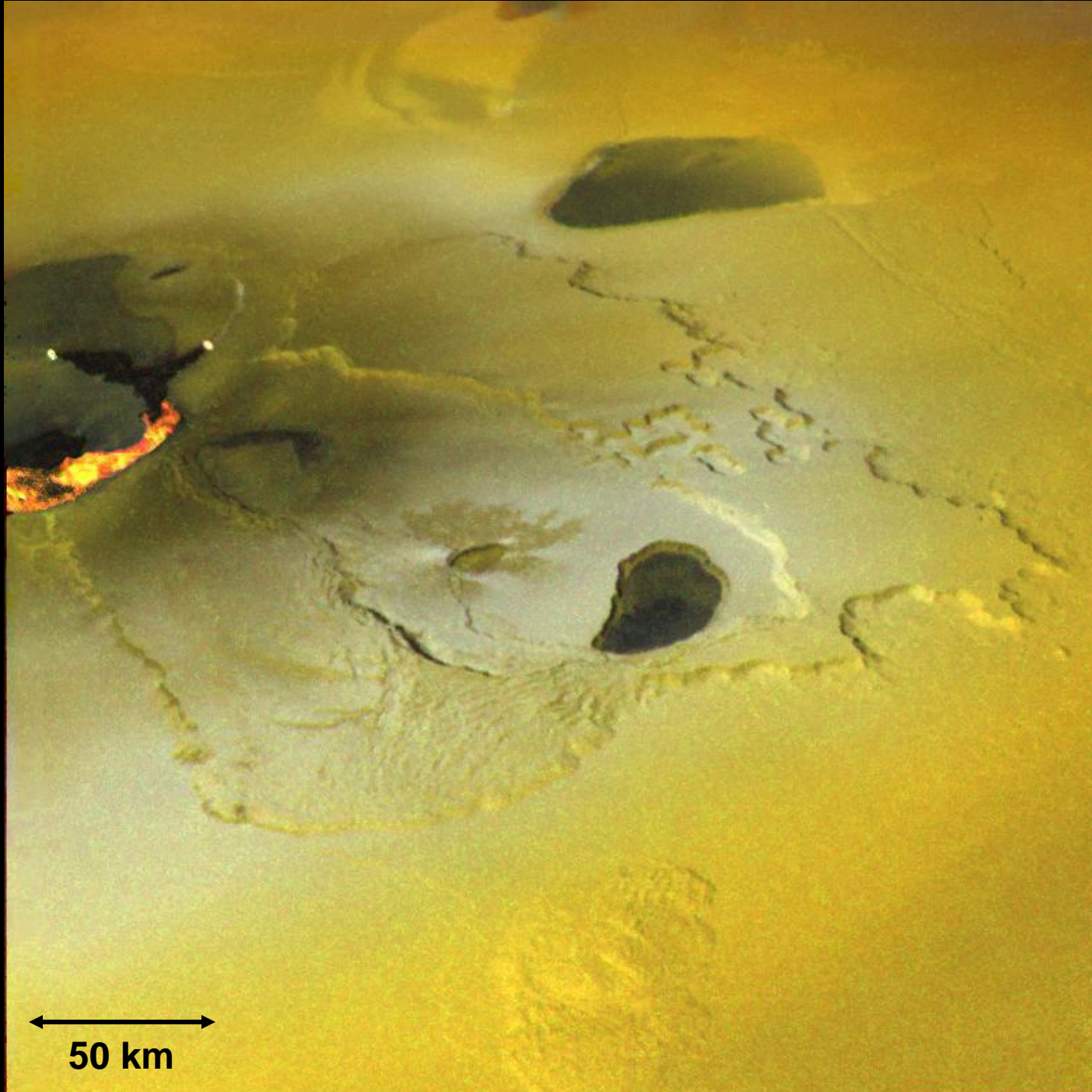
Jupiter, de masse égale à 300 fois la masse terrestre, provoque des marées sur son satellite proche, Io. Ces marées déforment Io à chaque orbite. Et déformer, cela produit des frottements et de la chaleur. Et sur Io, on connaît ces éruptions volcaniques depuis 1979.



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.



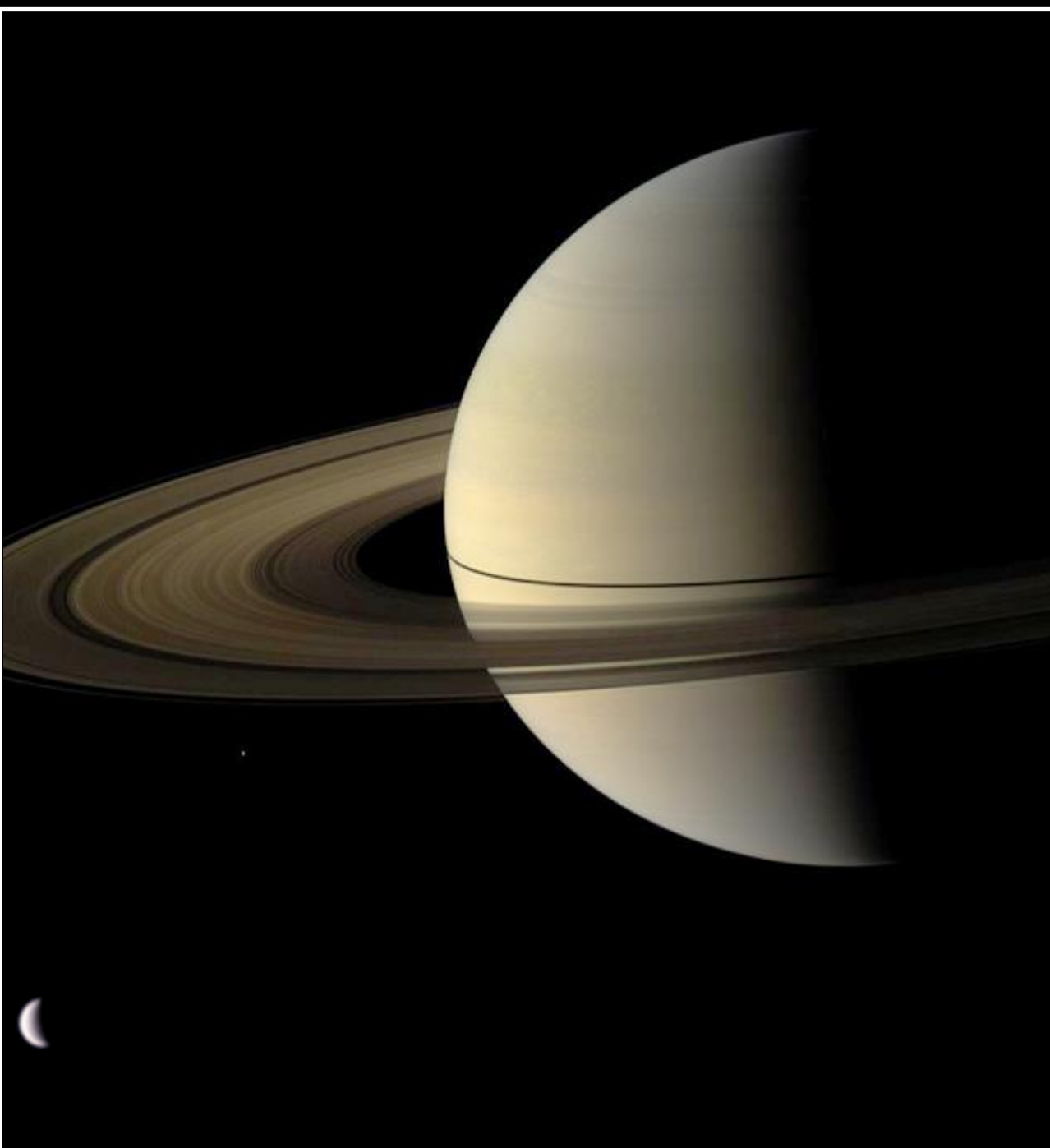
**Une belle
éruption
volcanique
sur Io**



**Une autre
belle
éruption,
celle de
Tvashtar
avec lac et
fontaines
de lave
(février
2000)**

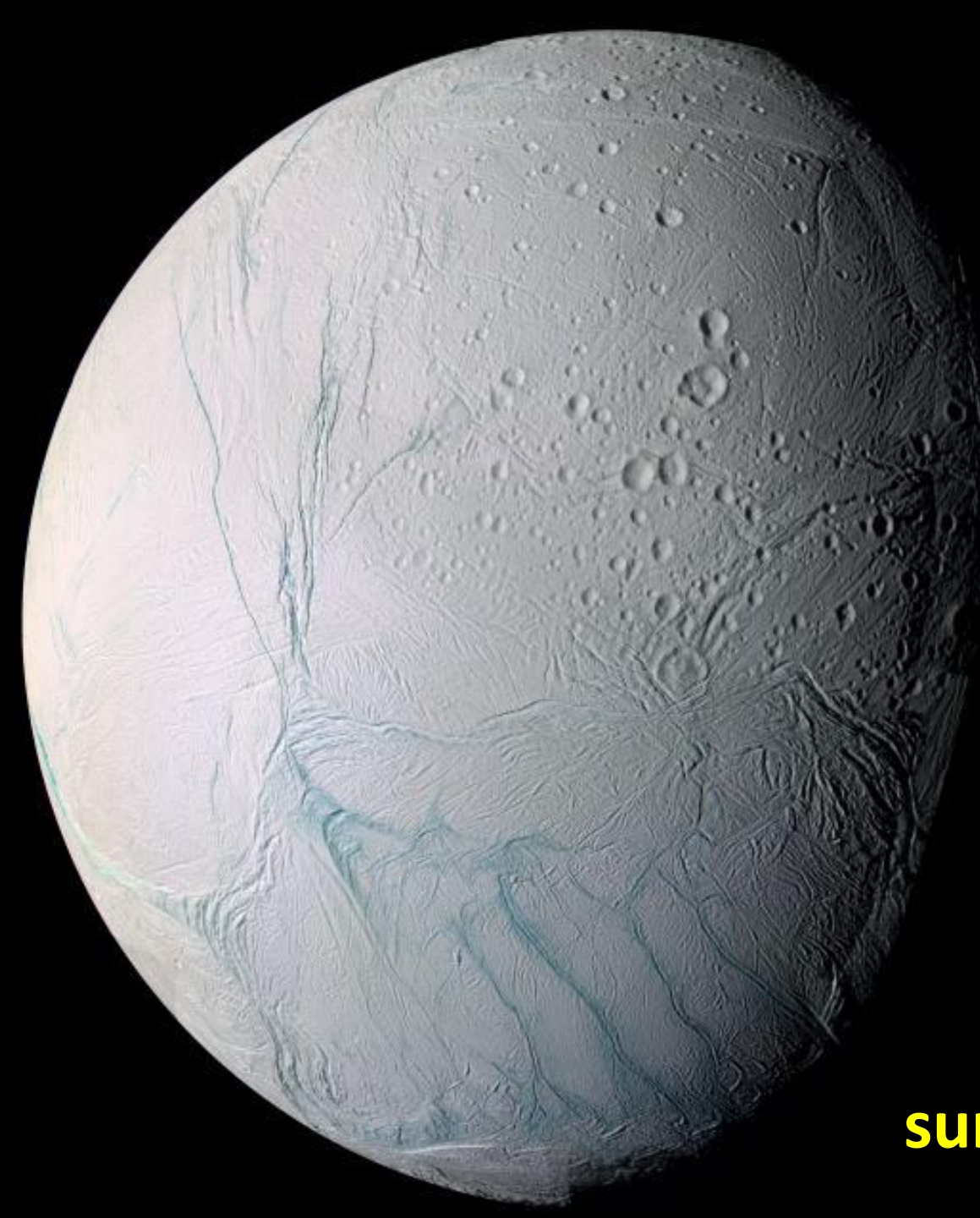
↔
50 km

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

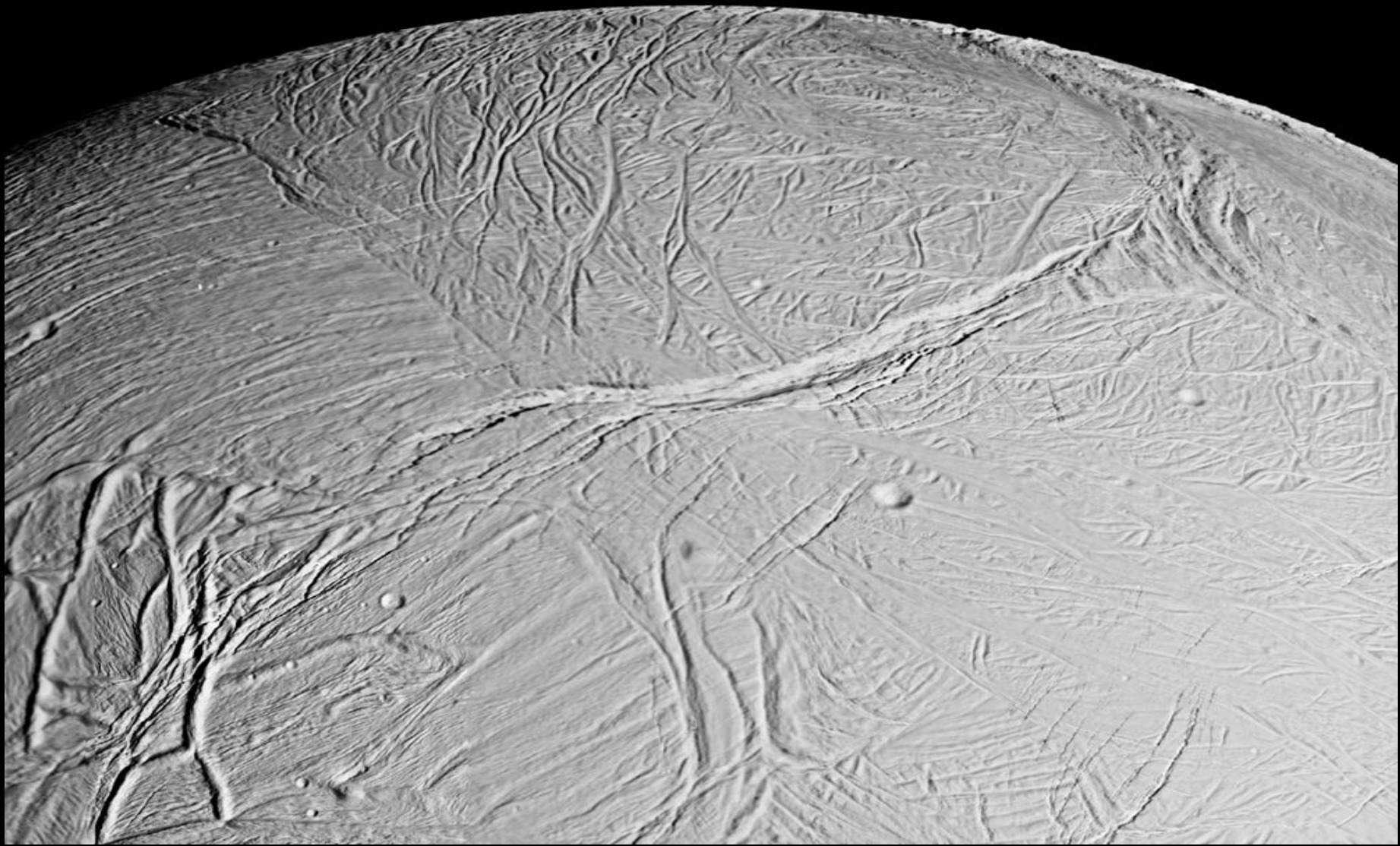




Encelade au dessus des superbes anneaux.



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

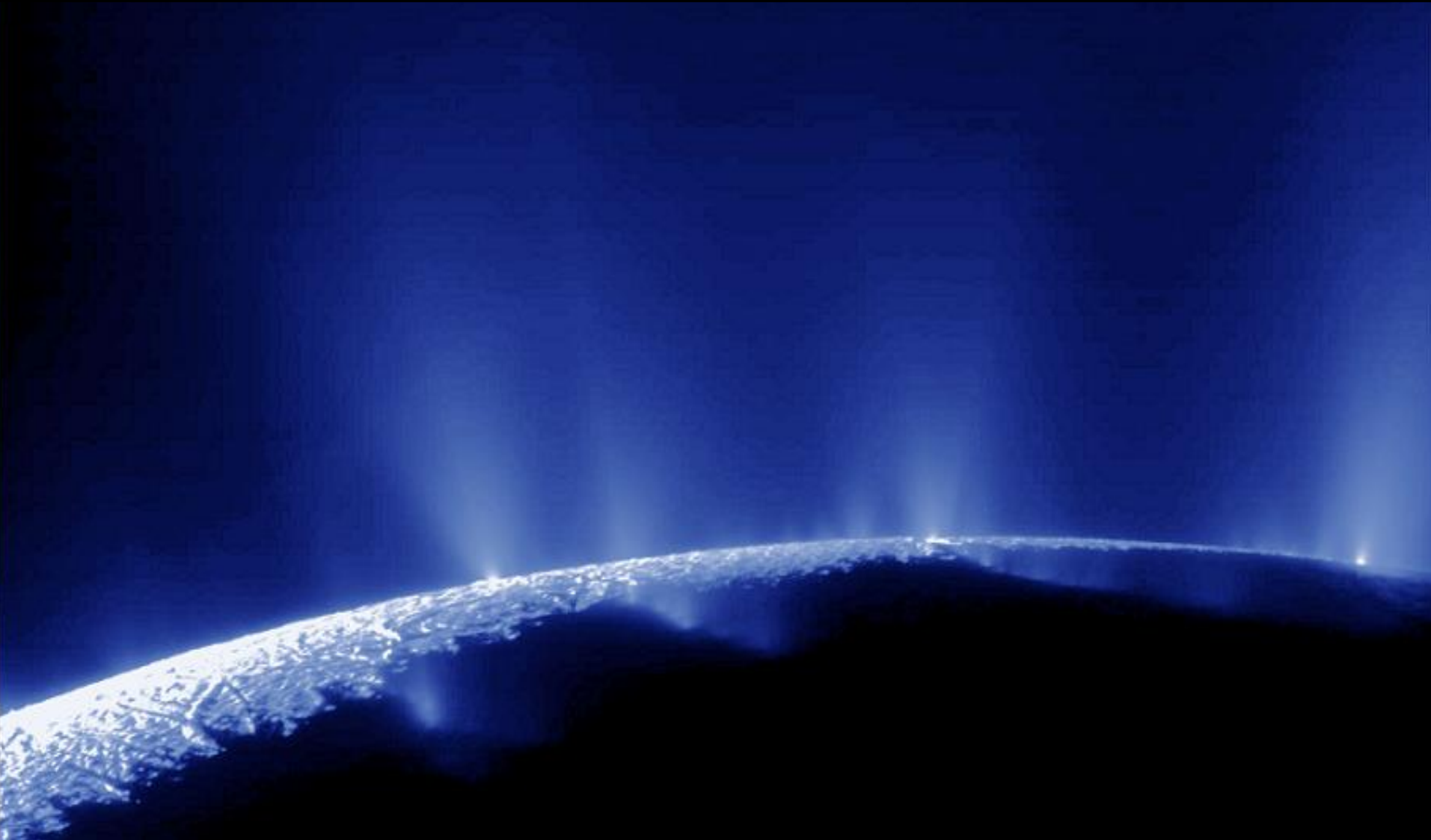


Des images rapprochées montre que la surface est vraiment très tourmentée, avec de nombreuses fractures (ça bouge en dessous !).

**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 !**

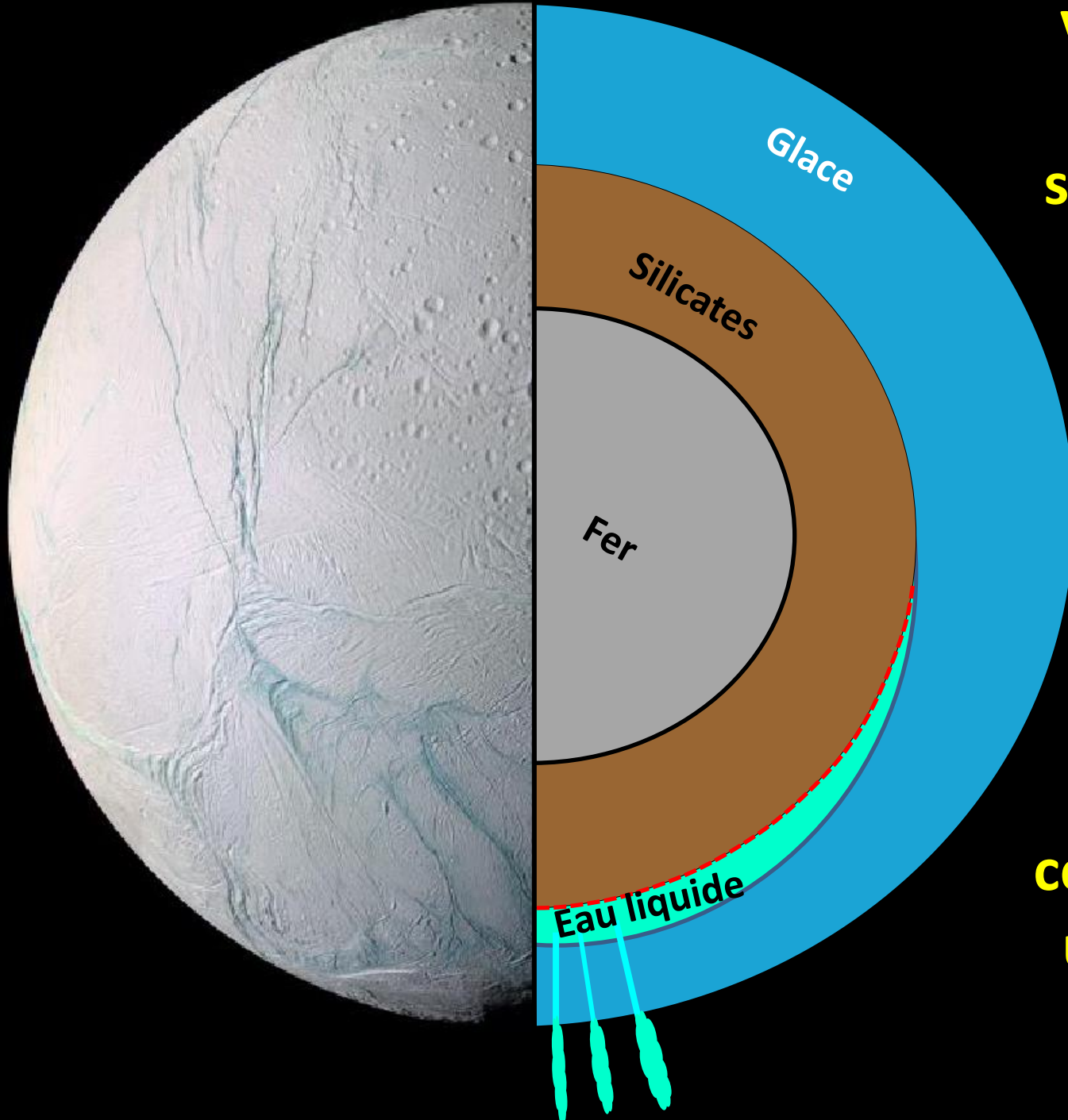


**Et cette eau qui sort par les fissures se transforme
immédiatement en panaches de givre dans
le froid du vide spatial.**



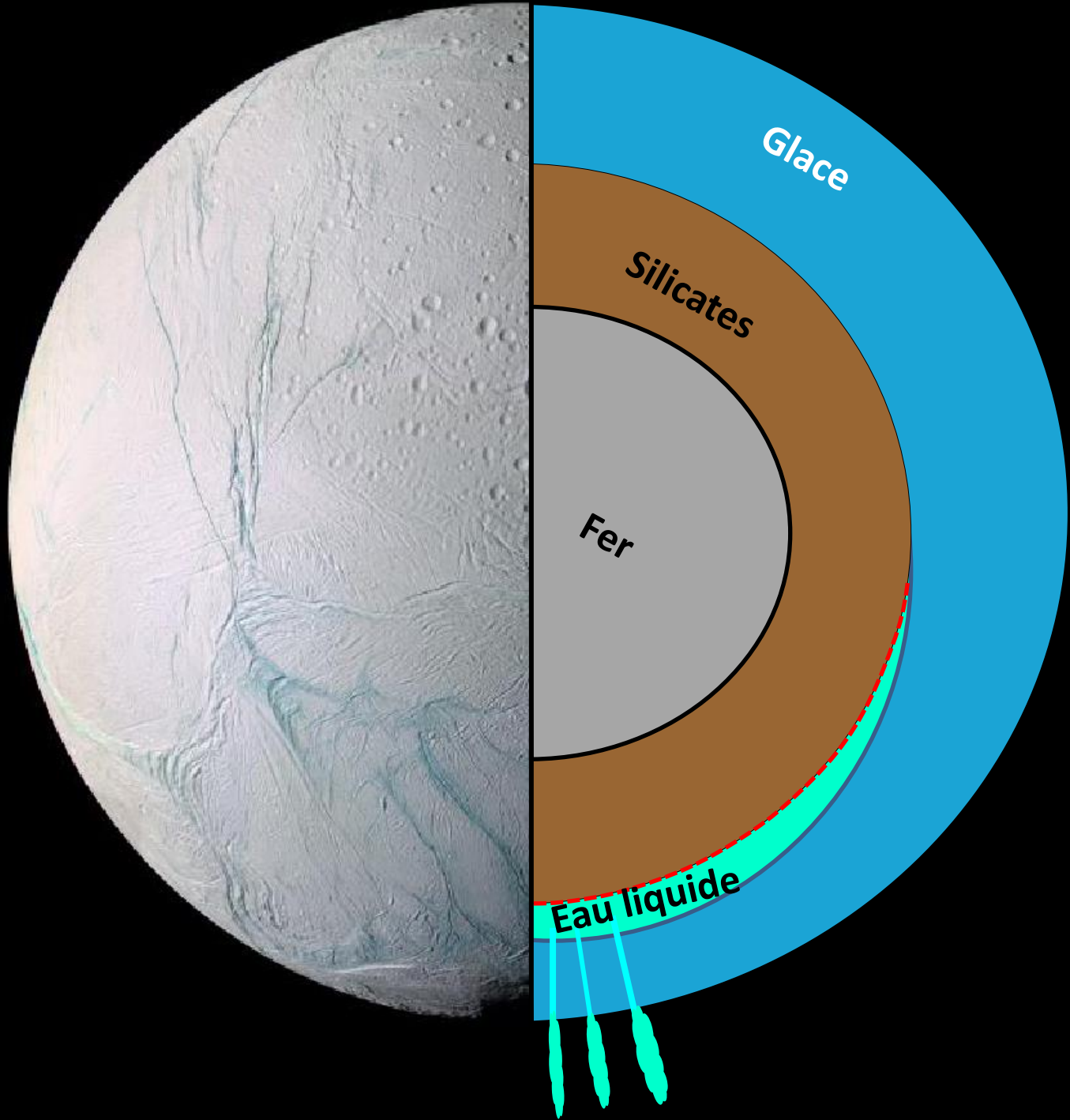
Les mêmes jets, vus sous un autre angle et avec un autre éclairage.



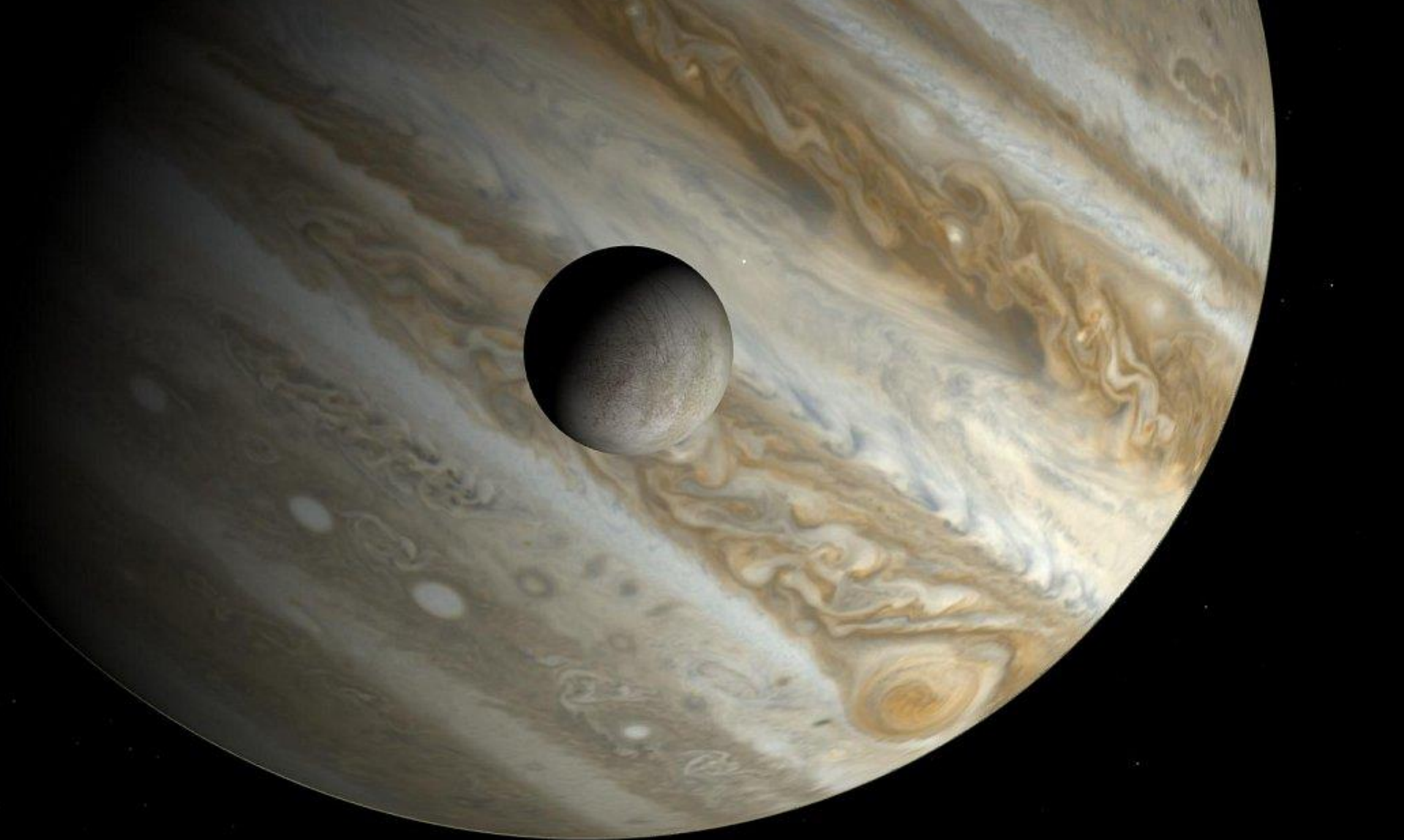


Voilà à quoi doit ressembler la structure interne d'Encelade.

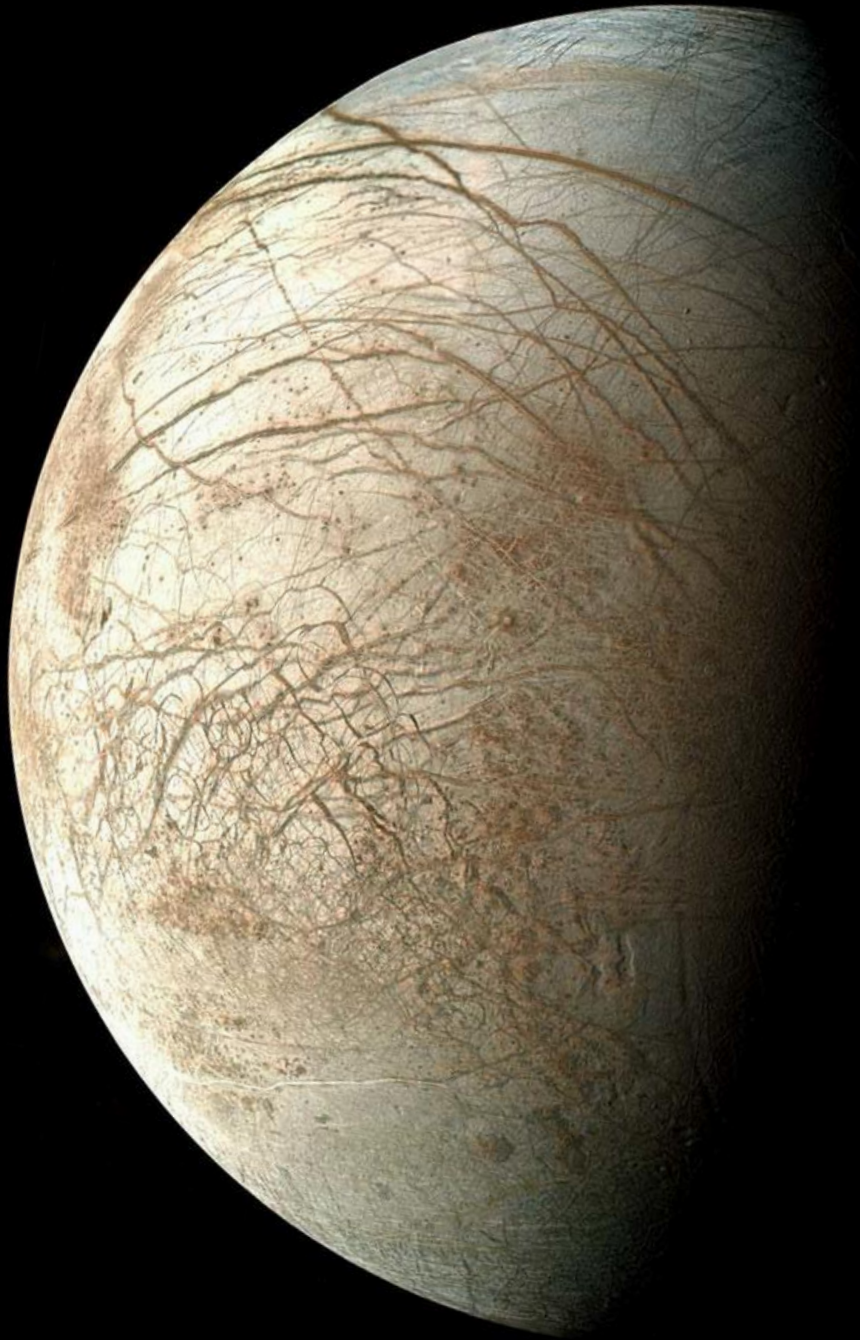
Après la Terre, Mars, les quatre gros satellites de glace, Encelade. L'eau liquide commence à être une « banalité » dans le système solaire.



Et la gravité très faible sur ce petit satellite fait qu'il n'y a pas de glace Haute Pression sous la couche liquide. Eau liquide et silicates sont en contact.

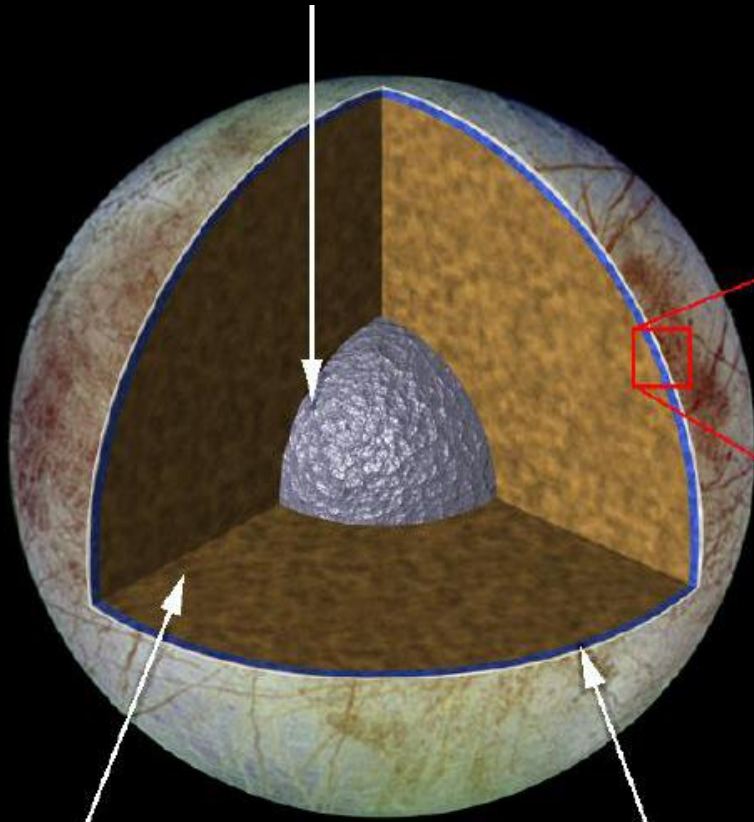


Dernier corps où on va chercher de l'eau liquide : Europe, presque une densité de roche, et la taille de la Lune, avec une température superficielle de -150 à -220°C.



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

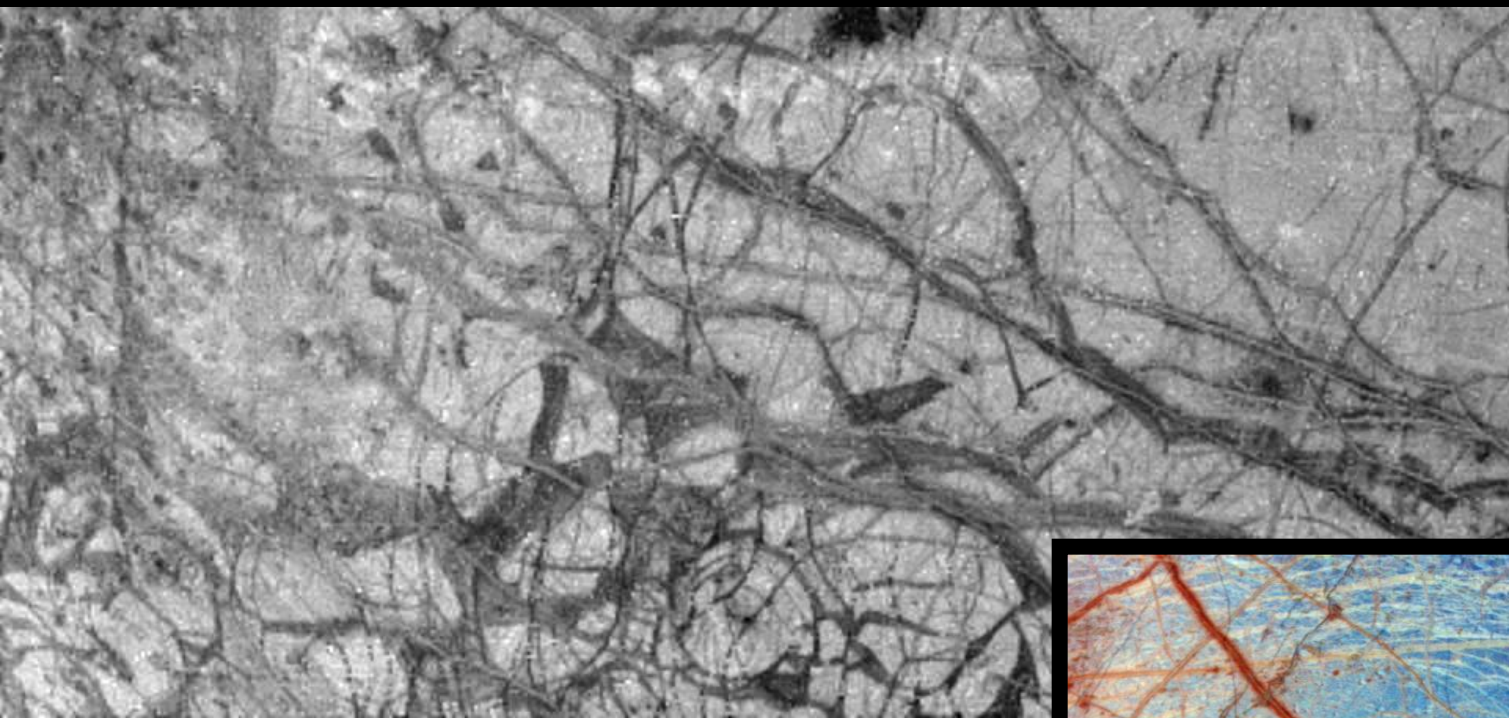


Manteau rocheux

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.

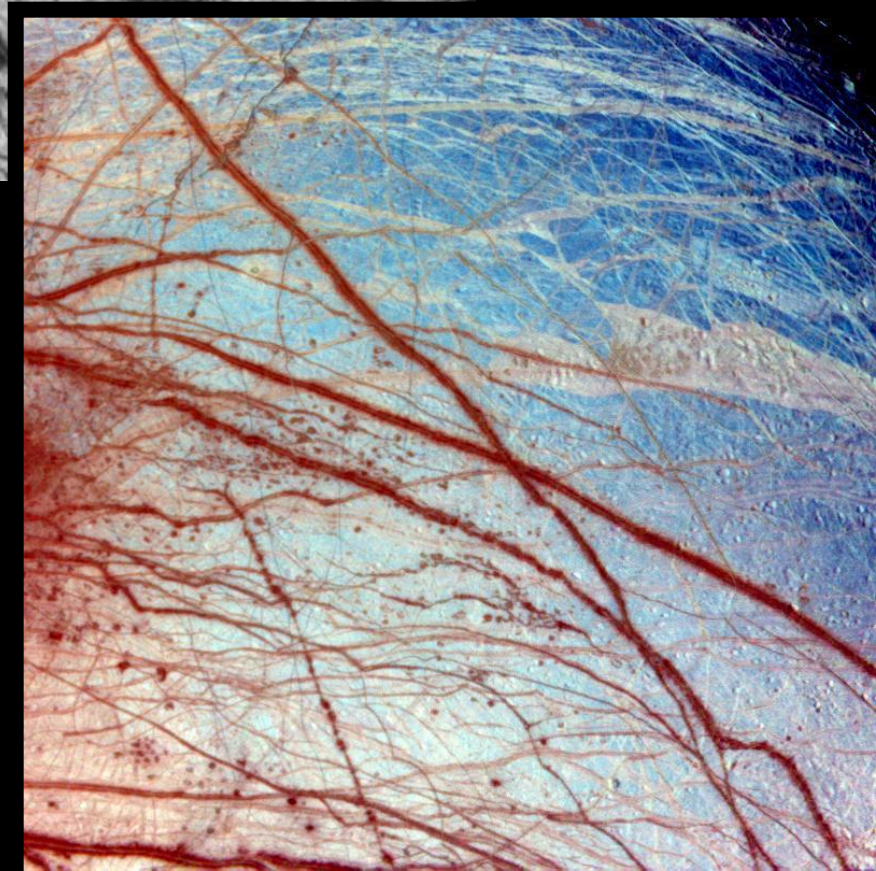


300 km



100 km

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



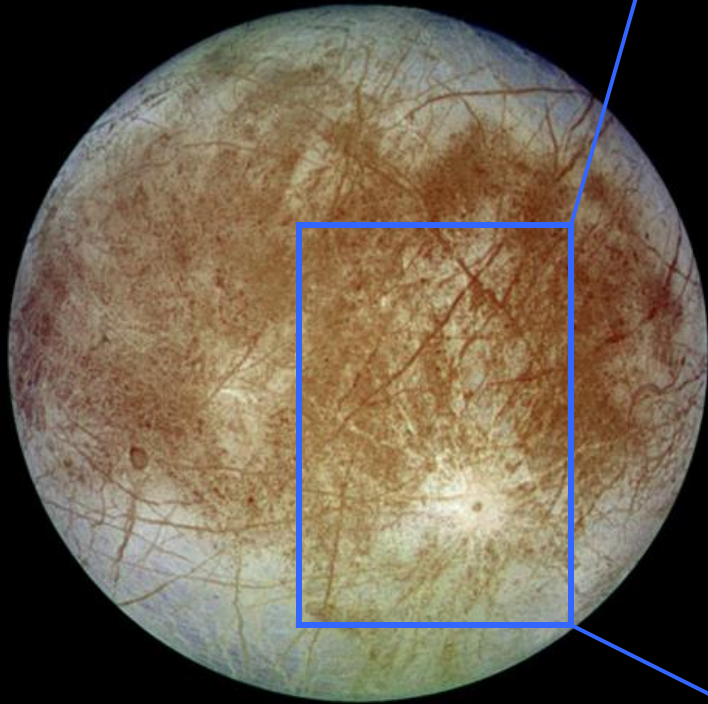


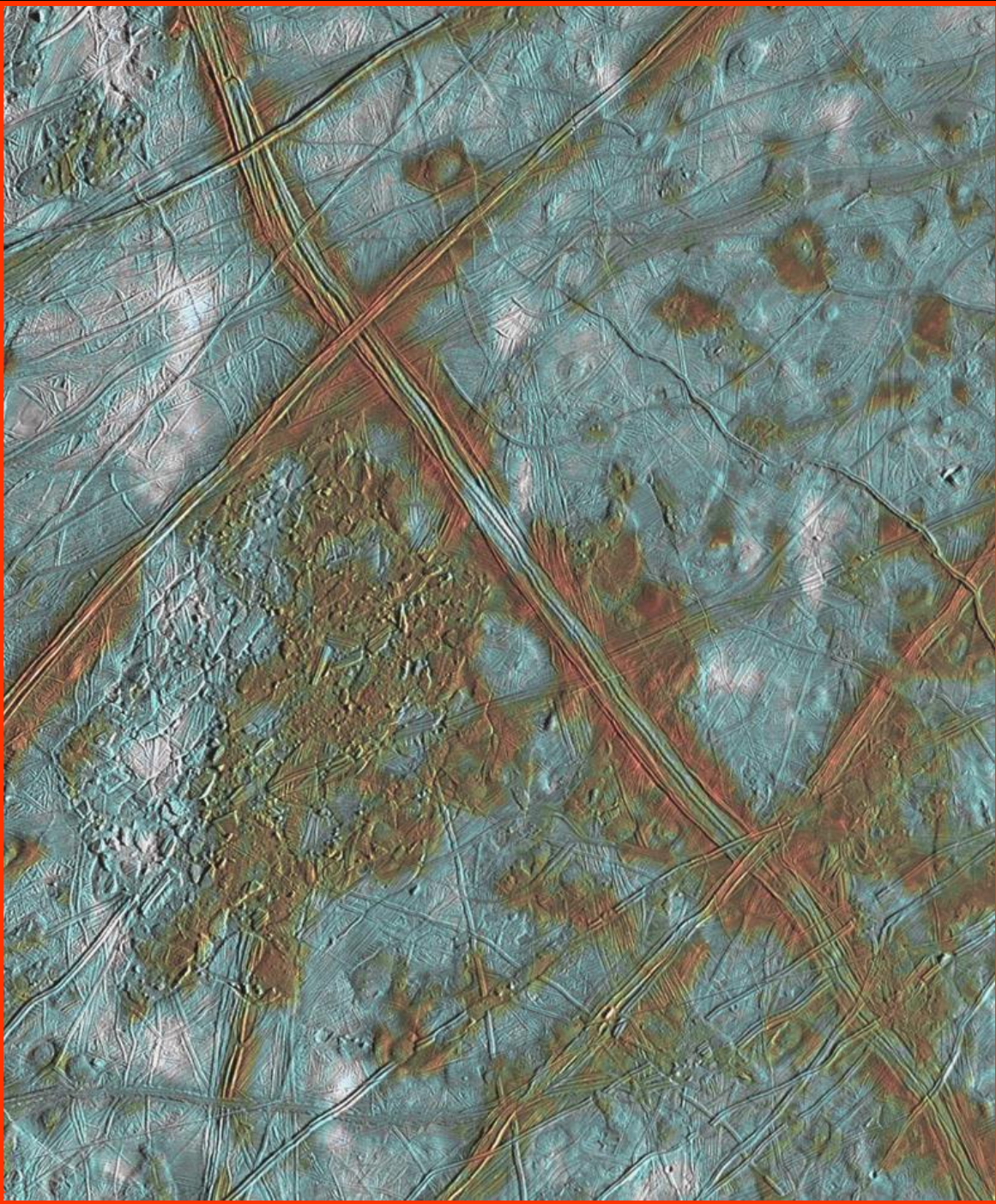
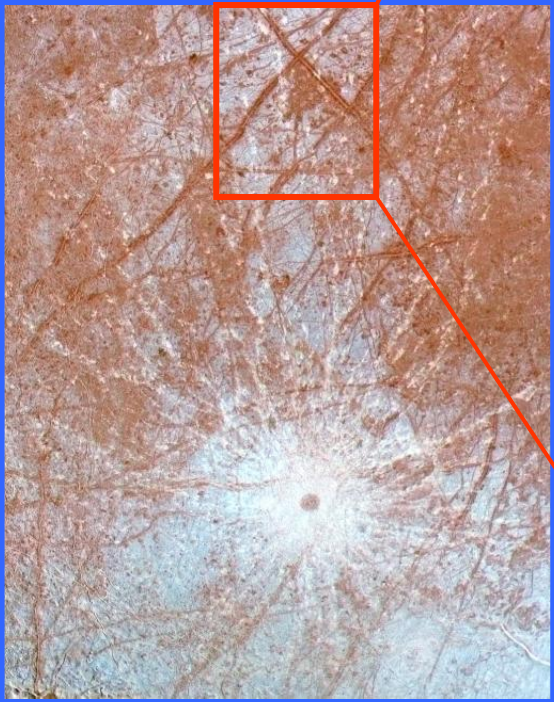
© Laurent Dick/Wild Alaska Travel

<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**





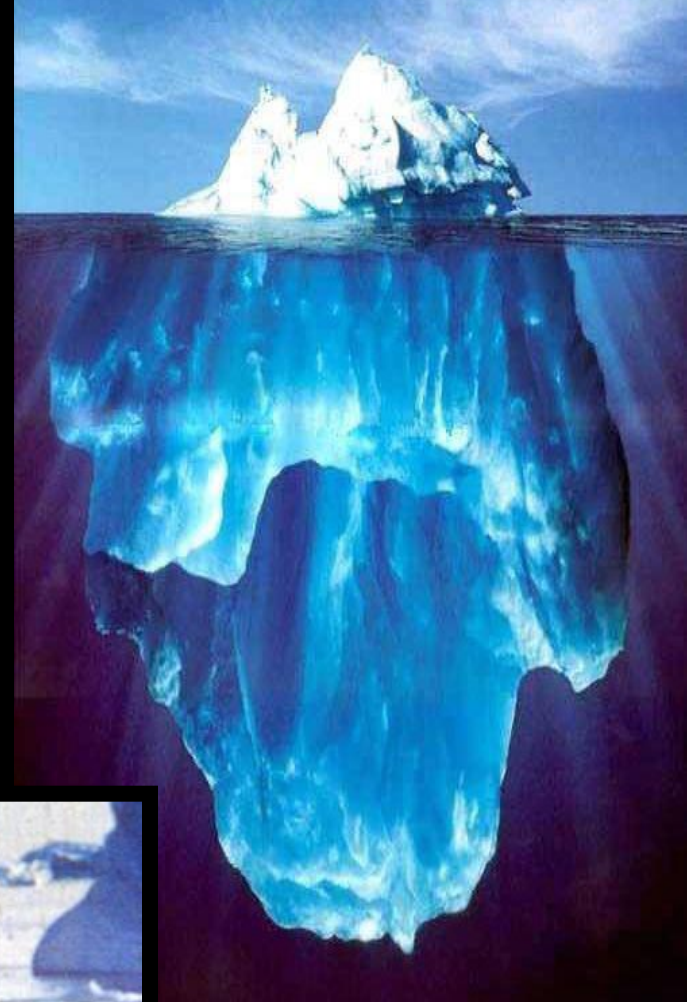
10 km

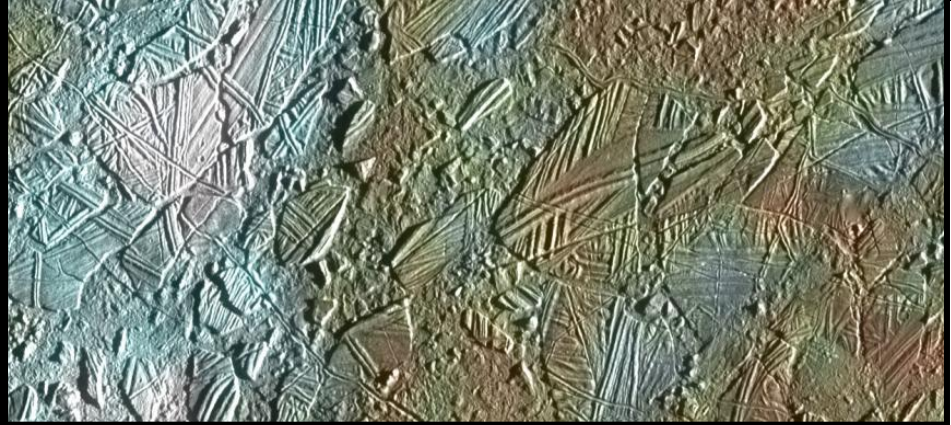


Avouez que ça
ressemble !

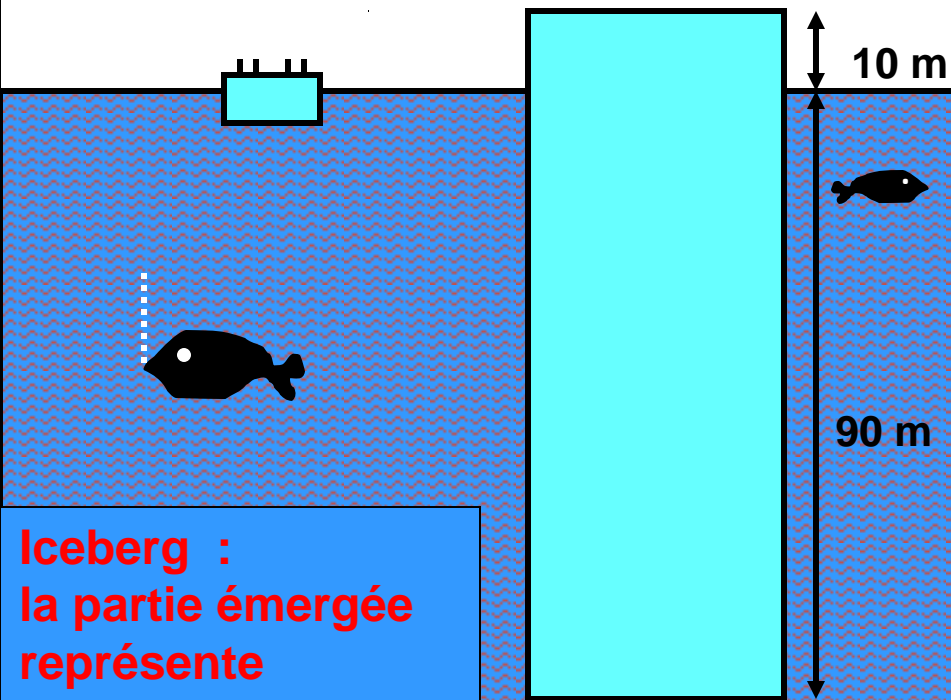


Avec la hauteur de la partie émergée de l'iceberg, on peut connaître la hauteur totale de l'iceberg



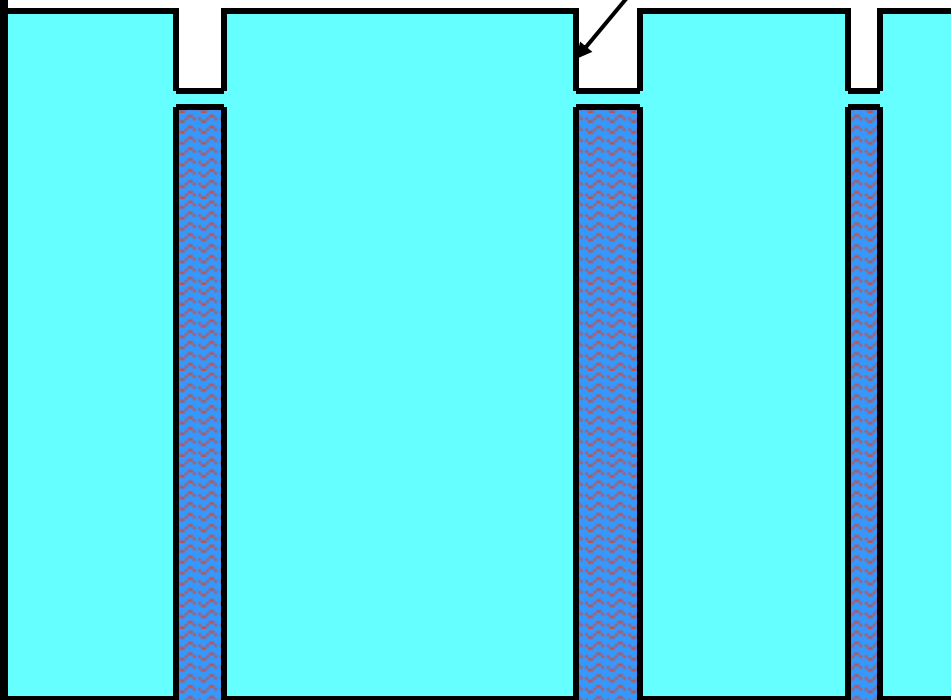


Terre

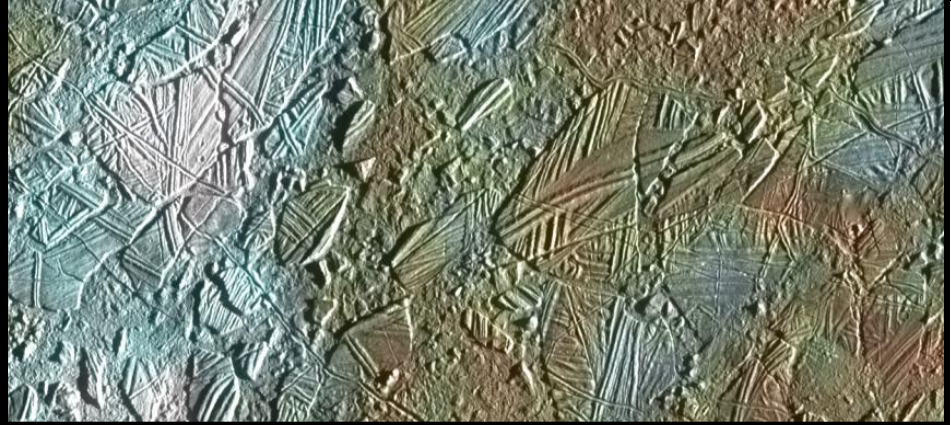


Iceberg :
la partie émergée
représente
10% du total

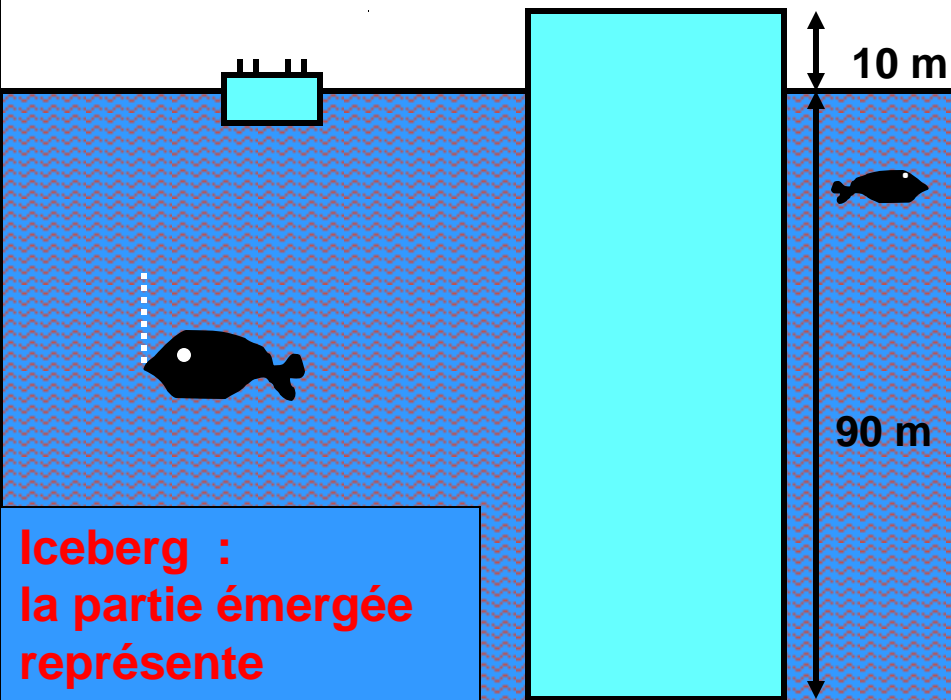
Europe



La banquise mesure 5 à 30 km

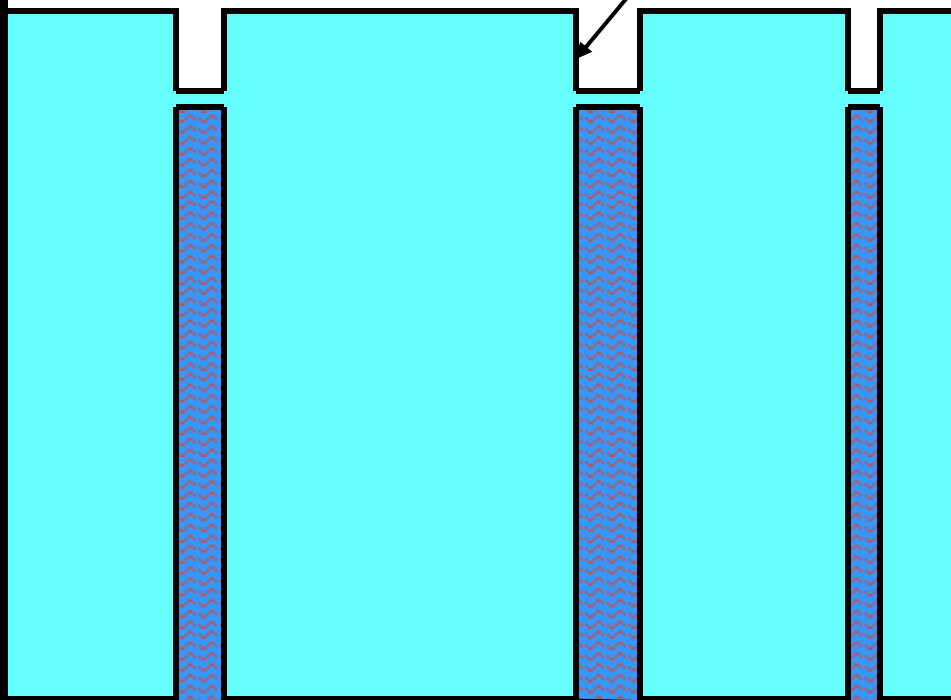


Terre



Iceberg :
la partie émergée
représente
10% du total

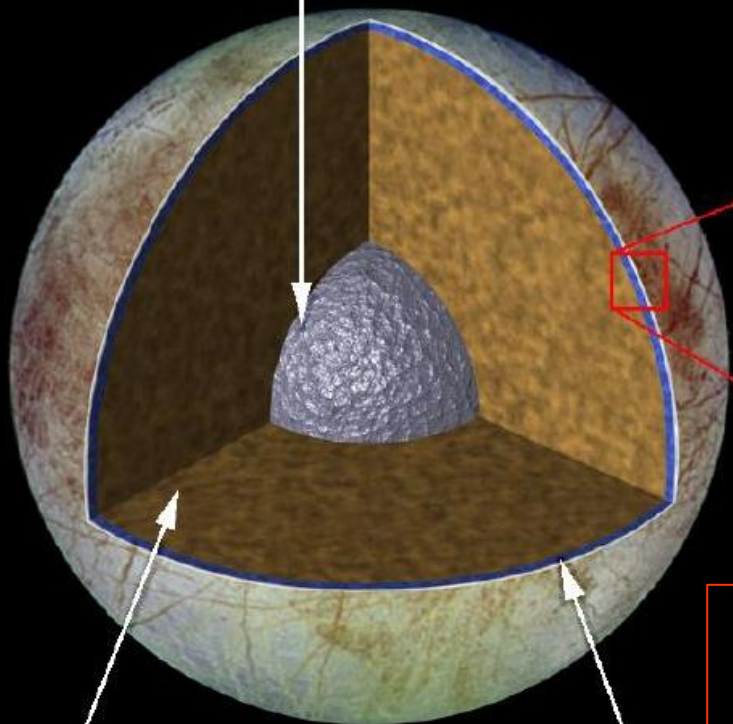
Europe



L'océan mesure 70 à 95 km

Noyau métallique

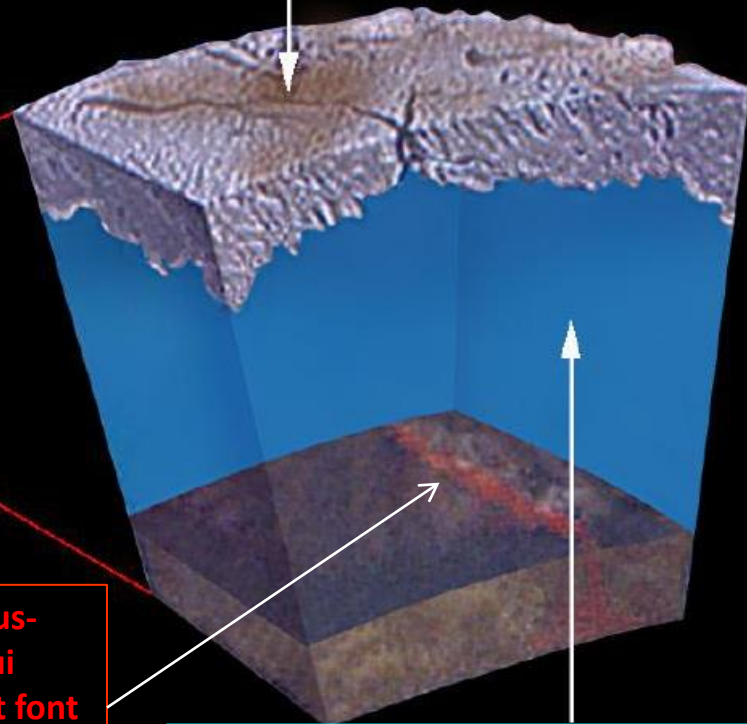
Banquise de glace



Intérieur rocheux

Couche d'H₂O

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

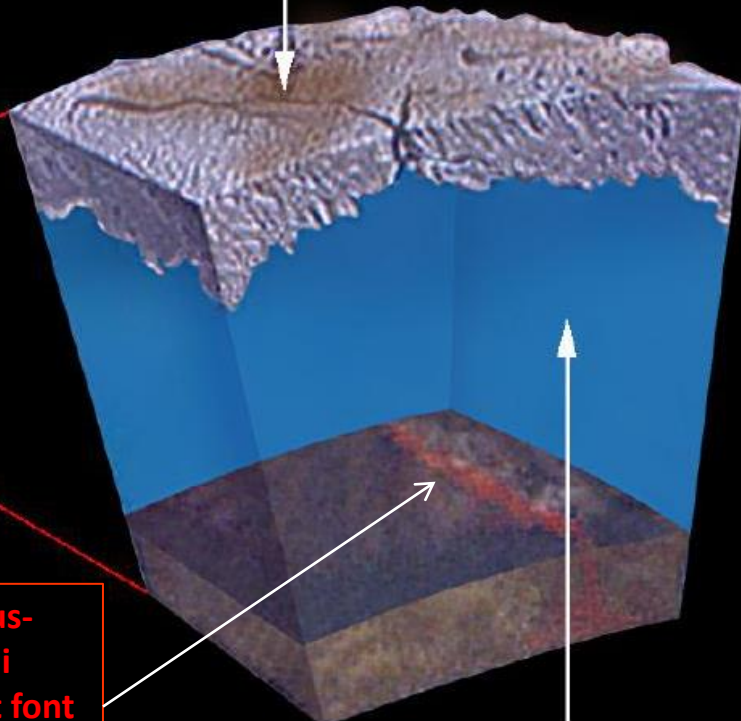
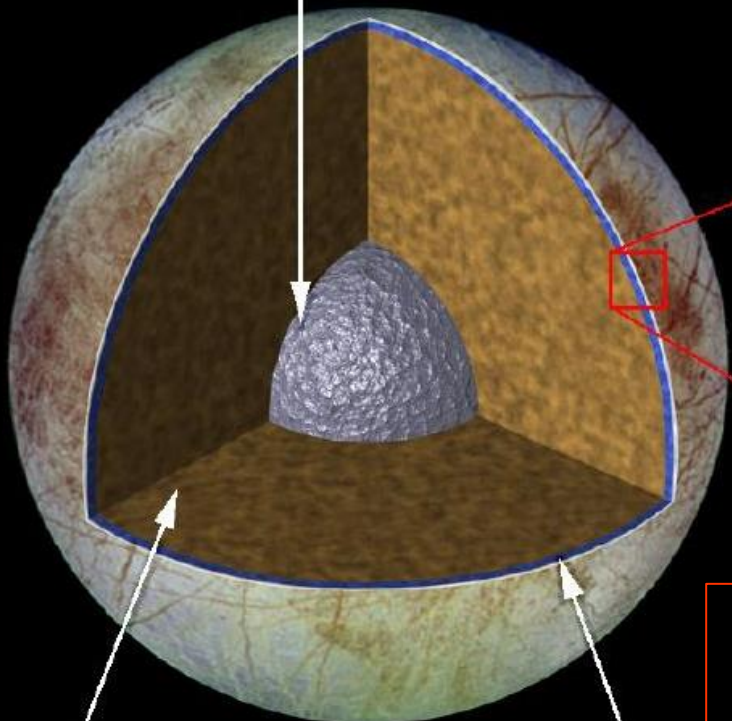


Océan liquide sous la glace

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



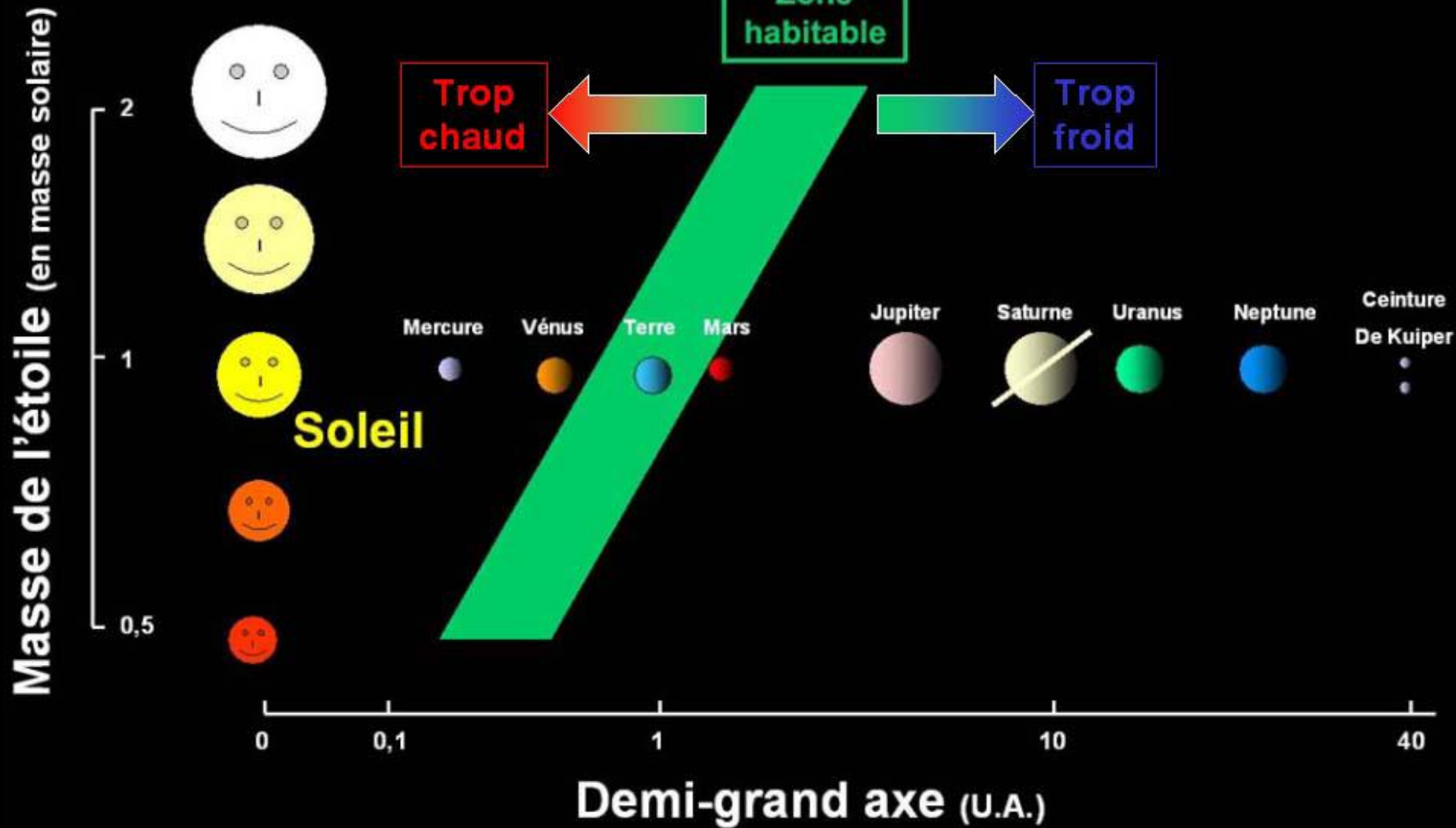
Intérieur rocheux

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

Océan liquide sous la glace

Couche d'H₂O

La faible épaisseur de la couche d'H₂O 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 des silicates.



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

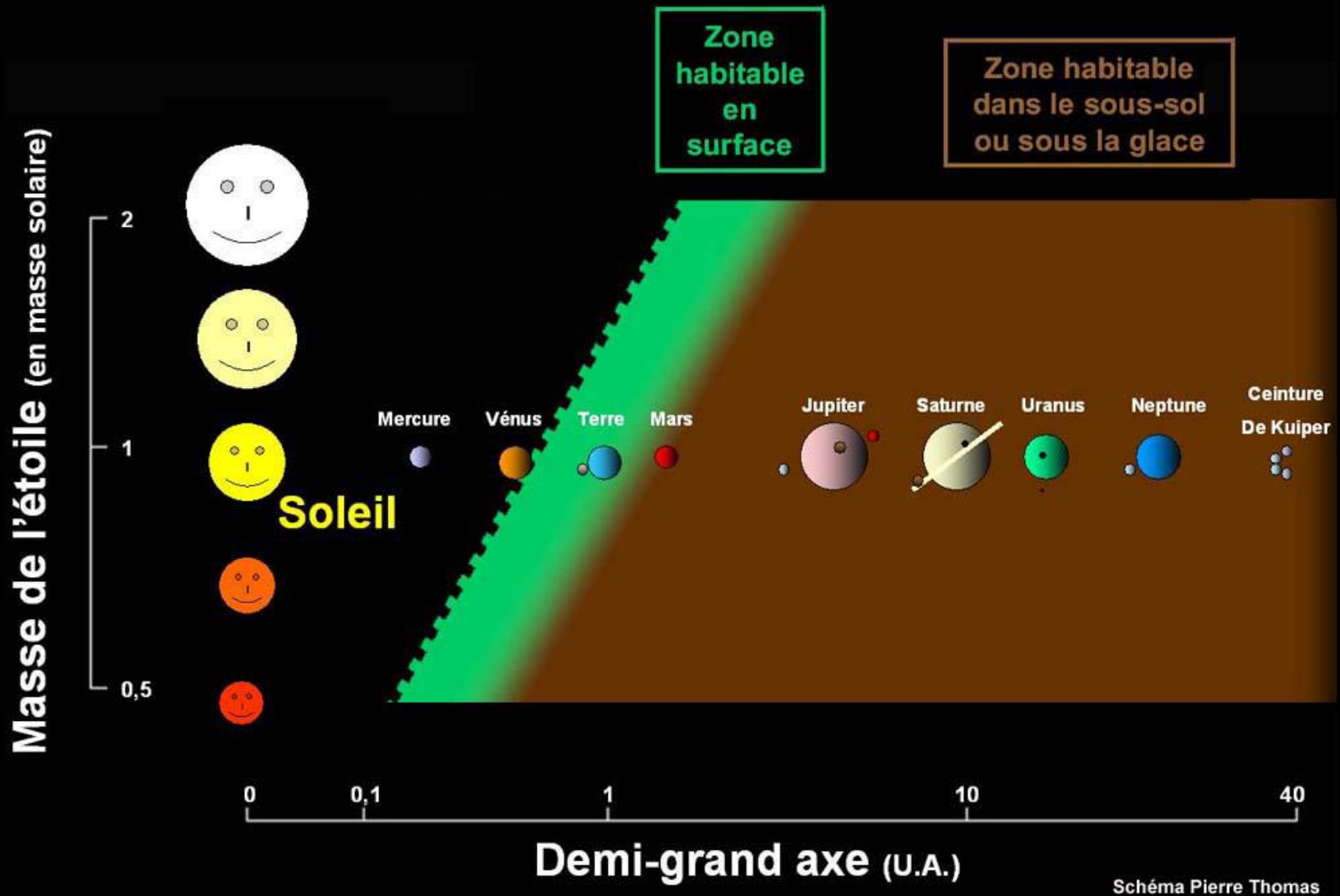


Schéma Pierre Thomas

... 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 média et grand public s'en rendent compte !

Zone habitable en surface

Zone habitable dans le sous-sol ou sous 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.

Mars

0 0,1

Demi-grand axe (U.A.)

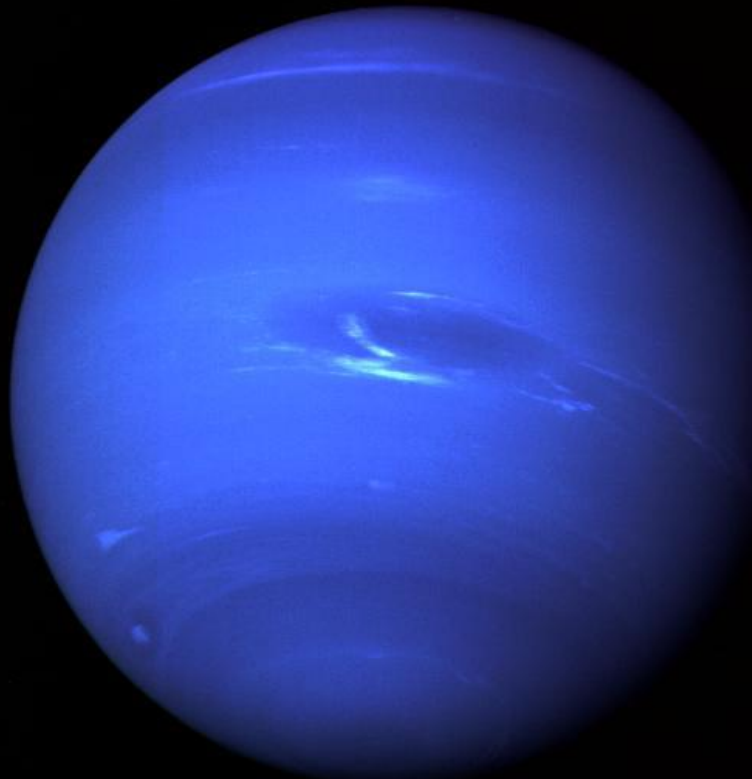
... de l'eau liquide sous-glaciaire (ou souterraine dans le cas de Mars) peut exister très loin du soleil. Ça met en cause, ou du moins élargit considérablement, la zone dite habitable. Il serait temps que média et grand public s'en rendent compte !

Où y a t-il (et y a t-il eu) du carbone et de la matière carbonée simple 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, « partout », de l'atmosphère de Vénus

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 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

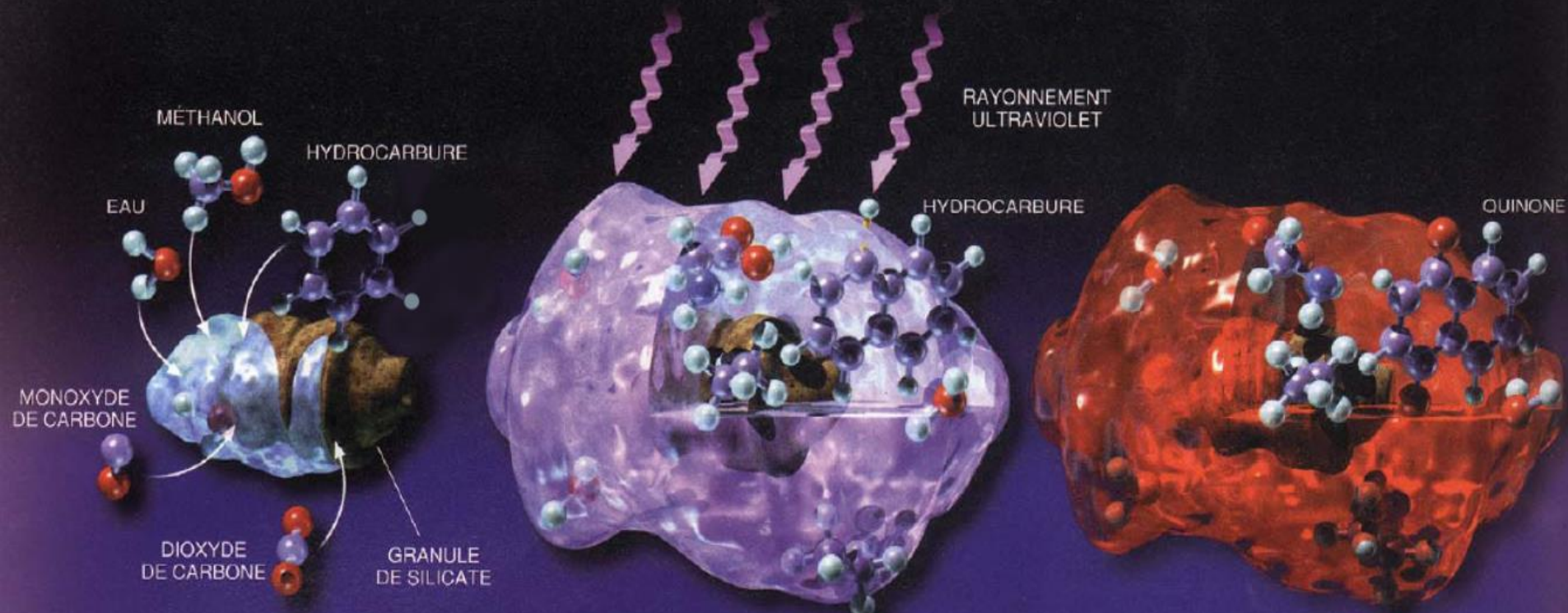
Chondrite carbonée, jusqu'à 5 % de carbone organique



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



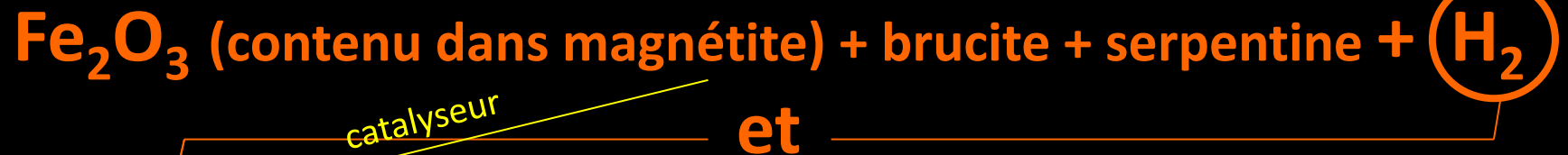
D'où viennent ces macromolécules complexes qu'on trouve dans certaines météorites et dans les comètes ?
De réactions de polymérisations entre les petites molécules omniprésentes dans le système solaire sous l'action des rayons cosmiques et des rayons UV.



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

Deuxième possibilité : dès qu'il y a du Fe^{++} (contenu dans des silicates) au contact d'eau (liquide, gazeuse ou supercritique) à une température $\geq 100^\circ\text{C}$, il peut se produire des réactions connues sous le nom de Réactions de type Fischer-Tropsch.



C'est comme ça
que les nazis
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.

Deuxième possibilité : dès qu'il y a du Fe^{2+} (contenu dans des silicates) au contact d'eau (liquide, gazeuse ou supercritique) à une température supérieure à 110°C , il peut se produire des réactions (comme le type Fischer-Tropsch)

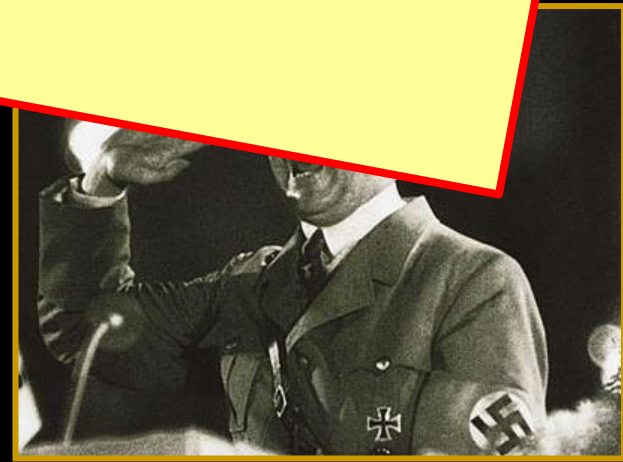
Ces réactions
eau + silicates (avec fer)



Quelques molécules carbonées complexes
ne peuvent se faire que si le Ph
n'est pas acide !

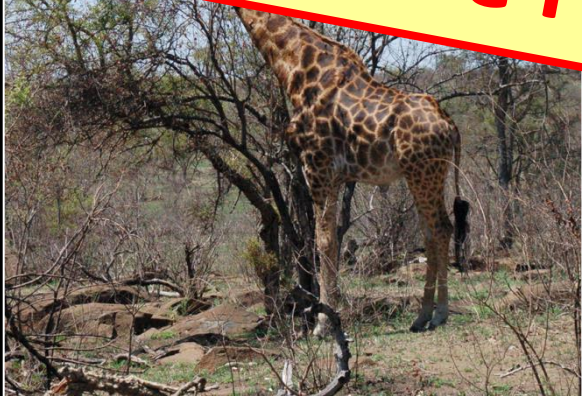


C'est comme ça
que les nazis
faisaient leur
essence à la fin de
la Guerre



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.

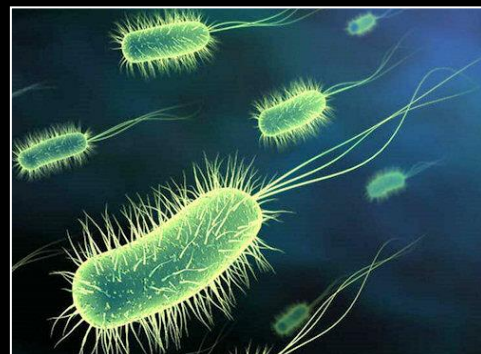
Dernière caractéristique-exigence nécessaire à la perpétuation de la vie une fois qu'elle est apparue : de l'énergie « noble ».



Soleil → arbre → girafe



Lion



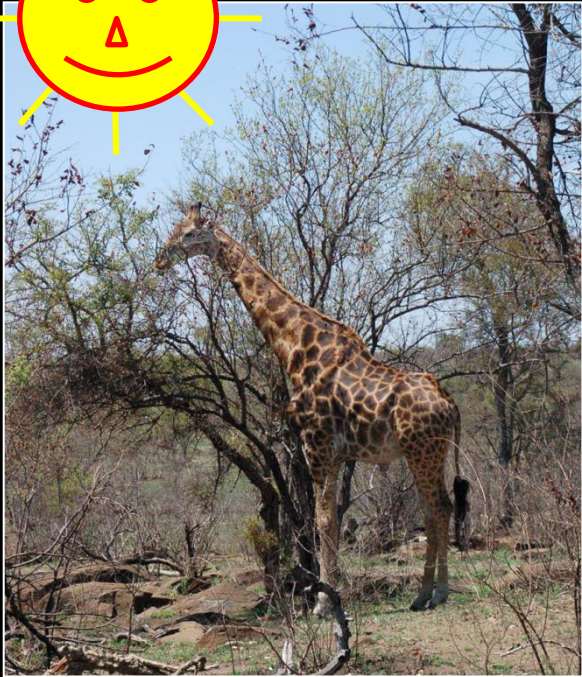
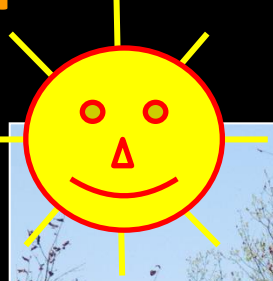
Bactérie



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



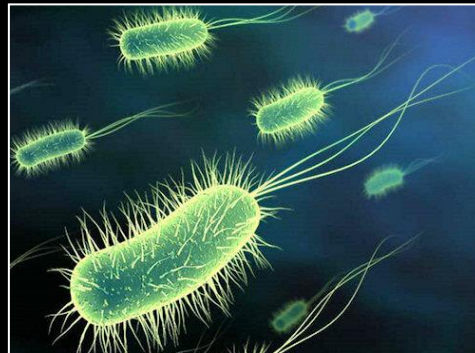
Lion



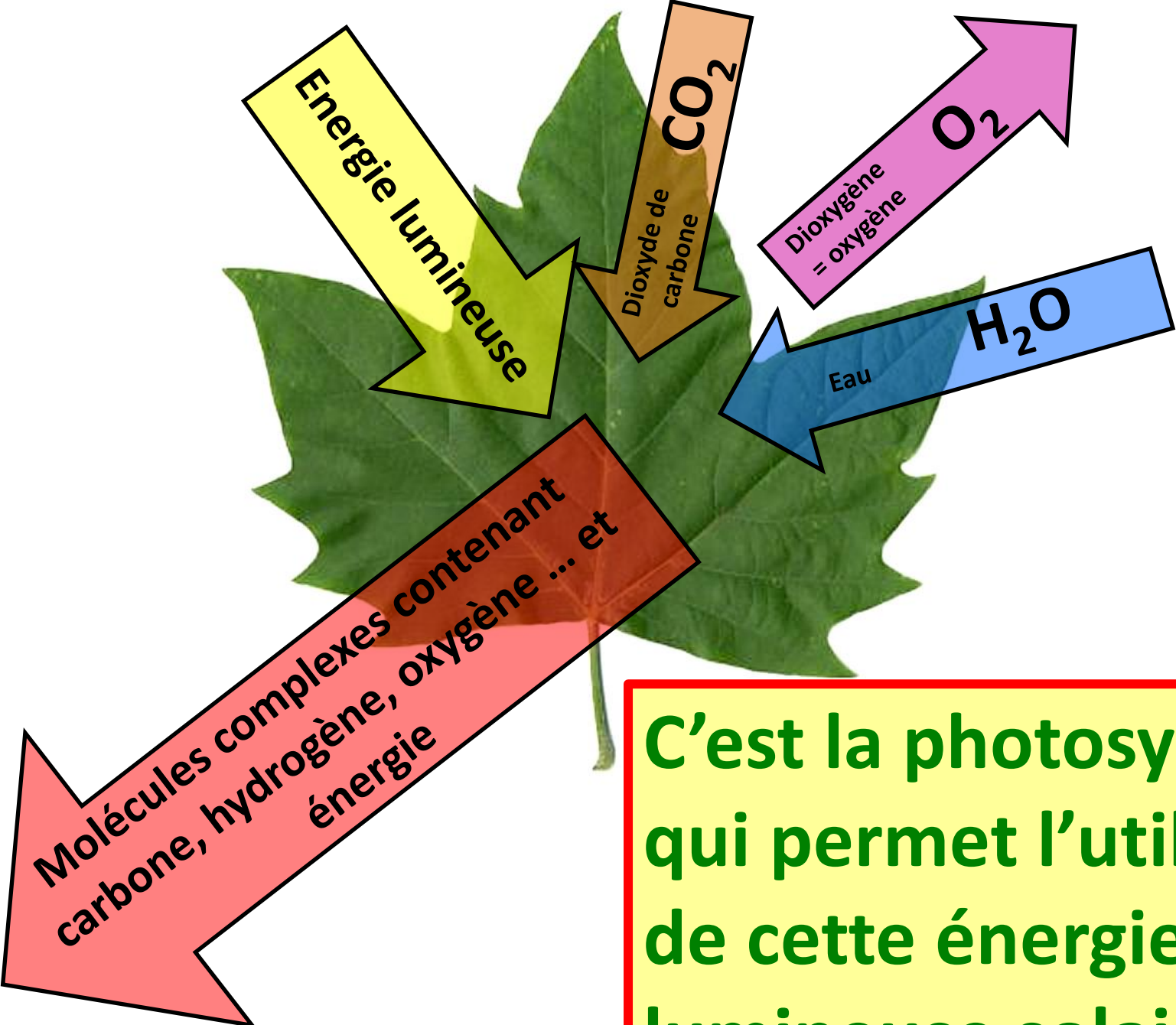
Vautour



Puce



Bactérie



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

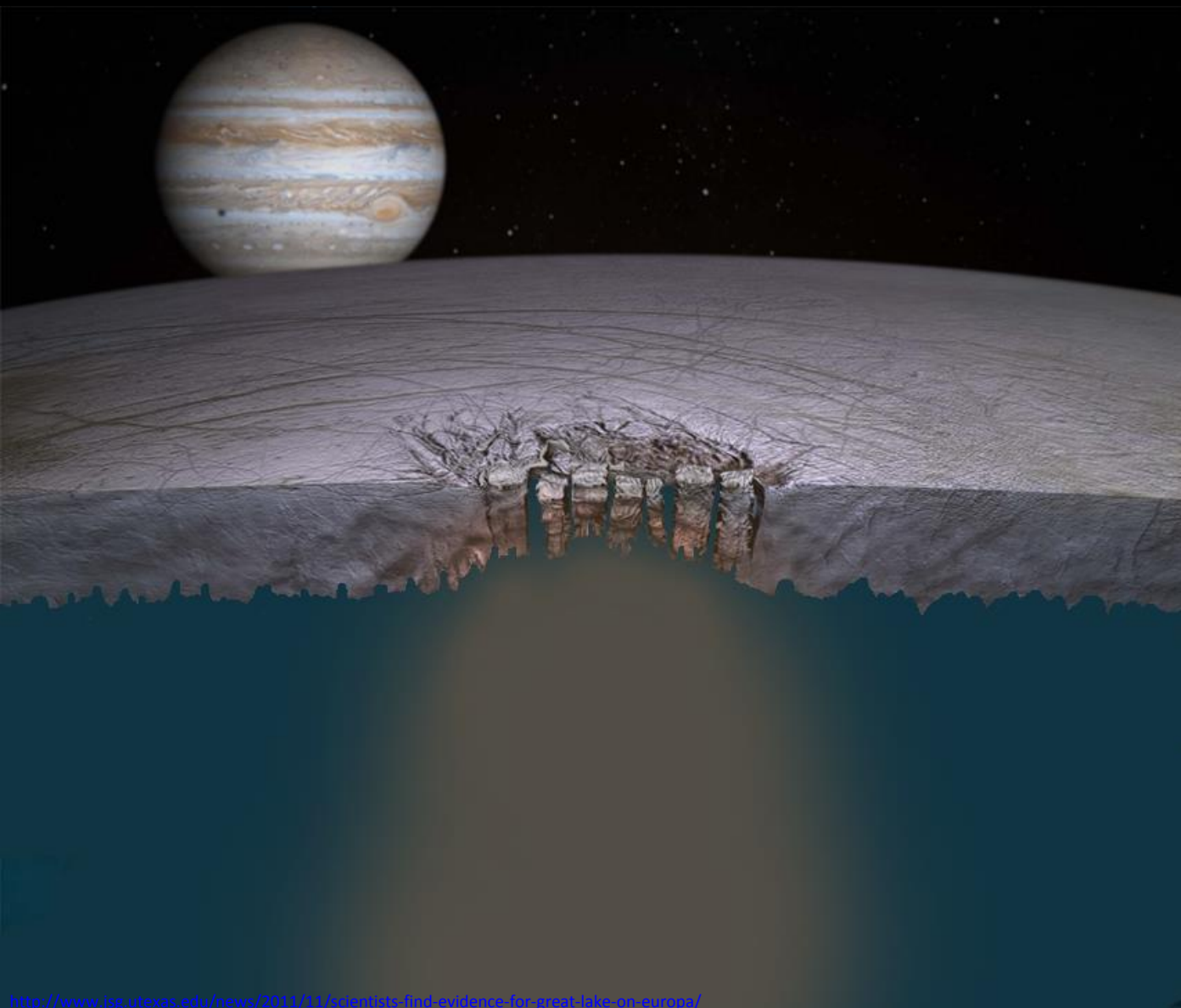


**Voici un gland, un tout
petit gland. Mais si il
germe, grâce à la
photosynthèse
($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{lumière}$
solaire), il deviendra
100 ans plus tard ...**



... non pas un gros gland, mais un grand chêne, qui à son tour donnera des glands que mangeront des sangliers ...

C'est ça la vie, et il en faut de l'énergie (solaire) pour faire marcher tout ça !

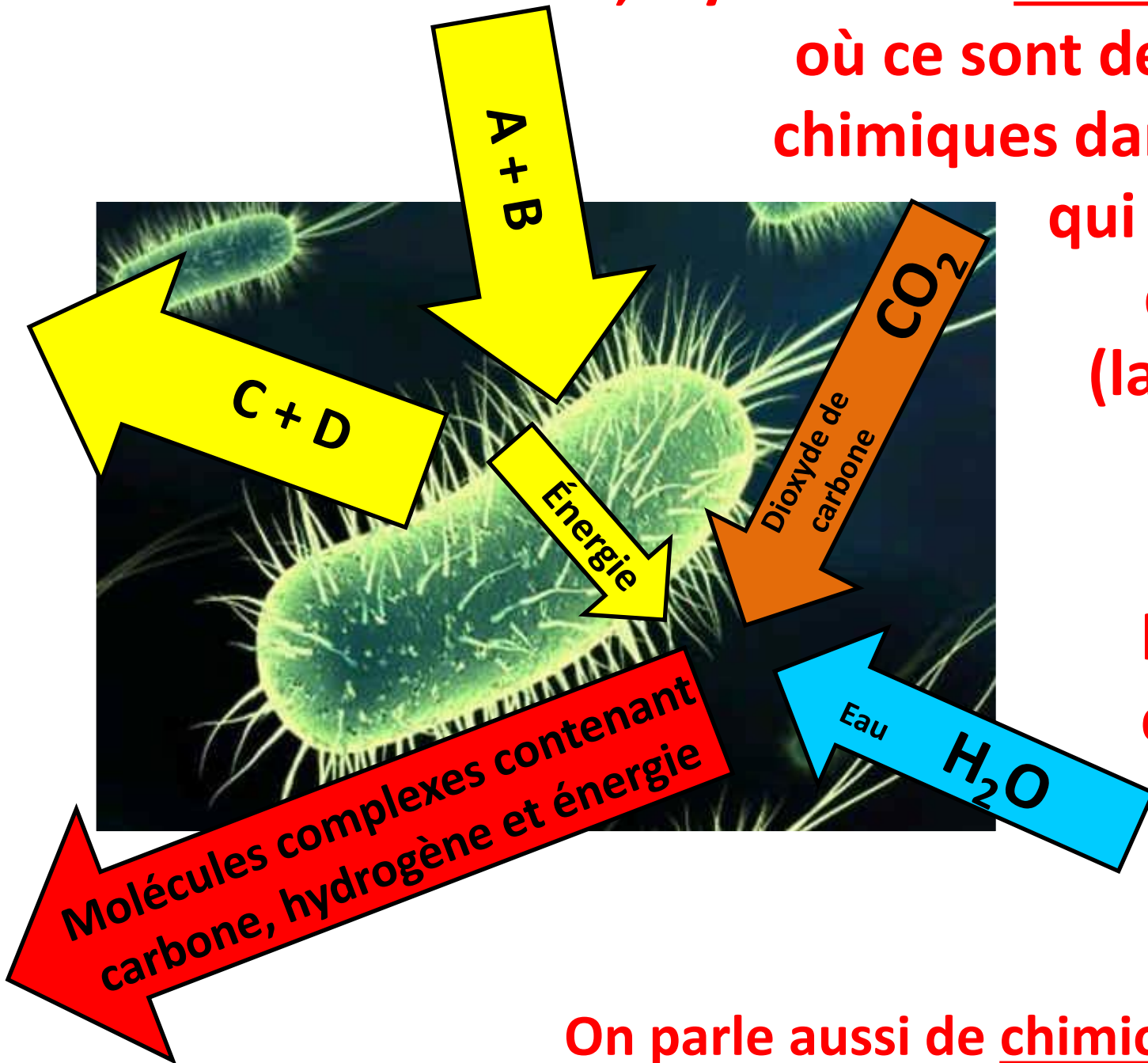


<http://www.jsg.utexas.edu/news/2011/11/scientists-find-evidence-for-great-lake-on-europa/>

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 la
même).

Seules des
bactéries et
des archées
« savent »
faire cela !



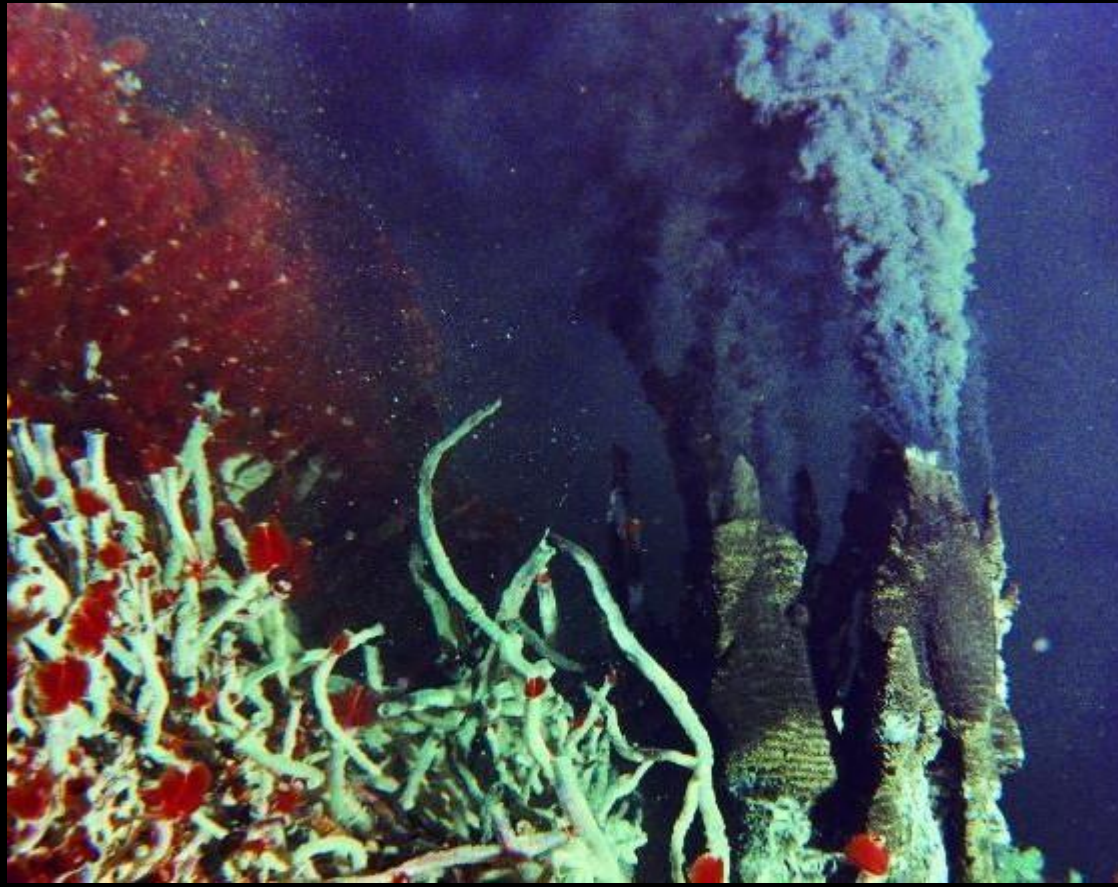
On parle aussi de chimiolithotrophie



Un exemple bien de chez nous (une grotte en Auvergne) de chimiosynthèse : des bactéries 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 dites ferroxydantes.

Un autre exemple bien connu de chimiosynthèse : les sources hydrothermales du fond des océans. Ces sources volcaniques crachent du gaz sulfureux (H_2S). Ce gaz pénètre dans des bactéries 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 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 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

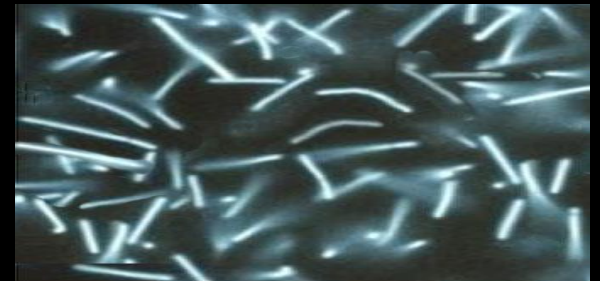


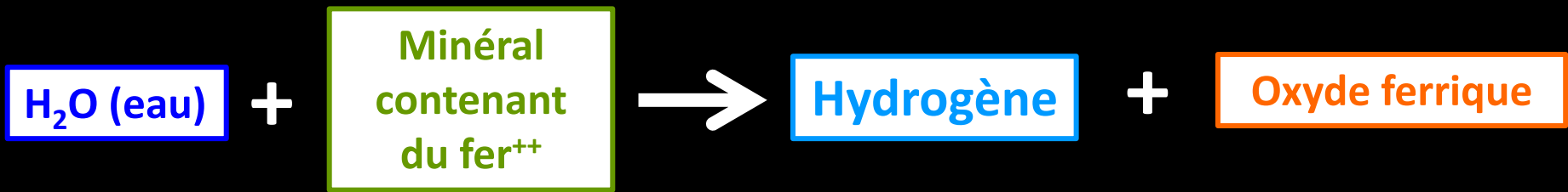
Les 2 écosystèmes précédents, certes, ne dépendent pas directement de l'énergie solaire et de la photosynthèse.

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).

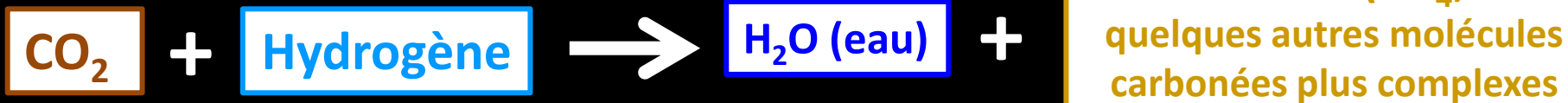
Sur Europe, Encelade, Mars ... pas de photosynthèse, donc pas de di-oxygène dissout dans les eaux profondes, donc pas d'écosystèmes équivalents.

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

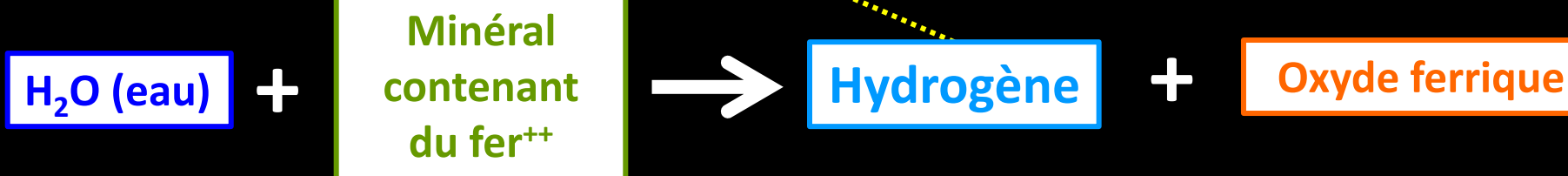




Etape 1, réaction minérale, purement abiotique



Etape 2, première possibilité, réaction minérale, purement abiotique



Etape 1, réaction minérale, purement abiotique

CO₂

+

Hydrogène

→

H₂O

+

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

Méthane (CH₄) et
quelques autres molécules
carbonées plus complexes

Etape 2, première possibilité, réaction minérale, purement abiotique

H₂O (eau)

+

Minéral
contenant
du fer⁺⁺

→

Hydrogène

+

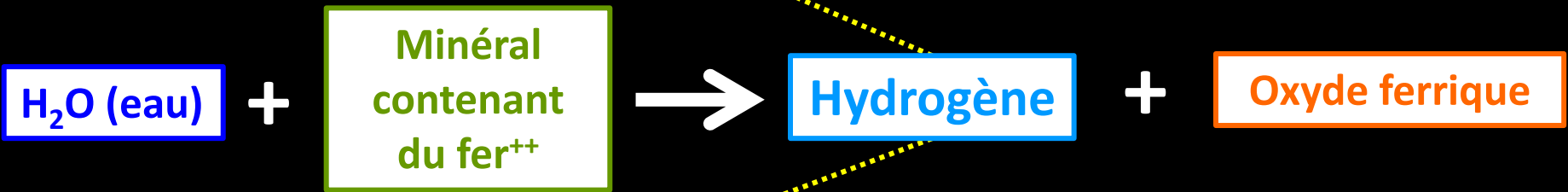
Oxyde ferrique

Etape 1, réaction minérale, purement abiotique

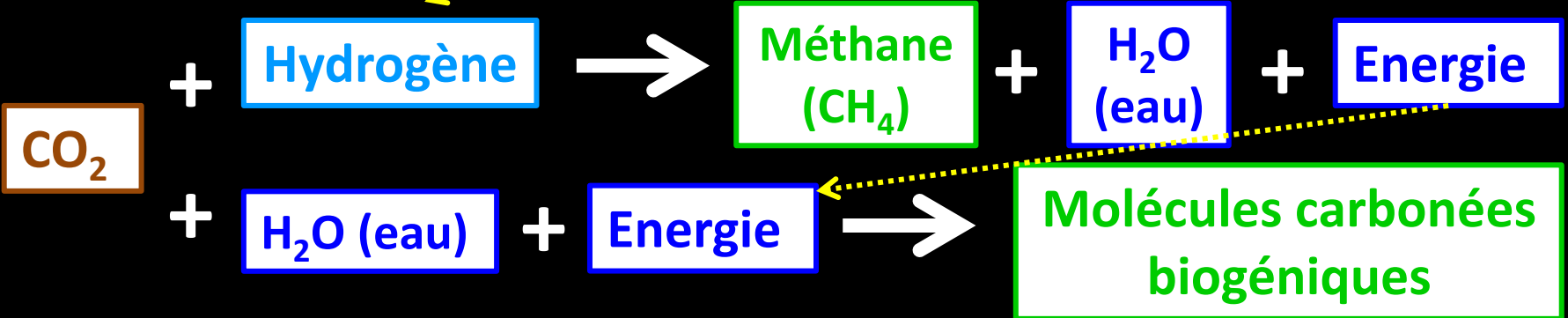


Organosynthèse abiotique = réaction de type Fischer-Tropsch

Etape 2, première possibilité, réaction minérale, purement abiotique



Etape 1, réaction minérale, purement abiotique

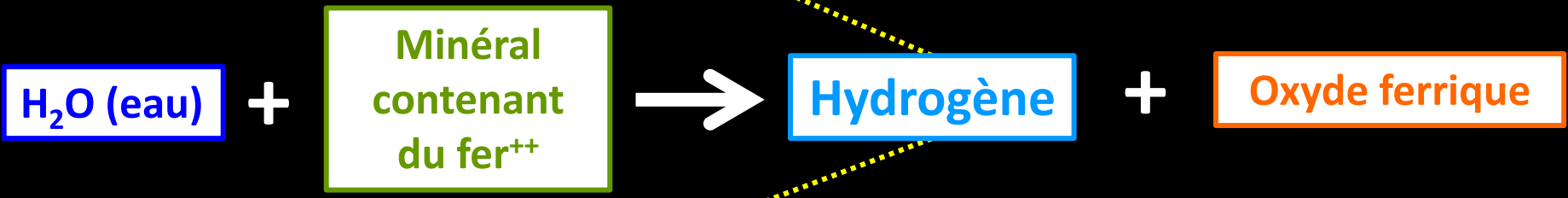


Etape 2, deuxième possibilité, réactions biologiques intra-bactériennes

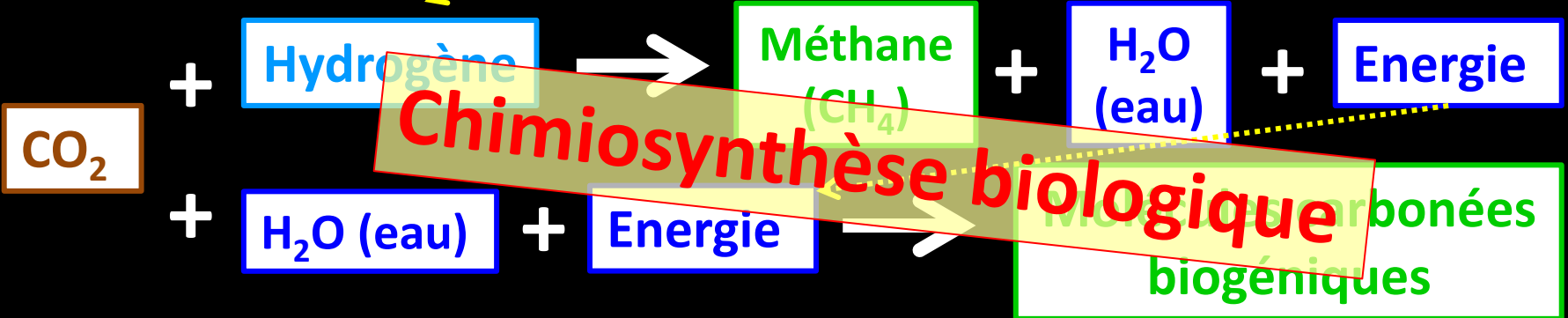


Organosynthèse abiotique = réaction de type Fischer-Tropsch

Etape 2, première possibilité, réaction minérale, purement abiotique



Etape 1, réaction minérale, purement abiotique



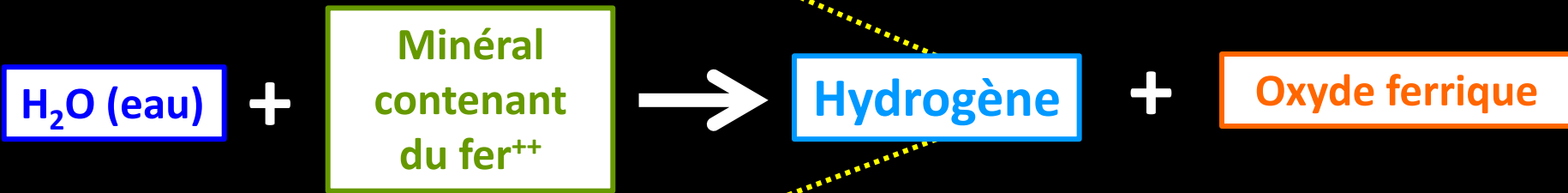
Chimiosynthèse biologique

Etape 2, deuxième possibilité, réactions biologiques intra-bactériennes

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

Méthane (CH₄) et 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

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

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

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

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

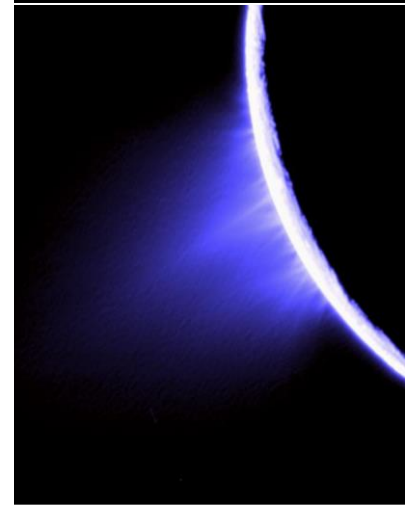
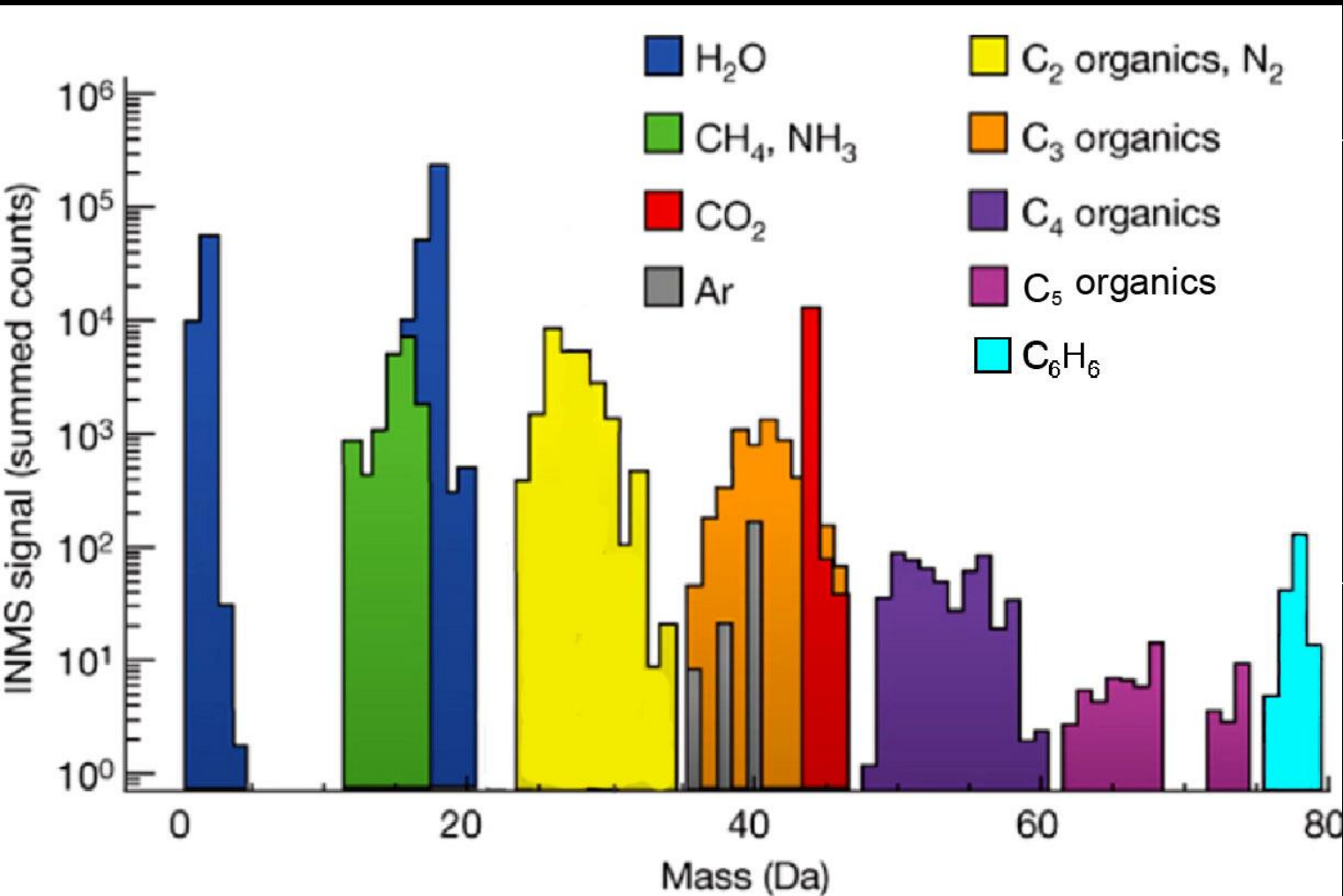
Mais à la base des océans d'Encelade et d'Europe, si !

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 reprogrammés pour traverser les panaches « geyseriens » d'Encelade. Tous les instruments destinés à la haute atmosphère de Titan ont fonctionné à plein régime fin 2008

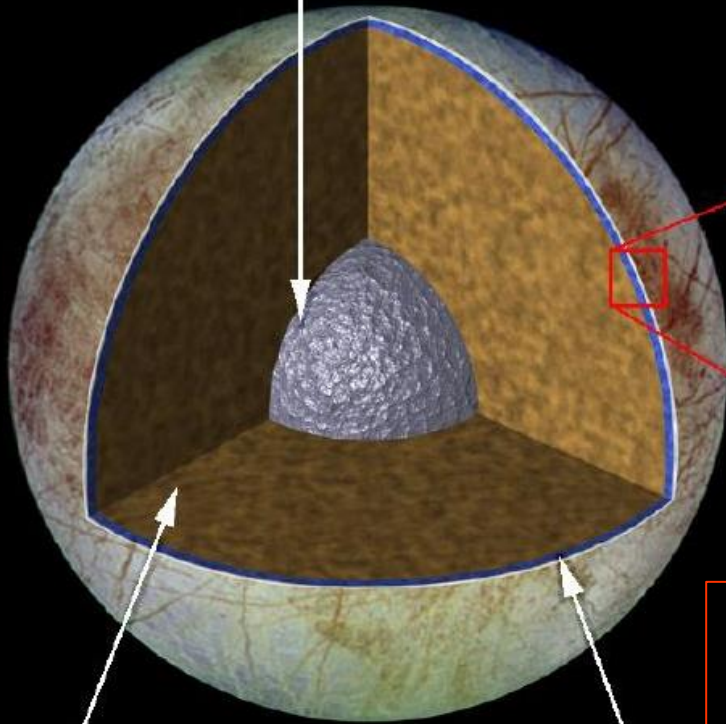


Nature 460, 487-490 (23 July 2009), <http://www.nature.com/nature/journal/v460/n7254/full/nature08153.htm>

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.

Noyau métallique

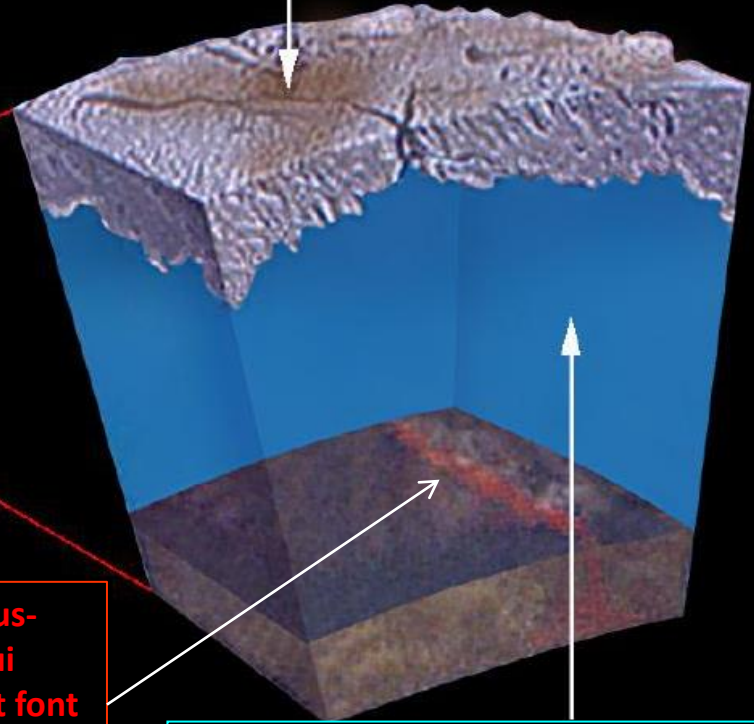
Banquise de glace



Intérieur rocheux

Couche d'H₂O

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



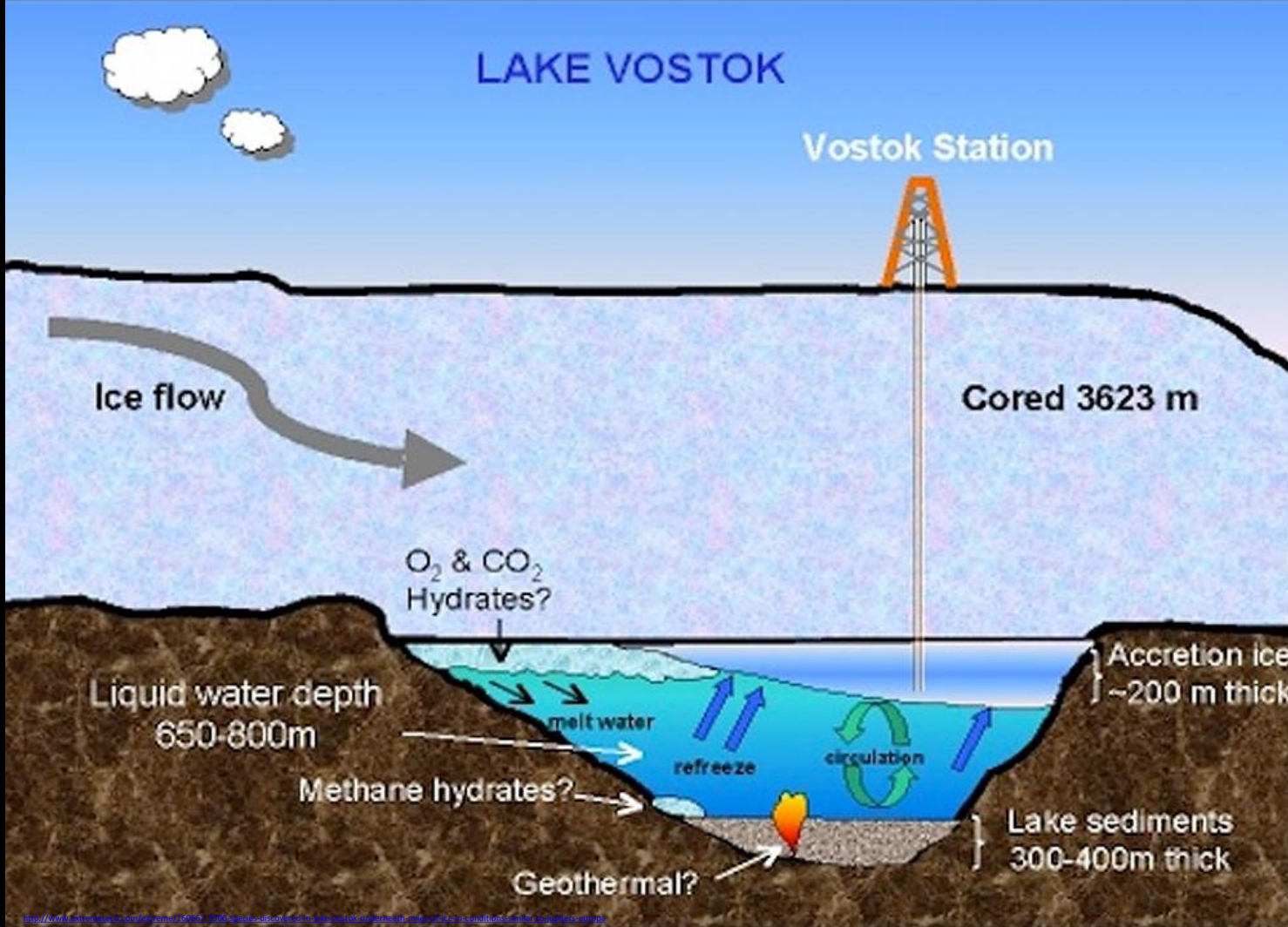
Océan liquide sous la glace

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



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

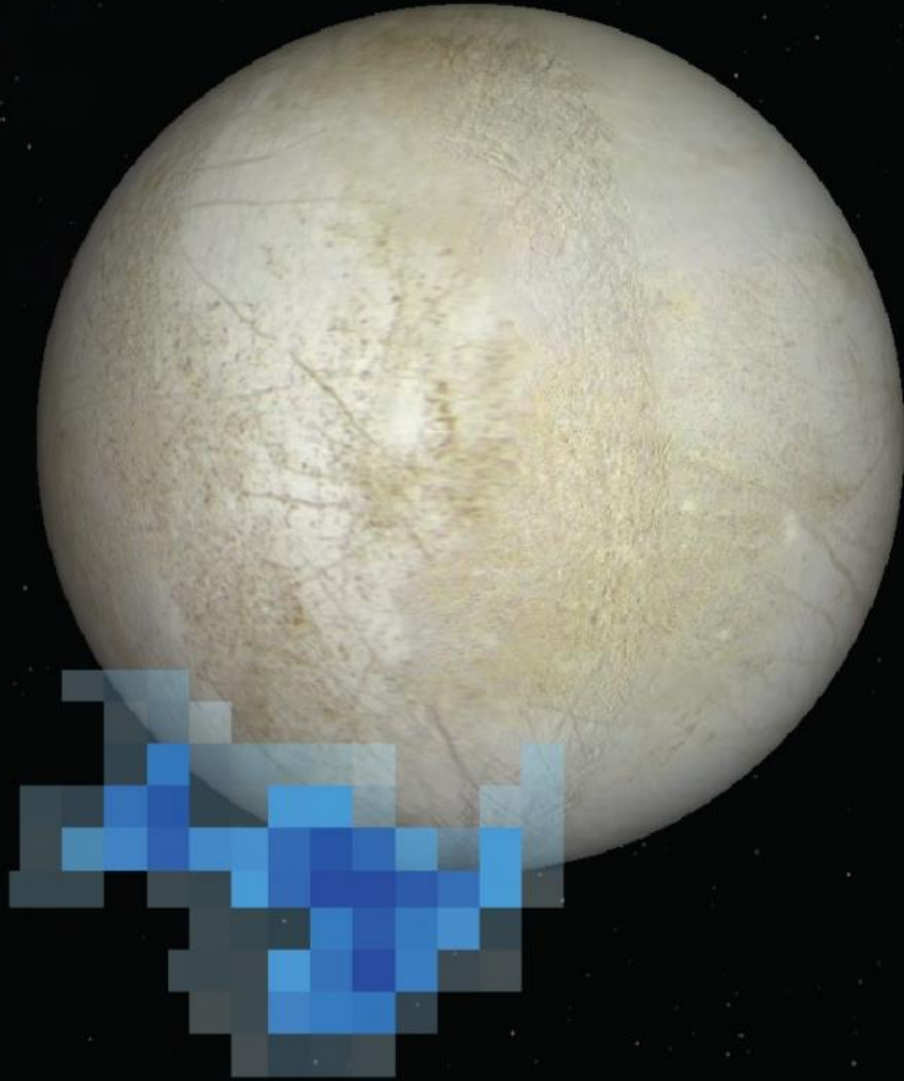
En effet, s'il y a organosynthèse abiotique et/ou chimio-synthèse biologique sur Encelade, pourquoi pas sur Europe ? Mais le savoir sera difficile. Il faudrait percer au moins 10 km de glace, alors que le record en Antarctique n'est que de 3700 m.



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.

Dernière nouvelle (12 décembre 2013)



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



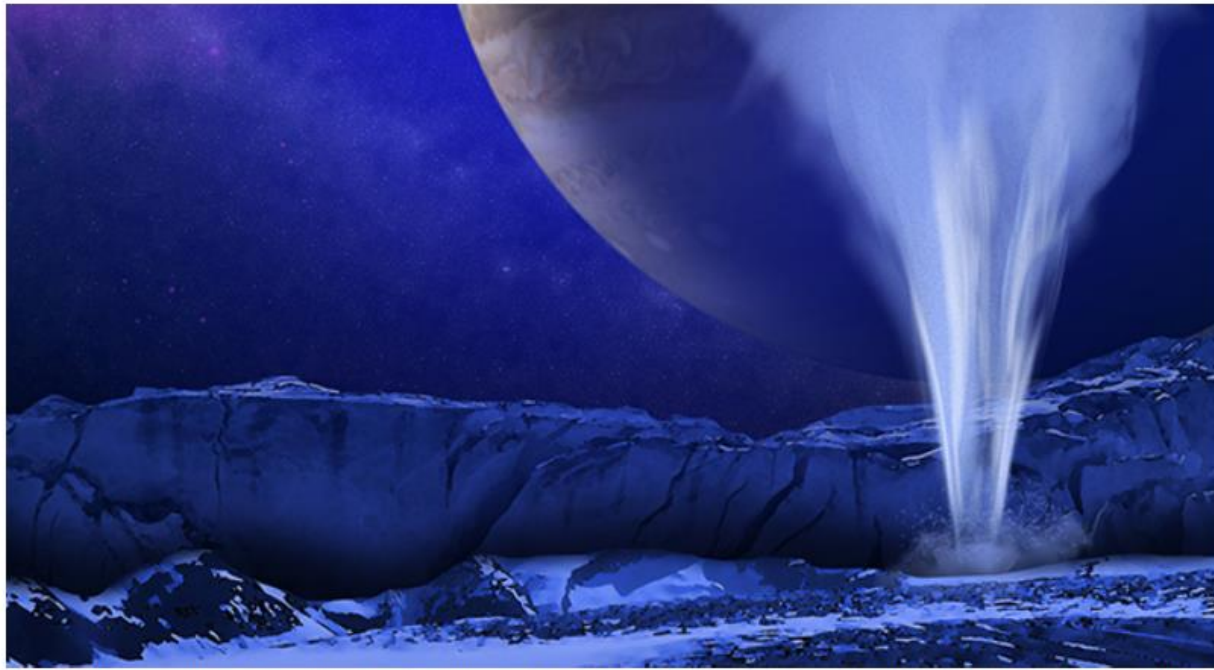
- News
- Missions
- Images
- Video & Audio
- Education
- Public Events
- Work at JPL
- About JPL



Share this page: [Print] [Email] [Facebook] [Twitter]

> All 2013 releases > Archives

Hubble Sees Evidence of Water Vapor at Jupiter Moon



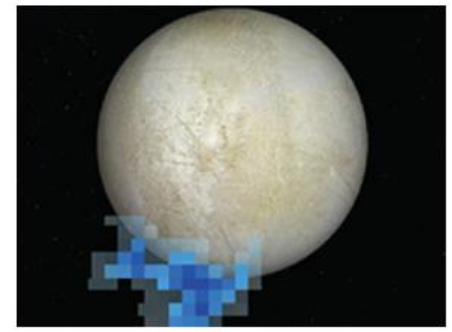
This is an artist's concept of a plume of water vapor thought to be ejected off the frigid, icy surface of the Jovian moon Europa, located about 500 million miles (800 million kilometers) from the sun. Image credit: NASA/ESA/K. Retherford/SWRI

> Full image and caption

December 12, 2013

<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2013-363>

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.

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

**Du carbone :
partout.**



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

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



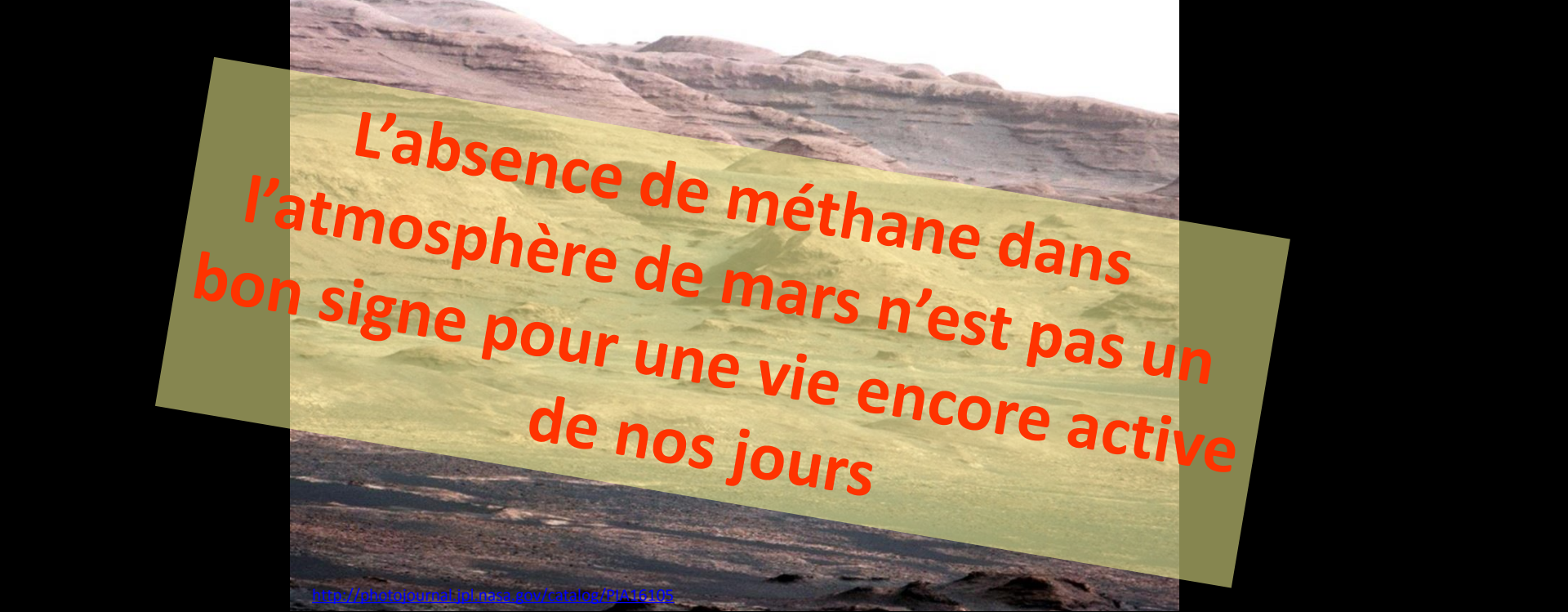
**De l'eau liquide profonde en contact avec des silicates :
dans la Terre, Mars, Europe et Encelade.**



Alors ??



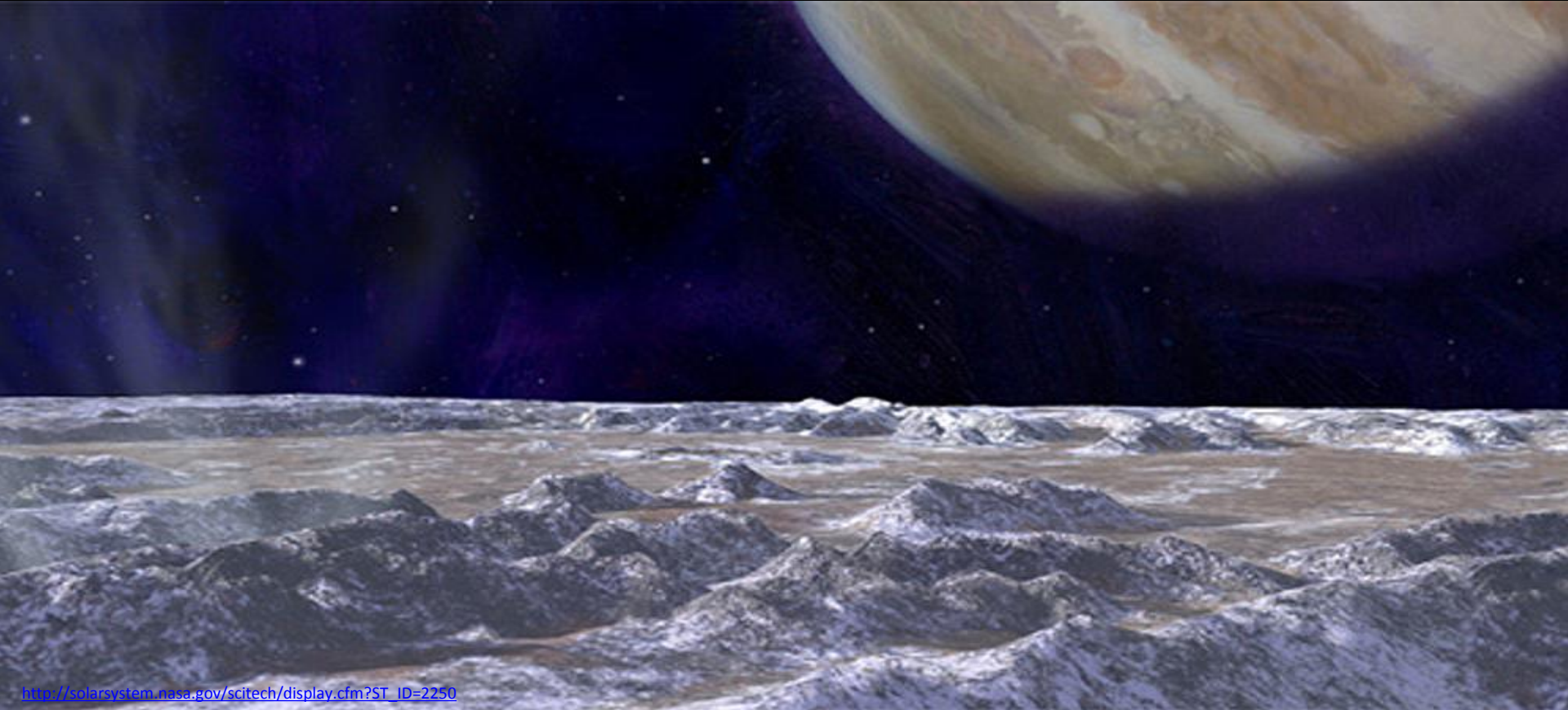
Pour Mars, d'ici quelques mois si tout va bien, on saura si les couches argileuses du cratère Gale contiennent des molécules organiques (le Ph neutre est favorable). Si oui, il faudra déterminer si elles sont abiotiques ou biogéniques. Et si elles sont biogéniques, il faudra rechercher si il n'y aurait 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 !



L'absence de méthane dans
l'atmosphère de Mars n'est pas un
bon signe pour une vie encore active
de nos jours

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA16195>

Pour Mars, d'ici quelques mois si tout va bien, on saura si les couches argileuses du cratère Gale contiennent des molécules organiques (le Ph neutre est favorable). Si oui, il faudra 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 !



http://solarsystem.nasa.gov/scitech/display.cfm?ST_ID=2250

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

LATEST NEWS

Search articles Search

Share this page: [social icons]

> All 2014 releases > Archives

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

[reddit] [G+1] 5 [Pinterest] [Recommend] 21 [Tweet] 11 [Share] 88
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.

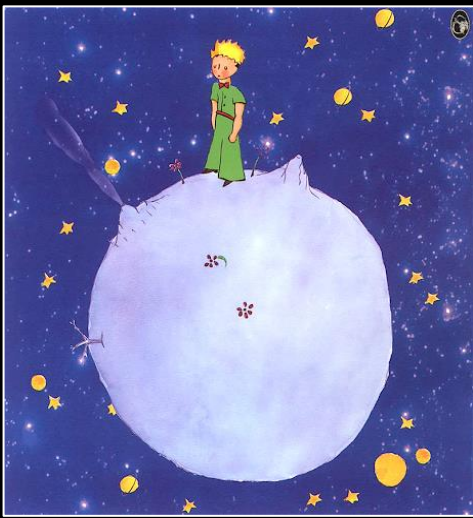
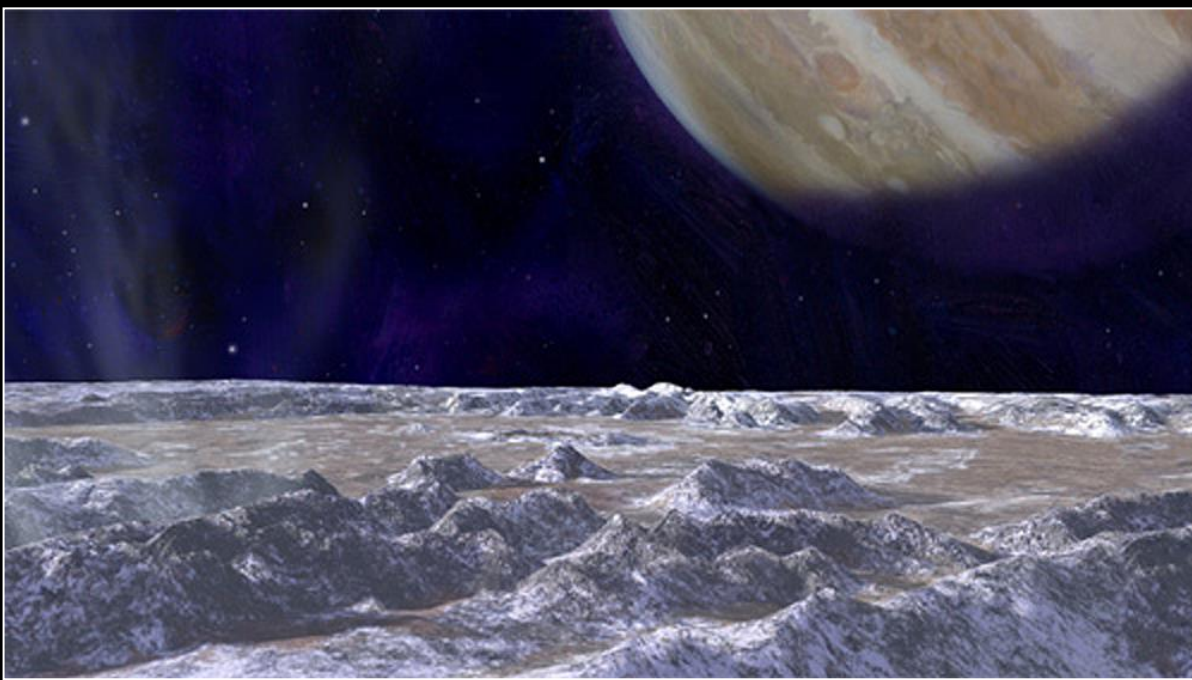
"The possibility of life on Europa is a motivating force for scientists and engineers around the world," said John Grunsfeld, associate administrator for NASA's Science Mission Directorate at the agency's headquarters in Washington. "This solicitation will select instruments which may provide a big leap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

La preuve datée du 15 juillet 2014.

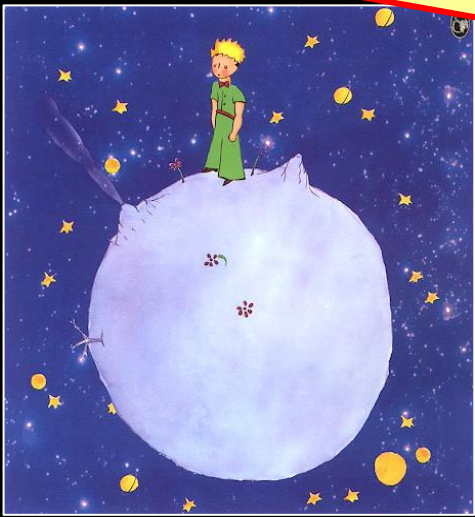
Quand au financement, n'oublions pas qu'une grosse mission ne coûte que 3 à 5 milliards d'€, étalés sur 10-15 ans, ce qui correspond à peu près au budget du PSG ou d'autres clubs sportifs identiques sur ces mêmes 10-15 ans. Et de tels clubs sportifs, il en existe des dizaines et des dizaines dans les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



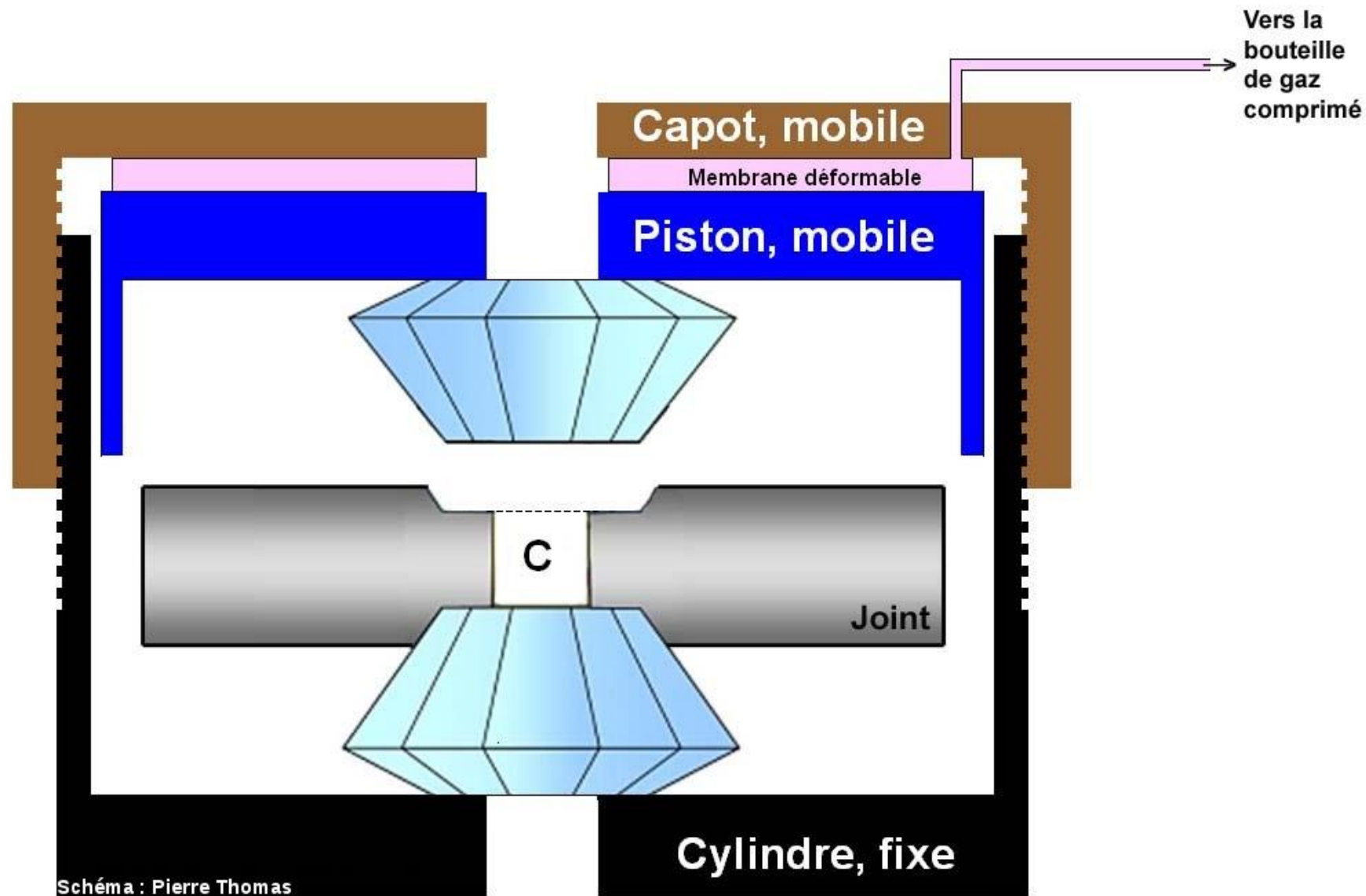
Alors, *vie ou pas vie* actuelle ou passée sur (dans) Europe, Encelade ou Mars ? On n'a aucune réponse définitive, mais tous les espoirs sont permis !



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



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 !



Le principe du fonctionnement d'une cellule à enclumes de diamant



Photographie : Pierre Thomas - ENS Lyon

Une cellule à enclume de diamant au laboratoire

Photographies : Pierre Thomas - ENS Lyon



Capot

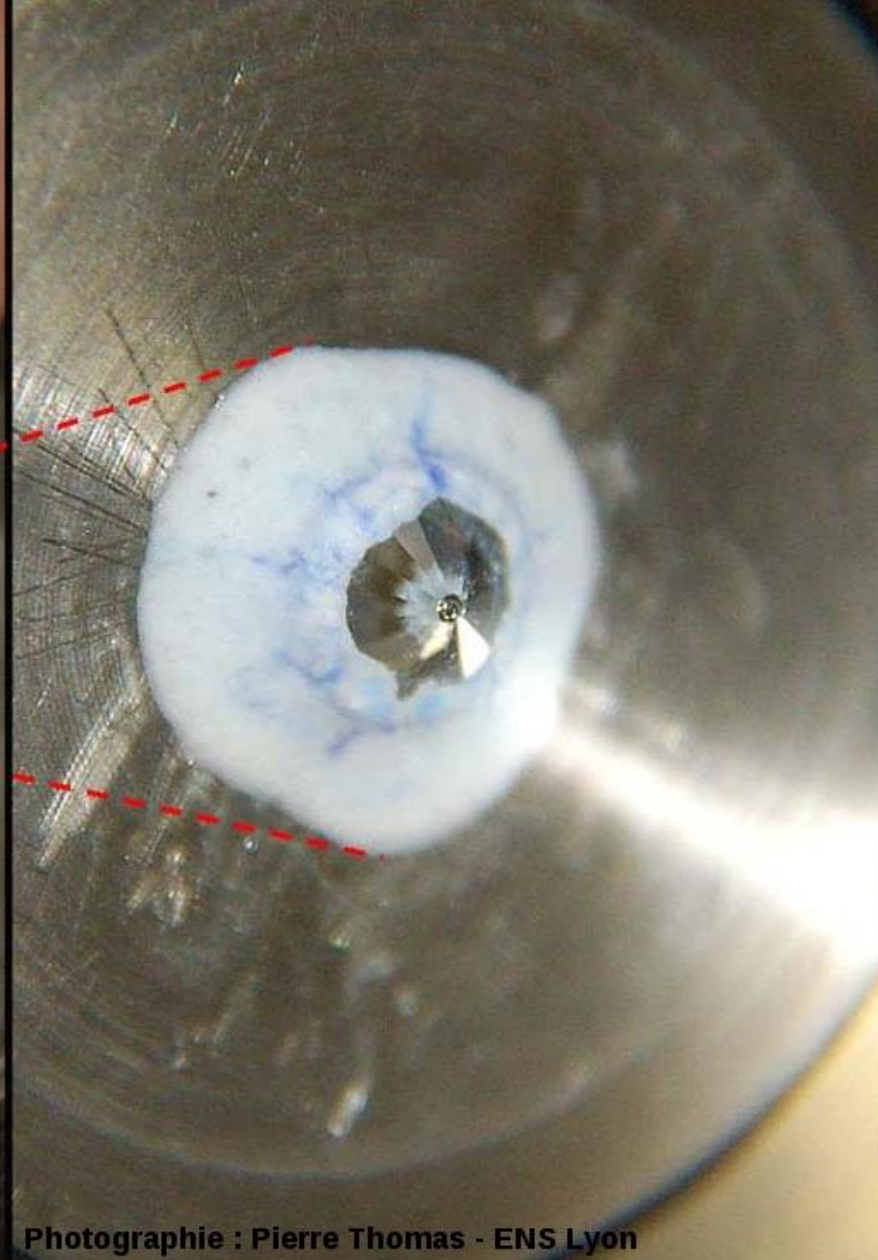
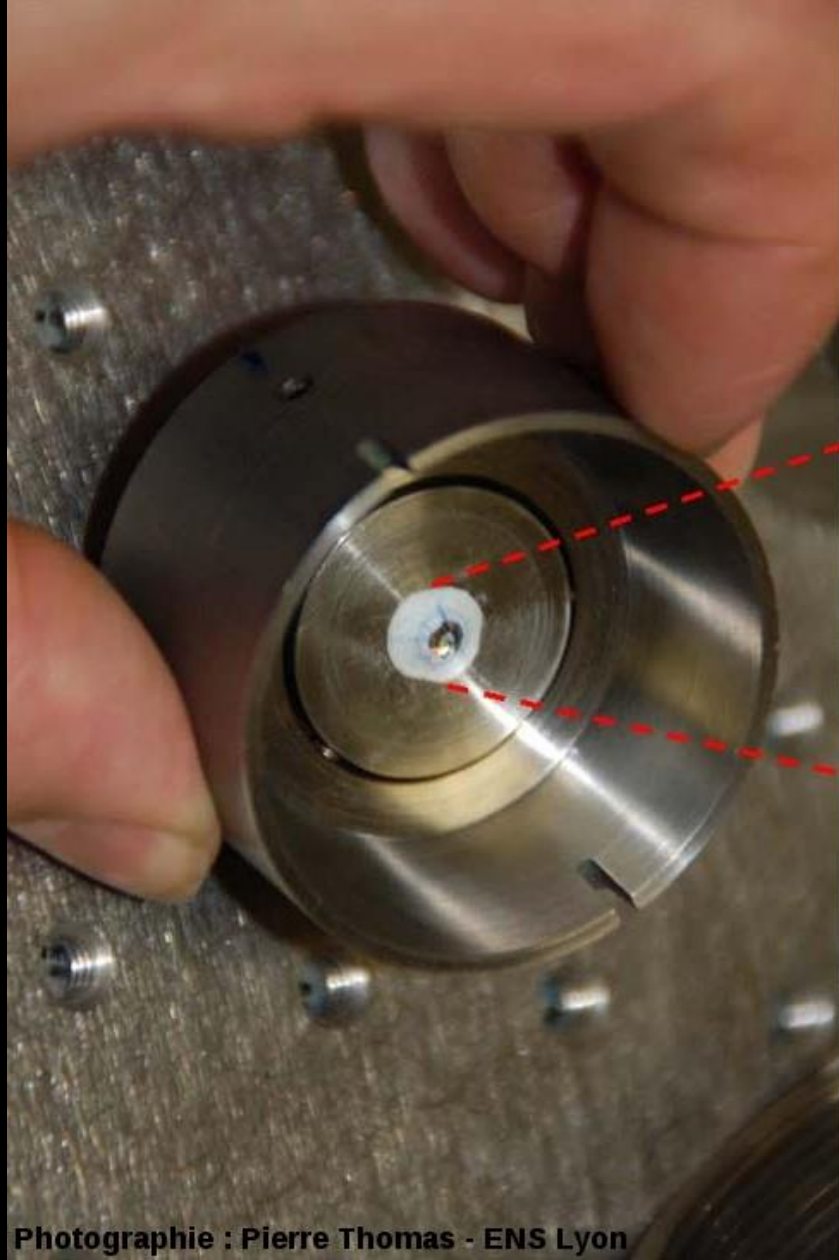


Piston



Cylindre

Une cellule à enclumes de diamant en « éclaté »



Photographie : Pierre Thomas - ENS Lyon

Photographie : Pierre Thomas - ENS Lyon

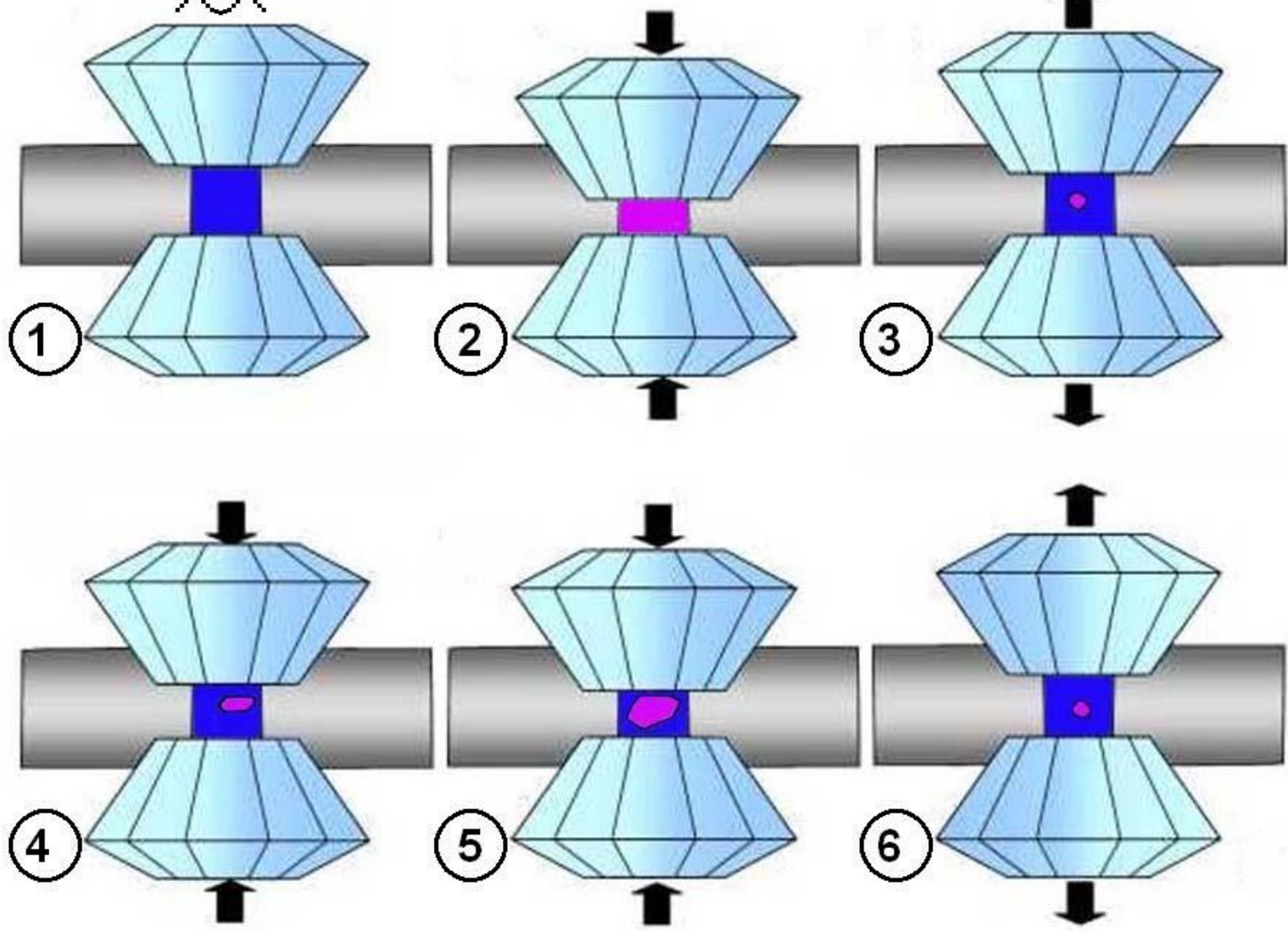
Gros plan sur un des 2 pistons d'une cellule à enclume de diamant, et zoom sur son diamant



D'après photographie de Philippe Gillet

Vue latérale d'une cellule à enclume de diamant

camera



Film 1,
cristallisation

Le principe du film que vous allez voir, à partir de 3