

MAIS D'OÙ VIENT L'EAU, SOURCE DE VIE?

Histoire d'eau,
depuis l'origine
des temps à nos
jours...

Investigation conduite
par Yves Le Bars,
ingénieur des ponts, des
eaux et des forêts (h)



Université Populaire Antony, 18 Mars 2021

Après le cycle sur le vin... « Quelle superbe idée... »

« Quelle superbe idée que celle de consacrer un ouvrage à ce qui est sans doute l'élément primordial, celui qui a conditionné et conditionnera à jamais toute vie sur la Terre : l'eau ! » Jean Dorst (1924-2001), préface de « l'Eau » 1990

Une grande part de ma vie lui a été consacrée



Sur mon chantier à Madirovalo

Depuis 1966,
Service
hydraulique
agricole de
Madagascar,

2005 : Eau et
développement,
le travail des
ONG :
construction
d'un barrage en
terre pour
l'irrigation en
Birmanie
(Rakhine)



L'eau un assemblage aux propriétés rares

Un composé thermiquement stable jusqu'à 3000°C.

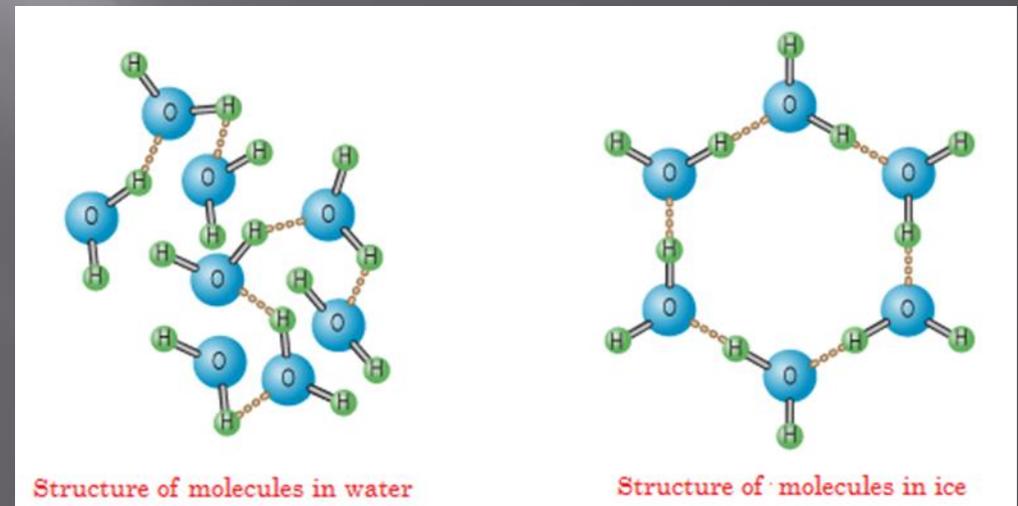
Enorme capacité calorifique : régulateur des climats

Un excellent solvant

Sa phase solide est, chose rare, plus légère que sa phase liquide : la glace flotte sur l'eau.

Autre cas : le bismuth solide flotte sur sa phase liquide!

Et Paul au dessus des scandales



Jean DORST,

Directeur du Muséum national d'histoire naturelle, de 1975 à 1985

« L'eau occupe la majeure partie de notre planète. Les mers en représentent la plus grande part, quelque 70% du globe. Rien d'étonnant à ce que les cosmonautes aient qualifié la Terre de planète bleue en la contemplant de leurs vaisseaux spatiaux !

Elles sont précieuses, toutes formant des réserves et intervenant puissamment dans la régulation des climats. Par ailleurs elles sont d'incalculables témoignages de l'évolution des climats depuis des dizaines et des centaines de milliers d'années. »



Une paléologie* de l'eau, en relation avec le système solaire, l'atmosphère, et la sphère du vivant

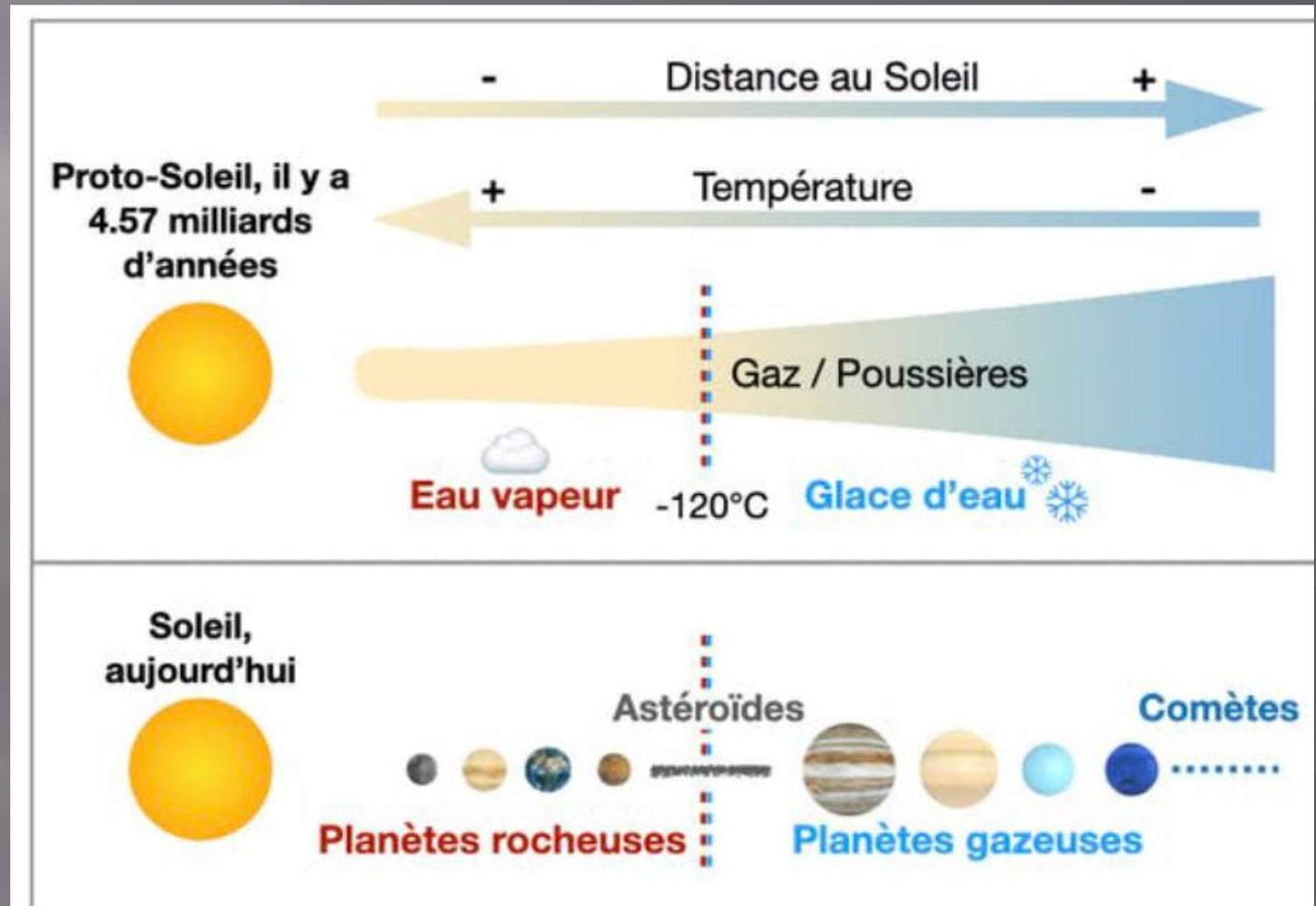
- 1/ Mais d'où vient l'eau qui est sur notre planète?
- 2/ La fabrication des atmosphères terrestres entre eau, atmosphère et vie
- 3/ Et la vie sort des océans, grâce à la couche d'ozone
- 4/ L'eau douce, dans la fabrication de nos paysages, et ce que les humains en font

*Paléologie : Étude des choses anciennes.

Au commencement...

1/ Mais d'où vient l'eau qui est sur notre planète?

Merci à Janet qui m'a fourni les derniers éléments de la recherche...



Le système solaire était au départ un nuage de gaz et de poussière à partir duquel les planètes et différents corps se sont formés par agglomération des poussières. L'incorporation de l'eau dans les corps planétaires dépend de la température environnante, aux faibles pressions du milieu interplanétaire : au dessus de $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$, l'eau est sous forme vapeur et ne s'agglomère pas aux autres solides. Laurette Piani, Author provided

Mais d'où vient l'eau qui est sur notre planète?

Une controverse, deux origines en compétition :

- du dégazage du globe terrestre au moment de sa formation il y a 4,55 milliards d'années, lié à une très forte activité volcanique. La Terre aurait contenu de l'hydrogène et l'oxygène en grande quantité et avec les bonnes compositions isotopiques dès le début de sa formation.
- un **apport tardif de l'eau**, durant les dernières phases d'accrétion de la Terre, par des petits corps planétaires chondritiques (comètes et météorites) relativement riches en eau solide



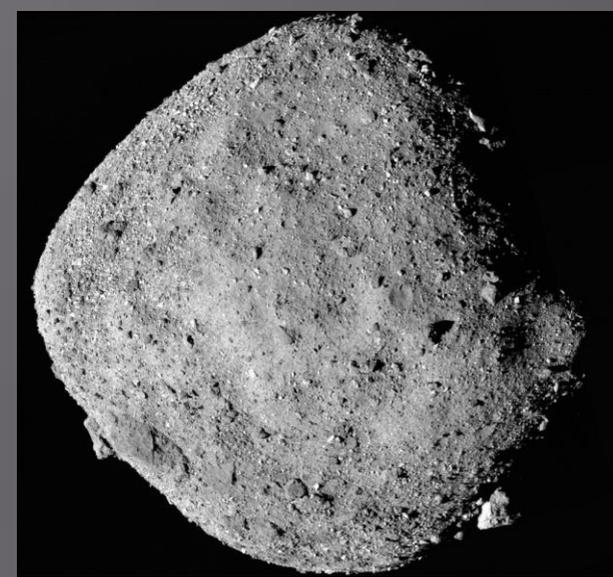
Notre Terre avait des océans saturés en fer (de couleur verte)..

Astéroïde, météorite et comète

Un **astéroïde** (du grec ancien « qui ressemble à une étoile ») est une **planète mineure** composée de roches, de métaux et de glaces, et dont les dimensions varient de l'ordre du mètre (limite actuelle de détection) à plusieurs centaines de kilomètres.

Une **météorite** est petite, aux alentours d'un mètre. Quand elle entre dans l'atmosphère elle provoque une forte lumière puis est détruite, partiellement ou en intégralité.

Une **comète** (stylisé en symbole astronomique \cometa) est, en astronomie, un petit corps céleste **constitué d'un noyau de glace** et de poussière en orbite (sauf perturbation) autour d'une étoile



L'astéroïde géocroiseur Bennu photographié par la sonde OSIRIS-REx en décembre 2018.



La comète Hale-Bopp en 1997

L'épreuve de la collision avec Théia

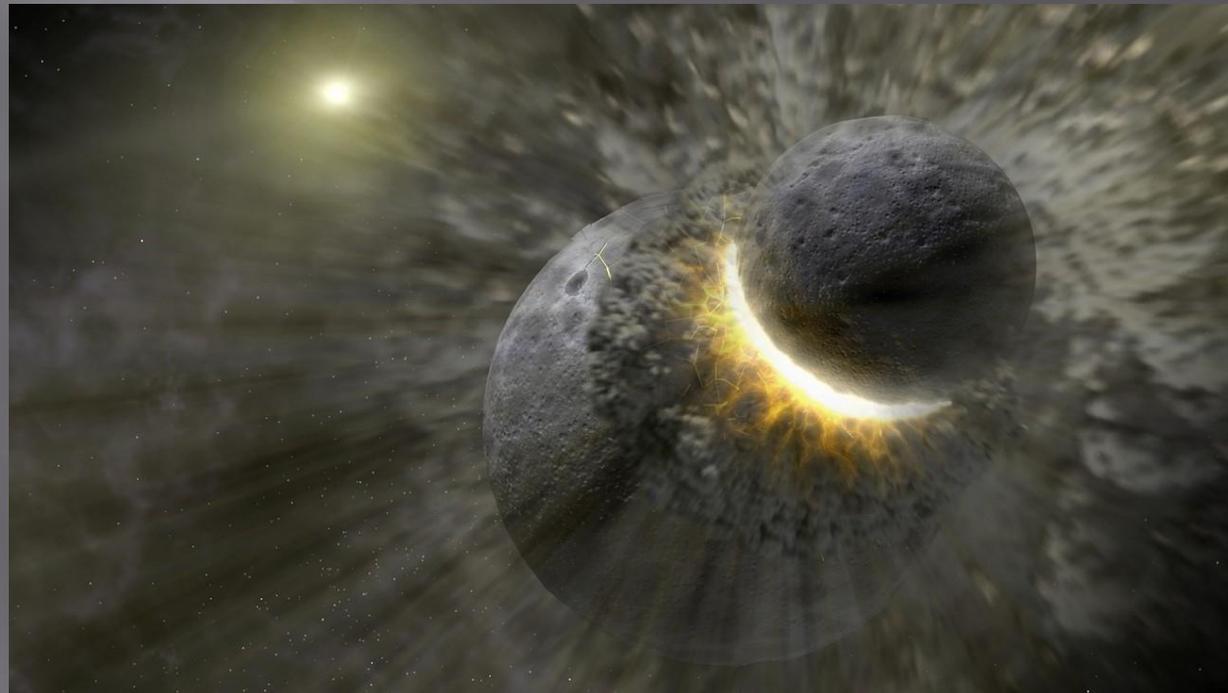
Scénario standard

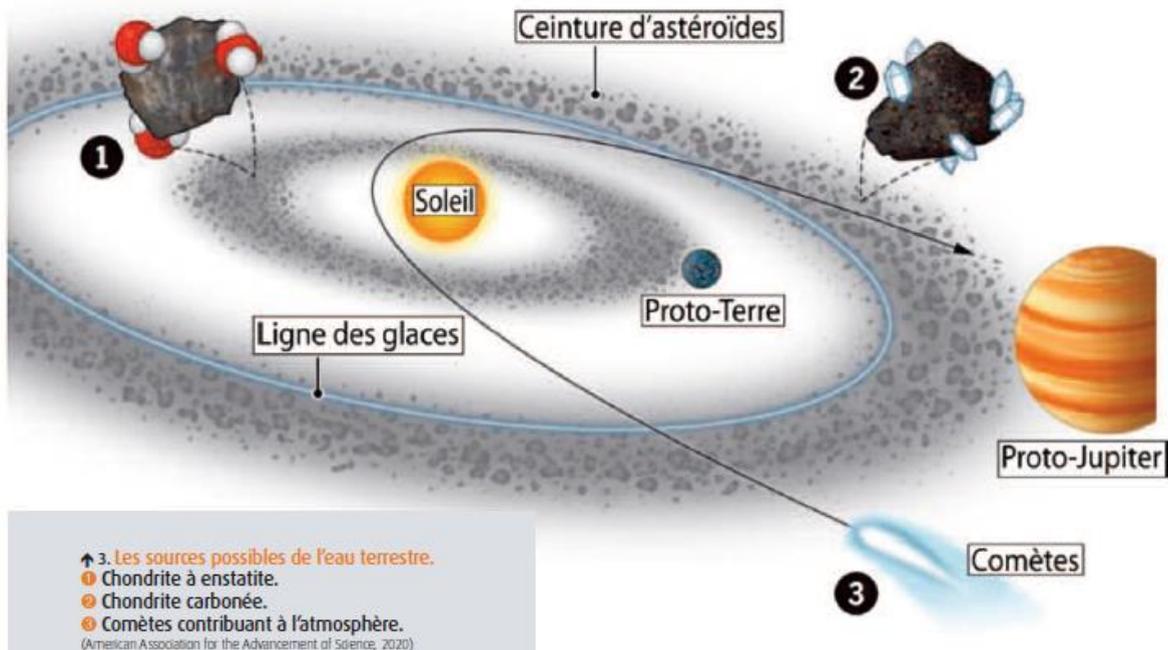
Il y a 4,4 milliards d'années — soit environ 100 millions d'années après la formation de la Terre — **le planétoïde Théia**, de la taille de Mars soit 6 500 kilomètres de diamètre, aurait heurté la Terre à la vitesse de **40 000 kilomètres par heure** sous un angle oblique, détruisant l'impacteur et éjectant ce dernier ainsi qu'une portion du manteau terrestre dans l'espace, en orbite autour de la Terre, avant de s'agglomérer pour donner **naissance à la Lune**.

Cette collision aurait permis à la Terre de devenir plus massive en absorbant en partie sa jumelle lors de l'impact.

Le **noyau métallique**, créateur du champ magnétique, vient-il aussi de là?

A aussi créé **la rotation de la Terre...**





ce que l'on appelle « eau » à l'intérieur de la Terre fait plutôt référence à de l'hydrogène incorporé sous différentes formes dans les minéraux, les laves et les fluides. Cet hydrogène peut s'associer à l'oxygène des minéraux pour former de l'eau, si les conditions de pression et température le permettent.

L'impact géant il y a 4,4 milliards d'années entre la jeune Terre et Théia a fait fondre la surface de notre planète.

Peu à peu, le magma formé lors de l'impact refroidit et se solidifie. La Terre n'est alors probablement qu'une surface stérile de roches basaltiques sombres, où règnent des températures plus élevées qu'aujourd'hui.

Tandis que ces roches se forment, les éléments comme l'hydrogène, l'oxygène et le carbone s'échappent sous forme de différentes molécules, dont H₂O, l'eau, mais aussi des gaz comme le méthane ou le dioxyde de carbone.

Les premiers océans pourraient suivre de peu l'impact géant. La Terre serait bleue depuis presque 4,4 milliards d'années.

Eléments récents de la controverse :

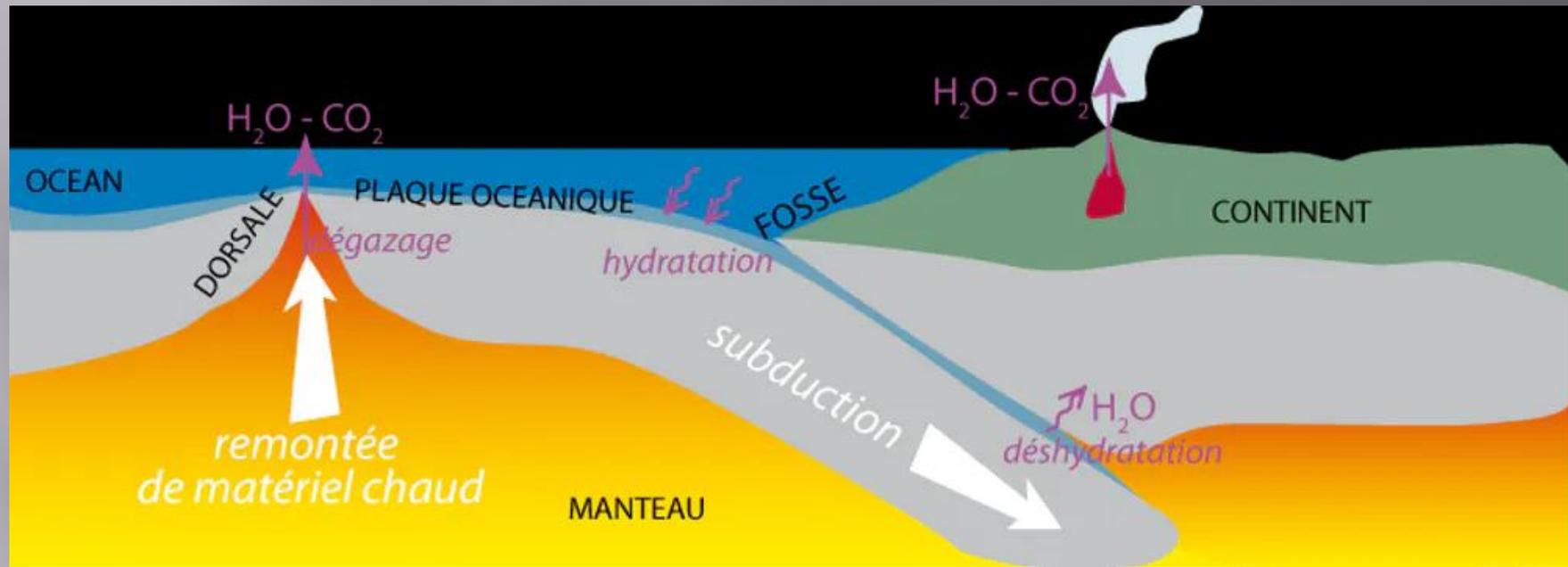
Une étude des échantillons de l'astéroïde **Itokawa** rapportés sur Terre en 2010 par la sonde Hayabusa montre que **les astéroïdes de type S sont plus riches en eau que prévu.** « Ils pourraient même avoir contribué à la moitié de l'eau des océans de notre planète. »



Les résultats déjà disponibles en **septembre 2016** de l'étude de **la comète Tchouri** (sonde Rosetta) ont permis de modifier de manière importante notre connaissance des comètes

- l'hypothèse selon laquelle l'eau présente sur Terre a été apportée **par des comètes** n'a pas été confirmée par les analyses.
- par contre, la comète contient bien les éléments qui auraient pu contribuer à la **formation de la vie** sur Terre. On y a trouvé notamment un acide aminé, la glycine, ainsi que du phosphore qui est un composant essentiel de l'ADN. De nombreux composés organiques ont été également détectés.

Effet de serre et tectonique des plaques



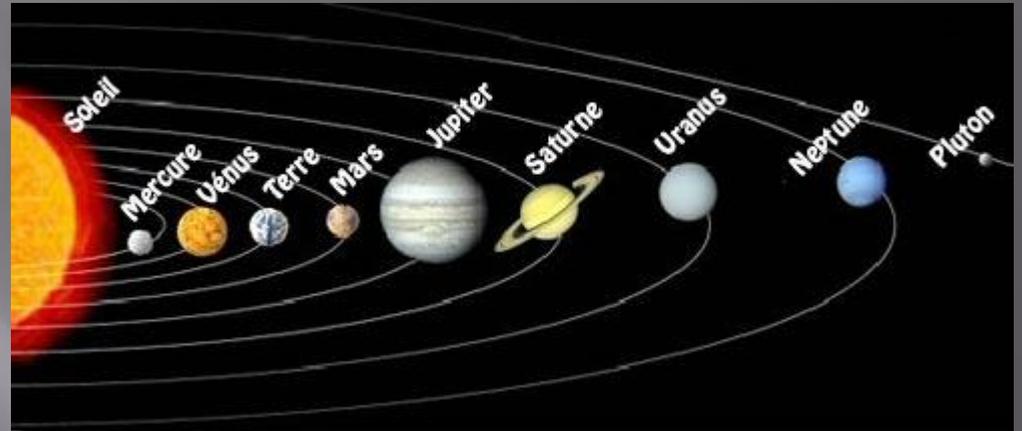
The conversation, octobre 2020 :

Nous ne connaissons qu'une seule planète avec de l'eau liquide à sa surface : la nôtre. Nous savons maintenant que c'est l'interaction du cycle de l'eau avec la tectonique des plaques et l'effet de serre, ainsi que la géométrie du système solaire, qui assurent la présence pérenne d'eau à la surface de la Terre.

Sans effet de serre, la température moyenne de la Terre serait de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$: il n'y aurait donc sans doute pas d'océans.

Le Monde du 18 mars : Comment Mars a perdu son eau...

Les conditions particulières de la Terre dans le système solaire



Venus et Mars, qui ont perdu leur eau, sont-elles des modèles? Cf. *Le Monde* du 18 mars : *Comment Mars a perdu son eau...*

A l'étape précoce de l'évolution du système solaire, Venus et la Terre se ressemblaient davantage. Au fil du temps, Venus a perdu son eau. La recherche réalisée par les scientifiques permet d'en comprendre la cause. Les géophysiciens pensent que leurs conclusions peuvent également s'appliquer à Mars, dont l'atmosphère est examinée actuellement par les stations

Des géophysiciens des USA et de l'UE n'écartent pas la possibilité d'une perte de l'hydrosphère (zones où l'eau est présente) par la Terre.

Nous devrions avoir **qq milliards d'années** devant nous...

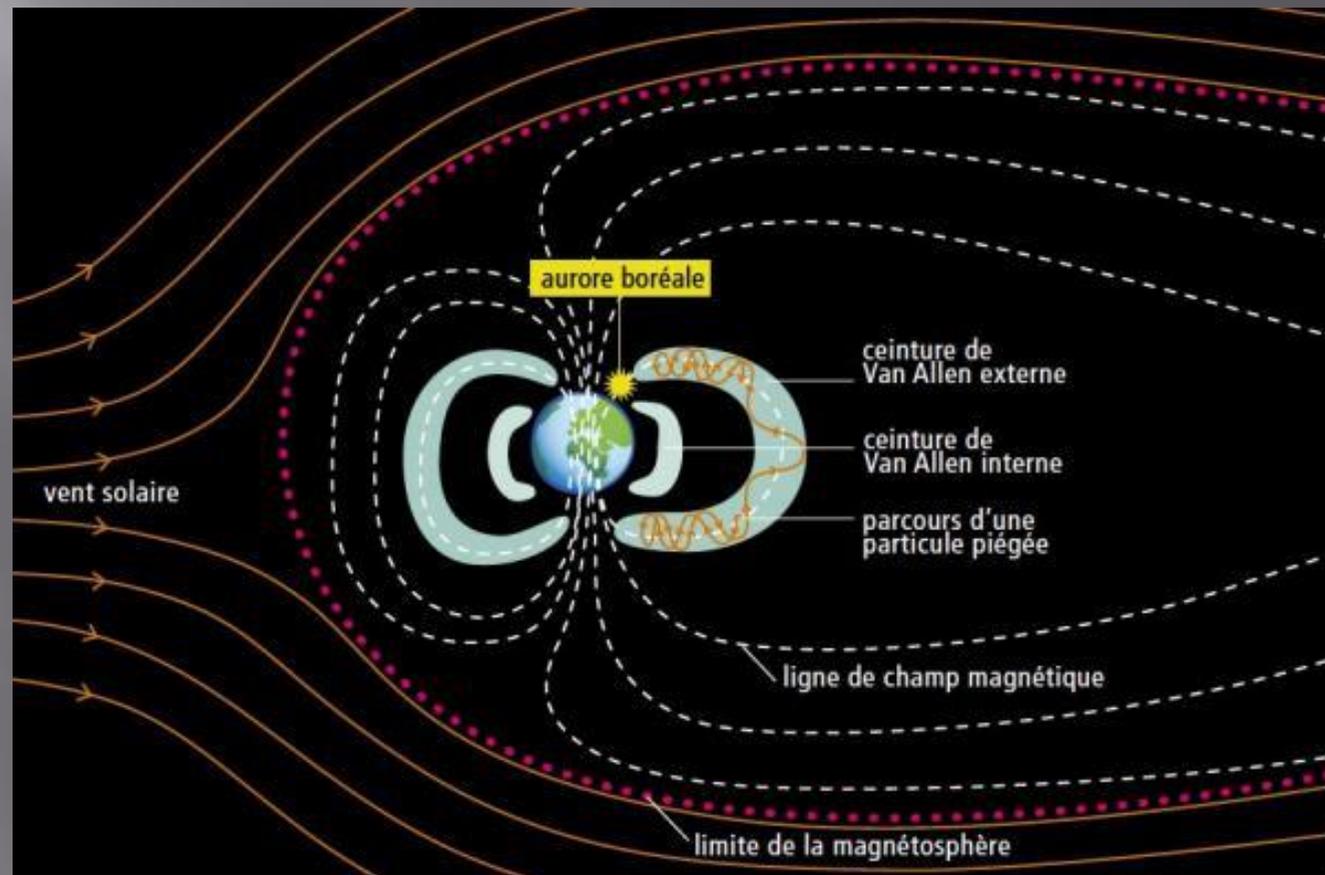
Les ceintures de radiations (de Van Allen)

Sont-elles protectrices de notre atmosphère et de la vie?

Des particules chargées à haute énergie sont **piégées par le champ magnétique** de la planète.

Les ceintures créées empêchent les électrons de très haute énergie venus de l'espace d'irradier la Terre. Et **d'en extraire des atomes !**

Des ceintures similaires ont été détectées autour d'autres planètes plus près de nous, **Mercure**, qui aussi a un noyau de fer liquide qui alimente un champ magnétique (faible par rapport au notre). Mars??



Comment les océans deviennent salés ?

Il y a 4 milliards d'années, notre petite planète bleue était couverte de volcans qui libéraient dans l'atmosphère primitive de la vapeur d'eau et des gaz, dont CO_2

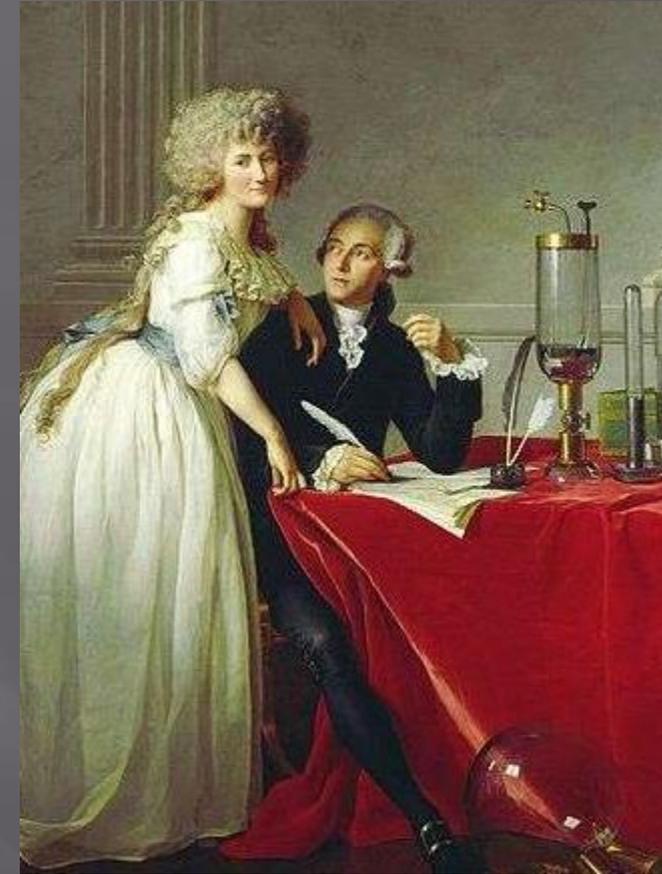
D'où une forte acidité dont les pluies se chargent : les précipitations attaquent les roches à la surface de la Terre.

Pour quoi NaCl? Un peu de chimie...

La fixation du Calcium par les microorganismes en calcaire CaCO_3 , libère des ions Cl, et le Na, plus léger, est très soluble dans l'excellent solvant qu'est l'eau.

Le fer, lui, se fixe sur des particules solides et tombe au fond des océans.

Voilà pourquoi la mer est salée, avec NaCl !



À la fin du XVIIIe siècle Lavoisier déclarait : "L'eau de mer et le résultat du lavage de toute la surface du globe". Belle intuition

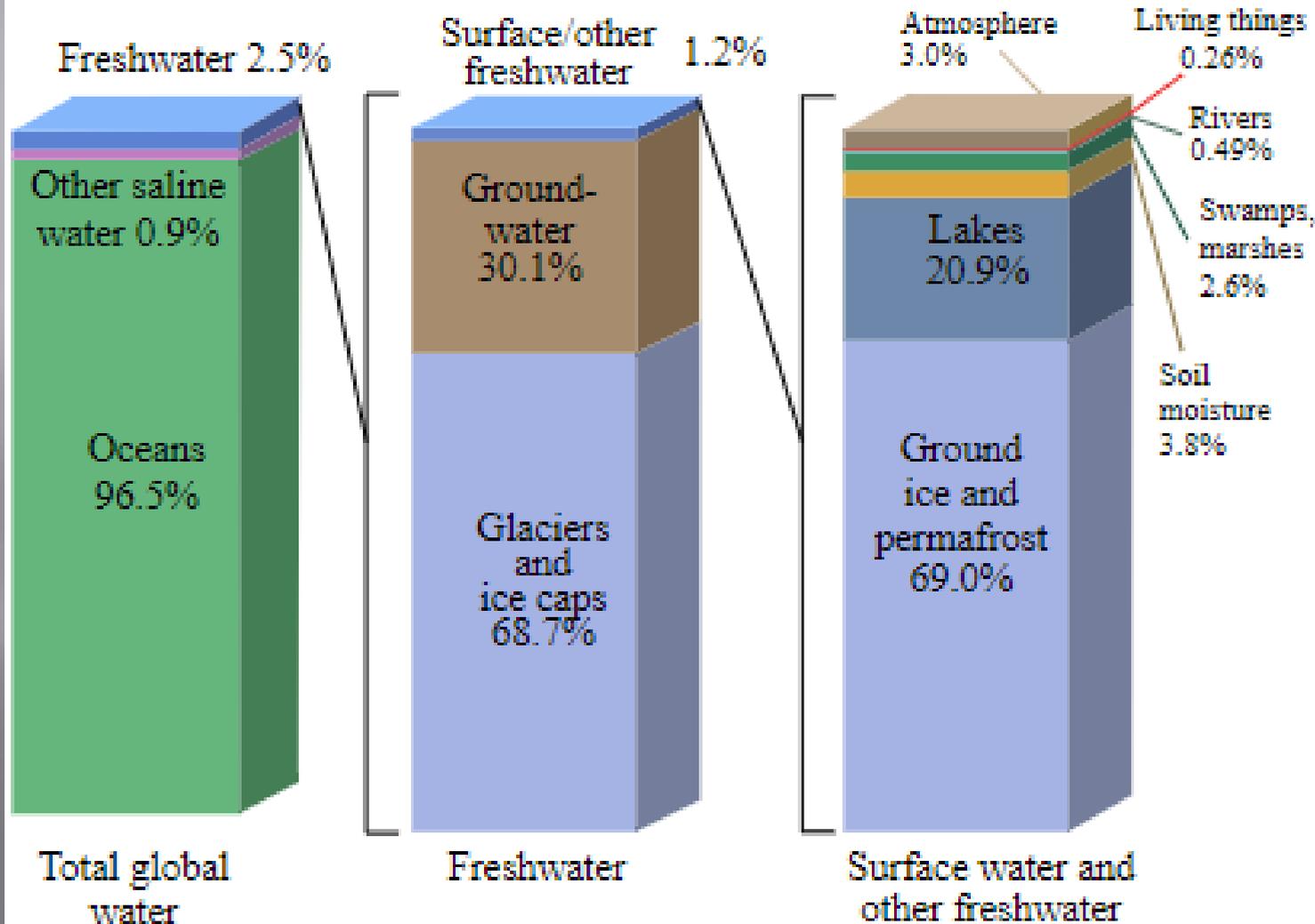
Sondage

Question : Eaux douces / eaux salées sur la Terre ?
Cocher une réponse :

- 1/ 30% d'eaux douces
- 2/ 15%
- 3/ 3%
- 4/ 1% d'eaux douces

Après le sondage « eaux douces eaux salées »

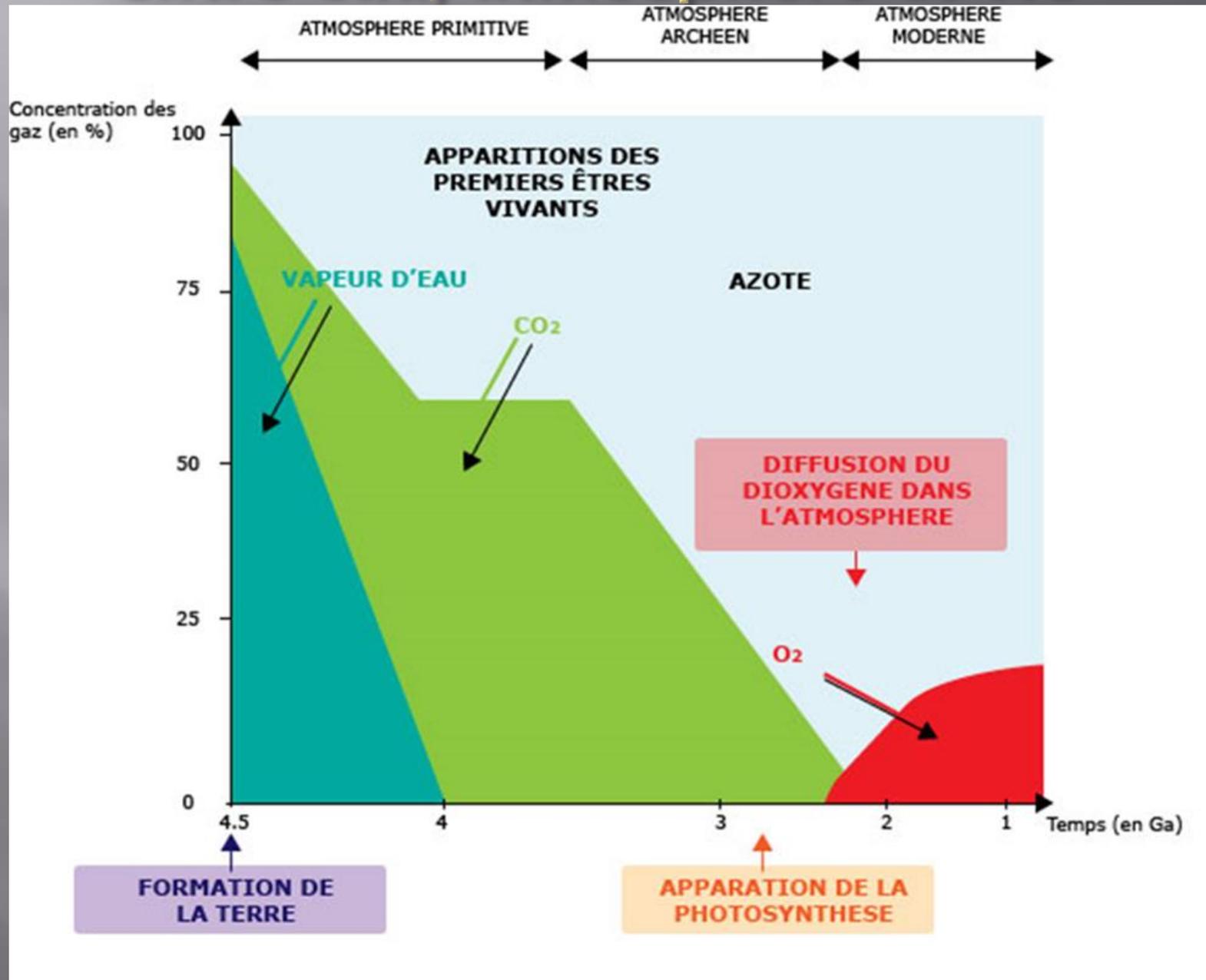
Where is Earth's Water?



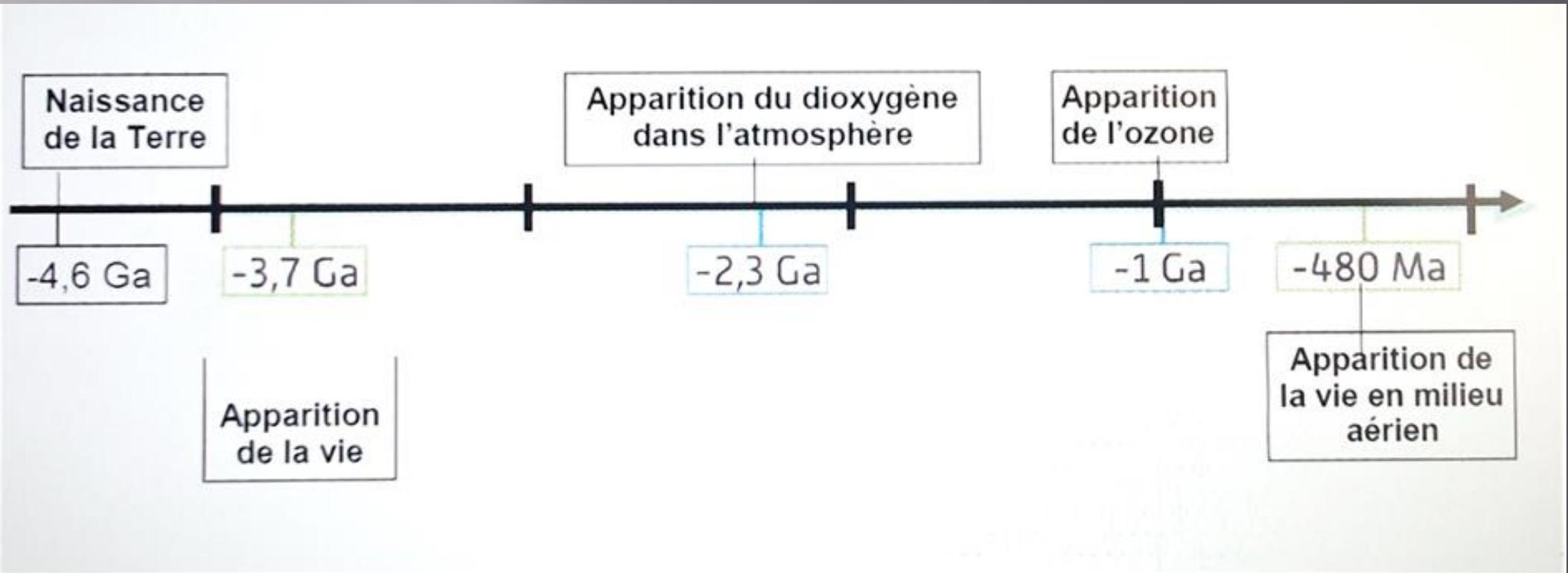
Donc (cf wikipedia):
Eaux douces 2,5%
Dont : 2/3
glaciers; 1/3 eau
souterraine.
Des 1,2% qui
restent, 69% sont
en ss-sol en glace,
21% dans les
lacs...

Et les océans
couvrent 71% de
la surface du
Globe.
Mais 0,02 % de la
masse totale de la
Terre...

2/ La fabrication des atmosphères terrestres entre eau, atmosphère et vie

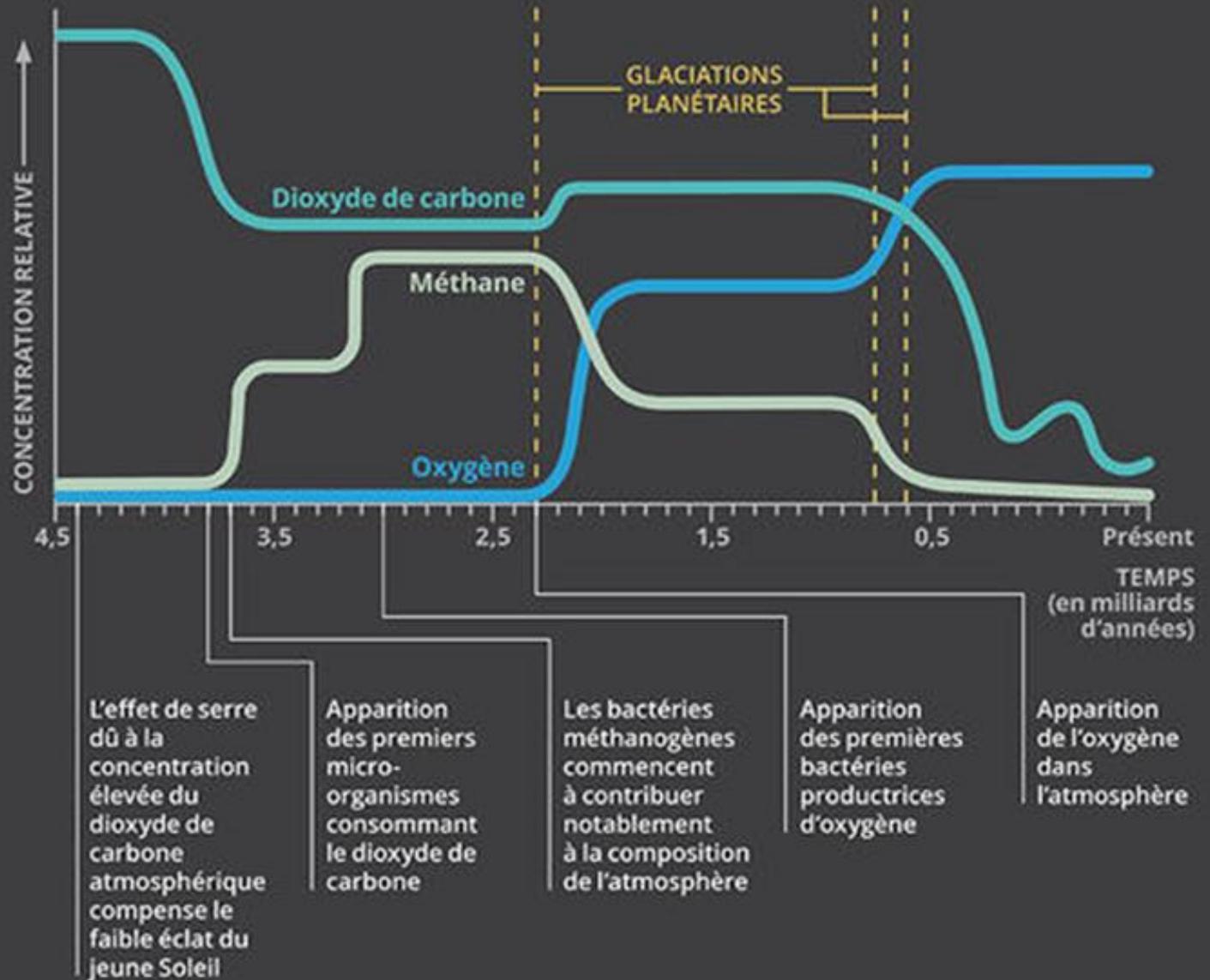


Autre présentation



Trois gaz pour façonner le climat terrestre

À l'origine, l'atmosphère terrestre était principalement composée de CO₂, dont la concentration va commencer à baisser en raison de l'érosion liée à l'apparition des premiers continents. La diminution de ce gaz à effet de serre est d'abord compensée par l'accumulation du méthane produit par les bactéries méthanogènes. Toutefois, l'apparition de bactéries productrices d'oxygène (toxique pour les autres espèces) va, en exterminant les méthanogènes, entraîner un effondrement de la concentration en méthane atmosphérique qui conduira à la première glaciation globale.

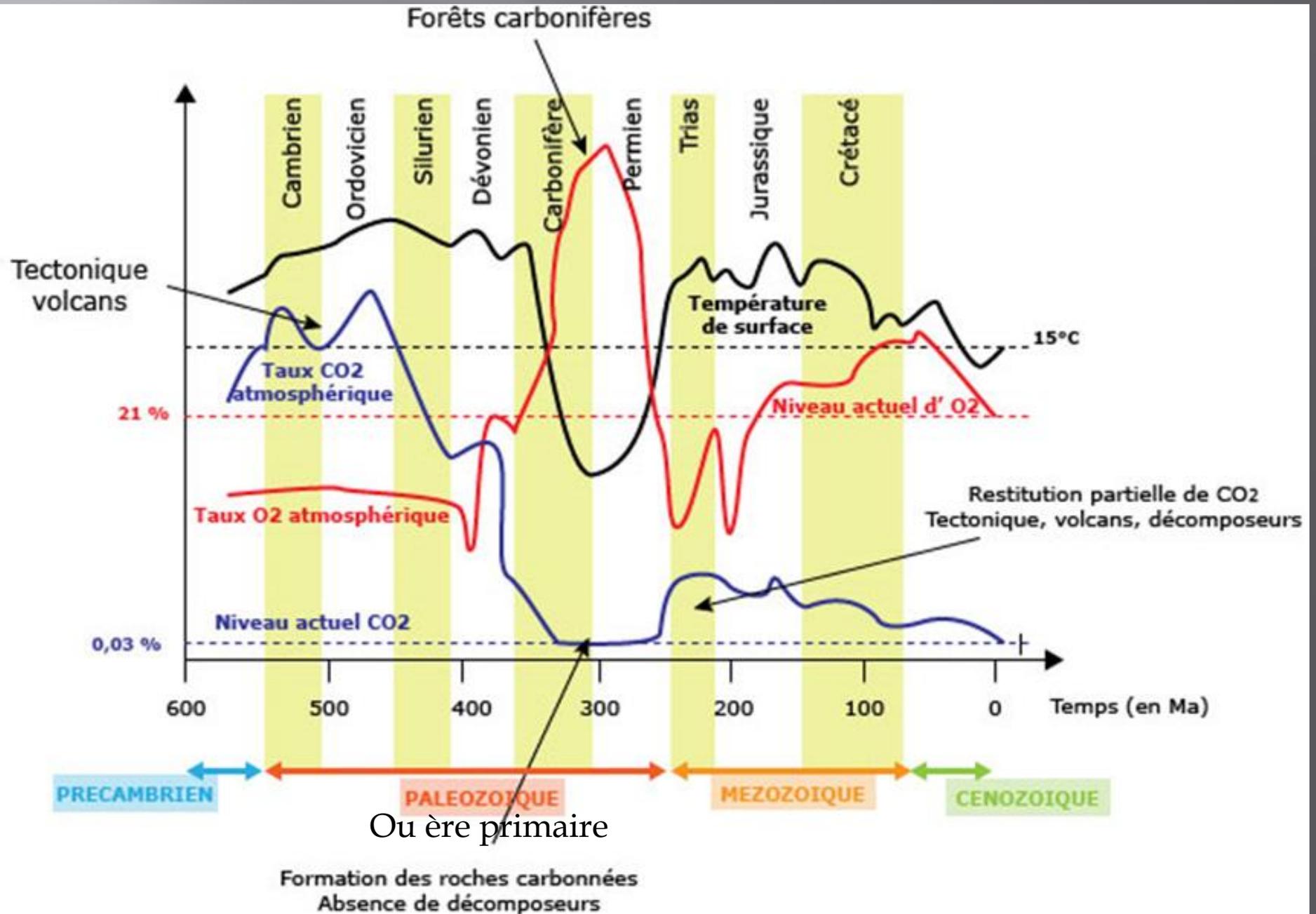


Trois gaz pour façonner le climat terrestre.

Reproduced with permission. © 2004 scientific american,

La couche d'ozone remplace l'eau des océans pour protéger la vie des radiations

Plus récemment...



L'explosion cambrienne du vivant



Espèce de premier trilobite (Cambrien inférieur, début de « l'ère primaire »),

--Parmi les causes : l'augmentation des taux d'oxygène et la fin de conditions glaciaires extrêmes

Apparition soudaine, dans les archives fossiles, d'animaux complexes aux restes squelettiques minéralisés : **l'événement évolutif le plus important de l'histoire de la vie sur la Terre.**

On situe généralement le début de **l'explosion** à **environ -542 millions d'années**, dans le courant du **Cambrien**, au début de l'ère du Paléozoïque (ou « ère primaire »)

C'est à ce moment-là que sont apparus **tous les grands plans d'organisation des animaux** (correspondant chacun plus ou moins à un embranchement distinct – Mollusques et Chordés dont les Vertébrés en sont un sous-embranchement, par exemple). La biosphère s'en est trouvée changée à tout jamais.

Le Cambrien est bien une étape décisive et singulière de l'histoire du monde animal

Une explosion du vivant dans les océans



Les fonds océaniques au temps d'Ediacara

Les organismes, plus nombreux et plus variés, occupaient une série de nouveaux milieux et habitats marins. Les mers cambriennes grouillaient d'animaux variant par leur taille



Futura-Sciences

Ce ver de 11 cm du Cambrien était une terreur des mers

L'épreuve de « la boule de glace »



Il y a environ 600 millions d'années. Juste avant l'apparition des organismes pluricellulaires, à une époque nommée **Néoprotérozoïque**, le froid était tel que **même les zones tropicales** semblent avoir gelé.

Comment en sortir?

-- Des volcans dont les panaches se frayaient un passage à travers la surface figée.

-- Sans mécanisme de sa fixation dans les sédiments, le **CO² s'accumula** dans l'atmosphère, où il atteignit des concentrations élevées. Par effet de serre, dégel en quelques centaines d'années... ,

Une telle inversion brutale du climat s'est produite à quatre reprises, il y a entre 750 et 580 millions d'années.

Et la vie dans tout ça ?

La Terre n'était pas totalement recouverte de glace, grâce notamment aux **sources chaudes, aux volcans**, suffisant pour permettre des échanges entre l'atmosphère et les océans et une continuité de la vie jusqu'à la déglaciation

Sondage



Autre question envisagée : la glace de banquise?

Question : En dehors des périodes de boule de glace, les Calottes glaciaires aux pôles...

1/ Ont presque toujours existé

2/ Permanentes depuis l'ère primaire (-550 M d'années)

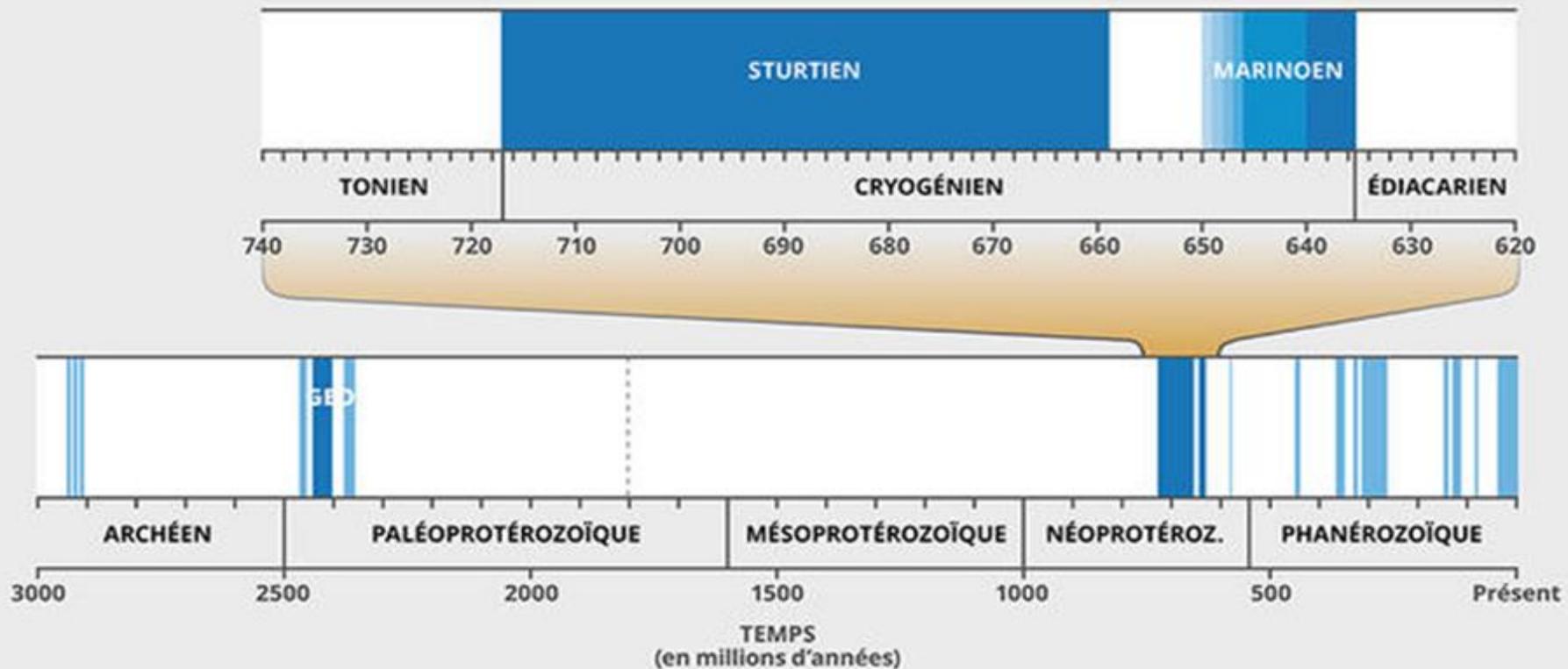
3/ Sont une exception dans l'histoire (depuis l'ère primaire) de la Terre

Les glaciations sur Terre depuis 3 milliards d'années



En paléoclimatologie, une ère glaciaire correspond à une période où se maintiennent une ou plusieurs calottes glaciaires permanentes. Ainsi, même si nous vivons depuis 10 000 ans dans un épisode de réchauffement relatif, la planète traverse depuis 2,6 millions d'années une ère glaciaire caractérisée par la subsistance de deux calottes polaires. Toutefois, comme on le voit dans cette frise chronologique, la présence de glaces permanentes (périodes en bleu

clair), même limitée aux pôles, a plutôt constitué une exception dans l'histoire de la Terre. Quant aux épisodes « Terre boule de neige » (en bleu foncé), caractérisés par une extension des calottes jusqu'aux zones équatoriales, les chercheurs n'en dénombrent que trois : la première il y a 2,4 milliards d'année, juste après le Grand événement d'oxydation (GEO), les deux autres plus d'un milliard et demi d'années plus tard, juste avant l'apparition des premiers animaux.

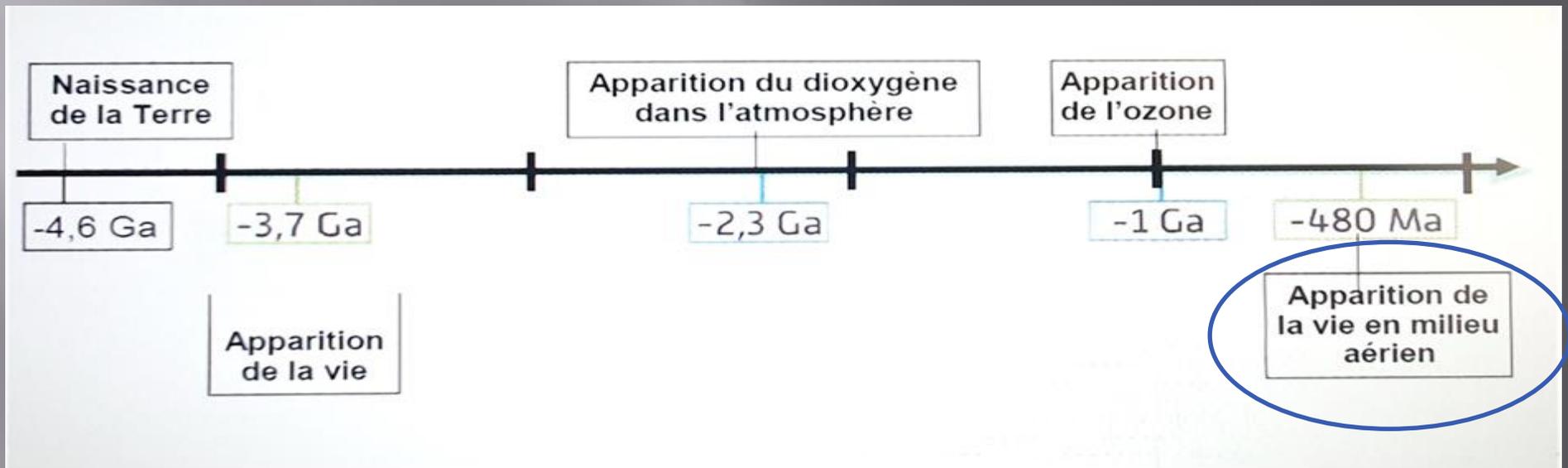


Depuis 2,6 M ans, ère glaciaire, avec 2 calottes polaires.

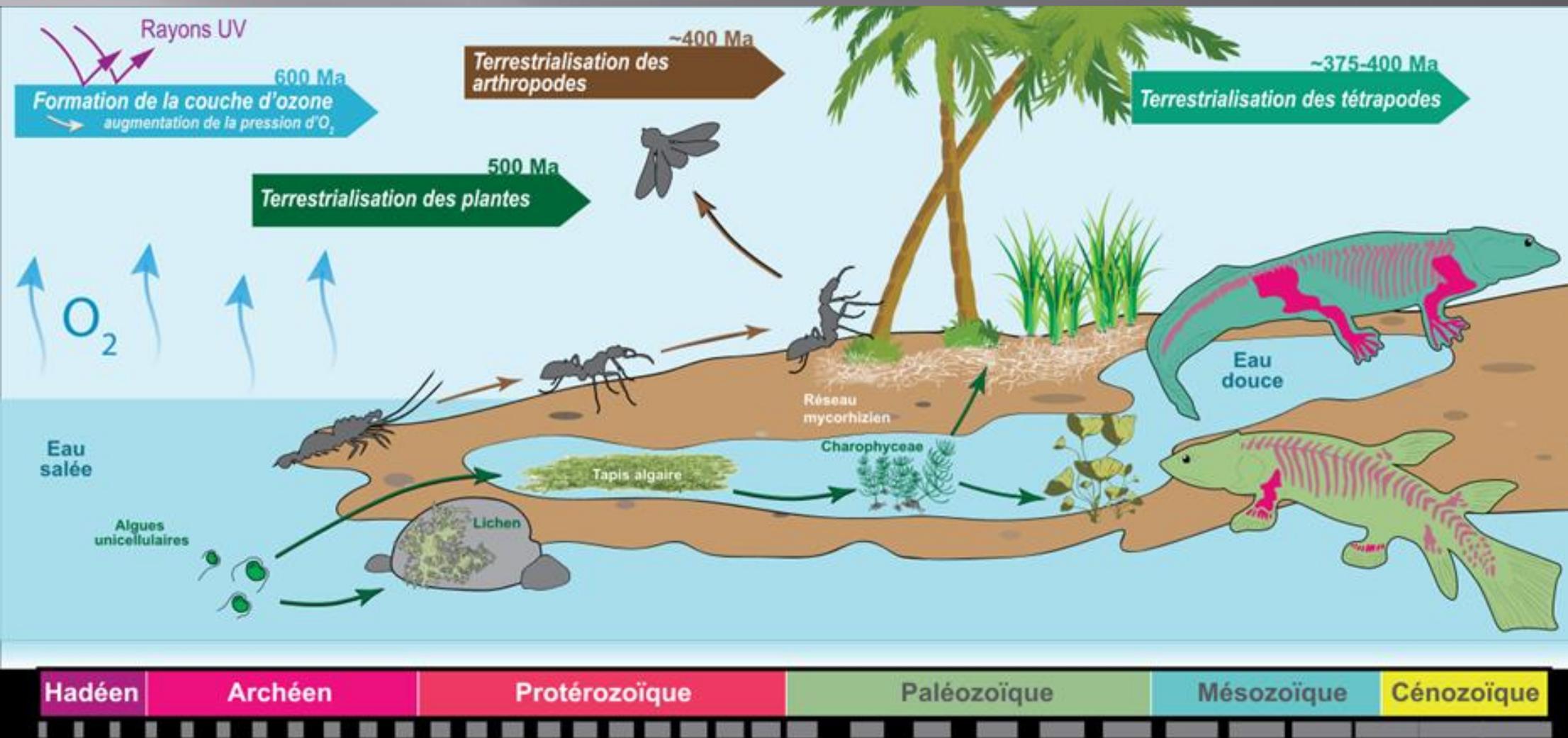
d'après Hoffman et al. Sci Adv 2017;3:e1600983/CC BY-NC

3/ Et la vie sort des océans, grâce à la couche d'ozone, associée à l'oxygène

Sans la couche d'ozone dans la haute atmosphère, la vie telle que la planète l'a connue depuis la fin de l'Archéen, n'aurait été possible que dans les océans à une profondeur suffisante de la surface des eaux (les UV ne pénétrant qu'à quelques mètres sous la surface). Ce fut le cas lorsque l'atmosphère de la Terre était dépourvue de dioxygène (et donc de couche d'ozone).



L'ozone stratosphérique absorbe les radiations solaires de plus courtes longueurs d'ondes (les plus énergétiques) auxquelles l'ADN est très sensible. Une diminution de 10% de l'ozone, en laissant passer plus d'UVB (courbe rouge), augmenterait les dommages sur l'ADN d'environ 22%.



Les zones de mangrove, nombreuses, sont favorables...

Par PBrieux – Travail personnel, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=91055859>

La très récente crise mycénienne

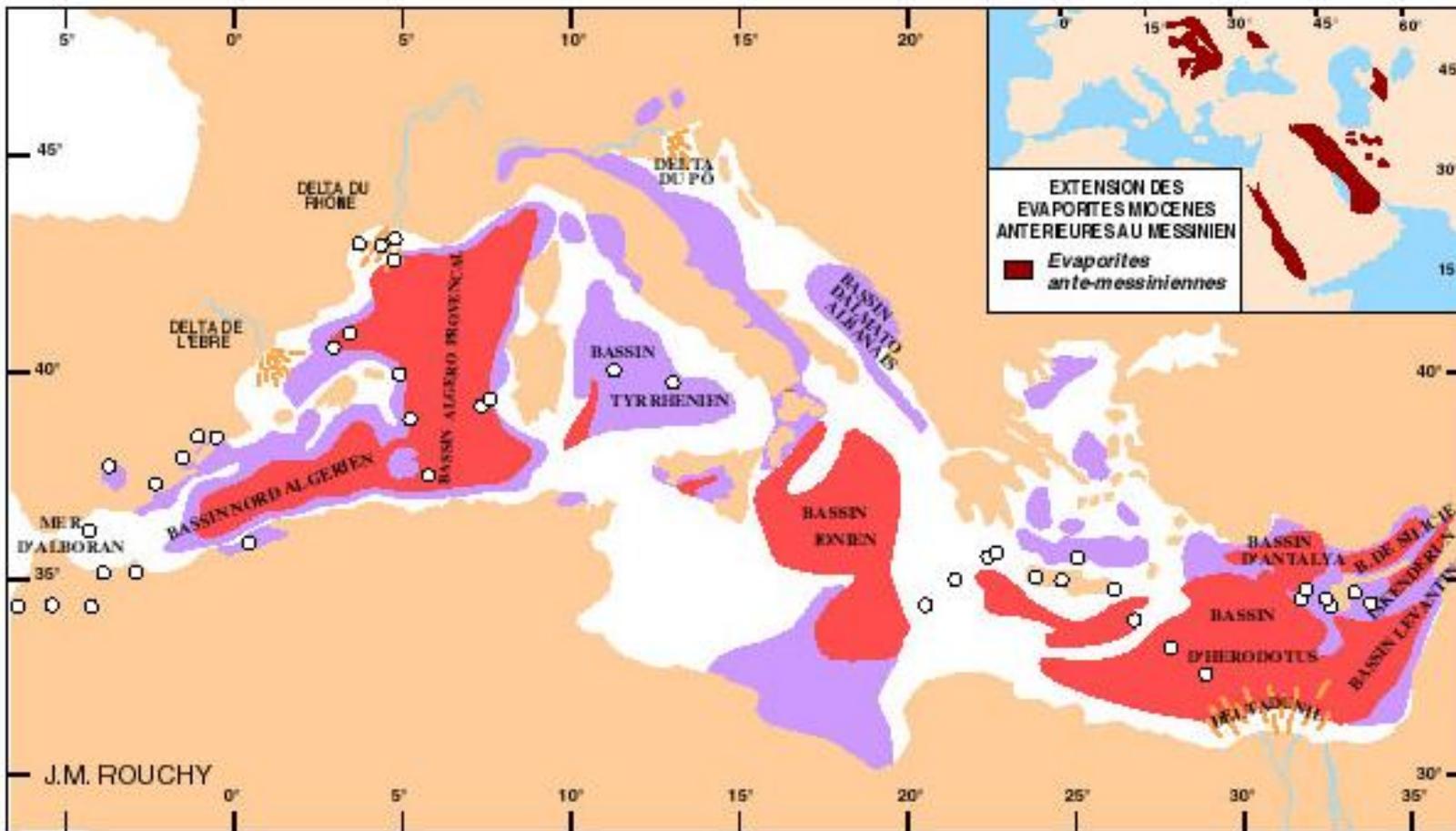
Cet épisode a duré **630 000 ans**, de **5,96 à 5,33 millions d'années (Ma)** avant le notre ère . La **dérive des continents** a bouleversé l'écosystème méditerranéen en refermant les détroits qui alimentaient en eau la mer Méditerranée. Avec cependant **des arrivées d'eau océanique par période**, permettant **une grande accumulation de sel sur 1000 à 2000m**.



Mais il y a 5,3 millions d'années , une quantité d'eau phénoménale emprunte les détroits et déferle dans l'ancienne Méditerranée, où les fleuves avaient créé un environnement quasi lacustre. **En moins de deux ans**, elle retrouve son niveau antérieur (**10m/jour!**).

Cet épisode catastrophique, **révélé en 1971** par trois chercheurs mettra trente-six ans à s'imposer!

La crise mycénienne?



Environ 5% du stock total de sels dissous dans l'océan mondial ont été piégés, à l'état solide, dans le domaine méditerranéen, au cours des 300 000 ans, ce qui a pu provoquer une légère diminution de la salinité de l'océan

Sel massif, en rouge; gypse, en mauve

Jean-Marie ROUCHY, Laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle; mise à jour le 7 août 2000

Le sel sort de l'eau



Collecte et transport de sel en pays Danakil (Ethiopie)



Stockage de déchets radioactifs militaires aux USA dans une couche de sel, Nouveau Mexique



Bulle de gaz coincée dans un morceau de sel de 260M d'années ³³

4-1/ L'eau douce dans la fabrication de nos paysages : l'érosion glaciaire, gel dégel, et érosion fluviales



Photo : José BROUSSAUD

L'eau de pluie

Erosion torrentielle



Un Lavaka à Madagascar,
effondrement en saison
des pluies du socle
granitique dégradé



4-2/ Les humains et l'eau

Sondage : les besoins en eau des humains

Les besoins en eau des humains sont de 1,8 à 2,6 Litre par jour. Comment cette eau est-elle rejetée? Les urines en évacuent de 1 à 1,5 L par jour.

Indiquer le second poste de l'évacuation des eaux par l'organisme :

- 1/ Par les selles
- 2/ Par transpiration
- 3/ Par respiration

Besoins en eau?

En été, un chêne adulte peut transpirer jusqu'à 500 litres d'eau par jour

Et les humains? Le corps est composé de 65% d'eau, si l'on fait 60 kg cela représente 40 litres.



L'eau absorbée par l'organisme : de 1,8 L à 2,6 L/j
1/2 Eau de boisson
1/2 Eau à partir des aliments

L'eau rejetée par l'organisme : de 2,1 à 2,6L/j
Respiration : 0,5 L par jour
Transpiration : 0,5 L par jour
Urines : 1 à 1,5 L par jour
Selles : 0,1 L par jour

Un embryon humain de 3 jours est formé de 94% d'eau.

L'adduction d'eau?

Combien de robinets chez vous,
47avL Blum : 16 points d'arrivée d'eau (yc WC et
douche)



Une ville de Guinée



« Peigne » au Sahara

Forte pluie au sud
de Madagascar



Construction d'un canal en Ethiopie



Avec Ali Dolo dans un village
récemment équipé.
Photo prise par Adrian Rosner

Accès à l'eau potable? L'ODD 6

L'ODD 6 dit en 2030 : « Garantir à tous l'eau et l'assainissement et assurer une gestion durable de l'eau »

Soit au minimum **20 litres d'eau** par habitant et par jour.

Eau potable disponible **à moins de quinze minutes de marche** du lieu d'habitation.

Près de **2,2 milliards** de personnes...

Accès encore plus restreint aux latrines...

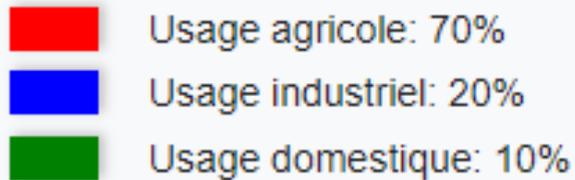
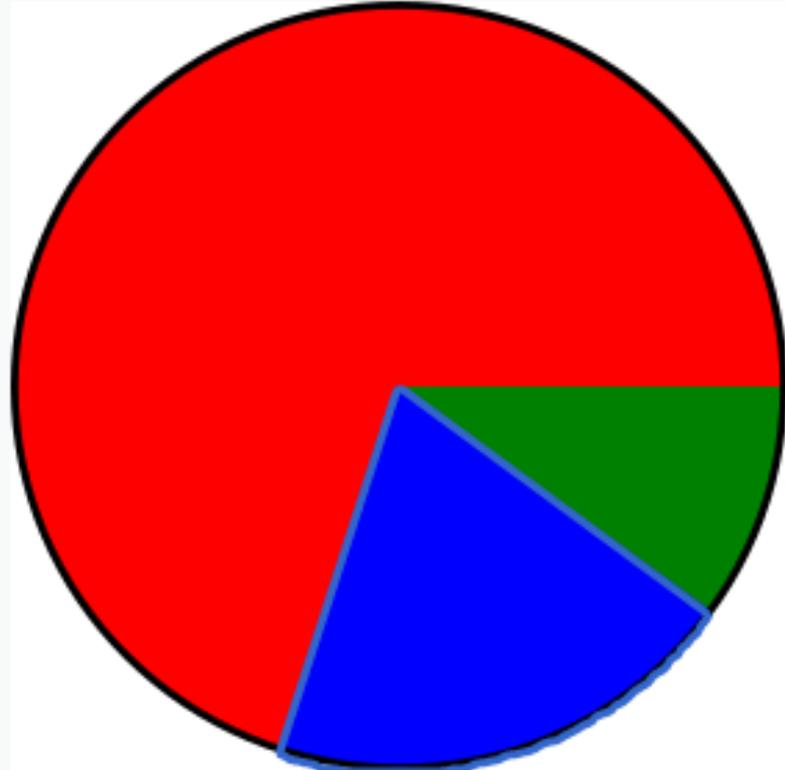


Pays Danakil Ethiopie

Exemples de volume d'eau nécessaire pour la fabrication de produits

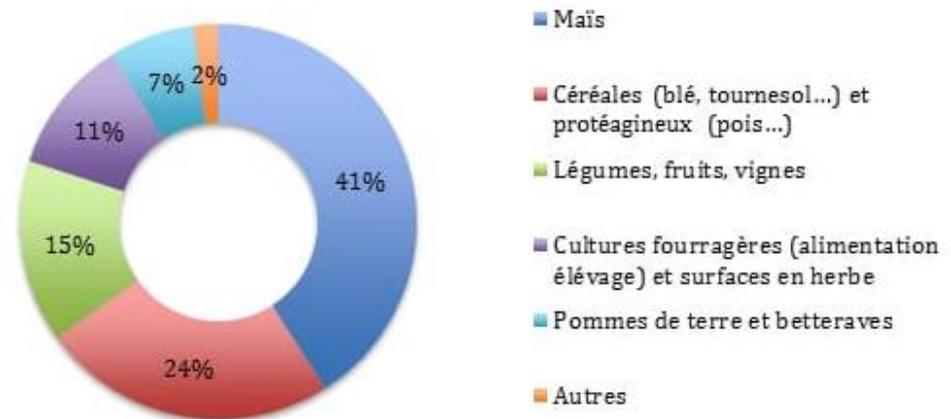
- 15 000 litres pour 1Kg de viande de bœuf, 4 000 pour 1Kg de poulet
- 300 à 400 litres d'eau pour 1kg de sucre
- 100 litres d'eau pour 1 litre d'alcool
- 35 litres d'eau pour 1kg de ciment
- 1 à 35 litres d'eau pour 1kg de savon

Prélèvements mondiaux en eau douce par



Ne pas oublier l'eau « virtuelle » importée (soja, maïs...)

Répartition des cultures irriguées (France métropolitaine)



En conclusion, que retenir?

1/ L'eau est une molécule vraiment particulière dont l'origine reste discutée:

- **excellent solvant** elle a enclenché la fabrication d'une atmosphère autorisant la vie, permis sa prolifération, la **protégeant des radiations**, sur terre. Nous sommes les enfants de « l'explosion cambrienne ».

2/ Nous restons complètement dépendant de nos relations à l'eau.

- **Salée** : avec le rôle de l'océan et des microorganismes qui fixent le CO² dans la stabilisation du climat
- **Douce** : pour notre survie, notre alimentation, la production d'énergie... Et nos loisirs

3/ Mais aussi l'eau **peut nous menacer** : risques induits, érosion destructrice...



Revenons à Jean DORST :

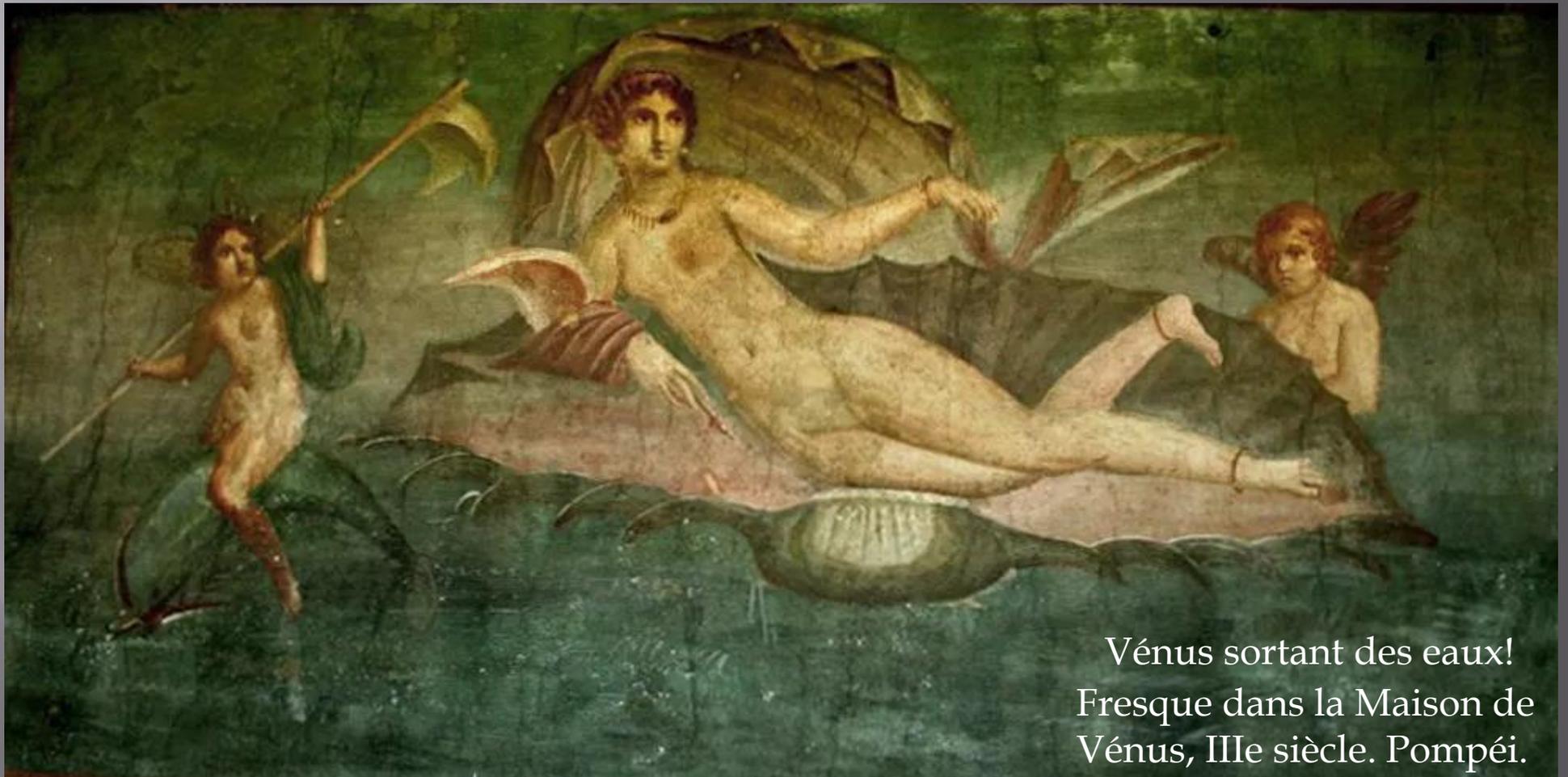
Le besoin d'eau et sa satisfaction seront jusqu'à la fin des temps la condition première de toute évolution de l'homme. Or nos besoins sont grandissants partout.

.../... **Que voilà un problème politique** qui reste à résoudre à l'échelle du globe ! Une imprudente gestion de l'eau a déjà entraîné la disparition de quelques-unes d'entre les civilisations, telles celle des **Khmers**, victime de son gigantisme, et celle des **Mayas**, qui n'ont pas su gérer les ressources hydriques d'un pays calcaire au fonctionnement incertain.

.../ ... **Nous avons besoin** de tous ces animaux et de toutes ces plantes, issus d'une évolution vieille de milliards d'années, sortis de l'eau, le sang de la Terre. **Nous aussi les hommes**, avons besoin de mers, de fleuves et de sources jaillies de roches inertes et gardées par les nymphes qui les habitent depuis la plus lointaine antiquité, pour vivre, **mais aussi pour rêver...**

Merci de votre attention, à vos questions!

Le temps du rêve viendra, en fin de ce cycle!



Vénus sortant des eaux!
Fresque dans la Maison de
Vénus, IIIe siècle. Pompéi.

Que d'eau, que d'eau : l'eau dans tous ses états! La Suite en 6 Conférences :

25/03-2021

L'homme se bat pour l'eau : une géopolitique de l'eau,
par Wasken ANDREASSIAN Hydrologue, INRAé Antony

01/04/2021

L'eau source d'énergie, depuis les moulins
Par André LACOIR, Fédération française des Associations de sauvegarde des moulins

08/04/2021

Service public de l'eau : trois exemples Paris, Londres, New York
Par Christophe DEFEUILLEY économiste EdF R&D, Sciences Po Paris

15/04/2021

Les risques liés à l'eau : perception, prévention
Par Michel LANG, INRAÉ Lyon Villeurbanne

06/05/2021

L'eau dans l'art, dans la poésie, la peinture
Par Daniela Manina, qui fait de nombreuses conférences sur l'art en Italie et en France

20/05/2021

Symboles de l'eau : rites, religions, les fleuves mythiques, par Muriel Prouzet, Historienne de l'Art et des Civilisations Diplômée de l'Ecole du Louvre et de Paris IV – Sorbonne

Si cette eau omniprésente à la surface de la Terre nous paraît très abondante, elle ne constitue en fait qu'un faible pourcentage de la masse totale de la Terre, de l'ordre de 0,02 %

En fait, l'intérieur de la Terre pourrait constituer le principal réservoir d'eau terrestre, avec, selon les estimations, entre 1 et plus de 10 fois la quantité totale de l'eau des océans. Bien que l'eau dans les couches externes soit principalement sous la forme bien connue de deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène, H₂O, ce que l'on appelle « eau » à l'intérieur de la Terre fait plutôt référence à de l'hydrogène incorporé sous différentes formes dans les minéraux, les laves et les fluides. Cet hydrogène peut s'associer à l'oxygène des minéraux pour former de l'eau, si les conditions de pression et température le permettent.

Pourquoi y a-t-il de l'eau sur Terre ? 13/03/2021
16(01
<https://theconversation.com/pourquoi-y-a-t-il-de-leau-sur-terre-147783> Page 1 sur 5