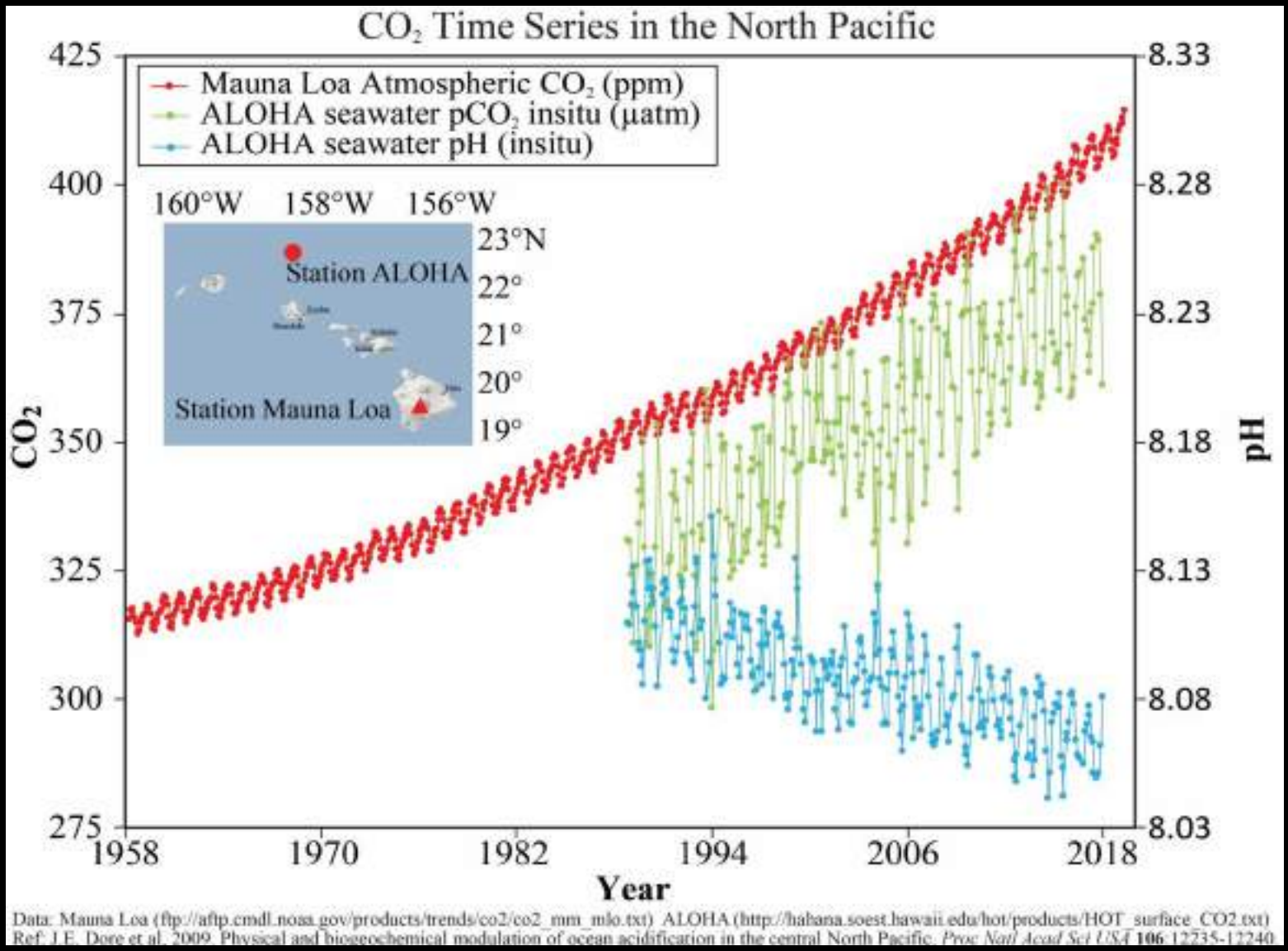
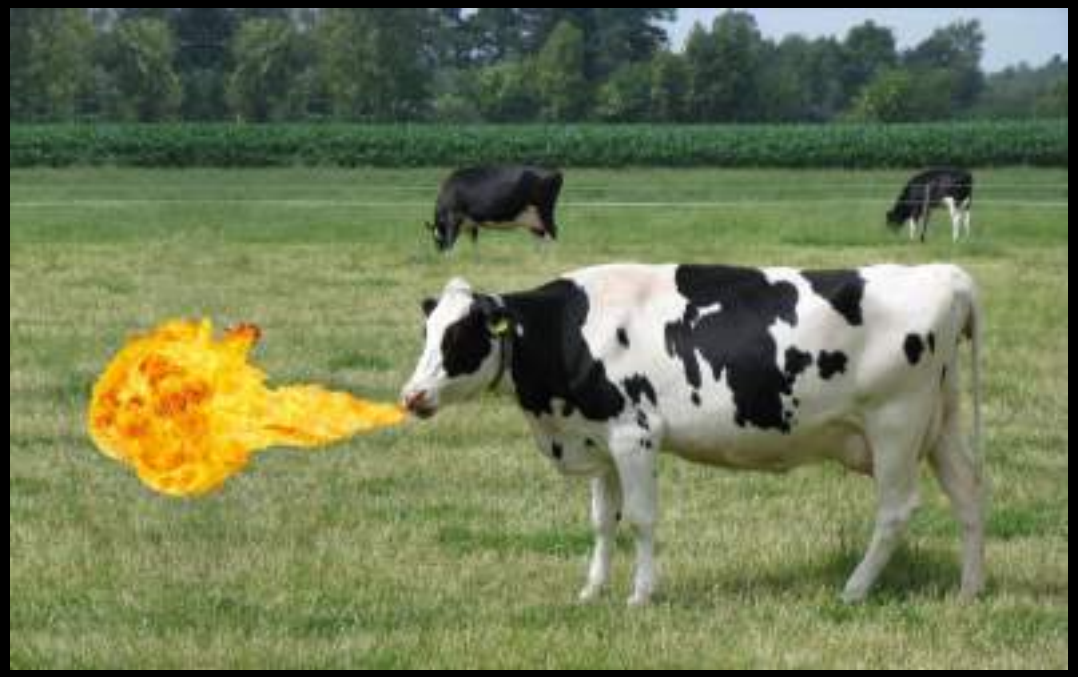


A la louche, deux tiers de ce CO_2 va dans l'atmosphère, un petit tiers dans les océans (gare au pH qui baisse) et un petit peu dans la biomasse (marées vertes, reforestation …).

Quelles sont les 4 principales activités humaines qui relâchent des GES ? Dans l'ordre croissant :

1 : La fabrication (parce que l'utilisation) du ciment, de l'acier, de l'hydrogène … qui relâche du CO_2.

2 : Les ruminants (vaches, moutons, chèvres …) et les rizières (marécages artificiels) qui relâchent du méthane (CH_4).

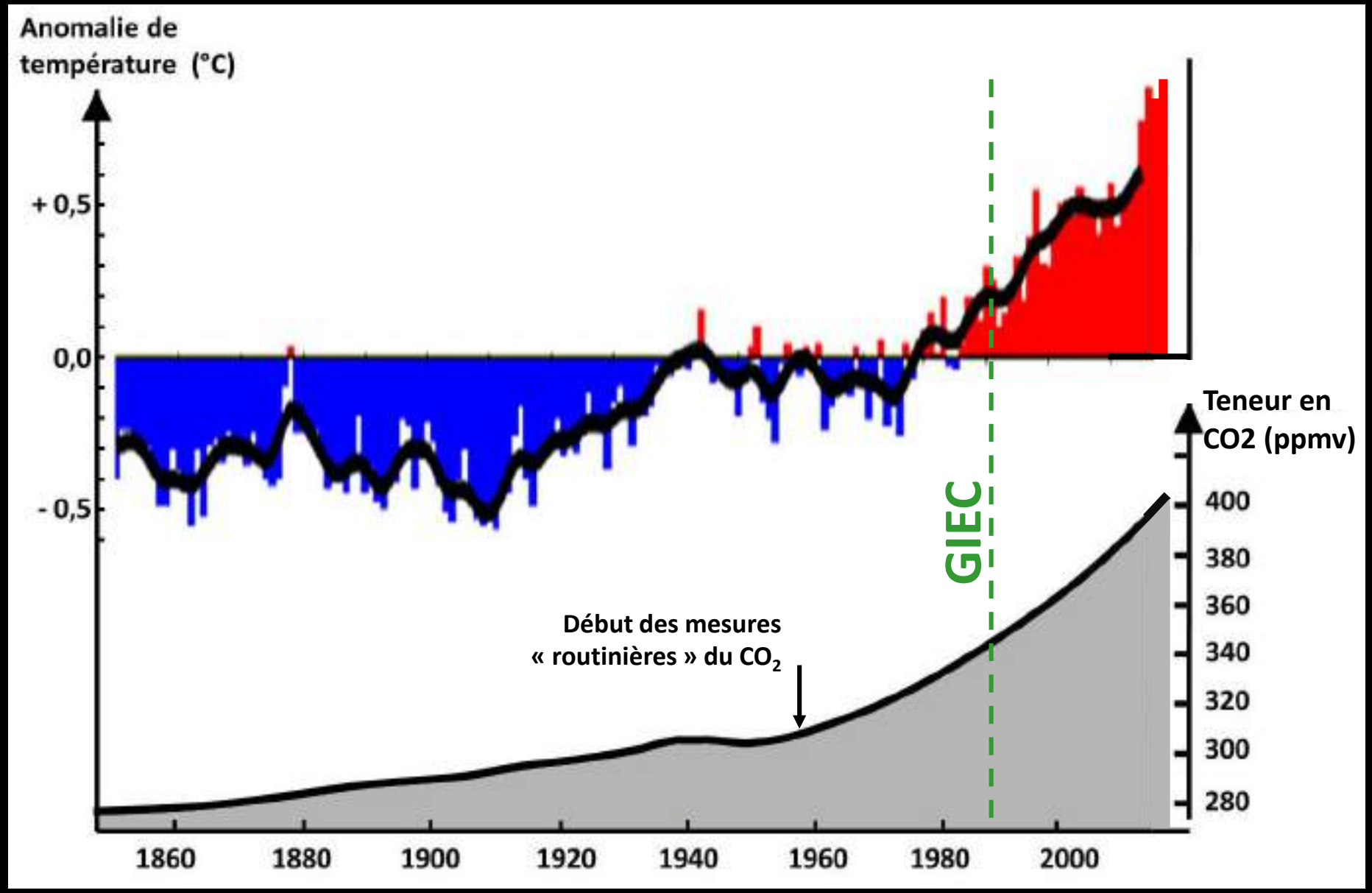


3 : La déforestation, les labours profonds, l'utilisation des nitrates (qui sont des oxydants), « nos » pratiques agricoles … qui détruisent la matière organique, en particulier celles des sols, ce qui relâche du CO_2, du N_2O …

Et surtout 4 : l'utilisation des combustibles fossiles pour …

Camion transportant des haricots verts du Kenya

Depuis 150 ans, le CO_2 augmente (charbon, pétrole …) et la température « suit », comme craint par les scientifiques de la fin du XIXème siècle, comme annoncé par le GIEC depuis 1988 …

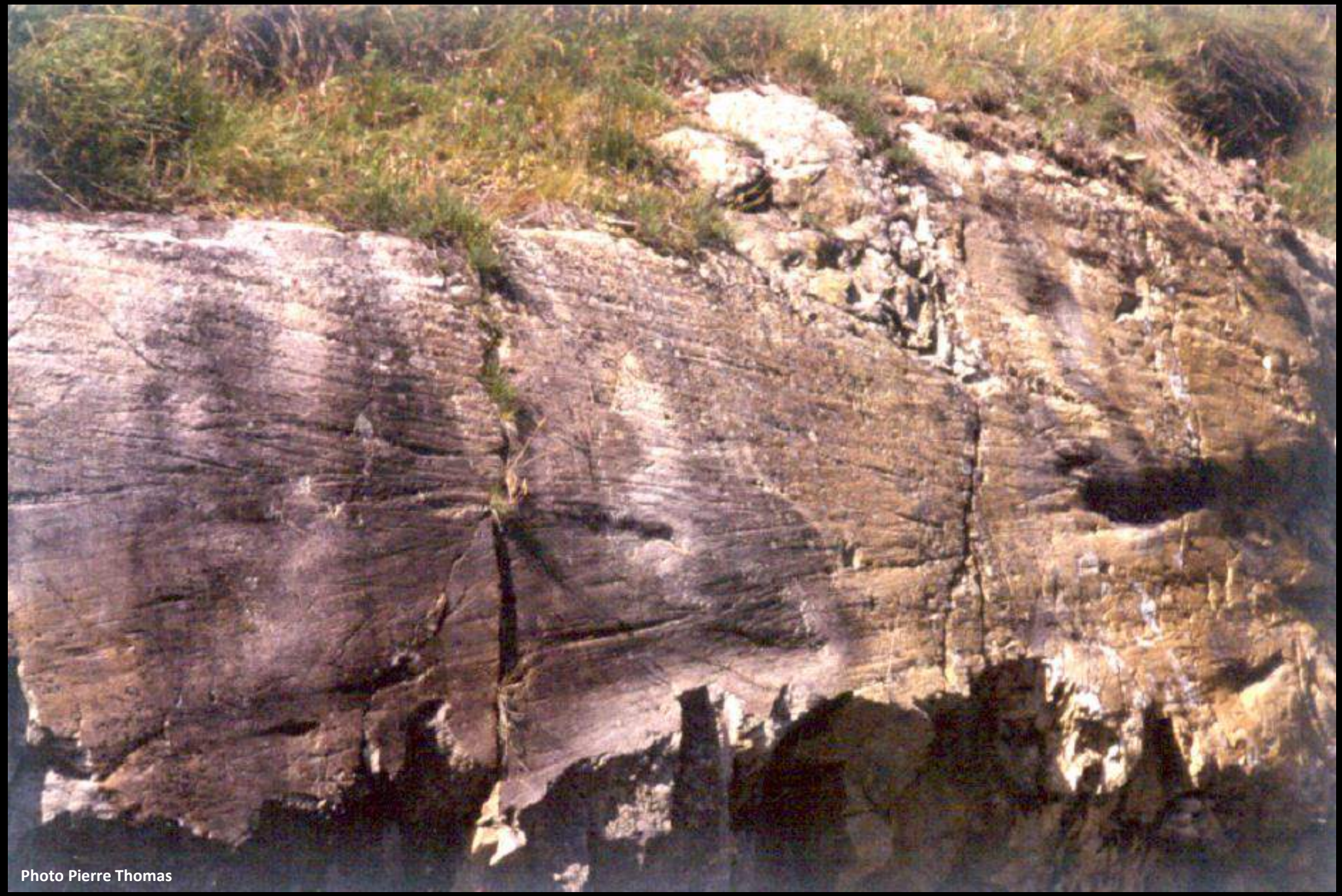


On va regarder maintenant les variations climatiques pré-historiques qui ont lieu depuis environ 1 million d'années, et pour lesquelles l'Homme n'est évidemment pour rien, mais qui les a subies, en particulier notre ami Néandertal.

Voici la haute vallée de la Maurienne, vallée eu U, dans le Parc National de la Vanoise. Il ne reste plus que quelques glaciers résiduels accrochés au sommet des montagnes.

Photo Pierre Thomas

Les bords raides de cette vallée sont striées, comme rayés.



Ces parois ont été striées par d'anciens glaciers.

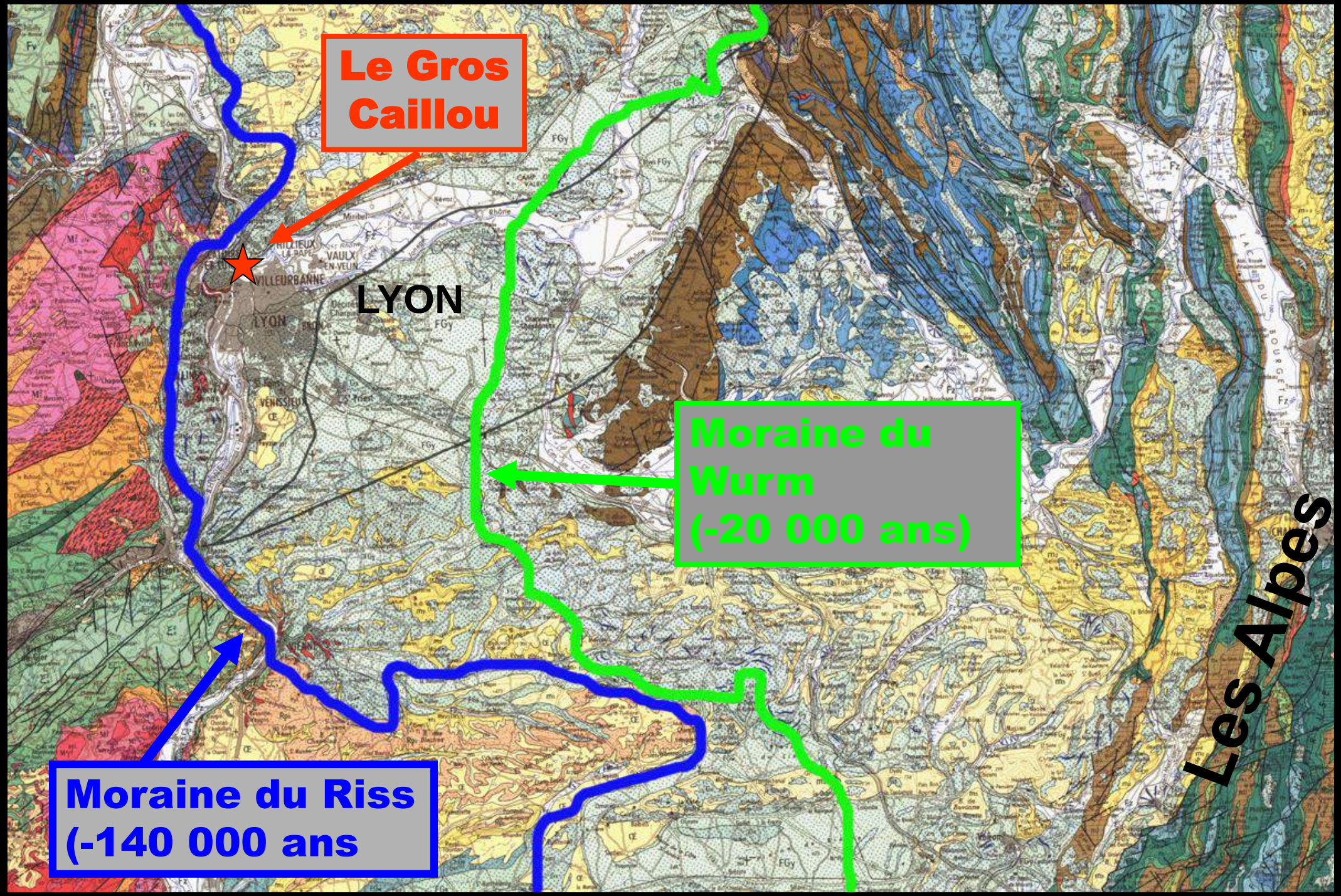
Le Groenland, actuel qui ressemble aux Alpes ,il y a -20 000 et - 140 000 ans

Jusqu’où allaient ces glaciers des Alpes ? A Lyon !

Le Gros Caillou de la Croix Rousse, aujourd’hui.

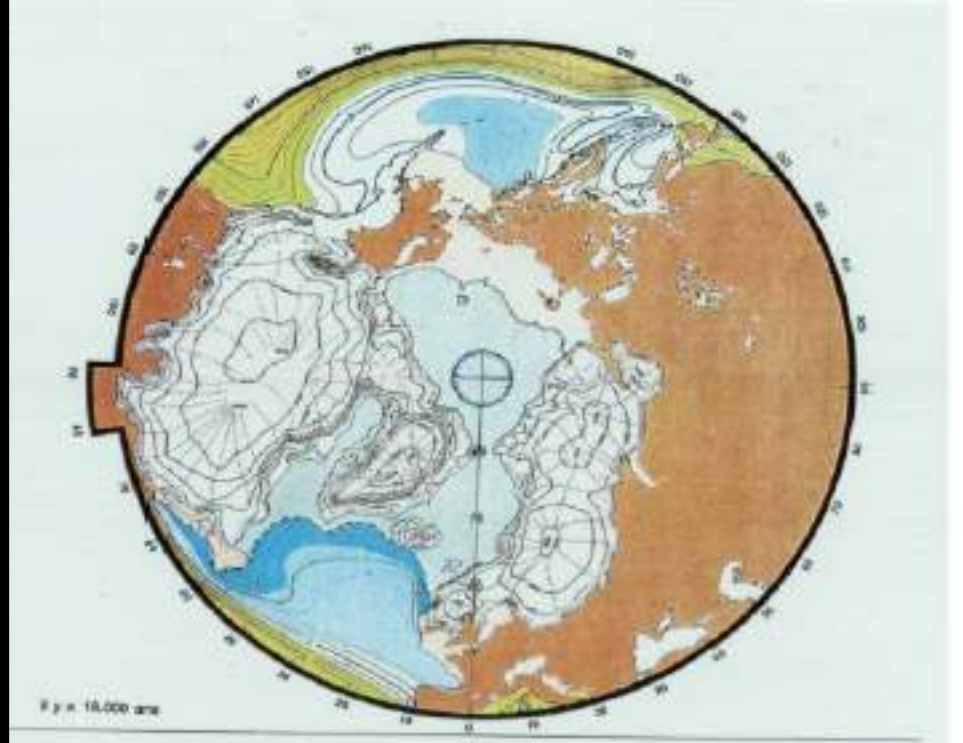
La Croix Rousse il y a 140 000 ans (en fait le Groenland).

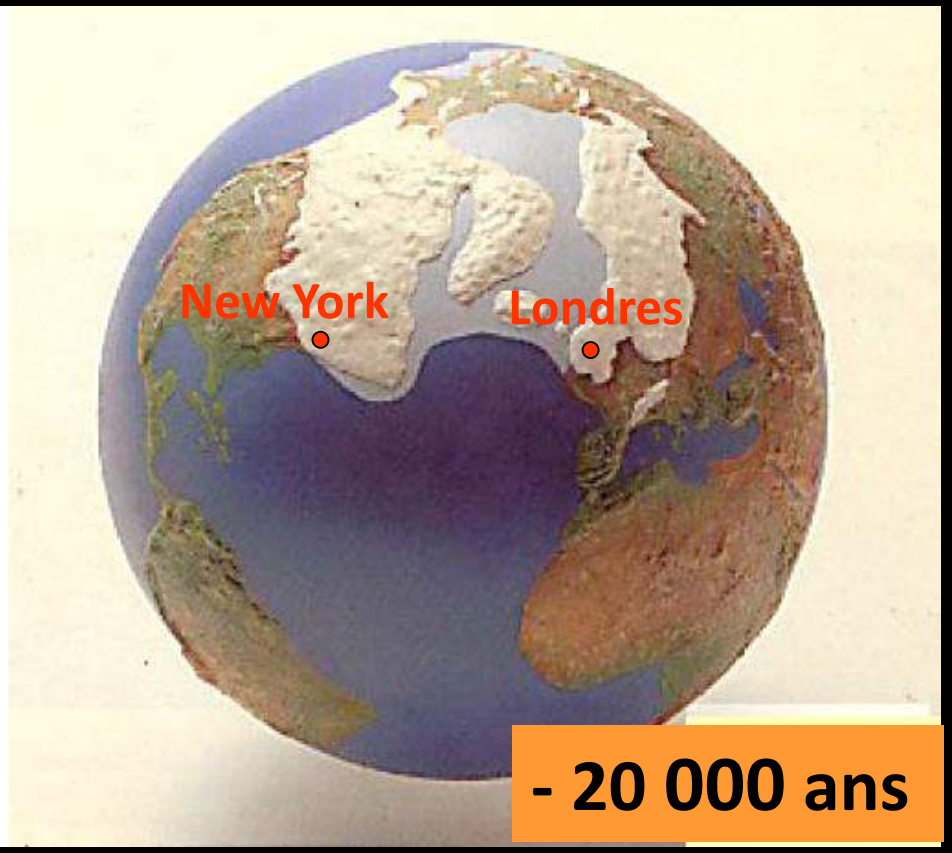
Lyon il y a 140 000 ans (en fait le Groenland).


Le Gros Caillou
LYON
Moraine du Wurm (-20 000 ans)
Moraine du Riss (-140 000 ans
Les Alpes

La Croix Rousse il y a 20 000 ans (en fait le Groenland).

L’Europe il y a 20 000 ans.

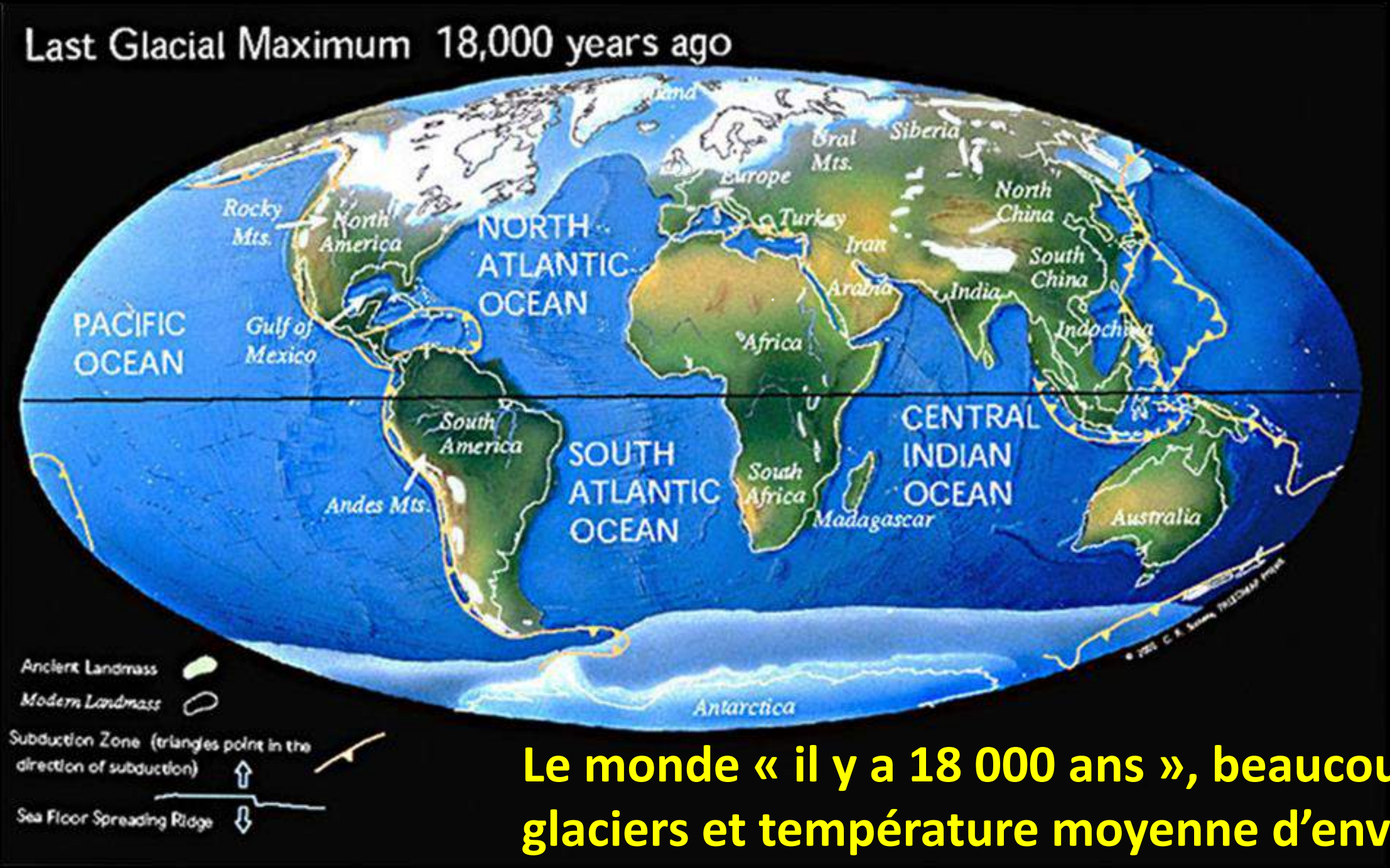




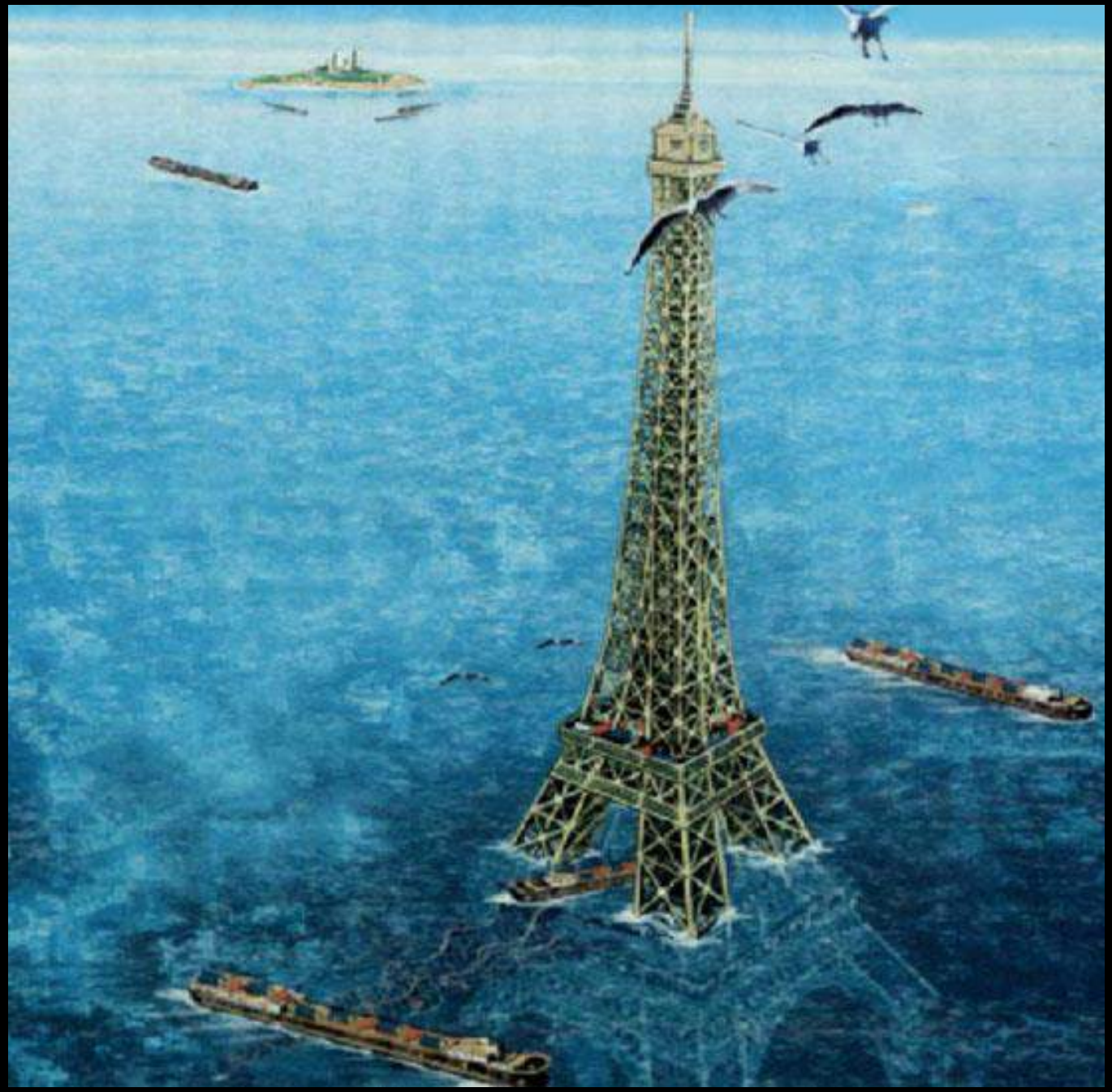
Et il n'y a pas que l'Europe qui est touchée ; c'est un phénomène mondial.

Bloc erratique et surface striée dans Central Park à New York

Le monde « actuel », peu de glaciers et température moyenne d'environ 14°



Le monde « il y a 18 000 ans », beaucoup de glaciers et température moyenne d'environ 10°



La remontée du niveau des mers

Si tous les glaciers du monde fondaient …

Antarctique : 29 millions de km^3
Groenland : 2,5 millions de km^3
Glaciers de montagne : 0,2 millions de km^3.

Si tout ça fondait, le niveau de la mer monterait de :
70 m + 7 m + 0,6 m, soit 77 à 78 m, sans compter la dilatation thermique des mers.

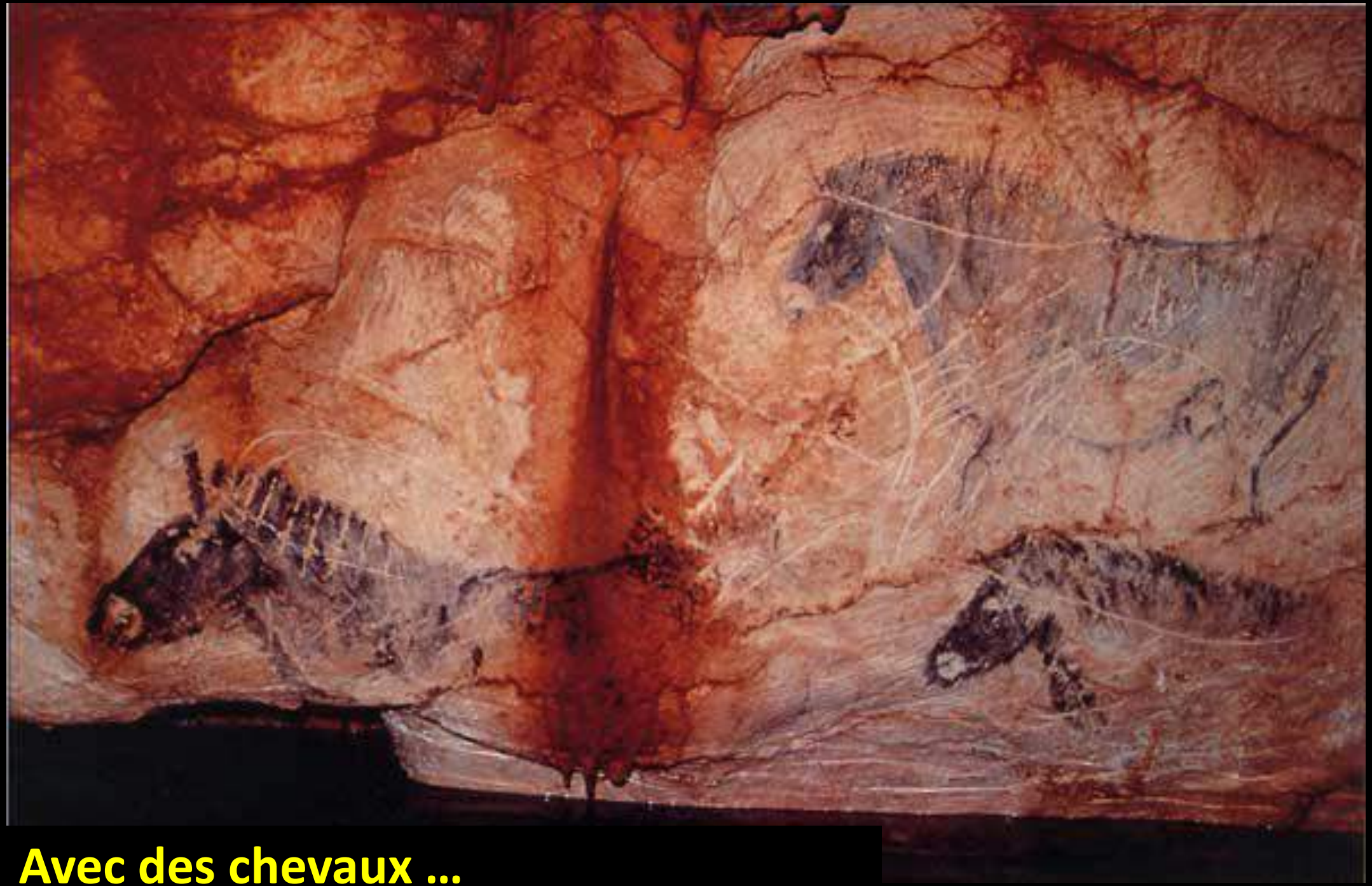
Ca a déjà bien commencé pour les glaciers de montagne, un peu pour le Groenland, un tout petit peu pour l'Antarctique.

Et si Groenland et Antarctique fondaient entièrement (ce n'est pas à l'ordre du jour à échelle d'une génération, mais dans quelques siècles …). A Vayrac et à Lyon, on est tranquille ; on peut continuer à polluer !

Maintenant, allons dans (ou plutôt sous) les calanques, entre Marseille et Cassis, et plongeons !

On nage (en scaphandre) dans des boyaux immergés

Et on débouche dans uns salle « ornée »

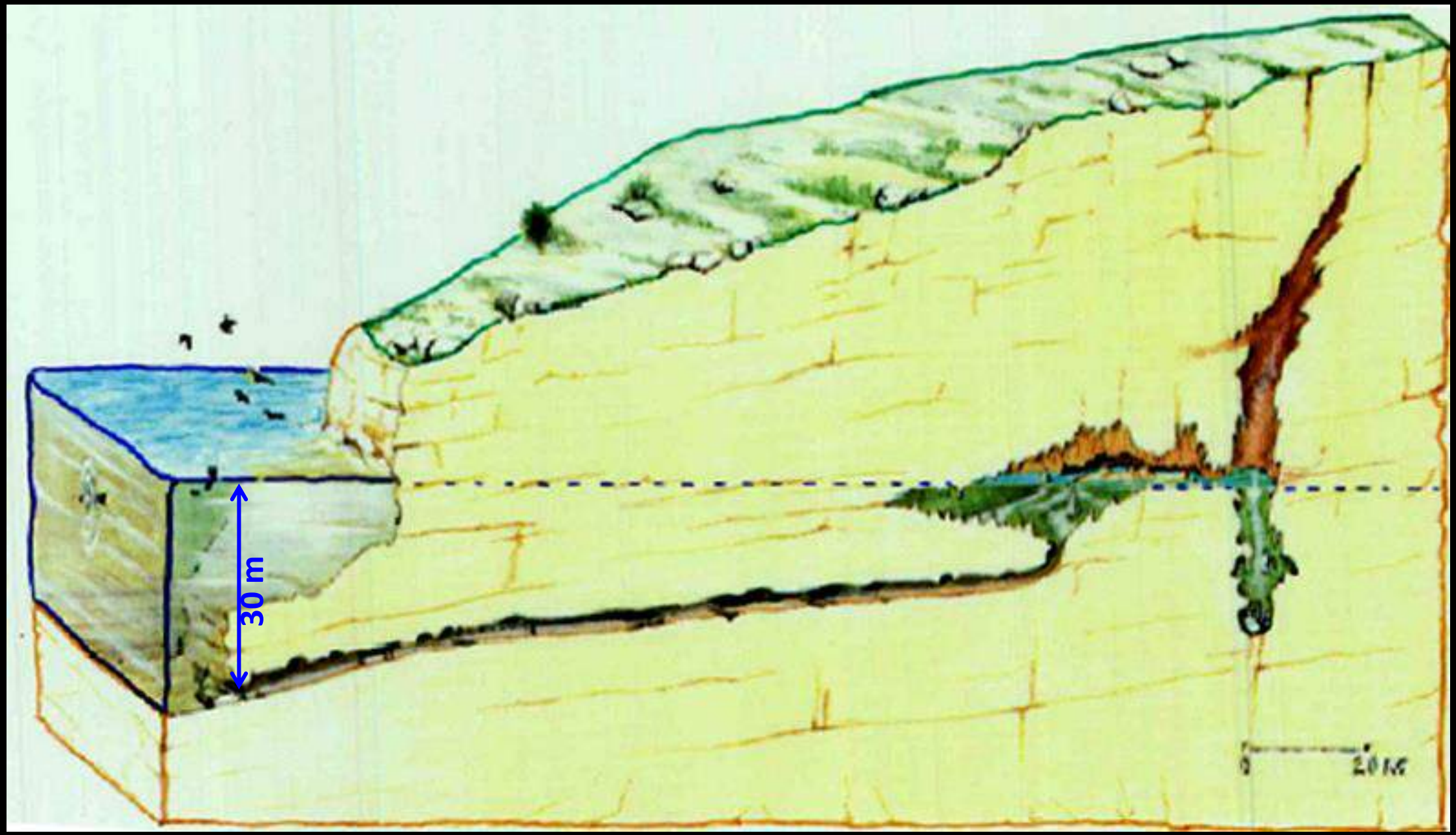


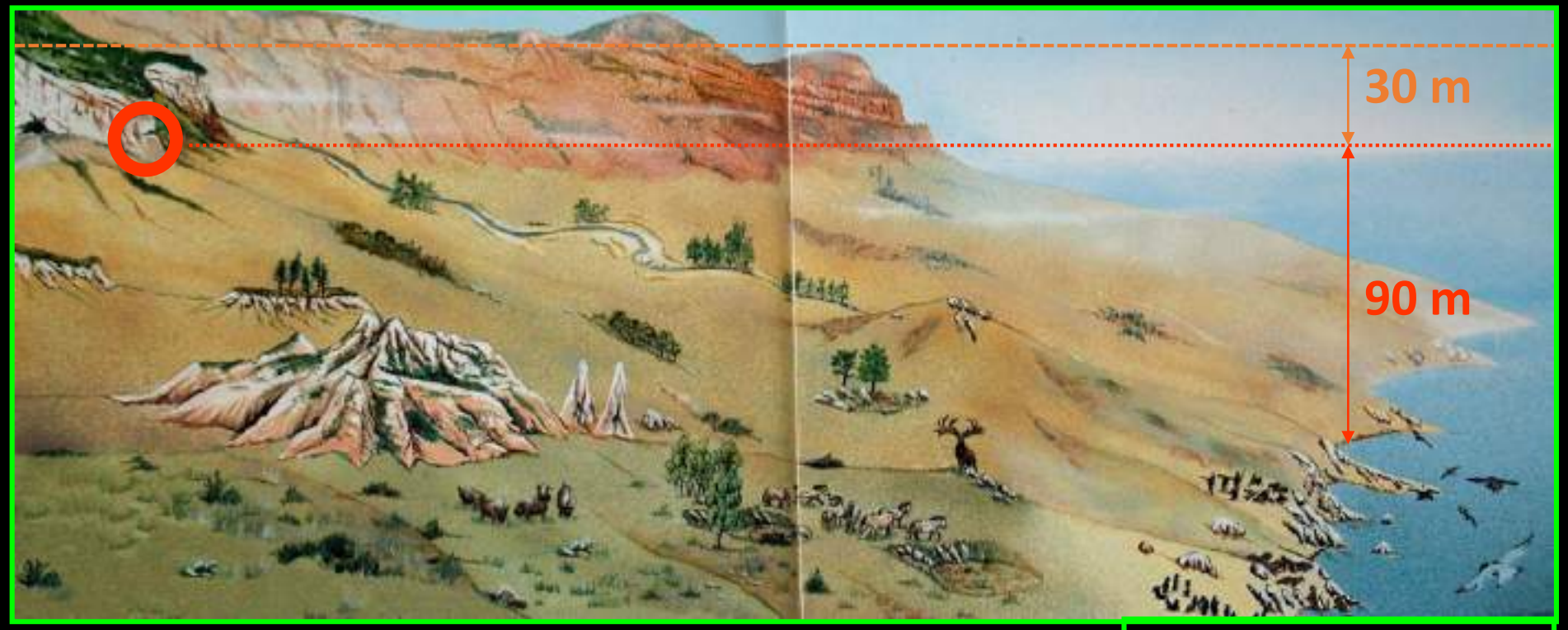
Avec des chevaux …

Un pingouin

un phoque

La grotte Cosquer, vue en coupe

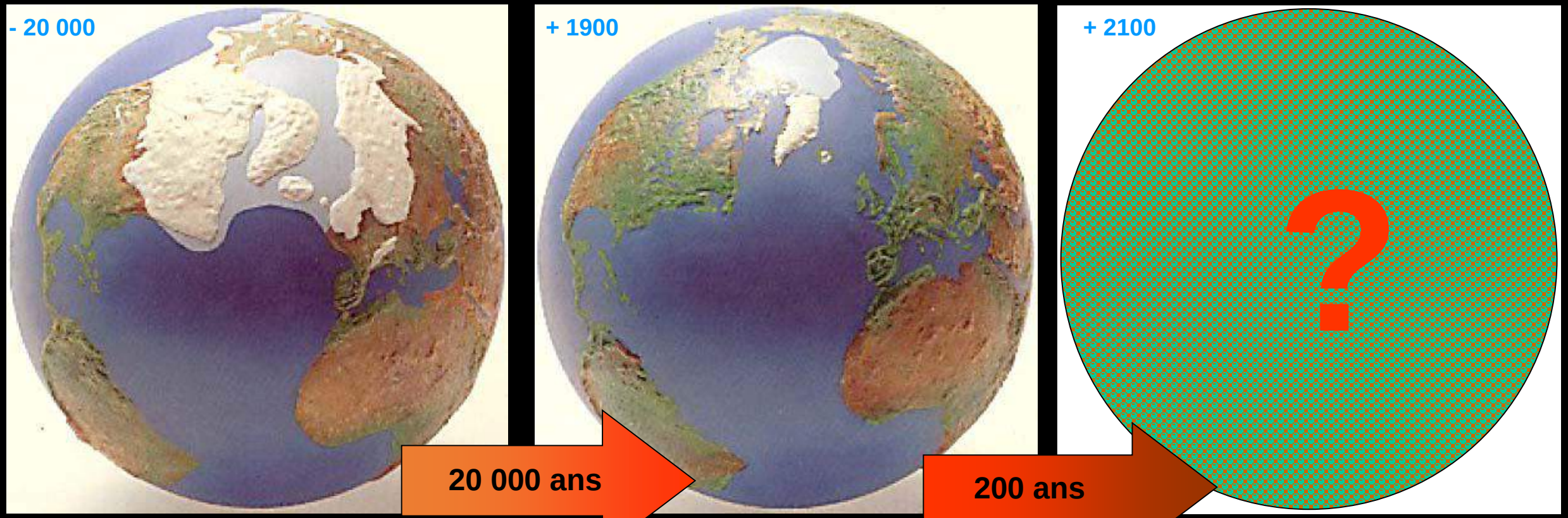




Les calanques,
il y a 27 000 ans

Photo Pierre Thomas

Les calanques,
aujourd'hui



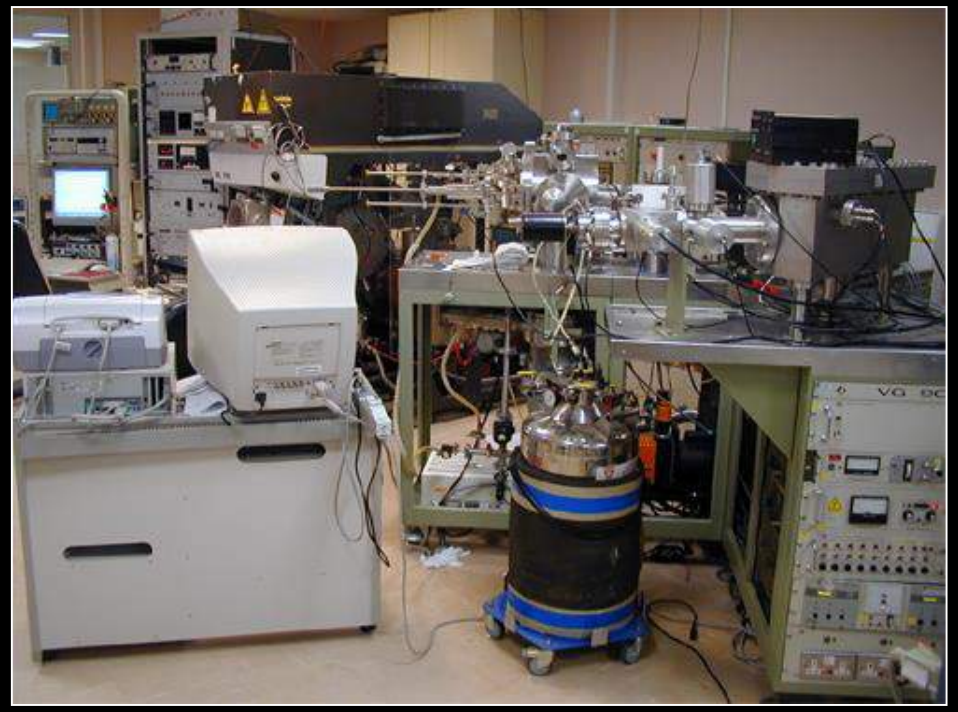
- 20 000 ans (Avant JC)
CO_2 = 200 ppmv
T moyen = 10°C
Niveau de la mer = -120 m

+ 1 900 ans (Après JC)
CO_2 = 280 ppmv (414 en 2020)
T moyen = 13,6°C (14,7°C en 2020) Niveau de la mer = 0 m (+0,24 en 2021)

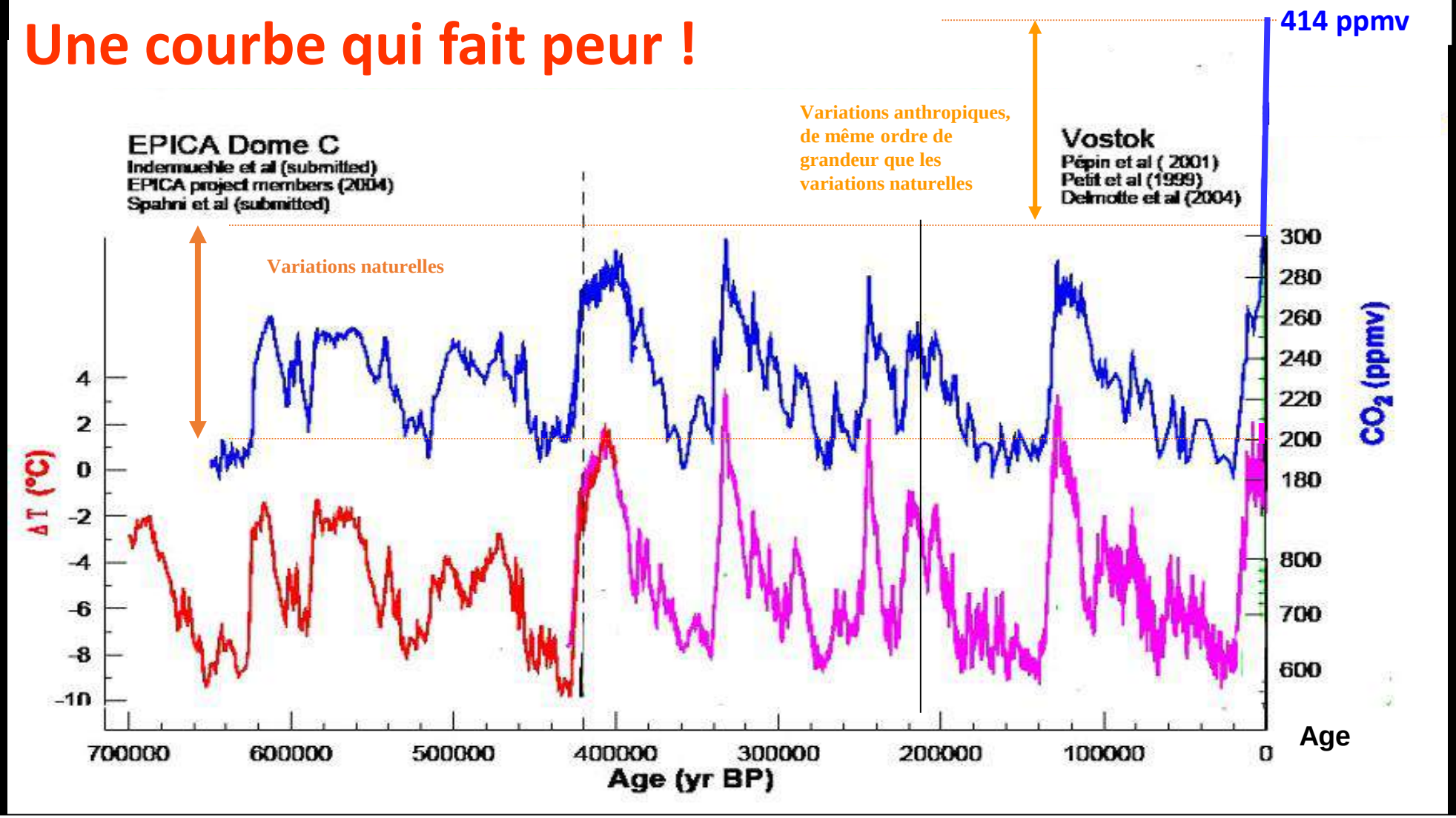
+ 2 100 ans (Après JC)
CO_2 = 580 à ????? ppmv
T moyen = 19 à ???? °C
Niveau de la mer + 1 à + ? m

Les leçons du passé récent (Cro-Magnon) sur l'avenir immédiat (nos petits enfants). Pour l'avenir un peu plus lointain (dans quelques siècles à millénaires) ça reviendra sans doute « normal » (plus de pétrole ou de charbon à brûler), sauf si …

En plus des études des vallées, des blocs erratiques, des roches striées … on arrive avec des études chimiques dans les glaces des pôles à connaître les anciennes températures et les anciennes teneurs en CO_2.

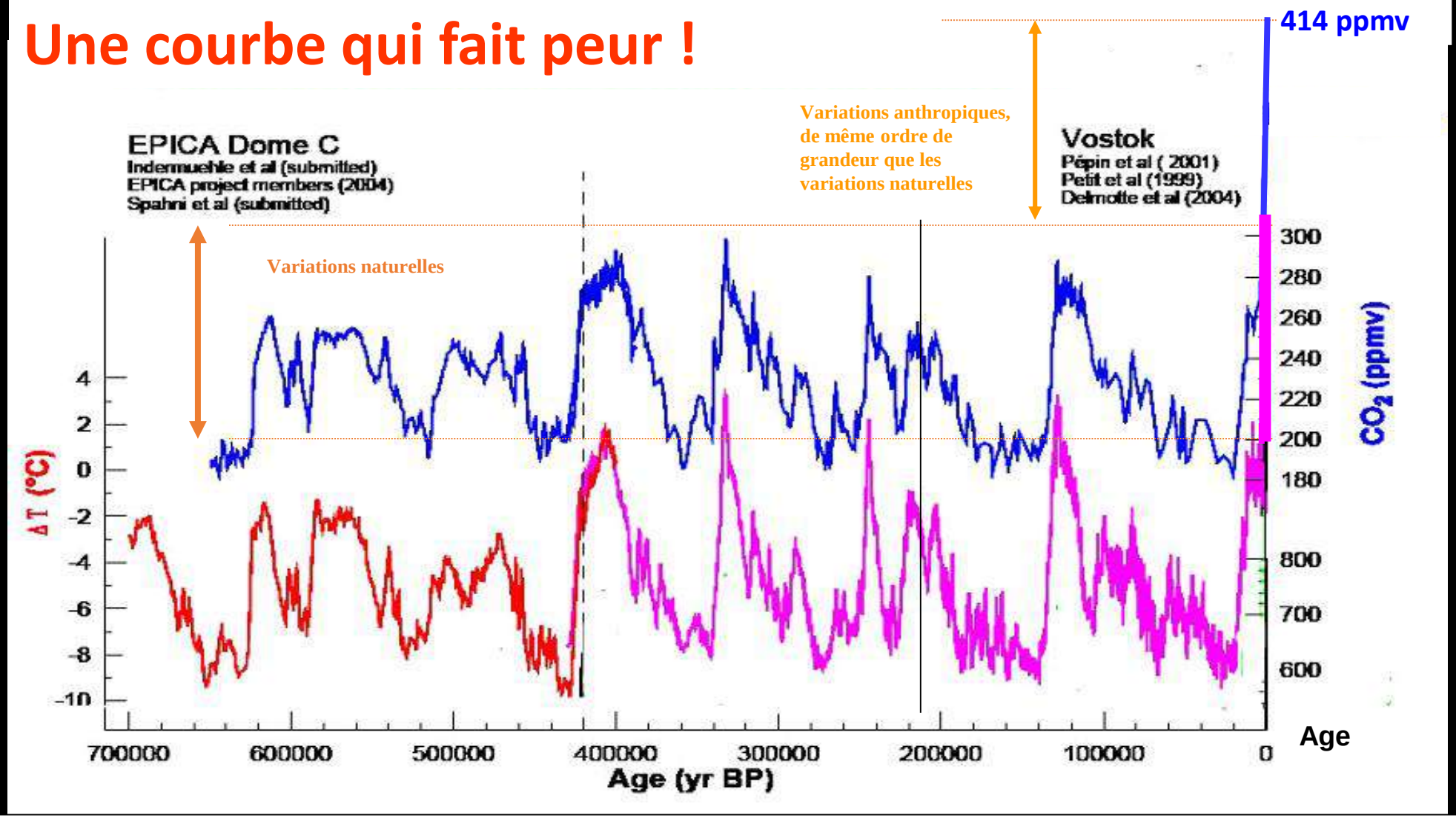


Une courbe qui fait peur !



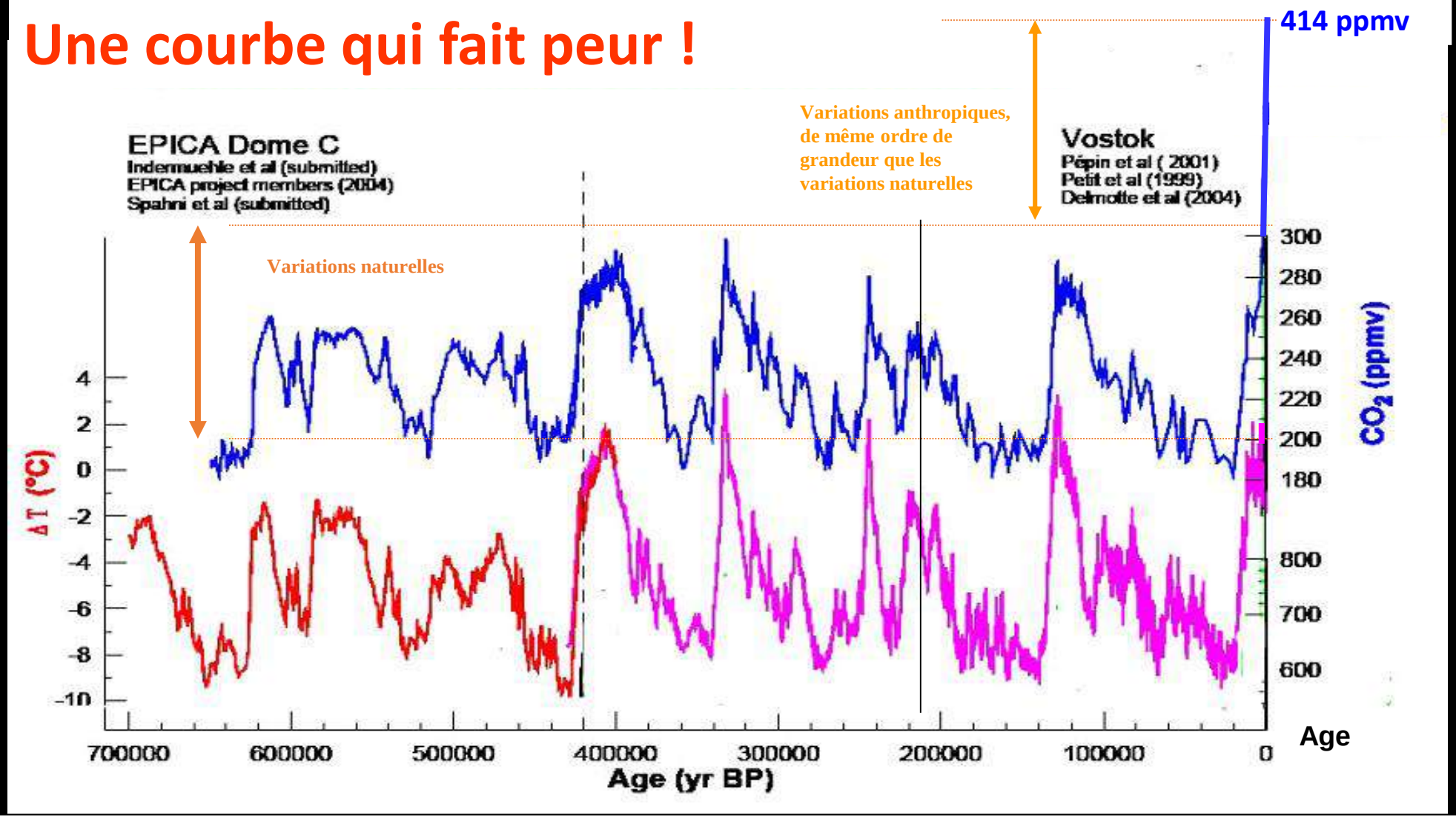
La température antarctique varie de +2 à –10°C par rapport à la température actuelle (-40°C). Le CO_2 varie de 200 à 280 ppmv ; il est aujourd'hui à ~~375~~ (414). <u>Les variations sont parfaitement corrélées</u>.

Une courbe qui fait peur !



La température antarctique varie de +2 à –10°C par rapport à la température actuelle (-40°C). Le CO_2 varie de 200 à 280 ppmv ; il est aujourd'hui à ~~375~~ (414). <u>Les variations sont parfaitement corrélées</u>.

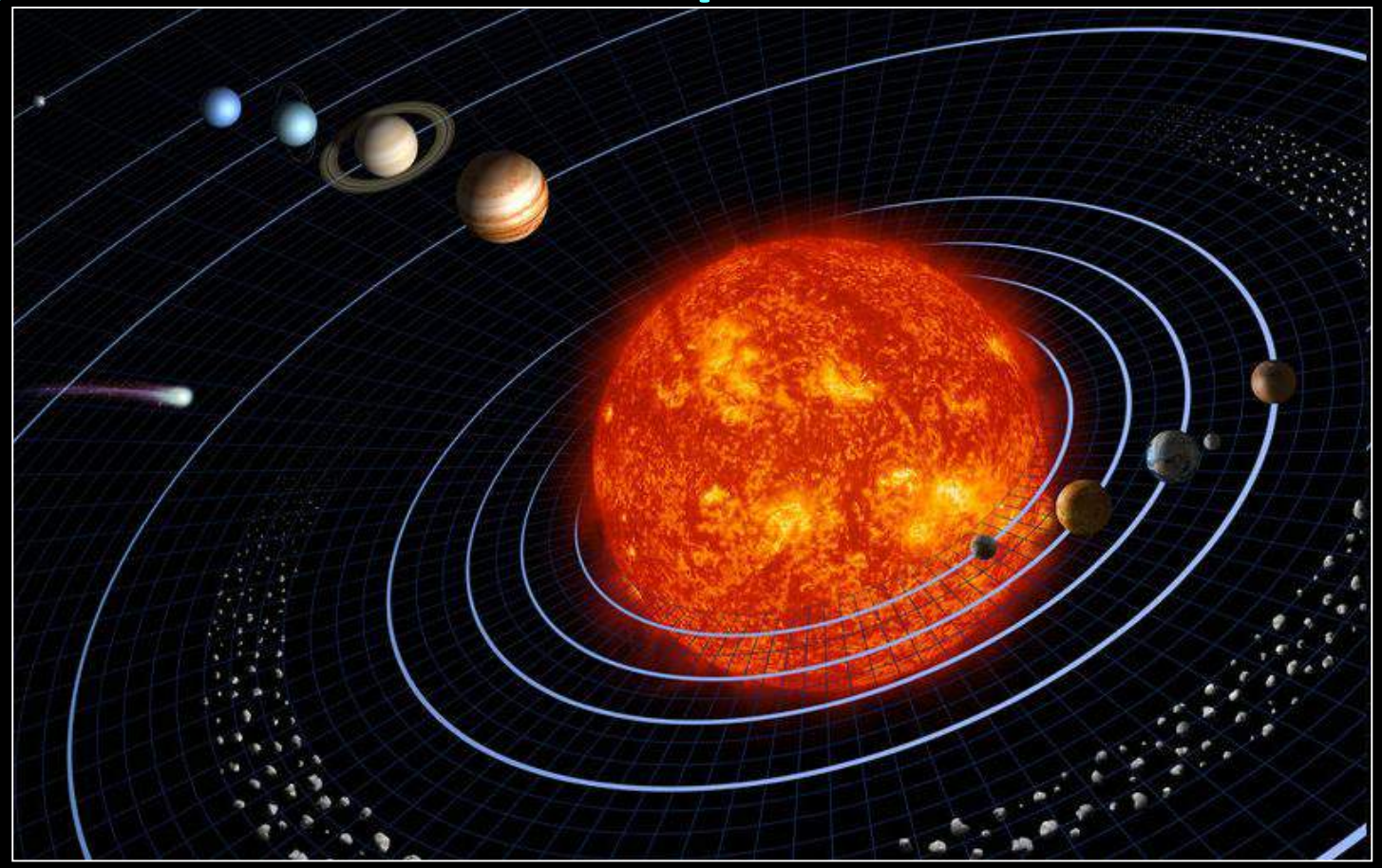
Une courbe qui fait peur !



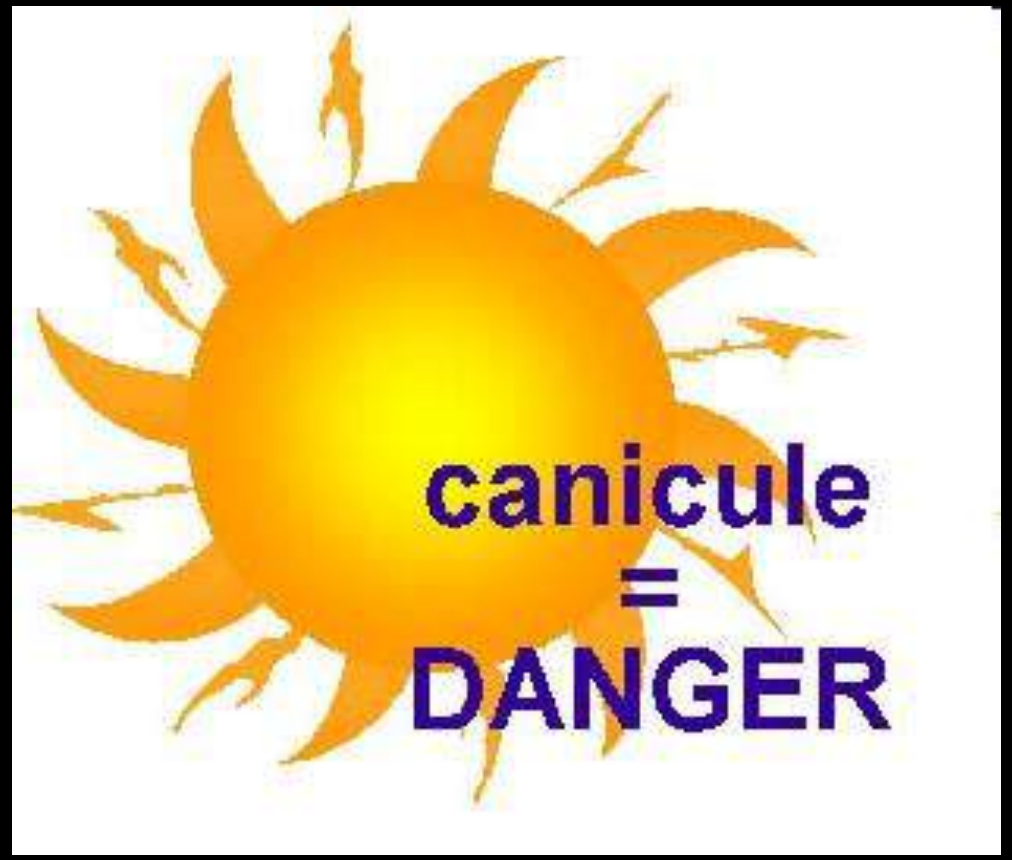
La température antarctique varie de +2 à –10°C par rapport à la température actuelle (-40°C). Le CO_2 varie de 200 à 280 ppmv ; il est aujourd'hui à ~~375~~ (414). Les variations sont parfaitement corrélées. **Et, chose très surprenante, les variations de température commencent quelques siècles avant celles de CO_2**

Ces variations sont lentes à l'échelle humaine. Le dernier réchauffement (-18 000 à -12 000) a pris 6000 ans.

Elles sont régulières et ont le même rythme que des variations « astronomiques » (distance moyenne Terre /soleil, inclinaison de l'axe de rotation de la Terre …). C'est l'astronomie qui est la « cause première », le déclencheur.

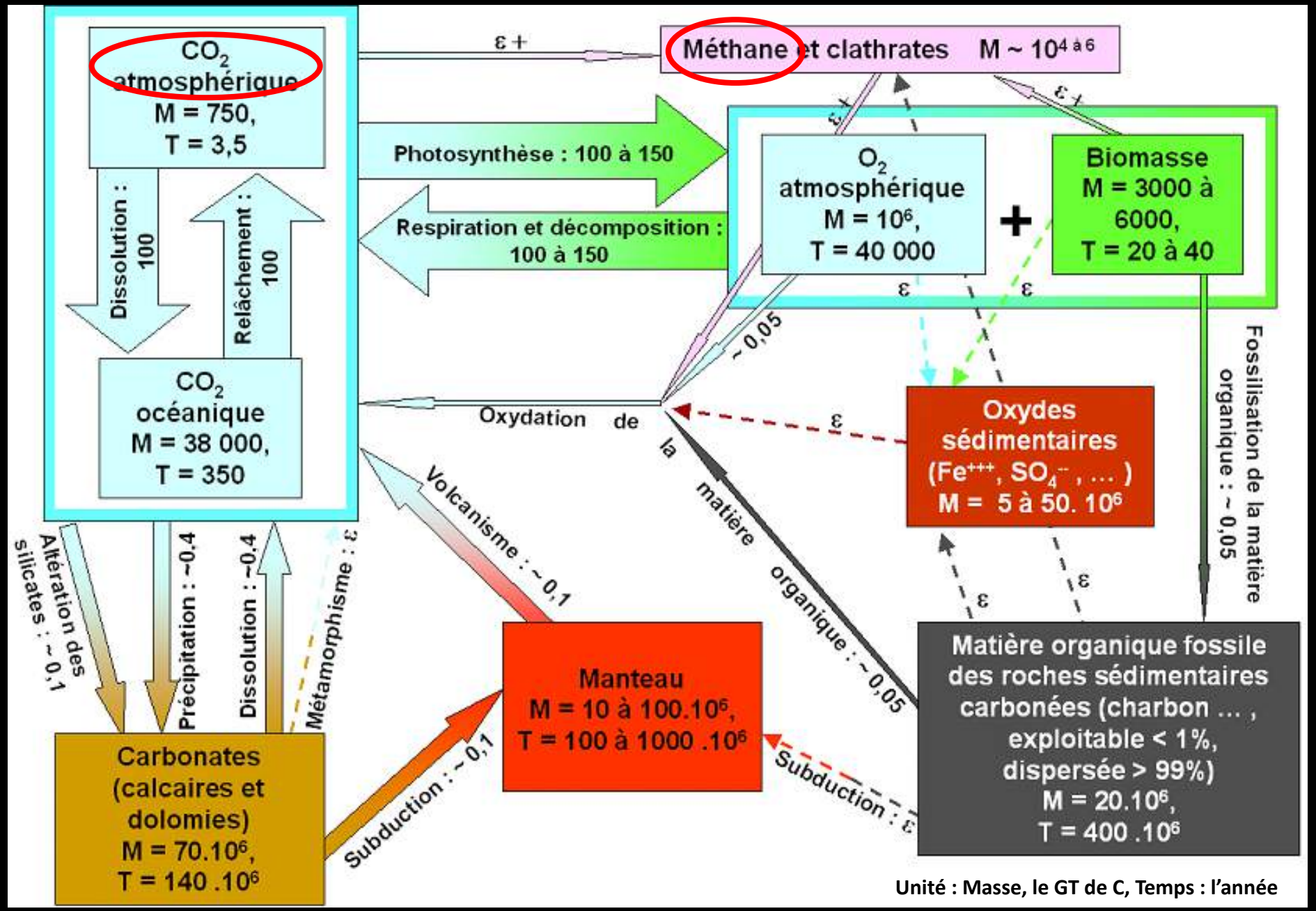


Ces variations « astronomiques » ont le bon rythme, mais sont très, trop, faibles. Pourquoi d'aussi fortes variations de température avec d'aussi faible variations astronomiques, et que vient faire le CO_2 dans tout ça ?

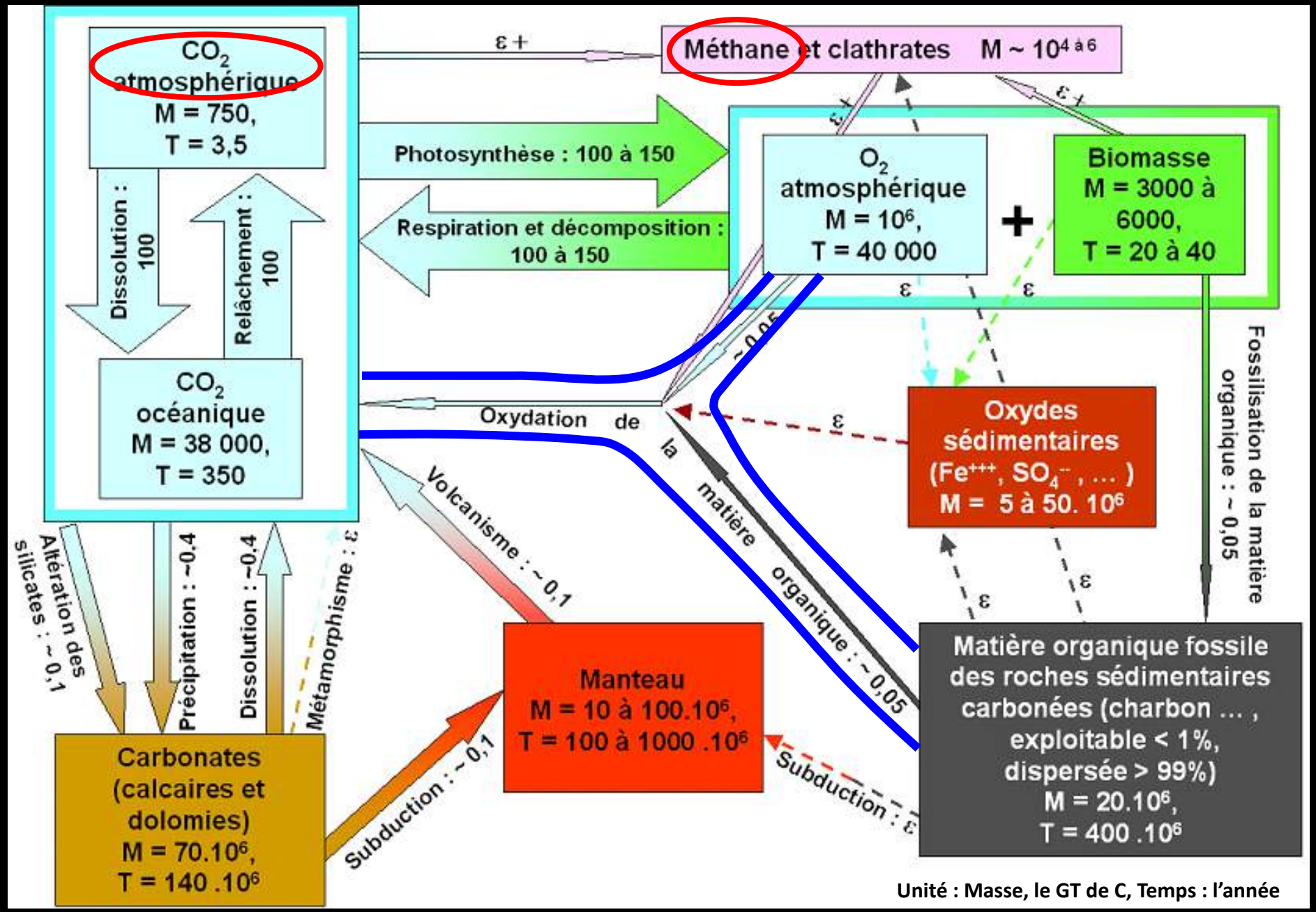


Qu'est ce qui peut faire varier naturellement le CO_2 atmosphérique ?

Les échanges de carbone entre différents « réservoirs », échanges connus sous le nom de « cycle du carbone », avec l'oxygène comme production annexe.



On a déjà vu les effets du renforcement « anthropique » de l'oxydation des roches carbonnées, responsable de la majorité de « notre réchauffement ».



On va regarder les deux plus importants échanges (environ 100 milliards de tonnes de C /an) : les échanges

océan

↕

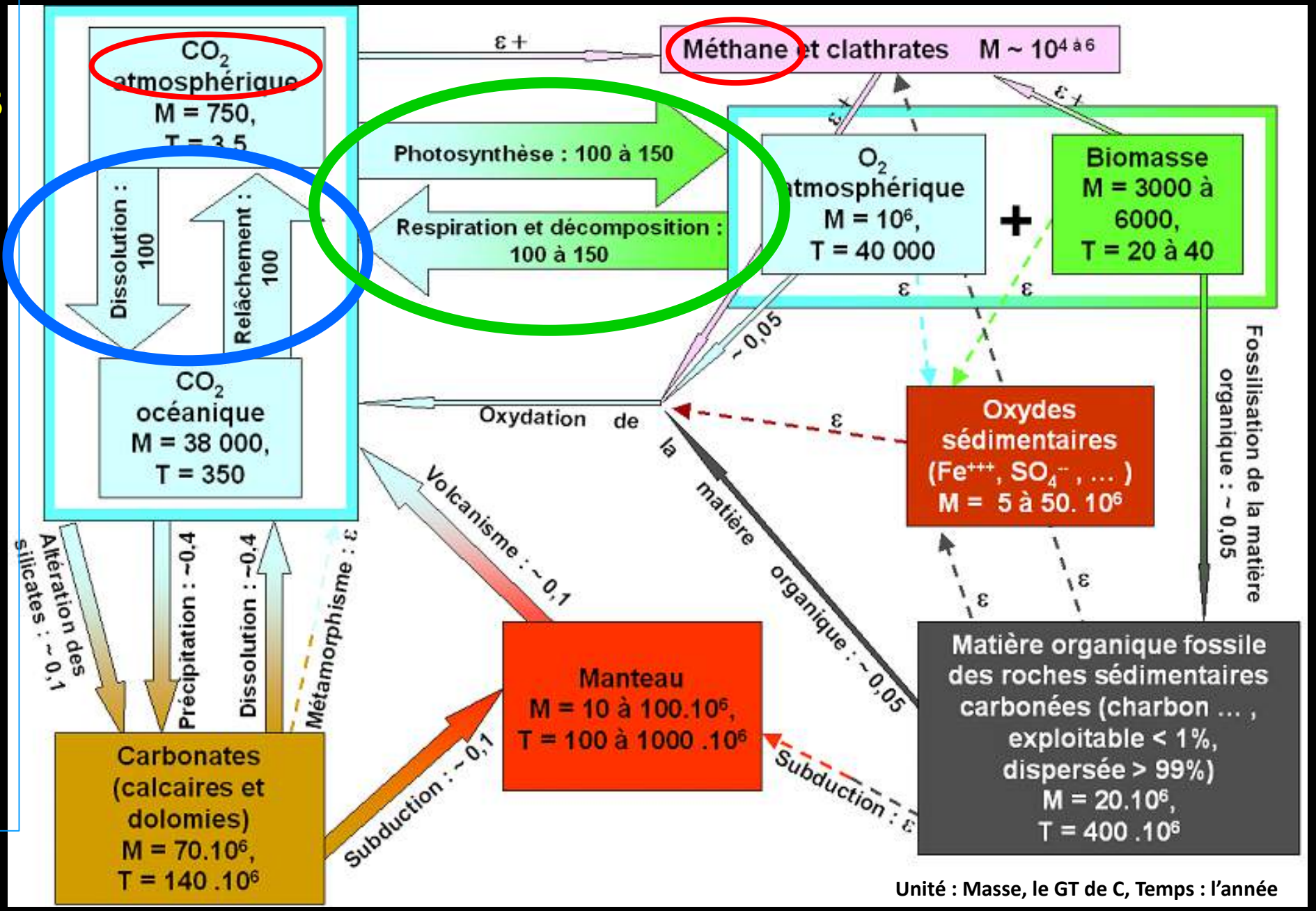
atmosphère

et les échanges

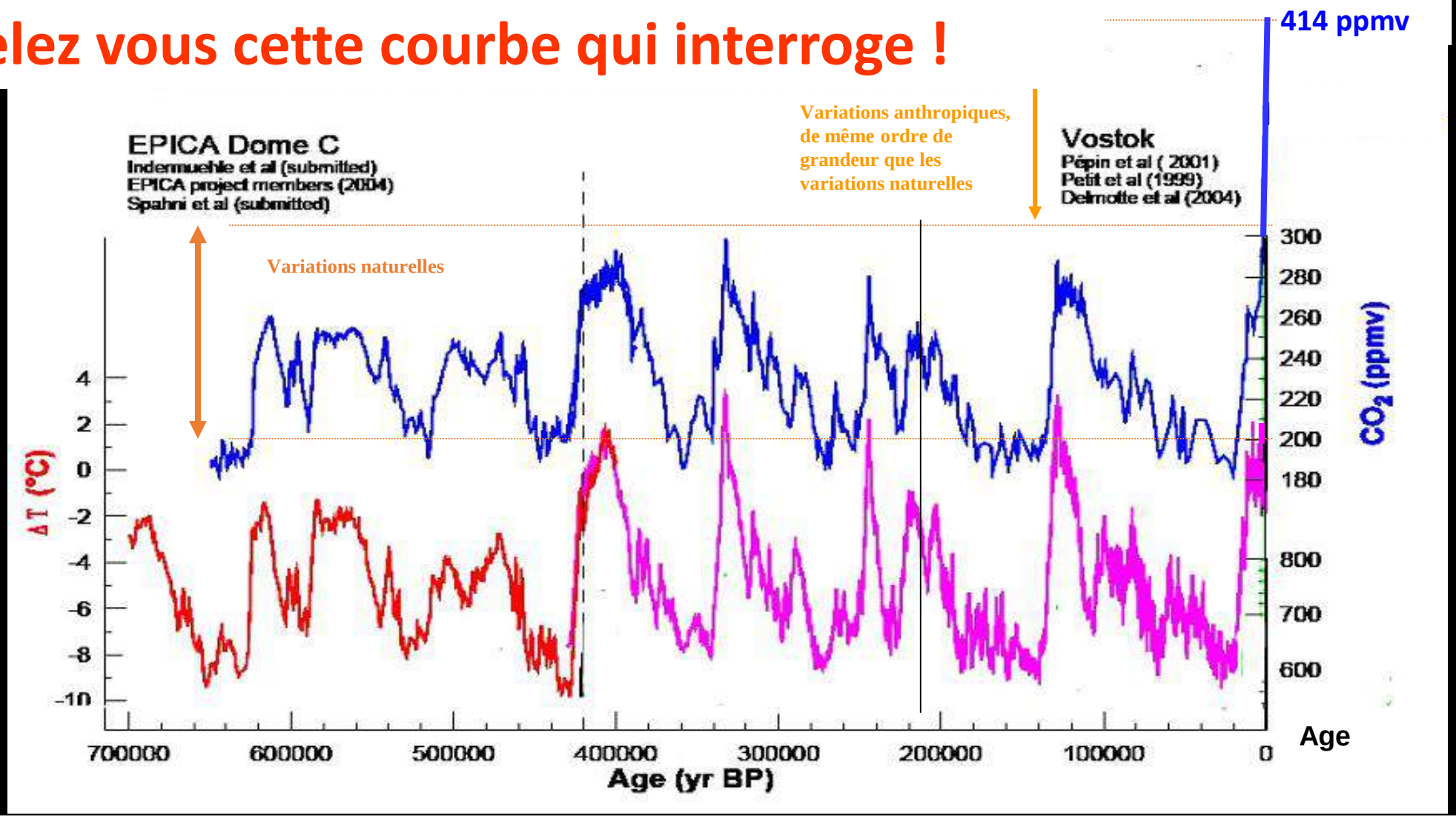
océan/atmosphère

↕

biomasse



Rappelez vous cette courbe qui interroge !



La température antarctique varie de +2 à –10°C par rapport à la température actuelle (-40°C). Le CO_2 varie de 200 à 280 ppmv ; il est aujourd'hui à ~~375~~ (414). Les variations sont parfaitement corrélées. **Et, chose très surprenante, les variations de température commencent quelques siècles avant celles de CO_2**

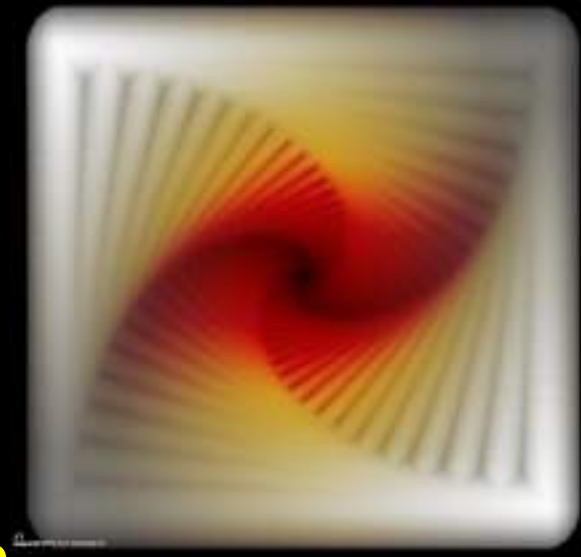
Si on réchauffe de l'eau qui contient du CO_2 dissout (eau gazeuse), le CO_2 part.

Or l'océan contient beaucoup de CO_2 dissout : il y a environ 60 fois plus de CO_2 dans l'eau de mer que dans l'atmosphère.

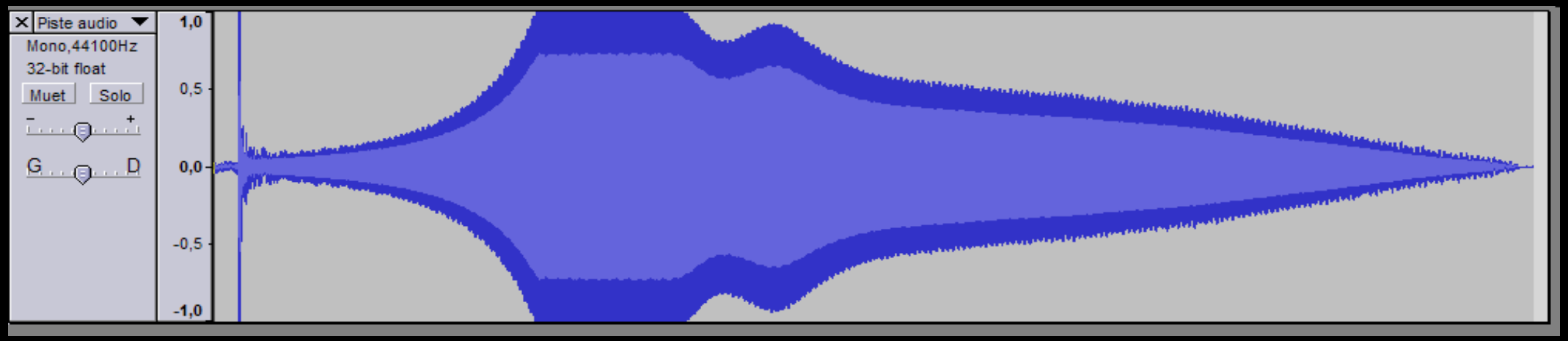
Le soleil et les variations d'orbite de la Terre réchauffent un petit peu → la planète se réchauffe un petit peu → l'océan se réchauffe un petit peu → un petit peu de CO_2 quitte l'océan et va dans l'atmosphère → l'effet de serre augmente → la température de l'air et de la mer augmente → du nouveau CO_2 quitte l'eau de mer → l'effet de serre augmente encore → la température augmente encore→ du CO_2 quitte encore la mer→ l'effet de serre augmente de plus en plus …

<u>Et il y a d'autres boucles de rétroactions positives.</u>

Depuis quelques millions d'années, l'Astronomie fournissait le signal, et le CO_2 jouait le rôle d'amplificateur. Depuis 150 ans, le signal ne varie pas (ou peu) mais l'Homme augmente considérablement l'amplificateur. Pourvu que ça ne s'emballe pas !

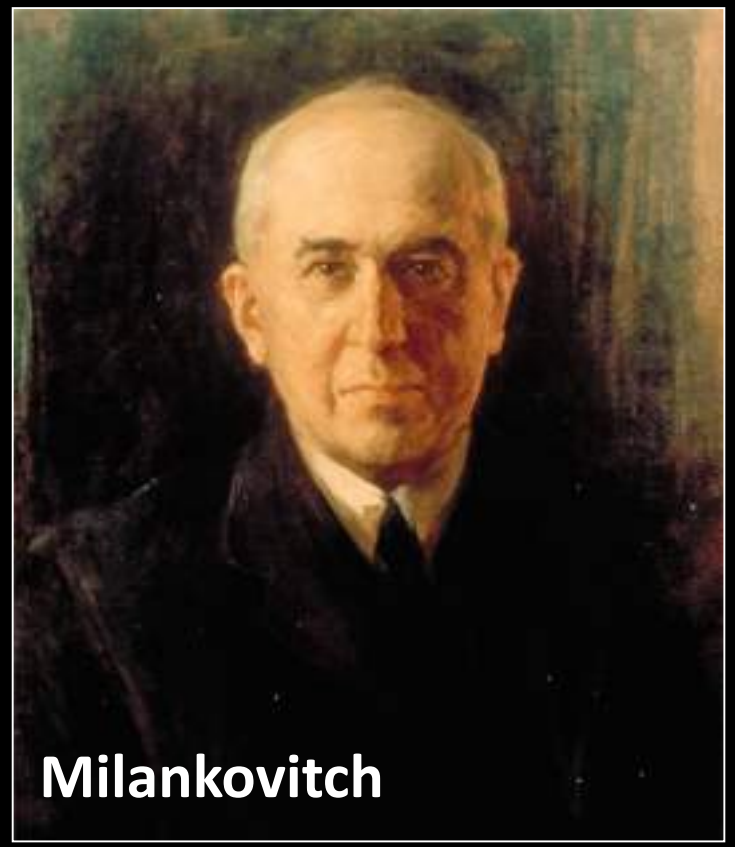


Quand ça s'emballe avec un amplificateur « audio », on obtient un effet dit « de Larsen ».



Que risque d'être un possible effet de Larsen en climatologie ?
Personne ne le sait, mais évitons de jouer les apprentis sorciers !

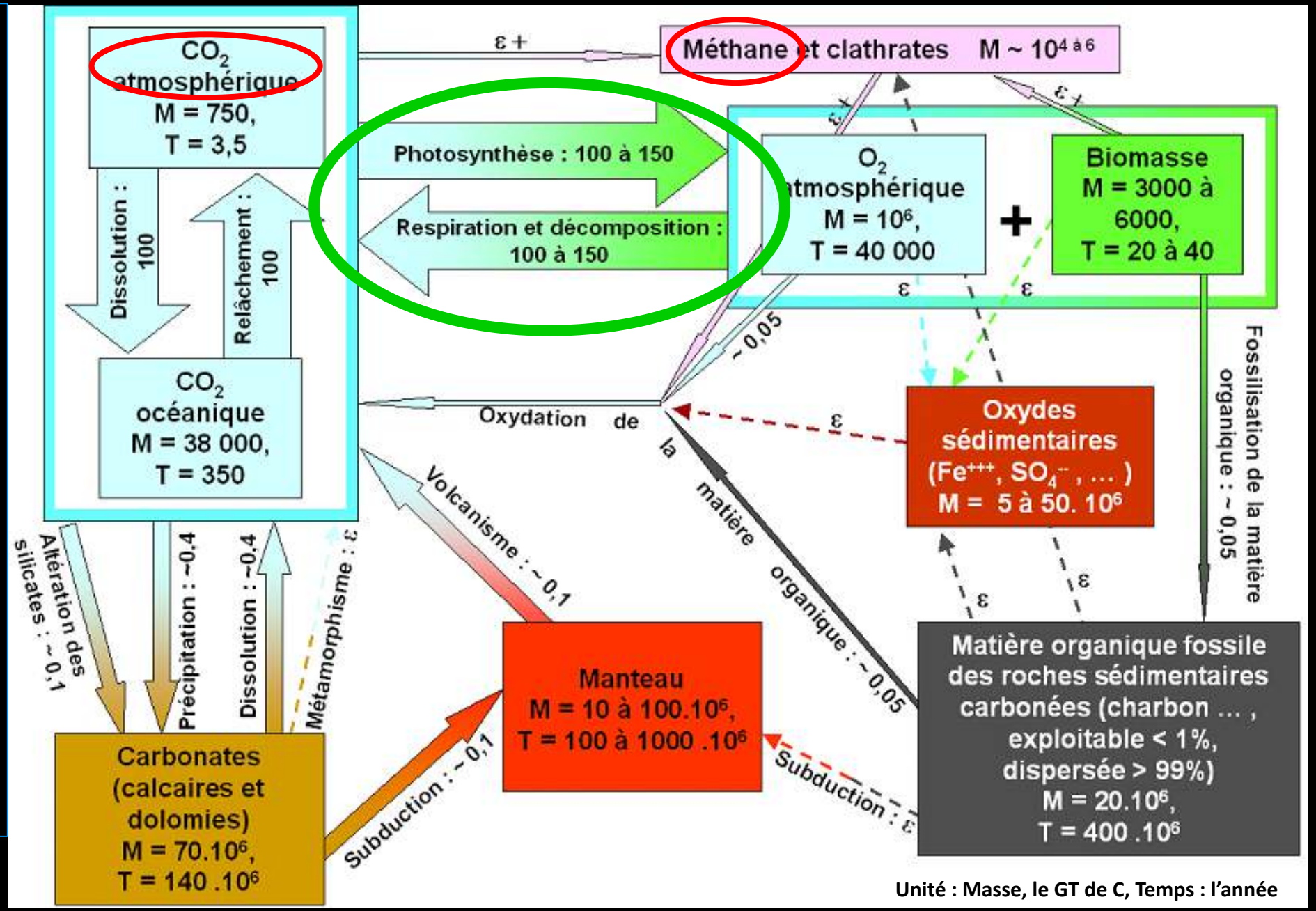
Quand va débuter la prochaine glaciation ? L'astronomie nous dit « peut-être dans 18 000 ans, pourquoi pas dans 18 000 + 23 000 = 41 000 ans, mais très vraisemblablement dans 18 000 + 23 000 + 23 000 = 64 000 ans », quand l'ellipticité de l'orbite sera redevenue significative.



On va maintenant regarder ce qui fait dire le plus de « conneries » aux médias, aux pseudo-écologistes … : les échanges océan/atmosphère

Biomasse,

vous savez, les forêts qui font de l'oxygène !



Tout le monde connait la « légende » de la foret amazonienne ou du plancton qui seraient les poumons de la Terre. C’est une fake new qui a la vie dure depuis au moins 1 siècle.

Et cette « fake belief » (fausse croyance), se niche même en haut lieu !

« L'Amazonie, le poumon de notre planète qui produit 20 % de notre oxygène, est en feu »
(22 août 2019)

Photo Pierre Thomas

Notons, de façon anecdotique, que ce terme de « poumon de la Terre » est un lieu commun qui revient tout le temps mais qui est mal choisi.

PHOTOSYNTHÈSE

Équation (très) simplifiée* de la photosynthèse :

$$6\ CO_2 + 6\ H_20 \rightarrow \underset{\text{Glucose}}{(CH_2O)_6} + 6\ O_2$$

* En fait $6\ CO_2 + 12\ H_20 \rightarrow C_6(H_2O)_6 + 6\ O_2 + 6\ H_2O$

Encore plus simplifié :

$$CO_2 \rightarrow C + 0_2$$

44 g → 12 g + 32 g

À chaque fois qu'une plante ou une bactérie absorbe 44 g de dioxyde de carbone, elle fixe 12 g de carbone et libère 32 g de dioxygène.

Pénélope et sa Tapisserie, Bernard Buffet, 1994

La photosynthèse des forêts, du plancton et des salades certes font du dioxygène pendant la journée. Mais si la vie, comme Pénélope avec sa tapisserie, fabrique du dioxygène de façon évidente, elle le détruit de façon discrète mais tout aussi efficace. Si, comme ces benêts et ignorants de prétendants, on ne sait pas regarder où et quand il faut, on voit la production et on ne voit pas la destruction. Et comme souvent, ce sont les ignorants qui parlent le plus fort !

Faisons comme les prétendants de Pénélope : regardons uniquement ce qui est visible.

Voici un gland. Disons qu'il ne pèse pas grand-chose. On le plante.

Faisons comme les prétendants de Pénélope : regardons uniquement ce qui est visible.

Des dizaines d'années plus tard, ce gland est devenu un chêne presque centenaire. Sans comptabiliser feuilles et branches mortes, disons qu'il a fait 10 tonnes de bois sec (lignine). Grâce à l'énergie solaire, Il a absorbé environ 15 tonnes de CO_2, de l'eau et a donc produit ces 10 tonnes de bois et environ 10 tonnes de dioxygène.

Arrêtons maintenant de faire comme les prétendants de Pénélope : regardons et réfléchissons à ce qui est peu visible.

Au bout d'un certain temps, ce chêne va mourir. Insectes, champignons… s'en nourriront, et en quelques années, il n'en restera rien. Pour ce faire, champignons, insectes… auront absorbé 10 tonnes d'oxygène, décomposé les 10 tonnes de bois et libéré de l'eau et 15 tonnes de CO_2.
On sera revenu au point de départ !

En effet, insectes, champignons, bactéries … décomposent en respirant, ce qui, d'un point de vue du bilan, est l'inverse de la photosynthèse. Chaque fois que de la matière organique contenant 12 g de carbone est minéralisée (« consommée » puis respirée), la réaction

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$12g + 32g \rightarrow 44g$$

réabsorbe les 32 g d'O_2 libérés lors de sa production, et « fabrique » 44 g de CO_2.

L'O_2 est également produit et consommé par les <u>écosystèmes à l'équilibre</u>. Le bilan est nul, et, pas plus que la tapisserie de Pénélope ne peut grandir, l'O_2 ne peut pas s'accumuler dans l'atmosphère.

Analysons cette fausse croyance présidentielle, et pas que présidentielle !

Productivité (flux) de la photosynthèse terrestre (forêt) en tonne de carbone fixé par km^2 et par an (sachant qu'il y en a autant de libéré par respiration/décomposition/oxydation)

Rappel : pour 1 t de carbone fixé par la photosynthèse : 3,6 t de CO_2 sont absorbées et 2,6 t d'O_2 relâchées (et inversement).

Productivité forêt intertropicale : ≈ 1000 $t.km^{-2}.a^{-1}$

C

Productivité forêt tempérée : ≈ 600 $t.km^{-2}.a^{-1}$

Productivité forêt boréale : ≈ 400 $t.km^{-2}.a^{-1}$

Productivité terres agricoles : 2 à 6 fois plus (très variable) qu'une forêt sous le même climat

Stock de carbone (en tonne / km²)

Forêt intertropicale : ≈ 25 000 t.km^{-2}, réparties en environ 1/2 dans les végétaux et 1/2 dans le sol

Forêt tempérée : ≈ 16 000 t.km^{-2}, réparties en environ 1/3 dans les végétaux et 2/3 dans le sol

Forêt boréale : ≈ 40 000 t.km^{-2}, réparties en environ 1/6 dans végétaux et 5/6 dans le sol

Terre cultivée : ≈ 4 000 t.km^{-2} (très variable), dont environ 1/20 dans les végétaux et 19/20 dans le sol (moyenne sur l'année)

L'Amazonie "à l'équilibre" (en tonne et km^2)

Les chiffres donnés ici pour l'Amazonie sont approximatifs . C'est une moyenne qui lisse les aléas naturels, comme les évènements El Niño, et qui ne tiennent pas compte des actions anthropiques récentes.

Surface forêt amazonienne : ≈ 5.10^6 km^2

Stock de carbone global de l'Amazonie : ≈ 125.10^9 t (10^9 t = 1 Gt)

Carbone fixé annuellement par la photosynthèse en Amazonie : ≈ 5.10^9 t

Carbone oxydé annuellement par la respiration (et autres oxydations) en Amazonie : ≈ 5.10^9 t

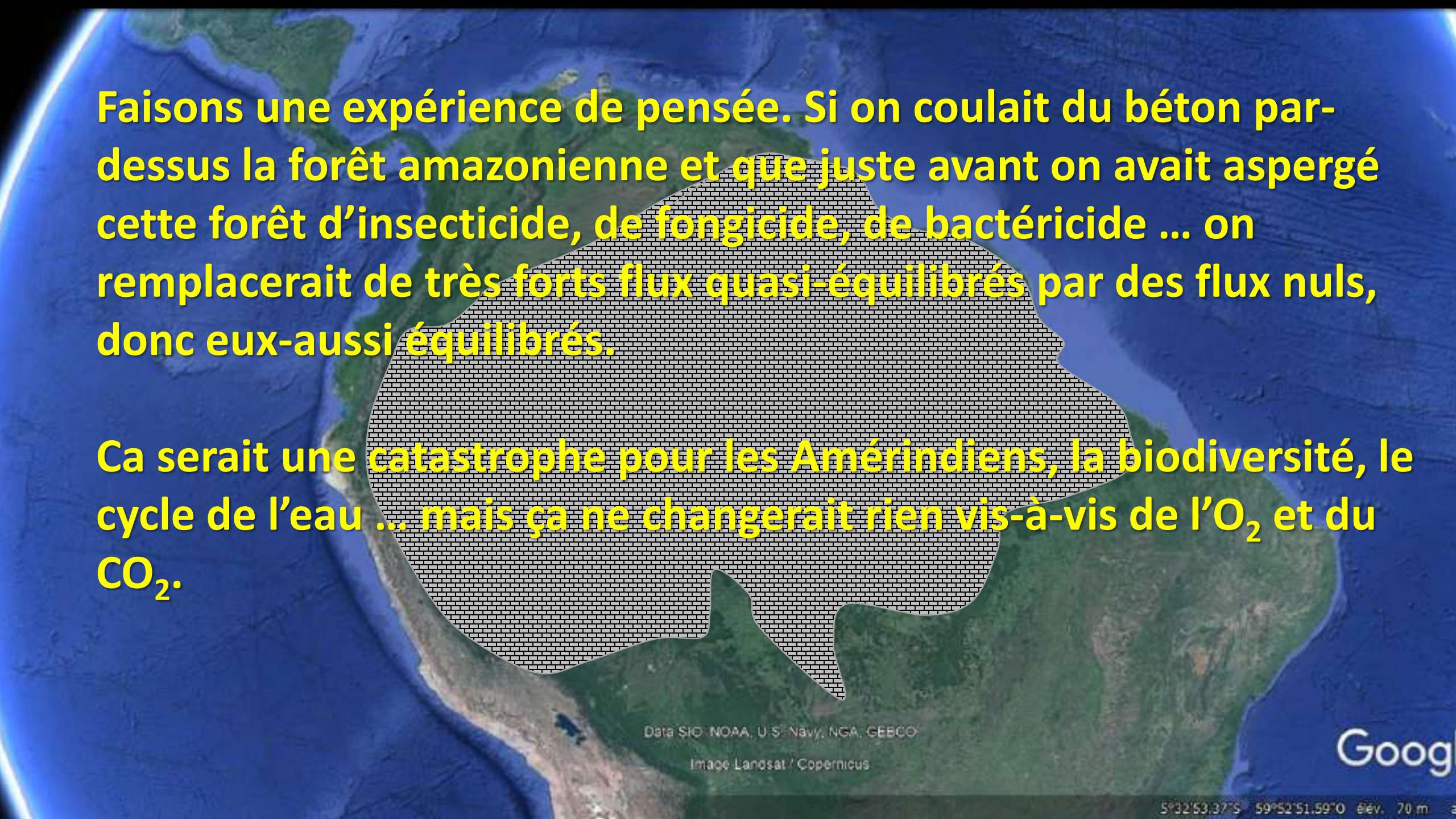
Ces transferts correspondent à environ 13.10^9 t d'O_2 produites et absorbées chaque année (et à environ 18.10^9 t de CO_2 absorbées et produites chaque année), soit 5% de l'O_2 produit et consommé sur Terre (et non pas les 20% de Macron)

Quantité « pérenne » d'oxygène correspondant au stock de C de l'Amazonie : 330. 10^9 t d'oxygène, soit 0,04% de l'oxygène de l'atmosphère. Une broutille !

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image Landsat / Copernicus
Goog
5°32'53.37"S 59°52'51.59"O élév. 70 m

Faisons une expérience de pensée. Si on coulait du béton par-dessus la forêt amazonienne et que juste avant on avait aspergé cette forêt d'insecticide, de fongicide, de bactéricide … on remplacerait de très forts flux quasi-équilibrés par des flux nuls, donc eux-aussi équilibrés.

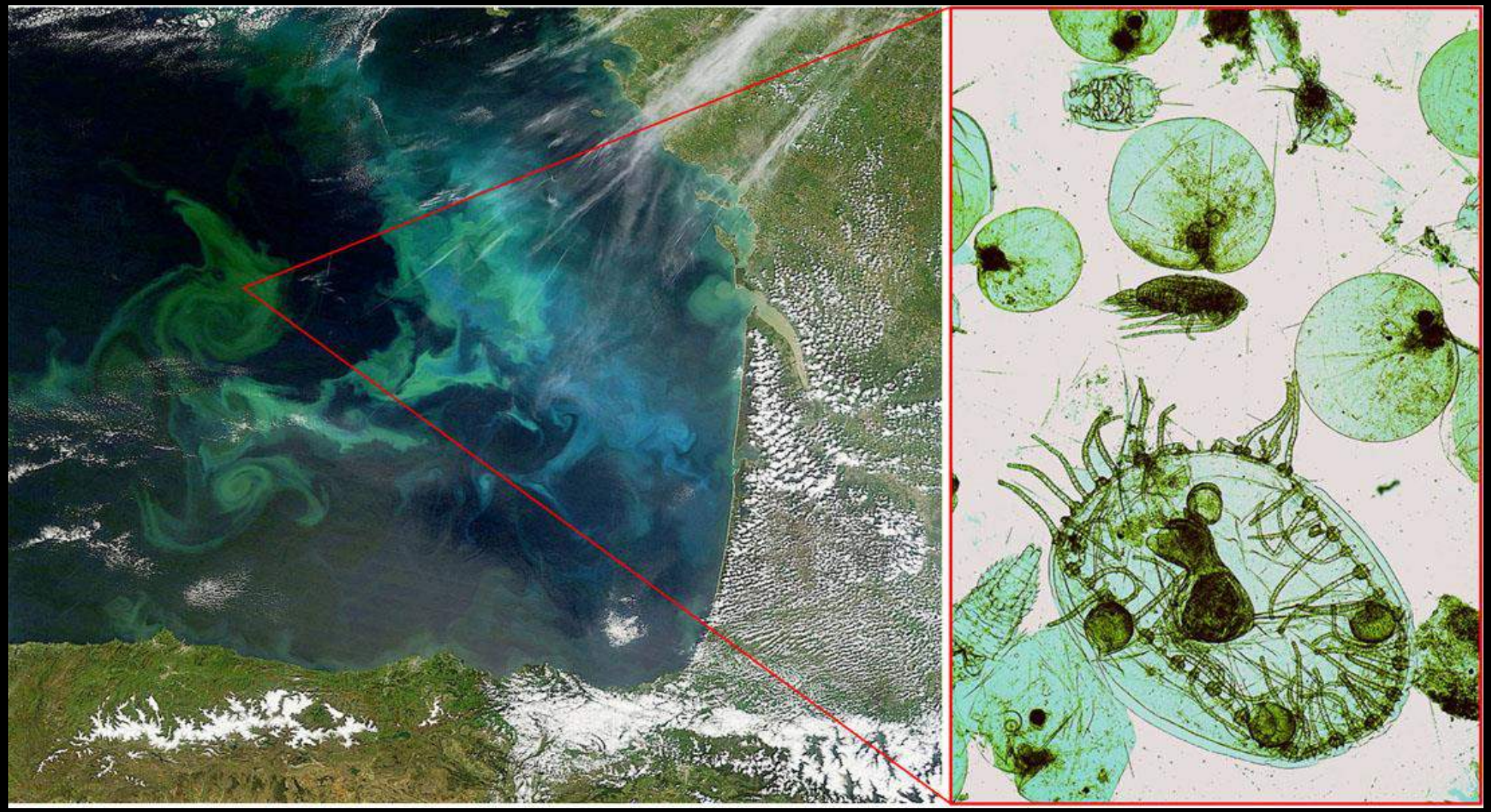
Ca serait une catastrophe pour les Amérindiens, la biodiversité, le cycle de l'eau … mais ça ne changerait rien vis-à-vis de l'O_2 et du CO_2.



Mais ce que font les Brésiliens, c'est pire ! A terme, cela reviendrait à remplacer 5 millions 5 km^2 de forêts par 5 millions de km^2 de champs de soja et de pâturages à vache. Le stock de carbone passerait de 125.10^9 t à 20.10^9 t, ce qui à terme libérerait 378.10^9 t de CO_2 et consommerait 273.10^9 t d'O_2. Ce CO_2 libéré correspondrait à 20% du CO_2 atmosphérique actuel, mais l'O_2 consommé correspondrait à seulement 0,035% de l'O_2 atmosphérique.

Bruler l'Amazonie pour en faire des champs, c'est hyper grave pour le CO_2, les Amérindiens, la biodiversité, le cycle de l'eau … Mais c'est insignifiant vis-à-vis de l'O_2.

Pourquoi Macron et tous les autres pseudo-écologistes font-ils de fausses annonces et emploient-ils de mauvais arguments pour défendre une « bonne cause » ?



Ce qui est vrai pour les forêts l'est évidemment aussi pour tous les autres écosystèmes à l'équilibre (savanes, mangroves …), plancton des océans compris.

L'O_2 atmosphérique serait donc la contrepartie stoechiométrique de la biomasse. Il ne devrait donc exister dans l'atmosphère que dans la proportion 32 / 12 par rapport au carbone de la biomasse.

La biomasse totale (sol + forêt + animaux + plancton + bactéries + …) contient environ 3000 Gt de carbone (de 2000 à 6000 Gt).

L'atmosphère ne devrait contenir que :
3000 x 32/12 = 8 000 Gt d'O_2

Or l'atmosphère contient environ 1 000 000 Gt d'O_2 (125 fois plus)

D'où vient ce million de Gt d'O_2 (992 000), qui n'ont pas été produits ni par l'Amazonie, ni par le plancton …, qui n'en ont produit que 8 000 Gt à eux tous ?

Puisqu'il y a tout ce dioxygène dans l'atmosphère, il a bien fallu qu'à certains moment Mme *Pénélope Respiration-décomposition* ne détruise pas ce que venait de faire Mme *Pénélope Photosynthèse*. Qui a retenu la main de *Pénélope Respiration-décomposition* ?

"Penelope Unraveling Her Work at Night" 1886 Dora Wheeler

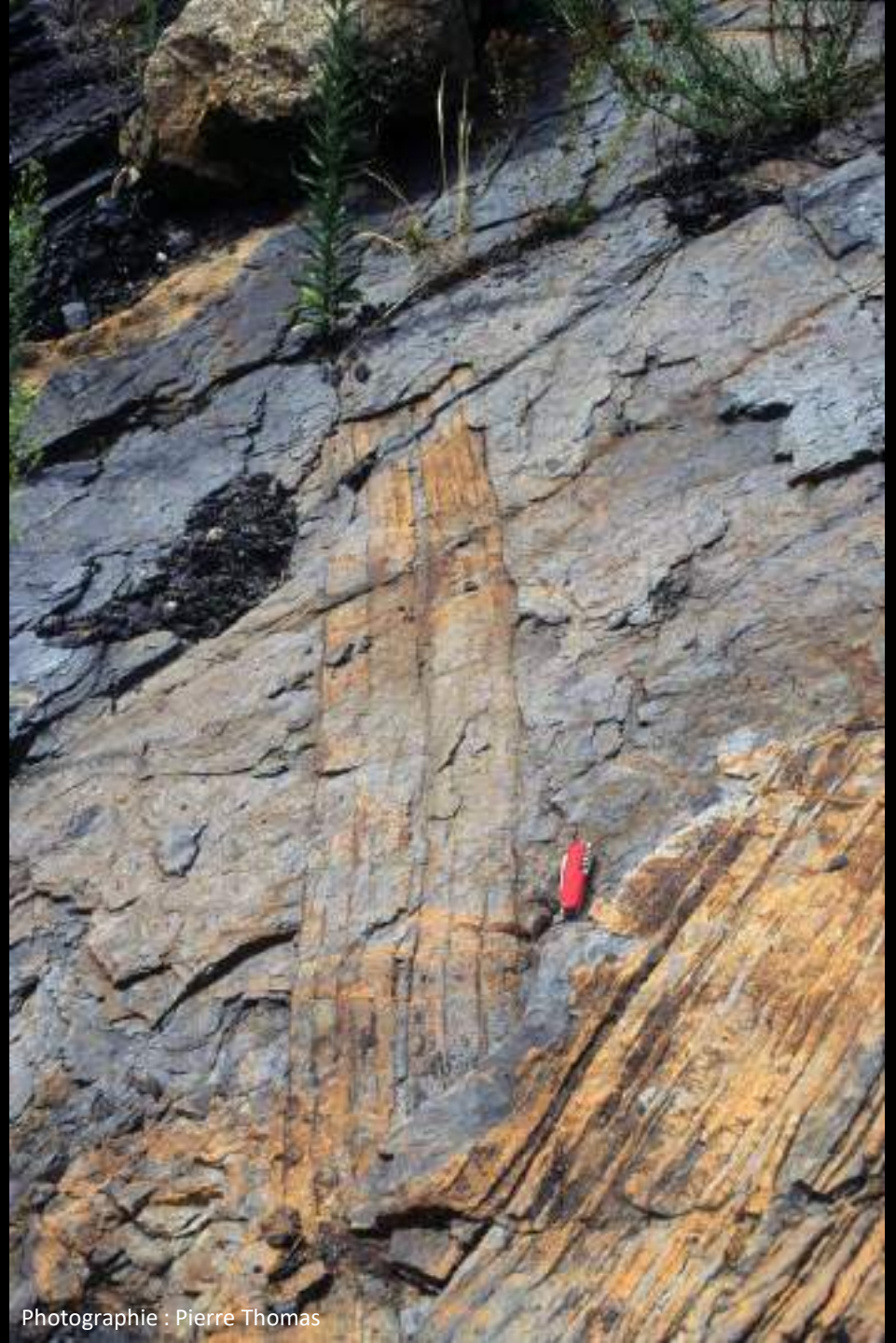
Cette non respiration-décomposition est en général extrêmement marginale, mais ça arrive, et c'est arrivé.

Qui devons nous « remercier » de cette action qui a modifié la face du Monde ?

Il peut y avoir des débris d'organismes terrestres qui échappent à la « pourriture » après leur mort, et arrivent dans les lacs ou en bord de mer…

Si des circonstances géologiques recouvrent les forêts d'origine ou les arbres morts arrivés à la côte, cela les empêche de pourrir et ils deviennent …

… du charbon.

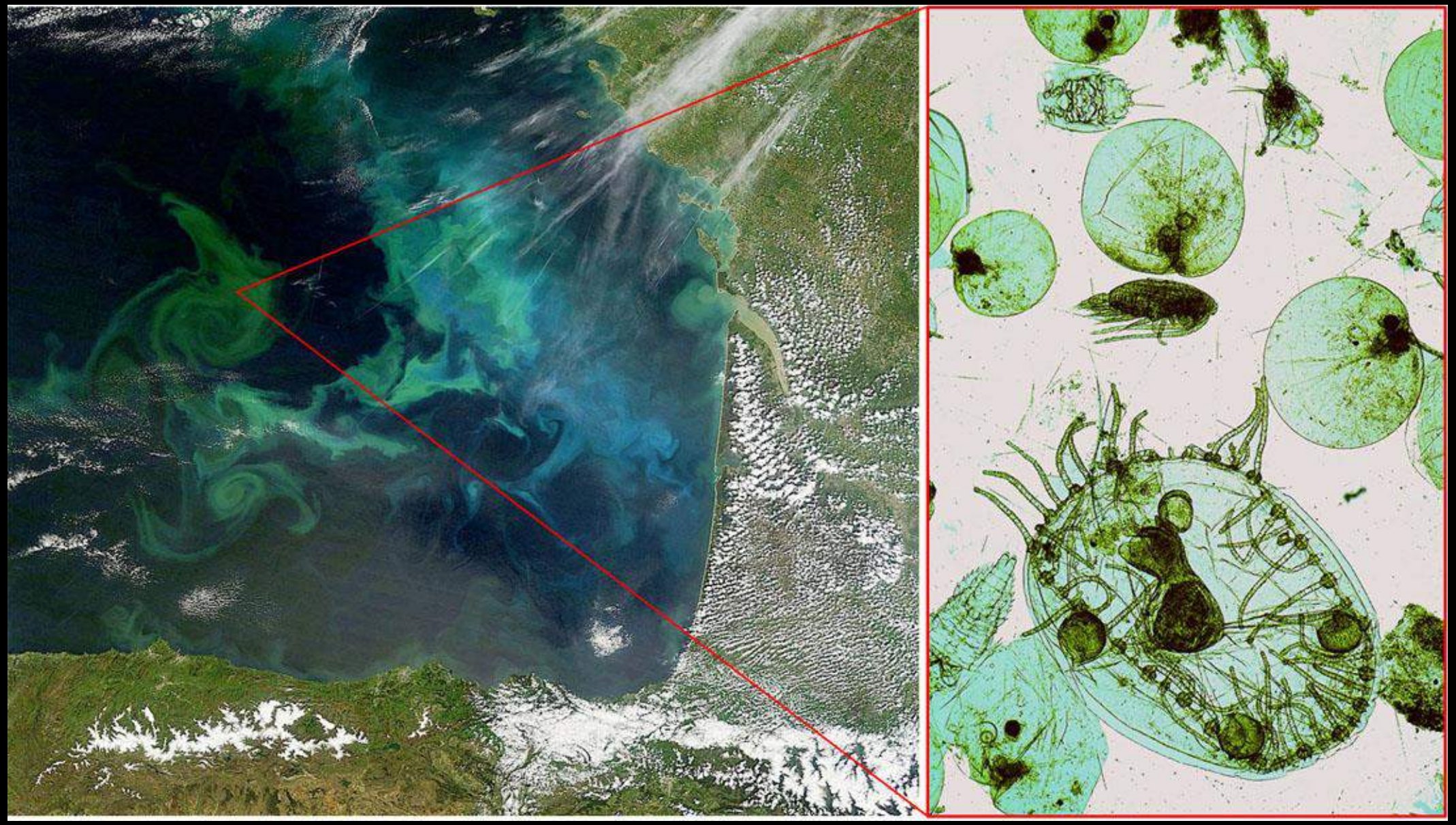


Exemples français de troncs d'arbre dans des gisements de charbon (Hérault et Gard), des forêts d'il y a 300 Ma.

De très fins débris végétaux, des substances venues du sols (acides humiques …) peuvent s'échapper des continents par les fleuves (ici en Guyane), et atteindre la mer puis le grand large.

Et là, si ces substances se mélangent à des sédiments argileux (imperméables, qui arrêtent l'O_2), et reçoivent le renfort...

Cette exportation de matière carbonée par les fleuves est la seule voie, extrêmement faible, mais peut-être pas tout à fait nulle, qu'a l'Amazonie pour avoir un bilan faiblement positif dans les flux d'O_2. Est-ce à cela que pensait Macron et tous les autres ? J'en doute !



… du plancton, alors substances et micro-débris venus des continents, cadavres de plancton, argiles … se déposent, et deviennent…

Photographie : Pierre Thomas

… des argiles ou des marnes noires, qui dans certaines circonstances vont donner du pétrole ou du gaz, qui en général restent en profondeur mais qu'on peut alors aller chercher par des forages dans certaines conditions.

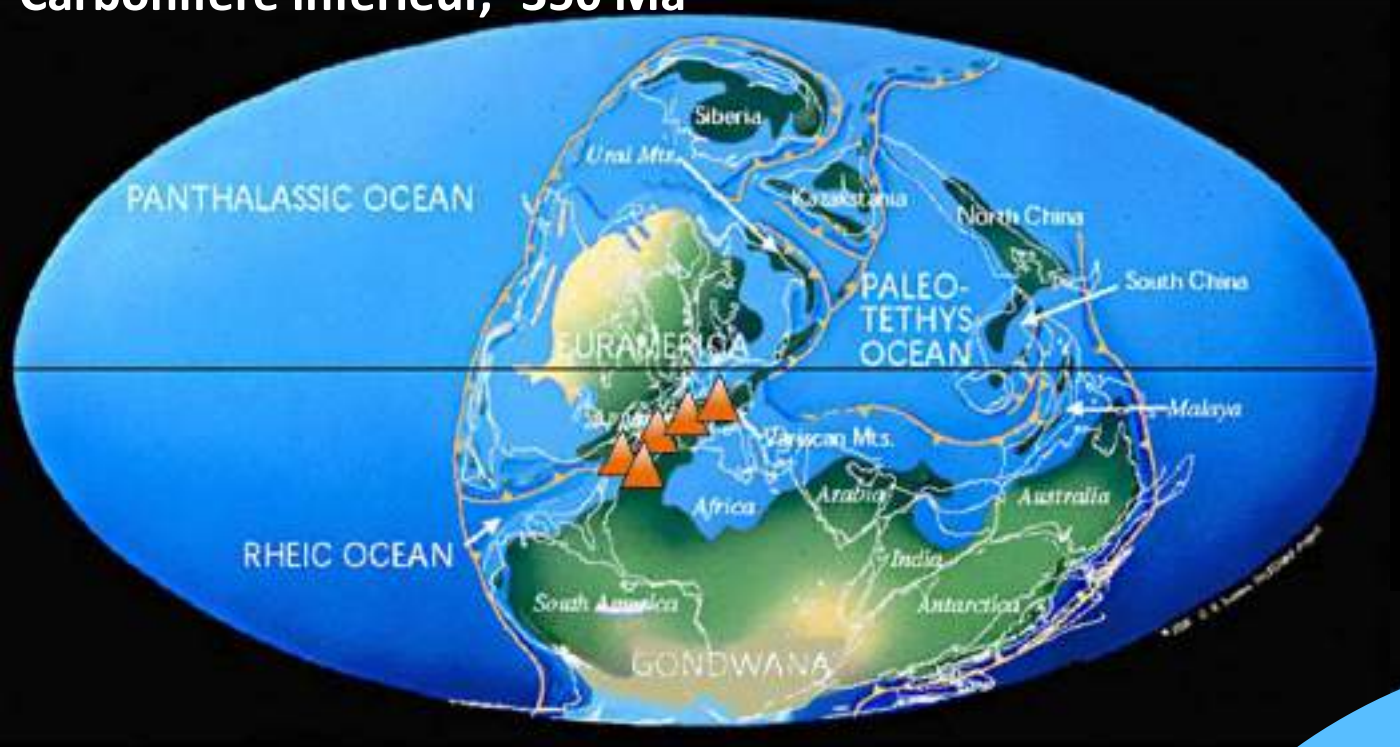
Photographie : Pierre Thomas

D'où vient donc le stock d'O_2 de l'atmosphère, celui que nous respirons en ce moment, même si ce stock reçoit et perd en permanence de l'O_2 de façon équilibrée ?

De la photosynthèse ancienne quand (et seulement quand) celle-ci a été suivie d'une sédimentation puis d'une « fossilisation » de matière organique.

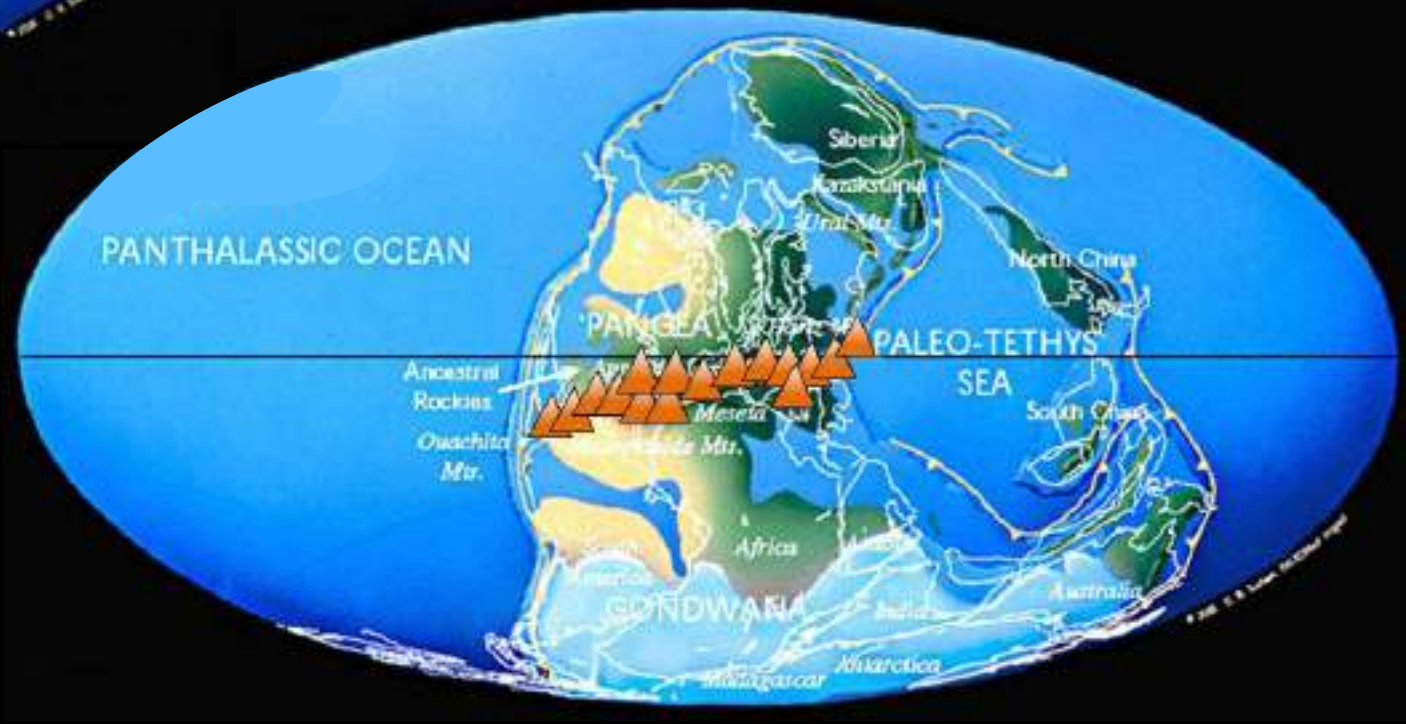
À chaque fois que des processus géologiques entraînent la fossilisation de 12 g de carbone organique, les 32 g d'O_2 (sous-produits de la photosynthèse qui a produit ces 12 g de C) ne sont pas consommés par respiration et décomposition. Ce sont « tous ces 32 g d'O_2 » qui se sont accumulés dans l'atmosphère.

Carbonifère inférieur, -350 Ma

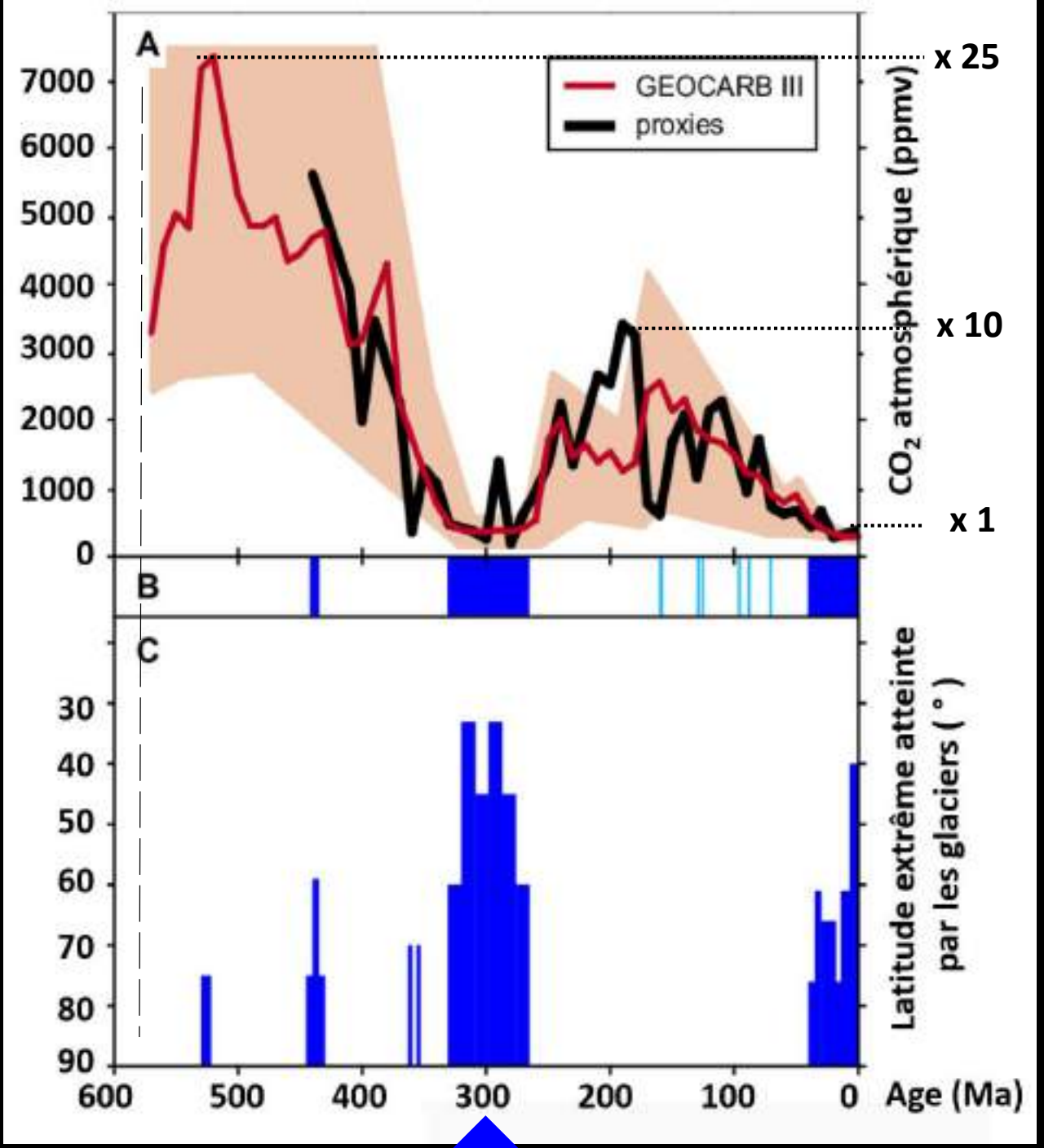


Cette formation de charbon d'il y a 300 Ma, la plus importante de tous les temps géologiques, s'accompagne du plus terrible et plus long coup de froid des 600 derniers millions d'années.

Tout le blocage de CO_2 stocké par la formation de tout ce charbon fait baisser l'effet de serre, et c'est une des deux causes principales de ce coup de froid majeur.

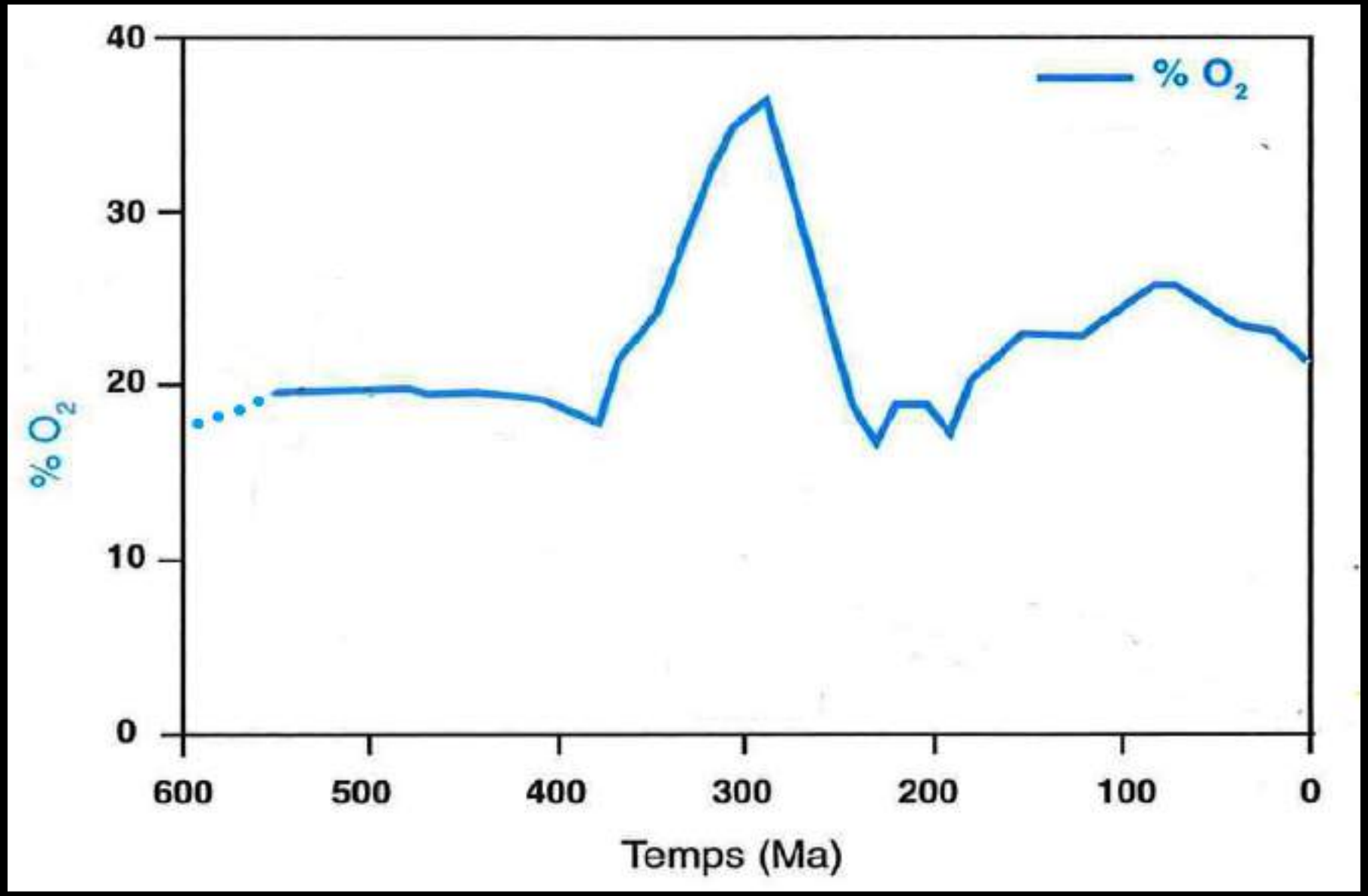


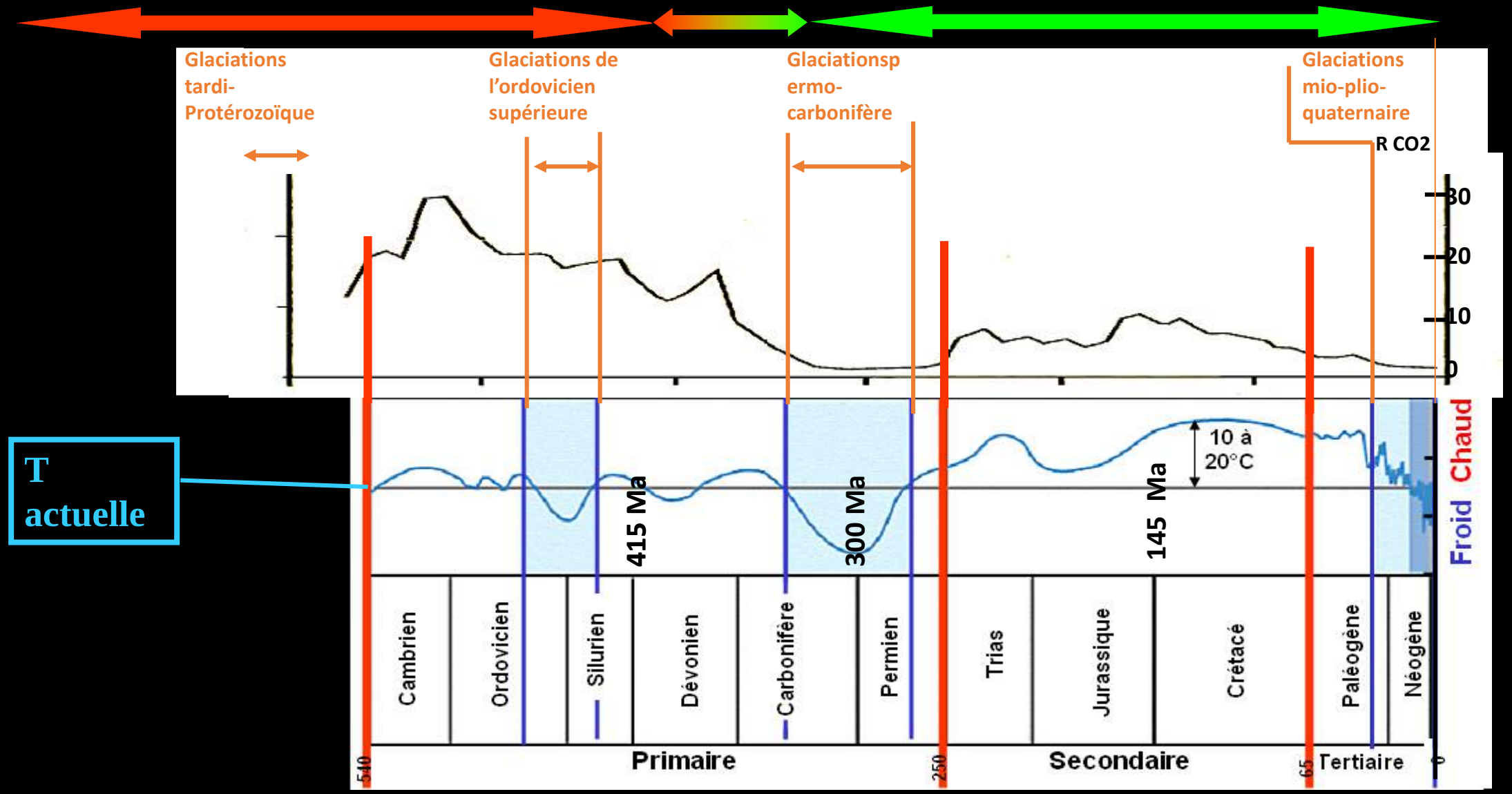
Carbonifère supérieur, -300 Ma



Cette glaciation du Carbonifère a duré plus de 50 millions d'années et s'étendait jusqu'à la latitude de Sydney. Pendant ce temps là, le CO_2 était à son minimum. Puis il s'est mis à remonter, puis à redescendre grâce à d'autres « flèches » du cycle du carbone.

Une conséquence « annexe » : la teneur de l'atmosphère en dioxygène à cette époque atteint son maximum >35 %, contre 21 % aujourd'hui.

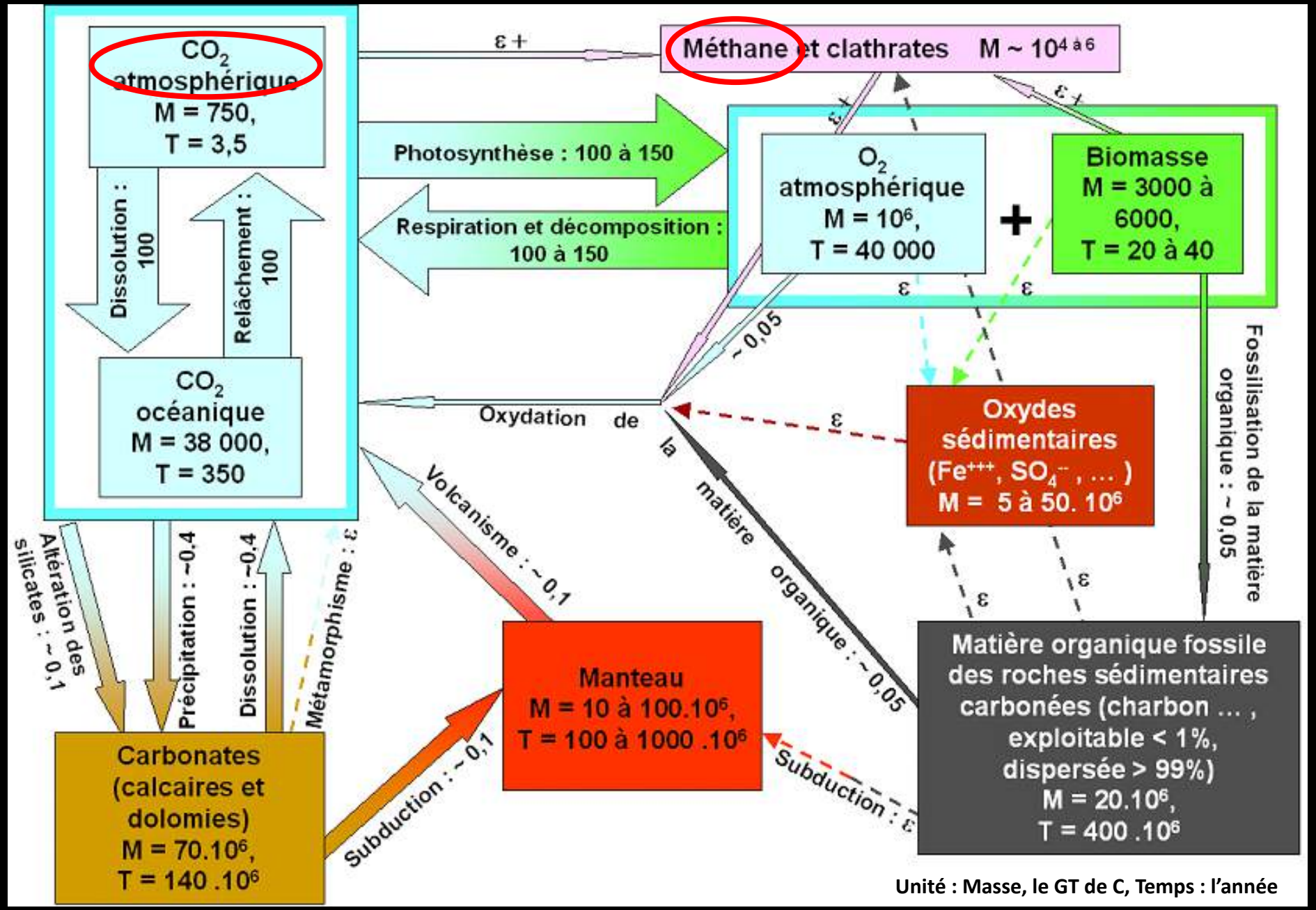




Les relations température globale et taux de CO_2. Ca « marche » bien depuis 400 Ma, pas avant ! Il nous reste du travail pour tout comprendre ! Tout ça à cause des variations d'importances relatives des échanges dans le cycle du carbone.

Qu'est ce qui peut faire varier naturellement le CO_2 atmosphérique ?

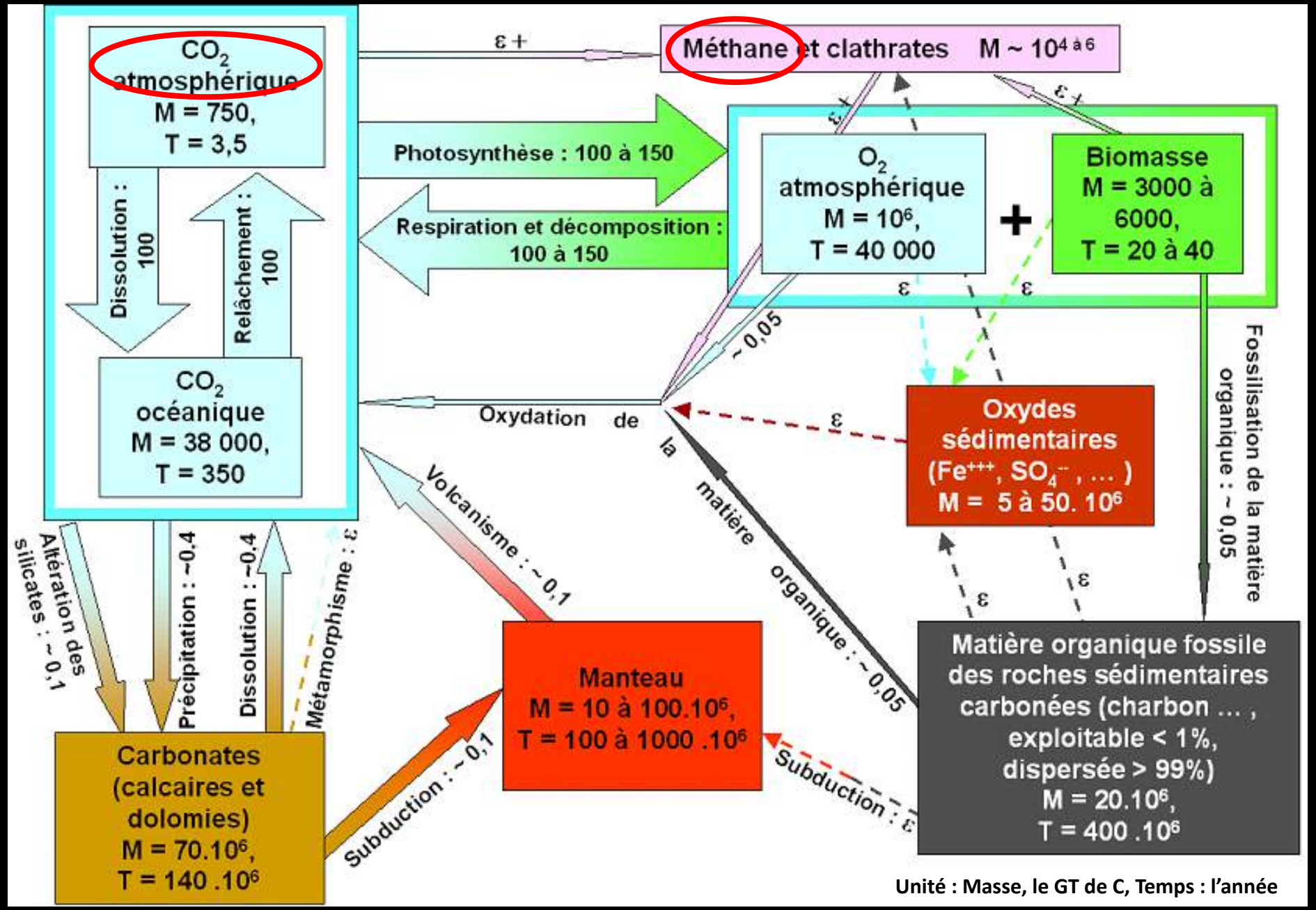
Toutes ces flèches peuvent varier naturellement pour des raisons géologiques. Ces variations naturelles sont lentes, plus lentes que celle qu'on provoque aujourd'hui !



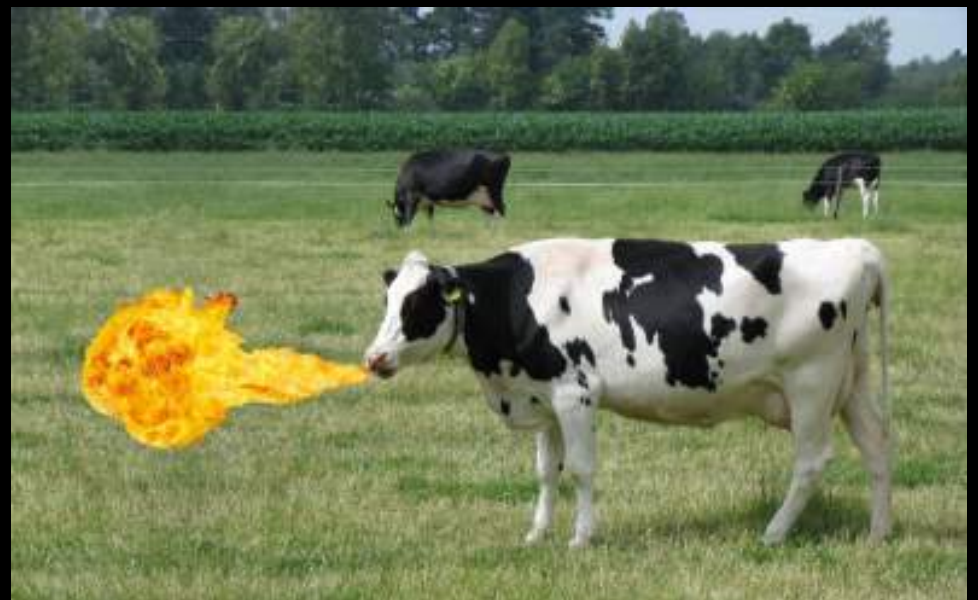
Calcaires et silicates calciques + montagne + vie, charbon et pétrole + volcans + océan + … , tout ça varie avec le temps → Le CO_2 varie → Le climat mondial varie.

Qu'est ce qui peut faire varier naturellement le CO_2 atmosphérique ?

Toutes Ces variations naturelles sont lentes, plus lentes que celle qu'on provoque aujourd'hui, sauf une ! Ai-je le temps d'en parler ? Il s'agit du méthane (CH_4).

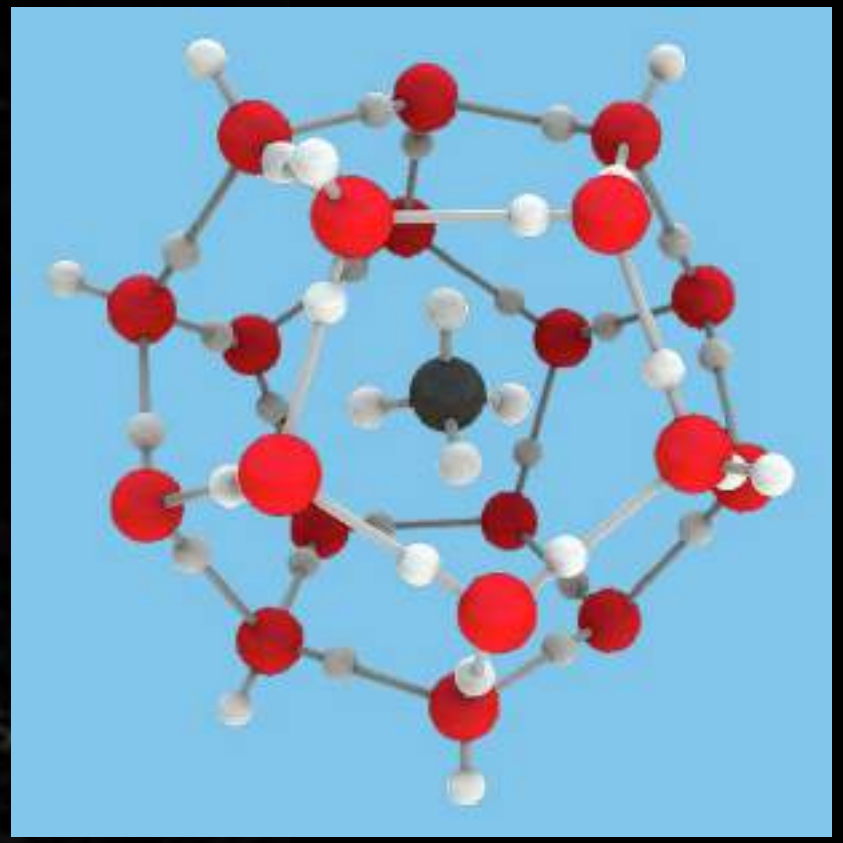


La nature peut modifier un autre composé minoritaire de l'atmosphère, archi-minoritaire (1,7 ppmv aujourd'hui, 300 fois moins que le CO_2) mais avec de grands effets potentiels : le méthane (CH_4), puissant gaz à effet de serre.
Le méthane terrestre peut avoir une origine non biologique (péri-volcanique) mais surtout biologique. Des micro-organismes produisent du méthane par leur métabolisme, (1) surtout dans l'estomac des termites ou des ruminants, et (2) dans les marécages. De plus (3), la dégradation thermique des charbons et hydrocarbures naturels (d'origine biologique)
produit aussi du méthane qui peut atteindre la surface.



Photographie : Pierre Thomas

À haute pression (à plus de 1000 m de profondeur sous la mer) et/ou à basse température (en subsurface dans le permafrost), le méthane réagit avec l'eau <u>de façon réversible</u> pour former des hydrates de méthane, glaces solides appelés clathrates.

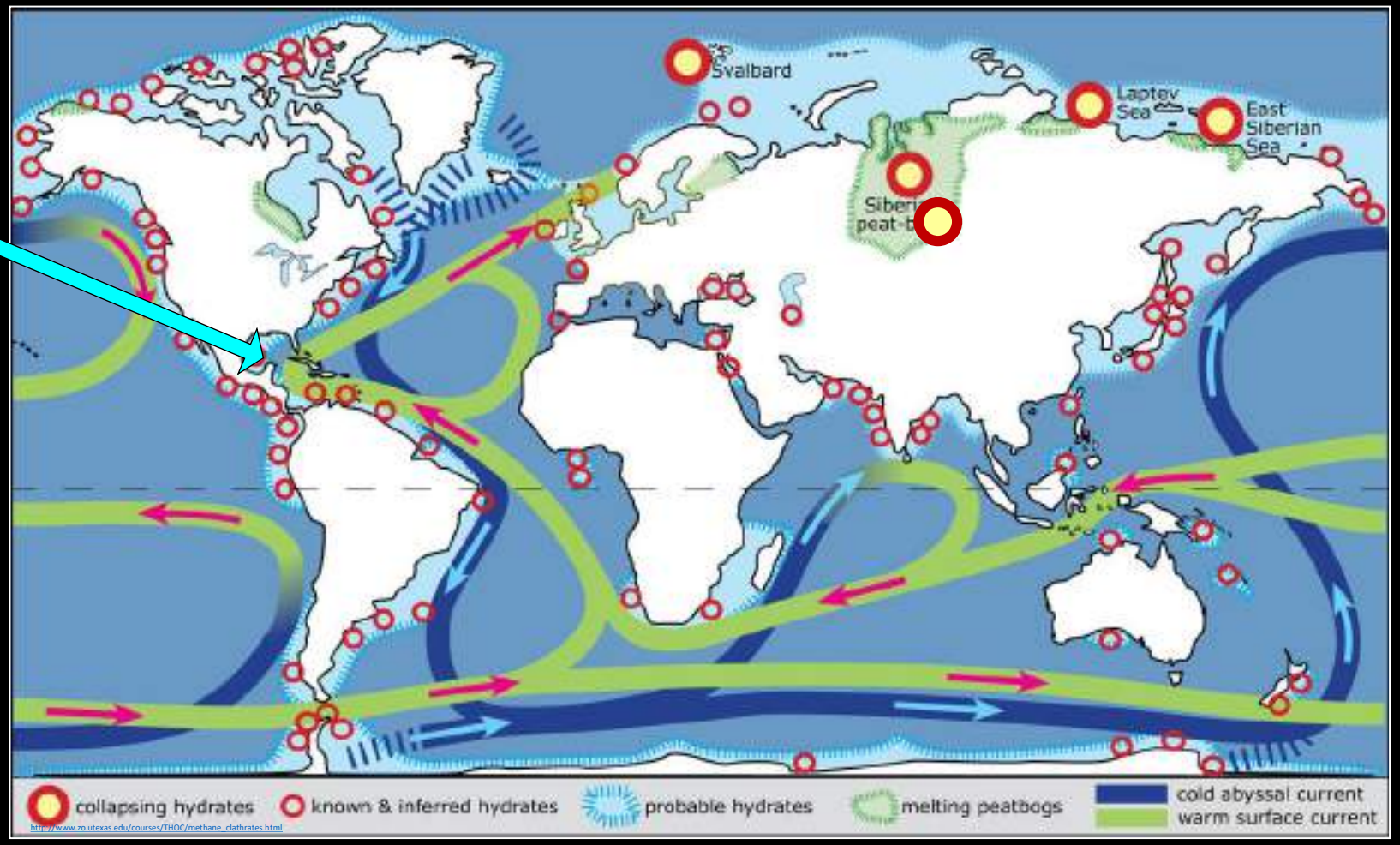


Si il y a (ou y a eu) production de CH_4 au bas des talus continentaux, cas classique comme ici, ou si des micro-organismes en produisent (ou en ont produit) sous le permafrost, ce CH_4 s'y stocke sous forme de clathrates.

Fond du Golfe du Mexique

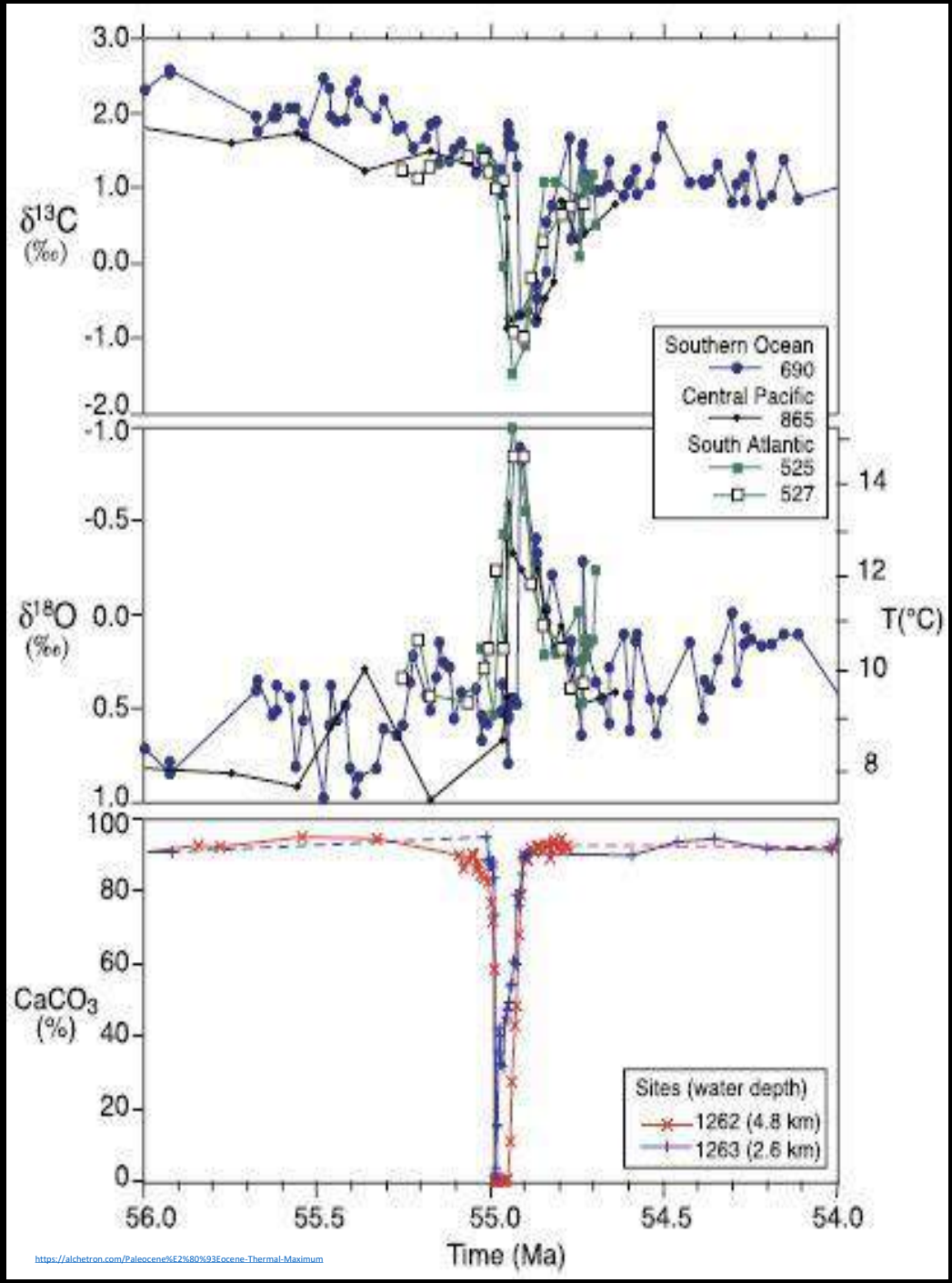
Voici la carte des clathrates marins et continentaux, dont ceux qui commencent à donner des signes de déstabilisation.

« Colline » de clathrates au fond du Golfe du Mexique (cf diapo précédente)



Si quelque chose déstabilise certains de ces clathrates → coup de chaud → nouvelle déstabilisation → la température monte → ça s'emballe.

C’est déjà arrivé au moins 1 fois, il y a 55,5 Ma. Cette « bouffée de chaleur » très brève (quelques milliers d’années) a été en moyenne de +6 à +8 °C. Elle aurait été déclenchée par un volcanisme sous-marins dans l’Atlantique Nord, qui aurait déstabilisé les clathrates. Elle correspond à une mini-crise biologique. La diversité des primates a d’ailleurs explosé juste après cette crise.



Diminution du ^{13}C, signe une forte libération de CH_4

Diminution du ^{18}O, signe une forte augmentation de température (+6 à + 8°C)

Diminution des carbonates des sédiments à cause d’une acidification de l’eau de mer

Ce coup de chaud ancien et d'origine naturel est très étudié, car c'est un « modèle en vraie grandeur » d'une très rapide augmentation de température.

Et une telle déstabilisation des clathrates pourrait être déclenchée par « notre » coup de chaud. Une potentielle épée de Damoclès !

https://lecoureurets.onfils.blog/2019/09/06/la-terre-en-feu/