INTRODUCTION

A LA COMPREHENSION

DES MECANISMES DU CLIMAT

ET DE SON EVOLUTION

Domaine de Fantaisie Ville de MERIGNAC xx/09/2015

D. ORY

PRINCIPALES SOURCES:

-**RAPPORT** du **GIEC 2013/2014**

Groupe **I**ntergouvernemental sur l'**E**volution du **C**limat

(http://www.climatechange2013.org/,
http://www.climatechange2014.org/,
http://ipcc-wg2.gov/AR5/report/)

-**ADEME**

Agence **D**e l'**E**nvironnement et de la **M**aitrise de l'**E**nergie

- **ARTICLES** de Revues Scientifiques

(La Recherche, Dossiers CNRS, S&V, ENS, LGE, CEA…)

-Fondation **N. HULOT**

- Autres **Sources** spécifiques citées

1 CLIMAT (MECANISMES ET CAUSES)

Planches

2 CLIMATS PASSES

Planches

3 FUTUR

Planches

1/ CLIMAT : MECANISMES ET CAUSES

- *Définition*
- *Lois du Rayonnement : Lois de Planck et de Stefan*
- *Bilan énergétique : approche globale*
  - *Eclairement solaire*
  - *Le système solaire*
  - *Equilibre radiatif de la terre*
- *L'effet de serre naturel*
- *Processus modelant le climat terrestre*
  - *Paramètres astronomiques*
  - *Le soleil*
- *Le Cycle de l'eau*
- *La circulation des courants océaniques*
- *Le transfert de masse*

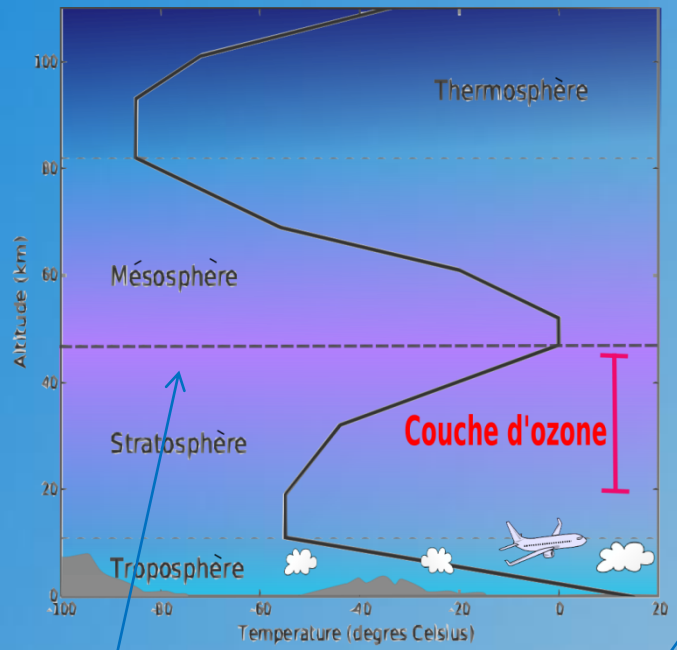
DEFINITION [*]

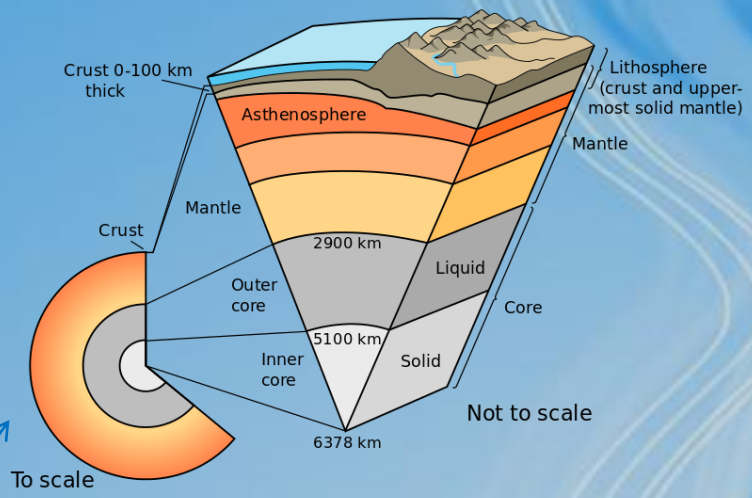
→ *conditions moyennes qu'il fait dans un endroit donné (température, précipitations, …) calculées d'après les observations d'au moins 30 ans (défini par l'Organisation Météorologique Mondiale).*

Il est donc caractérisé par des valeurs moyennes, mais également par des variations et des extrêmes.

A l'échelle de la planète, le climat représente une machinerie complexe qui est le produit, dans l'espace et dans le temps, de toute une série d'interactions (« effet papillon ») entre les éléments qui composent les différents compartiments :

[*] http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/climat.php4



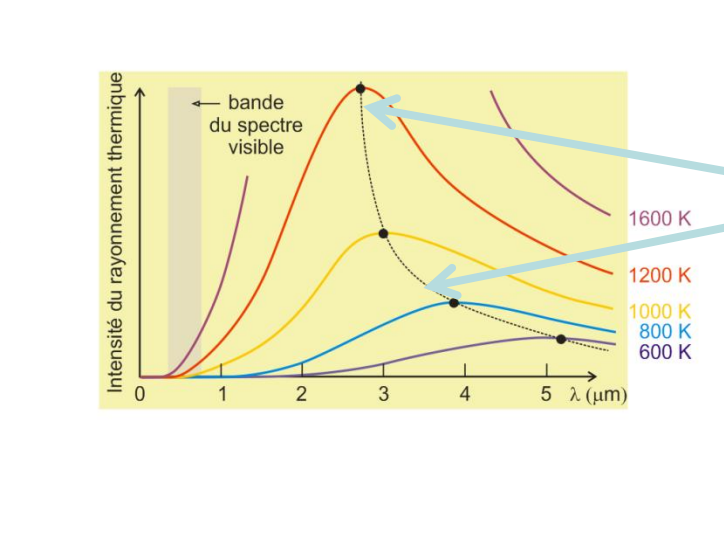


- · *l'atmosphère*
- · *la lithosphère (la croûte terrestre)*
- · *l'hydrosphère (l'ensemble des mers, des océans, des lacs et des cours d'eau de la planète)*
- · *la cryosphère (les glaces du monde entier)*
- · *la biosphère (l'ensemble des êtres vivants, en particulier la végétation).*

LOIS DU RAYONNEMENT

Emission du Corps Noir (CN), Loi de PLANCK

$$l_\lambda^0 = \frac{K_1}{\lambda^5 . \left(e^{\frac{K_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$



$$\lambda_m \approx \frac{2900}{T}$$

Lois de Wien

>>> Tout corps à T>0K (-273°C) émet un rayonnement

Rayonnement total (Emittance, Loi de STEFAN)

$$M^\circ = \pi \int_0^\infty l_0^\lambda d\lambda = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5{,}67.10^{-8} W / m^2 / K^4$$

>>> Le flux radiatif est proportionnel à la <u>puissance 4ième</u> de la température (en K)

ECLAIREMENT SOLAIRE

T_{moy} : +15°C (288K)

1 m² ⊥ aux rayons reçoit
1368 W =Cste solaire

Terre **SOLEIL**

Le rayonnement solaire

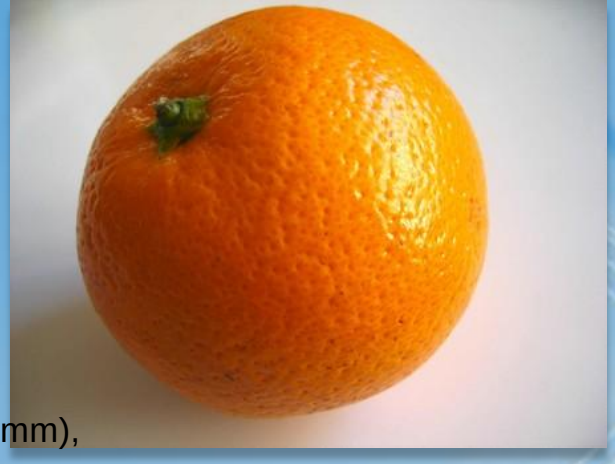
- lumière visible (40 %),
- rayons infrarouge (55%)
- ultraviolets (5%)

Flux géothermique 10^{-4} E_S
Reste de l'univers ~10^{-6} E_S

97% de l'énergie rayonnée entre 0,2 µm et 2,5µm

(pas de soleil >>>>> T_{moy}= -245°C !)

LE SYSTÈME SOLAIRE et +



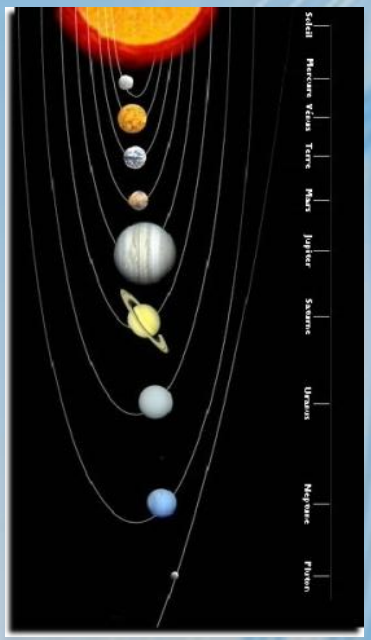
Rapportons notre **Soleil** à la taille d'une orange soit **10cm**...

>> **Mercure** et **Vénus** sont respectivement à **4,2m et 7,8m** (diamètres respectifs 0,4 et 0,9mm),

>> Notre **Terre à 10,8m** (0,9mm, une tête d'épingle), **Mars** à~**16m** (0,5mm),

>> puis la **ceinture d'astéroïdes** positionnée en son centre **à #28 m** (largeur une quinzaine de m),

>> **Jupiter à 56m** (#10mm, une bille), **Saturne à 102m** (#7mm), **Uranus à 206m** (3,7mm), **Neptune à 320m** (3,5mm).
Oublions Pluton à 428 m.



Continuons plus loin.
>> La **ceinture de Kuiper** (réservoir de comètes périodiques) est comprise entre **400m et 600m.** (Elle contient plus de 70000 corps > à 100km)
Là, un trou.

>> La position moyenne du N**uage de Oor**t, vaste ensemble sphérique, se situe en moyenne **à 500km** !

>> La fin du système solaire (héliopause) avoisine **les 1000km !**

>> L'étoile la plus proche, **Proxima du centaure**, est à **... 3000km**.
>> La galaxie la plus proche (**nuage de Magellan**) à ... **120 millions de km !!!**

Pour paraphraser P. Desproges : l'infini, c'est loin, surtout vers le bout …

EQUILIBRE RADIATIF DE LA TERRE

ELEMENTS DU CLIMAT MOYEN A LA SURFACE DE LA TERRE

342W/m² [flux moyen reçu par 1m² de surface : Cste $_{solaire}/(4\pi R^2/\pi R^2)$]

107W/m²

(réflexion: atmosphère, océan, continent)

235W/m²

?

390W/m² (T_{moy}=15°C)

Surface Terre

Principe d'Equilibre Thermodynamique

$\Phi_{absorbé} = \Phi_{émis\ ou\ perdu}$

Il manque 155W/m² … !

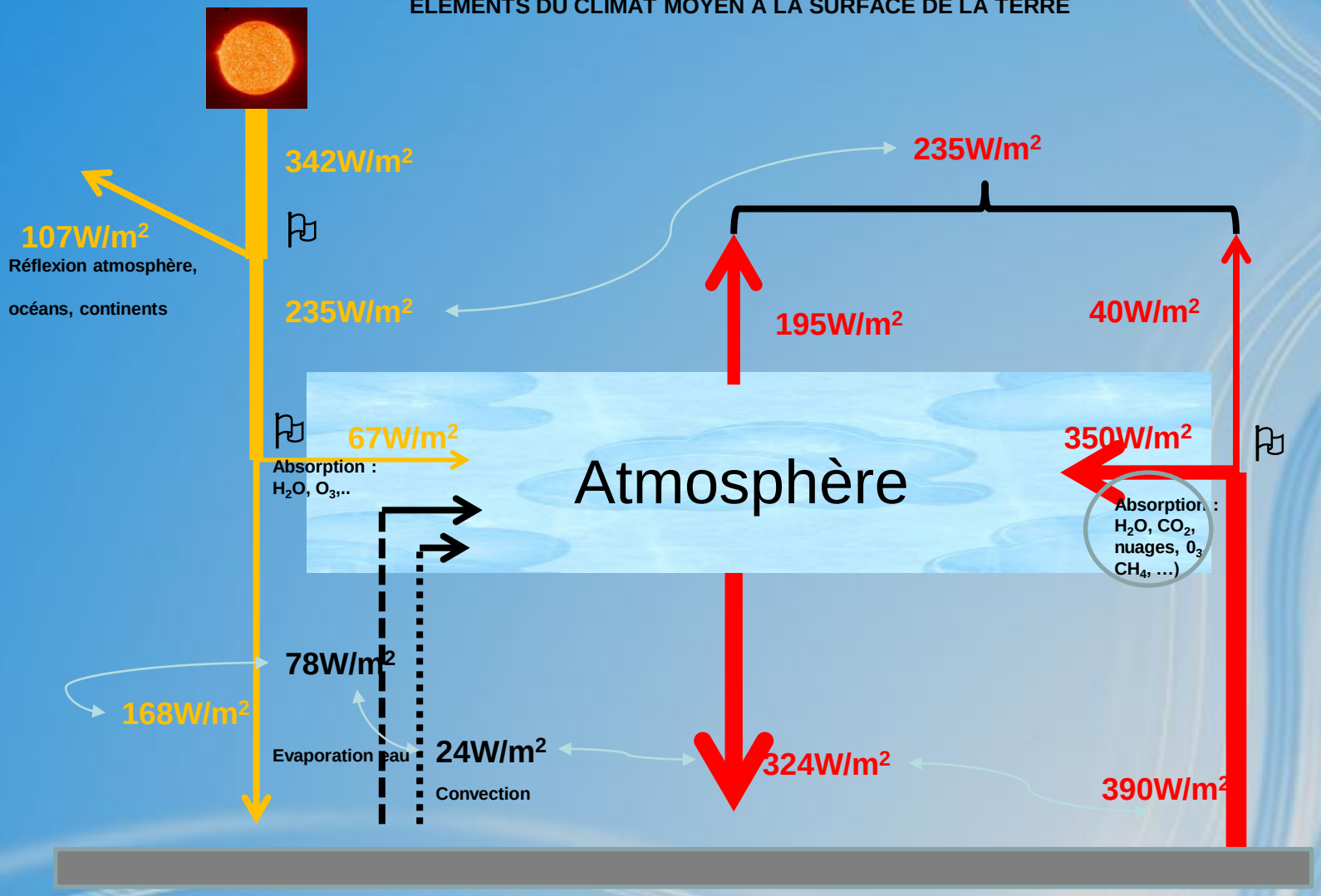
→EXAMINONS LE BILAN THERMIQUE DE LA TERRE UN PEU PLUS EN DETAIL….

[Nota : en rouge, énergie mesurée]

« L'EFFET DE SERRE » NATUREL

EQUILIBRE RADIATIF DE LA TERRE (suite)

ELEMENTS DU CLIMAT MOYEN A LA SURFACE DE LA TERRE



λ Visible

MECANISMES DES TRANSFERTS D'ENERGIE

λ IR

L'EFFET DE SERRE

IL S'AGIT ICI DE « L'EFFET DE SERRE » DIT NATUREL

SANS CET EFFET, ET C'EST A SOULIGNER, LA T_{moy} A LA SURFACE DE LA TERRE SERAIT DE -19°C AU LIEU DES 15°C QUE NOUS CONNAISSONS !
(voir planches précédentes)

DIFFICILEMENT VIVABLE ☠

Depuis plus d'un milliard d'années, grâce à l'effet de serre naturel, la température sur Terre a été telle que la vie a pu se développer sur Terre

→ l'eau s'y trouve à l'état liquide,
→ les fluctuations de T n'ont jamais dépassé 10°C dans les deux sens.

L'EFFET DE SERRE (suite)

COMPOSITION DE L'ATMOSPHERE

	Nom du gaz	Formule moléculaire	Répartition en volume (en %)	
Principaux gaz consituants	**Azote**	**N_2**	78	99% !
	Oxygène	**O_2**	21	
Gaz inertes	Argon	Ar	0,93	Gaz inertes
	Néon	Ne	0,0018	
	Krypton	Kr	0,000114	
	Xénon	Xe	0 à 0,000087	
Principaux Gaz à effet de serre	Vapeur d'eau	**H_2O**	0 à 1	Produit ~55% de l'effet de serre
	Gaz carbonique	**CO_2**	0,036	Produit ~30% de l'effet de serre
	Méthane	CH_4	0,00017	Produit ~7% de l'effet de serre
	Oxyde d'azote	N_2O	0,00005	
	Ozone	O_3	0 à 0,00001	Produit ~8% de l'effet de serre

Le pourcentage d'eau étant variable, l'importance des gaz à effet de serre peut fluctuer.

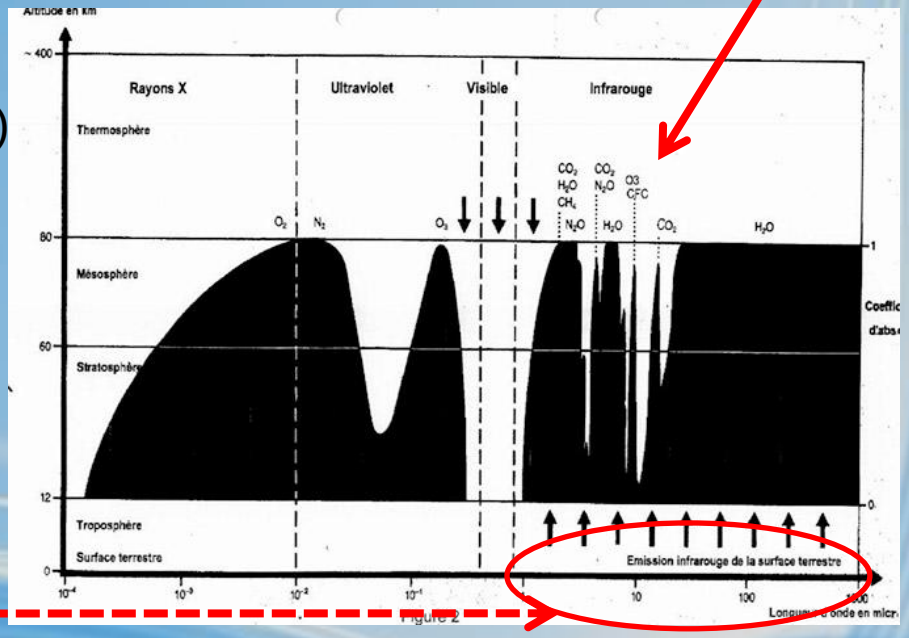
L'EFFET DE SERRE (suite)

QUID DES GAZ A EFFET DE SERRE (GES)

Vapeur d'eau (H_2O),
Dioxyde de carbone (CO_2 ou gaz carbonique),
Méthane (CH_4),
Protoxyde d'azote (N_2O),
Ozone (O_3),
……
Chlorofluorocarbure (CFC),
Perfluorométhane (CF4)…

Gaz à molécules triatomiques ou Polyatomiques <u>absorbent les IR</u>

Altitude (km)



Terre~15°C
Soit ~288K

Loi de Wien:
λ_m # 10 µm

Longueur d'onde (microns)

L'EFFET DE SERRE (suite)

QUID DES GAZ A EFFET DE SERRE (GES)

POUVOIR DE « RECHAUFFEMENT » (base 1 pour le CO_2)		DUREE DE VIE DANS L'ATMOSPHERE
1	CO_2 gaz carbonique	~100 ans
25	CH_4 méthane	12 ans
296	N_2O protoxyde d'Azote	120 ans
16000	GAZ FLUORES	~120 ans

(S&V mai 2014)

1300	Tétrafluoroéthane CF_3CH_2F (climatisation)	15 ans
4800	Fluorure de Sulfuryle SO_2F_2 (antiparasites, fumigations)	40 ans
6500	Tétrafluorure de Carbone CF_4 (sidérurgie, électronique)	50000 ans
7100	Perfluorotributylamine PFTBA (appareils électriques, électronique, thermique)	500 ans
10300	Octafluorocyclobutane c-C_4F_8 (électronique, protection incendie, réfrigération)	3200 ans
17700	Trifluorure d'azote NF_3 (électronique, high-tech)	550 ans
18000	Trifluorométhyle Pentafluorure de Soufre SF_5CF_3 (source inconnue)	900 ans
22800	Hexafluorure de Soufre SF_6 (équipements électriques, sidérurgie)	800-3200

L'EFFET DE SERRE (résumé)

NOUS COMPRENONS MIEUX POURQUOI CET EFFET DE SERRE, NECESSAIRE A LA VIE, DOIT ETRE MAITRISE …

🔔TOUTES LES CAUSES
(NATURELLES OU ANTHROPIQUES)
QUI FONT CHANGER DE MANIÈRE SIGNIFICATIVE
L'UN QUELCONQUE DES TERMES QUI INTERVIENNENT
DANS
LE BILAN ENERGETIQUE
DE LA TERRE
IMPLIQUENT
UNE VARIATION CLIMATIOUE

L'EFFET DE SERRE EST L'UN D'EUX …

INTERRESSONS-NOUS MAINTENANT AUX CARATERISTIQUES DU CLIMAT …

PROCESSUS MODELANT LE CLIMAT TERRESTRE

[Climat : du grec «klima» (inclinaison), en référence à l'inclinaison de l'axe de la Terre]

- **Des paramètres astronomiques**
- **La source de chaleur : le soleil**
- **Les interactions à l'échelle de la planète**
- **L'influence des activités humaines …**

>> PLUSIEURS ECHELLES DE TEMPS SONT A DISTINGUER DANS CES PROCESSUS

-Un temps « astronomique » ($10^2 < t_{années} < 10^6$) ou géologique

-L'espérance de vie humaine

-L'année, intervalle de temps pendant lequel la terre effectue une révolution complète sur son orbite autour du soleil (saisons)

-Un temps « quasi » instantané (quelques jours)

CLIMATOLOGIE
Long et moyen terme (>>30 ans)
Composantes et variations

⟷

METEOROLOGIE
court terme
Prévisions

PARAMETRES ASTRONOMIQUES

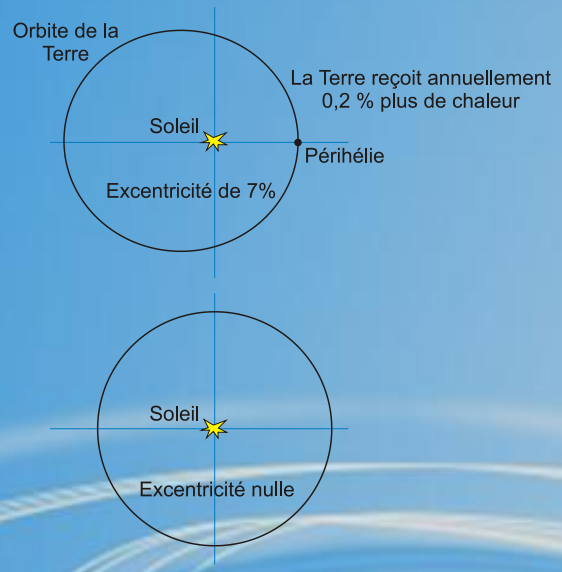
(Les 3 principaux)

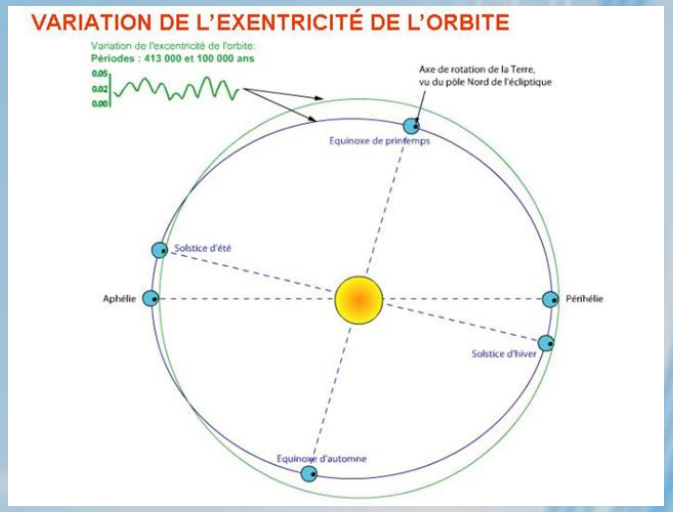
•1er : L'EXCENTRICITE (e)

La terre ne décrit un cercle mais une ellipse dont le soleil occupe l'un des foyers…

$0<e_{excentricité}<6\%$ (aujourd'hui 1,7%)

± 2 W/m²





Pseudo périodicité de ~**100000 à 400000ans**

PARAMETRES ASTRONOMIQUES (suite)

(Les 3 principaux)

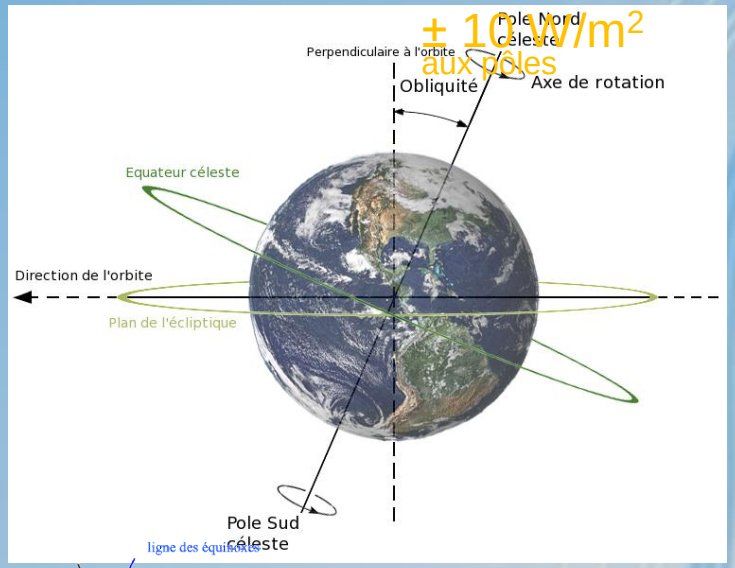
- **2ème : L'OBLIQUITE**

L'axe de rotation de la terre est actuellement incliné de 23°27'

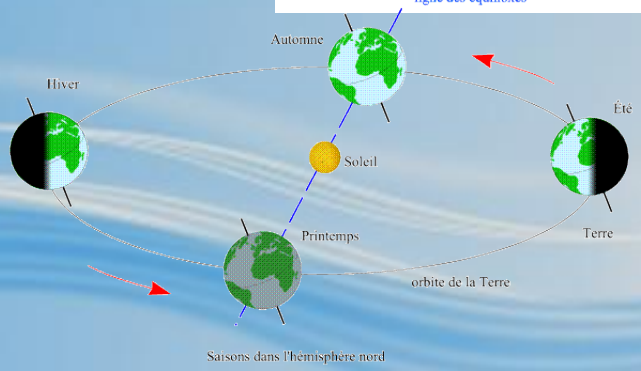
Cette inclinaison est à l'origine de saisons

Cet angle varie entre ~22° et ~25° ….sur une période de 41000 ans !

Cette variation d'inclinaison influe directement sur la quantité d'énergie reçue aux différentes latitudes



Obliquité forte = été chaud et hiver rigoureux aux hautes latitudes > climats interglaciaires
Faibles obliquité = été et hiver moins chauds > calotte glaciaires continentales



PARAMETRES ASTRONOMIQUES (suite)

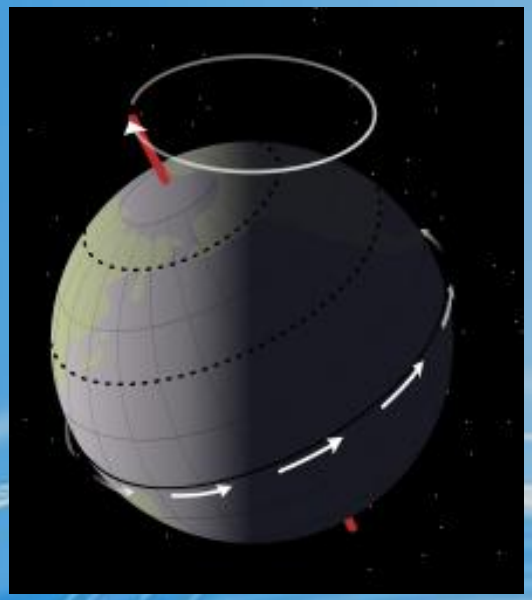
(Les 3 principaux)

•3ème : PRECESSION CLIMATIQUE

La Précession axiale, dite des équinoxes : cône parcouru en ~ 26000 ans

>> C'est le lent changement de direction de l'axe de rotation de la terre

Actuellement l'axe de rotation de la Terre est dirigé vers l'étoile polaire de la constellation de la Petite Ours



± 50 W/m^2

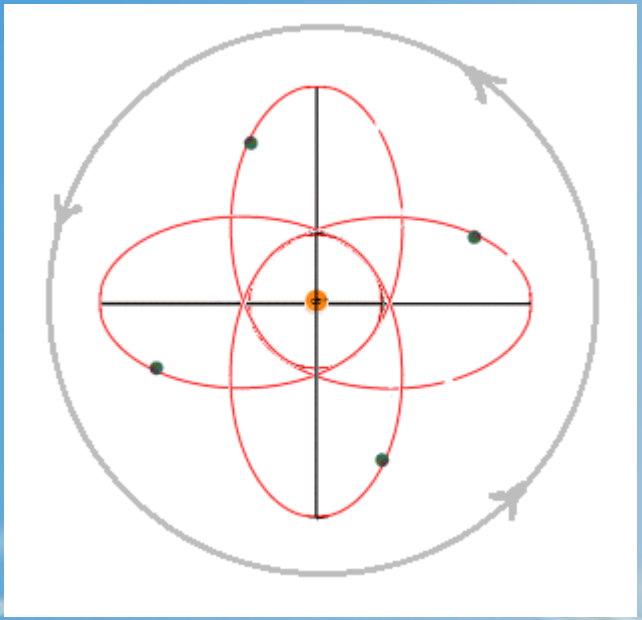
Effet du à l'attraction combinée du soleil et de la lune sur le bourrelet équatorial

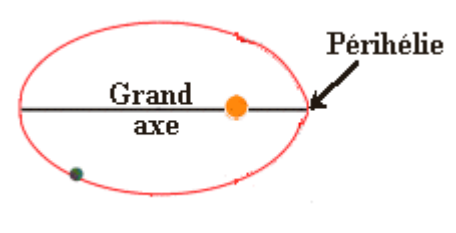
PARAMETRES ASTRONOMIQUES (suite)

(Les 3 principaux)

- **3ème : PRECESSION CLIMATIQUE (suite)**

Rotation du grand axe de l'ellipse en ~ 135000 ans





Par rapport aux étoiles, le grand axe de l'ellipse effectue une rotation en 135 000 ans.
Ce phénomène modifie le mois de l'année à laquelle la terre est au périhélie (moment de l'année où la terre est la plus proche du soleil).

PARAMETRES ASTRONOMIQUES

Conclusions

→ L**a théorie de Milankovitch** explique les grands changements climatiques que l'on observe depuis deux millions d'années sur notre planète.

☹Les petites variations orbitales entraînent de grands cycles climatiques sur des périodes de **100 000 ans**.

On observe une série de longues périodes glaciaires, suivies par des périodes interglaciaires plus courtes (**durée de 10 000 à 20 000 ans**), mais aussi plus chaudes.

😐 La différence de température moyenne entre ces périodes est de l'ordre de 5°C sur la planète.

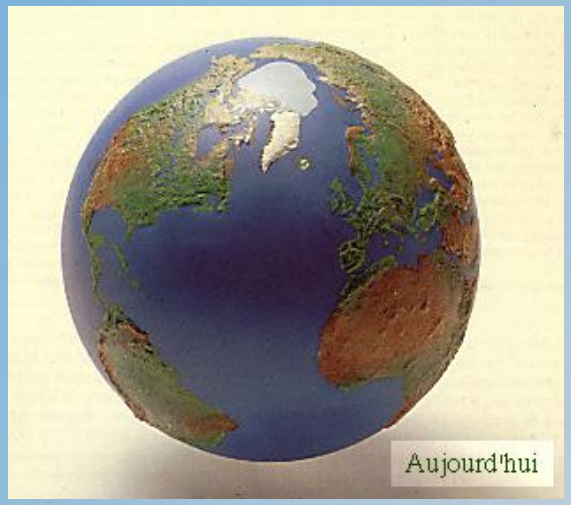
😐La **période interglaciaire** dans laquelle nous vivons a débuté il y a 11 000 ans. Elle pourrait durer encore plusieurs dizaines de milliers d'années.

PARAMETRES ASTRONOMIQUES

Conclusions

Combinaison de ces paramètres orbitaux [*]

- **Variation d'énergie solaire reçue sous les hautes latitudes au cours de l'année**
- **Différence de température entre océans et continents**
- **Variations sur changements de saisons**
- **Différences de température entre les hémisphères dues à l'inclinaison**



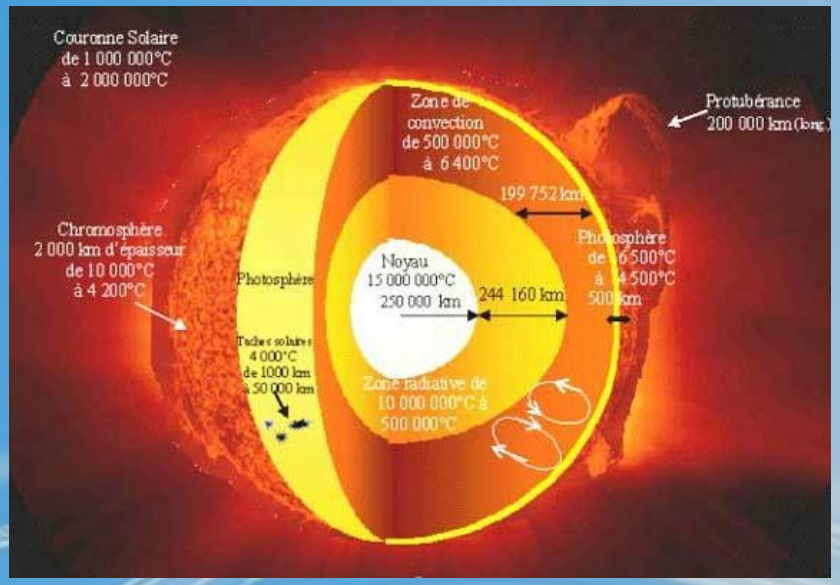
→ Effets très complexes perturbés par des rétroactions amplificatrices ou modératrices : composition atmosphère, albédo, courants marins, tectoniques, volcanisme, …

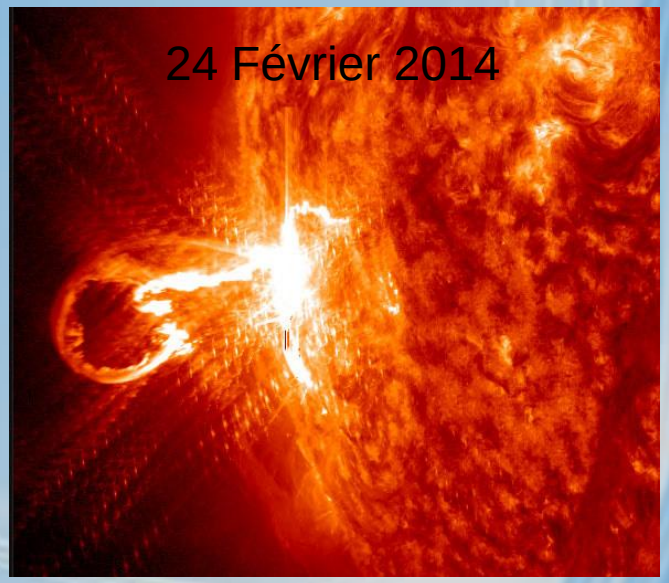
[*] http://www.claudegabriel.be/

LE SOLEIL

Confinement (densité + Température) enclenchant la fusion thermonucléaire :
Isotopes d'**Hydrogène** (4.10^6 tonnes/s) → **He + énergie**
(63MW/m² à la surface du soleil)

Φ = 700 000km
99,86 % de la masse du système solaire
Temps de propagation de la lumière jusqu'à la terre : **8mn19s**



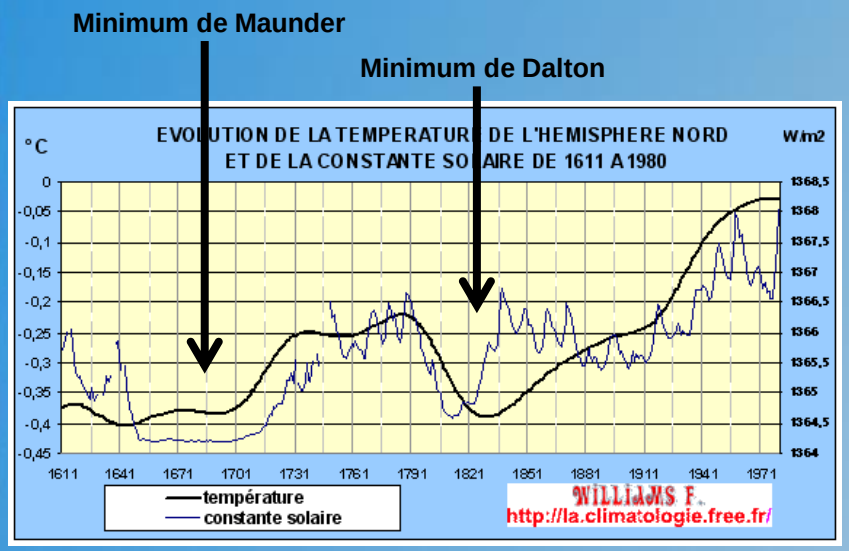


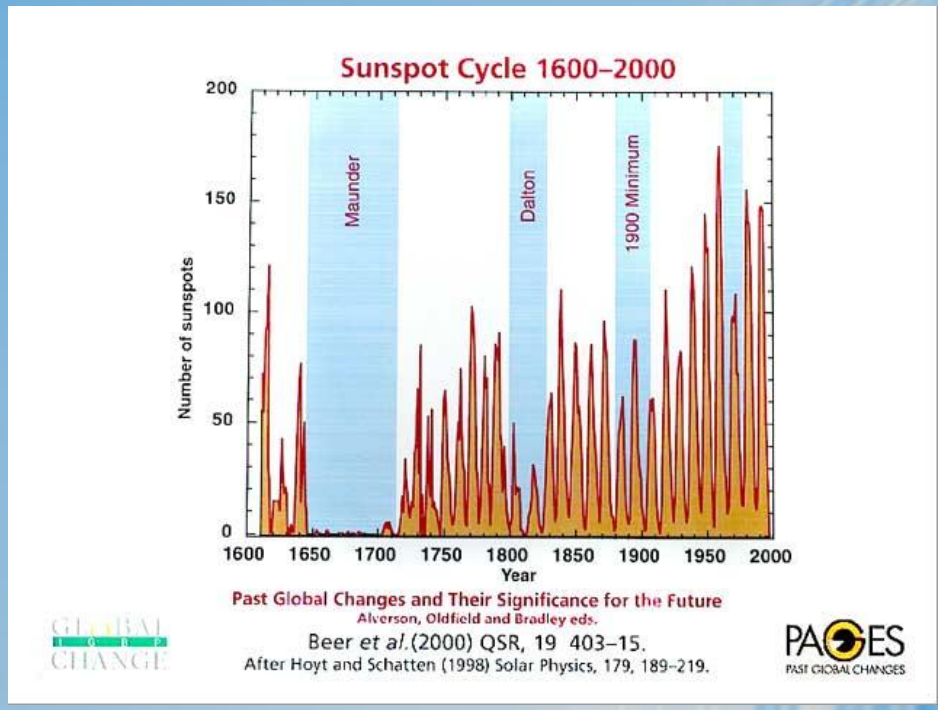
(Crédit NASA SDO)

LE SOLEIL (suite)

Variation de l'activité solaire suivant 1 cycle principal

Cycle de 11 ans dit de SCHWABE
Corrélation établie grâce aux observations séculaires (Galilée et ses successeurs) du nombre de taches solaires et confirmée par les satellites depuis 1978 (Fluctuations ±0,1%)





Autres cycles

2/ Cycle de 80 à 90 ans de GLEISSBERG

3/ Cycle de 150-200 ans de SUESS ou de VRIES

4/ Cycle ~2300 ans de HALLSTATTZEIT
(origine non élucidée)

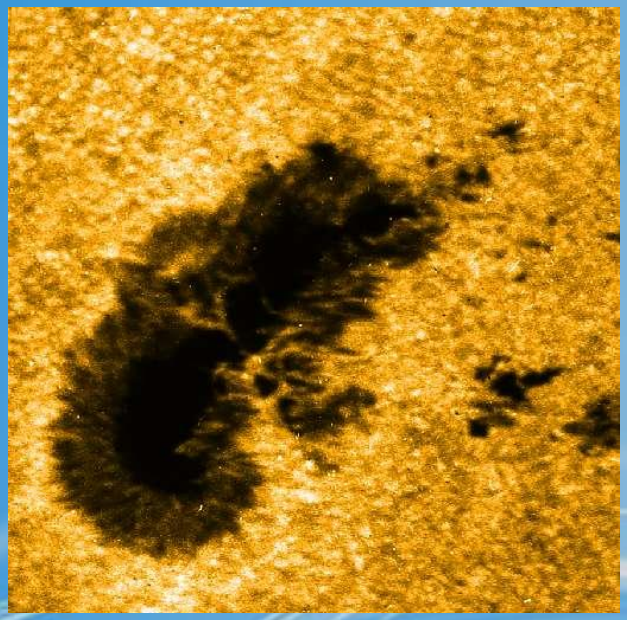
LE SOLEIL (suite)

Mesure de la variation de l'activité solaire [*]

Forte activité solaire (vent solaire) >>>> baisse du rayonnement cosmique

Or ce rayonnement conditionne la formation du ^{14}C atmosphérique.

Connaissant la quantité de ^{14}C du passé (ex : cernes des arbres d'âge connu), les scientifiques peuvent estimer l'activité solaire passée (voir § isotopes)…



A SAVOIR : UNE AUGMENTATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE PENDANT LE CYCLE DE ONZE ANS SE TRADUIT PAR UNE AUGMENTATION DU BILAN RADIATIF DE LA TERRE DE 0,2 W/M^2

[*] http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/soleil-climat.xml

LE CYCLE DE L'EAU

🔔 71 % de la surface de la terre sont occupés par les océans

Disparités :

$H_{émisphère}$ N_{ord} →39% continents, 61% océans

$H_{émisphère}$ S_{ud} →19% continents, 81% océans

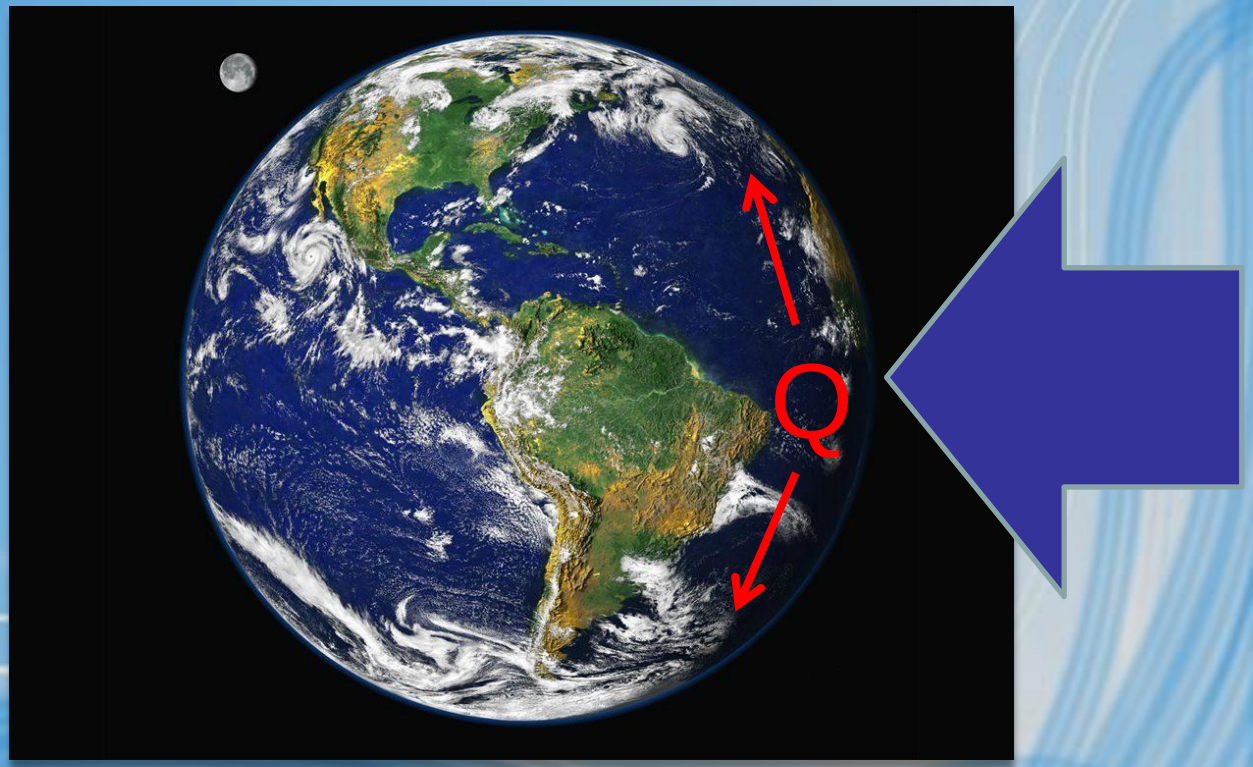
Phase 1 : évaporation

Absorption d'énergie

Phase 2 : condensation

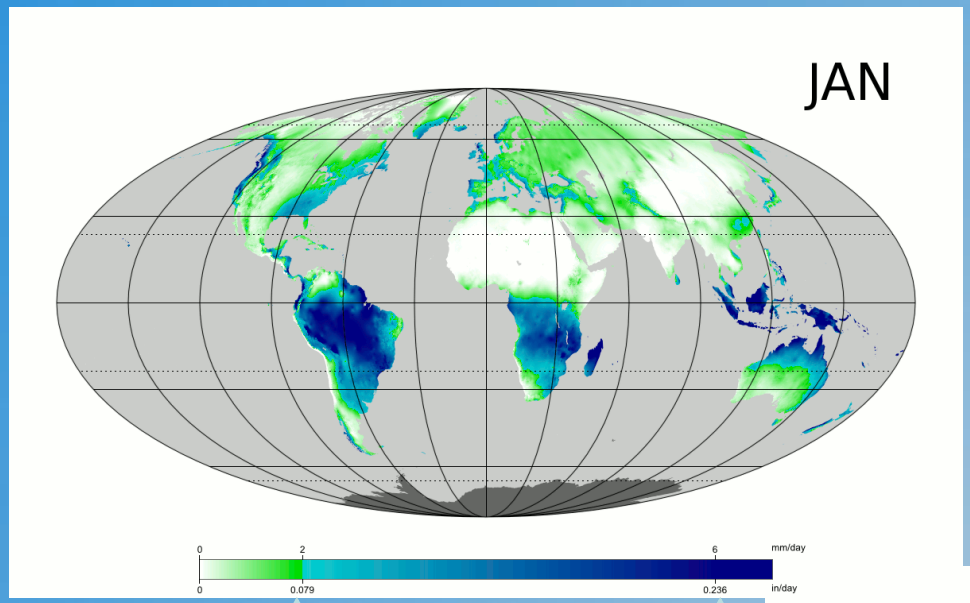
Restitution d'énergie

Phase 3 : précipitations



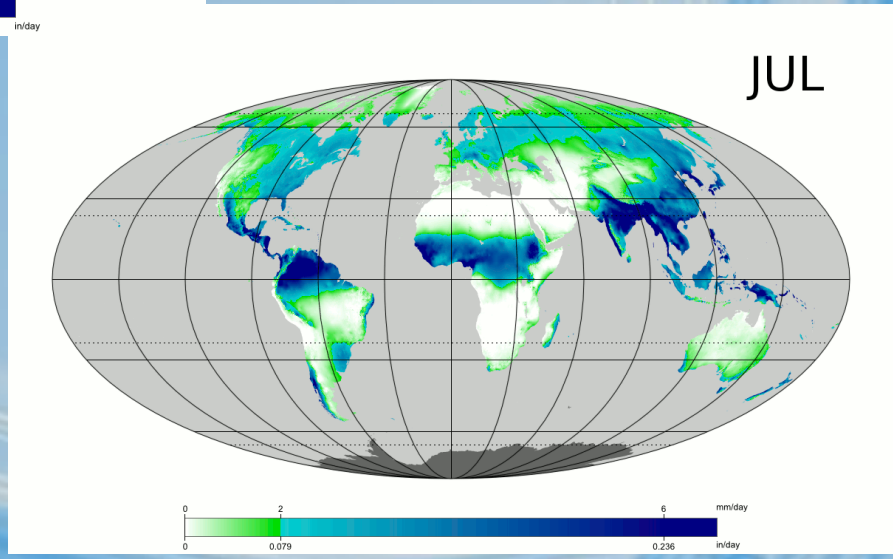
LE CYCLE DE L'EAU

MOYENNE DES PRECIPITATIONS (mm/j)



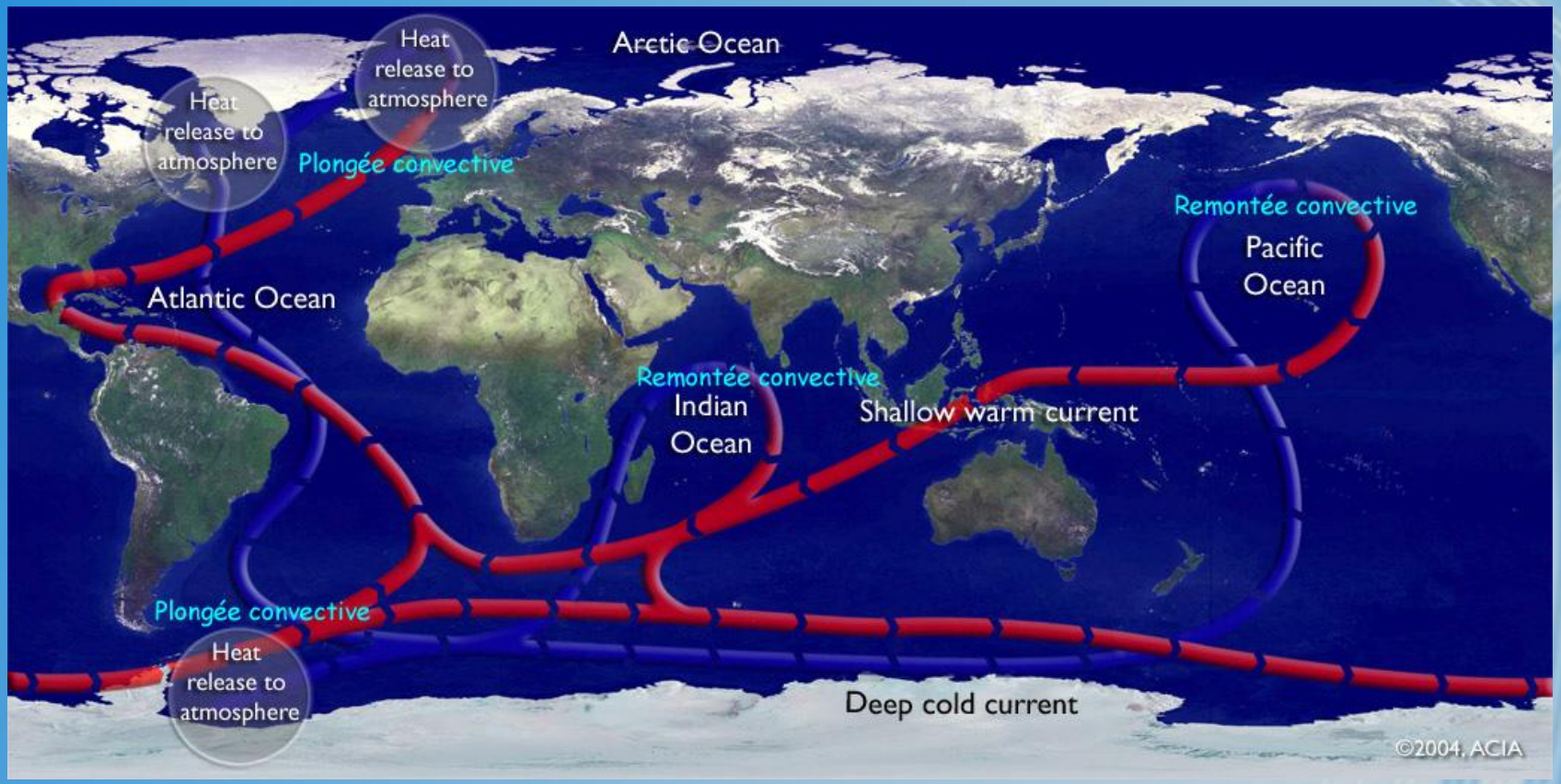
2mm/j

6mm/j



http://fr.wikipedia.org/wiki/Précipitation

CIRCULATION THERMOHALINE [*]



Circulation permanente à grande échelle de l'eau des océans, engendrée par des écarts de température et de salinité des masses d'eau.

→ tapis roulant à l'échelle du globe

→ Plusieurs centaines à un millier d'années

[*] http://acces.ens-lyon.fr

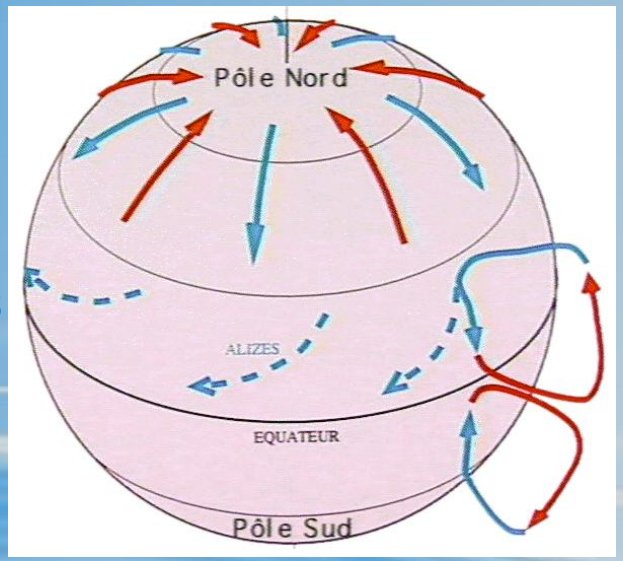
TRANSFERT DE MASSE ET D'ENERGIE

CARACTERE « ZONAL » du CLIMAT
CIRCULATION DE L' AIR & CYCLE DE L'EAU

- **Transfert de chaleur : Equateur > Pole**
- **Moteur : circulation atmosphérique**
- **Répartition zones : dépressions/anticyclones**

Pluie

Equateur,
moyennes latitudes



Sécheresse

Tropiques

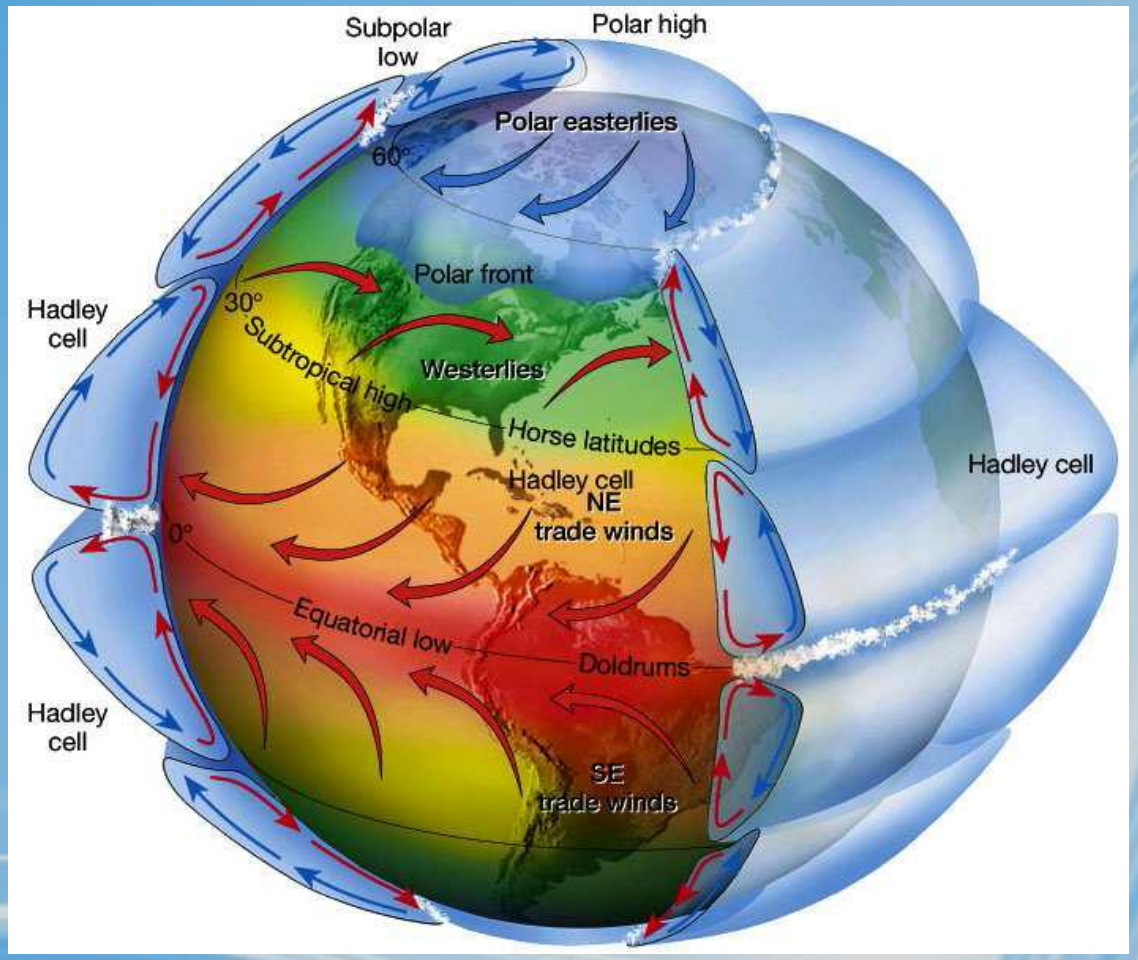
TRANSFERT DE MASSE ET D'ENERGIE (suite)

CIRCULATION ATMOSPHERIQUE [*]

Echange thermique dans 2 directions privilégiées :

Horizontalement

Verticalement

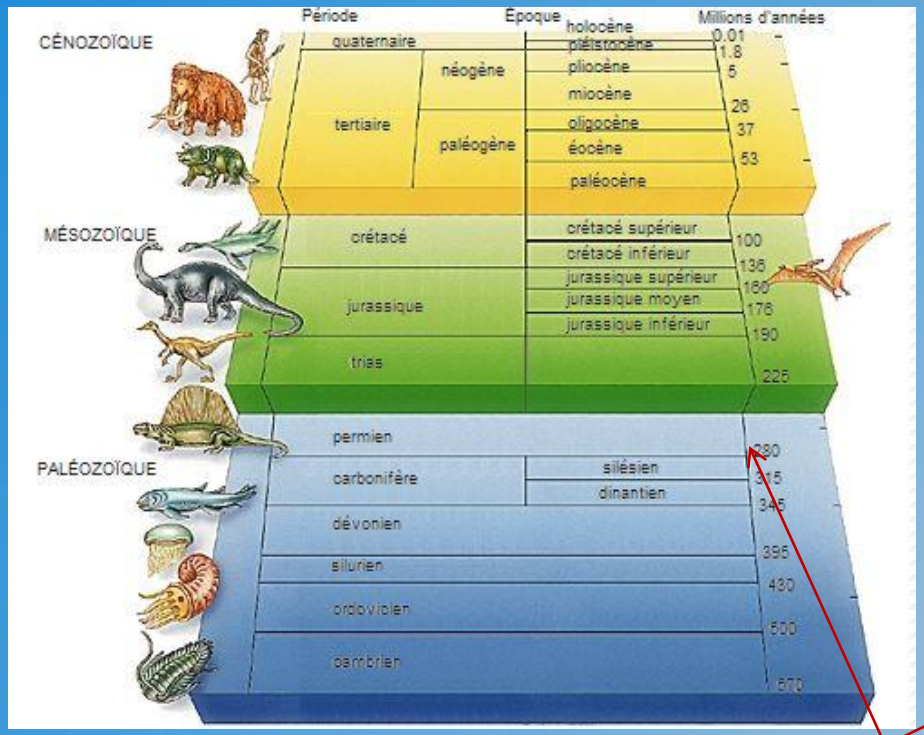


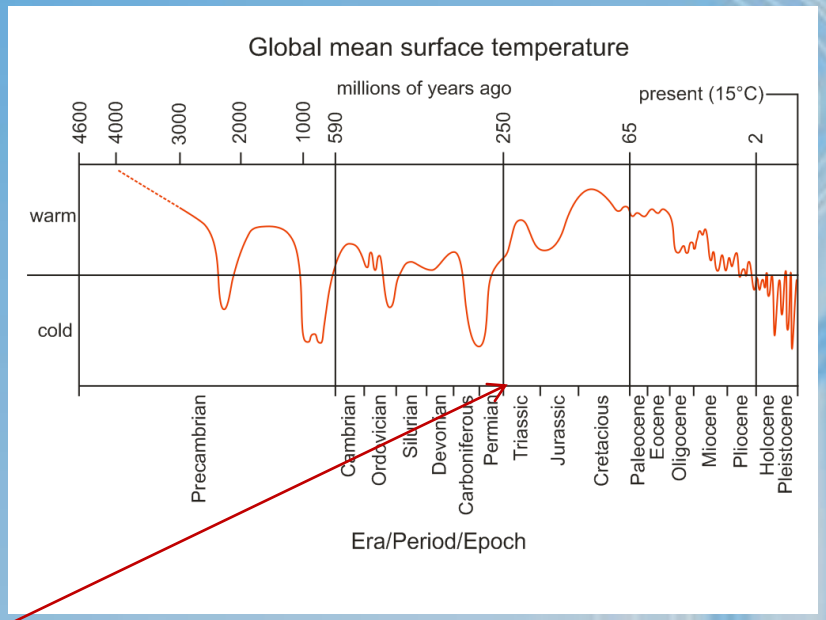
http://www.lmd.jussieu.fr/

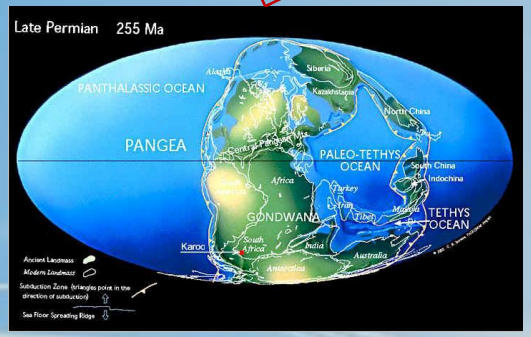
2/ CLIMATS PASSES

- *INTERET*
- *DE L'UTILITE DES ISOTOPES …*
  - *Datation au ^{14}C*
  - *Thermomètre isotopique $^{16}O/^{18}O$*
- *INDICATEURS CLIMATIQUES*
- *ETAT DES CONNAISSANCES*
  - *DEPUIS 2 MILLIONS D'ANNEES*
  - *PLUS RECEMMENT*
- *BILAN*

INTERET

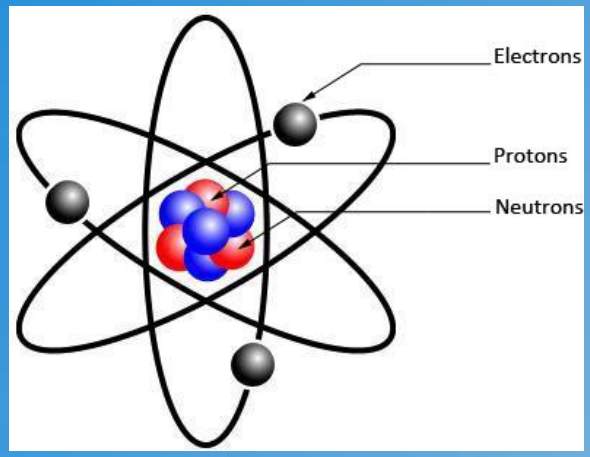






CONSTAT : PERPETUELLE EVOLUTION DU CLIMAT

DE L'UTILITE DES ISOTOPES



Qu'est-ce qu'un isotope ?

Formes différentes **d'un même élément** qui diffèrent par le **nombre de neutrons** présents dans leur noyau.

Il existe dans la nature plus de 300 isotopes différents des divers éléments du tableau périodique des éléments de **MENDELEIEV** et l'homme en a créé artificiellement plus de 1500.

- Certains sont **stables,** d'origine naturelle
- D'autres sont **radioactifs** → propriété à se désintégrer

Période radioactive : laps de temps au bout duquel **la moitié** de la quantité d'un même radionucléide **aura naturellement disparu** par désintégration.

DE L'UTILITE DES ISOTOPES (suite)

UTILISATION :

- pour la production d'énergie (^{235}U, ^{239}Pu)
- pour la datation (^{14}C, ^{40}K, $^{16}O/^{18}O$, ..)
- dans les diagnostiques au service de la médecine
- dans les équipements de mesure
- etc

Eléments	Période	Origine	présence	Utilisation
Oxygène ^{15}O	2,02 mn	Artificielle		Imagerie médicale
Carbone ^{11}C	20,4 mn	Artificielle		Imagerie médicale
Iode 123	13,2 h	Artificielle		Médecine nucléaire
Soufre 35	87,4 j	Artificielle		Recherche en biologie
Plutonium 239	24100 ans	Artificielle	Produits réacteurs nucléaires	Combustible
Tritium ^{3}H	12,3 ans	Artificielle		Fusion thermonucléaire
Deutérium ^{2}H ($2^{0}/00$) Hydrogène ^{1}H (99,98%)	stable stable	Naturelle Naturelle		marqueurs, modérateurs neutrons
O^{18} (0,2%) (O^{16} 99,8%)	**stable** **stable**	**Naturelle**	**Composés oxygénés naturels**	**Paléoclimatologie**
Carbone ^{14}C **Carbone ^{12}C**	**5730 ans** **stable**	**Naturelle** Naturelle	**atmosphère Composés Carbonés**	**Datation**
Radium 226	1600 ans	Naturelle	Roches terrestres avec U	
U 235	704 millions années	Naturelle	Roches granitiques	Combustible nucléaire
U 238	4,47 milliards d'années	Naturelle	Roches granitiques	Combustible nucléaire

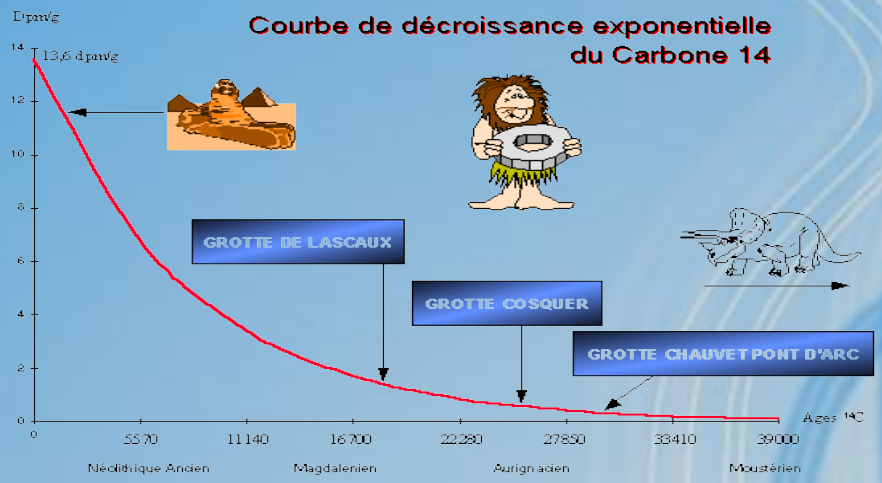
DE L'UTILITE DES ISOTOPES (suite)

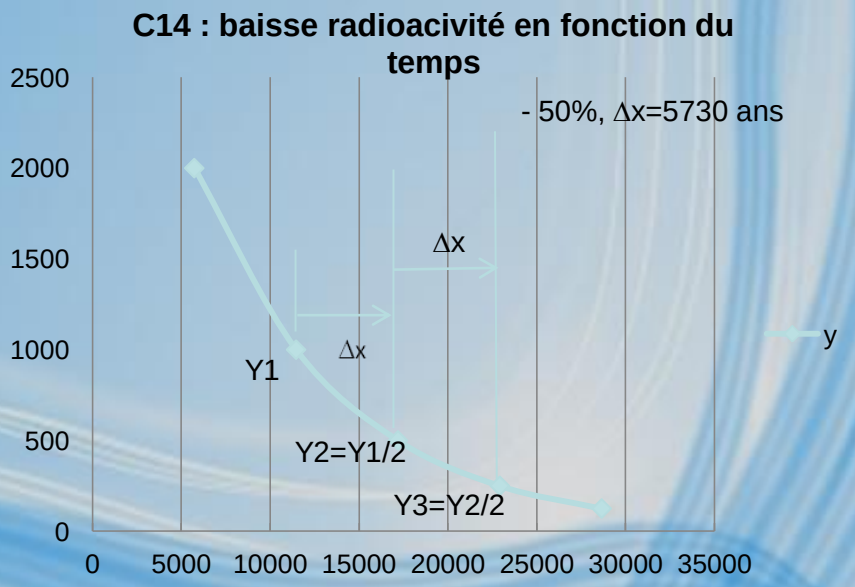
LA DATATION au ^{14}C

Intérêt:
→ Il est produit naturellement et quasiment de manière constante depuis des millions d'années (processus de formation par collision des rayons cosmiques sur N_2 à la limite de la stratosphère)

→Ses atomes s'intègrent au cycle de vie (comme le carbone C^{12})

Evènements < 50000 ans
(8 périodes → 2^8)





DE L'UTILITE DES ISOTOPES (suite)

LE THERMOMETRE ISOTOPIQUE [*]

Rapport $^{18}O/^{16}O$

[Etat naturel : 2 ‰ dans l'eau]

Il y a des molécules d'eau H_2O 'légères' …

Il y a des molécules d'eau H_2O 'lourdes' .

En fonction de la température,
évaporation, condensation, précipitation
séparent + ou – ces molécules

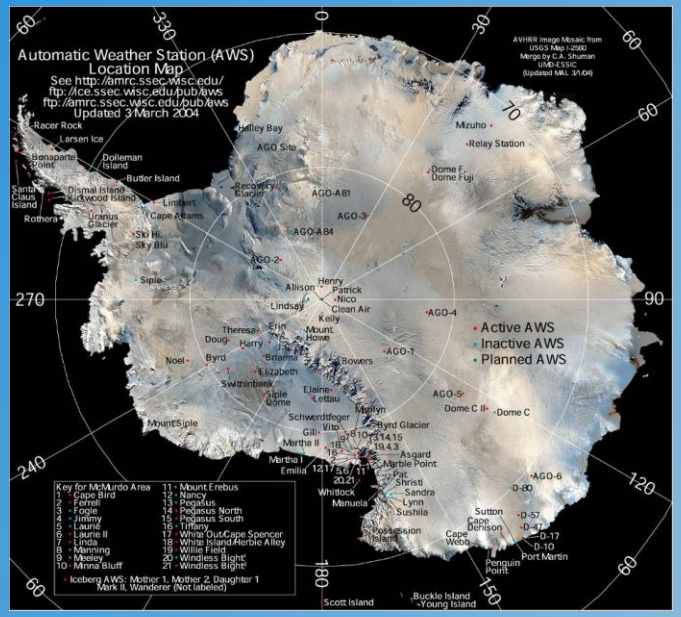
- Neige et glace qui se forment sur la calotte sont appauvries en ^{18}O d'environ 4% par rapport à l'eau de mer.
- L'enrichissement en ^{18}O de l'eau de mer a pour conséquence que les coquilles des foraminifères s'enrichissent également en ^{18}O.

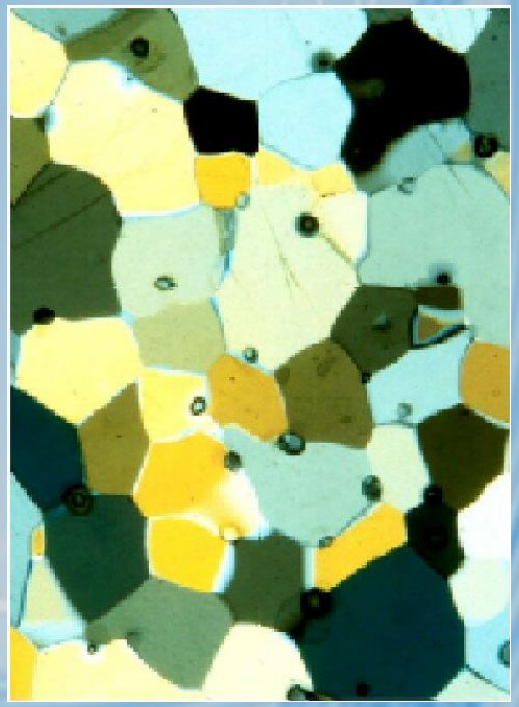
>> Lien entre quantité d'eau « lourde » et température

[*] Planches Athénée Luxembourg

DE L'UTILITE DES ISOTOPES

CAROTTES DE GLACE DOME C





Le Graal des Climatologues :
des carottes de glaces qui contiennent des bulles d'air
…

D. ORY

INDICATEURS CLIMATIQUES

Le Carbone et l'Oxygène se retrouvent partout dans le cycle de la vie

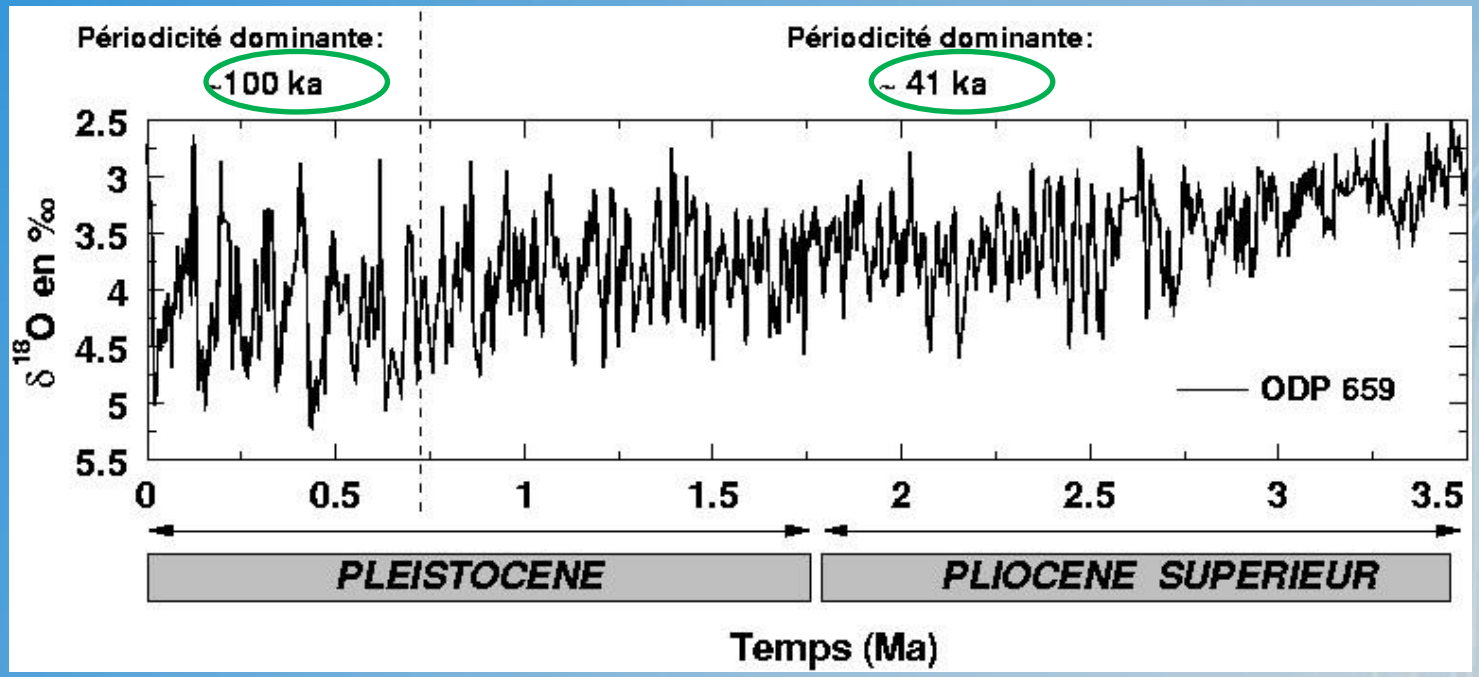
- Sédiments marins et lacustres,
- Coraux,
- Anneaux des arbres,
- Carottes glaciaires,
- Pollens,
- Cyclostratigraphie rocheuse,
- Séquences marines de carbonates,

Etc …

La géochronologie et la géochimie isotopique viennent ici à la rescousse, pour mieux appréhender les différents mécanismes impliqués dans la variabilité climatique et replacer les événements dans un cadre chronologique unifié.

ETAT DES CONNAISSANCES

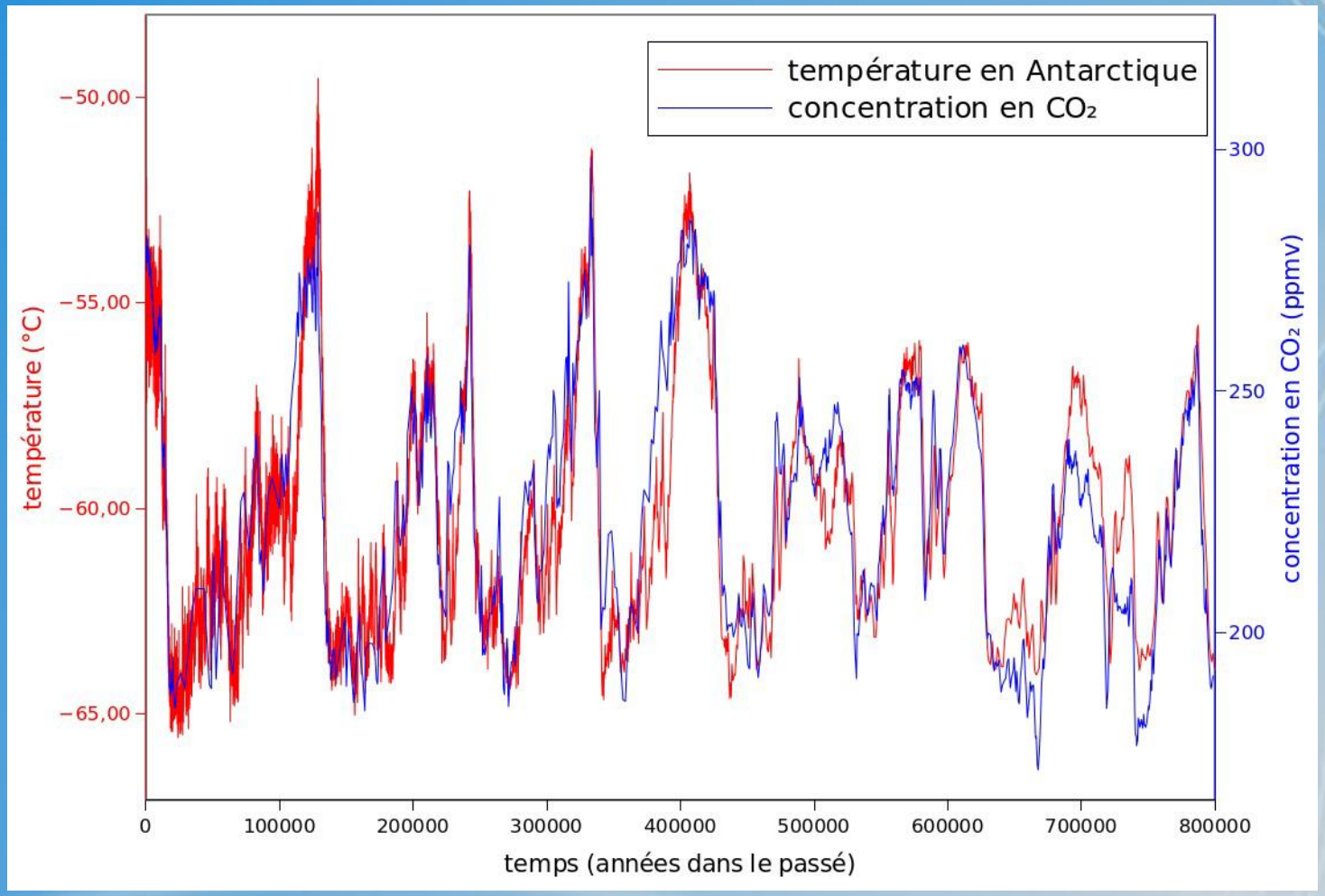
VARIATION DU VOLUME DES GLACIERS CONTINENTAUX SUR TERRE



→ CORRÉLATION ENTRE LES VARIATIONS CLIMATIQUES ET LE FORÇAGE ORBITAL

METHODE : ETUDE DES ISOTOPES 18 ET 16 DE L'OXYGÈNE CONTENU DANS LES SQUELETTES CARBONATÉS DES FORAMINIFÈRES BENTHIQUES GÉNÉRALEMENT EXTRAITS DES SÉDIMENTS MARINS FORÉS DANS LES FONDS OCÉANIQUES.
(FORAGE OCÉANIQUE ODP 659)

ETAT DES CONNAISSANCES

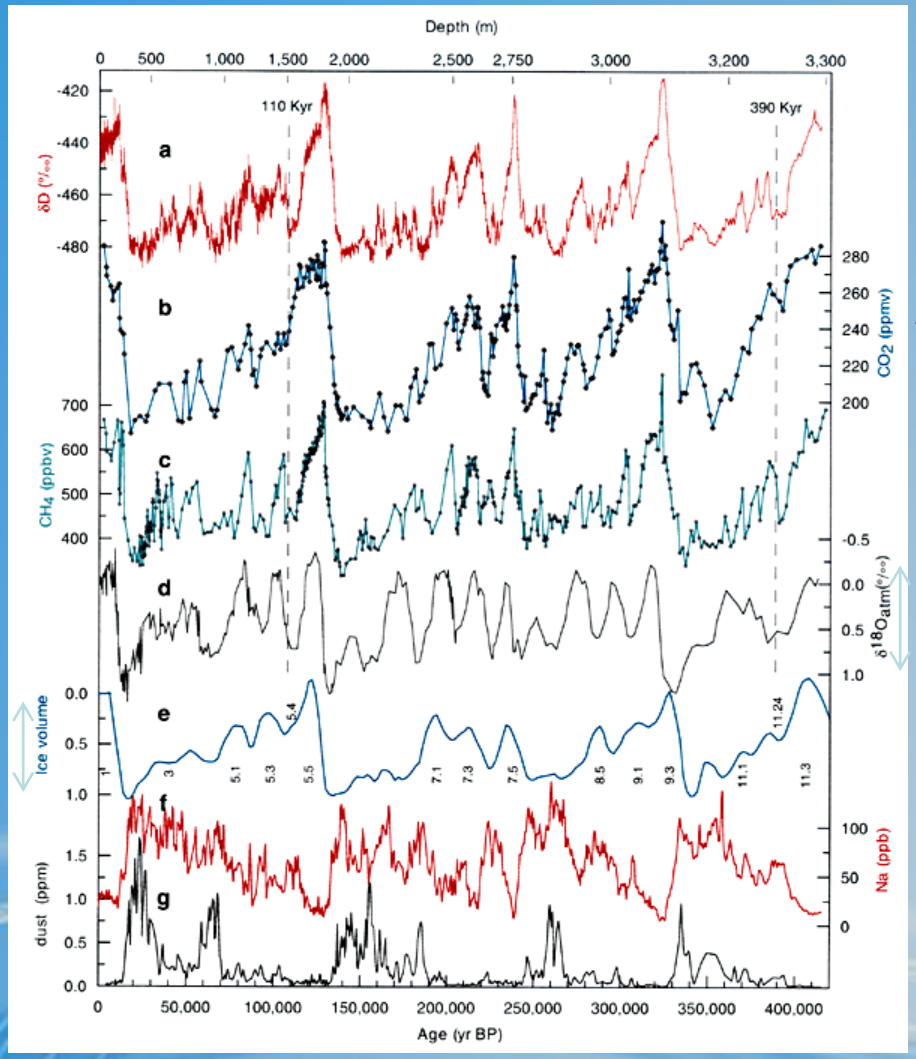


Reconstructions de la température annuelle en Antarctique (°C) et de la concentration en CO_2 (en ppm) à partir de carottes de glace forées à EPICA Dome C ⇨ corrélation flagrante entre CO2 et température

http://lgge.osug.fr/IMG/fparrenin/popularization/2013-IPSL-CO2.pdf

ETAT DES CONNAISSANCES

CONCENTRATIONS CO_2, CH_4 , ISOTOPES ^{18}O et ^{2}H



Concentration CO_2

Forages de Vostok
Antarctique

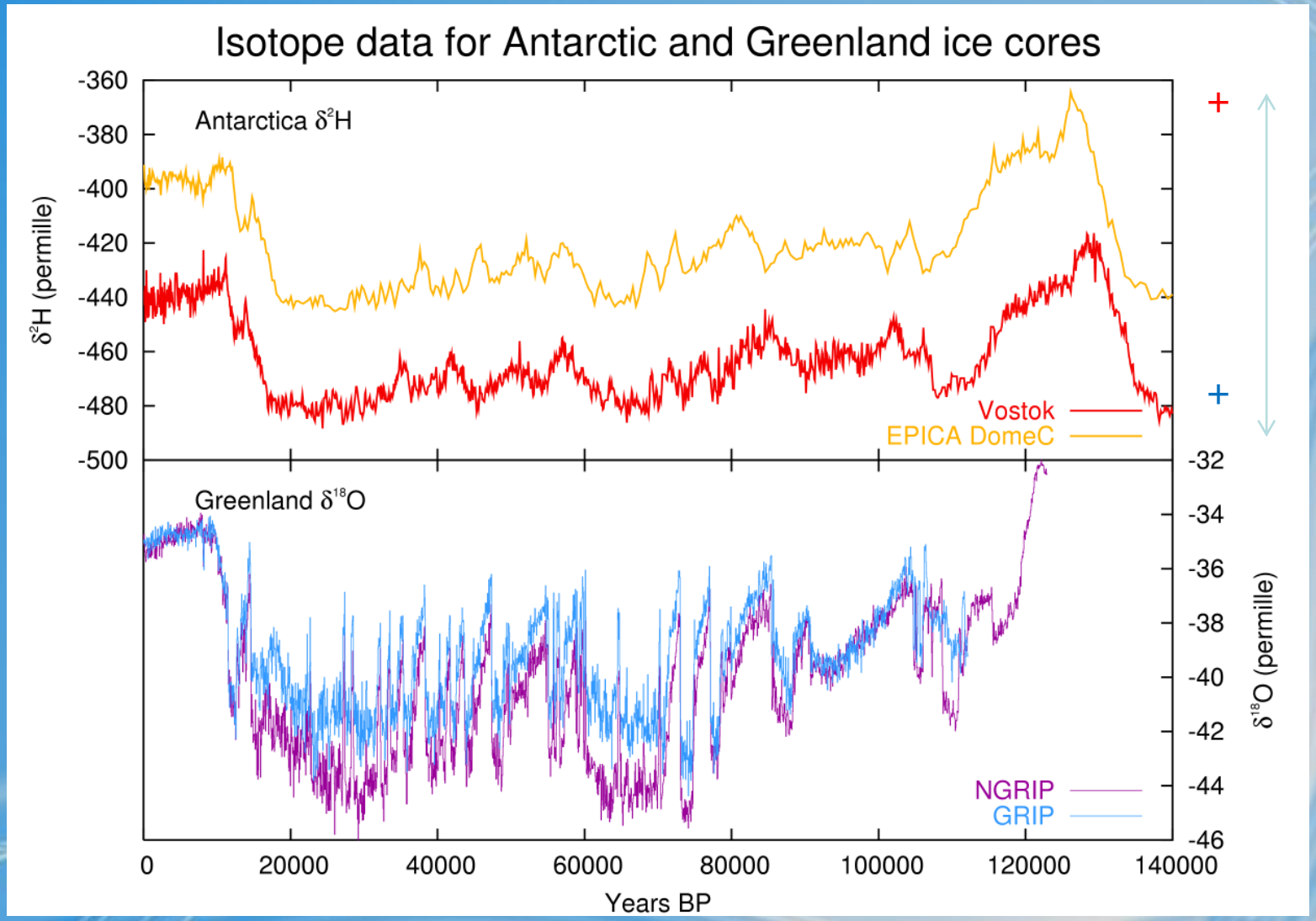
-10°C

Mer
-120m

D. ORY

ETAT DES CONNAISSANCES

ISOTOPES ^{18}O, ^{2}H

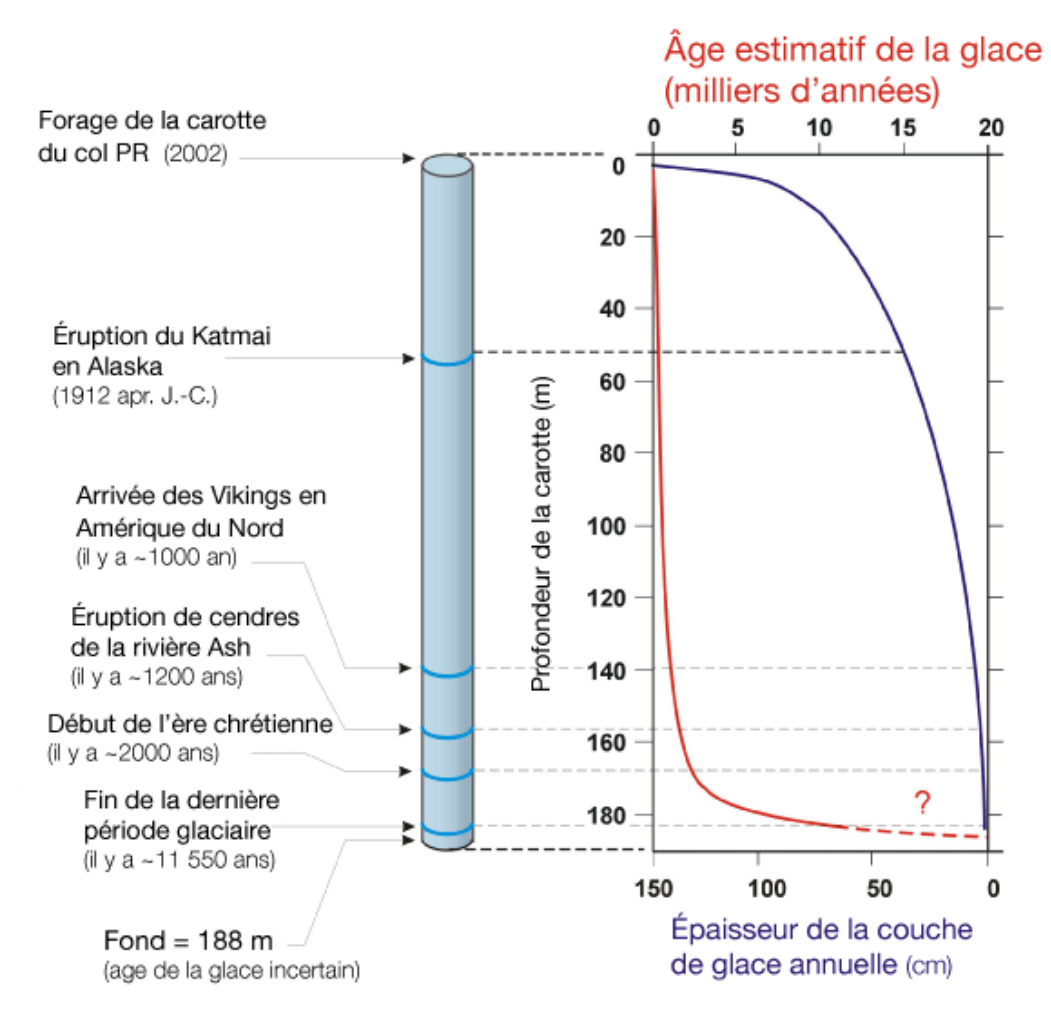


D. ORY

Forages de Vostok Antarctique

ETAT DES CONNAISSANCES

DEPUIS LA FIN DE LA DERNIERE PERIODE GLACIAIRE [*]



[*] http://www.museevirtuel-virtualmuseum.ca

ETAT DES CONNAISSANCES

LES TERRES HORS D'EAU EN EUROPE IL Y A 12000 ANS

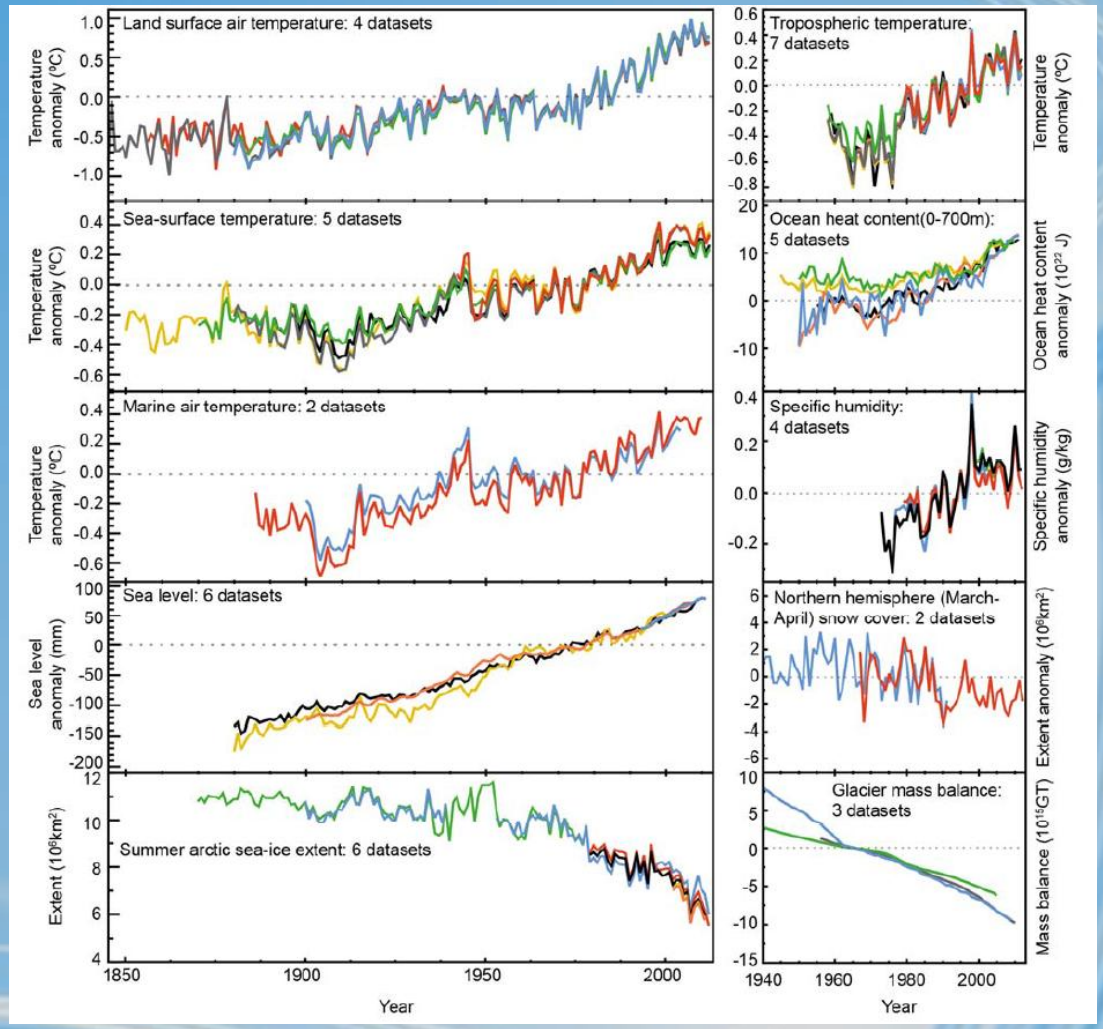
ETAT DES CONNAISSANCES

PLUS RECEMMENT …[*]

DES SIGNES D'EVOLUTION CLIMATIQUE DEPUIS 150 ANS:

- Températures,
- Surface des océans,
- Extension des glaces dans l'Arctique,
- Échauffement des mers,
- Fonte des glaciers,

….

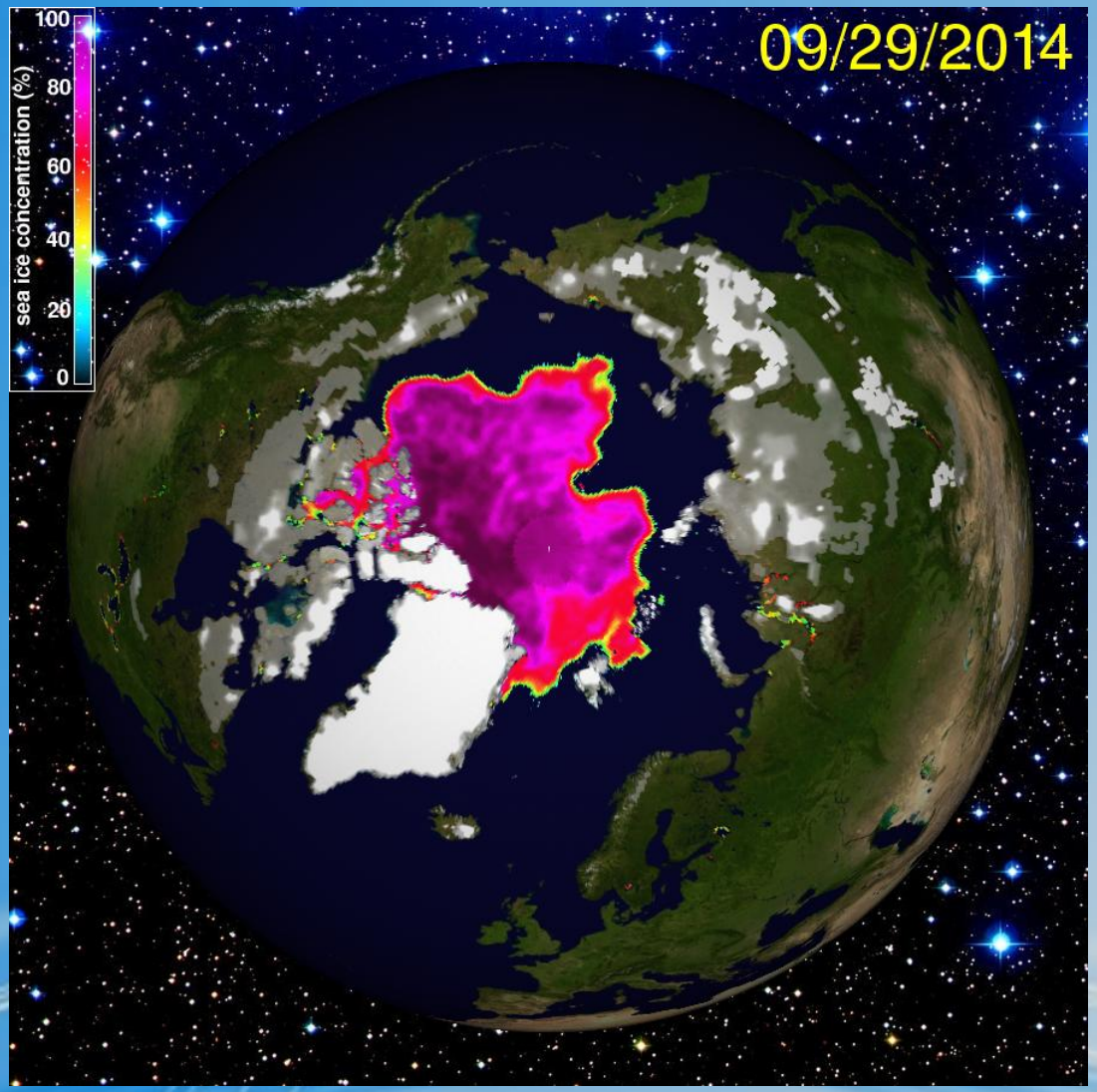


[*] GIEC 1er volet du 5ième rapport septembre 2013

ETAT DES CONNAISSANCES

PLUS RECEMMENT (suite)

LA CALOTTE POLAIRE ARCTIQUE EN 2014 [*]



La banquise arctique s'est de nouveau fortement rétractée, avec un minimum atteint le 17 septembre d'après le NSIDC.

Le passage du Nord-est s'est largement ouvert à la navigation, comme le montre l'image ci-contre de l'étendue des glaces au 29 septembre.

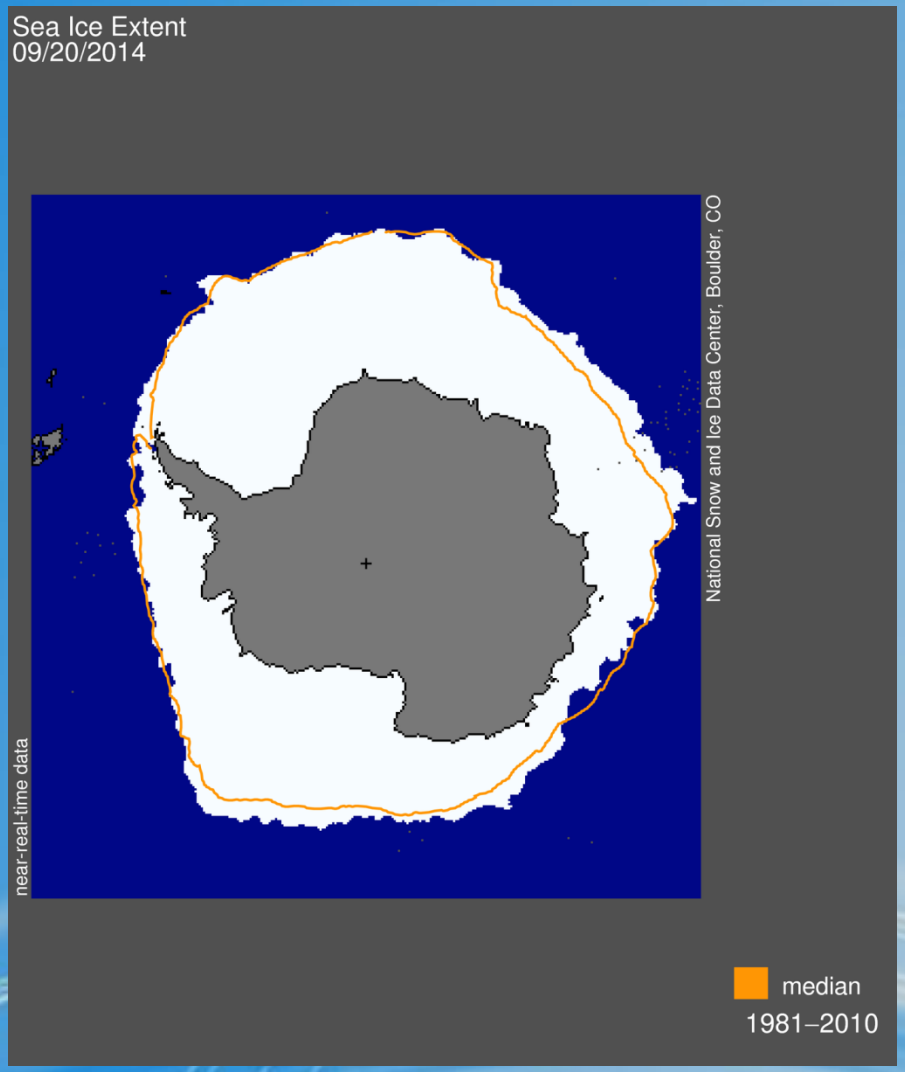
En revanche le passage du Nord-ouest est resté fermé, contrairement à plusieurs années récentes.

L'année 2014 est au sixième rang des banquises arctiques les plus réduites depuis le début des mesures par satellites, en 1979

ETAT DES CONNAISSANCES

PLUS RECEMMENT (suite)

LA CALOTTE POLAIRE ANTARCTIQUE EN 2014 [*]



La banquise de l'Océan Austral a tendance à grossir en fin d'hiver austral .

Elle a même battu son record d'extension cette année.

Mais sur la période 1979/2014, l'étendue minimale de la banquise a diminué de plus de deux millions de kilomètres carrés.

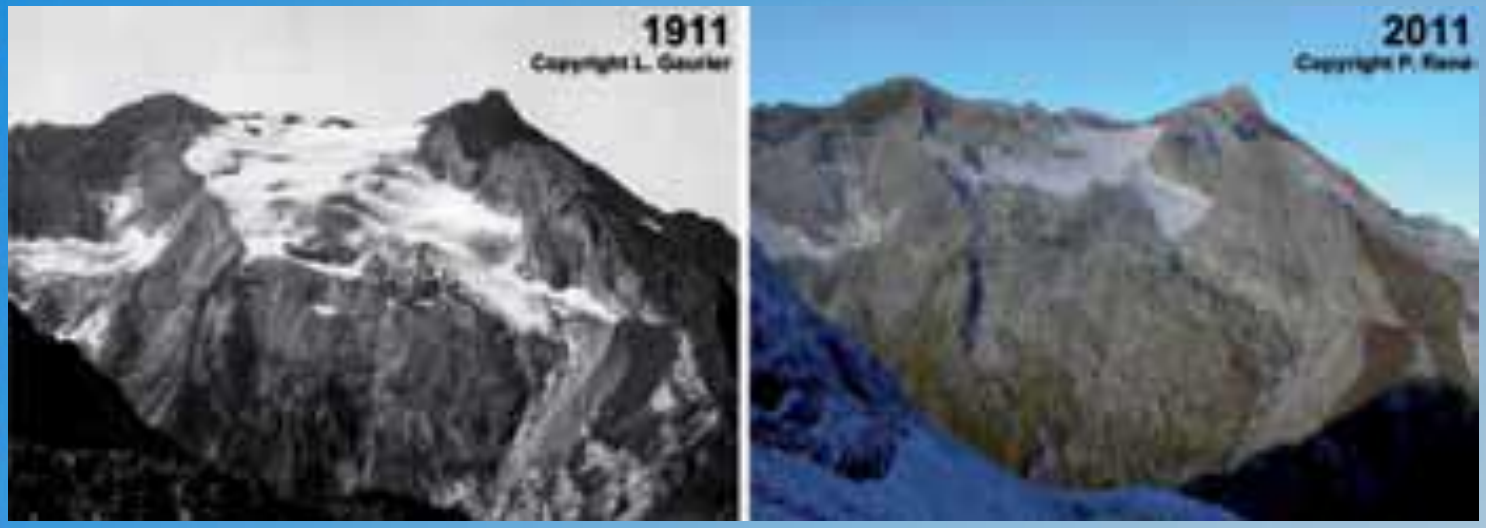
Avec surtout une presque disparation des glaces de plus de trois ans d'âge qui constituaient près du quart de la surface au milieu des années 1980.

En conséquence, l'épaisseur moyenne de la banquise a diminué, favorisant sa fonte plus rapide durant l'été.

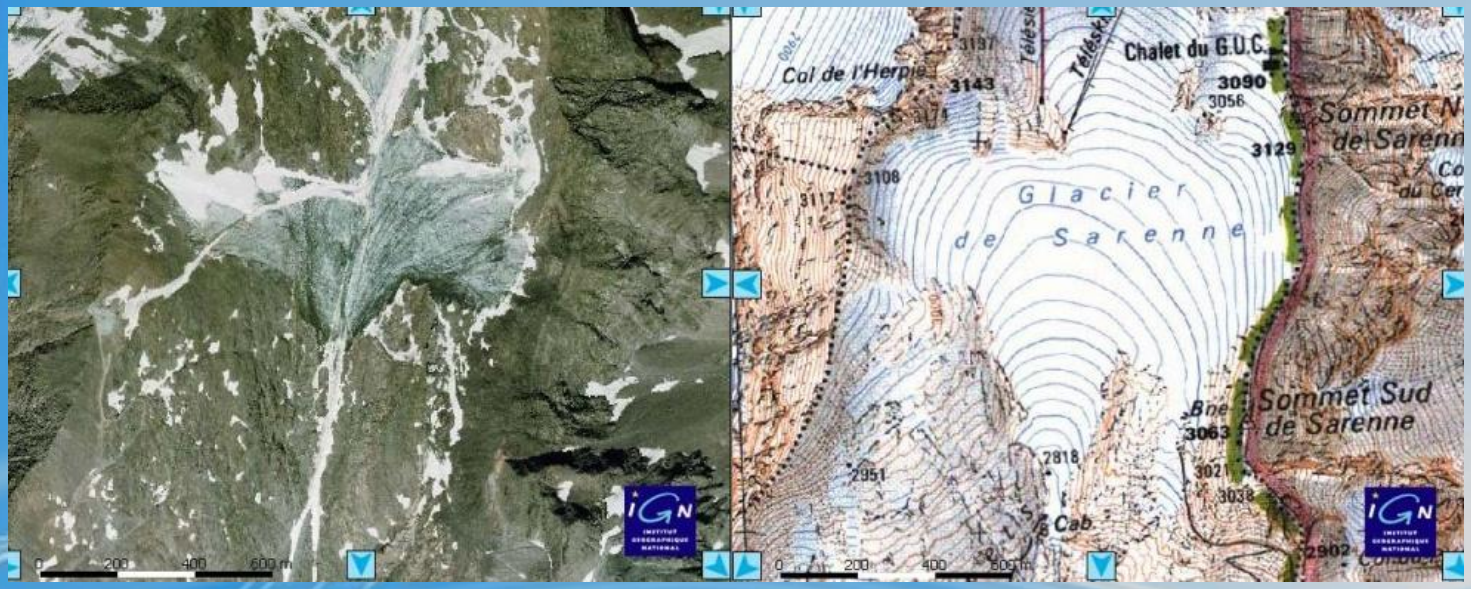
ETAT DES CONNAISSANCES

PLUS RECEMMENT (suite)

EXEMPLE : LES GLACIERS



Depuis 1911, le diamètre du glacier d'Ossoue s'est raccourci de 540 mètres.
En cent ans, sa superficie est passée d'environ 110 à 45 hectares, soit une perte de surface de 59 %.



Glacier Alpin

[*] http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rep_-_Chiffres_cles_du_climat.pdf

ETAT DES CONNAISSANCES

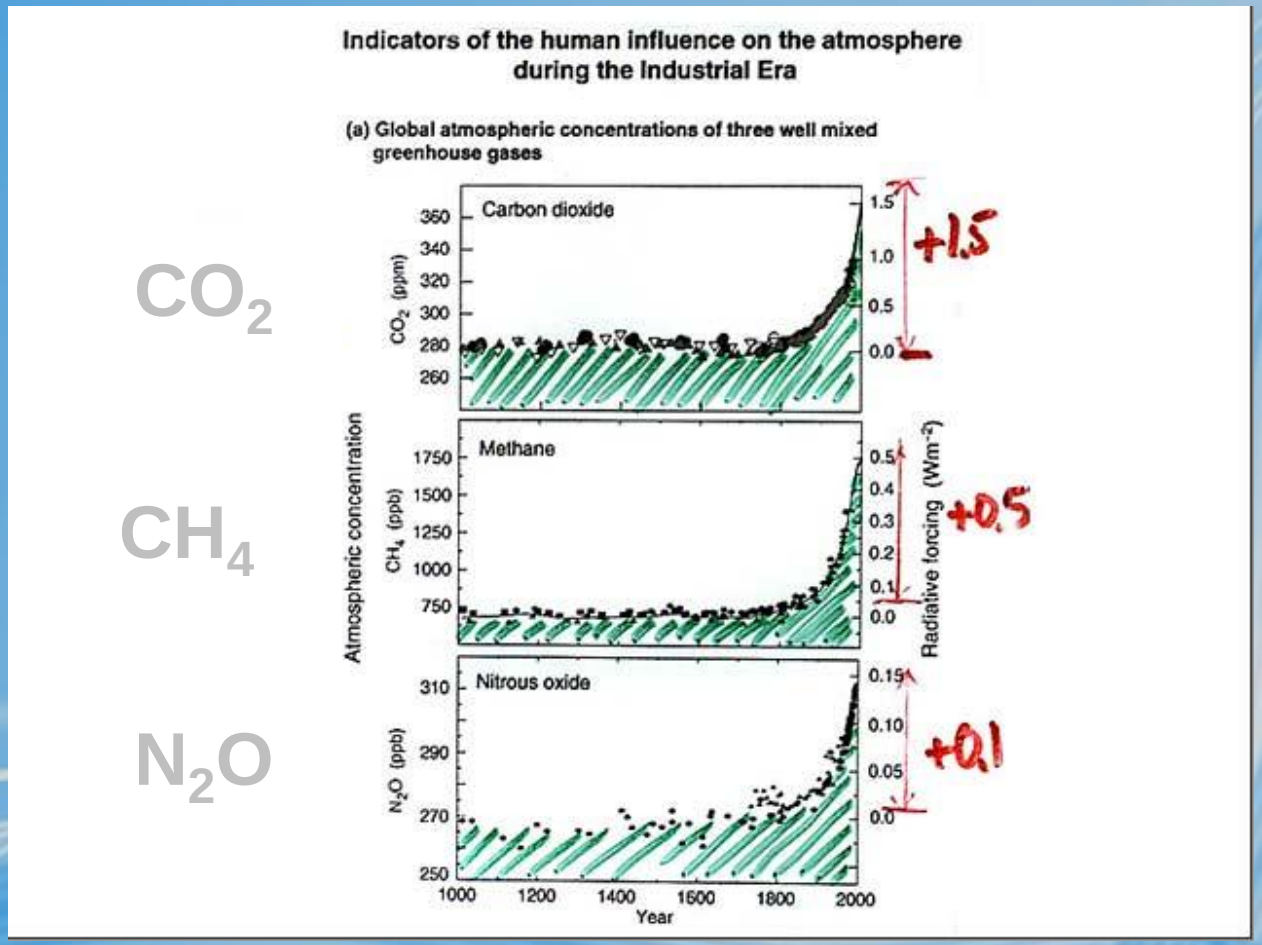
PLUS RECEMMENT (suite)

AUTRES SIGNES : AUGMENTATION DES CONCENTRATIONS DES GES (CO2, CH4, …) DEPUIS LE DEBUT DE L'ERE INDUSTRIELLE

CO_2

CH_4

N_2O



ETAT DES CONNAISSANCES

PLUS RECEMMENT (suite)

CONSTAT : GAZ CARBONIQUE

La concentration moyenne en CO_2 a oscillé entre **180ppm et 280ppm** depuis 400000 ans en suivant ~ les grands cycles astronomiques de 100000 ans, 40000 ans et 20000 ans (Cf Milankovitch).

➪La concentration actuelle en CO_2 est de **+37%** du maximum de ce qu'elle a été dans le passé ….

Sachant que depuis1800, environ **350 Gt** (milliard de tonnes) de carbone (C) ont été émises dans l'atmosphère par la combustion des **énergies fossiles** et **la déforestation**, les concentrations atmosphériques moyennes de CO_2 devraient avoisiner aujourd'hui les **450ppm**.
Or, la teneur moyenne en CO_2 aujourd'hui s'établit à **~385ppm**
(Dans tout l'hémisphère Nord, les stations de mesure du gaz carbonique dans l'atmosphère ont dépassé les **400 ppm** en avril 2014)

☺ Les réservoirs naturels (**océan** et **biosphère continentale**) jouent le rôle de **puits de carbone** en absorbant, plus ou moins régulièrement, plus de la moitié du CO_2 émis par les activités humaines.

[*] CEA 2008-2009

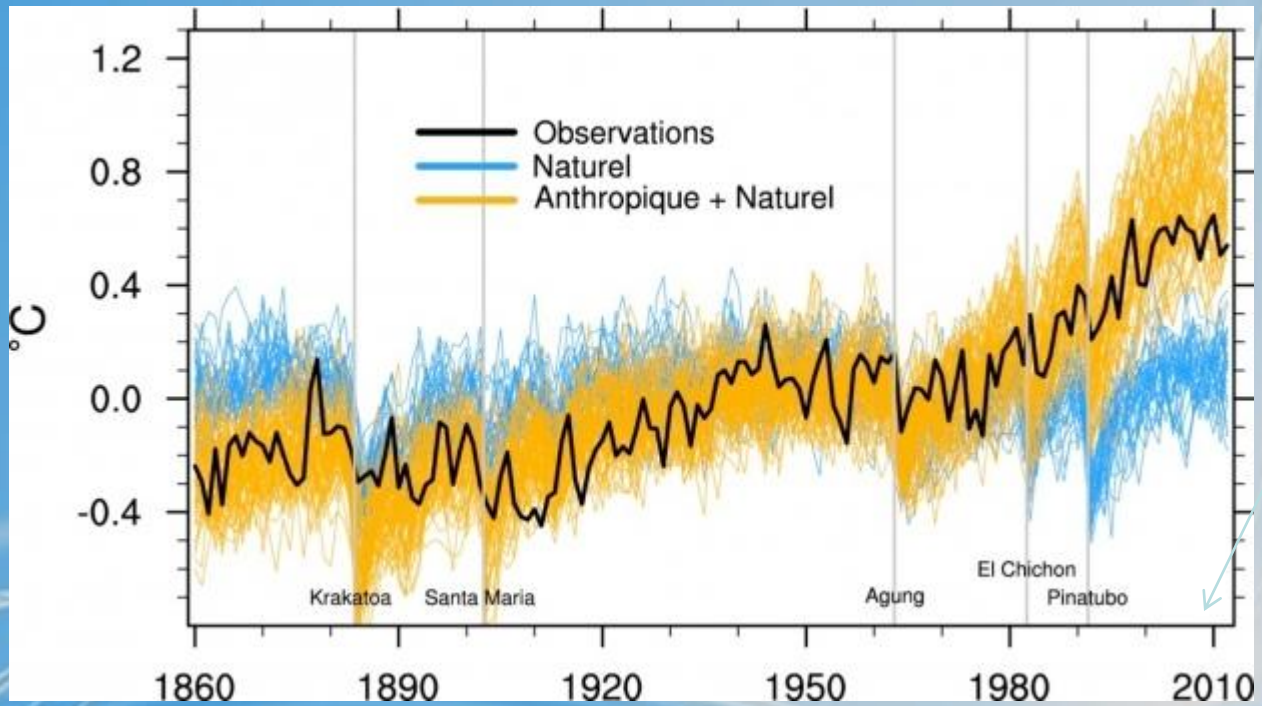
ETAT DES CONNAISSANCES

PLUS RECEMMENT (Suite)

<u>Évolution de 1860 à 2012 de la température annuelle moyenne à la surface de la Terre par rapport à la température moyenne de cette période prise comme référence</u>,

- observée (courbe noire)
- et calculée par les simulations historiques de CMIP5 [*] en prenant en compte
- **soit tous les facteurs externes connus (courbes oranges),**
- **soit uniquement les facteurs naturels (courbes bleues).**

Les principales éruptions volcaniques sont indiquées par les barres verticales.



>2005 : La Soufrière, le Tavurvur, le Kasatochi, le Sarychev, le Nabro …

[*] CMIP5 - Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (GIEC)

BILAN

LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE EST-IL AVERE ?
QUELLE EST LA CONTRIBUTION DU CO_2 DANS CE PHENOMENE … ?

CONSENSUS DE LA MAJORITE DE LA COMMUNAUTE SCIENTIFIQUE :

- Augmentation de la température moyenne

- Augmentation indubitable de la concentration de CO_2 (et autres GES) depuis 150 ans dans l'atmosphère ⇨ exploitation des réserves de carbone fossiles par l'homme.

⇨L'effet des fluctuations solaires (0,2W/m^2) passe au second plan derrière l'effet des GES émis par l'homme (+0,35W/m^2/décennie)
Ainsi le CO_2 d'origine anthropique est responsable d'environ 70% de l'effet de serre additionnel.

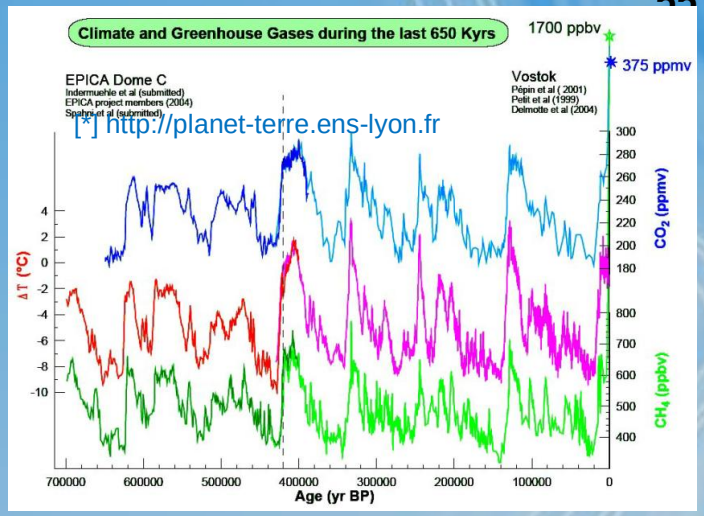
BILAN

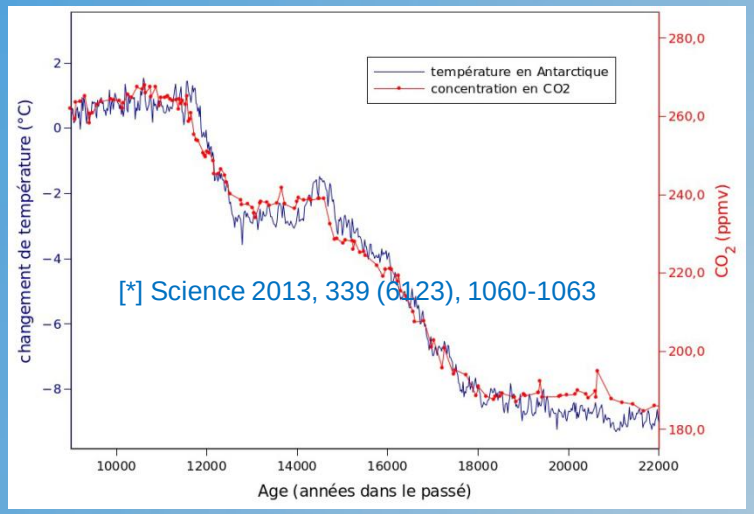
LE DECALAGE TEMPOREL

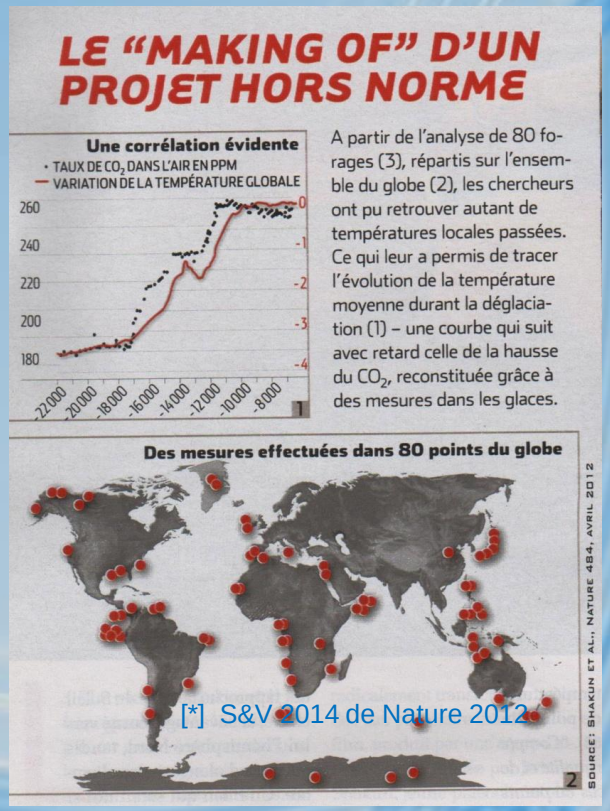
Des changements de température ont pu précéder ceux de CO_2 à certains moments dans le passé

$T\nearrow \rightarrow \; + CO_2$

Corrélation entre CO_2 et T







$+ CO_2 \rightarrow T\nearrow$

mais ce n'est en aucun cas un argument à l'encontre du rôle de l'accroissement de CO_2 dans le réchauffement actuel

BILAN

Le Groupe d'experts Intergouvernementaux sur l'Evolutions du Climat

L'influence des activités humaines est détectée :

- **dans le réchauffement de l'atmosphère et de l'océan,**
- **dans les changements du cycle global de l'eau,**
- **dans le recul des neiges et des glaces,**
- **dans l'élévation du niveau moyen mondial des mers (T↗)**
- **et dans la modification de certains extrêmes climatiques**

(Gain en certitude depuis le 4ième Rapport d'évaluation)

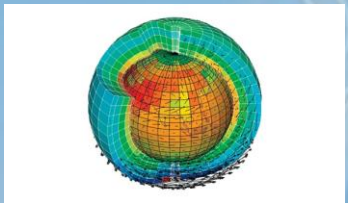
Il est *extrêmement probable* *que* l'influence de l'homme est la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XXe siècle.

BILAN

AU SUJET DES MODELES CLIMATIQUES (NUMERIQUES)

Les modèles climatiques se sont **considérablement améliorés** depuis une trentaine d'années,

- *augmentation de la puissance de calcul (1 pétaFLOPS)*
- *meilleure compréhension de la dynamique du système climatique*.



Validation des modèles par batteries de tests pour vérifier leur capacité à :

- reproduire le climat moyen, ses variations saisonnières et interannuelles (El Nino, par exemple),
- reproduire l'effet de perturbations comme les éruptions volcaniques
- etc.

Une **vingtaine de modèles couplés** dans le monde subit ces épreuves avec succès, avec quelques défauts communs identifiés (rayonnement solaire trop important dans l'hémisphère sud, incapacité à simuler les stratus des bords des océans, troposphère trop froide…)

Chaque modèle a **ses propres points faibles** qui le distinguent des autres.

Aucun « meilleur » modèle n'ayant émergé, la communauté scientifique a fait le choix du maintien d'une **« diversité numérique ».**

→ avantage : confrontation, émulation entre les différents laboratoires.

3/ LE FUTUR

- **P TRES GRANDE QUE $\Delta T_{moyenne} \geq 2°$**
- **LES IMPACTS DÉJÀ PERCEPTIBLES**
- **LA CONSOMMATION D'ENERGIE**
- **LES ENJEUX PLANETAIRES**

LE FUTUR

À la fin du XXIe siècle, l'augmentation de la température à la surface du globe sera :

- ***probablement supérieure à 1,5 °C par rapport à l'époque allant de 1850 à 1900, pour tous* les RCP sauf le RCP2.6.**

- **Il est *probable qu'elle dépassera 2 °C selon les RCP6.0 et RCP8.5.***

- ***il* est *plus probable qu'improbable qu'elle dépassera 2 °C selon le RCP4.5.***

- ***Dans tous les RCP* envisagés, à l'exception du RCP2.6, le réchauffement se poursuivra après 2100.**

Il continuera à présenter une variabilité interannuelle à décennale et ne sera pas uniforme d'une région à l'autre.

D. ORY

RCP, pour *Representative Concentration Pathways,* profils représentatifs d'évolution des concentrations, *4 scenarii*

LE FUTUR

IMPACT D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE (RECHAUFFEMENT)

GEOSPHERE

SOL

EROSION
EPUISEMENT
POLLUTION

•Cultiver autrement

AIR

POLLUTION
ACIDIFICATION
POUVOIR OXYDANT

Santé (maladies)

EAU

POLLUTION
RAREFACTION

•Conflits

BIOSPHERE

VIE

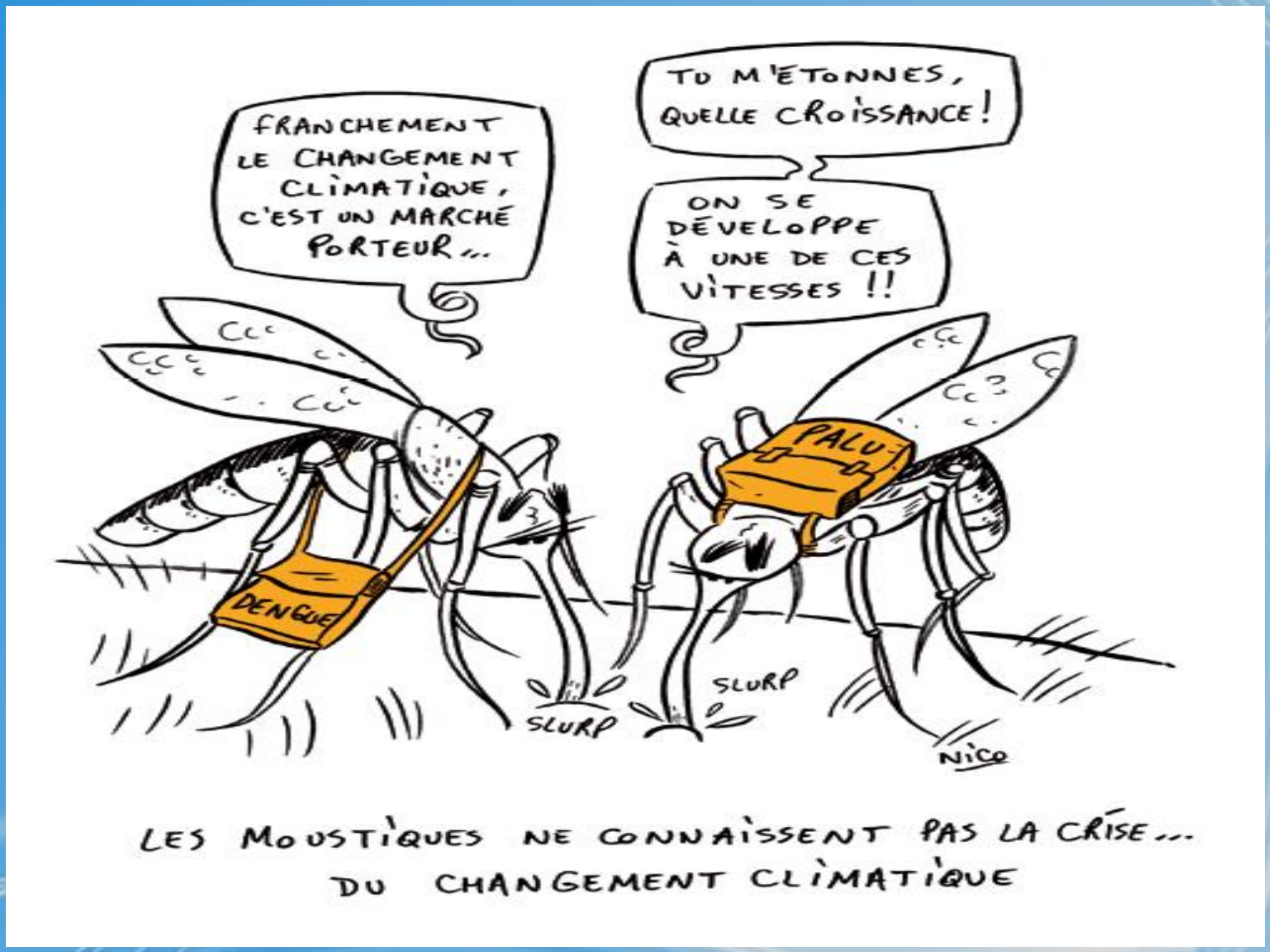
ESPECES

•Déplacement des aires de répartition des espèces

•Economie (pauvreté)

•Urbanisme (normes)

LE FUTUR [*]



[*] http://www.fondation-nicolas-hulot.org/

LE FUTUR

Autres signes de cette tendance au réchauffement

augmentation de l'acidité des océans de 30% depuis le début du XIXe siècle.

Précocité de la floraison des arbres fruitiers de 7 à 11 jours suivant les variétés depuis les années 80.

Baisse du nombre d'oiseaux migrateurs avec l'augmentation des températures d'hiver en Europe.

Progression en latitude Nord et aussi en altitude (Alpes, Pyrénées, Massif central) du front d'expansion de la chenille processionnaire, insecte d'origine méditerranéenne

Anticipation des vendanges qui, en Champagne, ont lieu en moyenne deux semaines plus tôt qu'il y a vingt ans.

la variabilité naturelle du système climatique n'explique pas les divers changements intervenus au XXe siècle

D. ORY

[*] http://www.fondation-nicolas-hulot.org/

QUE FAIRE?

Faire reposer la transition énergétique uniquement sur des changements de comportements individuels en demandant aux citoyens de modifier leurs habitudes ? Certes, pourquoi pas …

Mais vu l'urgence Climatique et la crise économique que traverse l'Europe, ceci ne suffira pas.

>> politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre à mettre en place au niveau national et international

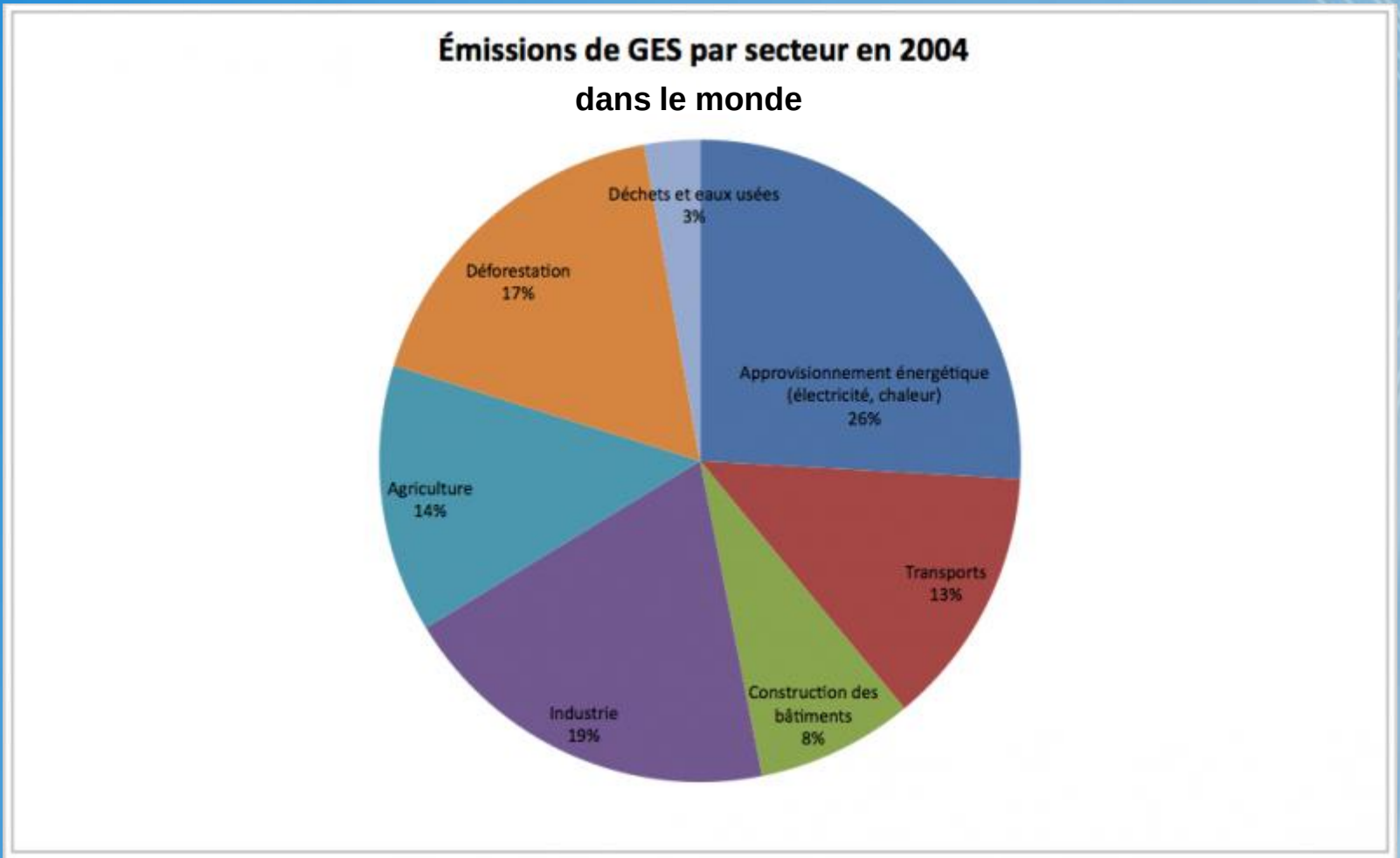
limiter le réchauffement de la température moyenne mondiale en-deçà de 2°C

Pic des émissions de GES mondiales au plus tard en 2017

Décroître ensuite drastiquement, dans une fourchette comprise entre -75 et -95% d'ici 2050 (par rapport à 1990) pour les pays industrialisés

http://www.nouvelledonne.fr/actualite/avec-jean-jouzel-une-nouvelle-ambition-pour-le-climat

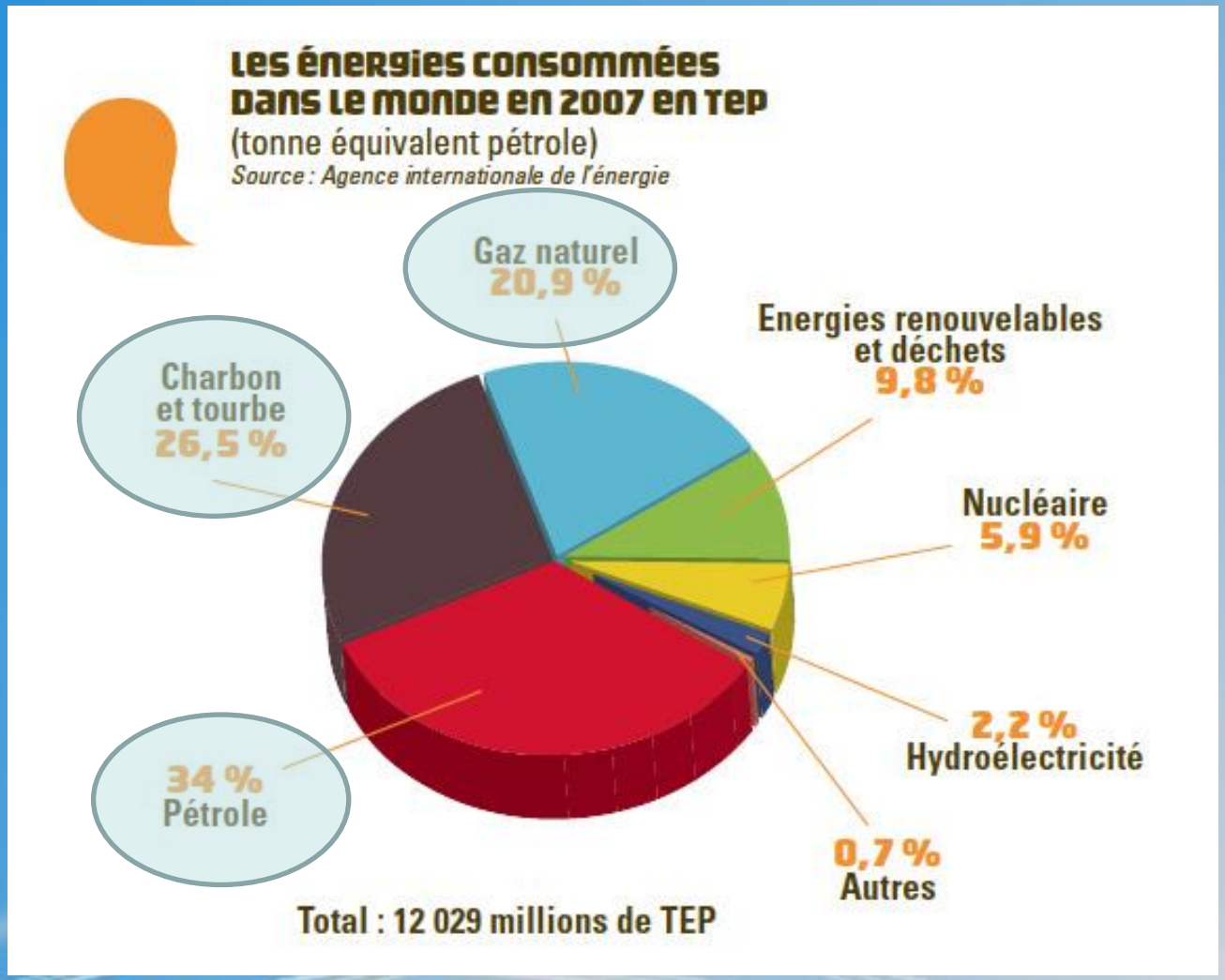
REDUIRE NOTRE CONSOMMATION …



L'utilisation des énergies fossiles (gaz, pétrole, charbon), l'industrie, la déforestation et l'agriculture ainsi que l'industrie sont les principales sources d'émissions de GES.

http://www.fondation-nicolas-hulot.org/

REDUIRE NOTRE CONSOMMATION …



81% combustibles fossiles

http://www.fondation-nicolas-hulot.org/

REDUIRE NOTRE CONSOMMATION D'ENERGIES FOSSILES…

La combustion de l'essence

$C_8H_8 + 10\ O_2 \rightarrow 8\ CO_2 + 4\ H_2O$

La combustion du charbon

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ [+ 33 kJ/g C]

La combustion du gaz (méthane, butane)

$CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$ [+ 56kJ/g CH_4]

$2\ C_4H_{10} + 13\ O_2 \rightarrow 8\ CO_2 + 10\ H_2O$ [+ 50kJ/g C_4H_{10}]

RESPECTER LA NATURE … !

La Photosynthèse en une ligne !

Chlorophylle + Energie (solaire) opèrent la réaction suivante :

$6\ CO_2 + 6\ H_2O$ (+ sels minéraux)$\rightarrow C_6H_{12}O_6$ (glucose) + $6\ O_2$

QUELQUES CHIFFRES…

⚐ depuis 1800, consommation de ~1300 milliards de barils de pétrole (# 200 milliards de tonnes, soit ~600 milliards de tonnes de CO_2 émis)

36 milliards de tonnes de CO_2 (toutes origines confondues) ont été émises dans l'atmosphère en 2013
(+2.1% en un an, + 61% par rapport à 1990)

☺ Les océans ont absorbé ~# 120 milliards de tonnes de CO_2 [1] depuis le début de l'ère industrielle.

☺ Les forêts du monde entier absorbent # 1/3 du CO_2 dégagé par les énergies fossiles.

[1] http://www.environnement.ens.fr/

EVENEMENTS RECENTS OU A VENIR

CLIMATE SUMMIT 2014
UN HEADQUARTER New York 23 septembre 2014
http://www.un.org/climatechange/summit/thematic-sessions/

IPCC REPORT (GIEC)
Copenhague 02 novembre 2014
http://www.ipcc.ch/index.htm

UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
Lima, Peru, 01 au 12 décembre 2014
http://www.developpement-durable.gouv.fr/Lima-une-conference-cruciale-pour.html

PARIS CLIMAT 2015
Conférence des Parties de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
30 novembre au 11 décembre 2015
http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-enjeux-de-la-conference-de.html

PARIS CLIMAT 2015 : COP_{21}

Réunion annuelle des 195 pays signataires de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques

30 novembre au 11 décembre 2015

http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-enjeux-de-la-conference-de.html

✓ cadre juridique existant est à bout de souffle (Kyoto),
✓ risques que le changement climatique fait courir sont perçus de façon plus aigüe sur tous les continents.

Le défi : transformer le consensus théorique actuel en un acte politique concret, la signature d'un accord international …

Les enjeux:

- *Contribution à l'effort de tous les pays (répartition des charges de réduction entre nord et sud)*
- *Assurer le financement (100 milliards de $ annuels d'ici 2020)*
- *Contrôle des engagements pris*

Une année complète ne sera pas de trop pour trouver le chemin d'un cadre de long terme, universel, et lutter efficacement contre le changement climatique.

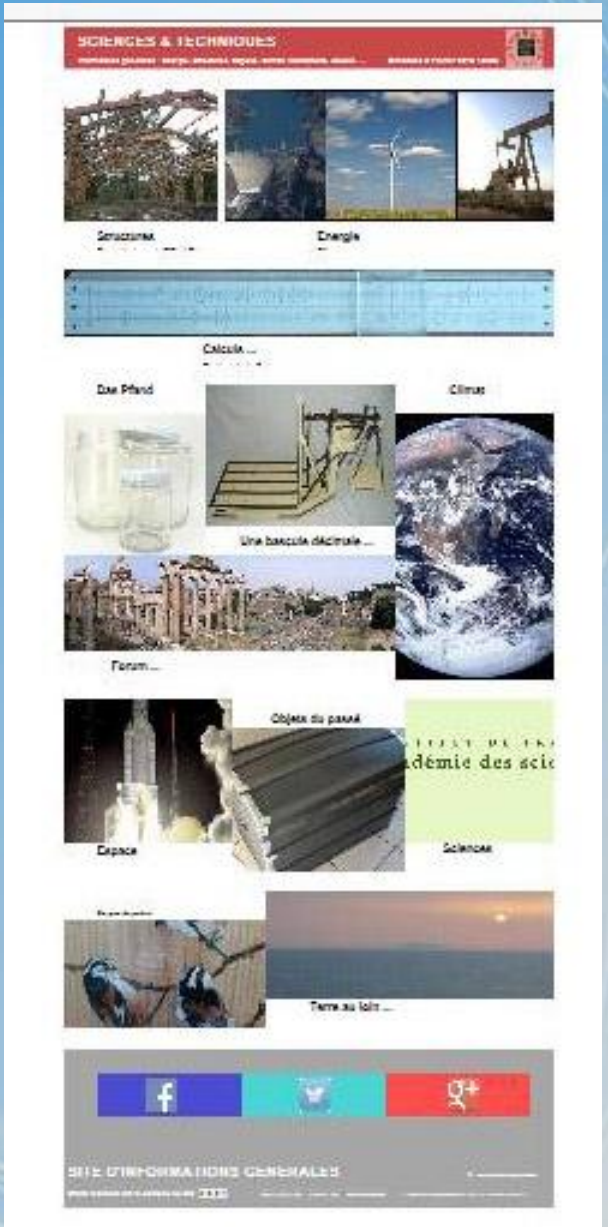
Notre planète : Afrique et Océan indien | © NASA/NOAA/GSFC/Suomi NPP/VIIRS/Norman Kuring

FIN

www.ingenieur-conseil33.fr

« En matière de Climat, incertitude ne veut pas dire ignorance »

www.ingenieur-conseil33.fr



BACK-UP

ETAT DES CONNAISSANCES

PLUS RECEMMENT (suite)

EXEMPLE : PERTE DE GLACE DES CALOTTES POLAIRES [*]

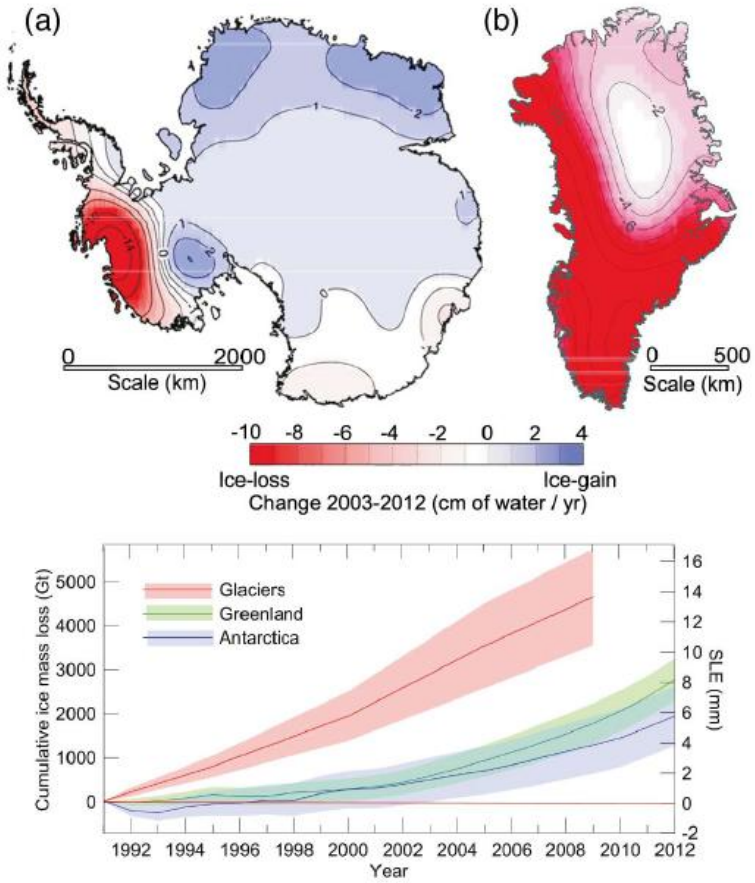


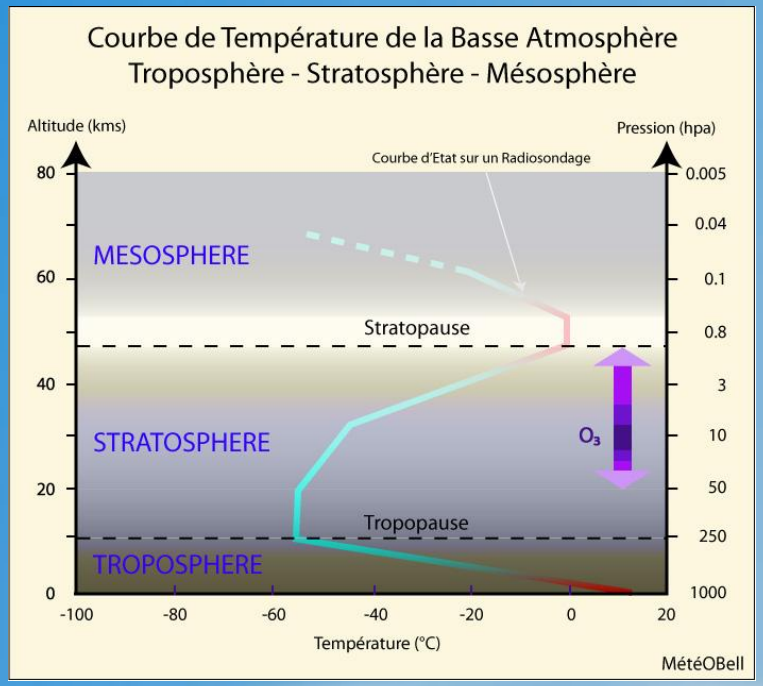
Figure TS.3: Upper panels: distribution of ice loss determined from GRACE time-variable gravity for (a) Antarctica and (b) Greenland, shown in centimetres of water per year (cm of water yr^{-1}) for the period 2003 to 2012. Lower panel: the assessment of the total loss of ice from glaciers and ice sheets in terms of sea level equivalent (in mm). The contribution from glaciers excludes those on the periphery of the ice sheets. {4.3.4; Figures 4.12, 4.13, 4.14, 4.16, 4.17}

[*] GIEC 2013

ETAT DES CONNAISSANCES

PLUS RECEMMENT (suite)

EXEMPLE : RECHAUFFEMENT DE LA BASSE ATMOSPHERE, REFROIDISSEMENT DE LA STRATOSPHERE [*]



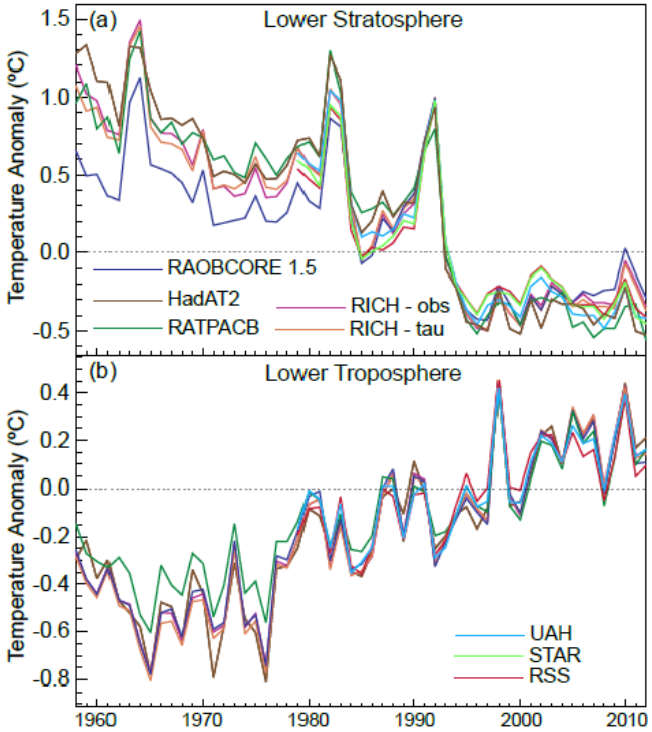


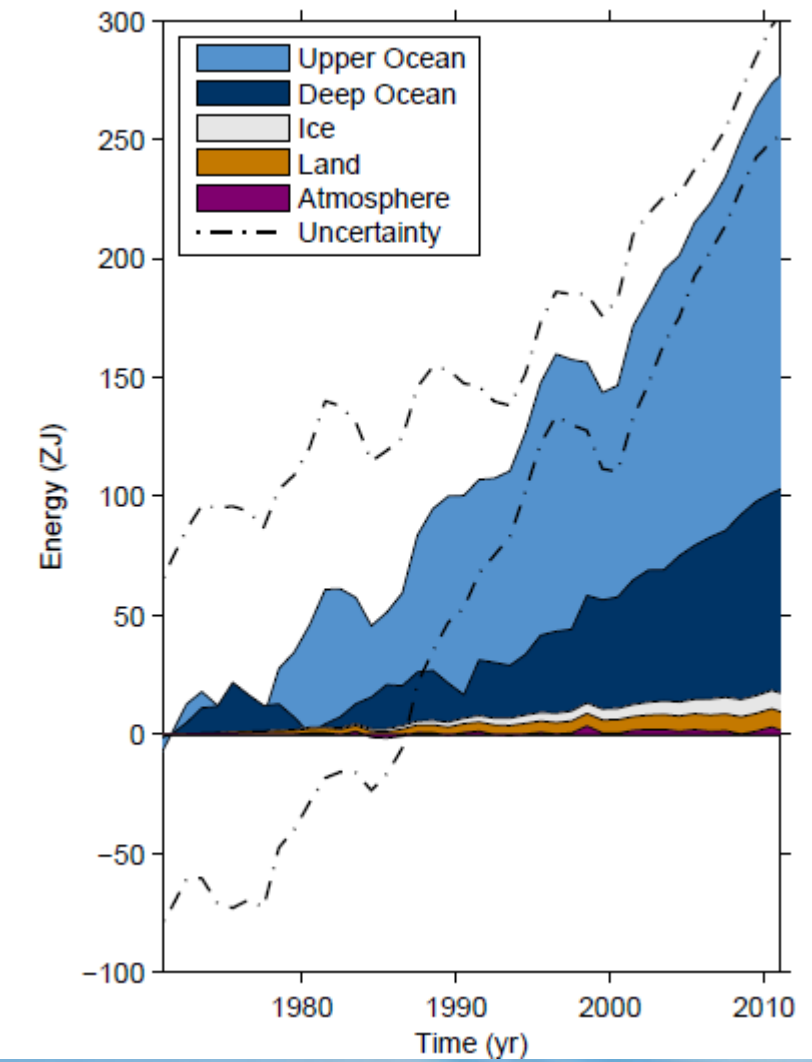
Figure 2.24: Global annual average lower stratospheric (top) and lower tropospheric (bottom) temperature anomalies relative to a 1981–2010 climatology from different datasets. STAR does not produce a lower tropospheric temperature product. Note that the y-axis resolution differs between the two panels.

[*] GIEC 2013

ETAT DES CONNAISSANCES

PLUS RECEMMENT (suite)

EXEMPLE : STOCKAGE DE L'ENERGIE DANS LES OCEANS [*]



[*] GIEC 2013