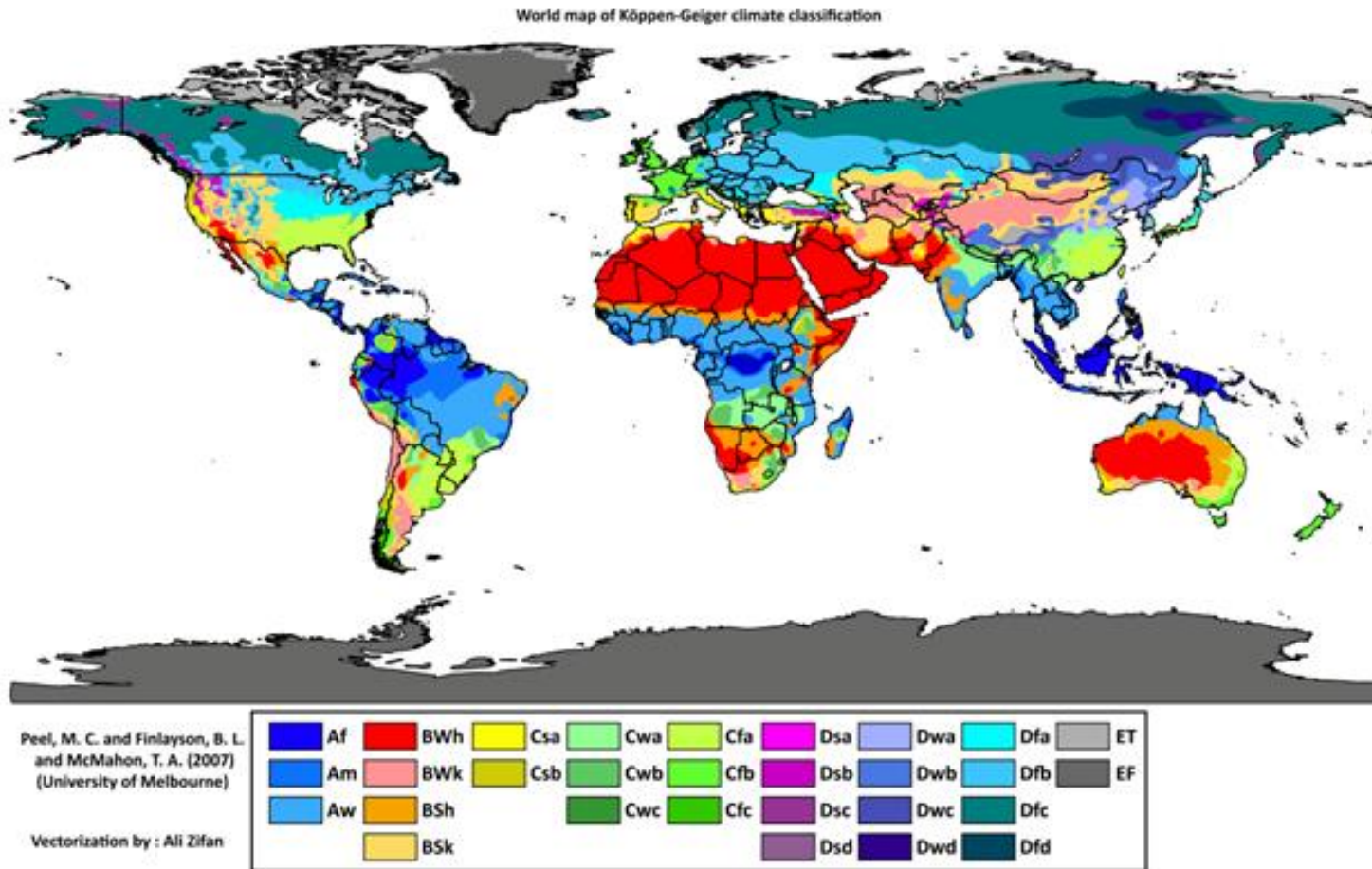




Facteurs climatiques naturels et anthropiques

Gérard MORIN An 61
7 octobre 2025

Les climats



Quels sont les critères qui caractérisent ces différents climats ?

Quelques exemples :

Température moyenne annuelle

- du mois le plus froid
- du mois le plus chaud

Précipitations moyennes annuelles

- du mois estival le plus sec
- du mois hivernal le plus humide

Etc.

Classification de Koppen :
tropical, sec, tempéré, continental et polaire (ci-dessus 29 climats)

L'indicateur de référence du GIEC

Température moyenne mondiale de surface (Global Mean Surface Temperature - GMST)

La moyenne mondiale estimée des températures de l'air près de la surface sur les terres et les glaces terrestres et marines,

et de la température de surface de la mer (SST) sur les régions océaniques libres de glace,

avec des changements normalement exprimés sous forme d'écarts par rapport à une valeur par rapport à une période de référence spécifiée.

(Glossaire du 6^{ème} rapport – traduction officielle)

C'est donc la moyenne des 29 climats de Koppen : pôles, zones tropicales et zones tempérées

La période de référence est 1850-1900 : avant les satellites et les bouées ARGO, principalement les stations météorologiques de l'hémisphère nord

Les facteurs climatiques

FACTEURS NATURELS

SOLEIL

Distance par rapport au soleil

Activité solaire

Effet du soleil sur les océans

Effet du soleil sur les terres

Effet de serre

VOLCANISME

Terrestre

Sous-marin

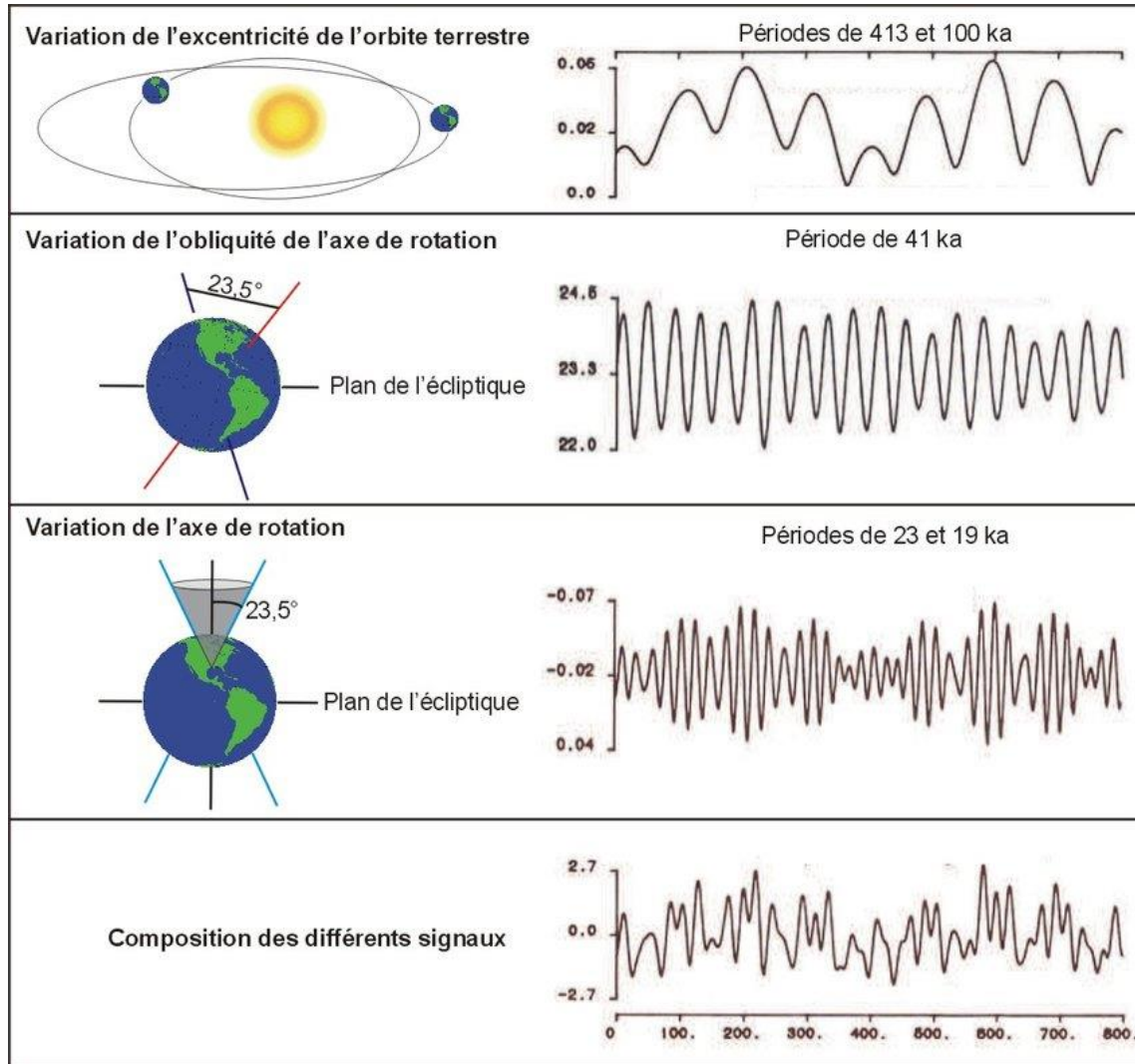
FACTEURS ANTHROPIQUES

Gaz à effet de serre

Aérosols

Ilots de chaleur urbains

Théorie de Milankovitch



Distance Soleil – Terre :
15 millions de Km

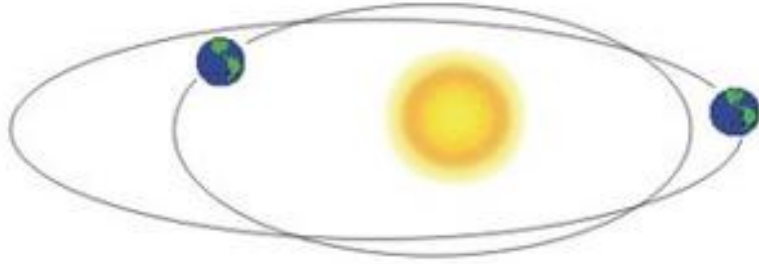
Les variables de Milankovich :

- Excentricité de l'ellipse
- Obliquité de l'axe de rotation
- Précession

La composition des 3 variables est en fait peu prévisible.

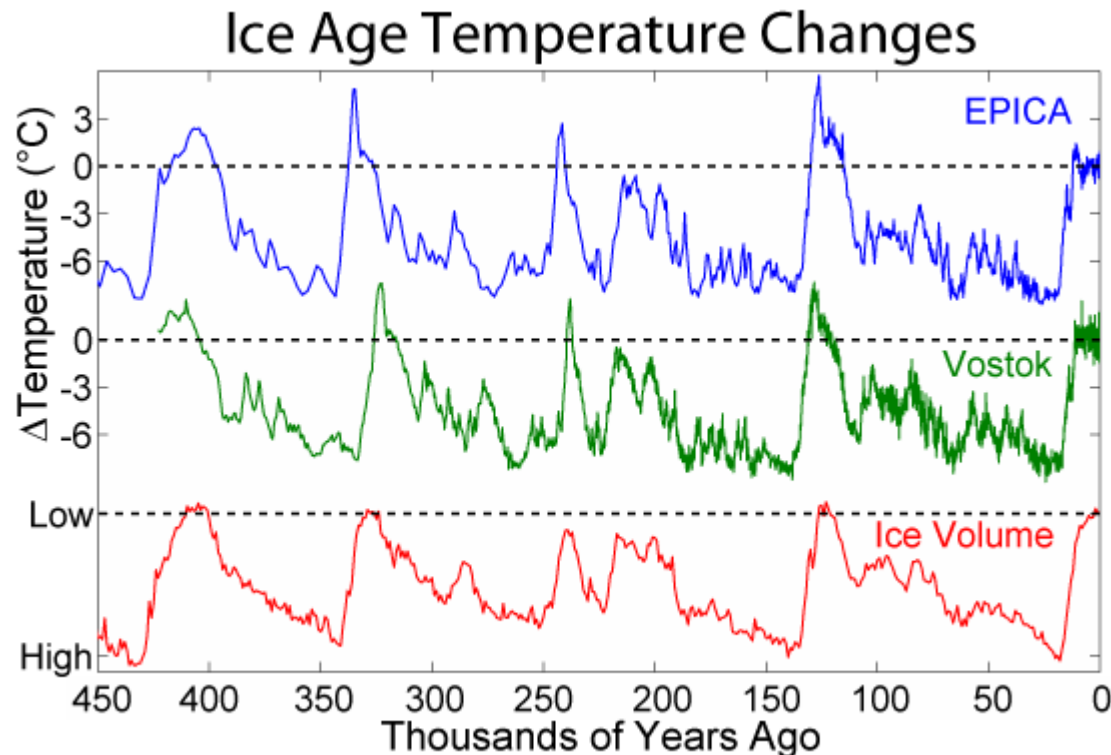
Les fréquences sont en milliers d'années (ka)

Effets de l'excentricité



La déformation de l'ellipse résulte de l'attraction de la gravité de Jupiter et Saturne

Ellipse longue → période glaciaire



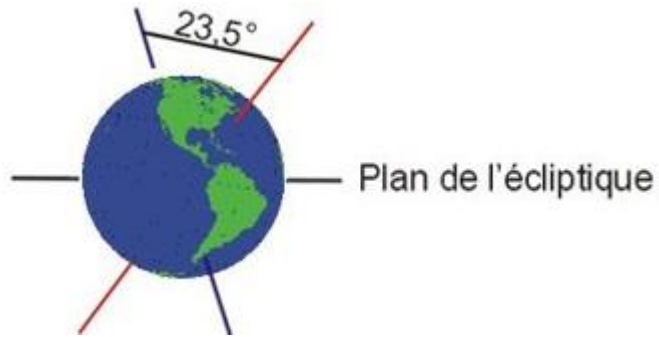
Exemple : Historique dans l'Antarctique :
Sites de Vostok et Concordia (EPICA dôme C)
(D'après Robert A. Rhodes)

Cycle d'environ 100 000 ans sur la période observée

Les périodes glaciaires sont beaucoup longues que les périodes « chaudes » ou interglaciaires

Notre période interglaciaire a 11 000 ans !!

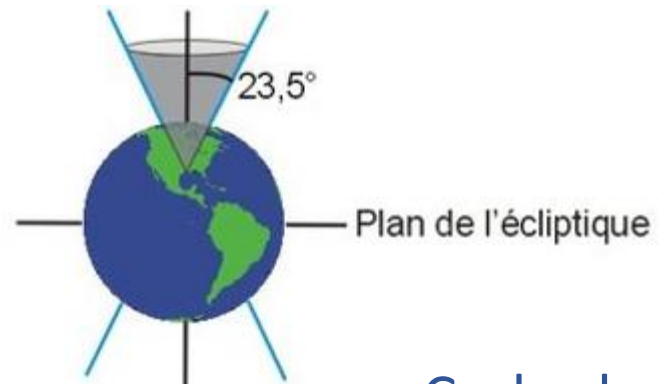
Effets de l'obliquité et de la précession



OBLIQUITE : Angle de l'axe de rotation de la terre avec le plan de son orbite autour du soleil. Angle actuel : $23,45^\circ$

Oscillation de l'angle entre $22,1^\circ$ et $24,5^\circ$
période de 41000 ans

22.1° : saisons peu marquées
 24.5° : saisons plus contrastées

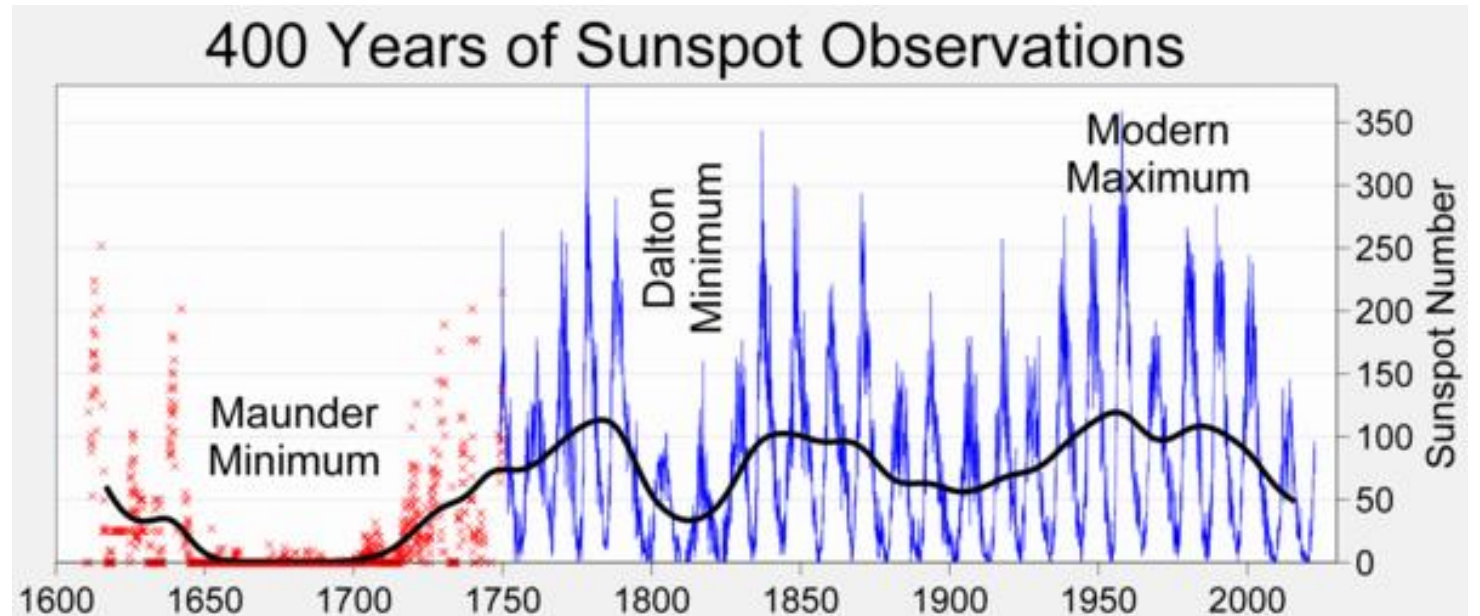
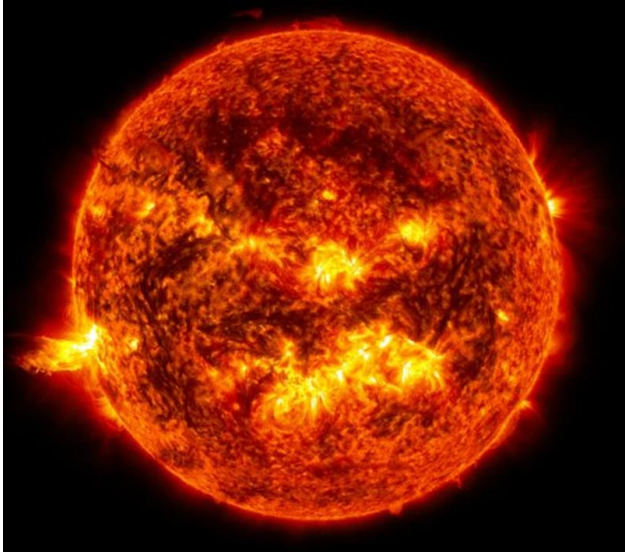


PRECESSION : Rotation « conique » autour de l'axe théorique
Périodes de 23 et 19 ka

Cycles longs ayant peu d'effet sur un millénaire

Les cycles de Milankovitch ne sont pas pris en compte dans les études du GIEC

Activité solaire

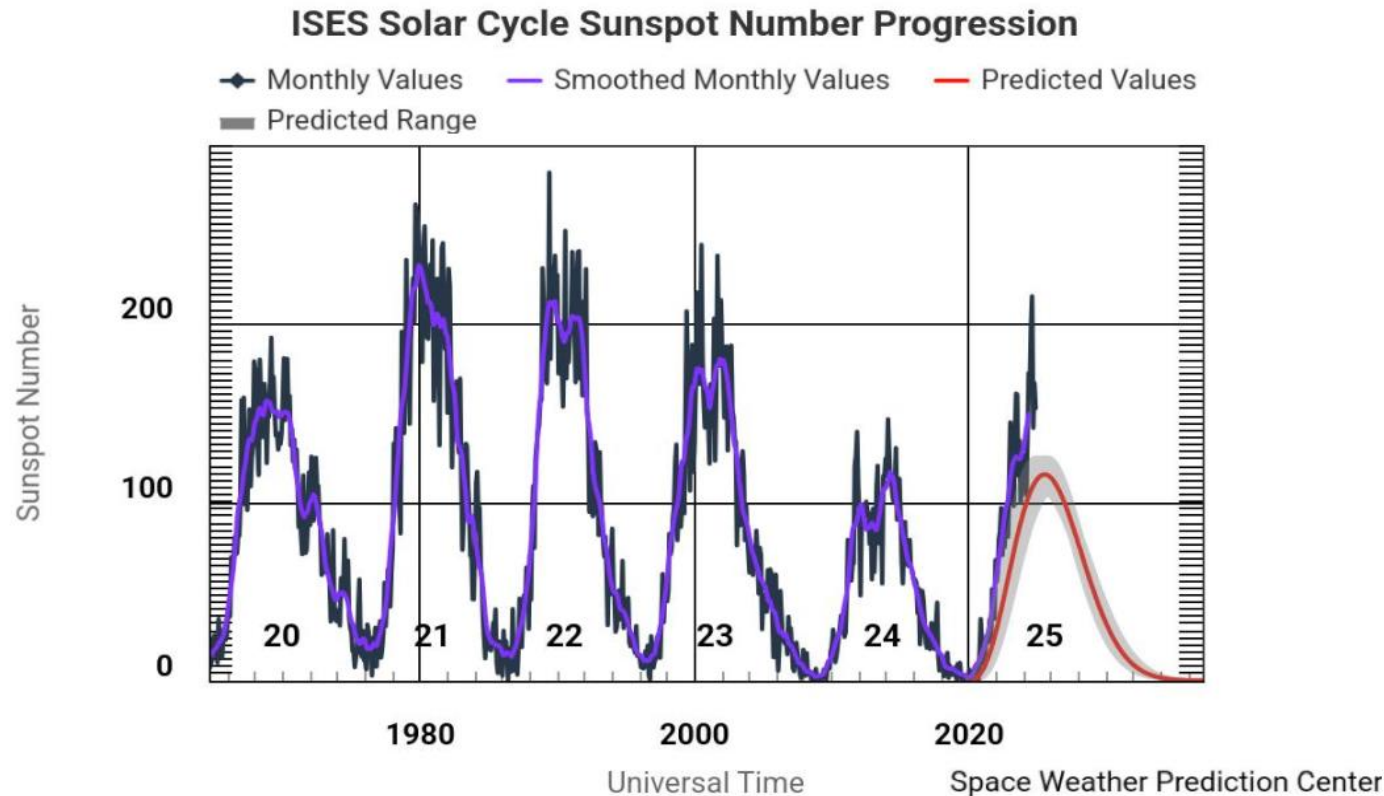


Les taches sont observées depuis le 17^{ème} siècle (lunette astronomique)

L'historique montre une forte corrélation entre le nombre de taches et le climat terrestre :
Petit âge glaciaire – Optimum médiéval – etc....

Phénomènes bien documentés par les historiens (Exemple : Leroy Ladurie – Histoire du climat depuis l'an mil)

Activité solaire



Le cycle 24 a commencé en 2008 et s'est terminé fin 2019.

Le **cycle solaire 25** ... a démarré en décembre 2019 et devrait se poursuivre jusqu'en 2030

Pour l'instant, il est plus actif que le cycle 24 et au dessus de l'hypothèse initiale des experts.

GIEC 5^{ème} rapport– FAQ 5.1 : Les modifications de l'éclairement énergétique solaire jouent un grand rôle dans la variabilité du climatEn dépit des incertitudes touchant l'activité solaire à venir, on estime avec un degré de confiance élevé que les effets de l'activité solaire,..., seront beaucoup plus réduits que les changements imputables aux effets anthropiques. (!!! ???)

Effet du soleil sur les océans

Surface des océans : Hémisphère nord : 62 % / Hémisphère sud : 82%



Pénétration de la part visible de la lumière solaire : le bleu jusqu'à 245 m, le rouge qu'à 2,6m et les Infra-Rouges (IR) à une vingtaine de microns.

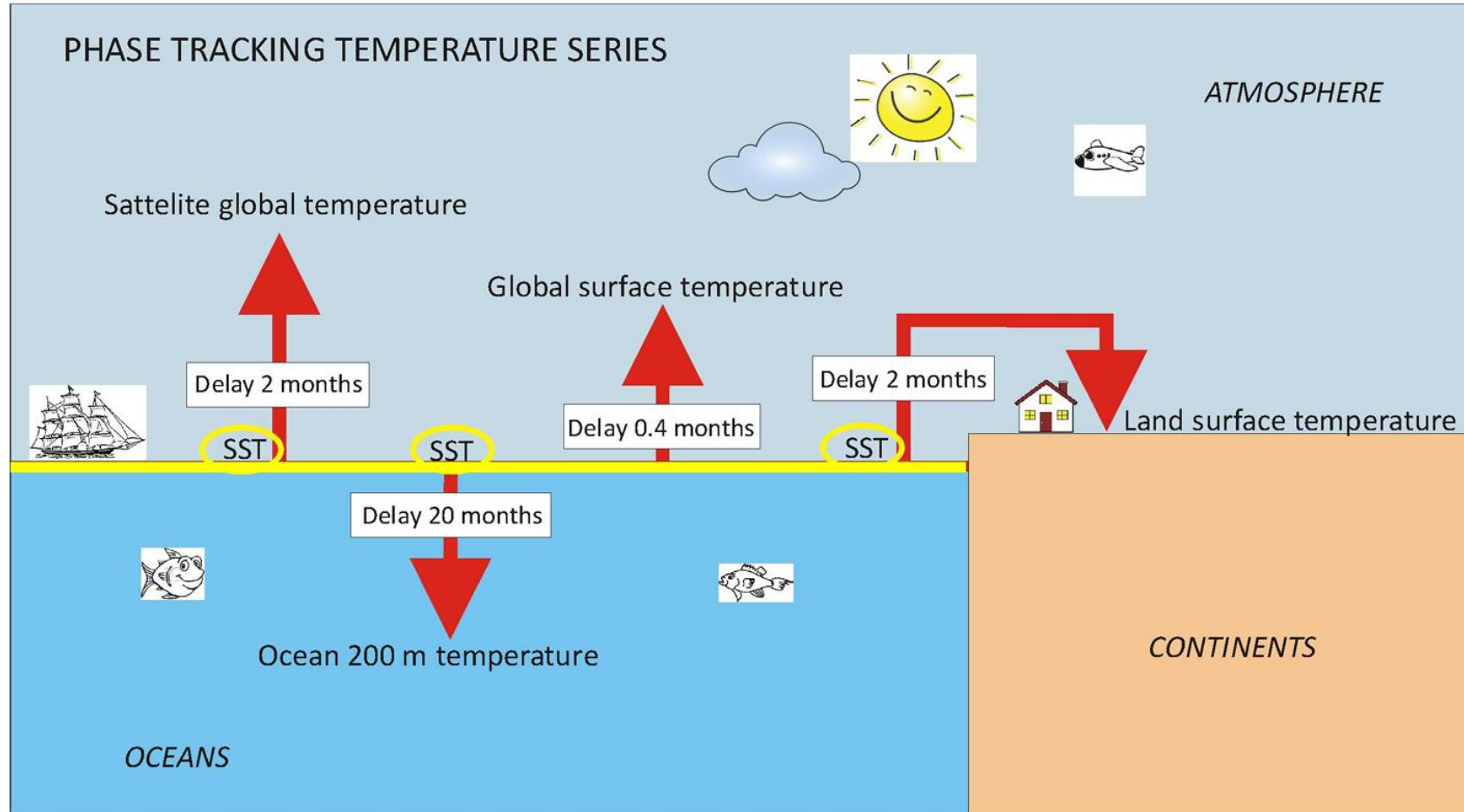
Effet de l'échauffement de la surface :

- réémission d'une grande quantité d'énergie IR, source du réchauffement atmosphérique
- évaporation de vapeur d'eau, principal gaz à effet de serre

Effet maximum si le rayon solaire est à la verticale, moyen s'il est oblique et nul s'il est tangent

Capacité de stockage thermique : 1000 fois celle de l'atmosphère

Propagation du réchauffement de surface

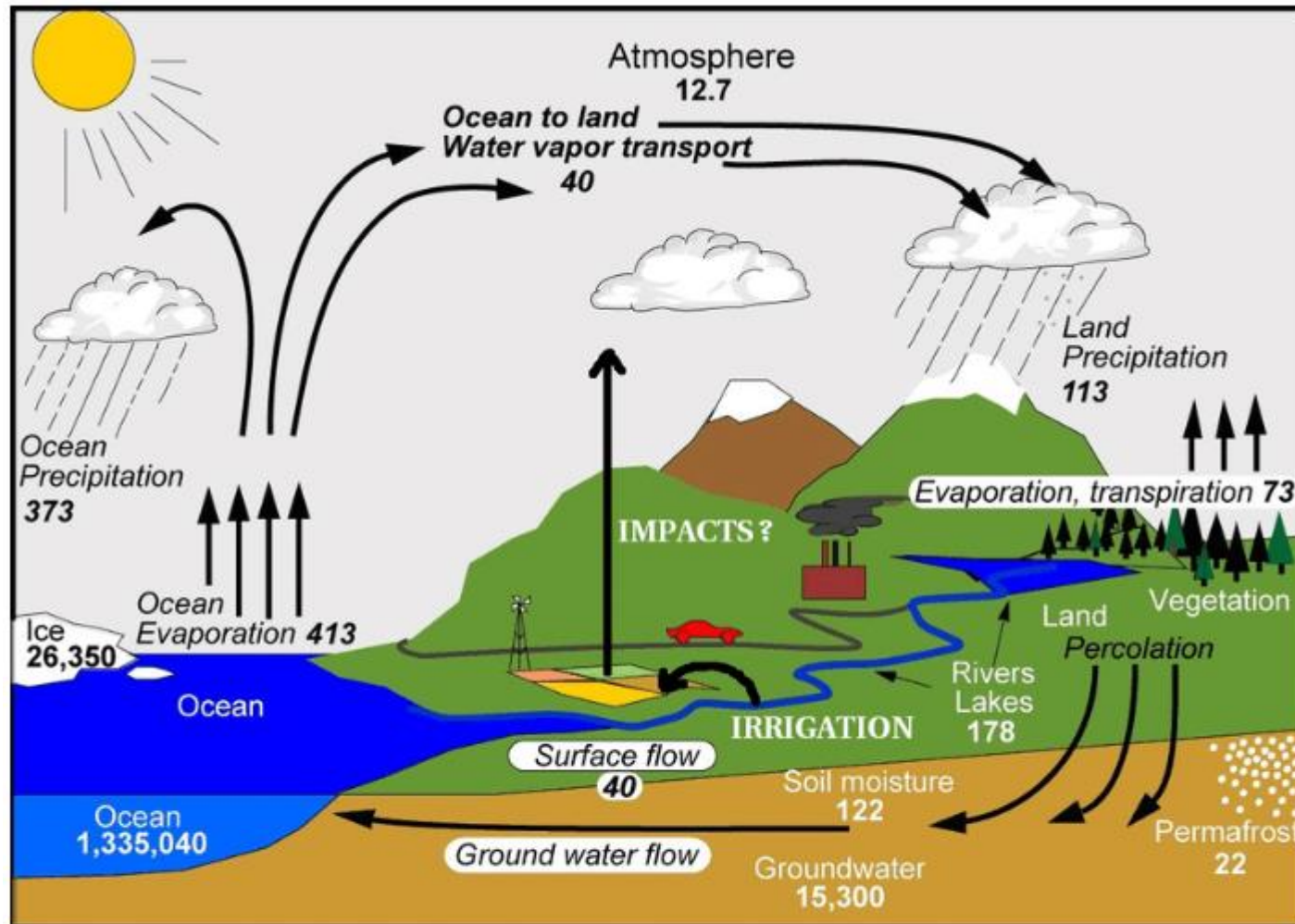


SST :
Sea Surface Temperature

Source:
Humlum

The global temperature signal originates
at the ocean surface !

Le cycle de l'eau

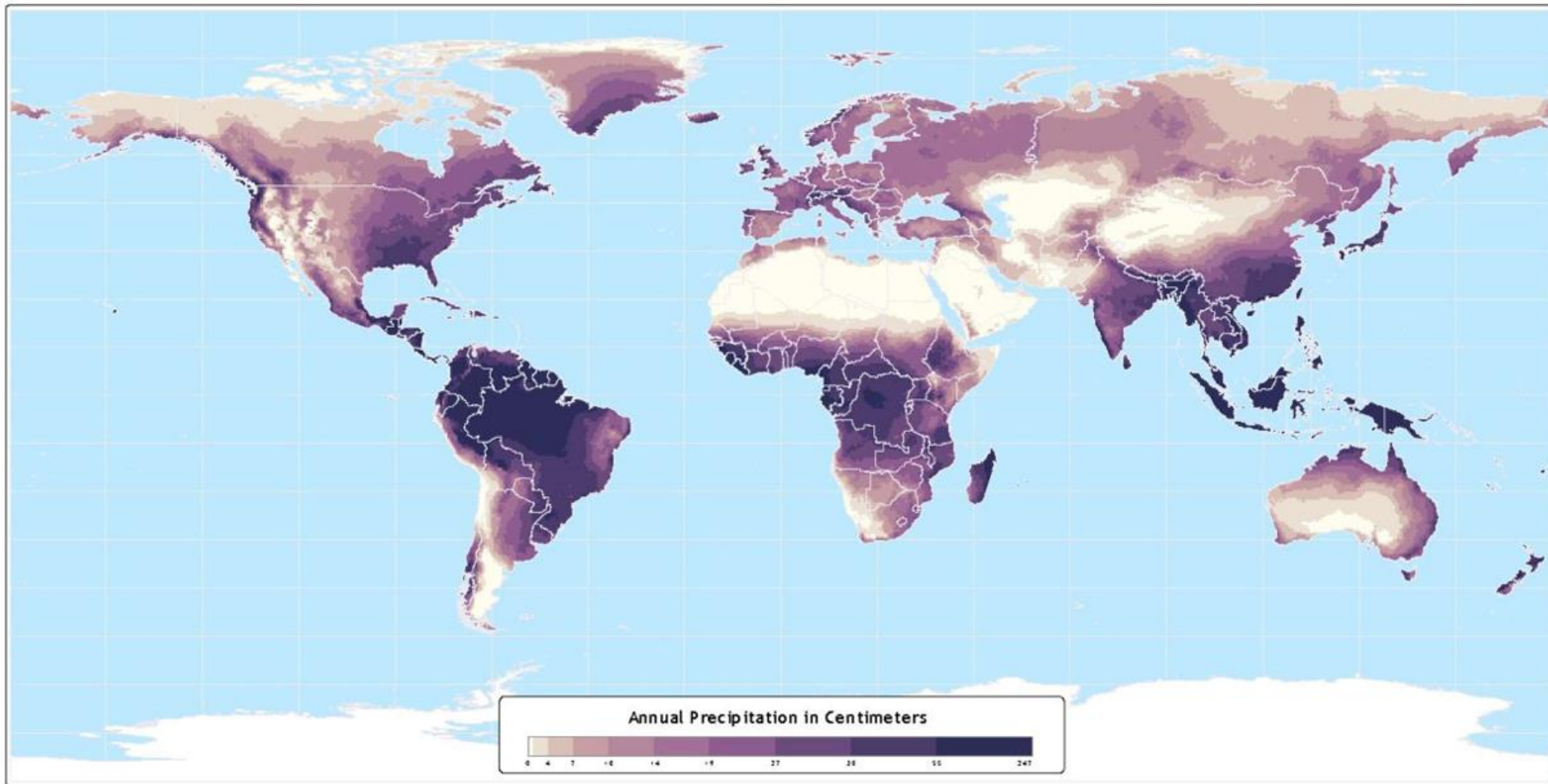


Estimation des flux et des stocks

Source : ResearchGate

Cycle de l'eau et estimations des stocks et flux en moyenne globale sur Terre (10³ km³ pour les stocks, 10³ km³ .an⁻¹ pour les échanges) [Trenberth et al., 2007]

Répartition des précipitations



Average annual precipitation over land 1960-1990 (mm w.e.).

Source: NASA/Atlas of the biosphere.

Les précipitations selon le GIEC

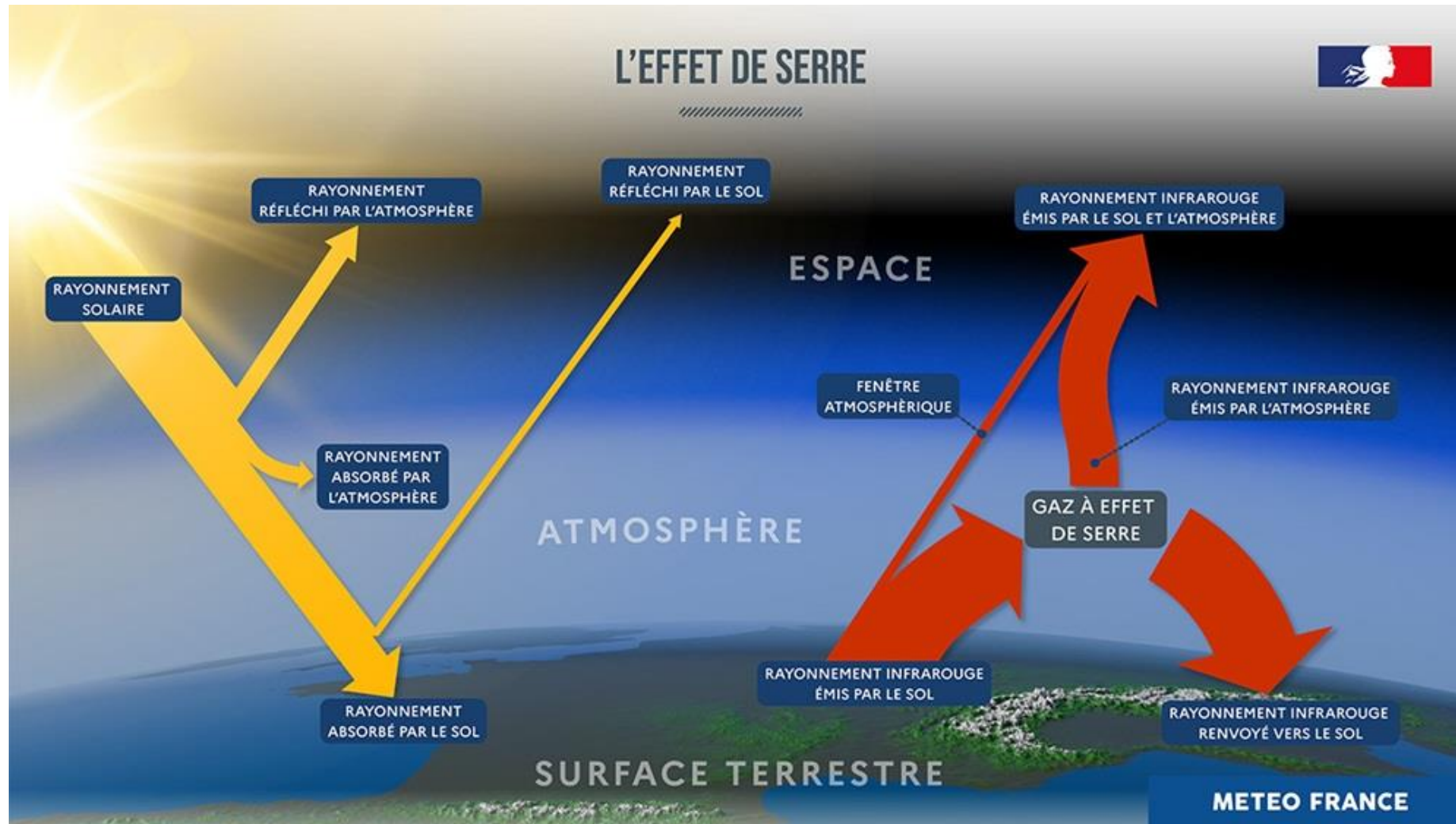
GIEC 5^{ème} rapport – RT6 : Principales incertitudes

L'évolution et la variabilité interne du cycle de l'eau sont toujours mal modélisées, ce qui limite la confiance qu'on peut accorder à l'évaluation de leur attribution.

En outre, les incertitudes en matière d'observation et l'effet important de la variabilité interne sur les précipitations observées interdisent une meilleure évaluation des causes de l'évolution des précipitations. {2.5.1, 2.5.4 et 10.3.2}

Non pris en compte dans les modèles climatiques du GIEC

Effet de serre



Effet du soleil sur les Terres

Surfaces terrestres : Hémisphère nord : 38 % / Hémisphère sud : 18 %

Les rayons du soleil arrivant sur les terres provoquent l'émission d'infrarouge (théorie des corps noirs).

Ce rayonnement infrarouge est sans effet sur l'oxygène et l'azote.

Il a un effet sur la vapeur d'eau, les nuages, le bioxyde de carbone (CO₂), le méthane, l'oxyde d'azote, etc.

Effet qui provoque le réchauffement de l'atmosphère.

Les aérosols peuvent faire obstacle à l'arrivée des rayons du soleil.

L'air chaud s'élève dans un espace de plus en plus grand, se dilate et donc se refroidit.

Hervé LE TREUT

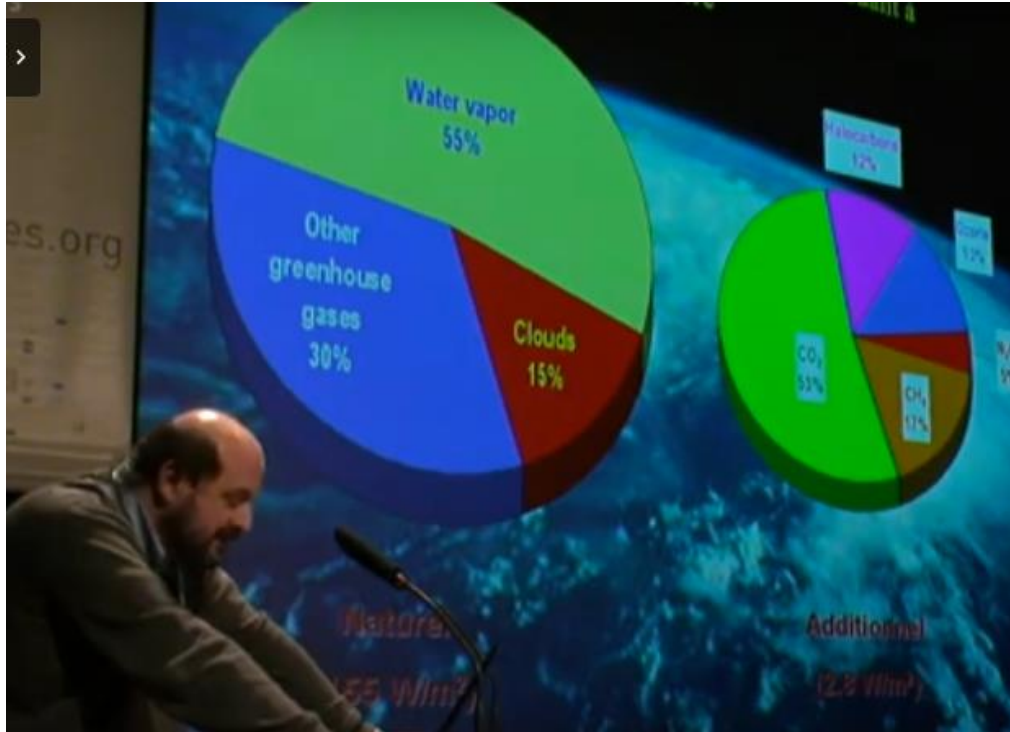
Membre de l'Académie des Sciences

Directeur de l'Institut Pierre-Simon Laplace (2008 – 2019) – (Sciences du climat)

Professeur : Polytechnique , Ecole Normale Supérieure, Science Po, Institut Pierre et Marie Curie, etc...

Membre du Groupe 1 du GIEC : Principes physiques et écologiques du changement climatique
(préparation des 5 premiers rapports du GIEC)

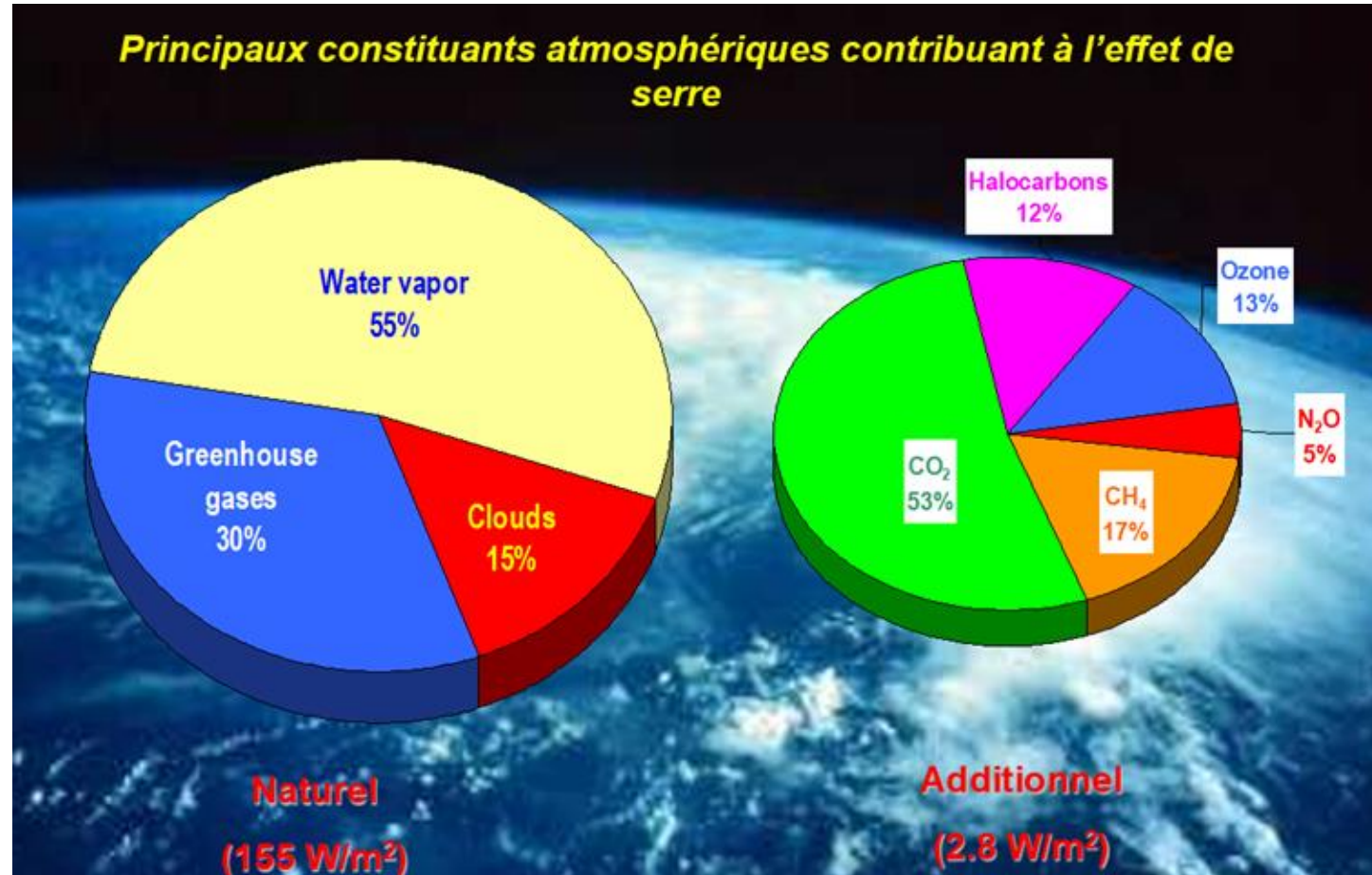
Nombreuses publications



Conférence du 14-10-2014 à Rennes
Espace des Sciences – Rennes 2

Les gaz de l'effet de serre

Présentation de M. Hervé LE TREUT datée du 2 décembre 2010



D'après cette étude :

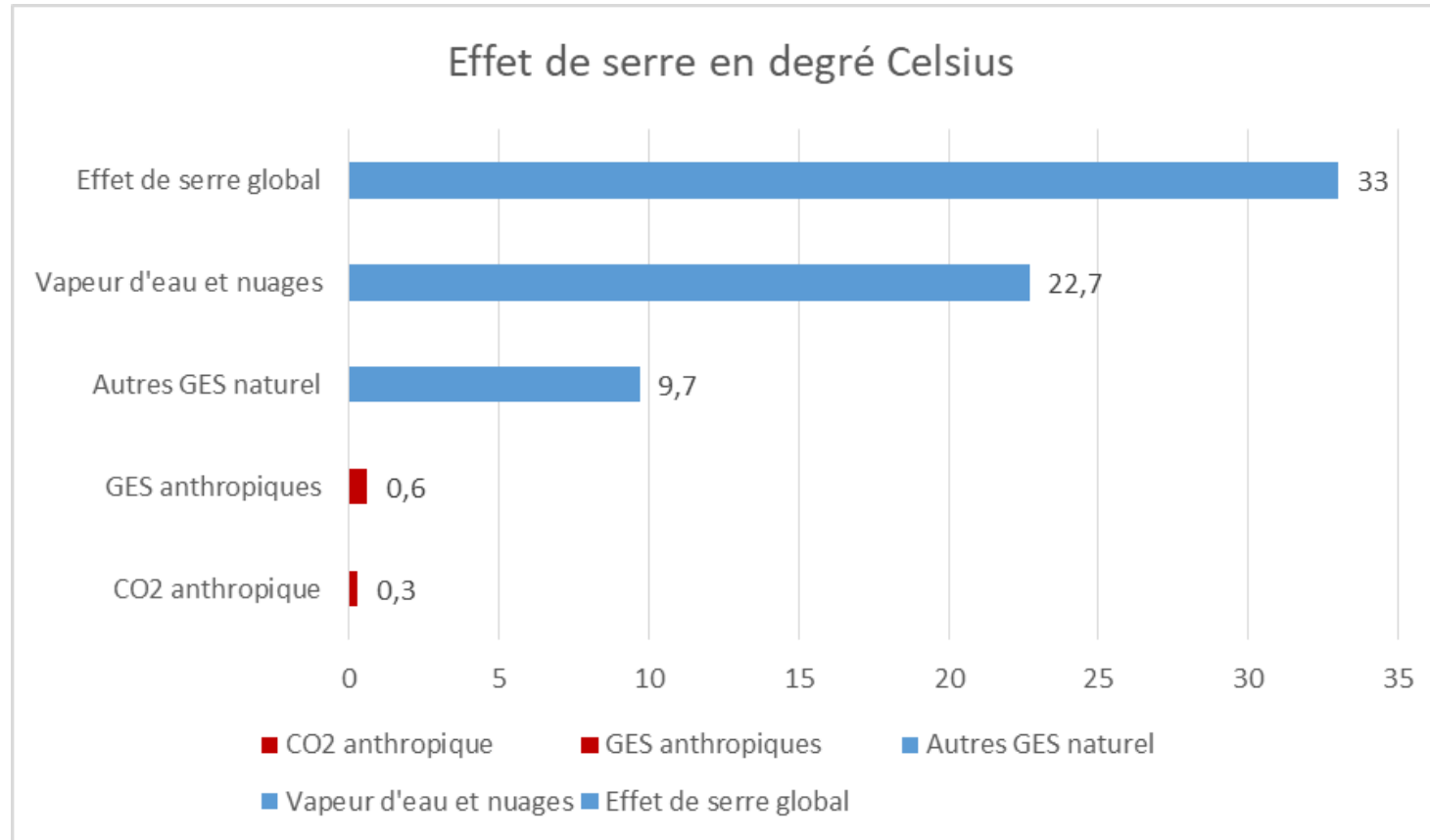
la part anthropique est donc de 1.8 % (2.8 / 157.8),

la part du CO₂ anthropique est 0.94 %.

De facto,

les COP successives, en se polarisant sur le CO₂ anthropique, ont pour objectif de réduire ce 0,94 %.

Gaz à effet de serre



Sans effet du serre : -18°
Cf. la lune

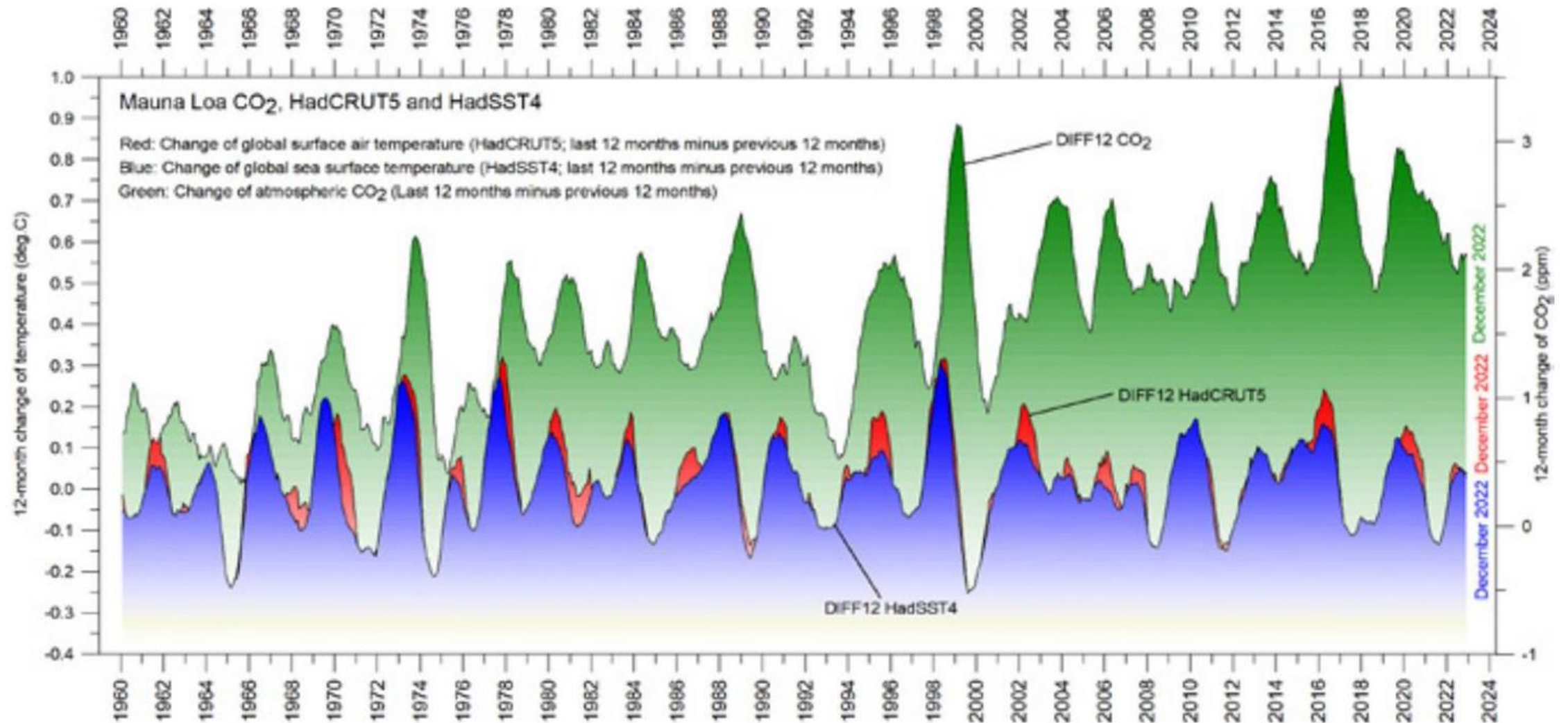
Température actuelle : 15°

Effet de serre global : $+33^{\circ}$

Effet anthropique : $+0,6^{\circ}$
dont CO₂ : $+0,3^{\circ}$

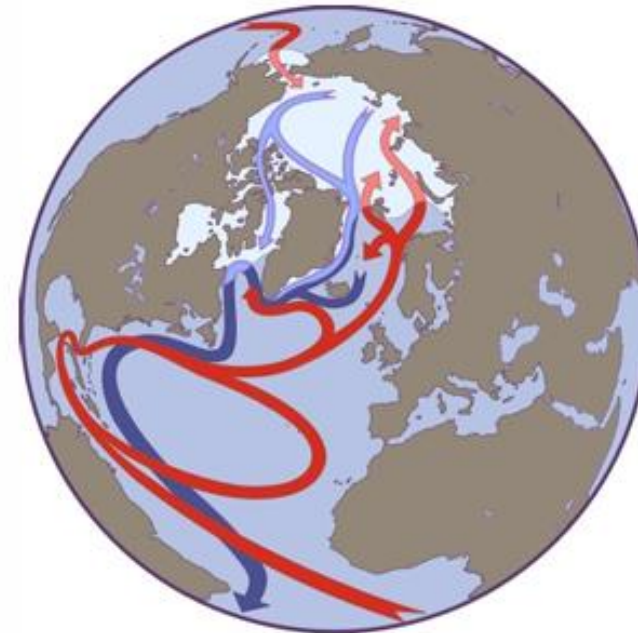
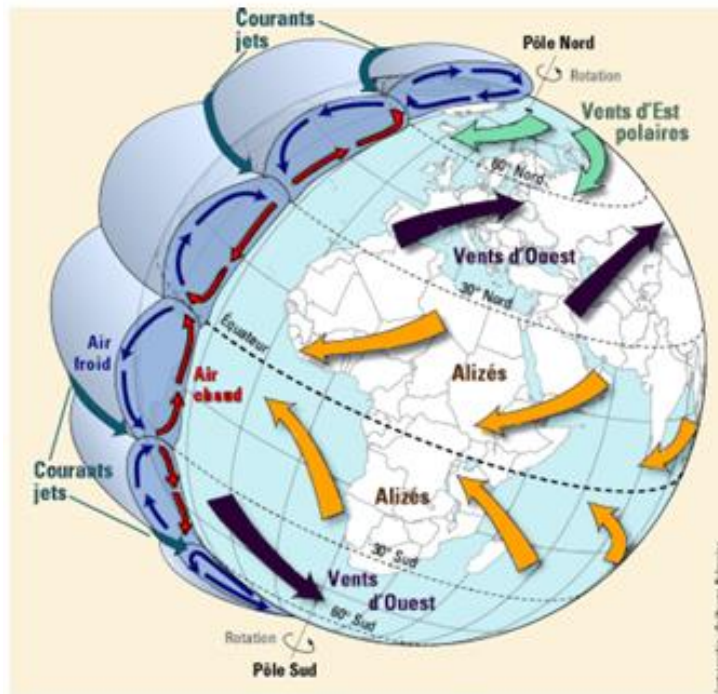
Remarque : la vapeur d'eau anthropique n'est pas évaluée

SST → Terre → CO₂



Complexité des flux

La machine climatique Transport de chaleur par l'océan et l'atmosphère



L'optimum climatique romain : +2°

De 250 ans avant J.C. à 400 ans après J.C. : en moyenne + 2° par rapport à aujourd'hui

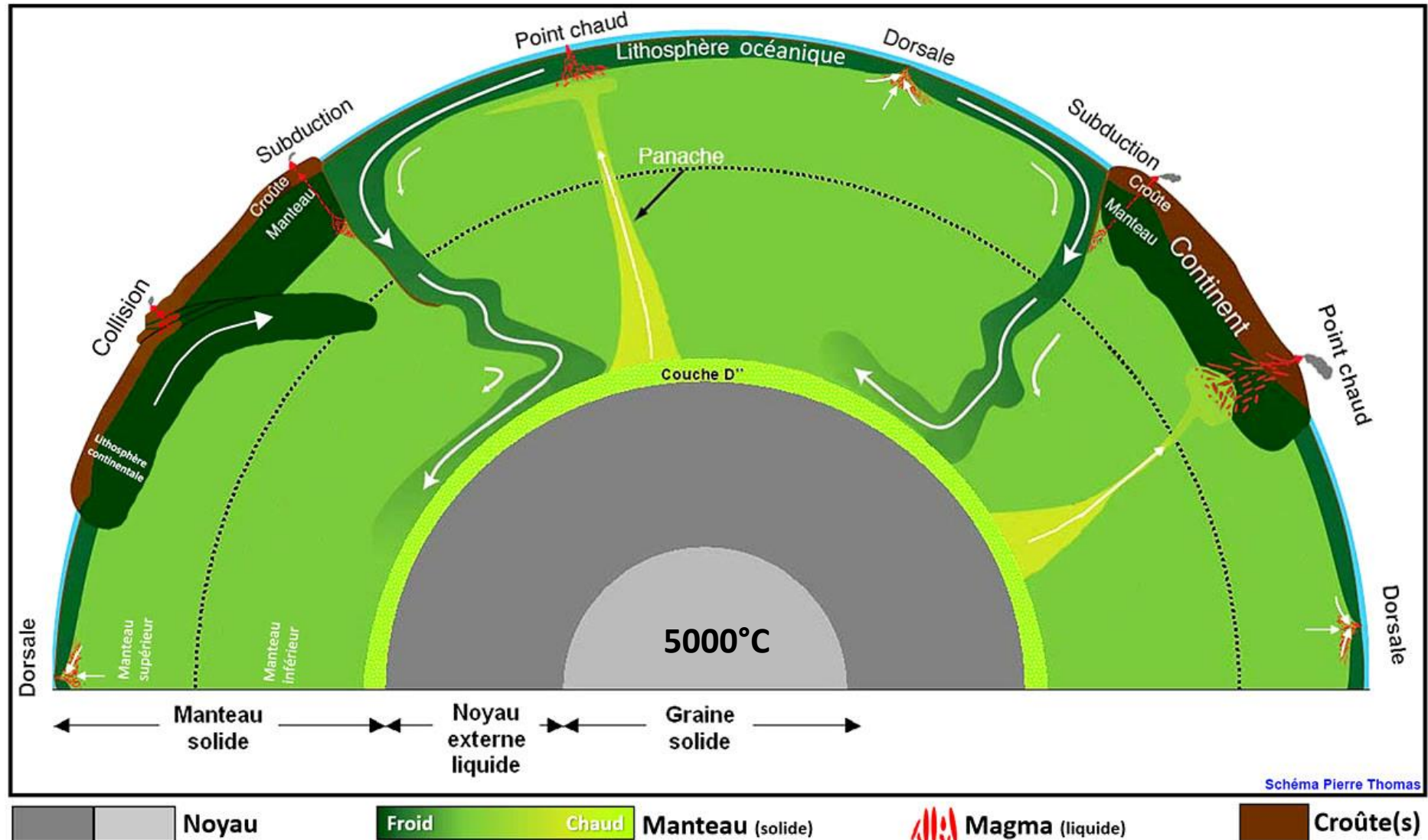
Proxy : ratio Mg/Ca dans les foraminifères planctoniques (sédiments marins)



Autres preuves !? : mosaïques et peintures romaines



Volcanisme



Volcans

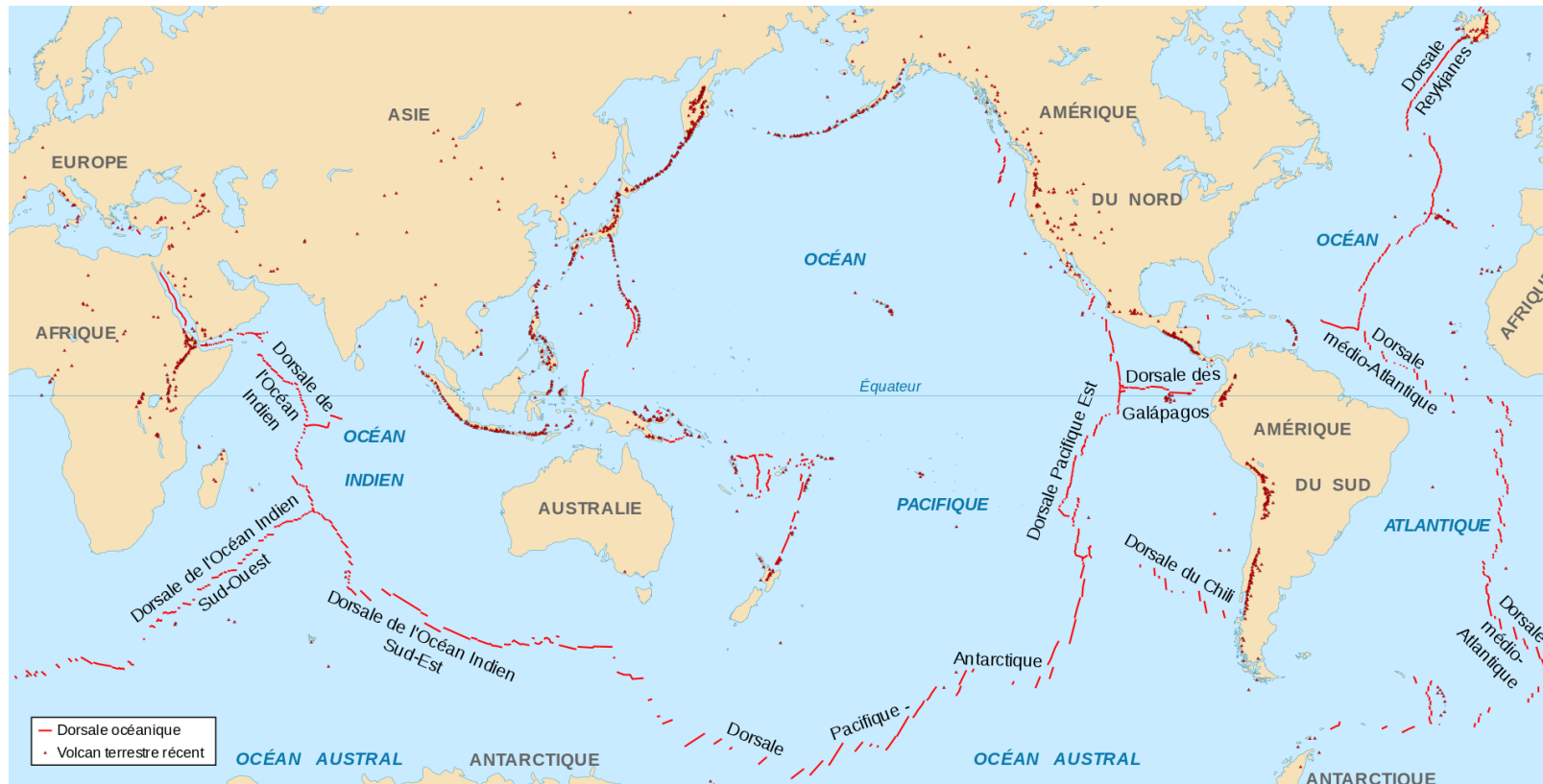
1500 volcans
terrestres

75000 volcans sous-
marins

Des milliers sont
actifs

Hauteur des volcans
: jusqu'à 1000
mètres au dessus du
plancher océanique

Création de
nouvelles îles



1500 volcans terrestres : les effets



Le volcan Ruang – le 18 avril 2024

Activité peu prévisible

La larve provoque un réchauffement local mais limité dans le temps

Emission de grandes quantités d'aérosols qui font plusieurs fois le tour de la terre avant de retomber

L'effet de ces nuages d'aérosols est un refroidissement momentané

Le petit âge glaciaire de l'Antiquité tardive



Conséquences :

mauvaises récoltes, famines, révoltes, migrations, conflits, ...

Contribue à la décadence de l'empire romain.

De 530 à 540 ap. J.C. : une série d'éruptions volcaniques majeures bouleverse le climat.

« Le soleil s'est assombri et est resté dans l'obscurité pendant 18 mois » (Jean d'Ephèse).

C'est un phénomène qui s'étend sur plusieurs continents (Europe, Chine, Amérique,,) .

On retrouve bien les traces dans les carottes glaciaires.

Toutefois on ignore la localisation de l'éruption.

75000 volcans sous-marins : les effets

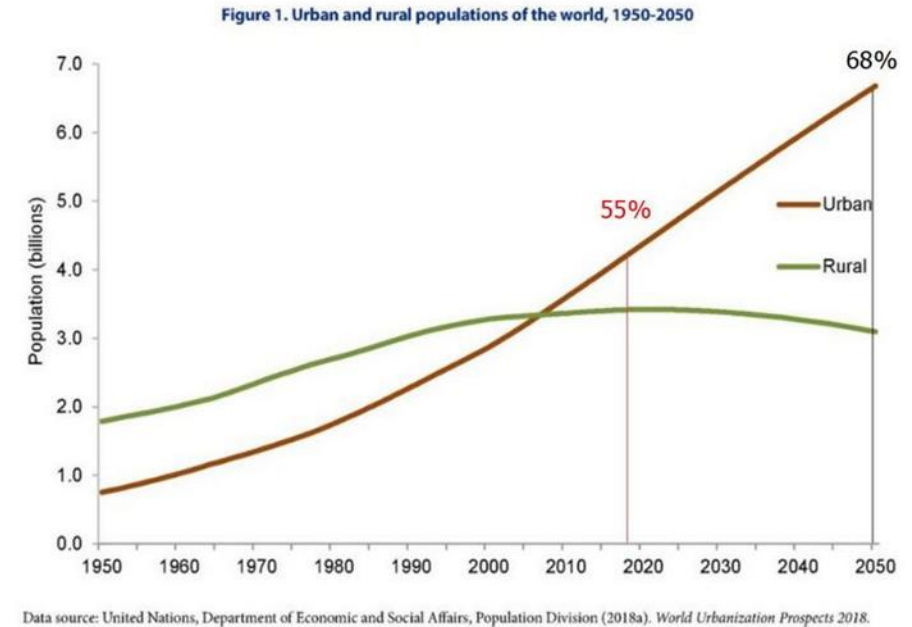


Des milliers sont actifs

- Hauteur des volcans : jusqu'à 1000 mètres au dessus du plancher océanique
- Ils réchauffent les océans : les eaux chaudes remontent à la surface
- Création de nouvelles îles
- Parfois, émissions d'aérosols dans l'atmosphère
- Les failles de l'arctique

Aucune estimation de l'effet global sur le climat
Le GIEC n'explique pas ses hypothèses sur le volcanisme

Facteurs anthropiques



Croissance continue de la population mondiale – croissance essentiellement urbaine

Effets : Emission de gaz à effet de serre (déjà traité)

Emission d'aérosols

Ilots de Chaleur Urbain (ICU)

Aérosols anthropiques



XIXème siècle - énergie primaire principale : bois et charbon: chauffage, machines à vapeur, production du « gaz de ville ».

Conséquences : abondante quantité d'aérosols, diminution du rayonnement solaire reçu et donc réduction du réchauffement local.

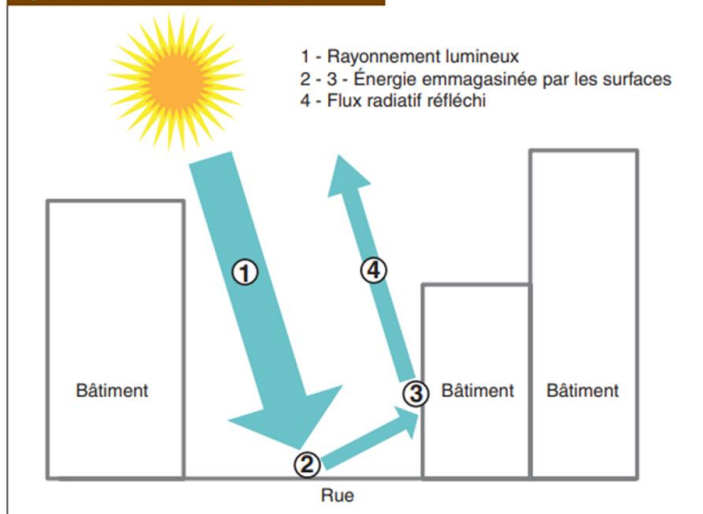
Maladies pulmonaires, mortalité.

Problème récurrent en Chine, Inde et Afrique mais aussi en Allemagne, Pologne...

Retour du chauffage au bois en Europe !?

Effet urbain - Les accumulateurs

Figure 2 - Modélisation du piégeage radiatif



Les îlots de chaleur urbains sont liés à l'absorption de l'énergie par les surfaces et aux configurations urbaines.

ALBEDO (0 à 100)

Bitume (asphalte)	4
Béton	20
Brique rouge	30
Peinture blanche	80
Aluminium poli	90
Plâtre	90

Le soleil de midi émet environ 800 watts par m²

(Valéry Masson – CNRM)

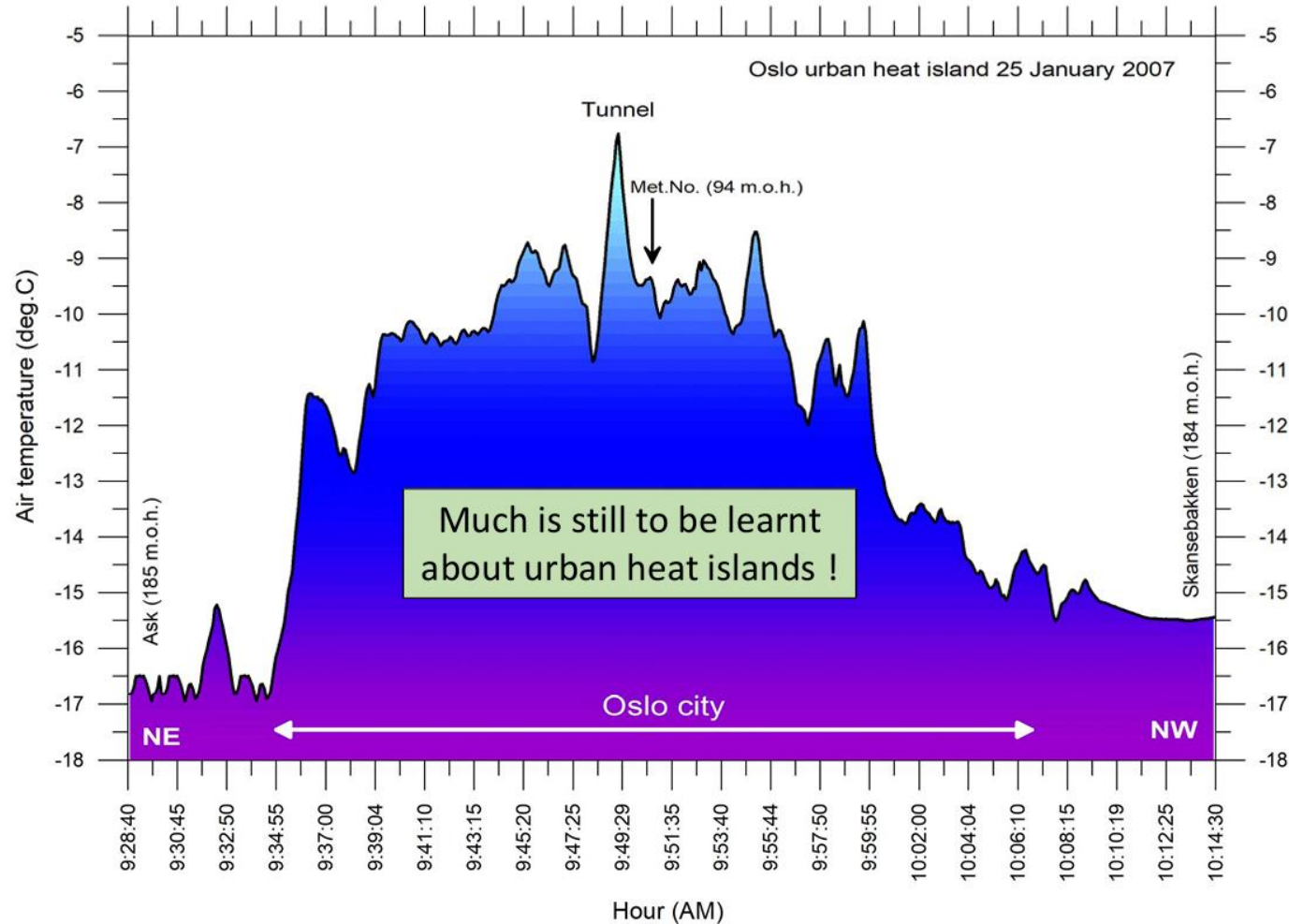
La moitié est stockée par les matériaux et réémis en infrarouge

- Les sols : pavés des rues,
- bitume des routes et parking
- Les murs, terrasses et toits des bâtiments

Croissance des villes / extension des surfaces

- Extension des banlieues
- Élévation : maisons → immeubles → tours

Effet urbain : Oslo

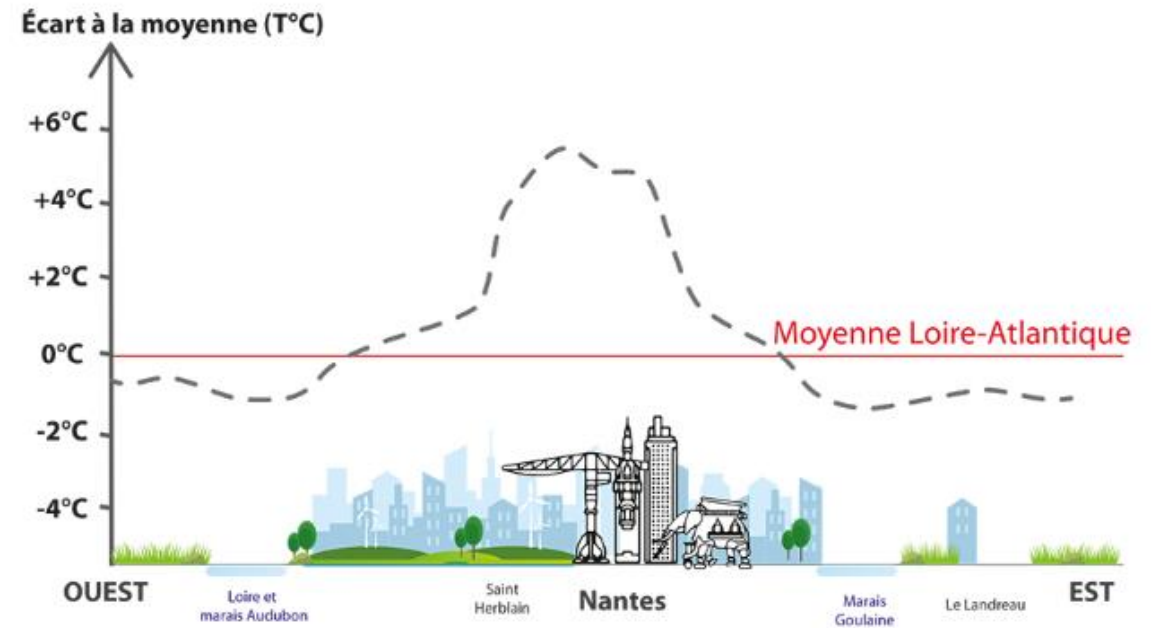
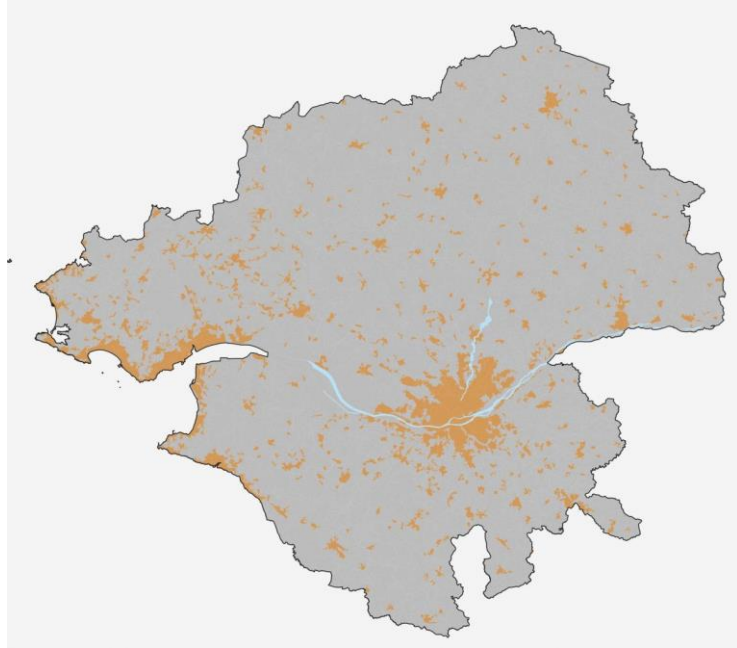


Traversée d'OSLO, le 25 janvier 2007, de 9h28 à 10h14;

Ecart de température (hors tunnel)
Environ 7°C - de -16 à -9°C

L'ICU peut être bénéfique !

Effet urbain : Nantes

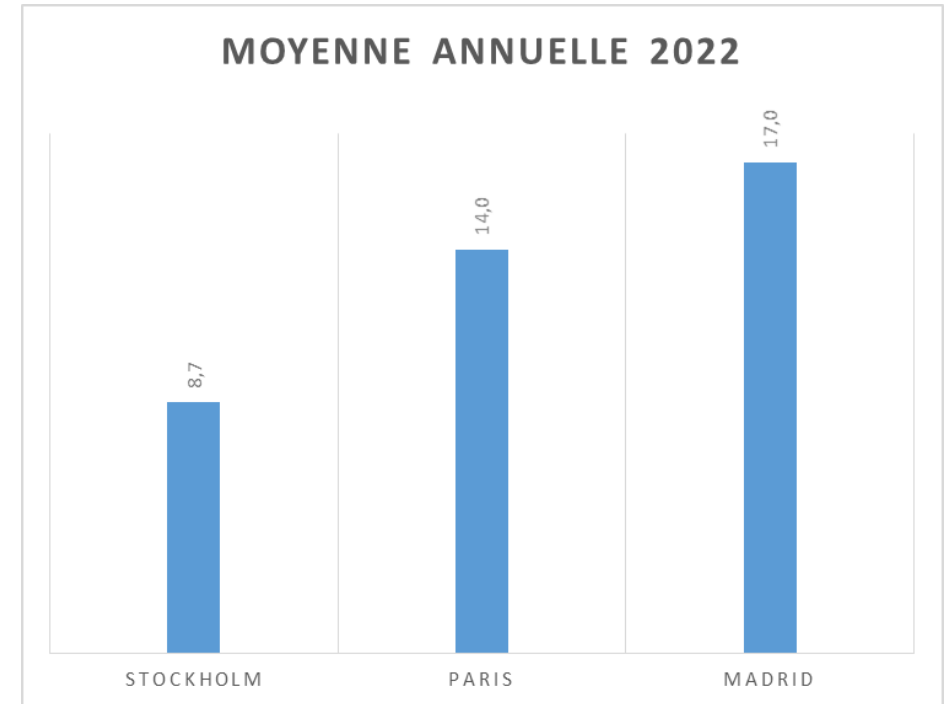
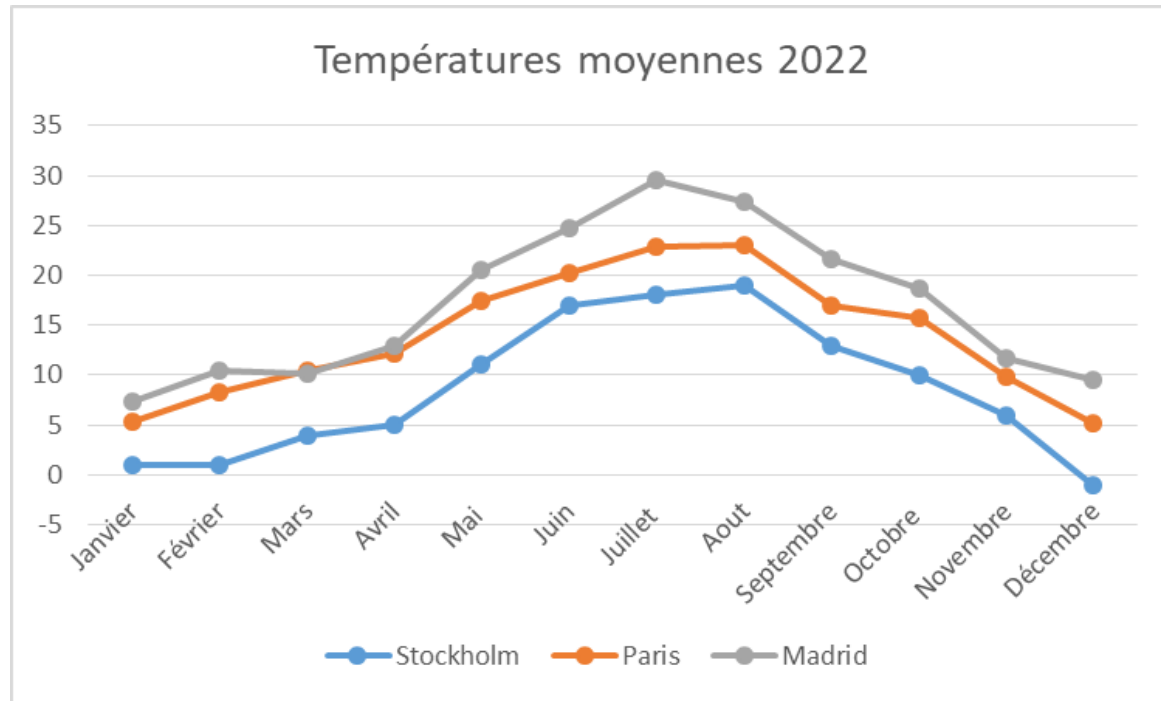


Exemple de Nantes en Loire Atlantique :

- Effet urbain : environ + 6°
- Moyenne du département + 1° par rapport aux zones rurales

L'ICU peut être bénéfique !

Comparaison européenne



Un réchauffement urbain de 2° peut être bénéfique à Stockholm, supportable à Paris, indésirable à Madrid.

La documentation scientifique actuelle n'analyse que les cas critiques.

Comment atténuer l'effet urbain ?

URBANISME

Villes nouvelles versus croissance des mégapoles

Utilisation des sous-sols

Optimiser les flux et les déplacements

Larges boulevards bordés d'arbres

BATIMENT

Isolation

Revêtements

Parkings souterrains

Concept « Le Corbusier »

VEGETALISATION

Parcs et jardins

Végétaliser trottoirs, murs, terrasses

HUMIDIFICATION

Plans d'eau, bassins, miroirs d'eau

Pour les pics de chaleur :

- Récupération de l'eau de pluie pour l'arrosage des surfaces
- Brumisateurs

Le climat a évolué sans l'homme et continuera de le faire. Toutefois, la croissance de l'effet ICU est clairement anthropique. Les possibilités d'atténuation ou d'adaptation sont nombreuses.

C'est pourtant peu développé dans les médias et surtout hors du champ politique actuel !

Réchauffement global

GIEC : « Notons enfin que si les îlots de chaleur urbains ne sont ni une cause, ni une conséquence du changement climatique, les effets de l'un sur l'autre aggravent les impacts de chacun. »

- Les températures annoncées par les médias, incluent l'effet climatique, l'effet cyclonique (météo) et l'effet urbain.
- La conjonction du réchauffement climatique actuel et de la croissance et de la densification d'une ville a pour conséquence un historique croissant des températures de cette ville.

Vos questions



morin-gerard@numericable.fr

Site Marc RAZAIRE : <https://kin152.fr/climatologie/contributions>