

Comprendre vraiment

" l'effet de serre "

Version 12/IX/2015 encore en cours de finalisation

Pour avis et commentaires : indiquer la page et la ligne. Merci !

Pour faciliter la distribution du texte par mail la partie II a été placée sur un fichier pdf séparé

Comprendre vraiment " l'effet de serre "

Introduction

Un "réchauffement climatique anthropique" est annoncé depuis 1975 qui serait la conséquence d'un "effet de serre" accru dû à plus de dioxyde de carbone dans l'air, où sa teneur est supposée croître à proportion du "cumul des émissions anthropiques" (combustion de charbon, pétrole et gaz) depuis 1750 ou depuis 1850 ¹.

Ces assertions présument:

(1) que tout l'accroissement du dioxyde de carbone de l'air observé, sur 1958-2014, et prédit, pour 2015-2100, vient des émissions anthropiques

(2) qu'il existe un "effet de serre".

Ces deux conjectures sont fausses, car contraires et aux observations et à la physique élémentaire.

La première, discutée rapidement au §12, est traitée plus à fond dans un autre fascicule "comprendre vraiment ...".

L'accroissement des teneurs en dioxyde de carbone depuis 1960 est une conséquence des températures et ne saurait donc en être la cause; la durée de vie de cinq ans environ des molécules de CO₂ dans l'air découle d'un rapport stock / (flux absorbé chaque année) de cinq environ.

La seconde conjecture est l'objet de ce fascicule.

Ce que l'on appelle "effet de serre", la différence entre la température de la surface et la température de rayonnement du globe est en réalité une conséquence élémentaire de la gravitation, du poids de l'atmosphère et de la circulation de la vapeur d'eau.

L'effet de serre" suppose des effets radiatifs souvent "expliqués" par des "analogies" telles que la vitre de la serre suspendue dans le vide entre la surface et le cosmos. S'y ajoute la conjecture extravagante que la vapeur d'eau auto-amplifierait tout réchauffement et refroidissement alors qu'en réalité elle régule et stabilise le système, depuis des milliards d'années.

En réalité les températures présentent des fluctuations cycliques bien documentées depuis l'optimum climatique holocène il y a 8000 ans où les températures, même dans l'océan, étaient d'environ 3°C supérieures aux températures actuelles aux mêmes endroits et étaient lors de l'optimum climatique médiéval autour de l'an mil encore légèrement supérieures ou égales aux températures actuelles.

Le rédacteur s'excuse du caractère lourdement didactique de ce texte; l'importance des enjeux économiques, avec les dépenses absurdes de 3000 milliards d'Euros pour le programme 3 fois 20% de l'Union Européenne décidé fin 2008, et de 100 000 milliards de dollars sur 15 ans selon la banque mondiale (2014) ² impose de ne rien laisser dans l'ombre ou le doute.

La première partie expose le plus simplement possible des observations et la physique élémentaire qui les explique; il n'y a là absolument rien de polémique.

La seconde partie examine, avec des longues citations, différents points de la pseudo-physique imaginée pour justifier un futur "réchauffement climatique par le CO₂ anthropique" avec ses multiples -et contradictoires- définitions de l'effet de serre et sa prodigieuse et surnaturelle "amplification par la vapeur d'eau".

Remerciements

Le rédacteur remercie vivement M. Michel Wohrer qui a proposé le titre de ce travail, le plan, et l'essentiel du § 13 "catalogue de cinq contresens physiques". Il a mis l'accent sur l'examen de "l'amplification par la vapeur d'eau" et sur le rôle régulateur de la vapeur d'eau.

Les erreurs, longueurs et confusions sont le fait du seul rédacteur.

¹ Selon IPCC-GIEC Résumé à l'Intention des Décideurs (RID) 2013 (figure RID 10 page 26)

² <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2015/04/18/raising-trillions-for-climate-finance>

Table des matières

- (1) **A retenir:** effets radiatifs, effet de la gravitation et de la pression en surface, régulation par la vapeur d'eau: évaporation, advection, condensation et nuages p. 7
- (2) **A retenir: cycle du CO₂:** rapport stock sur flux & dégazage naturel conséquence des températures p. 8
- (3) **A retenir:** évolution observée des températures et de l'environnement p. 9

Partie I Observations et physique élémentaire p. 10

- 1) **Le profil des températures dans l'atmosphère, caractérisation des températures** p. 11
- 2) **Le rayonnement du corps noir, le rayonnement des gaz, l'évaporation, l'absorption de l'infrarouge par l'eau liquide** p. 13
- 2-1) Les molécules absorbent et émettent sur des raies
- 2-2) Le corps noir
- 2-3) L'absorption par l'eau liquide
- 2-4) Les corps réels ne sont pas lambertiens
- 2-5) Un gaz n'est pas un corps noir p. 14
- 2-6) Collisions
- 2-7) Rappel très simplifié sur l'interaction lumière-matière
- 2-8) Vibrations et rotations des molécules
- 2-9) Sur les nomenclatures p. 15
- 2-10) Chauffage solaire de l'air, de la vapeur d'eau et de l'eau liquide; absorption de l'infrarouge par l'eau liquide p. 15
- 3) **Les gaz-traces actifs en infrarouge thermique, dits "à effet de serre" et leur épaisseur optique** p. 18
- 3-1) L'air, hors la "fenêtre de la vapeur d'eau", est opaque en infrarouge thermique
- 3-2) Vapeur d'eau
- 3-3) Dioxyde de carbone CO₂: 850 Gt-C dans l'air et 40 000 Gt-C dans les océans p. 20
- 3-4) Épaisseur optique des gaz-traces en fonction de la fréquence optique p. 21
- 4) **Emission et absorption par les gaz-traces: interfaces surface-air et surface-cosmos** p. 24
- 4-1) Épaisseur optique comptée depuis P=0, c'est-à-dire depuis le haut de l'air: expressions approchées pour le CO₂ et pour la vapeur d'eau
- 4-2) Le flux de la surface absorbé par l'air est égal au flux de l'air rayonné vers la surface p. 27
- 4-3) Flux de la surface absorbé par l'air & flux rayonné par l'air vers la surface: observations p. 27
- 4-4) Fraction du flux rayonné par la surface arrivant au haut de l'air p. 31
- 4-5) Cycle diurne, effet des nuages p. 31
- 4-6) Transfert de chaleur vers les couches de l'air qui, en altitude, rayonnent vers le cosmos p. 32
- 4-6-1) Sur la Lune
- 4-6-2) Sur Vénus
- 4-6-3) Sur Terre
- 4-7) Chauffage ou refroidissement radiatif d'une couche d'air par un gaz trace p. 33
- 5) **Calcul élémentaire des flux d'énergie ou de chaleur transmis par voie radiative** p. 34
- 5-1) Calcul élémentaire des flux radiatifs et du refroidissement radiatif de l'air en rayonnement diffus
- 5-2) Fermeture de la fenêtre de la vapeur d'eau par deux fois plus de CO₂ p. 35
- 5-3) Exemples de flux montant, de flux descendant et de refroidissement radiatif des couches de l'air
- 5-4) Profils types et OLR (Outgoing Longwave Radiation) p. 37
- 5-5) Rayonnement à la tropopause vers le haut et vers le bas
- 6) **Equilibre de base: flux de chaleur entrant (soleil) et sortant (radiateur infrarouge thermique)** p. 40
- 6-1) Insolation :
- 6-2) Rayonnement infrarouge thermique du globe observé par satellite p. 41
- 6-3) Ordres de grandeur des flux radiatifs comparés aux flux de chaleur latente ou sensible p. 42
- 6-4) Rayonnement infrarouge thermique: origine du rayonnement de l'air vers le cosmos p. 43
- 6-5) Transport de chaleur et d'humidité des tropiques vers les pôles p. 46
- 7) **Le vrai " effet de serre ": l'effet de la gravitation** p. 48
- 7-1) Rappels sur les gaz parfaits et les formules de l'atmosphère polytropique

- 1 7-2) Application numérique pour quatre températures de surface de +30°C à -10°C p. 49
 2 7-3) Vénus, effet de la pression en surface
 3 À retenir
 4
 5 **8) Rôle central de H₂O (vapeur, liquide et glace)** p. 50
 6
 7 **9) Effets de modifications des températures de l'air et de la teneur de l'air en gaz-traces** p. 51
 8 9-1) Rappels des § 4 et 6 et introduction
 9 9-2) Aperçu de quelques résultats de calculs, pour un ciel clair sans nuage p. 52
 10 9-3) Examen des variations des différents flux rayonnés pour +20% sur l'humidité p. 54
 11 9-3-1) Vers le cosmos
 12 9-3-2) Entre air et surface pour une humidité supposée majorée de 20% p. 56
 13 9-3-3) Refroidissement et réchauffement en fonction de la pression
 14 9-3-4) Pour résumer ces exercices de calcul p. 57
 15 9-3-5) Mais +20% sur l'humidité, est-ce possible ?
 16 9-4) Effet d'un hypothétique doublement des teneurs de l'air en dioxyde de carbone p. 58
 17 9-4-1) Absorption du solaire à 4,3 μm, fermeture de la fenêtre de la vapeur d'eau à 760 cm⁻¹ et supplément
 18 d'évaporation en surface
 19 9-4-2) Le "plus haut plus froid" du seul CO₂ troposphérique
 20 9-4-3) Exemple de calcul des flux rayonnés de l'air et variation du chauffage radiatif de l'air pour 2 x CO₂
 21 9-5) Effet du minimum des températures à la tropopause: quelques leures à éviter p. 60 à terminer
 22
 23 **10) Le calorimètre océanique: 2,5 m d'eau de mer ont la même capacité calorifique que tout l'air au dessus** p. 62
 24
 25 **11) Variations de la couverture nuageuse et de la teneur de l'air en vapeur d'eau; les mécanismes de régulation:**
 26 **nuages, océans, températures observées** p. 65
 27 11-1) Rayonnement infrarouge thermique du globe
 28 11-2) Couverture nuageuse et insolation p. 66
 29 11-3) Régulation périodique par les El Niño, tous les 4 ans environ p. 70
 30 11-4) Autres variations observées de l'insolation p. 71
 31 11-5) Eruptions volcaniques p. 72
 32 11-6) Autres illustrations de l'effet des El Niño: températures observées depuis fin 1978
 33 11-7) Pour conclure sur la régulation par la vapeur d'eau et par les modes de fonctionnement de l'atmosphère ou de la
 34 circulation atmosphérique p. 73
 35 11-8) Caractère cyclique des variations de la température "moyenne mondiale" p. 73
 36 11-9) Sur l'évolution des températures de la stratosphère p. 74
 37 11-10) Evolution observée depuis 1948 de la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère p. 75
 38
 39 **12) Variations de la teneur de l'air en dioxyde de carbone** $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}/dt = a(T(t) - T_0)$ p. 77
 40 12-1) Origine naturelle du gros de l'augmentation de la teneur de l'air en CO₂ depuis 1958
 41 12-2) Localisation en latitude des variations du dégazage et de l'absorption p. 78
 42 12-3) Sur la relation $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}/dt = a(T(t) - T_0)$ p. 80
 43 12-4) Flux absorbés par la végétation et par les océans p. 80
 44 12-5) Considérations élémentaires sur $d[\text{CO}_2]/dt + [\text{CO}_2](t) / \nu = \text{émissions}(t) + \text{dégazage naturel}(t)$ p. 82
 45 12-6) Emploi d'une durée de vie variable des molécules de CO₂ dans l'air p. 84
 46 12-7) Sur les rapports isotopiques ¹³C/¹²C p. 84
 47 12-7-1) Introduction
 48 12-7-2) Bornes supérieure et inférieure de la durée de vie $\nu(t)$ déduites du delta¹³C de l'air et de celui des gaz de combustion
 49 12-7-3) Observations p. 85
 50 12-8) Formules de Berne, de Hambourg et "airborne fraction" p. 86
 51 12-9) Pour conclure p. 88
 52 12-10) Annexe: sur la "durée de vie de 50 ans à 200 ans " p. 89
 53
 54 **Annexes A, B et C à la première partie** p. 90
 55 **Annexe A Sur les climats, et sur la variabilité naturelle des températures** p. 91
 56 A-1) Les climats de Köppen et les observations des géographes; déplacements des frontières entre climats
 57 A-2) La plus longue série thermométrique CET 1659, la série de Paris et un exemple à Ceylan p. 92
 58 A-3) Sur la perception des variations de température: quelques exemples: Ryadh, Paris, Perpignan, Fairbanks p. 94
 59 A-3-1) Températures extrêmes, moyennes des maxima ou des minima et "température moyenne"
 60 A-3-2) Fairbanks, Alaska

- 1 A-4) Cycles de mille ans p. 97
 2 A-5) Sur l'optimum climatique holocène p. 98
 3 A-6) Indications bibliographiques sommaires sur les travaux des historiens p. 100
 4 Remarque anticipant sur la seconde partie p. 101

5
 6 **Annexe B Compléments de thermodynamique** p. 102

7 Exemple de modélisation de l'atmosphère comme système thermodynamique ouvert dissipatif hors d'équilibre et auto-organisé

9
 10 **Annexe C Compléments de dynamique: les tourbillons sur la sphère en rotation** p. 105

- 11 C-1) Introduction
 12 C-2) Vent géostrophique et air en rotation p. 106
 13 C-3) Entre les hautes pressions subtropicales et la cheminée équatoriale: alizés, pulsations de l'alizé, moussons, décalage de l'EMV p. 109
 14 C-4) La circulation de Hadley p. 111
 15 C-5) Quelques vues de satellites p. 111
 16 C-6) Mouvements des AMP p. 113
 17 C-7) Rapprochements et fusions d'AMP p. 114
 18 C-8) Compartimentation de la circulation atmosphérique p. 116
 19 C-9) El Niño

21
 22 **Annexe D Indications biographiques** p. 118 à terminer

23
 24 **Partie II Examen de quelques points qui démontrent que la "science du réchauffement climatique" est une pseudoscience remplie de concepts surnaturels ou "paranormaux"** p. 121

25
 26 Résumé

27
 28 **13) Catalogue de cinq contresens physiques et de deux fables absurdes** p. 122

- 29 13-1) *"Les molécules de gaz à effet de serre absorbent un photon infrarouge puis le réémettent, moitié vers le haut, moitié vers le bas"*
 30
 31 13-2) *"L'atmosphère est en équilibre radiatif"* p. 122
 32 13-3) *"Greenhouse Effect = GH= (rayonnement thermique de la surface) –OLR où OLR = Outgoing Longwave Radiation"* p. 124
 33
 34 13-4) *"Il existe un "forçage radiatif" dû au CO2"* p. 125
 35 13-4-1) Définition
 36 13-4-2) Pourquoi le calorimètre océanique dit-il 0,3 W/m² pour un "forçage radiatif" huit fois plus grand ? p. 126
 37 13-4-3) En guise de conclusion p. 128
 38 13-4-4) Un déséquilibre énergétique peut-il perdurer ? p. 128
 39 13-5) *"Il existe un effet de serre différé dû au CO2 et encore à venir"* p. 130
 40 13-6) La fable des "-18°C" d'une Terre sans atmosphère ou sans gaz-traces et la comparaison des contributions à l'effet-de-serre des différents gaz-traces p. 131
 41
 42 13-7) Les GWP (Global Warming Potential) p. 135

43
 44 **14) Diverses variantes de la vitre de la serre et illustrations des contresens énumérés au § 13** p. 136

- 45 14-1) Les vitres et la serre selon le premier rapport IPCC WG1 de 1990
 46 14-2) La serre horticole p. 137
 47 14-3) Empilement de vitres opaques en infrarouge p. 138
 48 14-4) Une vitre semi-transparente en infrarouge
 49 14-5) De l'air qui "réchauffe la surface" ?
 50 14-6) L'équilibre radiatif des photosphères des étoiles p. 139
 51 14-7) La théorie du transfert radiatif p. 139
 52 14-8) Effet de serre selon les rapports WG1 de l'IPCC GIEC de 1990 – suite- et de 2001 p. 140
 53 14-9) Définition de l'effet de serre selon le CEA (dans "Les défis du CEA") p. 141
 54 14-10) Examen d'un article "fondateur" de J. Hansen et al. (1981) p. 142
 55 14-11) Le "*plus haut plus froid*" et la vapeur d'eau p. 143
 56 14-12) Analyses critiques publiées par des professeurs de physique (2009) p. 144
 57 14-13) Articles récents sur l'effet de serre p. 145
 58 14-14) Echanges sur "l'effet-de-serre" avec des "climatologues" p. 147
 59 14-15) Un rapport de l'Académie des Sciences de Paris p. 149
 60 14-16) Les épouvantails p. 150

- 1 14-16-1) extraits de la déposition de M. Jean Jouzel devant des parlementaires
2 14-16-2) Examen de quelques points de la déposition de M. Jean Jouzel p. 151
3 14-17) Epilogue p. 152
4 Annexe au § 14-16-2 Examen de quelques points de la déposition de M. Jean Jouzel: sur les océans p. 153
5
6 **15) La "sensibilité climatique", les "feedbacks" et "l'amplification du réchauffement" par la vapeur d'eau p. 155**
7 15-1) La "sensibilité climatique "
8 15-2) De multiples définitions du "forçage radiatif" p. 156
9 15-3) L'amplification par la vapeur d'eau p. 157
10 15-4) Un formalisme simple $dT = S \, dF / (1-g)$ avec $g = S (f_1 + f_2 + f_3 + f_4)$, f "feedback" p. 158
11 15-4-1) Notations et valeurs asymptotiques de l'effet d'un doublement des ppm de CO₂ ou "sensibilité climatique" p. 158
12 15-4-2) Discussion des quatre "feedbacks" p. 159
13 15-5) Evolution temporelle et interprétation p. 160
14 15-5-1) Un calcul élémentaire (t désigne ici le temps) p. 160
15 15-5-2) Interprétation "physique" proposée par un article de Stephen E. Schwartz 163
16 15-6) Une borne inférieure de la somme f des feedbacks selon L. Bengtsson & St. Schwartz (2013) p. 164
17 15-7) Autres évaluations publiées de 2002 à 2013 p. 167
18 15-8) Scénarios RCP de IPCC AR5 p. 167
19 15-9) Réchauffement pour 2 x CO₂ à partir des observations de l'humidité sur 1973-2007 p. 169
20 15-10) Retour à la réalité p. 171
21 15-11) Epilogue p. 171
22 15-12) Annexe historique : forçages et températures dans le premier rapport de l'IPCC-GIEC p. 172
23
24 **16) Les "modèles" par discrétisation spatiale et temporelle et les catastrophes annoncées; des modèles alternatifs;**
25 **le "control knob" p. 174**
26 16-1) Introduction p.174
27 16-2) Rétroactions à la vapeur d'eau pour la haute troposphère intertropicale: "modèles" et observations p. 175
28 16-3) Sur l'instabilité des modèles par rapport aux paramétrages de la vapeur d'eau p. 179
29 16-3-1) Introduction p.179
30 16-3-2) Illustrations p. 180
31 16-3-3) Plus de vapeur d'eau, mais pas plus de pluies ou des pluies plus concentrée dans le temps ? p.182
32 16-3-4) Plus de vapeur d'eau et plus de catastrophes ? p.182
33 16-3-5) Retour au réel: quelques observations des précipitations et des débits de cours d'eau français p 184
34 16-4) Sur les canicules réelles et "modèles" p.185
35 16-5) Sur les "modèles" p. 188
36 16-6) Variations prédites par les modèles et observées des pressions et du nombre de dépressions sur le Pacifique nord p. 192
37 16-7) Modèles de l'océan p. 194
38 16-8) Vers de meilleurs modèles ? p. 194
39 16-8-1) Les limites des modèles par discrétisation p. 194
40 16-8-2) L'emploi des observations p. 194
41 16-8-3) L'exemple du calcul des marées p. 197
42 16-9) L'analyse du professeur de Larminat; effets solaires et cumul d'indices solaires p. 198
43 16-10) Le dioxyde de carbone "control knob" ou bouton de réglage du climat p. 199
44 16-10-1) Introduction p. 199
45 16-10-2) Lecture de l'article de Lacis, Hansen et al. (2013) p. 199
46
47 **17) Quelques indications historiques p. 213**
48 17-1) L'invocation de grands ancêtres p. 213
49 17-1-1) Fourier p. 213
50 17-1-2) Arrhenius 1896 et 1906 p.214
51 17-2) Depuis 1960 p.215
52 17-2-1) Introduction p. 215
53 17-2-2) Un texte vieux de 50 ans p. 216
54 17-2-3) De 1967 à la conférence de Villach de 1985, il y a trente ans p. 217
55 17-2-4) De 1990 à 2000 p. 219
56 17-2-5) L'introduction de "l'influence humaine discernable" dans le rapport IPCC de 1995 p. 221
57 17-2-6) La courbe en crosse de hockey ou "hockey stick" de l'IPCC 2001 p. 223
58 17-3) Cycles et périodicités; le réchauffement est anthropique, le refroidissement est un effet de la variabilité naturelle ! p. 224
59

(1) A retenir: effets radiatifs, effet de la gravitation et de la pression en surface, régulation par la vapeur d'eau: évaporation, advection, condensation et nuages

(1-a) **Tout corps qui absorbe du rayonnement rayonne à sa température propre;** un transfert de chaleur par voie radiative entre A et B est la **différence entre le rayonnement de A absorbé par B et le rayonnement de B absorbé par A**. Vos mains à 33°C émettent disons 500 W/m² et le poêle noir à 80°C, 850W/m² le poêle réchauffe vos mains mais la main gauche ne réchauffe pas la main droite parce que 500 -500 = 0.

(1-b) L'air est, en infrarouge thermique, un corps très opaque, comme votre main ou comme la fonte du poêle; l'air ne réchauffe pas la surface et la surface ne réchauffe pratiquement pas l'air parce que les températures de l'air sur les premiers cent mètres sont en moyenne sur quelques jours et nuits -à cause de l'inversion nocturne des températures- très proches de celles de la surface; le flux **rayonné par la surface et absorbé par l'air est égal au flux rayonné par l'air vers la surface** et le bilan **net** est quasiment nul; l'air ne chauffe pas -radiativement- la surface

(1-c) Comme l'air est opaque en infrarouge thermique, à cause de la vapeur d'eau et comme un corps opaque ne transporte pas de chaleur par rayonnement, **la surface se refroidit par évaporation de l'eau**, car 71% de la surface du globe sont des océans, et 15% ou plus des terres présente une forte évapotranspiration par la végétation, et un peu de convection ; il n' y a que 20 W/m² ou 6% du rayonnement de la surface qui arrive au cosmos après avoir échappé à l'absorption par l'air ou par les nuages.

(1-d) La vapeur d'eau absorbe presque tout le rayonnement de la surface, le CO₂ en absorbe seulement 2% parce que 80% de la vapeur d'eau, et le gros des nuages bas, est en dessous de 700 mbar (vers 3 km) alors que le CO₂ est réparti presque uniformément sur toute la hauteur de l'air sur les 1013 mbar (70% au dessus de 700 mbar). De plus le CO₂ n'absorbe (et ne rayonne) que sur une petite fraction du spectre infrarouge thermique, douze fois moindre que le spectre d'absorption (et de rayonnement) de la vapeur d'eau en infrarouge thermique.

(1-e) Le rayonnement de l'air vers le cosmos fait 90% ou plus du rayonnement du globe (en ordre de grandeur "moyen" 212 W/m² sur 232 W/m²); 92% du rayonnement de l'air vers le cosmos est assuré par la vapeur d'eau (195 W/m² sur 212 W/m²); le CO₂ et l'ozone stratosphériques rayonnent les 8% restant.

(1-f) Le gradient de température dans la troposphère est $-g/(C_p + |C_h|)$ où g est l'accélération de la pesanteur (9,8 m/s²), C_p la chaleur massique de l'air (1005 J/kg/°C) et C_h traduit le chauffage de l'air en altitude venant de l'absorption du rayonnement solaire par la vapeur d'eau et par les nuages et de la condensation de la vapeur d'eau.

Que la surface soit plus chaude que le haut de l'air est l'effet de la gravitation et du poids de l'atmosphère selon une relation entre température et pression: $T/T_0 = (P/P_0)^{R/(\mu(C_p + |C_h|))}$ où R=8,314, μ = masse molaire de l'air, et où {T₀, P₀} sont la pression et la température en un point de la troposphère tel que la surface ou toute autre couche de température connue.

(1-g) Sur Terre un couple {T₀, P₀} correspond au "haut de la vapeur d'eau" qui rayonne vers le cosmos {255 K, 530 mbar en moyenne mais 400 mbar près de l'équateur et 900 mbar près des pôles) ce qui fixe la température de toute la troposphère par $T(P) / T_0 = (P / P_0)^{R/(\mu(C_p + |C_h|))}$.
Sur Vénus où la pression en surface est 92 atmosphère, le couple {T₀, P₀} = {230 K, 100 mbar} correspond au haut de la couche de poussières et T_{surface} = 230 K (92/0,1)^{0,17} = 734 K (soit 461°C) sur toute la planète uniformément.

(1-h) La position (altitude ou pression) de la couche qui rayonne vers le cosmos **est régulée** par la teneur en vapeur d'eau du **haut de l'air**: moins de vapeur d'eau vers 300 mbar (le 1% supérieur de la vapeur d'eau) et la vapeur d'eau rayonnera de plus bas à une température plus élevée ("*plus bas, plus chaud*") produisant donc plus de rayonnement vers le cosmos. **La régulation de l'insolation de la surface se fait par les nuages**, en quelques heures.

(1-i) Les fables du "*forçage radiatif*" et de "*l'effet de serre*" supposent par définition même un **monde virtuel, sans évaporation en surface**, où les effets régulateurs de la vapeur d'eau (évaporation, advection, condensation) et de la convection sont par définition même "débrayés" (températures et humidité y sont supposés fixés) ou n'existent pas (modèles radiatifs de Manabe et al. 1964 et 1967).

(1-j) La vitre de la serre rayonne vers la surface en gros la moitié de ce que l'air rayonne réellement vers la surface; l'expression

effet de serre = GH_{GreenHouse} = (flux rayonné par la surface) moins (flux rayonné en haut de l'air vers le cosmos)

n'a aucun sens physique en transfert de chaleur comme expliqué en (1-a) et est contraire à l'observation rappelée en (1-b).

(2) A retenir: cycle du CO₂: rapport stock sur flux & dégazage naturel conséquence des températures

J'ai cinq pommes dans mon réfrigérateur; je mange une pomme chaque matin et dépose chaque soir une pomme dans le frigo; le rapport stock sur flux est cinq et une pomme reste en moyenne cinq jours dans le frigo.

(2-a) durée de vie d'une molécule de CO₂ dans l'air: cinq ans environ

Le rapport (stock de CO₂ dans l'air) / (flux annuel de CO₂ absorbé par les océans et par la végétation) vaut en gros cinq ans.

L'absorption par les océans des hautes latitudes et par la végétation croît à proportion du stock dans l'air à cause de l'effet fertilisant du CO₂ sur la végétation; selon de très nombreuses observations, tant en volume qu'en surface des feuilles, la végétation est plus considérable et croît plus vite qu'il y a 50 ans.

Il n'y a dans l'air de carbone anthropique, en gros que cinq fois les émissions de la dernière année, soit 5 ppm sur 315 ppm en 1958 –début de la série Mauna Loa- et 24 ppm en 2014. (1 ppm = 2,12 Gt-C ou milliard de tonnes de carbone contenu).

Les rapports isotopiques ou proportion relative des isotopes ¹³C et ¹²C du carbone sont une sorte d'empreinte digitale qui permet de distinguer dans un mélange la proportion de carbone anthropique, qui est bien actuellement 6% (24 ppm / 400 ppm) et non pas 30% comme l'affirme l'IPCC-GIEC: en effet ce rapport isotopique exprimé en pour mille (abréviation pm) vaut

$$6\% \times (-28 \text{ pm}) + 94\% (-7,1 \text{ pm}) = (-8,35 \text{ pm}) \text{ ce qui est observé, alors que } 30\% (-28 \text{ pm}) + 70\% (-7 \text{ pm}) = (-13,3 \text{ pm}) !$$

Il est souvent dit que la réponse de modèles en compartiments (un voire deux compartiments pour l'atmosphère, 2 ou 3 pour les océans, 1 ou 2 pour la végétation et les sols), compartiments dont l'on fixe assez arbitrairement les stocks et les flux entrant et sortant conduisent à des réponses impulsives beaucoup plus longues, de l'ordre de cent ans, et que la croissance du stock de l'air est due aux fantômes des molécules anthropiques revenues à l'atmosphère après de longs séjours dans les autres compartiments.

La quasi-constance du rapport (stock de CO₂ dans l'air) / (flux de CO₂ absorbé chaque année) rend inutiles ces spéculations; cette quasi-constance vaut séparément pour la "partie anthropique" et pour le reste que nous pouvons appeler "partie naturelle".

Doubler les émissions de gaz de combustion de 10 Gt-C/an pour arriver à 20 Gt-C/an par exemple en 2100 ferait passer les 25 ppm de 2014 à 50 ppm en 2100, soit en 2100, par rapport à 2014, +25 ppm "anthropiques".

Les scénarios et projections de l'IPCC-GIEC avec +500 ppm en 2100 supposent que jusqu'à 90% des molécules de CO₂ anthropique d'une année restent perpétuellement dans l'air (la "airborne fraction") ce qui est impossible puisque leur durée de vie dans l'air est de cinq ans environ.

(2-b) Le dégazage naturel, conséquence des températures, fait les ¾ de l'accroissement observé depuis 1958

Les incréments sur 12 mois de la quantité de CO₂ dans l'air, partie "anthropique" défalquée, sont très exactement superposables à une fonction linéaire de la température de la zone intertropicale où a lieu le gros du dégazage

Les incréments sur douze mois au Mauna Loa (19°29N) et au pôle sud sont synchrones et presque de même valeur ce qui pointe vers un dégazage intertropical.

Le cumul de ces incréments naturels depuis 1958 est exactement la différence entre 375 ppm et 310 ppm.

(2-c) Les teneurs de l'air en dioxyde de carbone sont une conséquence des températures présentes et passées et ne peuvent donc pas être la cause des températures

Les tests statistiques de co-intégration appliqués aux séries temporelles des températures et des teneurs en dioxyde de carbone montrent que la seule corrélation possible et valide est entre la dérivée par rapport au temps de la série des teneurs en CO₂ et la série des températures, ce qui confirme les indications du § 2-b).

(3) A retenir: évolution observée des températures et de l'environnement

3-1) Les températures, même au fond des océans, étaient lors de l'optimum holocène, il y a entre 8000 ans et 6000 ans, de 3°C supérieures à celles du XXème siècle

Et toutes les espèces animales et végétales ont fort bien prospéré, et le Sahara était encore humide couvert de lacs avec crocodiles et hippopotames. Ceci a été reconnu dans le premier rapport de l'IPCC en 1990.

3-2) Les températures vers l'an mil étaient comparables ou un peu supérieures aux températures actuelles

Le petit âge de glace de 1300 à 1850 selon les observations sur les glaciers européens et sur la banquise autour de l'Islande a été suivi d'une récupération depuis la fin du XIXème siècle avec une oscillation très nette de durée 60 ans environ correspondant à de grands El Niño (1878, 1938-1942, 1997-98) suivis de périodes de refroidissement ou de stagnation de la température "moyenne globale".

3-3) Les "moyennes globales" ne présentent depuis début 1997 pas de tendance linéaire croissante et même depuis fin 1978, même ne montrent rien que les effets des El Niño et de deux éruptions volcaniques

Les séries des observations satellitaires de la température de la basse troposphère, observations continues, cohérentes, et avantage unique, couvrant uniformément tout le globe depuis fin 1978, montrent les effets des événements météorologiques dits El Niño et deux grandes éruptions volcaniques de 1983 et 1991.

Le "grand El Niño de 1997-98, et un retour, après 1995, des températures de surface de l'Atlantique nord à leurs valeurs d'avant 1960, ont amené un saut des températures de l'ordre de 0,5°C dans la partie extratropicale de l'hémisphère nord.

3-4) Les productions agricoles sont de 1960 à 2014 passées de 220 millions de tonnes à 750 millions de tonnes pour le blé, de 150 Mt à 495 Mt pour le riz et de 200 Mt à 850 Mt pour le maïs ⁴.

La durée moyenne de la vie humaine continue à croître d'un trimestre par an ; elle est passée de trente ans en "préindustriel" à quatre-vingts ans de nos jours.

Ceci suffit à démentir toutes les annonces sur la pollution, sur l'épuisement des ressources, le manque d'eau et sur différentes formes d'apocalypse dues au péché de l'homme. Lors du premier "jour de la Terre", centième anniversaire de la naissance de Lénine, en 1970, était annoncée la grande glaciation avec jusqu'à -10°C en l'an 2000, à cause des poussières industrielles.

Mais les mêmes "scientifiques militants" ont dans la décennie suivante, à partir de 1975, peu à peu constitué la doctrine du réchauffement climatique, figée depuis 1985; les annonces de réchauffement faites par les modèles (modèles 3-D, depuis 1988) sont tout à fait démenties par les observations.

⁴ <http://www.fao.org/3/a-I4581E.pdf> et <http://www.fao.org/docrep/016/ap648e/ap648e.pdf>

Céréales de tous types production estimée à 2 milliards de tonnes en 2005 et 2,45 milliards de tonnes en 2015; autres productions importantes: la canne à sucre 1,9 milliards de tonnes (531 Mt en 1965) (sucre extrait: 10% du poids), la betterave à sucre (270 Mt) (sucre extrait: 16% du poids), les patates 360 Mt (300 Mt en 1970).

Partie I Observations et physique élémentaire

Les onze premiers paragraphes exposent de la façon la plus simple possible quelques notions de base, en particulier sur le rayonnement aux températures de l'atmosphère terrestre, avec des formules simples et beaucoup d'illustrations montrant des observations, pour aider à la visualisation, sans rien qui soit polémique ou incertain.

Ces éléments ne supposent chez le lecteur que des notions très élémentaires de calcul.

Ils lui permettront de comprendre facilement la seconde partie, qui elle examine les conjectures qui servent de "science" à la croyance en un "réchauffement climatique anthropique".

Le paragraphe 12 montre que le rapport

$$(\text{stock de CO}_2 \text{ dans l'air}) / (\text{flux de CO}_2 \text{ absorbé en douze mois par les océans et la végétation})$$

est à peu près constant, que la durée de vie d'une molécule de CO₂ dans l'air est de l'ordre de cinq ans, et que plus des trois quarts de la croissance des teneurs [CO₂](t) observées depuis 1958 est un dégazage naturel et nullement un effet "anthropique".

La relation $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}} / dt = a (T(t) - T_0)$ montre que les **températures sont la cause des teneurs de l'air en dioxyde de carbone** et ne peuvent donc en être l'effet.

Cette considération, confirmée par des tests statistiques de co-intégration des séries temporelles [CO₂](t) et T(t) suffit à ruiner toutes les conjectures sur l'effet-de-serre et sur le CO₂ "control knob" du climat examinées dans la seconde partie.

Les annexes A, B et C présentent:

- les climats définis par les géographes, qui reflètent une végétation-type, reconnaissable au premier coup d'œil à la descente de l'avion, et la variabilité des températures observées,
- un exemple d'application des principes de la thermodynamique des systèmes hors d'équilibre au fonctionnement de l'atmosphère vu comme système auto-organisé, totalement dissipatif et hors d'équilibre,
- la circulation atmosphérique à l'échelle de la météorologie synoptique.

1. Le profil des températures dans l'atmosphère, caractérisation des températures

La figure ci-dessous présente très schématiquement des profils "moyens" de température en fonction de la pression en millibar (vignettes du haut) et en fonction du logarithme base 10 de la pression (vignettes du bas) vaguement proportionnel à l'altitude en km; pour passer des Kelvin aux degrés Celsius soustraire 273,15.

Le point où le plus froid ou de changement de pente du gradient de température est la tropopause vers 100 mbar à 10°N et 30°N, vers 200 mbar à 45°N et vers 316 mbar à 70°N.

En dessous de la tropopause, la troposphère est convective et au dessus la stratosphère est stratifiée, le plus chaud y est au dessus du plus froid, sans convection.

L'altitude est très grossièrement en logarithme de la pression avec 1 mbar vers 46 à 49 km, 100 mbar vers 16 km, 300 mbar vers 9 km, 500 mbar vers 5,5 km et 1013 mbar en surface.

Figure 1-A Profils de températures (K) en fonction de la pression (mbar) à 10°N (rouge), 30°N magenta), 45°N (bleu), 70°N (noir); source S. Malardel Fondamentaux de météorologie 2005 réanalyses ERA40

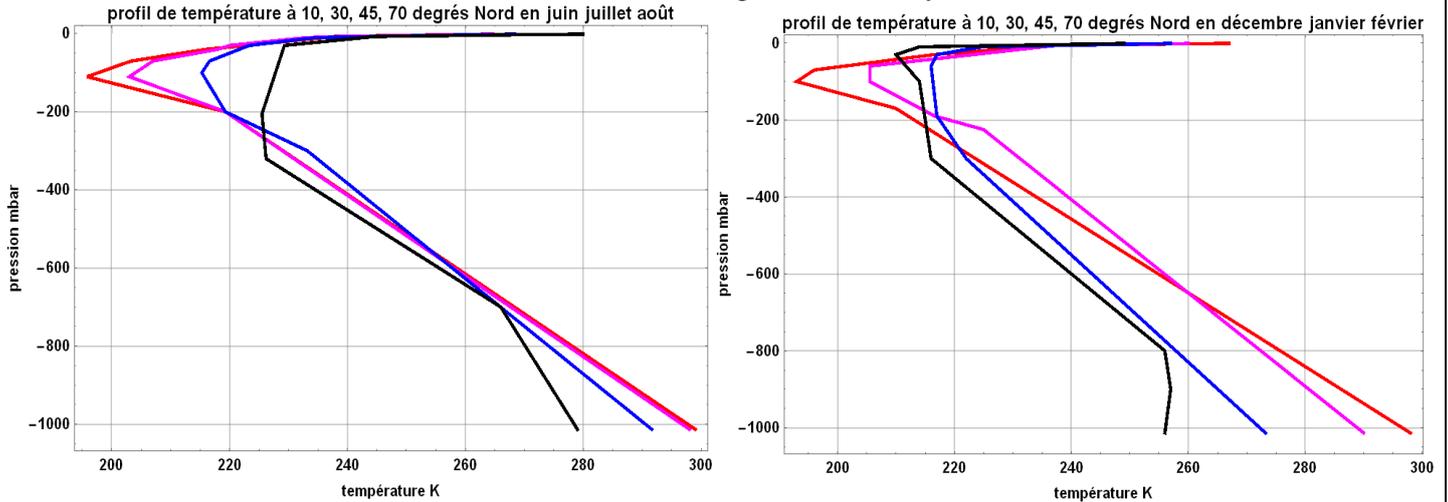
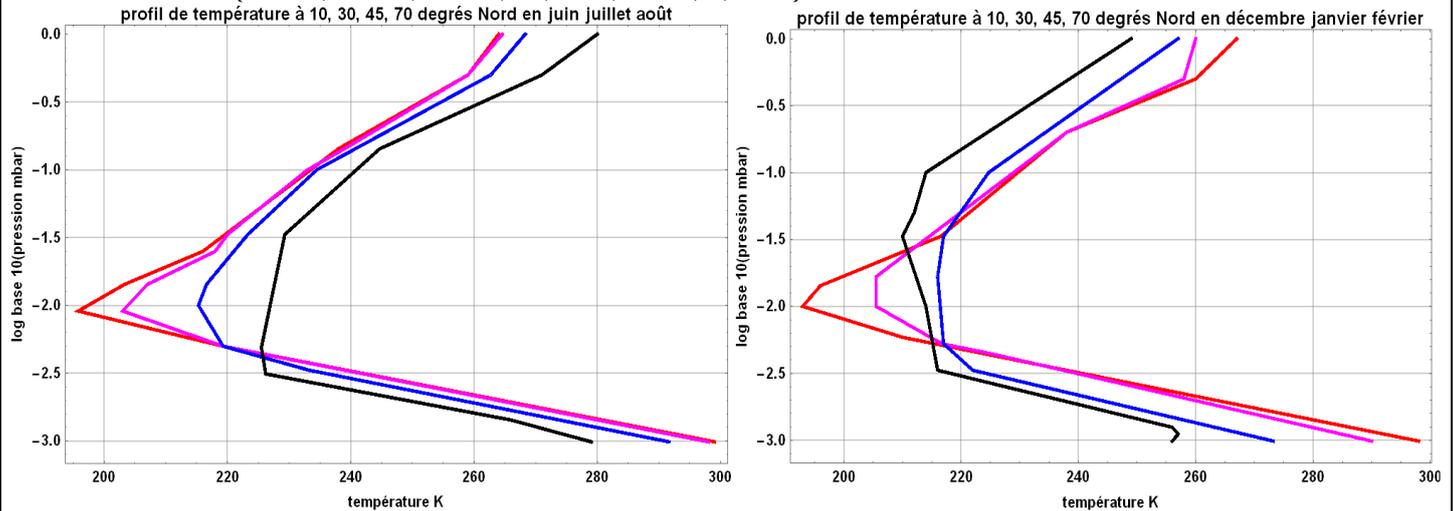


Figure 1-A bis Profils de températures (K) en fonction du logarithme base 10 de la pression en mbar à 10°N (rouge), 30°N magenta), 45°N (bleu), 70°N (noir) de façon à dilater la stratosphère.

{0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3} correspondent respectivement à {1, 10, 32, 100, 316, 1000} millibar et à 40°N en juin à des altitudes d'environ {49 km, 31 km, 23 km, 16,5 km, 9 km, 0,1 km}



Le gradient de température dT/dz est, pour la troposphère, standardisé par l'aviation civile à $-6,5 \text{ }^\circ\text{C/km}$.

Le contraste entre été et hiver est très petit à 10°N et 30°N mais grand à 45°N et 70°N (courbes bleu et noire), où il dépasse trente degrés entre les moyennes de ces trois mois, et atteint 70°C à 80°C entre les températures extrêmes maximum (par exemple 40°C) et minimum (par exemple -40°C en climat continental).

Le manque d'UV solaire ramène la température à 70°N et 1 mbar (altitude de presque 50 km en haut de la stratosphère) de 280 K en été à 250 K en hiver; le manque d'insolation en surface en hiver explique aussi l'inversion de température à 70°N: le ou les deux premiers kilomètres de l'air sont plus chauds que la surface, avec des températures croissantes depuis la surface (figure 1, vignette de droite, courbe bleue); là ce sont les nuages venus de latitudes plus basses qui apportent à l'air de la chaleur par condensation de la vapeur d'eau et alimentent le rayonnement du haut de l'air vers le cosmos.

La tropopause définie ci-dessus comme le point le plus froid ou encore comme l'altitude de discontinuité du gradient dT/dz est aussi définie par l'iso-surface $0,25 \cdot 10^{-6}$ kg d'ozone par kg d'air et encore, en dehors de la zone équatoriale, par une certaine valeur (1,5 pvu ou potential vortex unit) du tourbillon potentiel qui est une grandeur calculée par les météorologistes. Enfin il y a des anomalies de basse tropopause lors du passage de perturbations. Ces quatre définitions représentent des altitudes différentes et des phénomènes différents.

A une surface plus chaude correspond une tropopause plus haute et plus froide et une basse stratosphère plus froide en dessous de 32 mbar (entre les ordonnées 1,5 et 2,5 aux figures 1-A-bis, entre 32 et 312 mbar). C'est un effet "mécanique" de la quasi-constance de la pression vers 20 km et nullement un effet "radiatif".

La relation des gaz parfaits $(1/V) = \rho = p / (R T)$ où $R = 8,314 / (\text{masse molaire en kg}) = 8,314 / 28,96 = 287$, p pression en Pascal, T température en Kelvin, ρ masse volumique en kg/m^3 , vaut à peu près pour l'air.

La pression en surface est le produit de la masse de tout l'air au dessus par l'accélération de la pesanteur qui varie légèrement en fonction de l'altitude et de la latitude⁵; la masse de l'air est de l'ordre de $10\ 300 \text{ kg/m}^2$, et grossièrement une tonne d'air par tranche de 100 mbar.

La diminution des températures au dessus de la tropopause vers 1 mbar s'applique à un air très raréfié: température et densité de l'air en kg/m^3 sont évalués au tableau suivant pour juin à 40°N .

pression mbar	1013,25	200	100	10	1	0.1
altitude km	0	12,15	16,5	31,5	49	66
température K	288	219	213	238	271	224
$\rho_{\text{air}} \text{ kg/m}^3$	1,225	0,32	0,16	0,015	0,0013	0,00016

La pression totale est la somme des pressions partielles des gaz N_2 , O_2 , Ar dont les proportions relatives dans l'air sec peuvent être prises à peu près constantes (mais elles ont beaucoup varié à l'échelle géologique des temps) et de gaz traces en proportions variables dont les plus importants sont la vapeur d'eau qui dans une atmosphère chaude et humide peut atteindre 4200 Pa à 30°C à rapporter⁶ à la pression standard 101325 Pa; le dioxyde de carbone est vers 400 parties par million, ppm, ou nombre de molécules par million de molécules de l'air ou a une pression partielle rapportée à la pression totale de 400 millionèmes.

De l'air humide sera un peu moins dense que de l'air sec; la teneur "moyenne" en vapeur d'eau décroît très vite avec les températures par exemple de 10 g/kg en surface à 2 g/kg vers 600 mbar et à 0,2 g/kg à 300 mbar (selon la figure 9-C).

La troposphère est chauffée, par le dessus par la partie du rayonnement solaire absorbée par la vapeur d'eau et les nuages et aussi par la condensation de la vapeur d'eau dans les nuages.

La stratosphère est chauffée aussi par le dessus par l'ozone et l'oxygène qui absorbent l'UV solaire et marginalement par le CO_2 qui absorbe certaines parties de l'infrarouge solaire.

Le rayonnement est un diagnostic des températures liées à la vitesse de translation des molécules par $(3/2) kT = m v^2/2$.

En surface une molécule subit presque 10 milliards de collisions par seconde: le rayonnement absorbé est immédiatement thermalisé, c'est à dire que son énergie est redistribuée par les collisions aux molécules majoritaires du gaz, azote, oxygène et argon. Inversement certaines collisions excitent des vibrations –rotations ou des rotations des molécules polyatomiques qui conduisent parfois à une émission en infrarouge thermique.

Au delà de 60 km l'air est trop raréfié et la notion de température moyenne reflétant la vitesse moyenne des molécules égalisée par les collisions perd de son sens parce qu'il n'y a plus assez de collisions par seconde.

Ces séquences "absorption puis collisions" et "collisions puis rayonnement" pour les molécules de l'air sont complètement différentes de la séquence "absorption d'un photon- passage d'un électron sur une orbite supérieure - retour de l'électron sur une orbite plus basse – rayonnement d'un photon" des électrons des atomes. L'idée qu'une molécule de l'air "absorbe puis réémet" est tout à fait fautive en dessous de 60 km.

⁵ approximation: $g(z, \phi) = 9,806 (1 - 0,002\ 644 \cos(2\phi) + 0,000\ 007 \cos^2(2\phi)) (1 - 2z/R)$ où R est le rayon terrestre (6378 km à l'équateur et 6356 km aux pôles), ϕ la latitude; le dernier facteur vaut $(1 - 0,314 z(\text{km}) \cdot 10^{-3})$

⁶ La pression partielle d'un gaz est proportionnelle au nombre de moles de ce gaz dans le volume considéré.

La somme des masses m_i des gaz de masse molaire μ_i dans un volume V vaut m et la somme des pressions partielles p_i vaut p .

$p_i = m_i (R_0/\mu_i) T / V$, $p = m (R_0/\mu) T / V = \sum p_i$ donc à partir des pourcentages de la masse de l'azote, de l'oxygène, de l'argon et du dioxyde de carbone la mole d'air sec a une masse de 28,96 grammes

$$1/\mu = \sum (m_i/m) / \mu_i = 75,52\% / 28,016 + 23,15\% / 32 + 1,28\% / 39,944 + 0,06\% / 44 = 1/28,96 \text{ pour l'air sec.}$$

Pour l'air humide de pression partielle de vapeur d'eau e (Pa) on aura par exemple en surface vers 30°C

$$p_{\text{air humide}} = 101325 \text{ Pa} = 4000 \text{ vapeur d'eau} + 97325 \text{ air sec}$$

et, comme en masse $m_{\text{sec}}/28,96 \sim p_{\text{air humide}} - e$ et $m_{\text{vapeur d'eau}}/18 \sim e$ o ~ signifie "proportionnel à"

$$m_{\text{vapeur d'eau}} / (m_{\text{sec}} + m_{\text{vapeur d'eau}}) = (18 e) / ((p_{\text{air humide}} - e) 28,96 + 18 e) = 0,622 e / (p_{\text{air humide}} - 0,388 e) = 0,622 \cdot 4000 / (101\ 325 - (0,388 \times 4000)) = 0,025 \text{ kg/kg ou à peu près } 0,622 e (\text{Pa}) / p(\text{Pa})$$

alors que le rapport du nombre de moles de vapeur par rapport au nombre de moles d'air humide sera e/p

2. Le rayonnement du corps noir, le rayonnement des gaz, l'évaporation, l'absorption de l'infrarouge par l'eau liquide

2-1) Les molécules des gaz absorbent et émettent sur des raies correspondant aux vibrations et vibrations-rotations des molécules présentant un moment dipolaire électrique. La forme de ces raies en fonction de la fréquence optique ou nombre d'onde est surtout déterminée par les collisions entre molécules.

Tout corps **qui absorbe du rayonnement sur certaines parties du spectre**, ici du spectre infrarouge thermique (corps de températures entre 200 K et 400 K) **rayonne à sa température propre**.

2-2) Le corps noir est un corps idéal donnant un rayonnement diffus (ou lambertien, absorbant ou rayonnant indépendamment de l'angle d'incidence) qui absorberait 100% du rayonnement incident et rayonnerait à sa température propre T selon la loi de Planck; une surface de corps noir rayonne

$$\pi B(\nu, T) = \pi 2 h \nu^3 (29.9792 \cdot 10^9)^4 / (\exp(29.97 \cdot 10^9 h \nu / (k T)) - 1) = 3,738 \cdot 10^{-8} \nu^3 / (\exp(1,43844 \nu / T) - 1)$$

où ν est la fréquence optique, plus exactement le nombre d'onde, en unités de $\text{cm}^{-1} = 29,9792 \text{ GHz}$

La puissance de ce rayonnement est maximale à $\nu_{\text{max}} (\text{cm}^{-1}) = 1,961 T(\text{K})$, fréquence calculée au tableau suivant pour diverses températures entre la tropopause et la surface; les fréquences optiques ou nombres d'onde en dessous de 800 cm^{-1} sont celles des rotations de la molécule de vapeur d'eau.

2-A) Nombre d'onde (cm^{-1}) et longueur d'onde (μm) du maximum de puissance (en $\text{W/m}^2/\text{sr}/\text{cm}^{-1}$) à cinq températures					
température (K)	220	255	273	288	303
fréquence $\nu_{\text{max}} \text{ cm}^{-1}$	431	500	535	565	594
longueur d'onde μm	23,2	20	18,7	17,7	16,8

98,2% de l'énergie rayonnée par le corps noir est dans la bande de fréquences $\nu_{\text{max}}/4$ à $4 \nu_{\text{max}}$, 75% entre $\nu_{\text{max}}/2$ et $2 \nu_{\text{max}}$; aux températures de l'atmosphère terrestre il suffira de regarder entre 100 cm^{-1} et 2500 cm^{-1} (ou entre $4 \mu\text{m}$ et $100 \mu\text{m}$) voire, pour des analyses sommaires, entre 200 cm^{-1} et 1200 cm^{-1} .

L'infrarouge thermique couvre ces bandes, par exemple de 25 cm^{-1} à 2500 cm^{-1} soit de 750 GHz à 75 THz.

On assimile souvent (et à tort) le rayonnement du soleil à celui d'un corps noir à 5780 K avec un flux au niveau de l'orbite terrestre entre 1320 W/m^2 (à l'aphélie début juillet) et 1410 W/m^2 (au périhélie début janvier). Le maximum du spectre est vers 11334 cm^{-1} ($0,88 \mu\text{m}$), avec en gros 12% de la puissance en UV, 42% en visible et 46% en infrarouge.

Une surface corps noir rayonne sur tout le spectre optique $\int_0^{\text{infini}} \pi B(\nu, T) d\nu = \sigma T^4$, avec $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/K}^4$

2-3) L'absorption par l'eau liquide de l'infrarouge solaire ($0,8 \mu\text{m}$ à $5 \mu\text{m}$) se fait en quelques centimètres.

L'absorption par l'eau liquide de l'infrarouge thermique (de $4 \mu\text{m}$ à $400 \mu\text{m}$ ou de 2500 cm^{-1} à 25 cm^{-1}) se fait en quelques microns. (Figure 2-C plus loin).

2-4) Les corps réels ne sont pas lambertiens et présentent des coefficients de réflexion qui dépendent de l'angle d'incidence de la polarisation (formules de Fresnel) et de l'indice complexe (et donc des pertes) du milieu réfléchissant.

Une approximation commode suppose que la surface, en infrarouge thermique, a un coefficient d'absorption ou de noirceur ϵ_g dépendant de la fréquence optique, voire même qu'il émet une puissance $\epsilon_g \sigma T^4$ avec ϵ_g entre 90% et 98% selon que la surface est de l'eau, de la neige, de la glace, du sable humide ou du sable sec etc., soit à 288 K ($14,85^\circ\text{C}$) de 374 à 382 W/m^2 .

Figure 2-A Émissivité de la surface des océans (bleu), des déserts (en noir), de la neige fraîche (rouge), de la végétation (vert clair) selon Daniel R. Feldman et al. *Far-infrared surface emissivity and Climate* PNAS 2014 vol. 111 n°. 46

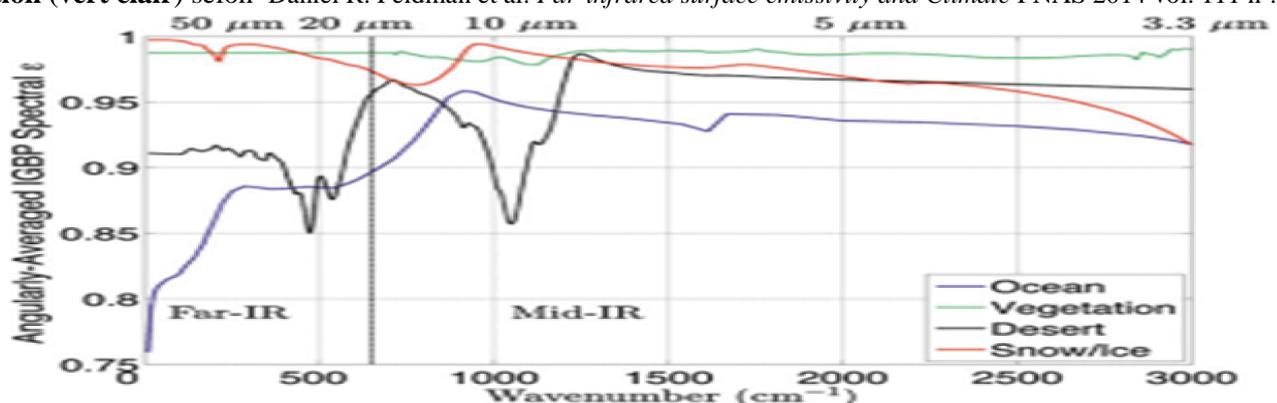


Fig. 3. Angularly averaged, spectrally resolved far-IR surface emissivity for four IGBP land types (ocean, vegetation, desert, and snow) based on 3D radiative transfer calculations and published indices of refraction.

⁷ A $t(^{\circ}\text{C}) = -30^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C}, 15^{\circ}\text{C}, 30^{\circ}\text{C}$, σT^4 vaut 198, 316, 391 et 479 W/m^2 . A ces températures, intégrer entre 80 cm^{-1} et 2500 cm^{-1} cause une sous-estimation d'au plus 1 W/m^2 à chaque extrémité du spectre.

En réalité le coefficient d'absorption dépend de la fréquence optique: la figure 2-A montre que l'eau de mer, 71% de la surface du globe, est, en infrarouge lointain (0 à 650 cm⁻¹ ou 0 à 20 THz), assez différente d'un corps noir, et, selon les températures, rayonnera en infrarouge thermique 30 W/m² à 40 W/m² moins qu'un corps noir de même température de surface.

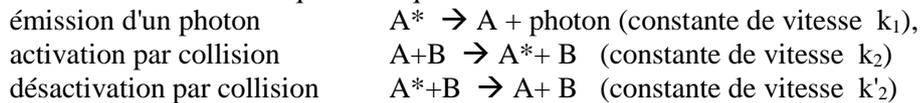
2-5) Un gaz n'est pas un corps noir car il absorbe et rayonne sur des raies dont la forme est déterminée par les collisions entre molécules; le coefficient d'absorption $k(\nu, P, T)$ est souvent modélisé par une somme de raies de forme "Lorentzienne" en $a / (1 + b(\nu - \nu_{raie})^2)$ de largeur à mi hauteur $\Delta_{FWHM} = 2/b^{0.5}$ avec des milliers de raies qui, près de la surface du fait de la pression c'est-à-dire des collisions, sont en partie superposées et presque continument opaques. Vers 50 km (1 mbar) les collisions sont moins fréquentes, et les raies plus fines et mieux séparées. La considérable modification des spectres d'absorption-émission par les collisions est un sujet fort ardu.⁸

2-6) Collisions

Une molécule de gaz trace absorbe un rayonnement, puis avant de pouvoir se désexciter cède son énergie excédentaire **par collisions** avec les molécules d'azote, d'oxygène ou d'argon; inversement certaines **collisions** avec les molécules de l'air **excitent des vibrations-rotations ou des rotations** de la molécule de gaz trace qui rayonne, à la température moyenne de translation (ou énergie cinétique moyenne) des molécules qui l'ont excitée par collisions.

En phase gazeuse, dans un mélange de molécules A et B de rayons r_A et r_B la fréquence moyenne des collisions A-B est avec $\mu = m_A m_B / (m_A + m_B)$, $Z(A,B) = n_A n_B (r_A + r_B)^2 (8 \pi k T / \mu)^{1/2}$; seules les collisions d'énergie $\frac{1}{2} \mu V^2 > \epsilon$, V vitesse relative selon l'axe de vibration excité provoqueront une transition pouvant conduire à un rayonnement d'énergie inférieure ou égale à ϵ , leur proportion par rapport au total des collisions est de la forme $\exp(-\epsilon / (k T))$.

Selon le formalisme de la cinétique chimique les trois réactions sont:



La somme des deux désactivations $k_1 [A^*] + k'_2 [A^*] [B]$ égale l'activation $k_2 [A] [B]$ d'où

$[A^*] = k_2 [A] [B] / (k_1 + k'_2 [B]) \approx (k_2 / k'_2) [A]$ si la pression partielle de [B] est très supérieure à celle du gaz trace [A]; alors l'émission de photons sera proportionnelle à la teneur [A] de l'air en gaz trace.

2-7) Rappel très simplifié sur l'interaction lumière-matière⁹

Soient n_i et n_k le nombre de molécules dans des états i et k dont les énergies diffèrent de $E_i - E_k = h \nu$ en présence d'une intensité lumineuse I_ν ; le nombre de transitions s'exprime par les coefficients d'Einstein d'émission spontanée A_{ik} , d'émission induite B_{ik} et d'absorption B_{ki} avec $d\Omega$ différentielle de l'angle solide

$$dn_i/dt = -n_i A_{ik} - n_i B_{ik} \int_{4\pi} I_\nu d\Omega \quad \text{et} \quad dn_k/dt = B_{ki} n_i \int_{4\pi} I_\nu d\Omega; \quad n_k / n_i = \exp(-E_k/k T) / \exp(-E_i/k T) = \exp(h \nu / k T)$$

Dans une enceinte isotherme la distribution spectrale des photons est I_ν telle qu'on ait l'équilibre

$$0 = (dn_i/dt)_{i \rightarrow k} + (dn_k/dt)_{k \rightarrow i} \quad \text{d'où} \quad I_\nu = (1/4\pi) (A_{ik}/B_{ik}) / [(B_{ki}/B_{ik}) \exp(h \nu / k T) - 1] \quad \text{qui doit être la fonction de Planck}$$

d'où $A_{ik} = (8 \pi h \nu^3 / c_0^2) B_{ik}$ et $B_{ik} = B_{ki}$

Le coefficient spectral d'absorption d'un gaz s'en déduit par examen du nombre de transitions induites le long d'un pinceau de photons paramétré en s, longueur selon le trajet,

$$dI_\nu / ds = -h \nu \quad d(n/dt)_{i \rightarrow k} / d\Omega = -(n_k B_{ki} - n_i B_{ik}) h \nu I_\nu = -\kappa_\nu I_\nu$$

le coefficient d'absorption est en général exprimé en fonction de la densité du gaz trace par $\kappa_\nu = k(\nu, P, T) \rho_{\text{gaz trace}}$.

2-8) Vibrations et rotations des molécules

Les niveaux d'énergie possibles d'une molécule rotateur de moment d'inertie I sont de la forme

$$E_j = \hbar^2 / (2 I) \quad j(j+1) = B j(j+1) \quad \text{d'où des raies équidistantes car } (j+1)(j+2) - j(j+1) = 2(j+1)$$

Il n'y aura d'émission-absorption que si la molécule excitée présente un dipôle électrique; une molécule linéaire symétrique telle que CO₂ devra donc présenter une vibration et aura un spectre de vibration-rotations; par contre H₂O de forme triangulaire aura un spectre de rotations en plus des spectres des vibration-rotations.

Les niveaux des énergies de vibration sont de la forme $h \nu (v + \frac{1}{2})$, v nombre quantique dont le calcul est plus compliqué que celui de l'oscillateur harmonique. Les transitions permises sont $\Delta v = +/- 1$ et $\Delta j = +/- 1$ et 0

$$E(v, j) = h \nu (v + \frac{1}{2}) + B_v j(j+1). \quad \text{D'où trois types de raies P, Q, R correspondant à } \Delta j = -1, \Delta j = 0, \Delta j = +1$$

$$P \quad E(v+1, j-1) - E(v, j) = h \nu + B_{v+1} (j-1)j - B_v j(j+1) = h \nu - (B_{v+1} + B_v)j + (B_{v+1} - B_v)j^2$$

⁸ J.M. Hartmann, Ch. Boulet, D. Robert *Collisional effects on molecular spectra* Elsevier 2008 411 pages, 934 références

⁹ en suivant les pages 325-326 de Michael F Modest *Radiative Heat transfer* Mac Graw Hill 1993, 833 pages. Voir aussi J. Taine, E. Iacona, J. P. Petit *Transferts thermiques introduction aux transferts d'énergie* Dunod 1991, 4ème édition 2008, 478 pages

Ya. B Zeldovich Yu. P. Raizer *Physics of shock waves and high temperature hydrodynamic phenomena* 1966, 2003 Dover Publications, 916 pages

Gerald C. Pomeroy *The equations of Radiation Hydrodynamics* Pergamon Press 1973, Dover édition 2005, 286 pages

$$Q \quad E(v+1, j) - E(v, j) = h \nu + B_{v+1} (j+1) j - B_v j (j+1) = h \nu + (B_{v+1} - B_v) j + (B_{v+1} - B_v) j^2$$

$$R \quad E(v+1, j+1) - E(v, j) = h \nu + B_{v+1} (j+2) (j+1) - B_v j (j+1) = h \nu + 2 B_{v+1} + (3B_{v+1} - B_v) j + (B_{v+1} - B_v) j^2$$

On a donc trois peignes de raies d'espacement variable et qui se recouvrent partiellement quand j va de 0 à de grandes valeurs.

2-9) Sur les nomenclatures

Les trois vibrations de la molécule de CO_2 sont: (1) mode symétrique (100) d'élongation des atomes O par rapport au carbone sans moment dipolaire induit, (2) mode de flexion (010) avec les atomes O et l'atome C de côtés opposés de la ligne entre noyaux au repos à et (3) mode d'élongation asymétrique (001) où l'une des liaisons CO est tantôt plus courte, tantôt plus longue.

Les lasers à gaz CO_2 emploient l'excitation par une décharge électrique de la vibration de molécules d'azote à 2326 cm^{-1} (non radiative car la molécule est symétrique, sans dipôle électrique); les molécules N_2 cèdent par collisions leur énergie de vibration aux molécules de CO_2 qui passent alors de l'état (000) à l'état (001), transition d'énergie presque identique.

Les transitions (001) \rightarrow (100) rayonnent à $10,6 \mu\text{m}$ (961 cm^{-1}) et (001) \rightarrow (020) (de 2396 cm^{-1} à $2 \times 666 \text{ cm}^{-1}$) à $9,6 \mu\text{m}$ (1064 cm^{-1}) avec un état (001) de faible durée de vie et un retour des états (100) ou (020) au fondamental (000) accéléré par des collisions avec des atomes d'Hélium ajoutés au mélange gazeux. Le réglage de la cavité optique et des pressions permet de chercher la plus grande efficacité de conversion électrique \rightarrow optique.

Pour le CO_2 atmosphérique les raies les plus fortes sont (000) \rightarrow (001) est à $4,3 \mu\text{m}$ ou 2410 cm^{-1} et (000) \rightarrow (101) à $2,7 \mu\text{m}$ ou 3660 cm^{-1} qui absorbent l'infrarouge solaire, et, en infrarouge thermique, (000) \rightarrow (010) à $15 \mu\text{m}$ ou 666 cm^{-1} , avec un spectre P Q R de rotations autour du mode de flexion.

La différence essentielle entre le CO_2 molécule symétrique qui ne présente de dipôle électrique que par ses vibrations et la vapeur d'eau asymétrique avec un dipôle permanent est que la vapeur d'eau seule aura un spectre d'absorption des rotations de la molécule qui rend l'air opaque sur tout le spectre infrarouge lointain en dessous de 700 cm^{-1}

2-10) Chauffage solaire de l'air, de la vapeur d'eau et de l'eau liquide; absorption de l'infrarouge par l'eau liquide

Dans la stratosphère et en dessous, le flux solaire infrarouge autour de $4,3 \mu\text{m}$ et $2,7 \mu\text{m}$ est absorbé par le CO_2 .

L'absorption de l'infrarouge solaire par la vapeur d'eau (**chauffage par le haut ! le soleil est dans le ciel !**) se voit à la figure 2-B exprimé en $^\circ\text{C}/\text{jour}$ pour deux hauteurs du soleil sur l'horizon et pour plusieurs latitudes.

Les UV solaires en dessous de 242 nm sont absorbés par les molécules d'oxygène, dissociées en O, et par là produisent des molécules O_3 dont la proportion est maximale vers 30 km ou 40 km .

Les UV-C (bactéricides de 220 nm à 280 nm) et les UV-B (antirachitiques entre 280 nm et 320 nm) photolysent les molécules d'ozone avec, en dessous de 310 nm , production d'un atome d'oxygène excité; les UV-A entre 320 nm et 400 nm dissocient aussi les molécules d'ozone avec production d'un atome O. Les UV-A pénètrent dans l'eau.

La formation ou reformation continue de O_3 à partir de O_2 et d'atomes O est une réaction exothermique, dont, par collisions, l'énergie devient une énergie de translation des molécules majoritaires de l'air.

La pression de vapeur d'eau saturante en $1,33 \cdot 10^{26} \exp(-6816/T) T^{-5,131}$ croît de $6\%/^\circ\text{C}$ vers 280 K en surface et de $12\%/^\circ\text{C}$ vers 210 K à la tropopause.

Le rapport de la pression de vapeur à la pression de vapeur saturante est dit humidité relative notée RH (Relative Humidity), vaut 80% ou plus sur la plupart des océans¹⁰ et diminue avec l'altitude; il n'y a plus que quelques ppm ou dizaines de ppm (partie par million) de molécules d'eau à la tropopause et au dessus.

L'évaporation varie comme le produit de la vitesse du vent par la différence entre la pression de vapeur d'eau saturante et la pression de vapeur d'eau dans l'air qui lèche la surface (formule de Dalton¹¹).

Là où l'évaporation moyenne est $100 \text{ W}/\text{m}^2$, $+1^\circ\text{C}$ sur la surface implique, hors effets du vent, une perte supplémentaire de chaleur de $6 \text{ W}/\text{m}^2$

Le chauffage solaire de la surface (à 90% océans ou terres avec de la végétation et de l'évapotranspiration) repart essentiellement par évaporation, ce qui thermostat la surface à environ $6 \text{ W}/\text{m}^2/^\circ\text{C}$, un peu par convection et un peu par rayonnement vers le cosmos à travers la fenêtre de la vapeur d'eau ($20 \text{ W}/\text{m}^2$).

¹⁰ La pression de vapeur saturante par rapport à la glace est un peu inférieure à la pression par rapport à l'eau liquide plane aux très basses températures de la tropopause: les gouttes d'eau liquide des nuages se désagrègent alors au profit de grêlons.

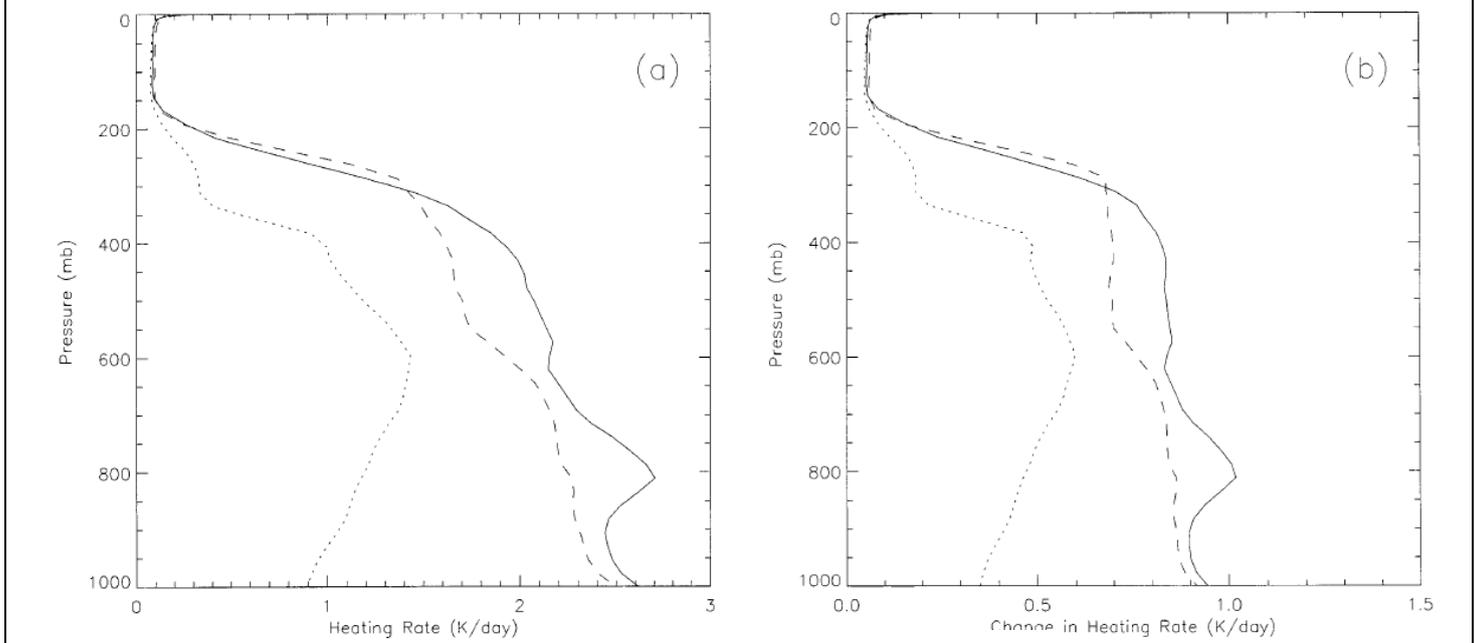
¹¹ La quantité d'eau évaporée est $k v_{10} \rho_{\text{air}} (q_{\text{sat}} - q_{\text{air}})$ où v_{10} est la vitesse du vent à 10 mètres au dessus de l'eau, q_{sat} et q sont la masse de vapeur d'eau par masse d'air à saturation et dans l'air qui lèche la surface et $k = 1,5 \cdot 10^{-3}$; q_{sat} et q croissent comme la pression de vapeur saturante, d'environ $6,5\%/^\circ\text{C}$.

Exemple numérique: $(1,5 \cdot 10^{-3}) (10 \text{ m/s}) (15 \cdot 10^{-3} - 12 \cdot 10^{-3}) = 45 \cdot 10^{-6} \text{ kg}/\text{m}^2/\text{s}$ soit $45 \cdot 10^{-6} \times 86400 \text{ secondes}/\text{jour} = 3,9 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{jour}$

Des ordres de grandeur de l'absorption du solaire par la vapeur d'eau sont selon Zhong et al. 2001, dans la bande 0,44 μm à 10 μm , selon la distance zénithale δ du soleil.

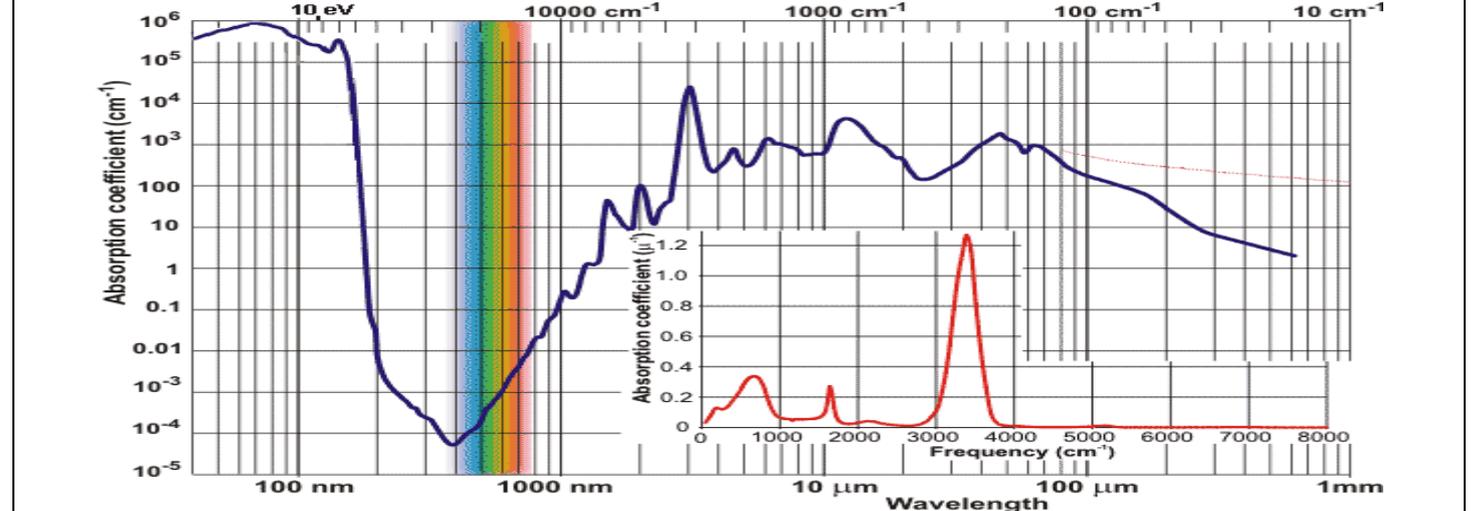
Tableau 2-B	tropical	mid latitude summer	subarctic winter
vapeur d'eau $w(\text{kg}/\text{m}^2)$	41 kg/m^2	29 kg/m^2	4 kg/m^2
à $\delta = 30^\circ$ (0,52 rad.)	190 W/m^2	172 W/m^2	92 W/m^2
à $\delta = 75^\circ$ (1,31 rad.)	77 W/m^2	70 W/m^2	40 W/m^2

Figure 2-B) Chauffage solaire en $^\circ\text{C}/(24 \text{ heures})$ de la vapeur d'eau (mais pas des nuages) pour un soleil à 60° au dessus de l'horizon (à gauche) et à 15° au dessus de l'horizon (à droite) en fonction de l'altitude (pression en millibar) pour différents cas –types: tropical, été des moyennes latitudes (Mid Latitude Summer, MLS) et hiver subarctique (SAW) Zhong et al. 2001¹²



L'infrarouge est absorbé par de l'eau liquide, très fortement au-delà de 1 μm .

Figure 2-C) **Absorption par l'eau liquide** en $\exp(-u z)$ est avec $u = 0,1 \text{ cm}^{-1}$ à la longueur d'onde de 1 μm et $1/u = (1/0,1)$ (0,01 mètre) = 0,1 mètre = **10 cm** donc $\exp(-z/10 \text{ cm})$ $u = 1000 \text{ cm}^{-1}$ à la longueur d'onde de 15 μm (raie du CO_2) et $1/u = (1/1000)$ (1/100) mètre = **10 μm** L'absorption est en gros de 2/3 plus forte pour un rayonnement diffus (cas de l'infrarouge thermique) Le coefficient d'absorption u en cm^{-1} correspond à une transmission = $\exp(-u z)$ à la traversée de z cm d'eau (loi de Beer) ou encore 10^{-A} où A est l'absorbance = $\epsilon c z = u z/2,303$; ϵ = absorption par mole en litre/mole/ cm^{-1} ; c = concentration molaire = 55,345 mole/litre @ 25°C .



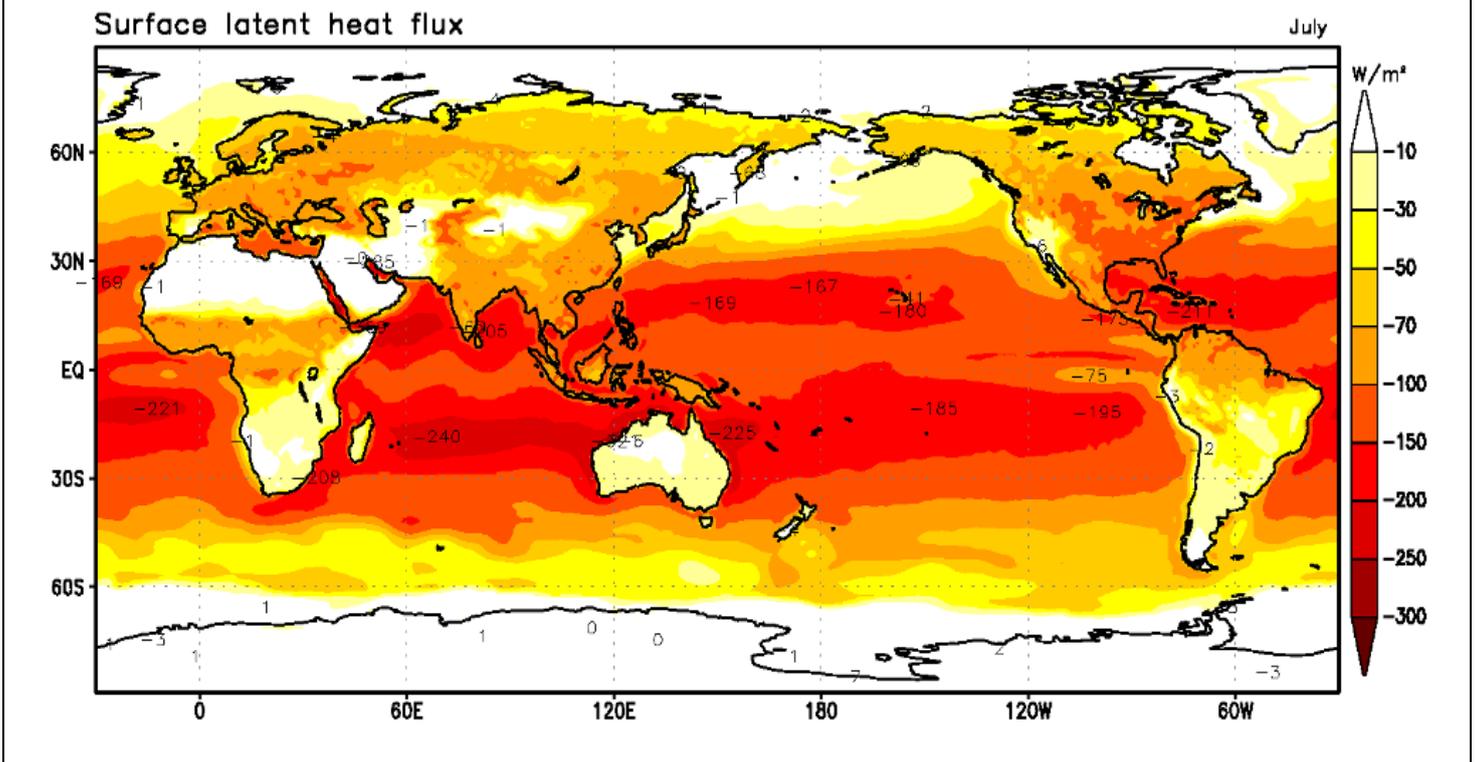
L'infrarouge thermique vers 15 μm est absorbé par quelques microns d'eau liquide.

¹² Zhong Wenyi, Haigh J., Belmiloud D. *The impact of new water vapour spectral lines parameters on the calculation of atmospheric absorption* Q. J. R. Meteorol. Soc. (2001), vol. 127, pp. 1615-1626

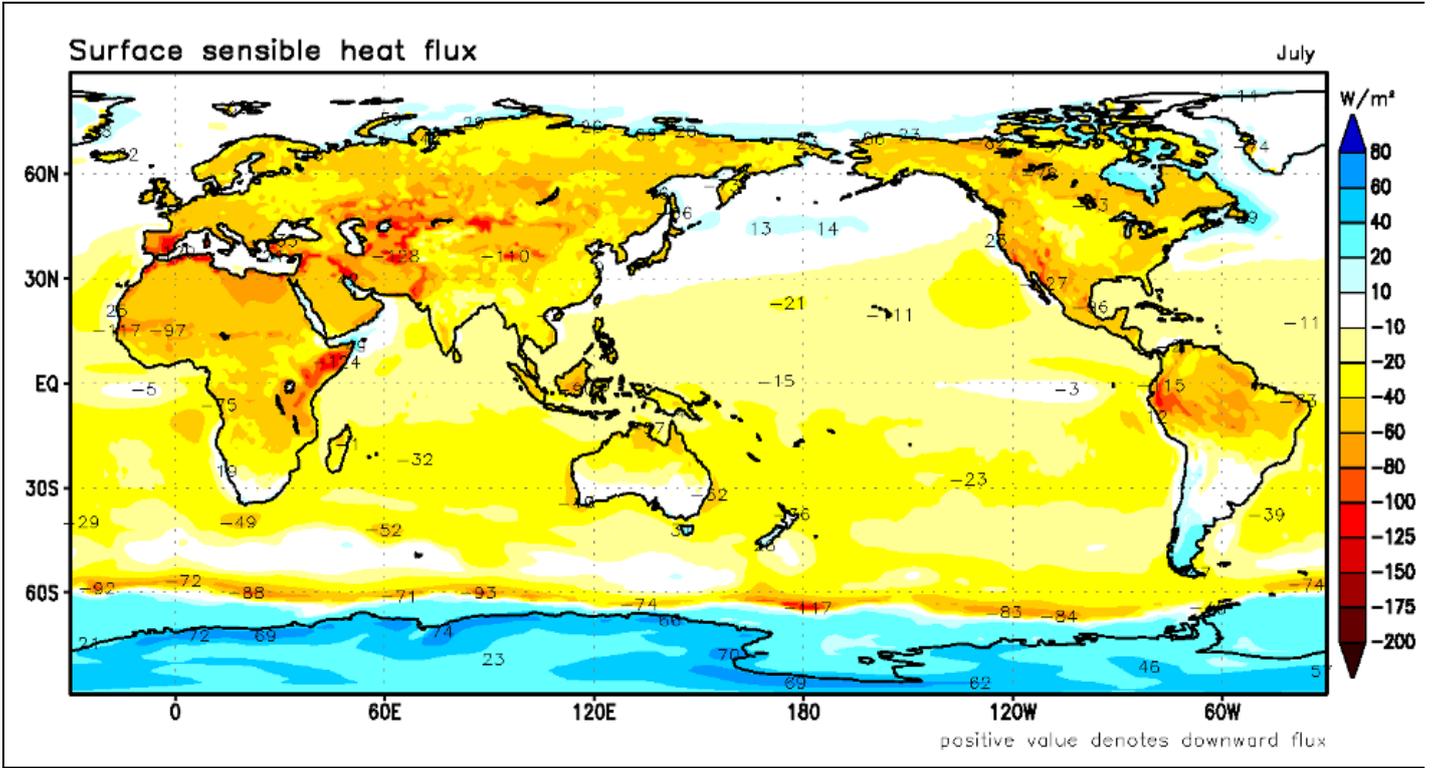
1 Le rayonnement de l'air vers la surface est sur 75% du globe absorbé par les premiers microns d'une surface d'eau
 2 liquide alors que le solaire visible et ce qui reste des UV de longueur d'onde supérieure à 300 nm chauffent les premières
 3 dizaines de mètres de l'océan.

4
 5 Les flux de chaleur latente sont de l'ordre de 200 W/m^2 sur les océans entre 40°S et 40°N (figure 2-D); les flux de chaleur
 6 sensible (ou convection) atteignent 100 W/m^2 (moyenne sur 24 heures) sur quelques déserts secs en surface: Tibet,
 7 Perse, Somalie, et sur le pourtour méditerranéen en juillet (figure 2-E), mais ne dépassent pas 30 W/m^2 sur les océans
 8 sauf latitudes australes très venteuses comme les "quarantièmes rugissants" et les "cinquantièmes hurlants".

9 Figure 2-D) Flux de chaleur latente (évaporation) pour un mois de juillet en W/m^2 , exprimé en "chauffage" (négatif) de
 10 la surface; 200 W/m^2 équivaut à l'évaporation de 6,9 mm d'eau par jour
 11 http://ds.data.jma.go.jp/gmd/jra/atlas/eng/indexe_surface12.htm



14 Figure 2-E) Flux de chaleur sensible (convection) pour un mois de juillet en W/m^2 , exprimé en "chauffage" (négatif) de
 15 la surface ; noter en quelques endroits des flux convectifs positifs, en bleu, de l'air vers la surface au dessus de
 16 l'Antarctique en hiver et en quelques zones de l'Arctique où l'air advecté de latitudes plus basses est plus chaud que la
 17 surface. http://ds.data.jma.go.jp/gmd/jra/atlas/eng/indexe_surface12.htm



1
2
3

3. Les gaz-traces actifs en infrarouge thermique, dits "à effet de serre" et leur épaisseur optique

3-1) L'air, hors la "fenêtre de la vapeur d'eau", est opaque en infrarouge thermique

C'est-à-dire opaque au rayonnement des corps ou des gaz-traces aux températures "usuelles" de l'air et de la surface, entre 200 K (-73 °C) et 400 K (+127 °C). Aux fréquences optiques où il est opaque **il absorbe tout et rayonne à sa température propre**. Les deux gaz-traces qui importent ici sont la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone.

3-2) Vapeur d'eau

L'air contiendrait 12700 km³ d'eau, surtout en vapeur d'eau; un cycle de neuf à dix jours implique une circulation de 400 000 km³/an; réservoirs et barrages contiendraient 7200 km³, à comparer à une consommation "humaine" estimée à 3800 km³/an (1 km³ = 1 Gt). L'évaporation exprimée en mm d'eau précipitable: 1 mm = 1 kg/m²; la chaleur latente emportée par l'évaporation est de 2,5 MJ/kg. L'évaporation atteint 3 m/an entre les Tropiques et 20 cm/an sur les mers polaires. Sur terre ferme on parle d'évapotranspiration, de 200 mm/an à 800 mm/an ou plus, selon la végétation, pendant la période d'activité de la végétation; l'évaporation directe de l'eau du sol, eau qui fait jusqu'à 25% de la couche superficielle, est minime par rapport à la consommation de la végétation qui évapore de 250 moles d'eau (plantes en C4 telles que maïs, sorgho, canne à sucre) à 500 moles d'eau (plante en C3 telles que blé, tournesol, vigne, fétuque, conifères, feuillus) par unité (CH₂O) de matière végétale produite par la photosynthèse et libère cette eau surtout à travers les stomates des feuilles.

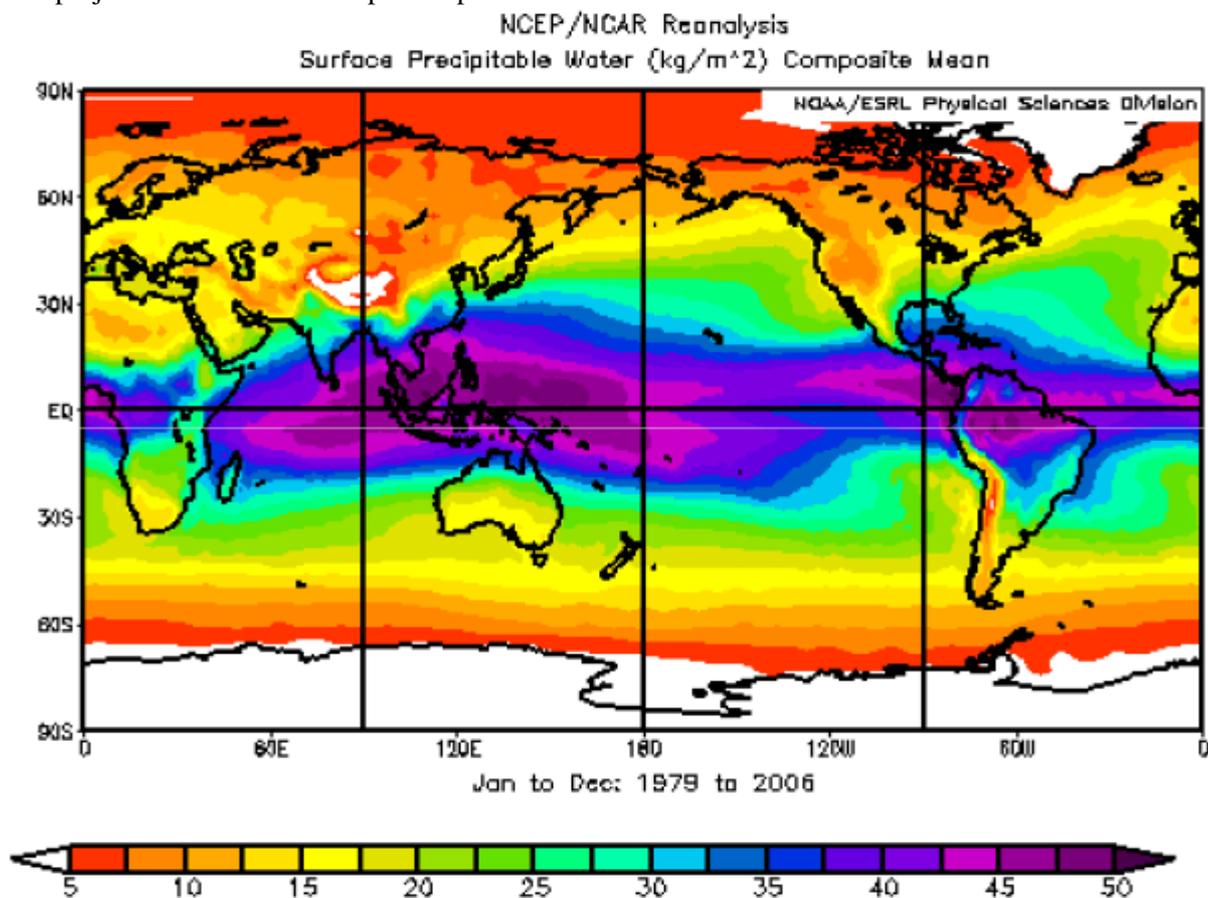
Les répartitions géographique et en altitude de la moyenne annuelle de la teneur en vapeur d'eau sont dessinées aux figures 3-A & 3-B.

La quantité de vapeur d'eau "précipitable" dans l'air varie fortement avec la température et suit généralement l'évolution de la température de surface.

Il y a 10 kg/m² de vapeur d'eau "précipitable" et plus au dessus des déserts chauds (figure 3-A).

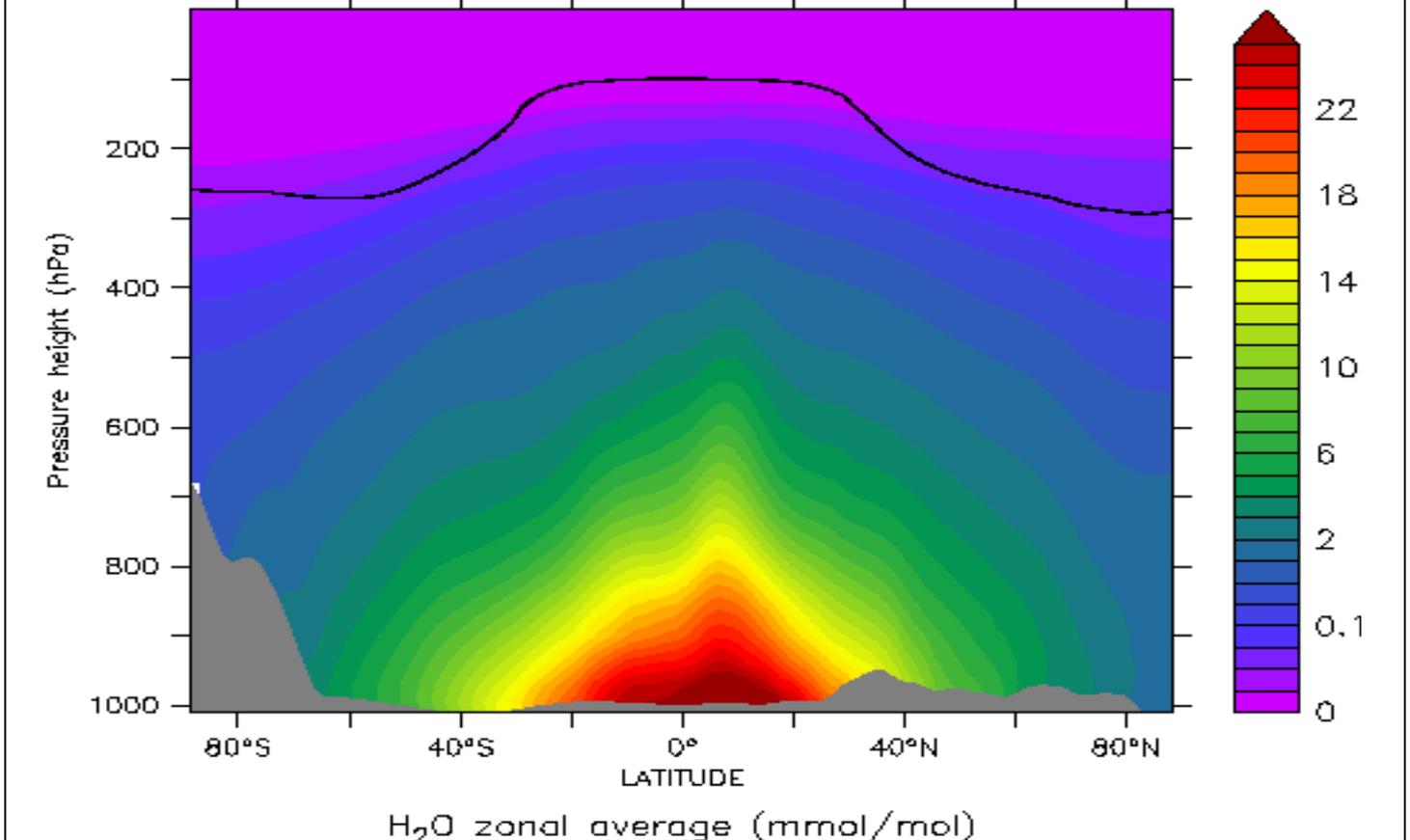
Figure 3-A) Ordres de grandeur (en moyenne sur l'année) de la teneur totale de l'air en vapeur d'eau en kg/m² selon la latitude et la longitude. Le moyennage sur l'année fait disparaître les extrêmes vers 80 à 100 kg/m² qui alimentent des pluies à 100 mm/jour (voire par heure) (Cévennes, Pyrénées orientales, zones méditerranéennes reçoivent de telles pluies au moins tous les dix ans) et bien plus dans les zones de mousson.

Nota bene: la projection de Mercator ne permet pas l'estimation des surfaces relatives des différentes latitudes



Le "haut" de la vapeur d'eau (figure 3-B) vers 2 milli-mole/mole (400 mbar à l'équateur et 800 mbar à 70°N), est, comme nous le verrons, à peu près le bas de la couche d'épaisseur optique $t=1,07$ comptée depuis le haut de l'air, couche qui fait 80% du refroidissement de l'air par rayonnement vers le cosmos.

Figure 3-B) Teneur, en moyenne annuelle, de l'air en vapeur d'eau en milli-moles/mole d'air sec, vers 30°E (?), selon l'altitude et la latitude; multiplier par 0,62= 18/28,86 pour passer de milli-mole/mole en g/kg (par kg d'air sec)



La figure 3-C des précipitations moyennes annuelles montre aussi la position des nuages "stratus marins" qui, sous le niveau de cisaillement des alizés (changement de sens du vent entre 1 km et 2 km qui empêche la formation de structures convectives), couvrent la zone tropicale à l'est des océans: l'air est saturé d'humidité en dessous et assez sec au dessus.

Les précipitations (figure 3-C) dépendent de la convection ! Il ne pleut pas sous le centre des hautes pressions (anticyclones) que ce soient les anticyclones subtropicaux quasi-permanents vers 30°N et 30°S, ou ceux qui, aux moyennes latitudes (35°-70°), passent tous les quelques jours entre deux dépressions; pas de précipitations non plus sous ces hautes pressions barométriques temporaires, dites "agglutinations anticycloniques", de durée quelques jours à quelques semaines qui de temps en temps, provoquent, selon la saison, ou des canicules ou des "froids sibériens".

Il ne pleut pas non plus :

(1) sous un cisaillement d'alizés: le vent au dessus de 1 ou 2 km a une direction très différente de celle du vent de la couche basse, ce qui "cisaille" la convection

(2) sous une inversion d'alizé où l'alizé "normal", soufflant vers le sud-ouest dans l'hémisphère nord, passe au dessus de l'alizé de mousson proche du sol, venant lui de l'autre hémisphère et est de direction nord-est dans l'hémisphère nord, ce qui empêche le développement des nuages convectifs. Cette stratification est interrompue tous les quelques jours par des lignes de grains qui permettent le développement vertical de la convection et la pluie (exemple de la mousson africaine).

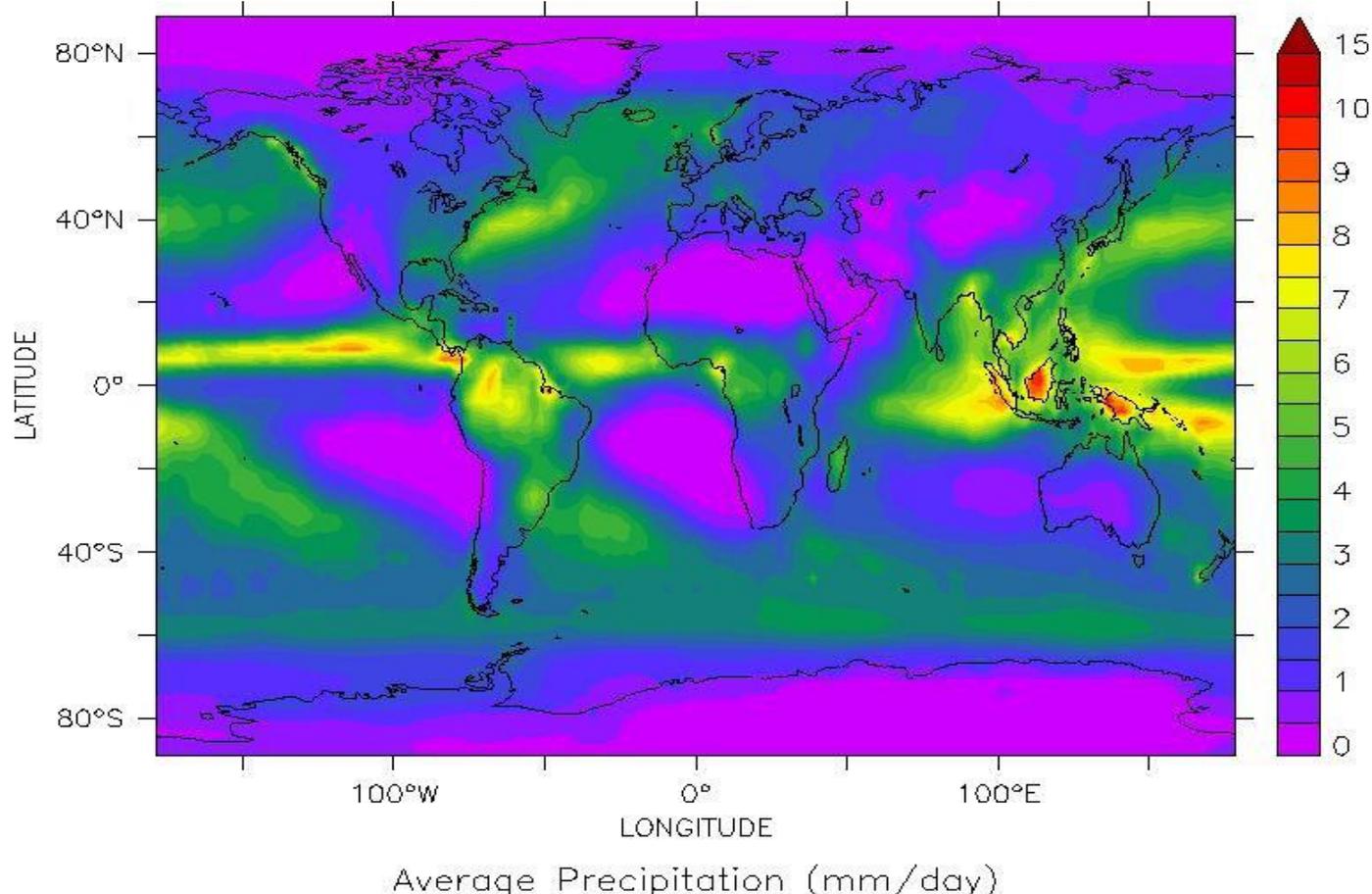
Les séries de précipitations en "moyenne mondiale" au cours du XXème siècle ne montrent pas de variation significative car min et max sont, à cette échelle globale, à plus ou moins 4% de la moyenne; comme pour les températures le moyennage efface la variabilité très forte des séries locales, qui ont souvent des cycles décennaux (période 22 ans) bien marqués.

A Paris les précipitations observées vont de 271 mm/an (en 1921) à 901 mm/an (en 2000).

En Île de France¹³ 69 sécheresses sur 509 années d'observation: 22 au XVIIIème siècle contre 10 à 13 pour les quatre autres siècles, la plus grave va de l'hiver 1576/77 à la Toussaint 1578. L'été 1921 a été très sec et chaud et 1976 l'année de l'impôt-sécheresse.

¹³ Emmanuel Garnier – *Bassesses extraordinaires et grandes chaleurs 500 ans de sécheresses et de chaleurs en France et dans les pays limitrophes*. Colloque 193 SHF : «Etiages, Sécheresses, Canicules rares et leurs impacts sur les usages de l'eau», Lyon, 7-8 octobre 2009.

1 Figure 3-C) Précipitations moyennes en mm/jour: AAc (agglutinations anticycloniques) et zones de cisaillement des
 2 alizés sont presque sans précipitations comme les très hautes latitudes; l'équateur météorologique est marqué par les
 3 fortes précipitations un peu au nord ou au sud de l'équateur géographique.
 4 Noter la bande jaune et verte sur l'Atlantique au large des Etats-Unis dite "couloir des tempêtes"



3-3) Dioxyde de carbone CO₂: 850 Gt-C dans l'air et 40 000 Gt-C dans les océans

Gt-C signifie milliard (préfixe G pour giga) de tonnes de carbone contenu

L'océan contient en carbone dissous presque cinquante fois plus de carbone que l'air, sous trois formes, CO₂ ou H₂CO₃ (1%), ions carbonate CO₃²⁻ (9%) et ions bicarbonate HCO₃⁻ (90%), et sous forme de résidus et composés organiques, estimés à de 700 Gt-C à 1000 Gt-C.

Il y a en sus de 1,5 à 2 millions de Gt-C sous forme de sédiments carbonatés au fond des mers dont une grosse partie sur les plateaux continentaux à faible profondeur; la précipitation directe de carbonates de calcium n'est que rarement observée¹⁴, malgré une grosse sursaturation. La précipitation est surtout biologique, par les enveloppes calcaires de planctons. La mobilisation de sédiments calcaires augmenterait le carbone inorganique dissous et la pression partielle de CO₂ dans l'eau. Un examen de cette solution tampon avec équilibre de l'acide faible en présence de ses sels est fait dans un autre fascicule.

Les échanges entre atmosphère et océans ont été chiffrés à 90 Gt-C/an à quelques pour-cent près.

Le dégazage (ou l'absorption)¹⁵ par l'océan est proportionnel à la différence des pressions p(CO₂) dans l'air et dans l'eau (figure 3-D suivante), au cube de la vitesse du vent et à S_c^{-1/2} où S_c est le nombre de Schmidt¹⁶.

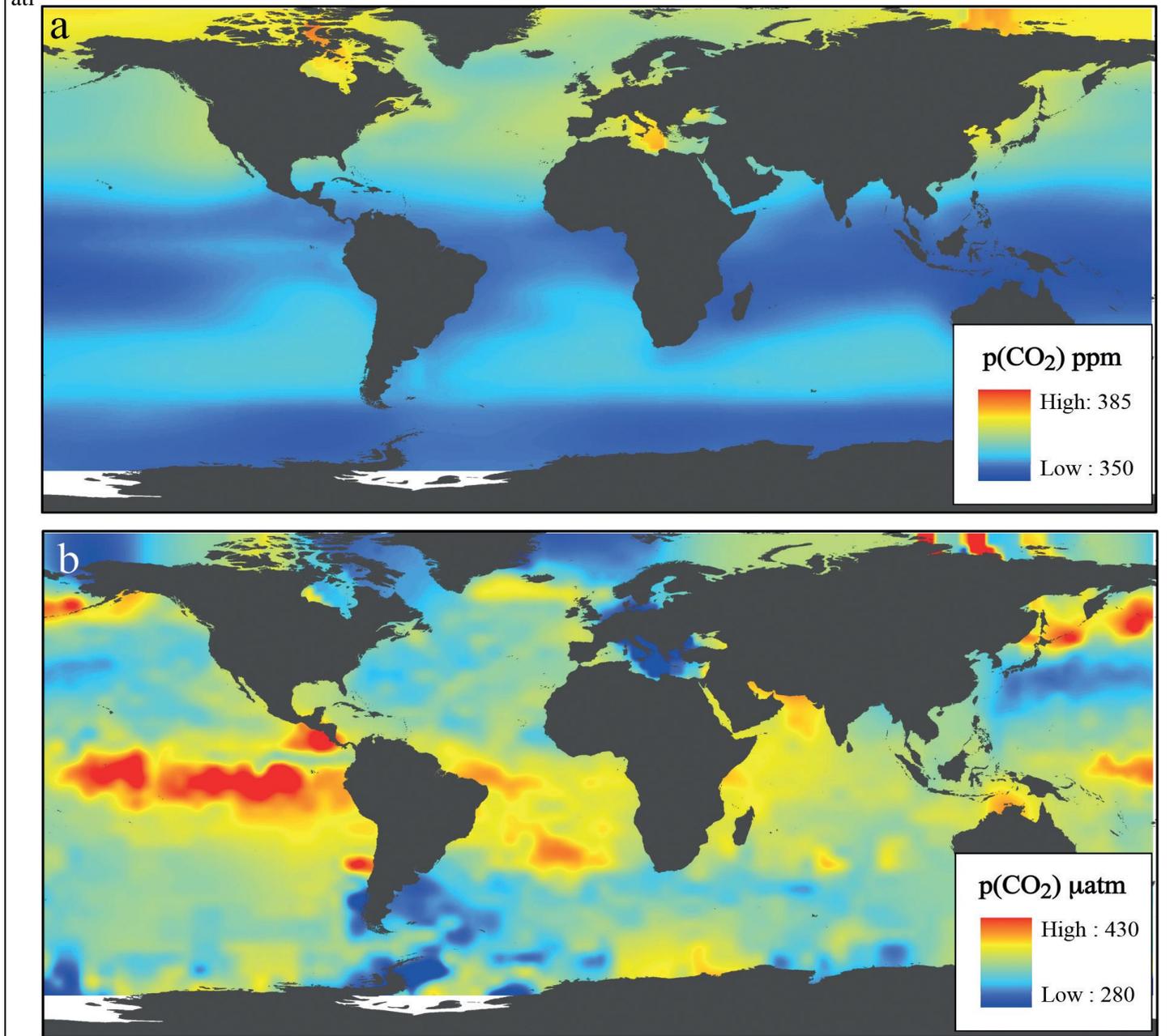
La figure suivante illustre la complémentarité entre air et océan, les zones à forte teneur en CO₂ de l'un correspondant aux zones à faible teneur de l'autre ce qui implique absorption ou dégazage par l'océan, dans **des zones bien séparées**. Les spéculations fondées sur l'hypothèse d'un océan en équilibre avec l'atmosphère (Bert Bolin 1959, R. Revelle 1965) sont des leurres. Les zones d'absorption et les zones de dégazage sont bien distinctes, dépendent de la saison et des conditions météorologiques propres à chaque zone et, comme le montre la figure 3-D, les zones de faible pression partielle du CO₂ atmosphérique surmontent les fortes pressions partielles océaniques dues aux remontées d'eau profonde de quelques centaines de mètres, ou upwellings.

¹⁴ Le grand band des Bahamas ferait exception. La réduction de la réactivité des ions serait due à la tunique de molécules d'eau qui les entoure ou à une faible réactivité; les manuels et articles semblent éviter ce sujet que l'on pourrait croire essentiel.

¹⁵ R. Wanninkhof *Relationship Between Wind Speed and Gas Exchange Over the Ocean* J G R, VOL. 97, n° C5, pp. 7373-7382, May 15, 1992

¹⁶ S_c est la viscosité cinématique de l'eau divisée par le coefficient de diffusion du gaz et dépend de la température

1 Figure 3-D) Comparaison des teneurs en CO₂ dans l'air **en surface** (pression partielle en ppm, parties par million) et
 2 des teneurs dans l'eau de surface (équivalent d'une pression partielle, en μatm , micro-atmosphère ou millionième d'une
 3 atmosphère) en différentes zones de l'océan compilé à partir des données de Takahashi 2000 source : ¹⁷



3-4) Épaisseur optique des gaz-traces en fonction de la fréquence optique

3-4-1) L'épaisseur optique t est une quantité sans dimension, telle que pour un pinceau de lumière traversant une couche d'air d'épaisseur optique t la transmission soit $\exp(-t)$.

Pour calculer simplement le rayonnement d'un gaz de l'atmosphère avec la fonction de Planck $B(\nu, T)$, on exprimera la température T en fonction de l'épaisseur optique t comptée depuis le haut de l'air où $t=0$, par une fonction $T(t)$.

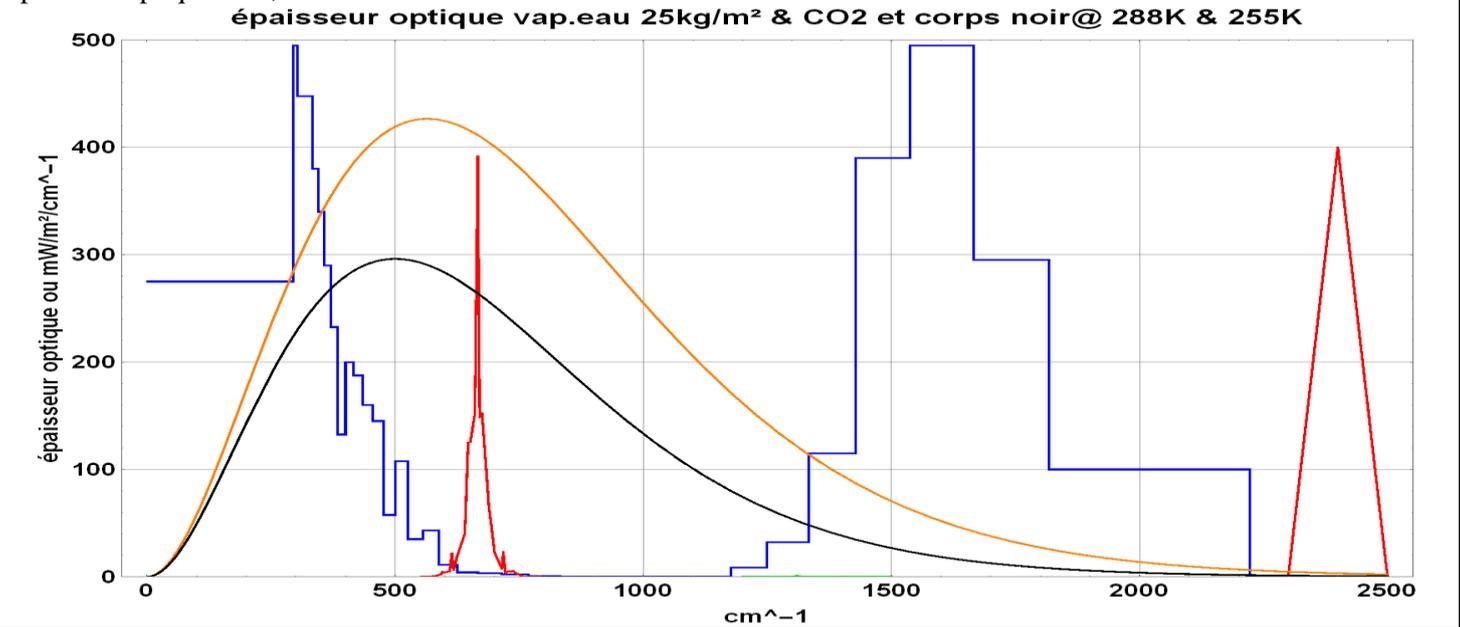
La figure suivante montre, pour la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, l'épaisseur optique totale de l'air en fonction de la fréquence du rayonnement ici exprimée en unité appelée cm^{-1} qui vaut presque 30 GHz (1 GHz = 1 milliard de Hertz); la teneur en vapeur d'eau prise pour ce calcul $w = 25 \text{ kg/m}^2$ est la moyenne "globale" de la quantité vapeur d'eau dans la colonne d'air, souvent appelée "vapeur d'eau précipitable" en mm avec $1 \text{ mm} = 1 \text{ kg/m}^2$.

¹⁷ James P. Barry, Toby Tyrrell Lina Hansson, Gian-Kasper Plattner Jean-Pierre Gattuso *Atmospheric CO₂ targets for ocean acidification perturbation experiments* pp. 53-66 dans *Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting* Edited by U. Riebesell, V. J. Fabry, L. Hansson and J.-P. Gattuso. 2010, Luxembourg: Publications Office of the European Union <http://www.epoca-project.eu/index.php/guide-to-best-practices-for-ocean-acidification-research-and-data-reporting.html>. Pour d'autres cartes de pression partielle du CO₂ en surface des océans <http://www.socat.info/> et <http://www.earth-syst-sci-data.net/6/69/2014/essd-6-69-2014.html>

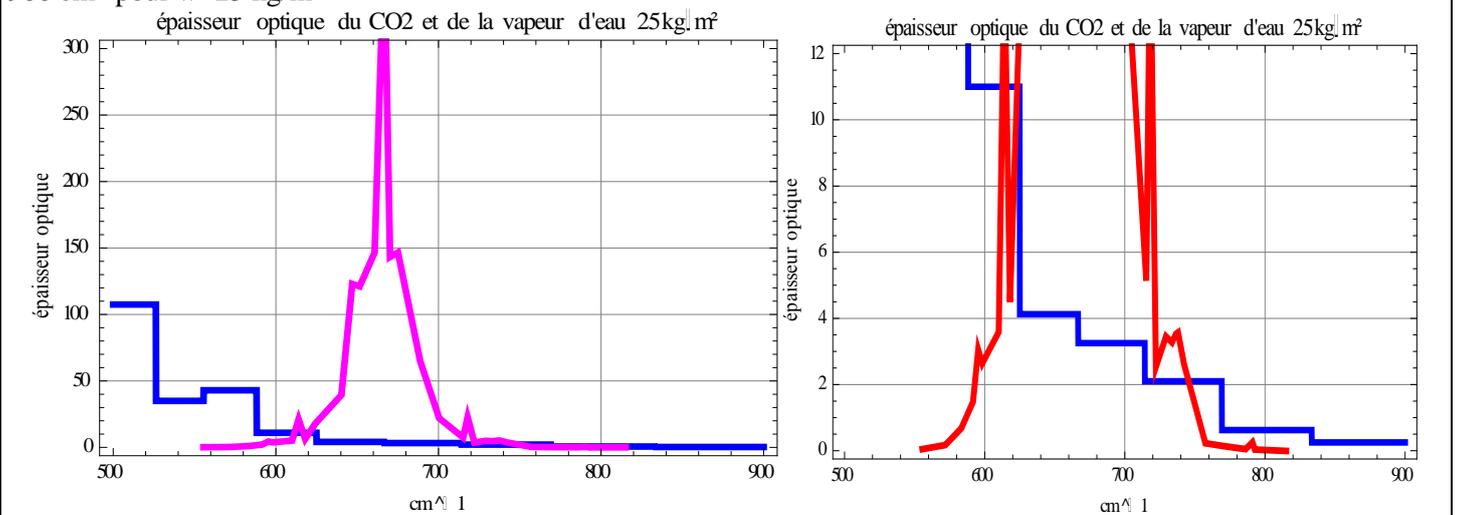
1 Pour un rayonnement diffus traversant une couche de gaz d'épaisseur optique t , la transmission vaut $2E_3(t)$.
 2 $E_3(t)$ est une fonction spéciale dite fonction exponentielle intégrale; $2 E_3(t)$ est approchée par $\exp(-t) / (1+0,65 t)$
 3 qui décroît un peu plus vite que l'exponentielle $\exp(-t)$; l'absorption par la couche d'air vaut $1- 2E_3(t)$.
 4

Transmission $2E_3(t) \approx \exp(-t)/(1+0,65 t)$ et absorption d'un rayonnement diffus par une épaisseur optique t (t thickness)					
épaisseur optique t	1,07	2	3	10	100
transmission	20%	6%	1,8%	0,000 007	$7 \cdot 10^{-46}$
absorption	80%	94%	98,2%	100%	100%

5
 6 Figure 3-E) **Épaisseurs optiques de la vapeur d'eau** (en bleu) pour une quantité totale $w= 25 \text{ kg/m}^2$ (moyenne sur le
 7 globe de la vapeur d'eau "précipitable")¹⁸ **et du CO₂** (en rouge).
 8 Rayonnement d'une surface de corps noir ($\pi = 3,14$ fois la fonction de Planck) en $\text{mW/m}^2/\text{cm}^{-1}$ à 255 K (en noir) et 288
 9 K (en orange). Le détail des raies du CO₂ autour de $4,3 \mu\text{m}$ (2380 cm^{-1}) importe peu en infrarouge thermique car la
 10 fonction de Planck y est négligeable. Le CO₂ n'est actif ($t_{\text{CO}_2} > 1/2$) que sur la petite bande de fréquences 580 cm^{-1} - 750 cm^{-1}
 11 soit 170 cm^{-1} et **un douzième** de la bande où la vapeur d'eau est active; la raie du méthane vers 1310 cm^{-1} a une
 12 épaisseur optique de 0,5 environ.



13
 14
 15 Figure 3- F) Zoom sur l'épaisseur optique de la vapeur d'eau et du CO₂ sur la bande de fréquences optiques 500 cm^{-1} à
 16 900 cm^{-1} pour $w=25 \text{ kg/m}^2$



17 L'expression "fenêtre de la vapeur d'eau" désigne la bande de 750 cm^{-1} à 1150 cm^{-1} où l'épaisseur optique est entre $1/2$ et 2
 18 (figure suivante); ces limites ne sont pas standardisées.
 19

¹⁸ K. Ya. Kondratiev *Radiation in the atmosphere* Academic Press 1969, 912 pages
 voir aussi http://www.cost723.org/school/material/lectures/KEY10-water_and_the_utls-gettelman.pdf et Brindley & Harris (SPARC 2000) qui donnent le détail des raies de rotation non représenté à la figure H et S.A. Buehler et al. Recent developments in the line-by-line modelling of outgoing longwave radiation JQSRT 98 (2006) 446–457 figure 5

1 L'épaisseur optique dans la fenêtre est accrue par le "continuum de la vapeur d'eau" absorption continue, sans raies
2 d'absorption, attribuée ou a à des dimères de deux molécules d'eau ou à des effets de collisions entre molécules d'eau;
3 cette absorption croît comme le carré de la teneur en vapeur d'eau et est plus forte aux basses températures.
4

5 **3-4-2)** La figure 3-B montre que la vapeur d'eau est "plaquée" contre la surface (décroissance des teneurs disons en $P^{3,2}$
6 où P est la pression réduite exprimée en atmosphère) et donc absorbera le gros du rayonnement de la surface avant que le
7 CO_2 qui, lui est également réparti sur toute la hauteur de la colonne d'air, voie passer ce rayonnement.
8 Ce n'est (figure 3-F vignette de droite) qu'aux fréquences optiques entre 720 et 810 cm^{-1} que le CO_2 aura un petit effet sur
9 l'absorption par l'air du rayonnement de la surface.

10 La vapeur d'eau est de très loin le principal gaz-trace actif dans l'infrarouge: elle assure en gros 98% de l'absorption par
11 l'air du rayonnement de la surface et presque 90 % du rayonnement de l'air vers le cosmos.
12

13 **3-4-3) 80% des photons qui sortent d'une couche d'épaisseur optique $t=1,07$, tant vers le haut que vers le bas sont**
14 **produits dans cette couche.**
15

16 Si les températures ne sont pas trop variables en fonction de l'altitude, **la couche $t = 1,07$ tout en haut de l'air produit**
17 **80% du rayonnement de l'air vers le cosmos et se refroidit** puisqu'à la température du fond cosmique, 2,7 K, le
18 rayonnement du cosmos reçu par le globe est négligeable.
19
20
21
22

4. Emission et absorption par les gaz-traces: interfaces surface-air et surface-cosmos

Dire qu'un gaz peut être "modélisé" comme un corps noir, c'est dire une absurdité: en effet un gaz-trace n'absorbe et ne rayonne que sur certaines raies et bandes de fréquences optiques, pas sur tout le spectre (hors le petit effet du continuum).

Le CO₂ par exemple est actif sur seulement 170 cm⁻¹ (figures 3-E & 3-F) du spectre de l'infrarouge thermique où la fonction de Planck aux températures de l'air (en noir et en orange à la figure 3-E) n'est pas négligeable.

4-1) Epaisseur optique comptée depuis P=0, c'est-à-dire depuis le haut de l'air: expressions approchées pour le CO₂ et pour la vapeur d'eau

Si un gaz-trace de l'air a une épaisseur optique totale $t_{\text{gaz-trace}}(\nu)$ en fonction de la fréquence optique ν (figures 3-E et 3-F), comment varie son épaisseur optique cumulée, comptée depuis le haut de l'air, en fonction de l'altitude z ou de la pression p en Pascal (Pa ou N/m²) ou encore de la pression réduite P en atmosphère $P = p / 101325$?

$k(\nu, P, T)$ est le coefficient massique d'absorption du gaz-trace, fonction de la fréquence optique ν , de la température T et de la pression P .

La différentielle dt de l'épaisseur optique pour une couche d'air d'épaisseur dz s'écrit en fonction de la masse volumique $\rho_{\text{gaz trace}}$ du gaz trace, à partir de la relation barométrique $dp = -\rho_{\text{air}} g dz$; là p est la pression en Pa (Pascal ou Newton/m²), $p(\text{Pascal}) = 101\,325 P$, où la pression réduite P varie entre 1 à la surface et 0 en haut de l'air

$$dt = -k(\nu, P, T) \rho_{\text{gaz trace}} dz = k(\nu, P, T) \rho_{\text{gaz trace}} (101325 dP / (g \rho_{\text{air}})) = k(\nu, P, T) (\rho_{\text{gaz trace}} / \rho_{\text{air}}) (101325 / g) dP$$

De la relation des gaz parfaits $\rho = 1/V = p / (R T)$ il vient:

$(\rho_{\text{CO}_2} / \rho_{\text{air}}) = (p_{\text{CO}_2} / p_{\text{air}}) (R_{\text{air}} / R_{\text{CO}_2}) = (400 \text{ ppm}) 0,044 / 0,02896$. Avec la notation \sim pour "proportionnel à"
 $dt_{\text{CO}_2}(\nu) \sim k_{\text{CO}_2}(\nu, P, T) dP \sim t_{\text{CO}_2 \text{max}}(\nu) P^{0,45} dP$, pour tenir compte de la variation du coefficient d'absorption avec la pression expression valable jusque vers 30 km; l'épaisseur optique cumulée comptée depuis le haut de l'air jusqu'à l'altitude de pression P est donc

$$t_{\text{CO}_2}(\nu, P) = t_{\text{CO}_2 \text{max}}(\nu) P^{1,45}$$

L'épaisseur optique totale $t_{\text{CO}_2 \text{max}}(\nu)$ des figures 3-E et 3-F utilisable jusqu'à 30 km est, comme $(p_{\text{CO}_2} / p_{\text{air}})$, proportionnelle aux ppm de dioxyde de carbone dans l'air qui expriment le rapport

$$(p_{\text{CO}_2} / p_{\text{air}}) = \text{nombre de molécules de CO}_2 \text{ par million de molécules de l'air.}$$

La pression partielle de la vapeur d'eau notée $e_{\text{H}_2\text{O}}$ vaut $(RH \times E_{\text{H}_2\text{O}} \text{ vapeur saturante})$ où RH désigne l'humidité relative (*Relative Humidity*) qui va d'au plus 100% en surface, en moyenne vers 80% sur les océans) à 50% ou moins près de la tropopause.

$$E_{\text{vapeur saturante}}(T) = 611,2 \exp(6816 [1/273,15 - 1/T]) (273,15/T)^{5,1309} = 1,331 \cdot 10^{26} \exp(-6816/T) T^{-5,13} \text{ en Pascal}$$

Nous verrons plus loin que la température de la troposphère $T(P)$ en fonction de la pression réduite P est en moyenne $T(P) = T_{\text{surface}} P^{0,19}$. Insérer cette formule dans $E_{\text{vapeur saturante}}(T)$ donne une approximation en puissance P^a valable dans la troposphère

$$E_{\text{vapeur saturante}}(P) = E_{\text{vapeur saturante surface}} P^{9,387 - 0,0165 T_{\text{surface}} - 5,13 \times 0,19} (2,054 P - 0,263 P^2 - 0,855 P^3) \text{ d'où}$$

$$(\rho_{\text{H}_2\text{O}} / \rho_{\text{air}}) = (e_{\text{H}_2\text{O}} / p_{\text{air}}) (R_{\text{air}} / R_{\text{H}_2\text{O}}) = [RH(P) E_{\text{vapeur saturante}}(P) / (101\,325 P)] (0,018 / 0,02896)$$

puisque pour un gaz parfait, $R = 8,314 / (\text{masse d'une mole en kg})$ et $\rho = 1/V = p/(RT)$; 18 grammes et 28,96 grammes sont les masses molaires de l'eau et de l'air.

Application numérique: vapeur d'eau en g/kg : $0,622 (RH(P) E_{\text{vapeur saturante}}(P) / P) / 101,325$ et pour $P=0,3$,

$$RH(P) = 80\% \quad 0,3^{0,5} = 44\%, \quad E_{\text{vapeur saturante surface}} = 3543 \text{ Pa à } 300 \text{ K.}$$

Le premier facteur $0,3^{8,412 - 0,0165 \times 300}$ vaut 0,0155, le second facteur $(2,054 P \dots)$ vaut 0,57 et $0,622 (0,44 \cdot 3543 / 0,3) \times 0,0155 \times 0,57 / 101 = 0,28 \text{ g/kg}$ à 300 mbar alors qu'en surface on aurait $0,622 (0,8 \times 3543) / 101 = 17,4 \text{ g/kg}$ à 300 K ou $9,4 \text{ g/kg}$ à 290 K.

Ces nombres sont comparables aux valeurs "moyennes" observées des figures du § 11-10) *Evolution de la teneur en vapeur d'eau observée depuis 1948*.

Noter que la moyenne de la vapeur d'eau n'est pas du tout la vapeur d'eau à la température moyenne, car $E_{\text{vapeur saturante}}(T)$ est fortement non linéaire.

Calculons maintenant l'épaisseur optique

$$(\rho_{\text{H}_2\text{O}} / \rho_{\text{air}}) = (0,622 / 101325) RH(P) E_{\text{vapeur saturante surface}} P^{9,387 - 5,13 \times 0,19 - 0,0165 T_{\text{surface}} - 1}$$

et de $dt = k(\nu, P, T) (\rho_{\text{gaz trace}} / \rho_{\text{air}}) (101325 / g) dP$ il vient

$$dt_{\text{H}_2\text{O}}(\nu) = k_{\text{H}_2\text{O}}(\nu, P, T) (0,622 / g) E_{\text{vapeur saturante surface}} RH(P) P^{7,41 - 0,0165 T_{\text{surface}}} dP \text{ ou plus précisément } RH(P) P^{7,41 - 0,0165 T_{\text{surface}}} (2,05 P - 0,26 P^2 - 0,855 P^3) dP$$

Intégrer entre 0 et 1 donne, avec l'approximation $RH(P) = RH_{\text{surface}} P^{0,5}$

$$t_{\text{H}_2\text{O max}}(\nu) = k_{\text{H}_2\text{O}}(\nu, P, T) (0,622 / g) E_{\text{vapeur saturante surface}} RH_{\text{surface}} / (8,91 - 0,0165 T_{\text{surface}})$$

$$dt_{\text{H}_2\text{O}}(\nu) = t_{\text{H}_2\text{O max}}(\nu) (8,91 - 0,0165 T_{\text{surface}}) P^{7,91 - 0,0165 T_{\text{surface}}} dP$$

où l'exposant vaut {3,57; 3,16; 2,96} pour $T_{\text{surface}} = \{263 \text{ K; } 288 \text{ K; } 300 \text{ K}\}$, et enfin l'épaisseur optique cumulée entre le haut de l'air et l'altitude de pression P

$$t_{H_2O}(v, P) = t_{H_2Omax}(v) P^{8,91 - 0,0165 T_{surface}}$$

ou une expression plus complète en intégrant $RH(P) P^{7,41 - 0,0165 T_{surface}} (2,05 P - 0,26 P^2 - 0,855 P^3) dP$ avec la condition évidente $t_{H_2O}(v, 1) = t_{H_2Omax}(v)$ puisque l'épaisseur optique est comptée depuis le haut de l'air.

L'épaisseur optique de la vapeur d'eau cumulée comptée depuis le haut de l'air jusqu'à l'altitude de pression P, $t_{H_2O}(v, P)$ décroît très rapidement quand P passe de 1 à 0, par exemple en $P^{4,16}$ à $T_{surface} = 288 K$. Entre la surface et 688 mbar (vers 3,2 km) où $P = 0,68$, on a $(1 - 0,69^{4,16}) = 80\%$ de l'épaisseur optique de la vapeur d'eau alors que 57% de celle du CO₂ est au dessus. La quantité de vapeur d'eau (ρ_{H_2O} / ρ_{air}) est à peu près constante au dessus de la tropopause à quelques ppm ou dizaines de ppm pour le rapport des pressions (e_{H_2O} / p_{air}).

La pression correspondant à une épaisseur optique t comptée depuis le haut de l'air, aux fréquences optiques sans recouvrement des spectres est $P(t_{CO_2}) = (t_{CO_2}(v, P) / t_{CO_2max}(v))^{(1/1,45)}$ et $P(t_{H_2O}) = (t_{H_2O}(v, P) / t_{H_2Omax}(v))^{(1/4,16)}$.

Par exemple la position de la couche correspondant à $t=1,07$ est, pour $t_{max}=100$, à $P=0,033$ dans la stratosphère pour le CO₂ et, pour la vapeur d'eau, à $P = 0,305$, en dessous de la tropopause (figure 1).

La relation $T \sim P^{0,19}$ pour la troposphère ou les profils T(P) de la figure 1 permettent de paramétrer la température en fonction de l'épaisseur optique t comme T(P(t)) et de calculer très simplement les flux rayonnés par l'air comme on le verra au paragraphe suivant.

Aux fréquences optiques où il y a superposition des spectres du CO₂ et de la vapeur d'eau

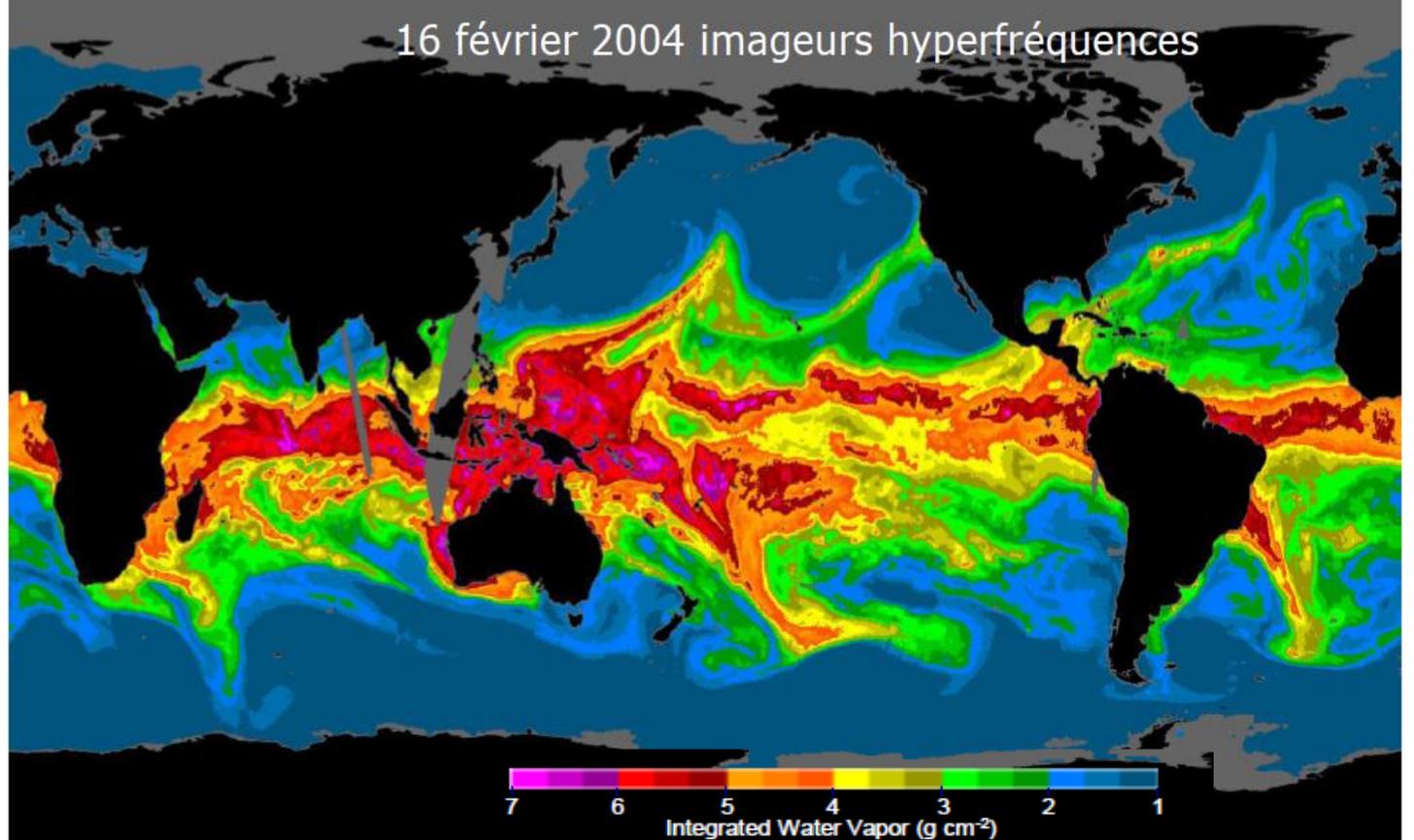
$$t_{total}(v, P) = t_{CO_2}(v, P) + t_{H_2O}(v, P) = t_{CO_2max}(v) P^{1,45} + t_{H_2Omax}(v) P^{4,16}$$

dont la solution ¹⁹ est $P(t_{total}(v))$, d'où T(t_{total}).pour un profil T(P) donné; mais un tel calcul avec des atténuations moyennées sur quelques cm⁻¹ peut donner des résultats erronés, les raies des deux gaz pouvant être décalées.

Enfin il faut aussi tenir compte de l'épaisseur optique t_{nuages} des nuages, présents, sauf zones sèches, 60% du temps et bien plus aux hautes latitudes.

Les considérations précédentes visent à fournir des expressions simples et des ordres de grandeur; la réalité comme le montre la figure suivante est une cheminée équatoriale au confluent des alizés et des couloirs très humides devant les anticyclones mobiles qui alimentent les dépressions que l'on identifie aisément à l'est nord-est dans l'hémisphère nord (ou au sud sud-est dans l'hémisphère sud) du couloir qui en extratropical se déplace à quelques 40 km/h.

Figure 4-A) Teneur en vapeur d'eau mesurée par imagerie hyperfréquence; **1 g/cm² = 10 kg/m²** le 16 février 2004 noter qu'alors la mousson arrose l'hémisphère sud: Madagascar, Australie, Brésil source: NOAA *Ground-based GPS Meteorology GSD Program Review* August 7, 2012 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/news/2010/071510.html>



¹⁹ approximativement une cubique en $P^{1,45}$ d'où $P(t_{total}, t_{CO_2max}(v), t_{H_2Omax}(v))$
 $P = [- (0,874 t_{CO_2max}) / (9 t_{H_2Omax}^2 + 1,732 (4 t_{CO_2max}^3 t_{H_2Omax}^3 + 27 t^2 t_{H_2Omax}^4)^{(1/2)})^{(1/3)} + 0,382 (9 t_{H_2Omax}^2 + 1,732 (4 t_{CO_2max}^3 t_{H_2Omax}^3 + 27 t^2 t_{H_2Omax}^4)^{(1/2)})^{(1/3)} / t_{H_2Omax}]^{10,6897}$

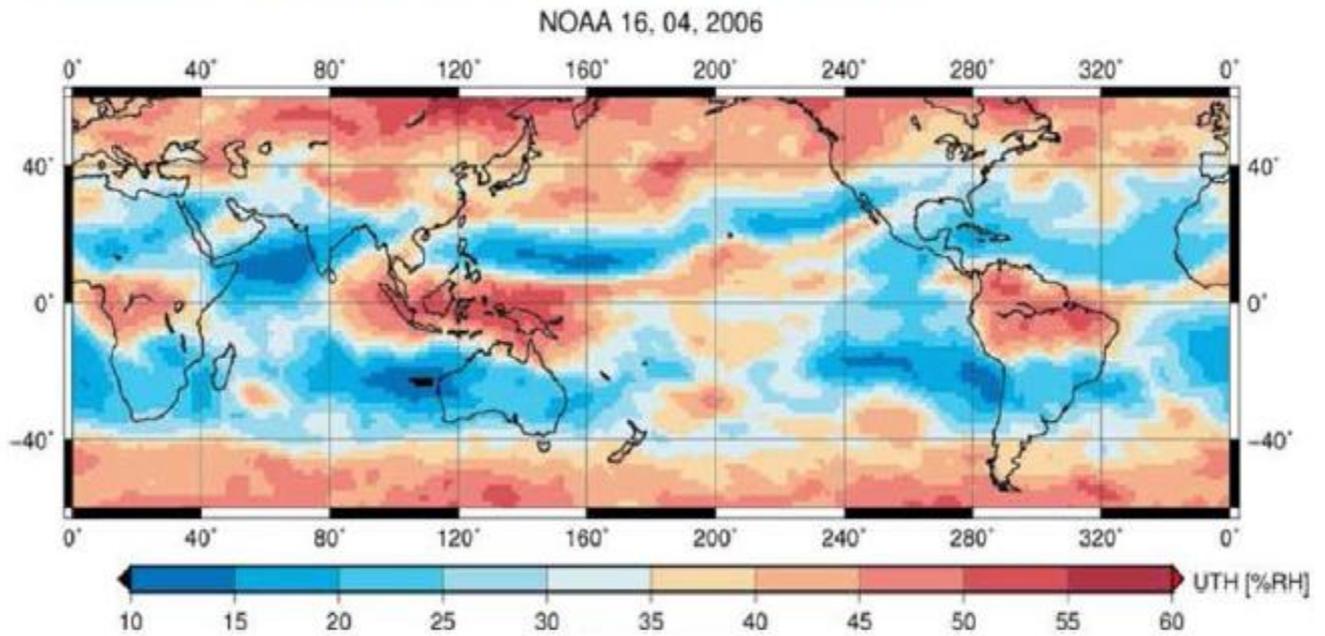
1 Cette figure montre la nature dynamique de la vapeur d'eau. Si la quantité totale en kg/m² reflète assez bien la
 2 température de surface, la quantité de vapeur d'eau dans les hautes couches au dessus de P=0,5, celles qui rayonnent vers
 3 le cosmos, dépend de la convection et du mouvement de l'atmosphère, régi par le principe de maximum de production
 4 d'entropie (voir annexe B). Sur la figure 4-B, la corrélation entre le mouvement vertical moyen de l'air et une estimation
 5 de l'humidité relative de la haute troposphère moyennée sur un mois (ici avril) montre que les zones de subsidence sont
 6 plus sèches et les zones de forte convection et d'ascendance plus humides.

7 Le moyennage sur un mois fait, sur la figure 4-B, disparaître les structures anticyclone mobile, couloirs dépressionnaires
 8 très humides et dépressions, bien visibles en extratropical sur la "photographie instantanée" de la figure 4-A.

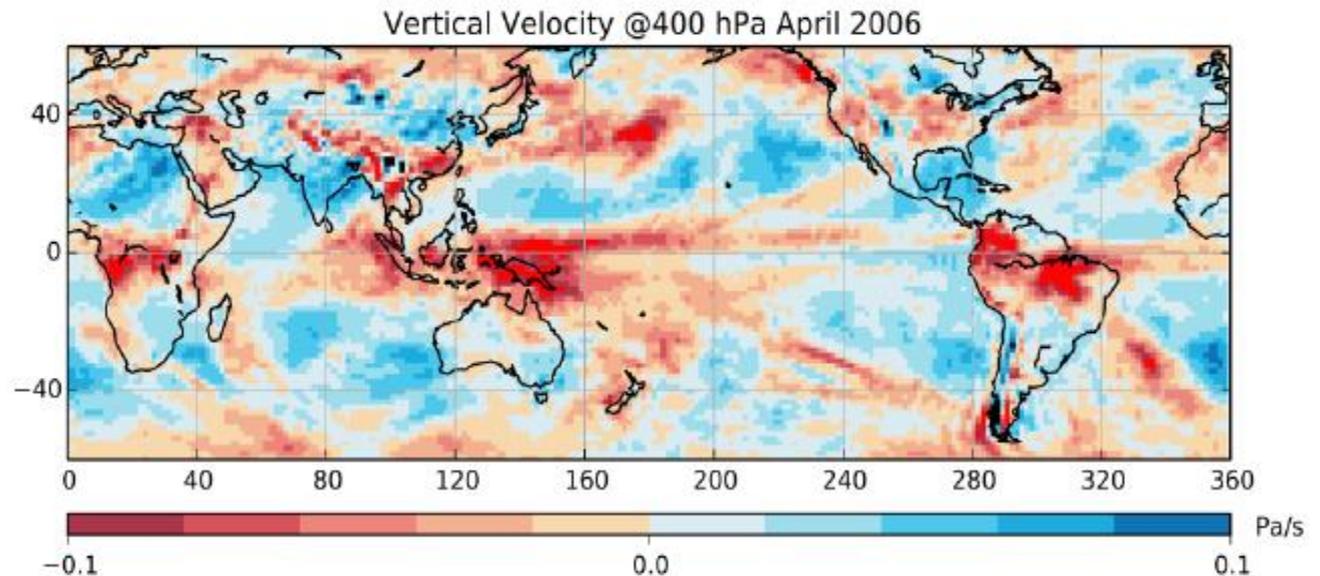
9 La notion d'humidité relative moyennée sur toute la couche entre 200 mbar et 500 mbar, à la figure 4-B est très
 10 discutable car le rapport (ρ_{H_2O} / ρ_{air}) varie en $P^{3..13}$ de 0,0065 (à 200 mbar) et 0,114 (à 500 mbar) fois sa valeur en surface,
 11 et les observations radiométriques à 6,7 μm et à 183 GHz ne donnent pas directement les profils des température et
 12 humidité en fonction de l'altitude.

13 Figure 4-B) Humidité relative moyenne approchée de la haute troposphère (de 500 mbar à 200 mbar) (5,5 km et 11,7 km
 14 pour $T_{surface} = 288 K$) pour la formule $z(km) = (T_{surface}/6,49) (1-P^{0,19})$ et vitesse verticale de l'air en Pascal/seconde à
 15 $P=0,4$ (7 km). Tiré de St. Buehler et al. *A new microwave radiance fundamental climate data record for tropospheric humidity*
 16 http://www.theclimatesymposium2014.com/1120__Stefan_Buehler__A_new_microwave.pdf

Satellite UTH (NOAA 16, measured)



ERA-Interim vertical wind at 400 hPa



4-2) Le flux de la surface absorbé par l'air est égal au flux de l'air rayonné vers la surface

Ce serait rigoureusement vrai pour une atmosphère isotherme à la température T de la surface, atmosphère qui absorberait $\pi B(v, T) (1 - 2 E_3(t_{\max}))$ et rayonnerait $\pi \int_0^{t_{\max}} B(v, T) 2 E_2(t) dt = \pi B(v, T) (-2E_3(t_{\max}) + 1)$

où $B(v, T)$ est la fonction de Planck (§ 2). Ces relations seront démontrées au § 5-5 ci-dessous.

La couche d'épaisseur optique $t = 1,07$ en bas de l'air contre la surface est la source de 80% du rayonnement de l'air vers la surface, et est en moyenne à la température de la surface.

L'atmosphère réelle est sujette aux inversions nocturnes de température dans les premières centaines de mètres, inversions qui atteignent parfois 40°C au Sahara et 10°C ou 15°C en France, avec parfois un givre matinal couvrant le paysage. Le haut de la couche $t=1,07$ est, pour la vapeur d'eau, à la pression P solution de $t_{\max H_2O} (1 - P^{4,13}) = 1,07$ soit $P = 0,9976$ atmosphère pour $t_{\max H_2O} = 100$ et une altitude $z = (T_{\text{surface}} / (6,5 \cdot 10^{-3})) (1 - P^{0,19}) = 20,5$ m.

À la fréquence optique où $t_{\max H_2O} = 4$ le haut de la couche $t=1,07$ est à $P=0,933$ atmosphère ($z = 582$ m).

Pour le CO_2 la solution ($1 -$ de 100 $(1 - P^{1,45}) = 1,07$ est $P=0,993$ atm pour $t_{\max CO_2} = 100$ (58 m) et 0,82 atm (1640 m) pour $t_{\max CO_2} = 4$.

Le gradient moyen de température sur le premier kilomètre est souvent bien moindre qu'au dessus, ce qui rapproche encore de l'atmosphère isotherme.

4-3) Flux de la surface absorbé par l'air & flux rayonné par l'air vers la surface: observations

Les milliers de sondages de Tiros Initial Guess Retrieval (TIGR) et autres des archives de la NASA conduisent à des expressions explicites en fonction de la vapeur d'eau précipitable en kg/m^2 .

Des formules calculées par F. Miskolczi donnent les diagrammes des figures 4-C en distinguant trois segments de fréquences optiques (limites à 720 cm^{-1} et à 1260 cm^{-1}) infrarouge lointain (Far InfraRed), fenêtre de la vapeur d'eau (WIN pour window) et infrarouge moyen (Mid InfraRed) avec (a) à gauche, la transmission de l'air et, (b) à droite le rayonnement de l'air vers la surface exprimé en fraction du rayonnement de la surface.

Figure 4-C) (F. Miskolczi)²⁰ Données des sondages TIGR (Tiros Initial Guess Retrieval): en fonction de la teneur de l'air en vapeur d'eau w en kg/m^2 pour trois bandes de fréquences optiques WIN (rouge), MIN (bleu), FIR (noir) avec ici FIR (Far Infra Red 1 cm^{-1} à 720 cm^{-1}), WIN (Window 721 cm^{-1} à 1260 cm^{-1}), MIR (Mid Infra Red 1261 cm^{-1} à 3000 cm^{-1})

À gauche Fraction de l'émission de la surface reçue par le cosmos: de haut en bas WIN (2 variantes, rouge et magenta), MIR (bleu), FIR (noir) : $win[w] = 0.8014 \exp[-0.02611 w]$;

$$mir[w] = 0.152 \exp[-0.000715 (\ln[w] - 18.933) (\ln[w] - 2.30259)^2 (\ln[w] + 0.0337)] / w^{0.5659}$$

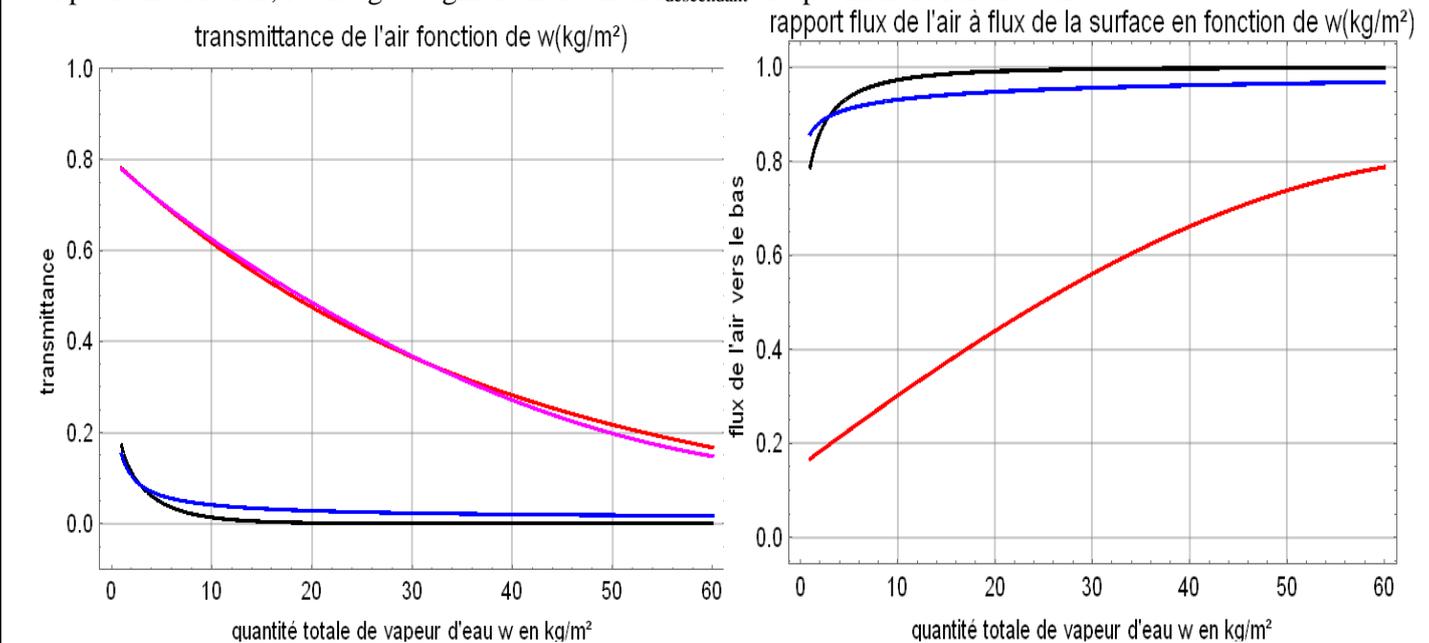
$$fir[w] = 0.171 \exp[\ln[w]^2 (-0.0152 \ln[w]^2 - 0.0381 \ln[w] - 0.0857)] / w^{0.51221}$$

À droite Rapport entre le flux rayonné par l'air vers la surface f_{down} et le flux émis par la surface dans ces trois bandes

FIR (en bleu), MIR & WIN : $fir[w] = 1 - 0.652 \exp[-1.1257 w^{0.4555}]$; $mir[w] = 1 - 0.6766 \exp[-1.566 w^{0.1656}]$;

$$win[w] = -1.518 + 1.67 \exp[0.00922 w - 0.000064 w^2]$$

Ceci pour un ciel clair; les nuages augmentent les flux $f_{\text{descendant}}$ en opacifiant la fenêtre WIN.

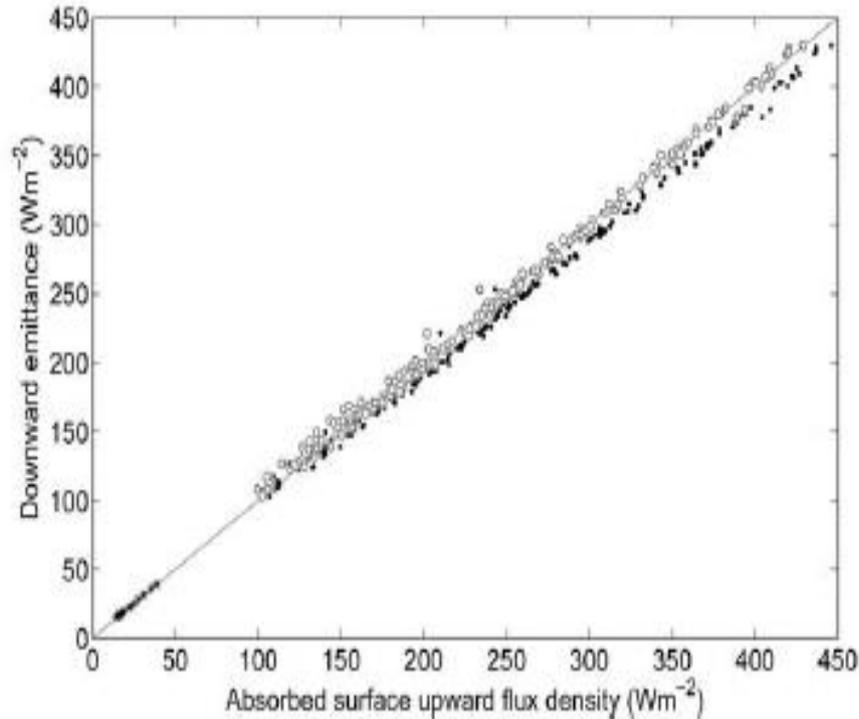


L'égalité entre la partie absorbée par l'air du flux rayonné par la surface et le flux rayonné par l'air vers la surface est illustrée à la figure suivante

²⁰ Dr. Ferenc M. Miskolczi *Physics of the planetary greenhouse effect* International conference on global warming New York, March 2-4, 2008

Figure 4-D) ²¹ Egalité à la surface entre le flux montant de la surface absorbé par l'air et le flux descendant émis par l'air pour Mars (petites étoiles noires en bas à gauche) et pour la Terre: points noirs, émissivité de la surface supposée de 100% ; cercles sans remplissage, émissivité de la surface prise supposée de 96%

Calculs à partir de 228 sondages de l'archive TIGR (Tiros Initial Guess Retrieval)



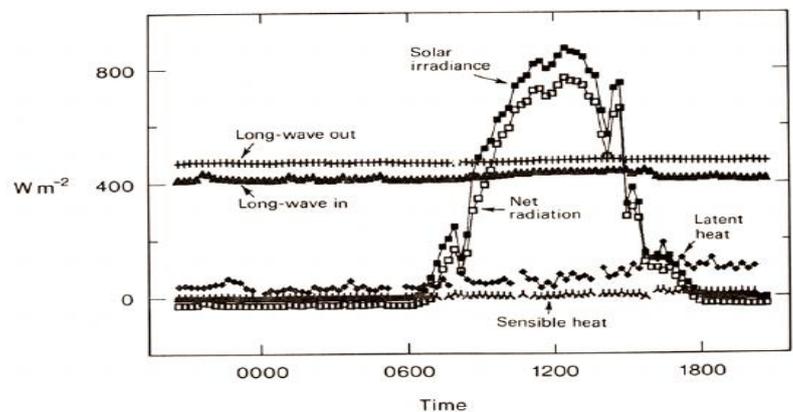
Radiativement, la surface avec une émissivité prise à 96% (cercles ouverts sur la diagonale de la figure 4-D) ne chauffe pas l'air et l'air ne chauffe pas la surface, sauf inversion de températures (surface plus froide que l'air).

Le rôle de l'évaporation (chaleur latente) et de la convection (chaleur sensible) dans le refroidissement de la surface déjà vu aux figures 2-D et 2-E est illustré par la figure suivante, sur 24 heures.

Figure 4-E) Exemple: 400 W/m² air vers surface (plus l'après midi plus humide) et 440 W/m² surface vers air; évaporation selon la vitesse du vent. La partie solaire visible de "net radiation" diminuée de la chaleur sensible et de la chaleur latente va ici chauffer les premiers 100 m de la piscine chaude (warm pool) du Pacifique



The net heat flux through the ocean surface controls the behavior of the warm pool and the TWP circulation in general. The energy balance is a small difference (10 W/m²) between several large signals, complicated by several smaller ones of comparable size to the balance.



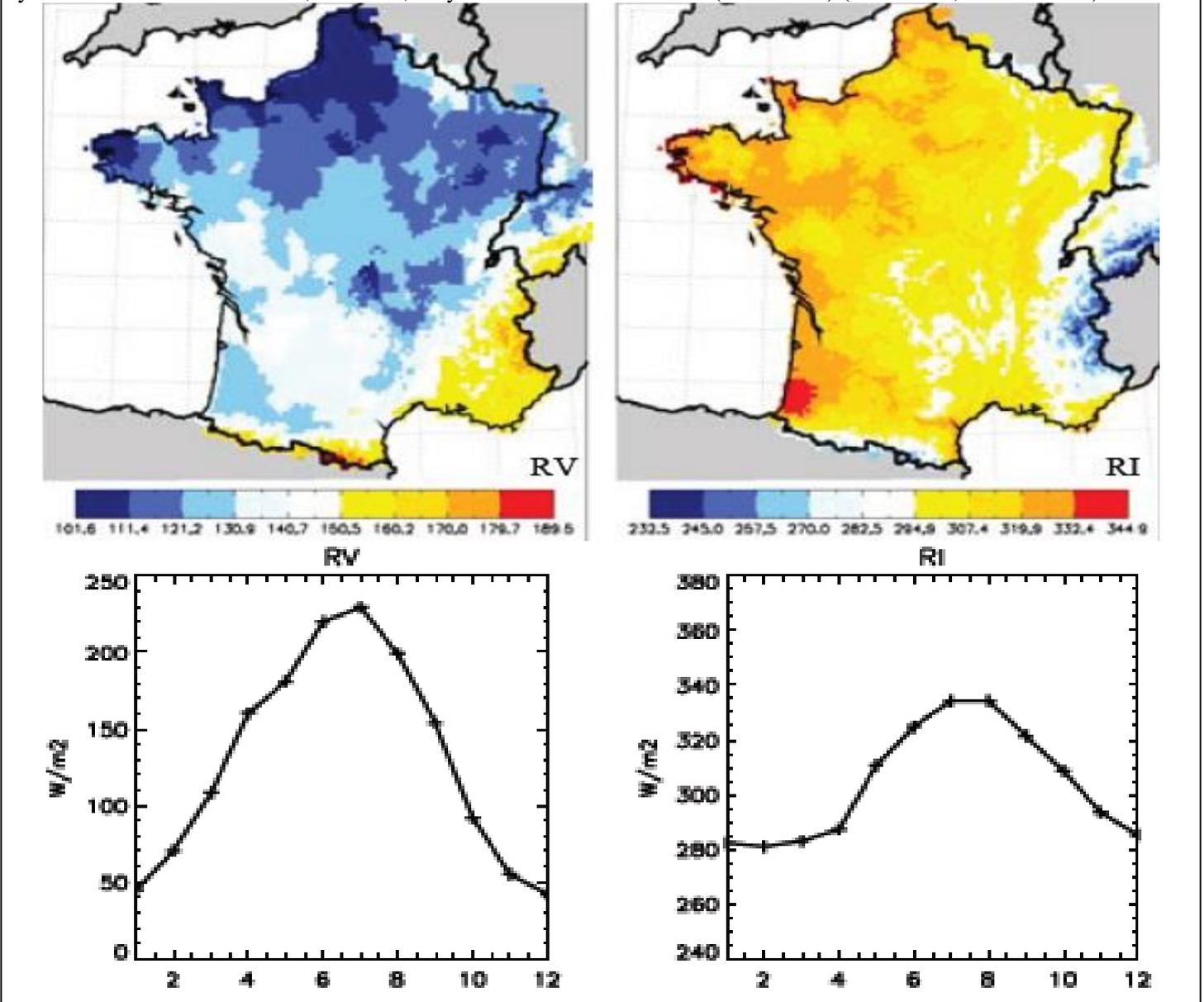
Godfrey et al., JGR, 96, 3391-3400

Michael Reynolds – BNL – High-Res Marine Met Workshop – 3 March 2003

²¹ Dr. Ferenc M. Miskolczi Greenhouse effect in semi-transparent planetary atmospheres, IDŐJÁRÁS Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 111, No. 1, January–March 2007, pp. 1–40.

1 Pour la France le flux solaire reçu en surface (à gauche figure suivante) RV en moyenne "nationale" va de 45 W/m² à
 2 230 W/m² selon le mois: ça découle de l'ensoleillement donc de la durée du jour et de la couverture nuageuse.
 3 A droite le rayonnement infrarouge RI de l'air vers la surface: il est plus fort quand l'air est plus humide (et plus opaque)
 4 puisqu'alors le rayonnement vient de "plus bas plus chaud", car la fenêtre de la vapeur d'eau est "moins transparente"
 5 (voir la courbe rouge à la figure 4-C vignette de droite).

6 Figure 4-F) Rayonnements solaire ("visible") RV reçu en surface et infrarouge thermique RI émis par l'air vers le sol et
 7 cycles saisonniers de RV et RI, en W/m²; moyenne des variables Safran (1970-2005) (Julien Boe, thèse 2007²²)



9 Le rayonnement d'un sol à 10°C de coefficient de noirceur 97% (figure 2-A) vaut 350 W/m², celui de l'air vers la surface
 10 vaut de 300 à 320 W/m² ou plus selon la couverture nuageuse et l'humidité de l'air: RI croît avec l'humidité (Aquitaine,
 11 vallées de la Seine et de la Loire).
 12

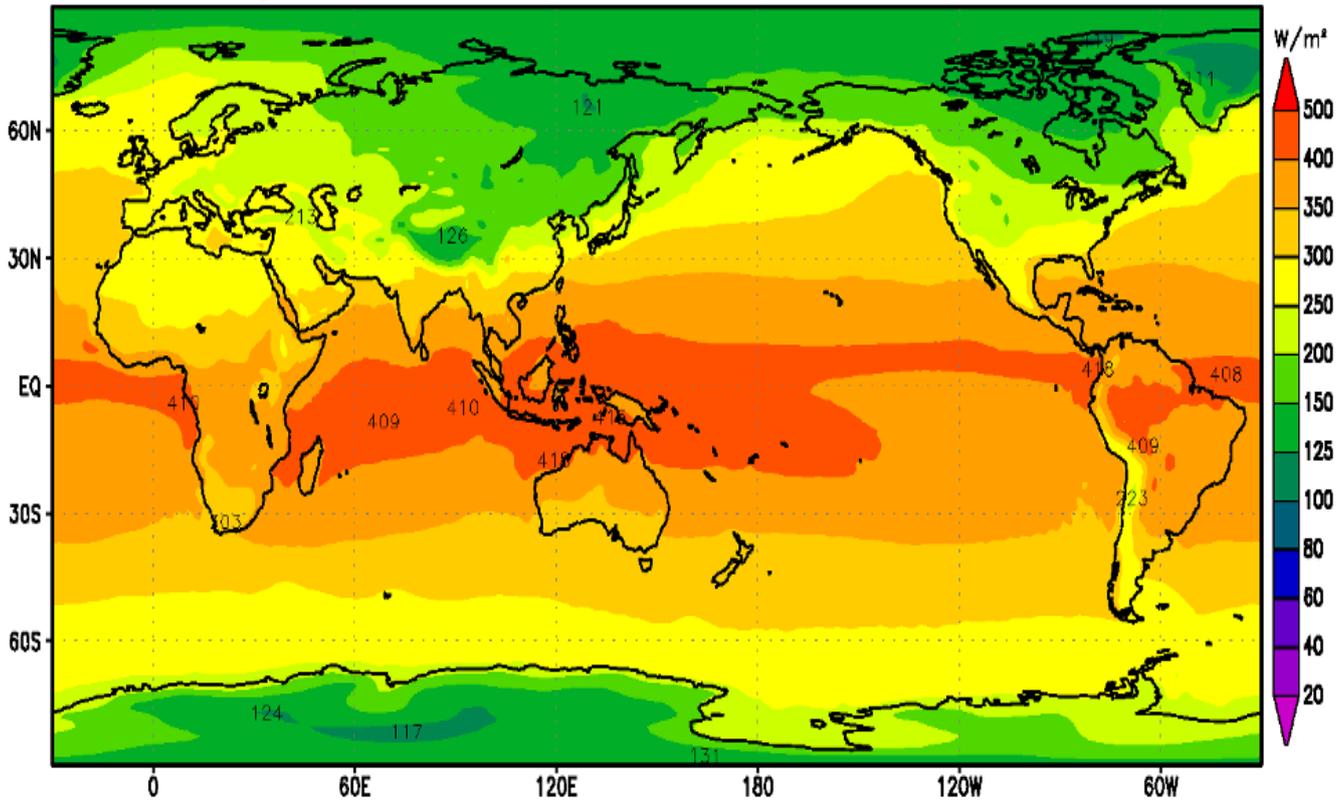
13 Des graphiques tels que ceux de la figure 4-G montrent, comme la figure 4-C (vignette de droite du flux rayonné par l'air
 14 vers la surface) et comme la figure précédente (figure 4-F vignette de droite, RI sur la France) que c'est la quantité de
 15 vapeur d'eau qui par une plus ou moins grande opacité de la fenêtre de la vapeur d'eau, entre 770 cm⁻¹ et 1180 cm⁻¹
 16 (figure 3-E) module le flux rayonné par l'air vers la surface qui va de 72 W/m² en Antarctique très froide et quasiment
 17 sans vapeur d'eau (vignette du bas pour le mois de juillet) à 410 W/m² sous l'équateur convectif et 440 W/m² sous la
 18 mousson indienne en juillet.
 19
 20
 21

²² <http://thesesups.ups-tlse.fr/227/> Julien Boe *Changement global et cycle hydrologique: Une étude de régionalisation sur la France*

1 Figure 4-G) Flux rayonnés **par l'air vers la surface** en janvier et en juillet; ces graphiques montrent bien les
 2 moussons: moussons malgache, australienne, amazonienne, congolaise en janvier et moussons africaine, indienne,
 3 chinoise, panaméenne et caraïbe en juillet source http://ds.data.jma.go.jp/gmd/jra/atlas/eng/indexe_surface12.htm

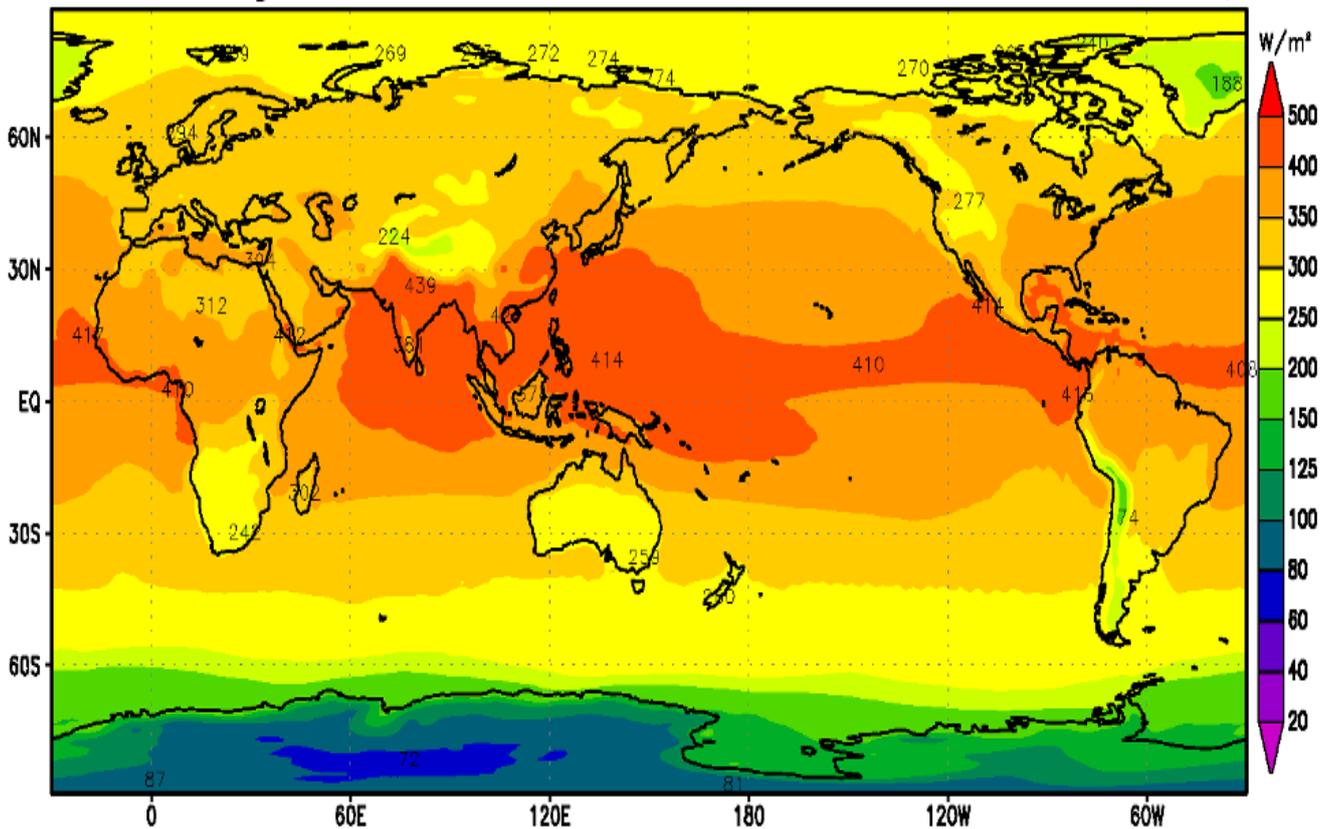
Downward long wave radiation at surface

January



Downward long wave radiation at surface

July



4-4) Fraction du flux rayonné par la surface arrivant au haut de l'air

La partie $\pi B(v, T_{\text{surface}}) 2 E_3(t_{\text{max}})$ du rayonnement émis par la surface qui, à travers la fenêtre, échappe à la vapeur d'eau et aux nuages, principaux contributeurs à $t_{\text{max}}(v)$, a été récemment revue à 20 W/m^2 en moyenne mondiale (Costa & Shine, 2012, figure 4-H).

Figure 4-H) contribution de la surface au rayonnement infrarouge thermique du globe vers le cosmos

S.Costa and K. Shine Outgoing longwave radiation due to directly transmitted surface emission

<http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2012/11.28.19.31.24/doc/Outgoing%20Longwave%20Radiation%20due%20to%20Directly%20Transmitted%20Surface%20Emission-1.pdf>

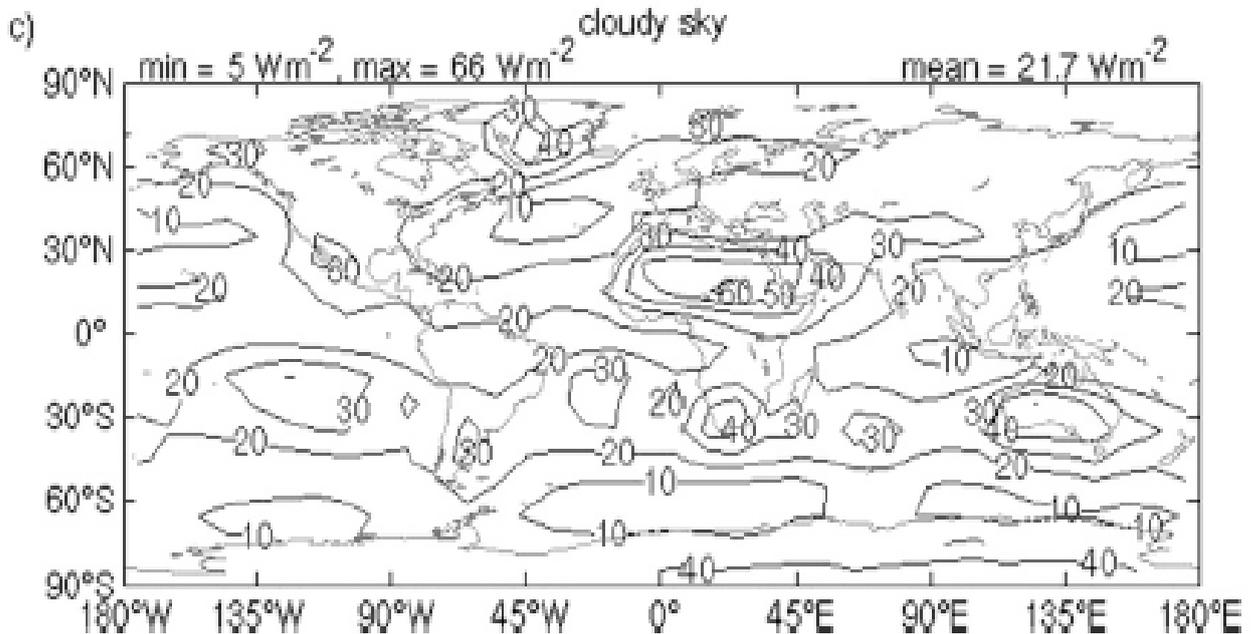


FIG. 2. Geographical distribution of the annual-mean surface transmitted irradiance (W m^{-2}) for (a) clear skies without the continuum, (b) clear skies with the continuum, and (c) cloudy skies. Above each panel, the minimum, maximum, and global-mean values are shown.

Les nuages bas entre 1 km et 2 km couvrent – pour simplifier selon le "modèle" de Kiehl & Trenberth, BAMS 1997-49% de la surface du globe. Selon la formule du § 7-1 valable pour la troposphère, $z \text{ (km)} = (T_{\text{surface}} / 6,49) (1 - P^{0.19})$; à $T_{\text{surface}} = 288 \text{ K}$, 1 km et 2 km correspondent à des pressions réduites P de 0,89 atm et 0,78 atm; pour une densité de la vapeur d'eau décroissant en $P^{3.5}$, 66% de la vapeur d'eau est en dessous de 2 km ($P = 0,78$) et 90% en dessous de 4 km.

4-5) Cycle diurne, effet des nuages

L'océan, par beau temps, se stratifie pendant la journée (couche plus chaude au dessus) et restitue cette chaleur la nuit, lors du refroidissement radiatif de la surface, quand la fenêtre de la vapeur d'eau est "presque transparente", avec dans l'océan, au cours de la nuit un mouvement convectif où l'eau refroidie de la couche superficielle est remplacée par celle d'une couche plus profonde et restée plus chaude.

Au contraire sur les premières centaines de mètres, l'air proche du sol de la terre ferme est convectif le jour et stratifié la nuit avec l'air plus froid en bas au contact de la surface: de nuit la surface se refroidit assez rapidement par rayonnement direct vers le cosmos quand la fenêtre de la vapeur d'eau est transparente; un fond d'eau laissé dans une poêle posée sur une botte de paille qui l'isole du sol peuvent même, dans des déserts chauds, geler en fin de nuit.

Les premiers centimètres du sol stockent de la chaleur pendant la journée et la relâchent la nuit.

Comme les nuages sont opaques et l'air souvent relativement sec au dessus des nuages, les nuages modulent le rayonnement du globe vers le cosmos: c'est le haut du nuage, ou du nuage le plus haut, qui rayonne et se refroidit ce qui renforce la condensation dans la couche supérieure de ce nuage, la pluie et la descente de l'air refroidi remplacé par de l'air plus chaud venant du dessous.

Soulignons qu'il n'y a aucune espèce de rapport entre les flux radiatifs à l'interface surface-air, de bilan net à peu près nul, et le rayonnement du haut de l'air vers le cosmos produit par les "1%" supérieurs de la colonne de vapeur d'eau, réglés par le mouvement de l'atmosphère comme le montrent les figures 4-A et 4-B.

On verra en annexe B que des considérations de thermodynamique des systèmes ouverts dissipatifs hors d'équilibre suffisent à retrouver sur chaque zone du globe de dimensions quelques degrés de longitude par quelques degrés de latitude, des valeurs moyennes de la teneur en vapeur d'eau, du rayonnement vers le cosmos et de la couverture nuageuse, sans qu'il soit besoin de résoudre les équations de la mécanique des fluides.

4-6) Transfert de chaleur vers les couches de l'air qui, en altitude, rayonnent vers le cosmos

En anticipant un peu sur les paragraphes suivants et les annexes B et C, illustrons très simplement- le rôle de l'atmosphère en comparant la Lune, la Terre et Vénus.

L'atmosphère égalise le rayonnement vers le cosmos et par là les températures de la surface.

4-6-1) Sur la Lune les températures vont de 390 K là où le soleil est au zénith à 70 K en fin de nuit, sauf au pôle en été. L'albédo de la surface est de l'ordre de 0,12; la moyenne des températures est de 206 K à l'équateur de 98 K aux pôles et de 40 K au fond de quelques cratères proches des pôles.

Les températures extrêmes observées au site Apollo 16 sont 374 K et 92 K et, au site Apollo 17, 376 K et 102 K soit +103°C et -171°C.

Les ordres de grandeur des flux rayonnés par la surface vont de 2 W/m² à 80 K à 1300 W/m² à 390 K.

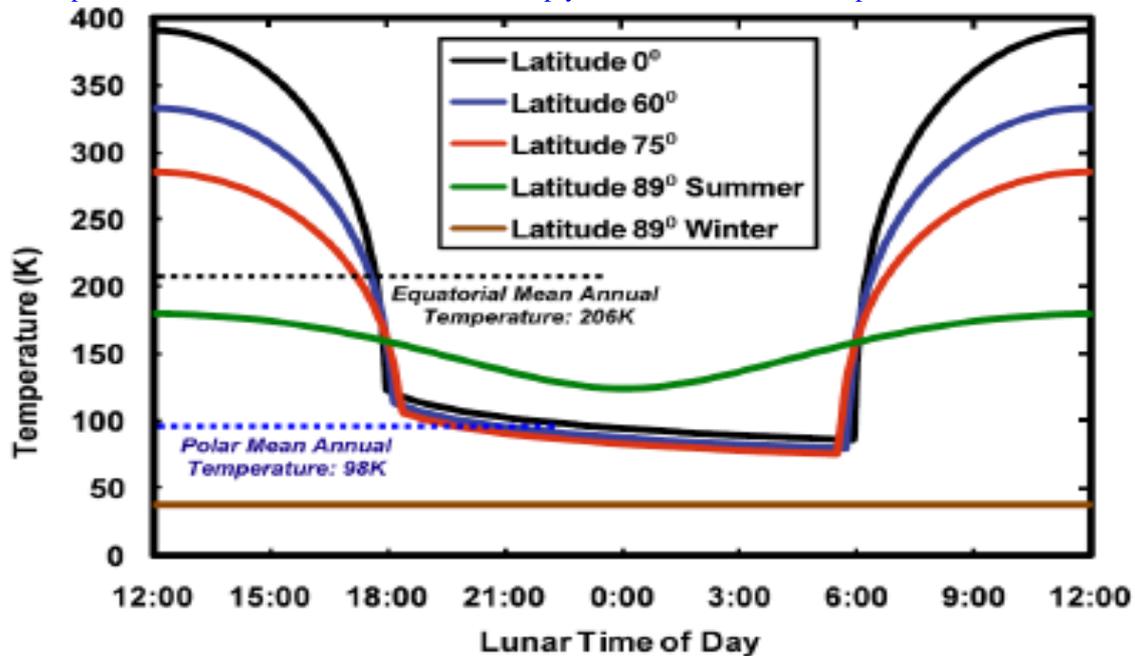
Lors d'une éclipse de soleil le refroidissement est très rapide à 150 K voire moins. Le calcul de la température de surface en fonction des propriétés de diffusion thermique du régolithe ou poussière qui forme la surface lunaire est donné dans Li Xiongyao et al *Estimation of the surface temperature of flat areas of the moon*²³.

Figure 4-I) Température de surface de la Lune selon l'heure du jour lunaire et la latitude

tiré de Ned Nikolov (Ph.D) Karl Zeller (Ph.D) *Unified Theory of Climate: Reply to Comments Part 1: Magnitude of the Natural 'Greenhouse' Effect* January 17, 2012

<http://beforeitsnews.com/science-and-technology/2012/01/nikolov-and-zeller-reply-to-comments-on-the-utc-part-1-1646405.html>

<https://tallbloke.wordpress.com/2012/01/17/nikolov-and-zeller-reply-to-comments-on-the-utc-part-1/>



Sans atmosphère et sans eau la Terre aurait, avec des jours et des nuits plus brefs, et selon les propriétés supposées pour le sol, à peu près les températures moyennes de la Lune, avec une dynamique un peu moindre.

4-6-2) Sur Vénus, à une distance moyenne de 0,723 UA²⁴ du soleil, le flux solaire est de l'ordre de 2611 W/m², la durée entre deux passages du soleil au méridien est de 117 jours terrestres, en conséquence du verrouillage de la fréquence de rotation (243 jours) et de la fréquence de révolution (0,615 année terrestre, 224,7 jours) et du renversement de l'axe de rotation à 177,3° de l'écliptique²⁵.

Une couche de poussière entre 40 km et 60 km réfléchit le gros du flux solaire (albédo de 76%) et est animée de vents très rapides (400 km/h ?); l'insolation en surface, sur la zone éclairée, n'est que quelques W/m² ou dizaines de W/m²²⁶.

²³ <http://uic.edu.hk/~kentsang/fyp2014/ESTIMATION%20OF%20THE%20SURFACE%20TEMPERATURE%20ON%20THE%20MOON.doc>

Den Volokin, Lark ReLiez *On the average temperature of airless spherical bodies and the magnitude of Earth's atmospheric thermal effect*; SpringerPlus 2014, 3:723 doi:10.1186/2193-1801-3-723 <http://www.springerplus.com/content/3/1/723> proposent quelques formules explicites rendant compte du stockage de chaleur pendant le jour.

²⁴ UA = Unité Astronomique de 149,5979 millions de km, moitié du demi grand axe de l'ellipse qui décrit la trajectoire de la Terre autour du soleil

²⁵ $(1 / 243,24 + 1 / 224,71) = 1 / 116,8$; noter la relation $(4 / 224,7) - (5 / 365,24) - (1 / 243,24) = 7,2 \cdot 10^{-7}$ qui suggère un verrouillage approximatif avec la durée de la révolution de la Terre

²⁶ Après cette constatation faite par la sonde russe Venera 8 posée en 1972, les sondes Venera 9 et 10 ont embarqué un projecteur et, en 1975, ont envoyé des photos en noir et blanc; Venera 13 et 14 ont, en 1982, envoyé des images en couleur

L'OLR ou rayonnement infrarouge thermique émis par la planète est de l'ordre de 160 W/m² uniforme sur toute la planète soit l'équivalent d'une température de corps noir de 230 K. En dessous de 30 km, à plus de 7 atmosphère, les températures sont uniformes quelles que soient la longitude et la latitude, et en surface il n'y a guère de vent (4 km/h ?). La température de surface donnée par le gradient gravitationnel polytropique (vu plus loin) de 8 K/km pour $g = 8,87 \text{ m/s}^2$ est $230 \text{ K} + 63 \text{ km} \times (8 \text{ K/km}) = 230 + 505 = 735 \text{ K}$ ou 462°C .

La pression au sol est de 92 bar ou 90,7 atmosphère et, comme on le reverra au § 7, $T(P) = 230 (P/0,1)^{0,17}$ car $C_p = 850 \text{ J/K}$ pour le CO₂ qui fait 96% de l'air avec une masse d'air de 1037 t/m², cent fois supérieure à celle de l'air de la Terre où l'eau liquide a absorbé le CO₂ piégé en carbonates dans l'écorce et le manteau, avec des estimations de masses de CO₂ en tonne / m² comparables à celles de l'air de Vénus.

La chaleur solaire est absorbée en altitude par la couche de poussières qui la rayonne, et la très faible insolation en surface, des W/m², est à peu près négligeable par rapport aux flux radiatifs de l'ordre de 16 kW/m² échangés entre l'air et la surface.

4-6-3) Sur Terre, à 1 UA du soleil, le flux solaire est de l'ordre de 1360 à 1365 W/m² selon les auteurs; à certaines époques géologiques anciennes un moindre flux solaire a été compensé par une atmosphère sensiblement plus lourde donc des températures de surface pas très différentes.

Une partie de l'azote de l'air primitif a en effet été, depuis 2 milliards d'années, absorbée par la végétation et enfouie dans le manteau par subduction de la croûte océanique.

Le mouvement de l'air uniformise le rayonnement du globe qui hors zones dans la nuit polaire et hors déserts va de 200 W/m² à 280 W/m² au lieu de 2 W/m² à 1300 W/m² sur la Lune.

La température "moyenne" de surface est donnée par le gradient gravitationnel polytropique avec $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ et $255 \text{ K} + 6 \text{ km} \times (6,5 \text{ K/km}) = 255 + 32,5 = 287,5 \text{ K}$ ou $14,3^\circ\text{C}$

La pression au sol est de 1,0132 bar ou 1 atmosphère et la température "moyenne" en fonction de la pression P en atmosphère s'exprime par $T(P) = 255 \text{ K} (P / 0,53)^{0,19}$; la pression de référence ici prise à 0,53 atm varie entre 0,4 atm et 0,9 atm selon la latitude et la saison.

Des formules un peu plus compliquées permettent de tenir compte de la singularité des hautes latitudes dans la nuit polaire (4% de la surface du globe est au-delà du cercle polaire) et de rendre compte de l'effet de l'inclinaison de l'axe de rotation sur l'écliptique et de ses variations qui semblent expliquer les alternances d'époques glaciaires et interglaciaires.²⁷ Le transfert de chaleur est assuré par les vents, par les courants océaniques impulsés par les vents et par la vapeur d'eau dont l'évaporation dépend de la vitesse du vent, reflet des pressions dans le cyclone ou l'anticyclone: les figures 2-D, 3-C, 4-A et 4-B ont donné une idée de la répartition vapeur d'eau sur le globe et en altitude.

4-7) Chauffage ou refroidissement radiatif d'une couche d'air par un gaz trace

La dérivée par rapport au temps du contenu calorifique $C_p \rho_{\text{air}} T dz$ d'une couche d'épaisseur dz contenant la quantité de gaz absorbant et rayonnant $\rho_{\text{gaz trace}} dz$ est $(k_{\text{gaz trace}}(v, P) \rho_{\text{gaz trace}} dz) (f_{\text{montant}}(P) + f_{\text{descendant}}(P) - 2 \pi B(v, T(P)))$ puisque la couche dz absorbe une fraction des flux qui la traverse et rayonne la même fraction de $\pi B(v, T)$ vers le haut et vers le bas. Comme

$$dT/d(\text{temps}) = (k_{\text{gaz trace}}(v, P) \rho_{\text{gaz trace}} / \rho_{\text{air}}) (f_{\text{montant}}(P) + f_{\text{descendant}}(P) - 2 \pi B(v, T(P))) / C_p$$

la relation barométrique $dp = -\rho_{\text{air}} g dz$ implique avec les notations du §4-1, $t(P)$ désignant l'épaisseur optique cumulée depuis le haut de l'air,

$dt = -k(v, P, T) \rho_{\text{gaz trace}} dz = k(v, P, T) \rho_{\text{gaz trace}} (101325 dP / (g \rho_{\text{air}})) = k(v, P, T) (\rho_{\text{gaz trace}} / \rho_{\text{air}}) (101325 / g) dP$
 $k(v, P, T) (\rho_{\text{gaz trace}} / \rho_{\text{air}}) = (g / 101325) (dt/dP)$ et en degrés/(24 heures), avec $C_p = 1005 \text{ J/K/kg}$, le chauffage à l'altitude correspondant à la pression réduite P vaut avec $Q(P) = f_{\text{montant}}(P) + f_{\text{descendant}}(P) - 2 \pi B(v, T(P))$

$(86400 \text{ secondes/jour}) g_{\text{pesanteur}} / (101325 \times 1005) (f_{\text{montant}}(P) + f_{\text{descendant}}(P) - 2 \pi B(v, T(P))) (dt_{\text{gaz trace cumulé}} / dP) = 0,0083 Q(P) (dt_{\text{gaz trace}}(v, P) / dP)$

avec l'expression $t_{\text{gaz trace}}(v, P)$ de l'épaisseur optique cumulée depuis le haut de l'air qui convient.

²⁷ <https://tallbloke.wordpress.com/2012/01/23/oleg-sorokhtin-the-adiabatic-theory-of-greenhouse-effect/>

O.G. Sorokhtin, G.V. Chilingar & L.F. Khilyuk Global Warming and Global Cooling – Evolution of Climate on Earth, 2007.

Developments in Earth and Environmental Sciences 5. Elsevier, P.O. Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands. Hardback, 313 pages. ISBN 978-0-44-52815-5. recension par le professeur Brigitte Van Vliet Lanoe :

http://www.geologos.com.pl/geologos14/Geologos_14_Global_Warming_and_Global_Cooling-Evolution_of_Climate_on_Earth.pdf

Sanghee Shin, George V. Chilingar, Oleg Sorokhtin, Nikolai O. Sorokhtin *Formation of Glaciation Epochs* Journal of Environmental Protection, 2013, 4, 516-521 <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.46060> Published Online June 2013

<http://www.scirp.org/journal/jep>

<http://www.scirp.org/journal/articles.aspx?searchCode=Oleg+Sorokhtin&searchField=authors&page=1>

5. Calcul élémentaire des flux d'énergie ou de chaleur transmis par voie radiative

Nous allons employer les expressions très simples de l'épaisseur optique t et des paramétrages de la température $T(t)$ en fonction de l'épaisseur optique du § 4-1. Mais rappelons d'abord quelques évidences.

1) Le transfert de chaleur par voie radiative entre deux corps est LA DIFFERENCE entre ce qui émis par A et absorbé par B et ce qui est émis par B et absorbé par A.

La peau humaine vers 33°C émet disons 500 W/m² vers le poêle noir dont la surface à 80°C émet 850 W/m²: le poêle vous chauffe les mains pour 350 W/m².

2) Un corps opaque ne transporte pas de chaleur par voie radiative²⁸

S'il y a un gradient de température, comme dans l'air fort opaque, on a une diffusion de chaleur, selon l'équation de Fourier, avec une conductivité thermique dite par le coefficient de Rosseland, négligeable par rapport à la convection.

L'air a une épaisseur optique de quelques dizaines et centaines sur le spectre infrarouge hors "fenêtre de la vapeur d'eau" entre 770 cm⁻¹ et 1180 cm⁻¹ (1 cm⁻¹ = unité de fréquence optique = 29,9792 GHz) (figures 3-E et 3-F).

3) Entre l'air et la surface le transfert de chaleur par voie radiative est "fraction du rayonnement de la surface absorbé par l'air moins rayonnement de l'air vers la surface, absorbé par la surface"

Cette différence nette est légèrement réduite si la surface est un corps gris de coefficient de noirceur de par exemple 92% qui rayonnera un peu moins et absorbera un peu moins que le corps noir (figure 2-A). La figure 4-D montre que cette différence nette est, pour des atmosphères réelles, à peu près nulle, comme pour une atmosphère isotherme (§ 4-2).

L'air étant optiquement très épais (figures 3-E et 3-F et figure 4-D) les échanges radiatifs entre air et surface sont restreints aux premières dizaines ou centaines de mètres proches de la surface, dont les températures sont assez proches.

4) Entre le haut de l'air et le cosmos: le cosmos à 2,7 K rayonne des $\mu\text{W}/\text{m}^2$, malgré le paradoxe d'Olbers et l'idée admise par Fourier (1824) et peut-être encore par Arrhenius (vers 1906) d'un éther solide intersidéral support des ondes électromagnétiques et conducteur de la chaleur par conduction thermique, éther solide à peu près à la température des pôles.

La couche la plus haute de l'air, d'épaisseur optique 1,07 est la source de 80% des photons émis par l'air donc elle se **refroidit** du bilan net du rayonnement échangé avec le cosmos, soit, pratiquement, de son rayonnement propre vers le cosmos.

5-1) Calcul élémentaire des flux radiatifs et du refroidissement radiatif de l'air en rayonnement diffus²⁹

$B(\nu, T)$ désigne la fonction de Planck à la fréquence optique ν et à la température T .

Les fonctions exponentielles intégrales $E_n(t)$ de l'épaisseur optique t , qui, pour un rayonnement diffus, remplacent les exponentielles $\exp(-t)$, sont de la forme $E_n(t) = \int_1^\infty y^{-n} \exp(-y t) dy$ avec $d E_n(t)/dt = -E_{n-1}(t)$, $E_0(t) = \exp(-t) / t$; les moments de sont :

$$\int_0^x E_2(t) dt = \frac{1}{2} - E_3(x); \int_0^x t E_2(t) dt = (1/3) - x E_3(x) - E_4(x); \int_0^x t^2 E_2(t) dt = \frac{1}{2} - x^2 E_3(x) - 2x E_4(x) - 2 E_5(x)$$

en particulier $\int_a^b E_2(t) dt = -\int_a^b dE_3(t)/dt dt = E_3(a) - E_3(b)$ avec $2 E_3(0) = 1$.

Une bonne approximation numérique de $2E_3(t)$, transmission d'une couche d'épaisseur optique t est $\exp(-t)/(1+0,65 t)$.

$E_2(t)$ assez bien approché numériquement par $\exp(-t)/(1+1,6 t)$

Le haut de l'air correspond à une épaisseur optique $t=0$. Le point d'altitude z est paramétré par l'épaisseur optique comptée depuis le haut de l'air notée $t(\nu, z)$. La surface correspond à $t(\nu, 0) = t_{\max}(\nu)$.

Le flux de rayonnement infrarouge thermique le long d'un rayon est la somme sur toutes les couches de l'air du rayonnement d'une couche élémentaire multiplié par l'atténuation entre cette couche et le point d'observation noté z .

Un rayon lumineux faisant un angle u avec la verticale a dans la couche d'épaisseur dz' un trajet de longueur $dz' / \cos(u)$ et sa contribution observée en z dans la direction verticale sera le produit de $\cos(u)$, de la source et de l'atténuation le long du rayon entre les altitudes z' et z

$$\cos(u) \quad B(\nu, T(z)) \quad k(\nu, z') \quad \rho_{\text{gaz trace}}(z') \quad dz'/\cos(u) \quad \exp[-\int_z^{z'} k(\nu, z'') \rho_{\text{gaz trace}}(z'') dz'' / \cos(u)]$$

Pour intégrer sur un demi-espace ($0 \leq u \leq \pi/2$; $0 \leq \nu \leq 2 \pi$) d'élément $\sin u$ du $d\nu$ posons $w = 1 / \cos(u)$ d'où

²⁸ Pour les étoiles telles que le soleil il y a une zone radiative et non pas convective entre 0,25 R_{solaire} et 0,7 R_{solaire} où la température atteint 2 millions de K; la transmission de chaleur est alors modélisée par une loi de Fourier avec une diffusion en T^3 (formule de Rosseland) soit un facteur $(2 \cdot 10^6 / 200)^3 = 10^{12}$ par rapport à l'atmosphère terrestre; de plus les propriétés du plasma d'ions et d'électrons sont très différentes de celles de l'atmosphère terrestre où l'émission de photons est une conséquence des collisions entre molécules majoritaires et molécules de gaz-traces: l'énergie venant de l'absorption de photons y est immédiatement thermalisée et transférée aux molécules de gaz majoritaires par des collisions.

²⁹ C'est une bonne approximation jusqu'à 50 km d'altitude, quoique le milieu ne soit pas isotherme, le rayonnement pas tout à fait isotrope, la température de rayonnement et la température de l'air au sens de la distribution de Maxwell de vitesses des molécules pas absolument identiques.

$$dw = \sin(u) du / \cos^2(u) = w^2 \sin u du$$

$$\int dv \int du \sin(u) k(v, z') dz' \rho_{\text{gaz trace}}(z') \exp[-\int_{z'}^z k(v, z'') dz'' / \cos(u)] \quad \text{devient}$$

$$dt' \int dv \int du \sin(u) \exp[-(t'-t) / \cos(u)] = 2 \pi dt' \int_1^\infty dw / w^2 \exp[-w(t'-t)] = \pi dt' 2 E_2(t'-t)$$

Au point z les flux montant et descendant sont donc, s'il n'y a ni nuages ni aérosols diffusants,

$$f_{\text{descendant}}(v, z) = \pi \int_0^{t(v,z)} B(v, T(t')) 2 E_2(t(v, z) - t') dt' \quad \text{et} \quad f_{\text{montant}}(v, z) = \pi \int_{t(v,z)}^{t_{\text{max}}} B(v, T(t')) 2 E_2(t' - t(v, z)) dt'$$

$$f_{\text{surface}}(v, z) = \pi B(v, T_{\text{surface}}) 2 E_3(t_{\text{max}} - t(v, z)) \quad 30$$

Si les profils de température sont à peu près réguliers, les flux montant et descendant sont presque égaux sauf près du "haut de l'air" pour $t(v, z)$ plus petit que 2 ou 3.

5-2) Fermeture de la fenêtre de la vapeur d'eau par deux fois plus de CO₂

L'absorption par l'air du rayonnement de la surface passe de $(1 - 2 E_3(t_{\text{H}_2\text{O}} + t_{\text{nuages}} + t_{\text{CO}_2}))$ à $(1 - 2 E_3(t_{\text{H}_2\text{O}} + t_{\text{nuages}} + 2 t_{\text{CO}_2}))$ soit un supplément d'absorption de

$$2 E_3(t_{\text{H}_2\text{O}} + t_{\text{nuages}} + t_{\text{CO}_2}) - 2 E_3(t_{\text{H}_2\text{O}} + t_{\text{nuages}} + 2 t_{\text{CO}_2}) \# 2 E_3(t_{\text{H}_2\text{O}} + t_{\text{nuages}}) f(t_{\text{CO}_2}(v))$$

où $f(t)$ vaut au maximum 0,23 pour $t=0,42$ et tend vers 0 en $2 t$ pour t petit et vers 0 en $2 \exp(-t) / t$ pour t grand.

La figure 3-F, vignette de droite, montre que cette quantité est négligeable, ou parce que $t_{\text{CO}_2}(v)$ est ou grand ou petit, ou parce que $t_{\text{H}_2\text{O}} + t_{\text{nuages}}$ est de quelques unités, sauf sur quelques cm^{-1} autour de 760 cm^{-1} et par ciel clair.

Le supplément d'absorption par l'air du rayonnement de la surface est de l'ordre de $0,8 \text{ W/m}^2$ pour des conditions "été des moyennes latitudes" alors que le supplément de rayonnement de l'air vers la surface est un peu supérieur.

5-3) Exemples de flux montant, de flux descendant et de refroidissement radiatif des couches de l'air

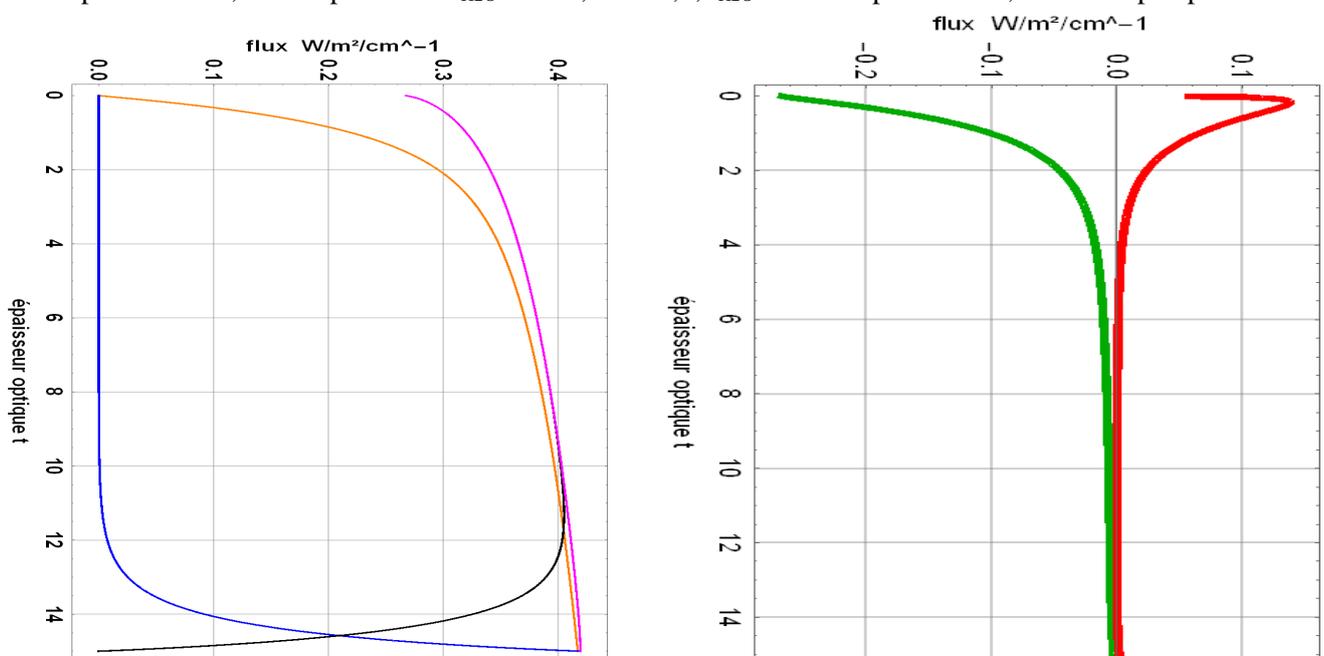
La figure 5-A à gauche montre, calculés avec les formules du § 5-5 les trois flux: rayonné par la surface (bleu), rayonné par l'air vers le bas (orange) et rayonné par l'air vers le haut (noir), pour un profil type de température (été 288 K en surface; figure 1), une épaisseur optique de la vapeur d'eau cumulée entre le haut de l'air et P en $P^{4,5}$, et une épaisseur optique totale de 15 à 500 cm^{-1} , trois ou quatre fois moindre que la valeur moyenne figure 3-E calculée pour une quantité totale de vapeur d'eau précipitable de 25 kg/m^2 .

Figure 5-A) Flux en $\text{W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ calculés à 500 cm^{-1} pour $t_{\text{maxH}_2\text{O}} = 15$, $T_{\text{surface}} = 288 \text{ K}$ et de la vapeur d'eau, en fonction de l'épaisseur optique comptée depuis le haut de l'air; la surface est en bas.

vignette de gauche: en bleu flux montant de la surface ($0,42 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ à la surface, vers $0,09 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ pour $t=14$), en noir f_{montant} de l'air (nul à la surface, $0,4 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ à $t=12$ et $0,28 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ à $t=0$), en magenta somme de ces deux flux montants, en orange $f_{\text{descendant}}$ de l'air (nul en haut de l'air à $t=0$ et maximum en surface à $0,42 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ à $t_{\text{max}} = 15$)

vignette de droite: en vert: flux net descendant moins montant; en rouge $2 \pi B(v, T) - f_{\text{montant}}(P) - f_{\text{descendant}}(P)$

3 km correspond à $P=0,7$ atmosphere et à $t_{\text{H}_2\text{O}} = 15 \cdot 0,7^{4,2} = 3,3$; $t_{\text{H}_2\text{O}}=1$ correspond à $P=0,52$ et à un peu plus de 5 km.



³⁰ Ces formules n'ont rien d'ésotérique et même, en suivant Chandrasekhar, se calculent explicitement par quelques expressions très simples, variantes de la formule de Gauss de calcul numérique des intégrales: $2 \int_0^1 f(x) E_2(t-x) dx = a_1 f(t_1) + a_2 f(t_2)$ avec des points de division t_i et des nombres de Christoffel a_i exprimés en fonction de l'épaisseur optique totale t par

$$t_1(t) = -0,00347143 + 0,00304764 \exp(t) + 0,216921 t + 0,0547904 t^2$$

$$t_2(t) = 0,0117561 - 0,0133285 \exp(t) + 0,821142 t + 0,0493289 t^2$$

$$a_1(t) = 0,722428 - 0,206974 t + 0,0231897 t^2 - 0,373212/(1+t)^2 - 0,346229/(1+t)$$

$$a_2(t) = -0,577111 + 0,583819 \exp(t) + 0,297942 t - 0,893233 t^2 + 0,195098 t^3 - 0,101563 t^4$$

1 Le flux net descendant moins montant (vignette de droite, en vert) ne devient bien négatif que près du haut de l'air et ce
 2 rayonnement vers le cosmos ($-0,28 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$) amène un refroidissement des couches $t < 2$ en haut de l'air montré par la
 3 courbe rouge qui représente $X(t) = 2 \pi B(500 \text{ cm}^{-1}, T(t)) - (f_{\text{montant}}(t) + f_{\text{descendant}}(t))$ ³¹ proportionnelle à "rayonné moins
 4 absorbé" : $X(t)$ ne devient non négligeable que pour une épaisseur optique comptée depuis le haut de l'air moindre que 3.
 5 Comme vu au § 4-7 le refroidissement en degrés/24 heures) vaut $0,0083 X(t) \text{ (dt/dP)}$

6 Pour la troposphère le refroidissement par rayonnement vers le cosmos est de l'ordre de 2 K/jour (figure 6-I) et est
 7 compensé par le chauffage solaire de la vapeur d'eau de l'air vu à la figure 2-B et par la condensation de la vapeur d'eau,
 8 qui font des apports à peu près égaux en moyenne sur 24 heures pour les moyennes latitudes.

9 La figure suivante 5-B montre les mêmes quantités pour le dioxyde de carbone à 710 cm^{-1} : l'effet du minimum de
 10 température à la tropopause y est marqué par un réchauffement localisé vers $t_{\text{CO}_2} = 1,5$, compensé, à d'autres fréquences
 11 optiques, par le refroidissement dû au rayonnement vers le cosmos de la vapeur d'eau de cette même couche.

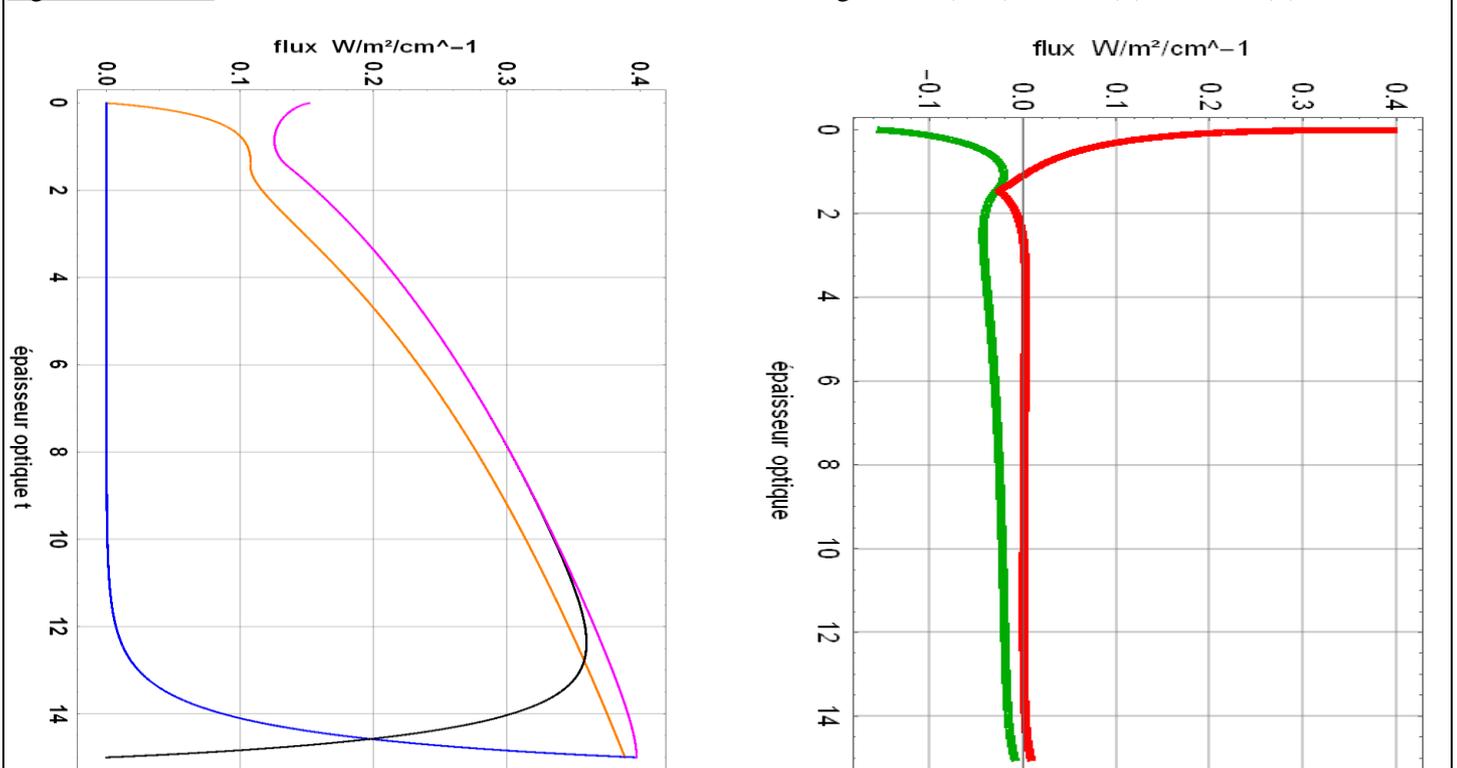
12 Comme le CO_2 est en proportion constante sur toute la hauteur de l'air au lieu d'être, comme la vapeur d'eau "compacté"
 13 dans les trois premiers kilomètres, le flux montant (air & surface) est légèrement supérieur au flux descendant, comme le
 14 montrent, à droite, la courbe verte et à gauche, l'écart entre la courbe magenta du flux montant et la courbe orange du flux
 15 descendant.

16 Les couches de l'air dont le rayonnement arrive à la surface sont plus hautes et plus froides que pour la vapeur d'eau et
 17 donc plus décalées vers la gauche par rapport à la courbe magenta du flux total montant que pour la vapeur d'eau. L'effet
 18 de la remontée des températures dans la stratosphère (figure 1) est apparent pour $t < 1$.

19 Le bas des courbes figure 5-B près de la surface est très théorique car il y a toujours de la vapeur d'eau voire des nuages
 20 à ces altitudes : 3 km correspond à $P = 0,7$ atmosphère et à $t_{\text{CO}_2} = 15 \cdot 0,7^{1,45} = 9$; le cumul des effets des deux gaz traces
 21 impliquerait un calcul moins élémentaire.

22 Figure 5-B) Flux en $\text{W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ calculés à 710 cm^{-1} pour $t_{\text{max}} = 15$, $T_{\text{surface}} = 288 \text{ K}$ et le CO_2 en fonction de l'épaisseur
 23 optique comptée depuis le haut de l'air ; la surface est en bas.

24 vignette de gauche : en bleu flux montant de la surface ($0,38 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ à la surface, vers $0,1 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ pour $t=14$), en
 25 noir f_{montant} de l'air (nul à la surface, $0,35 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ à $t=13$ et $0,15 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ à $t=0$), en magenta somme de ces deux
 26 flux montant, en orange $f_{\text{descendant}}$ de l'air (nul en haut de l'air à $t=0$ et maximum en surface à $0,42 \text{ W/m}^2/\text{cm}^{-1}$ à $t_{\text{max}} = 15$)
 27 vignette de droite : en vert: flux net descendant moins montant; en rouge: $2 \pi B(\nu, T) - f_{\text{montant}}(P) - f_{\text{descendant}}(P)$



31 La figure 5-B montre qu'à une distance du haut de l'air correspondant à une épaisseur optique de plus de 3 le facteur $X(t)$
 32 du "rayonné moins absorbé" $0,0083 X(t) \text{ (dt/dP)}$, vignette de droite, courbe $X(t)$ en rouge, est quasiment nul, donc pas de
 33 refroidissement radiatif de ces couches par le CO_2 .

34 Pour une épaisseur optique faible le flux descendant de l'air devient sensiblement moindre que la somme des flux
 35 montant de la surface et de l'air. La figure suivant illustre le cas d'une épaisseur optique de un, pour la vapeur d'eau (à
 36 gauche) et pour le CO_2 (à droite).

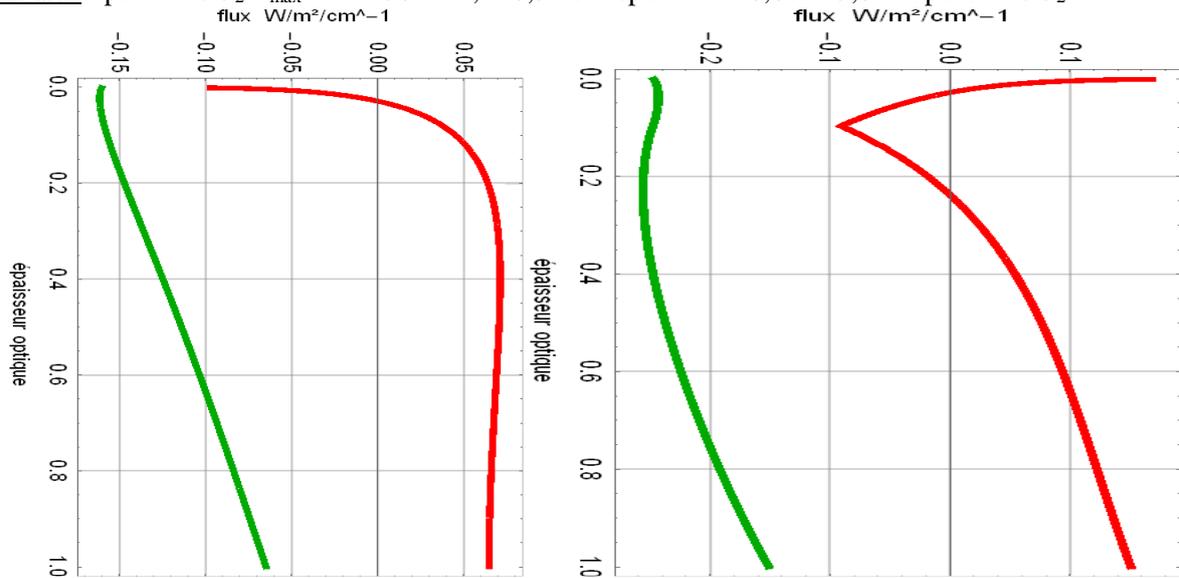
³¹ le refroidissement $X(t)$ est l'opposé du réchauffement $Q(P)$ du § 4-7

Figure 5-C) Epaisseur optique de l'air de un : flux en $W/m^2/cm^{-1}$: en vert flux net descendant moins montant,

en rouge $2 \pi B(\nu, T) - f_{montant}(P) - f_{descendant}(P)$

vignette de gauche : pour la vapeur d'eau $t_{max} = 1$ à 1100 cm^{-1} ; $t=0,5$ correspond à $P=0,86$ et $1,3 \text{ km}$ pour la vapeur d'eau

vignette de droite : pour le CO_2 $t_{max} = 1$ à 750 cm^{-1} ; $t=0,5$ correspond à $P=0,62$ et $3,8 \text{ km}$ pour le CO_2



Pour ces cas de la figure 5-C, les flux en $W/m^2/cm^{-1}$ sont:

* pour la vapeur d'eau à 1100 cm^{-1} : $0,2$ rayonné par la surface, réduit à $0,04$ en haut de l'air et rayonné par l'air, $0,12$ vers le cosmos et $0,14$ vers la surface; descendant moins montant en vert air- surface = $0,14 - 0,2 = -0,06$ en surface et $-(\text{surface} + \text{air}) = -(0,04 + 0,12)$ en haut

* pour le CO_2 à 750 cm^{-1} : $0,38$ rayonné par la surface, réduit à $0,08$ en haut de l'air et rayonné par l'air, $0,16$ vers le cosmos et $0,23$ vers la surface; descendant moins montant en vert $0,23 - 0,38 = -0,15$ en surface et $-(0,08 + 0,16)$ en haut.

Pour l'épaisseur optique un de la figure 5-C, les "températures apparentes de rayonnement" de l'air vers le cosmos sont pour la vapeur d'eau 261 K (à $t = 0,094$ et $P = 0,59$) et pour le CO_2 238 K (à $t = 0,216$ et $P = 0,35$), dans la troposphère.

Pour le cas de l'épaisseur optique 15 des figures 5-A & 5-B précédentes les "températures apparentes de rayonnement" de l'air vers le cosmos sont pour la vapeur d'eau de 247 K ($t = 0,38$ et $P = 0,44$) et pour le CO_2 232 K ($t = 0,17$ et $P = 0,046$) soit respectivement la moyenne troposphère et la basse stratosphère.

Ces "températures apparentes de rayonnement" sont celles d'une surface de corps noir qui à la fréquence optique considérée donnerait le même flux en $W/m^2/cm^{-1}$.

L'intégration sur tout le spectre infrarouge thermique de 1 cm^{-1} (30 GHz) ou de 100 cm^{-1} jusqu'à 2500 cm^{-1} des flux calculés pour chaque fréquence ν donne le flux total rayonné par l'air vers le cosmos pour le cas "sans nuage":

$$\int d\nu \pi \int_0^{t_{max}(\nu)} B(\nu, T(t')) 2 E_2(t') dt'$$

avec $t_{max}(\nu)$ donné figure 3-E pour 25 kg/m^2 de vapeur d'eau précipitable et pour le CO_2 .

Les § 5-8 et suivants donnent des exemples de calcul et le §6 des exemples d'observations.

5-4) Profils types et OLR (Outgoing Longwave Radiation)

Les calculs approchés des § 5-5 à 5-7 ou des calculs plus exacts à partir de spectres d'absorption des gaz donnés "raie par raie" sont souvent faits sur des "profils types" de température et d'humidité.

Le tableau 5-A reproduit les résultats de S. A. Buehler³² et al., pour un ciel sans nuage, et pour cinq "profils types" de température et d'humidité donnés dans <http://eodg.atm.ox.ac.uk/RFM/atm/>; les calculs sont ici faits en géométrie sphérique et avec un sommet de l'air à 95 km .

Les calculs notés CLI³³ correspondent à une évaluation de référence faite par une autre équipe avec un continuum correct de la vapeur d'eau (sujet fort délicat), un modèle plan parallèle (et non pas sphérique) et un sommet de l'air à 65 km ; les calculs notés PP sont des calculs de Buehler et al., mais en géométrie à plans parallèles et non plus sphérique. Les différences sur le rayonnement du globe vers le cosmos pour un même profil type atteignent 11 W/m^2 . Et il s'agit de calculs par ciel clair, sans nuage; les nuages présents les $2/3$ du temps rendent les calculs plus complexes et incertains.

³² S.A. Buehler et al. *Recent developments in the line-by-line modeling of outgoing longwave radiation* Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 98 (2006) 446–457

³³ Clough, S. A., and M. J. Iacomo (1995), *Line-by-line calculation of atmospheric fluxes and cooling rates. 2. application to carbon dioxide, ozone, methane, nitrous oxide and the halocarbons*, J. Geophys. Res., 100(D8), 16,519 - 16,535.

Ces comparaisons de calculs également respectables montrent que ce ne sont pas les valeurs absolues de l'OLR au W/m^2 près qui comptent mais les mécanismes de régulation automatique par la vapeur d'eau.

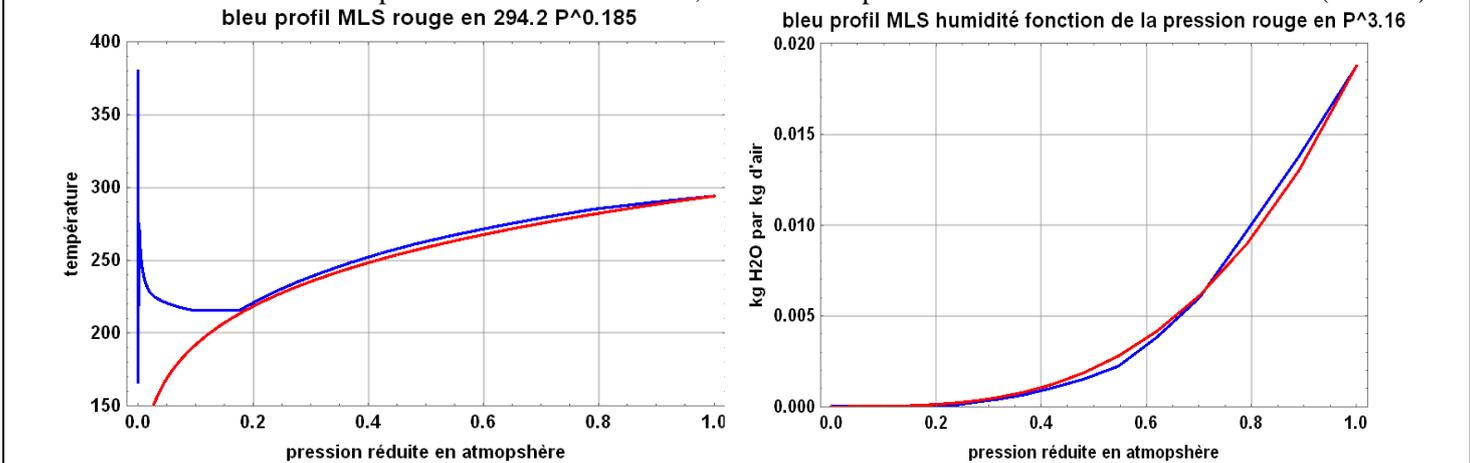
Tableau 5-A comparaison de quelques évaluations de l'OLR sur des profils types de température et d'humidité, ciel clair

	TRO tropical	MLS été moyennes latitudes	MLW hiver moyennes latitudes	SAS été sub-arctique	SAW hiver sub arctique
T_{surface} type (K)	299,7	294,2	272,2	287,2	257,2
T_{surface} type (°C)	26,6	21	-1	14	-16
tropopause (km)	17	13	10	10	9
vap. d'eau (kg/m^2) ³⁴	41	29,3	8,5	20,9	4,2
OLR W/m^2 (Buehler)	278	272	223	255	193
OLR CLI W/m^2	290	279	233		
OLR PP W/m^2		283			

Le profil type "été des moyennes latitudes" MLS "Mid Latitude Summer" est illustré à la figure 9-B avec une tropopause vers 180 mbar. Les approximations simples en P^x valent aussi pour les cas TROP et SAS non représentés.

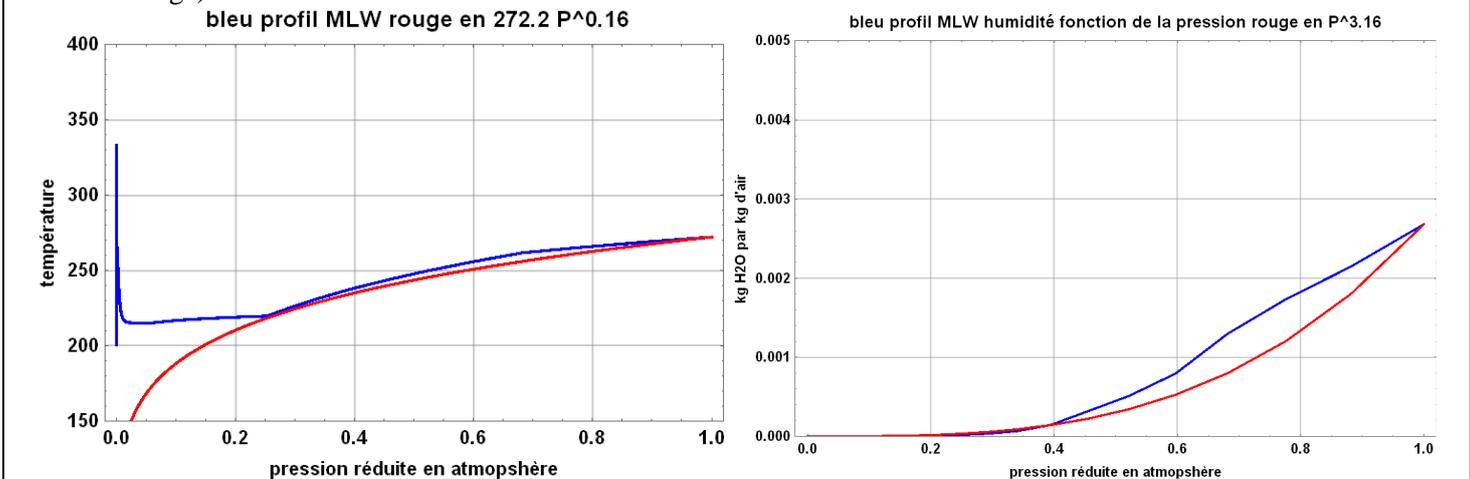
Figure 5-D) Illustration des profils de températures et d'humidité "MLS" (mid latitude summer en bleu) et approximation dans la troposphère avec les formules des § 4-1 (température en $P^{0,185}$ à gauche en rouge) et § 7-2 (humidité en $P^{3,16}$ à droite en rouge). La surface est à droite en $P=1$. Les températures des couches au dessus de la stratosphère se voient vers $P=0$ sur la vignette de gauche.

Pour une humidité cumulée depuis le haut de l'air en $P^{4,16}$, 75% de la vapeur d'eau est en dessous de 716 mbar (2800 m).



Par contre les profils types hiver des moyennes latitudes MLW montrent l'effet des nuages qui apportent vers 2 km à 3 km l'humidité venant des régions subtropicales. Les calculs par ciel clair ne valent que pour une fraction du temps.

Figure 5-E) Illustration des profils de températures et d'humidité "MLW" (mid latitude winter en bleu) et approximation dans la troposphère avec les formules des § 4-1 (température en $P^{0,16}$ à gauche en rouge) et § 7-2 (humidité en $P^{3,16}$ à droite en rouge).



La figure suivante, pour l'hiver subarctique SAW, illustre les conséquences de l'inversion de température en hiver sur le premier kilomètre ou un peu plus: l'apport de chaleur et d'humidité vient de la vapeur d'eau advectée en altitude avec une

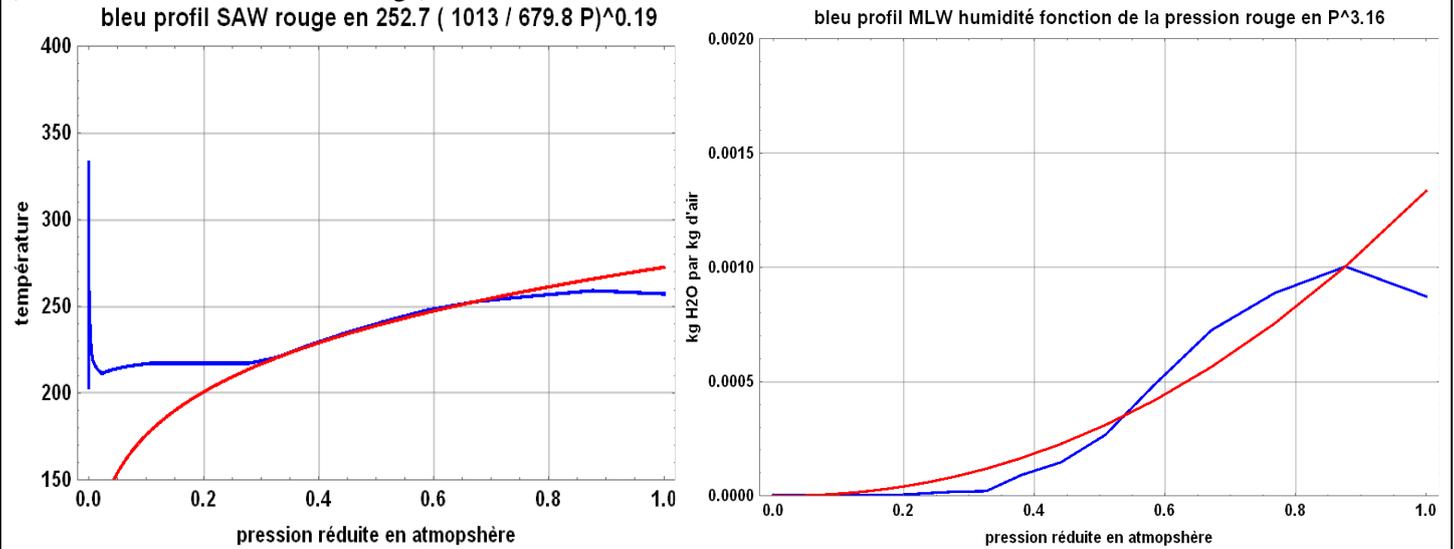
³⁴ <http://eodg.atm.ox.ac.uk/RFM/atm/mls.atm> 294,2K en surface et 1,876 % (en volume) (soit 18760 ppm) de vapeur d'eau en surface décroissant assez exactement en $P^{3,16}$ avec 5 ppm ou un peu moins au dessus de $P=0,15$ atm.

Comme $\rho_{\text{vapeur}} dz = (\rho_{\text{vapeur}} / \rho_{\text{air}}) dp/g$ et $(\rho_{\text{vapeur}} / \rho_{\text{air}}) = (10^{-6} \text{ ppm}_{\text{vapeur}})$ et $\rho_{\text{vapeur}} / \rho_{\text{air}} = (\rho_{\text{vapeur}} / \rho_{\text{air}}) R_{\text{air}} / R_{\text{vapeur}}$,
 $\rho_{\text{vapeur}} dz = (10^{-6} \text{ ppm}_{\text{vapeur}}) (18 / 28,96) 100 dp_{\text{mbar}} / 9,81$

ce qui permet par sommation de calculer la quantité totale de la vapeur d'eau précipitable

couverture nuageuse presque permanente. Il faut alors, dans les formules du § 5-5 remplacer les expressions $t(P) \sim P^x$ et $T(P) \sim P^y$ par des approximations numériques.

Figure 5-F) Illustration des profils de températures et d'humidité "SAW" (en bleu) et approximation dans la troposphère avec les formules des § 4-1 (température en $P^{0.19}$ à gauche en rouge, mais ancrée à la température à 680 mbar) et § 7-2 (humidité en $P^{3.16}$ à droite en rouge).



Les anomalies des premiers 200 mbar proches de la surface ($P=1$) à la figure 5-F s'interprètent comme suit: l'évacuation des frigidités des basses couches des régions polaires, produites par le refroidissement radiatif des basses couches très sèches (leur contenu en vapeur d'eau est moindre que 0,8 g/kg et est comparable à celui de l'air MLS vers 400 mbar) se fait par émission toutes les 24 heures d'un tourbillon anticyclonique d'air polaire de surface épais de 2 km environ; il est remplacé par de l'air plus chaud et humide venant du dessus. L'air au contact de la surface est entraîné par la rotation du globe dans un mouvement anticyclonique alors qu'en altitude on a un "vortex cyclonique": un processus de ce genre a été proposé pour l'Antarctique (modèle de James (1989)) qui fonctionne par à-coups avec couplage de deux tourbillons de sens opposés.³⁵ Les conséquences de ce processus seront détaillées en annexe C à cette première partie.

5-5) Rayonnement à la tropopause vers le haut et vers le bas

La tropopause définie à la figure 1 par le profil "moyen" de température a aussi d'autres définitions comme dit au § 1. Les flux montant et descendant à la tropopause ne sont mesurables que par ballon ou par avion, et sont très variables selon les nuages et selon la définition prise pour la tropopause.

Comme l'IPCC-GIEC emploie les flux à la tropopause pour une des multiples définitions du "forçage radiatif" nous donnons au tableau 5-B quelques valeurs calculées par ciel clair

Tableau 5- B Ordres de grandeur des flux montant et descendant calculés à la tropopause et en haut de l'air en W/m^2 pour des profils types, ciel clair sans nuage tiré de Buehler & Von Engeln

http://wegc203116.uni-graz.at/OPAC2/pdf_presentation/opac2_axel_vonengel_n_13_presentation.pdf et http://www.sat.ltu.se/publications/auto_refs_sat.pdf

profil type: (voir § 6-6 ci-dessous)	flux montant à la tropopause	flux descendant à la tropopause	flux net à la tropopause	OLR rayonnement en haut de l'air
tropical	285	11	274	278
été des moyennes latitudes	283	22	261	272
hiver des moyennes latitudes	237	30	207	223
été arctique	268	37	231	255
hiver arctique	205	32	173	193

La contribution nette de la stratosphère à l'OLR (Outgoing Longwave Radiation) va de 4 W/m^2 quand elle est au dessus de 100 mbar à 24 W/m^2 quand, aux hautes latitudes, elle descend à 300 mbar voire moins (figure 1).

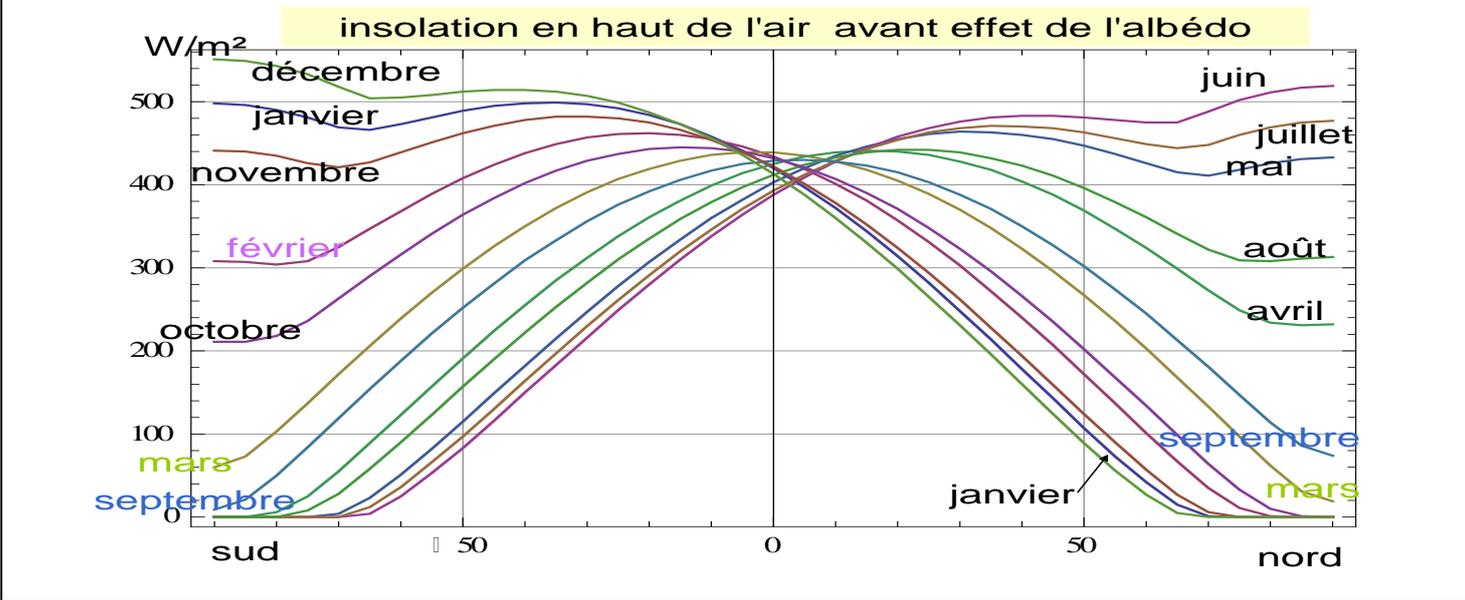
³⁵ Alain Godard, Marie-Françoise André *Les milieux polaires* Armand Colin, Paris 1999, 455 pages. Voir page 88, figure 5-9 pour une esquisse de ce mécanisme.

6. Equilibre de base: flux de chaleur entrant (soleil) et sortant (radiateur infrarouge thermique)

6-1) Insolation :

L'insolation dépend (1) de la distance Terre-Soleil calculée ci-dessous pour un soleil au centre de gravité du système solaire (figure 6-A) et (2) de la couverture nuageuse qui rétrodiffuse une partie du solaire (figure 6-B).

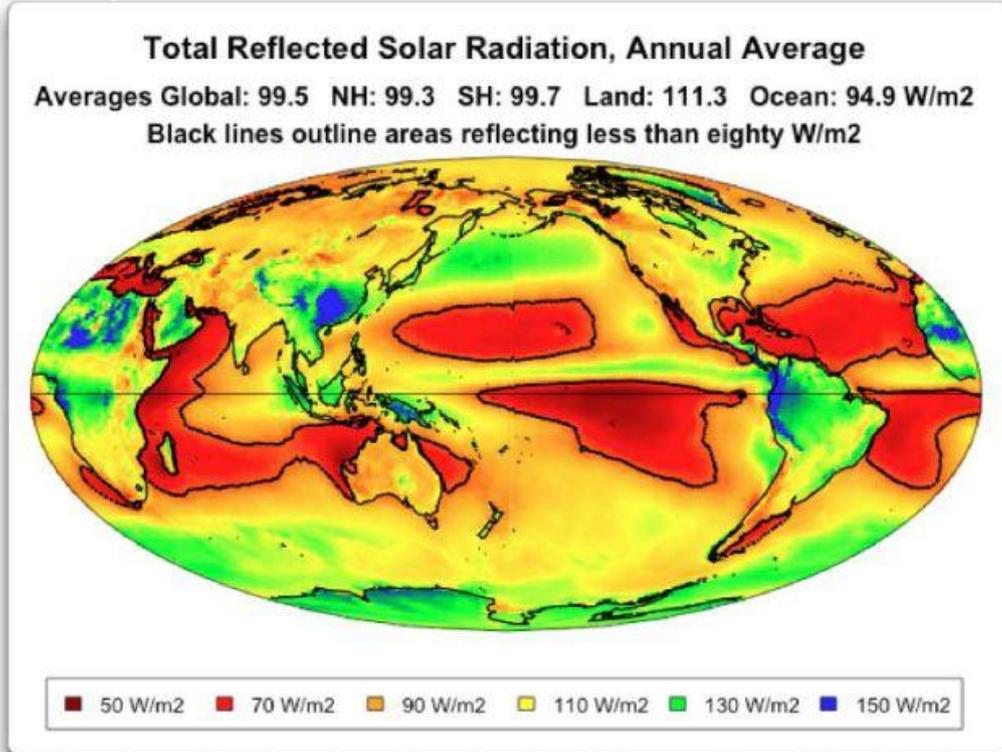
Figure 6-A) Insolation en haut de l'atmosphère en W/m² en moyenne sur 24 heures en fonction de la latitude pour chacun des douze mois: effets de l'inclinaison de la Terre sur l'écliptique et de la variation de la distance Terre-Soleil avant prise en compte de l'albédo: à 90°S de 0 W/m² (nuit polaire de 24 heures) à 551 W/m² (jour polaire de 24 heures), à l'équateur de 388 W/m² (soleil au Tropique) à 439 W/m² (soleil au dessus de l'équateur géographique)



Les nuages modulent et l'insolation (par rétrodiffusion du solaire) et le flux rayonné vers le cosmos: c'est le haut du nuage qui rayonne vers le cosmos au lieu de l'ensemble surface et vapeur d'eau. Pour le chauffage solaire de la vapeur d'eau voir figure 2-B.

Figure 6-B) valeur du solaire rétrodiffusé essentiellement par les nuages et subsidiairement par la surface; l'océan réfléchit peu la lumière sauf en incidence presque rasante; les surfaces de névés sont très réfléchissantes (Groenland Antarctique) et malgré un éclaircissement faible en moyenne annuelle produisent, en moyenne annuelle, un solaire réfléchi significatif.

source Willis Eschenbach <http://wattsupwiththat.com/2013/12/21/the-magnificent-climate-heat-engine/#more-99741> [The Magnificent Climate Heat Engine](#) Posted on [December 21, 2013](#) selon données satellitaires CERES



6-2) Rayonnement infrarouge thermique du globe observé par satellite

Les figures suivantes d'une des premières observations satellitaires (1985) montrent, en moyenne sur un mois, la remarquable égalisation du rayonnement vers le cosmos qui reste entre 150 W/m^2 et 300 W/m^2 et même entre **200 et 280 W/m^2 (vert et jaune)** sur une très grande partie du globe. L'Antarctique et le Groenland, d'altitude 2 km ou plus, sont extrêmement secs en hiver et font exception.

Figure 6-C) Flux radiatif en infrarouge "thermique" dit OLR (Outgoing Longwave Radiation) émis vers le cosmos moyennes **sur janvier 1986** (en haut) (E. F Harrison et al.) Cliquer dans la marge pour voir l'image en couleurs plus claires

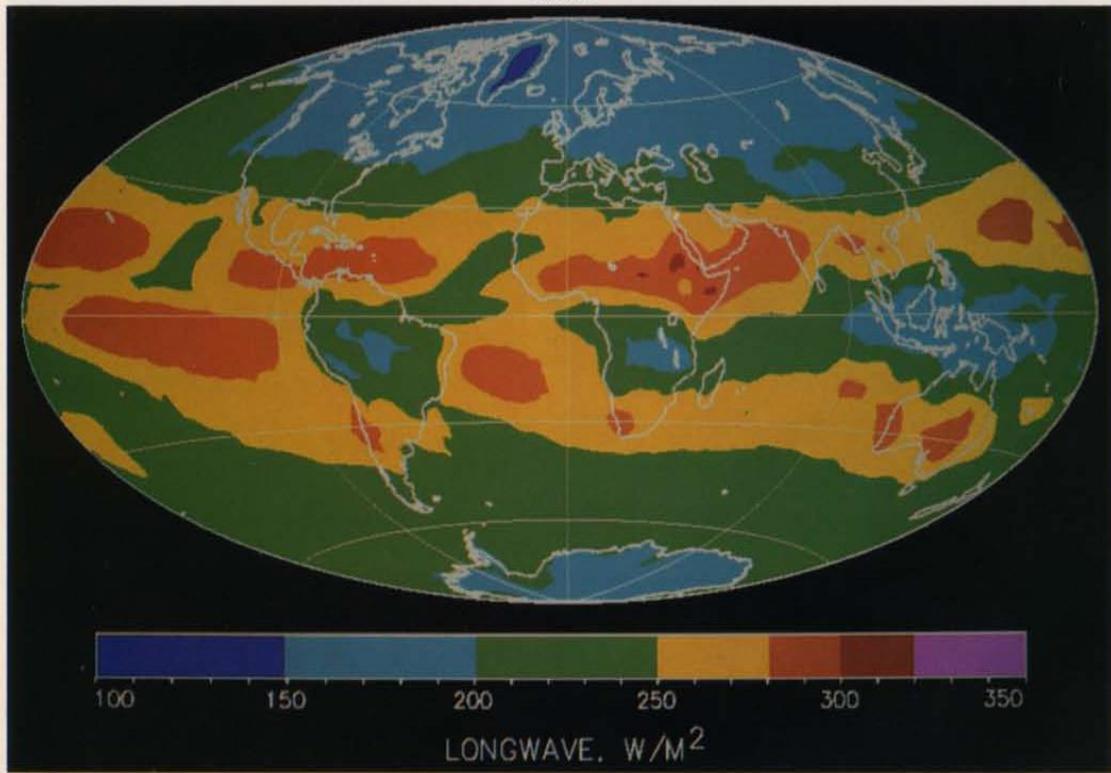


Figure 6-D) Flux radiatif en infrarouge "thermique" OLR émis vers le cosmos: moyennes **sur juillet 1985** (en bas) (E. F Harrison et al.) Cliquer dans la marge pour voir l'image en couleurs plus claires

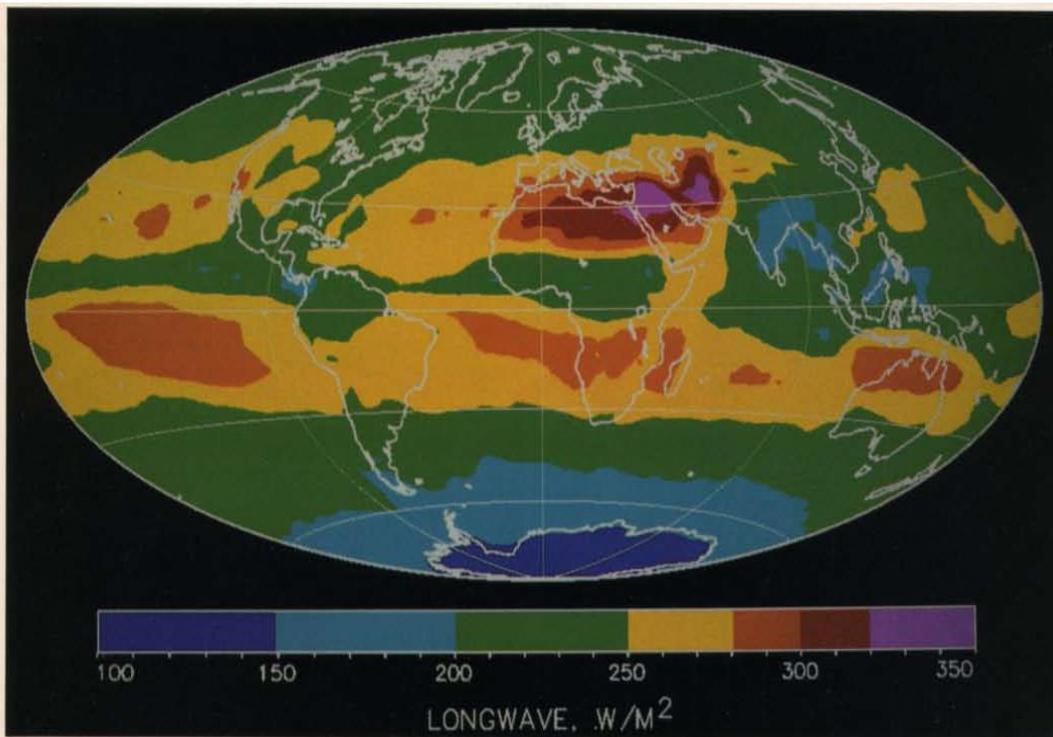
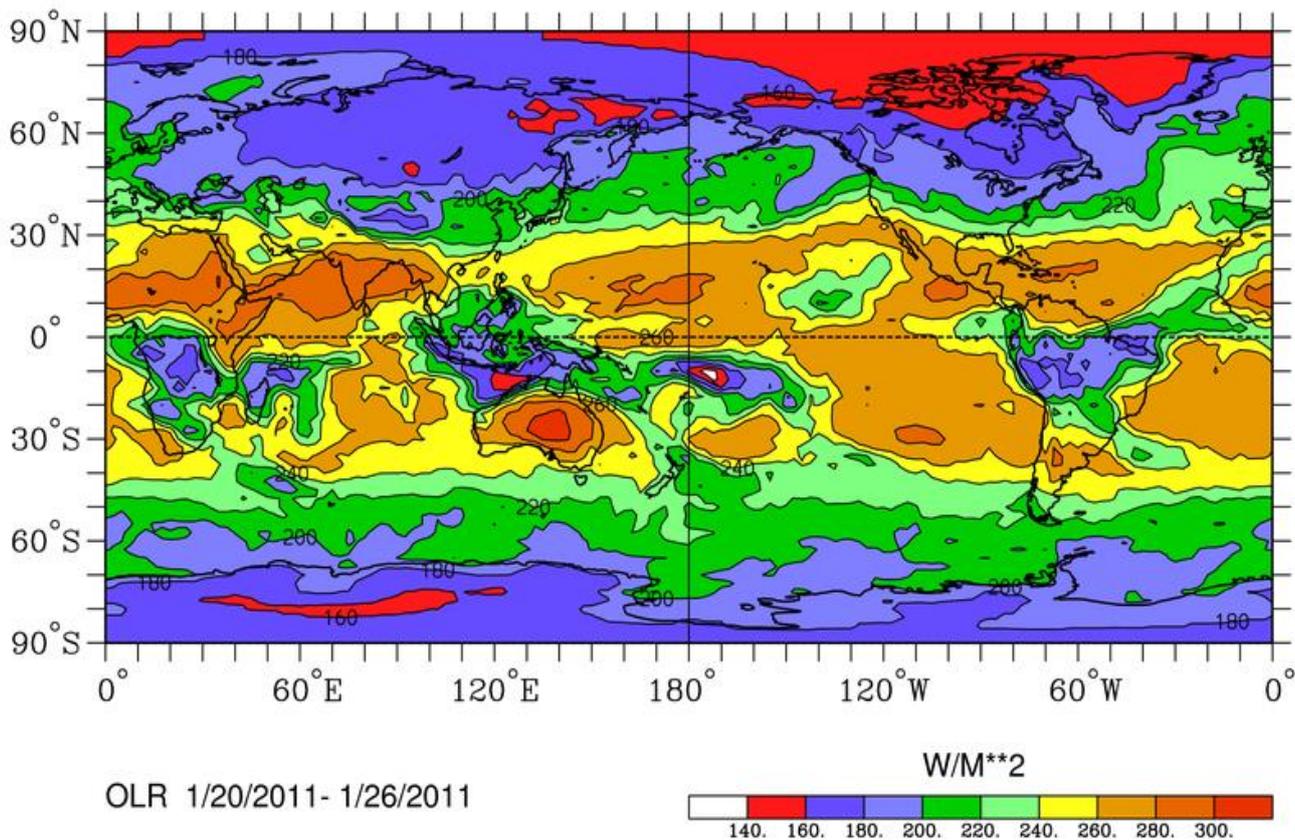


Plate 2. ERBE monthly mean (a) clear-sky and (b) total LW flux for July 1985, and (c) clear-sky and (d) total LW flux

La figure suivante, plus détaillée, est une moyenne sur une semaine de janvier 2011; à rapprocher de la figure 4-A des teneurs de l'air en vapeur d'eau, un 16 février.

Figure 6-E) Détails de la répartition des émissions infrarouge thermique du globe en moyenne du 20 au 26 janvier 2011 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/map/images/olr/olr.png>



Les taches bleues et rouges au sud de l'équateur correspondent au sommet très haut et froid des nuages de la cheminée équatoriale (ou équateur météorologique vertical, EMV) qui en janvier se trouve vers 10°S avec une zone de pluie prolongée par les moussons jusque vers 20°S à 30°S (Amazonie, nord de l'Australie, Madagascar, Congo...). L'Antarctique et le Groenland d'altitude 1500 m à 3500 m sont très froids (-30°C et moins) et l'air y est presque dépourvu de vapeur d'eau, au moins en hiver, et, en Antarctique, dépourvu de nuages: là c'est la surface qui rayonne vers le cosmos; un "corps noir" à 230 K ou à 250 K rayonne 159 W/m² ou 222 W/m².

La régulation à mieux que un millième près en moyenne sur l'année est faite par les nuages et leur albédo et les océans qui absorbent en décembre –février et restituent en juin-août une grosse quantité de chaleur qui est, in fine, rayonnée par le globe: une épaisseur de 2,5 m d'eau de mer a la même capacité calorifique que tout l'air au dessus.

C'est le transfert de vapeur d'eau (chaleur latente) vers les pôles qui assure l'égalisation du flux rayonné vers le cosmos, avec plus de 160 W/m² entre 50°N et 70°N (figures 6-C et 6-E) alors que l'insolation de janvier en haut de l'air (figure 6-A) est deux fois moindre et n'est (figure 4-F) en surface, sur la France, que 40 à 50 W/m² en moyenne de janvier.

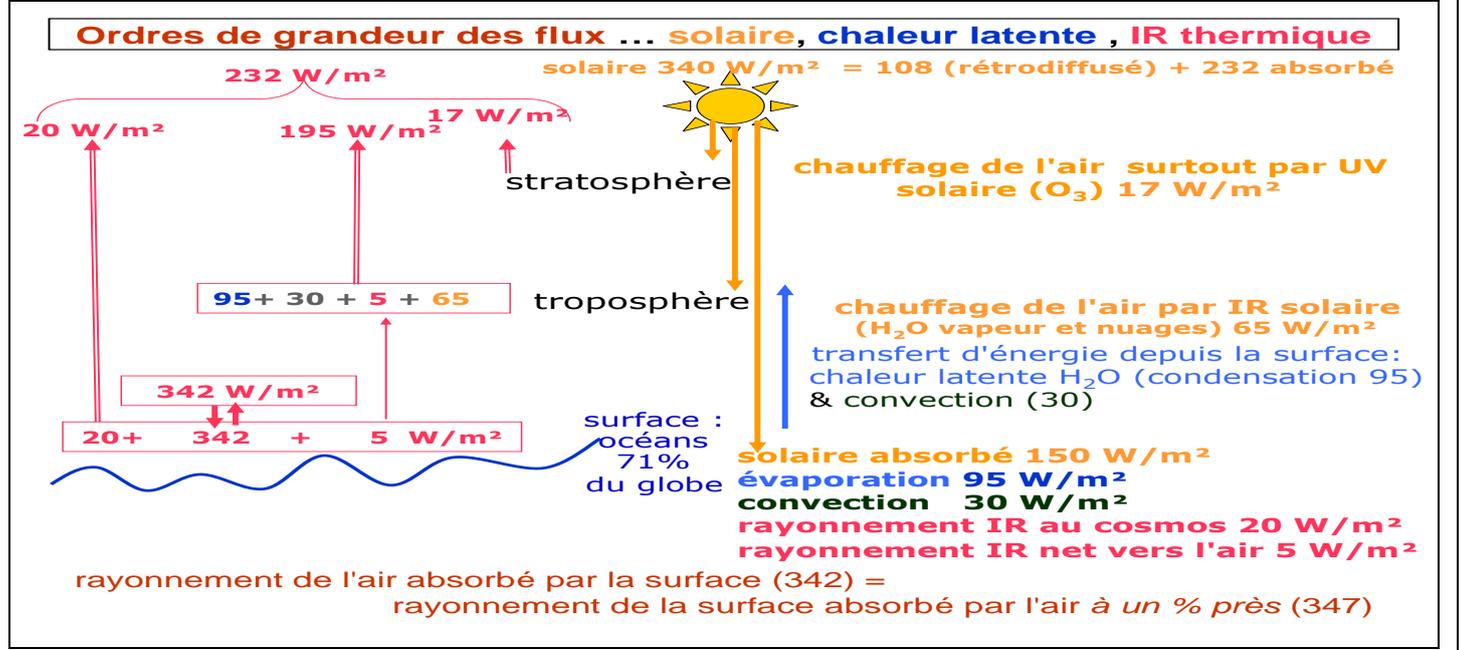
6-3) Ordres de grandeur des flux radiatifs comparés aux flux de chaleur latente ou sensible (figure 6-F)

Tous ces flux varient très fortement avec la saison et la zone climatique voir figures 2-D (évaporation) et 2-E (convection), figures 4-D à 4-H (rayonnement de l'air vers la surface) et 6-A à 6-E (insolation et OLR). Les valeurs indiquées sur la figure 6-F sont fort sujettes à caution parce que les quantités de chaleur latente et de chaleur sensible advectées des zones plus chaudes vers les zones plus froides n'y sont pas représentées. Ces diagrammes dits de "Kiehl & Trenberth" sont prétendus refléter une situation "moyenne", et on assure souvent, et à tort, qu'ils illustreraient l'existence d'un "effet de serre". Nous tenons compte à la figure 6-F des dernières révisions de certaines grandeurs telles que le rayonnement de la surface de l'océan (figure 2-A), le flux rayonné par la surface qui échappe aux nuages et aux gaz traces (figure 4-H), les précipitations au dessus des océans ³⁶, l'absorption du solaire par les nuages, plus forte que ce que l'on croyait (voir Zender, 1999; et Melnikova, 2005). Le flux solaire incident en haut de l'air, soleil au zénith, est pris à 1360 W/m² en moyenne "annuelle" (entre 1320 et 1410 W/m²), soit en moyenne sur la surface de la sphère, le quart, 340 W/m², dont une partie est rétrodiffusée par les molécules, les aérosols, les nuages et par la surface ou réfléchi, surtout en incidence rasante, sur la neige ou la glace ou l'eau calme.

³⁶ Martin Wild *The Earth radiation balance as driver of the global hydrological cycle* Symposium The Water Cycle in a Changing Climate ETH Zürich - July 1-2, 2013 et divers papiers du même auteur

1 Flux solaire absorbé = $232 \text{ W/m}^2 =$
 2 150 W/m^2 (absorbé par la surface) + 82 W/m^2 (absorbé par les nuages, la vapeur d'eau, le CO_2 , O_2 et O_3)
 3 Refroidissement de la surface = $150 \text{ W/m}^2 =$ **EVAPORATION (100 W/m^2 à 200 W/m^2 ...)** +
 4 convection (20 voire 30 W/m^2) + rayonnement arrivant au cosmos non absorbé par l'air et les nuages (20 W/m^2)
 5 + bilan radiatif net entre surface et air en infrarouge thermique d'au plus 5 W/m^2
 6 Refroidissement du globe = $232 \text{ W/m}^2 =$
 7 **195 W/m^2 de la vapeur d'eau** + 20 W/m^2 provenant de la surface + 17 W/m^2 de la stratosphère (CO_2 et O_3)

8 Figure 6-F) Diagramme suggérant des "valeurs moyennes" des divers flux de chaleur; sur cette image l'air absorbe
 9 347 W/m^2 rayonnés par la surface et la surface absorbe 342 W/m^2 rayonnés par l'air soit un effet net d'au plus 5 W/m^2 en
 10 faveur de l'air; comme vu à la figure 4-D l'effet net est sans doute moindre.

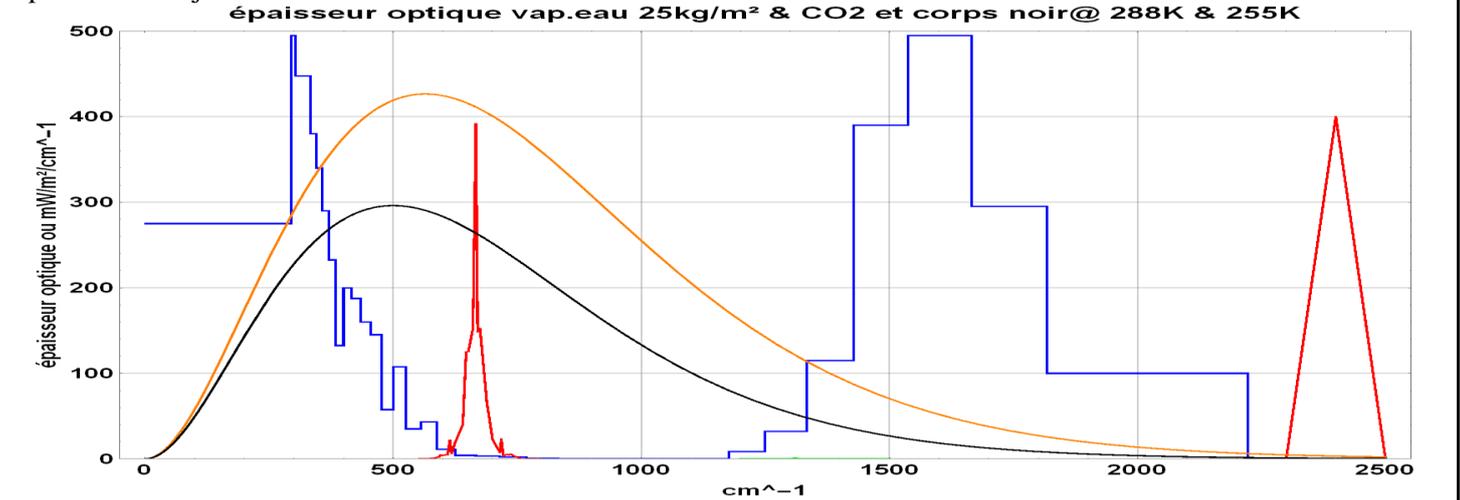


11 Des auteurs font référence à un flux solaire moyen de 1365 ou 1367 W/m^2 , valeurs standardisées dans les années
 12 1990; les 232 W/m^2 deviennent alors 235 W/m^2 ou 240 W/m^2 ; Kopp & Lean (2011) par réexamen de mesures
 13 satellitaires ont promulgué $1360,8 \text{ W/m}^2$ pour la constante solaire au minimum du cycle solaire, à une UA du soleil,
 14 soit presque 0,5% de moins que la valeur précédemment admise; voir, pour des références sur ce point
 15 <https://malagabay.wordpress.com/2012/12/10/1366-and-all-that-the-secret-history-of-total-solar-irradiance/>.
 16

17 **6-4) Rayonnement infrarouge thermique: origine du rayonnement de l'air vers le cosmos**

18 La figure 6-F dit que des 232 W/m^2 du rayonnement "moyen" du globe (voir figure 11-A: valeurs moyennes mensuelles
 19 sur 1974-2014) 212 W/m^2 viennent de l'air et des nuages, et 20 W/m^2 seulement de la surface (figure 4-H).
 20 La position des couches hautes (ide est autour de la position de $t=1,07$ compté depuis le "haut de l'air") qui se refroidissent
 21 par rayonnement vers le cosmos, pour un ciel sans nuage a été, au § 4-1, résumée par $P(v) = (1,07 / t_{\text{max gaz trace}}(v))^{(1/a)}$, où
 22 a vaut 1,45 pour le CO_2 et entre 4 et 5 pour la vapeur d'eau.
 23

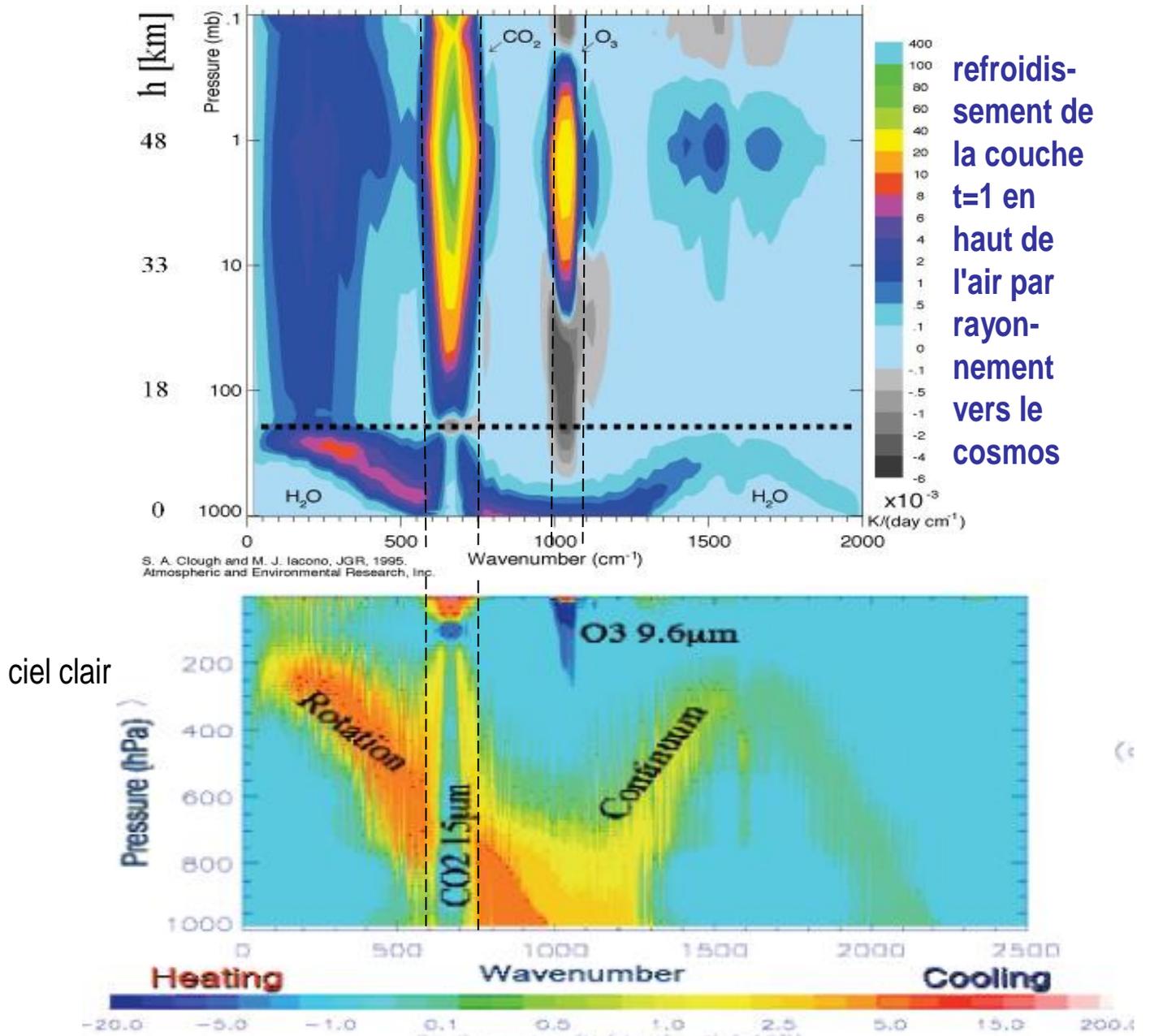
24 Figure 6-G) déjà vue comme figure 3-E) H_2O en bleu et CO_2 en rouge: épaisseur optique sur le spectre de l'infrarouge
 25 thermique; l'ozone O_3 surtout stratosphérique n'est pas représentée; les émissions de corps noir à 288 K et 255 K sont
 26 représentées en jaune et en noir en $\text{mW/m}^2/\text{cm}^{-1}$



1 Figure 6-H) Refroidissement de l'air sans nuage par rayonnement pour une stratosphère des moyennes latitudes (en
 2 haut) et pour une troposphère tropicale (en bas): O₃ vers 1060 cm⁻¹, CO₂ vers 666 cm⁻¹ et vapeur d'eau sur tout le spectre
 3 sources: Clough et Iacono 1995 et Brindley & Harries 1998 (SPARC 2000) repris dans

4 Andrew Gettelman *Tropospheric humidity observations from AIRS and applications*
 5 en millièmes de degré K par jour et par cm⁻¹

6 Les lignes verticales en tiretés vers 600 cm⁻¹ et 750 cm⁻¹ limitent la zone où c'est le CO₂ stratosphérique qui rayonne vers
 7 le cosmos et vers la tropopause



8 La vignette du haut de la figure 6-H est calculée à partir d'une approximation "statistique" du spectre d'absorption sur de
 9 petits intervalles de fréquences optiques. La vignette du bas figure 6-H est, elle, déduite d'un calcul "raie par raie" qui
 10 détaille l'épaisseur optique $t_{\text{max gaz trace}}(\nu)$ dont une approximation est rappelée ci-dessus (figure 6-G).

11 Les zones en bleu clair sur la figure 6-H ne se refroidissent pas et sont de deux types:

- 12 - si elles sont au dessus de la couche qui se refroidit, c'est parce qu'il n'y a pas assez de gaz trace qui, à la fréquence
 13 optique considérée, puisse rayonner
- 14 - si elles sont en dessous de la couche qui se refroidit, c'est parce que là l'air est très opaque et qu'il n'y a donc pas de
 15 transfert de chaleur par voie radiative de cette zone à la couche rayonnante. (Voir figures 5-A, -B, -C "rayonné moins
 16 absorbé").

17 Le refroidissement est donc en gros localisé entre $t=0$ et $t=1,07$ couche qui fournit 80% des photons "perdus" par le globe
 18 et entre $t=1$ et $t=2$ qui alimente la couche du dessus où t désigne l'épaisseur optique comptée depuis le "haut de l'air" (voir
 19 aussi figures 5-A à 5-C).

20 La chaleur absorbée par le CO₂ de la tropopause est évacuée par la vapeur d'eau à la même altitude entre 100 cm⁻¹ et 300
 21 cm⁻¹ (figure 6-H du haut, ligne en tiretés vers 200 mbar).

Pour interpréter le rayonnement des basses couches dans la fenêtre de la vapeur d'eau entre 800 cm^{-1} et 1180 cm^{-1} voir la vignette de gauche de la figure 5-C (épaisseur optique de 1 ou moins), la vignette de droite de la figure 3-F et la décroissance d'un facteur 2 de la fonction de Planck entre ces deux fréquences optiques (figure 6-G ci-dessus).

Faire, pour chaque altitude, la moyenne sur tout le spectre des fréquences optiques donne le refroidissement à cette altitude représenté à la figure suivante, vignette de gauche ("cooling") en $^{\circ}\text{C}/(24\text{ heures})$.

Sur la vignette de droite, en solaire, se voient:

- le chauffage solaire de la vapeur d'eau sur les 10 à 15 premiers kilomètres (figure 2-B) -à compléter par la condensation de la vapeur d'eau, non représentée,

- le chauffage solaire du CO_2 moindre que 1 K/jour entre 20 km et 40 km par absorption de l'infrarouge solaire à $4,3\text{ }\mu\text{m}$ et $2,5\text{ }\mu\text{m}$

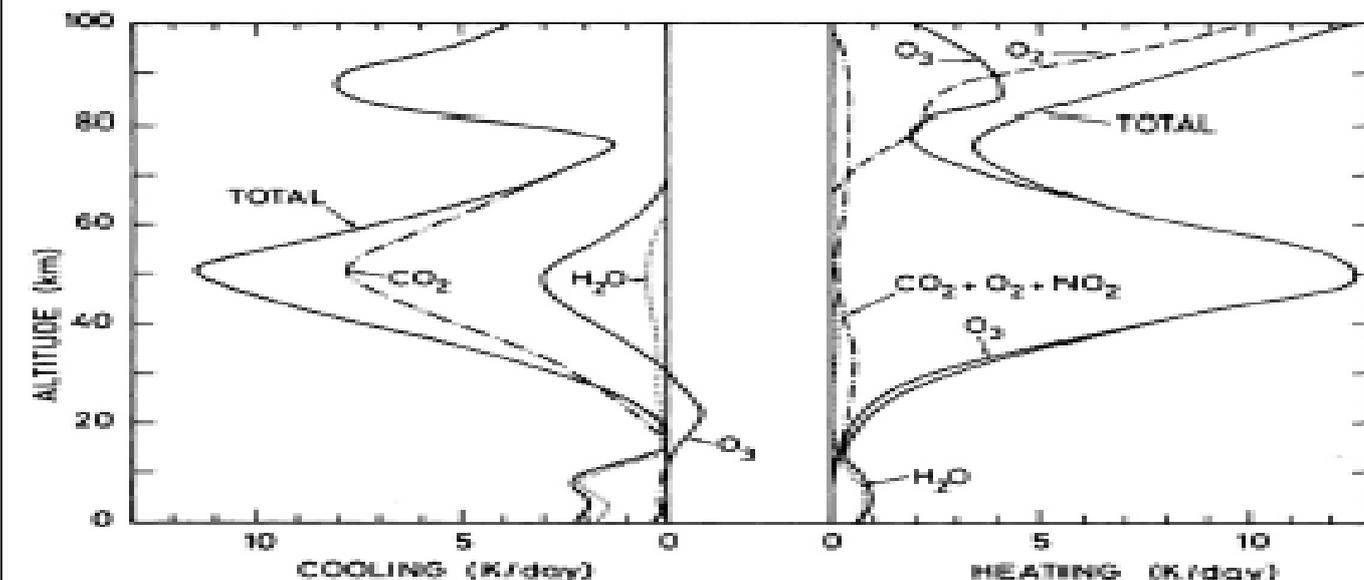
- le chauffage solaire de l'ozone stratosphérique (12 à 13 K/jour à 50 km, altitude où il n'y a plus qu'un gramme d'air par m^3 au lieu de $1,2\text{ kg/m}^3$ en surface) et de l'oxygène qui absorbent les UV avec un maximum à la limite supérieure de la stratosphère vers 50 km.

À gauche, en infrarouge thermique, se voit le chauffage en infrarouge thermique vers 1050 cm^{-1} de l'ozone qui entre 20 mbar et 200 mbar (zone grise de la figure 6-H vignette du haut) absorbe les flux venant du dessous (vapeur d'eau et surface) et du dessus, émis par l'ozone des hautes couches de la stratosphère.

Noter la petite contribution au refroidissement de la vapeur d'eau stratosphérique illustrée en bleu foncé sur la vignette du haut de la figure 6-H (vers 4 mK/jour/cm^{-1} entre 50 cm^{-1} et 400 cm^{-1}) et vers 40 km et 50 km à gauche sur la figure 6-I; mais ça concerne des couches où la densité de l'air est mille fois moindre qu'en surface.

Figure 6-I) Calcul du chauffage et du refroidissement radiatifs [Andrews D. G. *An Introduction to Atmospheric Physics* Cambridge University Press, Cambridge, UK; 2000, 229 pp., 103 fig., 3 tables, & 2010); D. G. Andrews et al. *Middle Atmosphere Dynamics*. Academic Press, New York, 1987. 489 pp, figure 2-1]

Le chauffage solaire de la troposphère, "Heating" en bas à droite sur les 15 premiers km, est complété par la condensation de la vapeur d'eau non représentée, pour -en moyenne- compenser exactement le "Cooling" aux mêmes altitudes.



Nota Bene: ne pas confondre le refroidissement en (K/jour) d'un air qui vers 50 km est très raréfié et la contribution à l'OLR en W/m^2 qui, elle, dépend de la densité de l'air de la couche qui rayonne.

6-5) Transport de chaleur et d'humidité des tropiques vers les pôles

La figure 6-J suivante montre les zones excédentaires et déficitaires en rayonnement en moyenne annuelle (solaire absorbé moins infrarouge thermique rayonné), Les mécanismes employés pour le transport de chaleur latente, de chaleur sensible ou d'énergie gravitationnelle sont très différents en zone intertropicale et entre les Tropiques et les pôles.

<http://earth.nullschool.net> présente des images en temps réel des vents en surface.

En intertropical, les alizés alimentés par les zones de hautes pressions subtropicales (anticyclones dits des Açores, de Hawaï, des Mascareignes, de Sainte Hélène, de l'île de Pâques) soufflent vers l'ouest-sud-ouest (dans l'hémisphère nord) vers l'équateur météorologique vertical (EMV) ou "cheminée équatoriale" qui suit partiellement le soleil dans sa course entre les Tropiques et se voit aux figures 6-C et 6-E (mois de janvier) par les nuages hauts et

froids en bleu foncé et rouge. Le principal phénomène est celui de la mousson d'été³⁷ où l'air venant de l'anticyclone plus fort de l'hémisphère en hiver traverse l'équateur et change de sens (effet Coriolis) soufflant, après sa traversée de l'équateur géographique, vers l'est au lieu de l'ouest. Les jets d'est en altitude suivent le déplacement de l'EMV et recyclent l'air restitué en altitude par la cheminée équatoriale (air alors avec une forte énergie potentielle) qui ensuite diffuse vers le dessus des hautes pressions subtropicales (zones de subsidence de la figure 4-D vignettes du bas, en bleu).

Figure 6-J) Importation et exportation de chaleur pour uniformiser le rayonnement vers le cosmos: moyennes annuelles de la chaleur entrante et sortante en haut de l'atmosphère pour chaque cellule de $1^\circ \times 1^\circ$:

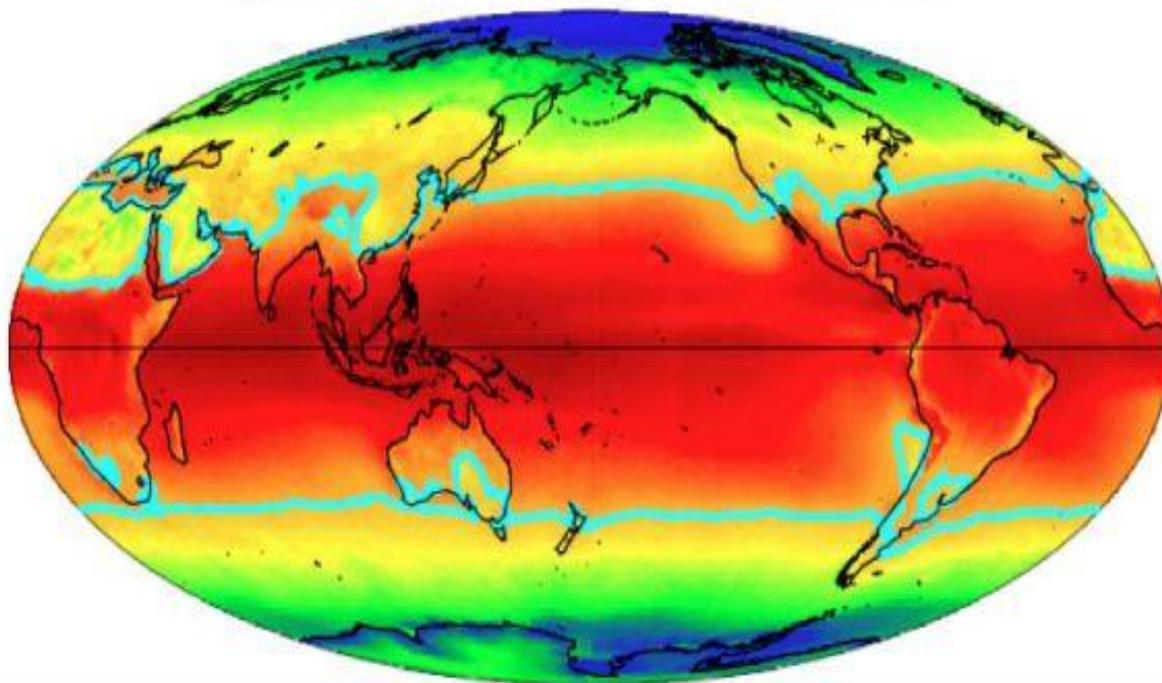
(solaire incident) moins (solaire rétrodiffusé et infrarouge thermique) selon W. Eschenbach et données CERES³⁸ Le transport à travers les lignes bleu clair estimé à 6 PetaWatt (PW) vers le nord et 6 PW vers le sud; mais, attention, la moyenne annuelle cache des variations saisonnières très fortes.

Noter que la chaleur va de l'océan ($9,2 \text{ W/m}^2$ sur ce relevé) vers les continents (-20 W/m^2)

**Net Amount of Energy Exported (+) Poleward
or Imported (-) From The Tropics**

Average Exports Global: 44.2 NH: 47.3 SH: 41.6 Land: -20 Ocean: 9.2 W/m²

Light blue lines indicate where the value is zero.



Legend: -127 W/m² (dark blue), -81 W/m² (green), -35 W/m² (yellow), 10 W/m² (orange), 56 W/m² (red), 102 W/m² (dark red)

Les hautes pressions subtropicales sont alimentées dans les basses couches par des anticyclones mobiles polaires ou tourbillons anticycloniques émis par les pôles (en gros un par 24 heures), sortes de crêpes de diamètre 3000 km d'air très froid et dense entre la surface et 2 km, en rotation dans le sens horaire dans l'hémisphère nord³⁹ et dont le centre de rotation se déplace vers le sud sud-est à en gros 40 km/h; ils sont canalisés par les reliefs de plus de 1500 m. Au cours de leur déplacement ces tourbillons provoquent devant eux un couloir dépressionnaire de largeur quelques centaines de km qui aspire l'air plus chaud et humide et alimente une dépression conjuguée située au nord-est du tourbillon anticyclonique (au sud-sud est dans l'hémisphère sud), comme le montre la figure 4-A (couloirs de vapeur d'eau en vert et jaune, prolongés par un tourbillon dépressionnaire en bleu clair). Il y a donc entre tropiques et pôles

³⁷ La structure de la mousson chinoise est plus complexe; pour la mousson indienne comme il n'y a pas de haute pression antagoniste dans l'hémisphère nord (l'agglutination anticyclonique se fait au nord de l'Himalaya) la totalité du flux de mousson arrive à la face sud de l'Himalaya

³⁸ Voir <http://wattsupwiththat.com/2013/12/21/the-magnificent-climate-heat-engine/#more-99741> The Magnificent Climate Heat Engine Posted on December 21, 2013 by Willis Eschenbach

³⁹ dans l'hémisphère sud : mouvement vers le nord-nord-est et rotation en sens trigonométrique direct

1 une sorte de balayage régulier tous les quelques jours par ces couloirs dépressionnaires mobiles où les images des
 2 satellites (figure 4-A) localisent de très fortes teneurs en vapeur d'eau. La figure 3-C des précipitations en moyenne
 3 annuelle montre "le couloir des tempêtes" à l'est de la côte nord américaine, au débouché des anticyclones passés
 4 par le nord canadien.

5 Les anticyclones mobiles en fin de parcours, réchauffés s'ils sont passés au dessus d'un océan, de pression
 6 amoindrie, sont absorbés par une des hautes pressions anticycloniques subtropicales (des Açores, etc.).

7 Les tourbillons anticycloniques mobiles peuvent fusionner quand deux anticyclones de trajectoires différentes
 8 entrent en collision; par exemple l'un de trajectoire atlantique passé à l'ouest du Groenland et entré sur l'Atlantique
 9 nord au sud du Canada qui passera au sud du Groenland, l'autre de trajectoire "scandinave" entre Groenland et
 10 Norvège peuvent alimenter une haute pression stable⁴⁰ qui peut durer.

11 On y reviendra en annexe C à cette première partie.

12
 13 Cette organisation simple est quasiment ignorée par les manuels de météorologie -qui ne connaissent que la cellule
 14 de Hadley entre hautes pressions subtropicales et équateur météorologique- et par les météorologistes patentés qui
 15 attribuent la naissance imprévisible des dépressions de nos latitudes à de mystérieuses ondulations du jet stream
 16 d'ouest à la tropopause: en réalité les phénomènes en altitude sont les conséquences du passage des anticyclones
 17 mobiles et non leur cause.

18 Cette ignorance explique en grande partie que les invraisemblables et incroyables "*sorties de modèles informatiques*
 19 *climatiques*" du genre +12°C sur les régions polaires, +7°C sur la Laponie en hiver, -40% sur les précipitations en
 20 Bretagne en été aient pu être prises au sérieux au lieu d'être dénoncées comme comme tout à fait fantaisistes et
 21 incompatibles avec l'organisation de la circulation atmosphérique.

⁴⁰ La fusion de deux tourbillons, par exemple un AMP de trajectoire atlantique et un de trajectoire scandinave produit des AAC plus
 ou moins durables sur les continents, souvent synonymes de températures extrêmes et de sécheresse, les "hautes" pressions
 interdisant toute pénétration d'air "océanique".

Pour la fameuse canicule de 2003, du 1er au 17 août 2003, 12 AMP forts (1020 à 1025 hPa) sept de trajectoire américaine-atlantique
 et cinq de trajectoire scandinave ont été absorbés par une AAC qui a recouvert l'Europe occidentale.

Un AMP plus puissant y a mis fin, qui était le 9 août au sud du Groenland, le 13 sur le Royaume-Uni, le 14 sur le Danemark et la
 France et le 17 s'étendait des Pyrénées à la mer noire.

7. Le vrai " effet de serre ": l'effet de la gravitation

L'équilibre observé en moyenne sur un an et sur tout le globe, entre "chaleur solaire absorbée" et "rayonnement infrarouge thermique du globe", dicte la position et la température de la "couche" qui rayonne vers le cosmos en "haut" de l'atmosphère; la température de surface en découle.

Que l'air en surface soit plus chaud que le "haut" de l'air est l'effet de la GRAVITATION.

Température de surface = effet de la gravitation et de l'altitude du "plafond" de la vapeur d'eau dont la température, l'altitude et la pression sont $\{T_0, z_0, P_0\}$
gradient de température dans la troposphère $-g/(C_p + |C_h|)$ normalisé par l'aviation civile à $-6,5^\circ\text{C}/\text{km}$
g accélération de la pesanteur, C_p chaleur spécifique de l'air à pression constante (1005 J/K/kg)

$$T(z) = T_0 + (z_0 - z) g / (C_p + |C_h|)$$

$$T(P) / T_0 = (P / P_0)^{R/\mu / (C_p + |C_h|)}$$

C_h exprime le chauffage diabatique de l'air humide par le soleil (figures 2-B , 6-F, 6-I) et par la condensation (en haut de l'air: soleil et nuages sont dans le ciel !)

Les figures 1, 2-B, 3-B montrent que ces relations sont bien vérifiées dans la troposphère.

7-1) Rappels sur les gaz parfaits et les formules de l'atmosphère polytropique

La décroissance "standardisée" des températures avec l'altitude, de $-6,5 \text{ K}/\text{km}$, en réalité un peu moindre "en moyenne" sur le premier km sujet à inversion nocturne des températures et légèrement plus rapide sous la tropopause bien au dessus des nuages, donne des relations simples entre l'altitude z , la température absolue T , la pression $p(\text{Pa}) = 101\,325 P_{\text{atm}}$ et la masse volumique $\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$.

Un processus est dit polytropique s'il se produit avec une valeur constante de la capacité calorifique "apparente" C_h d'un gaz parfait, qui vaut C_p pour un processus isobare, C_v pour une isochore, 0 pour une adiabatique, ∞ pour une isotherme, et avec la convention usuelle de notation des variations des quantités de chaleur ⁴¹

$$d'Q = C_h dT = C_p dT - R T dp/p \text{ et comme } R = C_p - C_v = 8,31451 / (\text{masse molaire moyenne en kilogramme})$$

$$(C_p - C_h) dT/T = (C_p - C_v) dp/p \text{ donc } T/T_0 = (p/p_0)^{1-1/k} \text{ avec } k = (C_p - C_h) / (C_p - C_v), \text{ et } 1-1/k = R / (C_p - C_h)$$

d'où les expressions du tableau 5-6-I qui expriment p , T , V en fonction de p ou de T

Tableau 7-1 Expressions des atmosphères polytropiques: température, pression, masse volumique, volume massique ⁴²

	T	p	ρ	V
fonction de T	T	$p_0 (T/T_0)^{k/(k-1)}$	$\rho_0 (T/T_0)^{1/(k-1)}$	$v_0 (T/T_0)^{-1/(k-1)}$
fonction de p	$T_0 (p/p_0)^{1-1/k}$	p	$\rho_0 (p/p_0)^{1/k}$	$v_0 (p/p_0)^{-1/k}$
	$1-1/k = (C_p - C_v) / (C_p - C_h)$	$k/(k-1) = (C_p - C_h) / (C_p - C_v)$	$1/(k-1) = (C_v - C_h) / (C_p - C_v)$	

Dans une transformation entre T_0 et T les variations d'énergie interne et d'enthalpie sont $C_v (T - T_0)$ et $C_p (T - T_0)$, et la chaleur transférée au gaz est $C_h (T - T_0)$, nulle pour une adiabatique⁴³, et $RT \ln(p/p_0)$ pour une isotherme.

Le chauffage en altitude par l'infrarouge solaire et la condensation (le soleil est dans le ciel et les nuages sièges de la condensation aussi) est positif, avec $T < T_0$ donc C_h est négatif.

L'équation barométrique $dp = -\rho g dz$ ou $dp/p = -g/(R T_v) dz$ avec T_v température virtuelle de l'air humide, ici prise égale à T , pour une troposphère standard à gradient de température γ constant, $T(z) = T_0 - \gamma z$, conduit aux formules du tableau 7-2 qui correspondent à celles des transformations polytropiques où **$k = g / (g - R \gamma)$** .

$$\gamma = g / (C_p - C_h) = 9,81 / (1005 + 509) = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ K/m} \quad \& \quad R \gamma / g = R / (C_p - C_h) = 287 / (1005 + 509) = 0,19$$

Tableau 7-2 Expressions des atmosphères polytropiques à température linéairement décroissante $T = T_0 - \gamma z$

	T	p	ρ	z
fonction de z	$T_0 - \gamma z$	$p_0 (1 - \gamma z / T_0)^{g/(R \gamma)}$	$\rho_0 (1 - \gamma z / T_0)^{g/(R \gamma) - 1}$	z
fonction de p	$T_0 (p/p_0)^{(R \gamma)/g}$	p	$\rho_0 (p/p_0)^{1 - (R \gamma)/g}$	$T_0 / \gamma (1 - (p/p_0)^{(R \gamma)/g})$
fonction de T	T	$p_0 (T/T_0)^{g/(R \gamma)}$	$\rho_0 (T/T_0)^{-1 + g/(R \gamma)}$	$(T_0 - T) / \gamma$

⁴¹ $d'Q$ et non dQ car ce n'est pas une différentielle totale exacte, comme le sont $dU = d'Q + d'W$, $dH = dU + V dp$ ou $dS = d'Q/T$

⁴² p. 36 de V. A. Belinskii *Dynamic Meteorology* Ogiz Moscou 1948, The Israël program for scientific translations 1961, 592 pages
Paragraphe inspiré de Sorokhtin O. G., G.V.Chilingar, L.F. Khilyuk *Global Warming and Global Cooling Evolution of the Climate of the Earth* Elsevier 2007, 313 pages

⁴³ Parce que $C_h = 0$ et non pas parce que $T = T_0$!

La norme de l'aviation civile, est, en dessous de 11 km, $p = p_0 (1 - (6,5/T_0) z(\text{km}))^{5,256} = p_{\text{surface}} (1 - 0,02257 z(\text{km}))^{5,256}$ pour $T_{\text{surface}} = 288 \text{ K}$, et au-dessus de 11 km, $p = p_{11 \text{ km}} \exp(- (z(\text{km}) - 11) / 6,34)$ dans la basse stratosphère ici supposée vaguement isotherme en dessous de 20 km, ce que la figure 1 montre ne pas être tout à fait le cas. Dans la troposphère $z (\text{km}) = (T_{\text{surface}} / 6,49) (1 - P^{0,19})$.

7-2) Application numérique pour quatre températures de surface de +30°C à -10°C

Si la température moyenne T_0 de rayonnement du globe est de l'ordre de 255 K, et est fixée par la vapeur d'eau qui se condense à des températures plus faibles, la pression de référence P_0 varie du simple au double selon la quantité de vapeur d'eau qui est elle-même une fonction de la température en surface (figure 3-B), et des profils de température et d'humidité relative en fonction de l'altitude⁴⁴.

Tableau 7-3 Application numérique: valeurs de triplets $\{T_0, P_0, z_0\}$ selon la température de surface

$T_{\text{surface}}(\text{K})$	303	288	273	263
$P_{\text{tropopause}}$ (hypothèse cf. figure 1)	0,1	0,2	0,3	0,4
$\log_{10} (1000 P_{\text{tropopause}})$	2	2,3	2,48	2,6
pour $T_0 = 255 \text{ K}$ $T_{\text{tropopause}} (\text{K})$	195,6	212	217	221
$z_0 (\text{km})$	7,4	5,1	2,8	1,2
P_0 (figure 3-B)	0,4	0,527	0,698	0,85

7-3) Vénus, effet de la pression en surface

La pression en surface est 92 atmosphère, le couple $\{T_0, P_0\}$ est $\{230 \text{ K}, 100 \text{ mbar}\}$ et correspond au haut de la couche de poussières d'où $T_{\text{surface}} = 230 \text{ K} (92/0,1)^{0,17} = 734 \text{ K}$ (soit 461°C). Pour Vénus $g = 8,87 \text{ m/s}^2$, $R = 191,8$ $T \sim P^{0,17}$, $p = p_0 (1 - 0,01061 z(\text{km}))^{5,88}$ et $C_h = -302 \text{ J/kg/}^\circ\text{K}$. Mais le C_p du CO_2 varie sensiblement avec la température de 830 J/kg/K à 1150 J/kg/K entre 280 K et 750 K en $C_p(\text{J/K/kg}) = 825,6 + 1,003 t - 685 \cdot 10^{-6} t^2$, t en °C. Des réactions endothermiques de décomposition de l'acide sulfurique en eau et SO_3 en altitude entre 40 km et 60 km remplaceraient la condensation exothermique de la vapeur d'eau sur Terre. On a donc sur Vénus tout simplement l'effet de la pression ou du poids de l'atmosphère et nullement un "emballement de l'effet de serre (runaway greenhouse effect)" comme le disent nombre de manuels ! Les 1000 t/m² (mille tonnes par mètre carré) de CO_2 de l'air de Vénus correspondent aux carbonates de la croûte et du manteau de la Terre; le CO_2 , a, dès la formation de la Terre, été absorbé par de l'eau liquide et il n'en reste aujourd'hui que 6,3 kg/m² dans l'air de la Terre, contre, en gros, 20 fois plus il y a 600 millions d'années; il n'y a plus que 180 kg/m² de CO_2 dans l'air de la planète Mars où il y a eu de l'eau liquide.

À retenir

Le gradient troposphérique exprime l'effet de la **GRAVITATION**⁴⁵ et du chauffage **diabatique** de la vapeur d'eau et des nuages par l'infrarouge solaire (figure 2) et par la condensation de la vapeur d'eau. Le haut de la troposphère est moins froid qu'il le serait sans ce chauffage.

Le gradient **adiabatique** $-g/C_p = -9,8 \text{ K/km}$ ne peut pas s'appliquer !

La condensation de la vapeur d'eau dans les nuages donne **dans** le nuage un gradient saturé vers $-5,5 \text{ }^\circ\text{C/km}$ assez théorique car les phénomènes de convection, ascension d'air humide, descente d'air sec ou moins humide - humidité condensée et perdue par la pluie- devant ou après la "tour" convective, prédominent; là encore c'est tout à fait **diabatique** !

Pour résumer : les gaz traces actifs dans l'infrarouge thermique, pour l'essentiel la vapeur d'eau, modulent la position P_0 de la "couche" qui rayonne vers le cosmos (voir figures 6-H et 3-B); la température de surface en découle via le gradient "gravitationnel polytropique"; les échanges radiatifs entre surface et air sont sans effet, car de bilan net nul ou à peu près (figures 4-D et 6-F).

La chaleur solaire reçue de jour par les premiers mètres de l'océan ou par les premiers centimètres des sols diffuse la nuit vers la surface et repart par évaporation, par convection et par rayonnement direct vers le cosmos, à travers la fenêtre de la vapeur d'eau, s'il n'y a pas de nuage.

⁴⁴ Comme la température de rayonnement de l'air vers le haut $T_{\text{pellicule}}$ est vaguement constante à cause de la décroissance très rapide des teneurs en vapeur d'eau avec la température, deux des trois paramètres T_{surface} , $P_{\text{pellicule}}$ et quantité de vapeur d'eau $w(\text{kg/m}^2)$ déterminent le troisième.

⁴⁵ Citons comme curiosité, pour le cas général de matière rayonnant dans un champ de gravitation, du spécialiste de la thermodynamique relativiste Richard Tolman *On the weight of heat, and thermal equilibrium in general relativity* Physical Review April 15, 1930, vol. 35 <http://authors.library.caltech.edu/2574/1/TOLpr30a.pdf>

8. Rôle central de H₂O (vapeur, liquide et glace)

Le rôle de la vapeur d'eau est essentiel dans l'équilibre et la régulation thermique de l'atmosphère et de la surface de la planète:

- (1) Elle emporte, par évaporation et évapotranspiration, de l'énergie (chaleur latente) depuis la surface vers le haut de l'atmosphère, où cette chaleur alimente le rayonnement vers le cosmos (figure 6-H vignette du bas).
- (2) Elle transporte de la chaleur latente des tropiques vers les pôles (figure 6-J) et des océans vers les continents.
- (3) Elle absorbe l'infrarouge solaire (la moitié en est absorbée par la vapeur et la totalité par l'eau liquide dans les nuages) (figure 2-B)
- (4) Elle fait 80% du rayonnement total du globe vers le cosmos par ciel clair et plus encore par la couche supérieure des nuages; en rayonnant elle se refroidit et se condense, dégageant la chaleur latente qui alimente la poursuite du rayonnement du globe vers le cosmos (figures 6-C à 6-I).
- (5) Elle fixe, en pratique, T_0 et P_0 dans les formules rigoureusement équivalentes valables dans la troposphère

$$T(P) / T_0 = (P/P_0)^{R/\mu (C_p + |C_h|)} \quad \text{ou} \quad T(z) = T_0 + (z_0 - z) g / (C_p + |C_h|)$$
 où $R=8,314 \text{ J/K/kg}$ et μ masse molaire du gaz (en kg)
- (6) Elle thermostatise la surface par son évaporation, typiquement en ôtant à la surface $6 \text{ W/m}^2/\text{C}$ là où l'évaporation est de 100 W/m^2 et le double ou le triple en zone intertropicale ou par grand vent (figures 2-D et 2-E).
- (7) Elle a un effet parasol car les nuages régulent la quantité d'énergie solaire qui atteint effectivement la surface (figure 6-B).

C'est la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère, et son profil en fonction de l'altitude, qui, par l'altitude d'émission (figure 6-H par ciel clair) et l'altitude des nuages, dictent la température de la surface de la planète ... depuis des milliards d'années

9. Effets de modifications des températures de l'air et de la teneur de l'air en gaz-traces

9-1) Rappels des § 4 et 6 et introduction

Les couches "résumées" au §7 par T_0 et P_0 dans $T/T_0 = (P/P_0)^{R/(C_p+Ch)}$ ont été visualisées aux figures 6-H et 6-I; selon le § 6-3 la vapeur d'eau perd par rayonnement vers le cosmos en gros et en moyenne 195 W/m², la surface 20 W/m² (figure 4-F) et la stratosphère de 4 à 24 W/m² (tableau 5-A).

P_0 de 530 mbar (valeur en "moyenne globale" pour +15°C en surface) se trouve sensiblement "au milieu" de la plage de refroidissement de la vapeur d'eau mais (figure 6-H) varie fortement avec la latitude (tableau 7-3 au § 7-2 et figure 3-B). Comme le montre la figure 6-I, le CO₂ est refroidissant à toutes les altitudes; comment plus de CO₂ pourrait-il donc bien amener un réchauffement ?

La figure 9-A montre comment des doubléments de la teneur en vapeur d'eau, sur toute la colonne d'air, et de la teneur de l'air en CO₂ augmenteraient l'altitude de la couche $\tau=1$ comptée depuis le haut de l'air.

Le CO₂ troposphérique devrait, autour des raies à 618 cm⁻¹ et de 720 cm⁻¹ (figure 3-F vignette de droite, 9-A-bis à gauche) rayonner de plus haut et plus froid donc légèrement moins: le gros du refroidissement associé à ce rayonnement vers le cosmos, sur une vingtaine de cm⁻¹, devrait donc passer de la couche 350 mbar à la couche $(1/2)^{(1/1.45)}$ 350 mbar = 0,62 350 mbar = 217 mbar.

Plus de refroidissement à 217 mbar devrait aussi favoriser, à ce niveau, la condensation de la vapeur d'eau.

Figure 9-A) Position du bas de la couche $\tau=1$ source d'approximativement 80% des photons reçus par le cosmos, calculée par $t_{H_2O_{max}} P^{4.5} = 1$ et $t_{CO_2_{max}} P^{1.45} = 1$. La courbe pour le CO₂ est la solution P de $P = 1/t_{CO_2_{max}} 0.69$; le doublément de la teneur en dioxyde de carbone fait monter en altitude de la pression P_1 (courbe rouge) à la pression 0,62 P_1 (courbe magenta) le bas de la couche rayonnant vers le cosmos.

En orange la courbe de Planck à 255 K qui justifie un traitement très sommaire de la vapeur d'eau au-delà de 2000 cm⁻¹

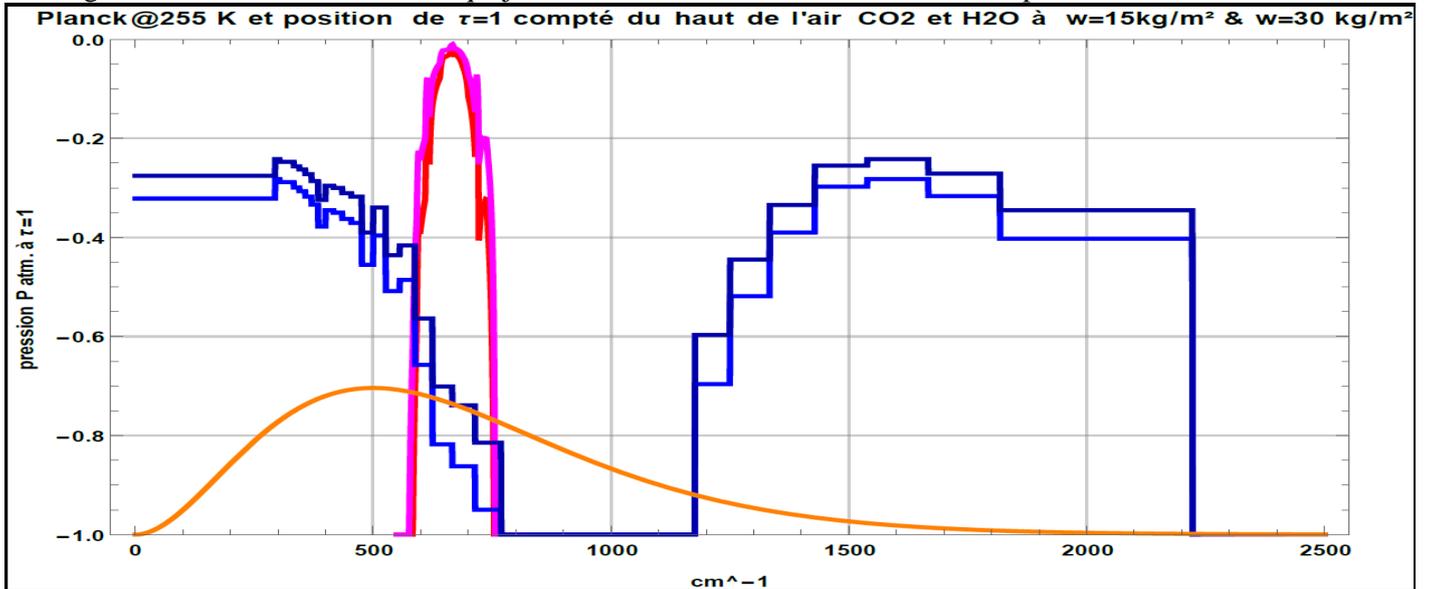
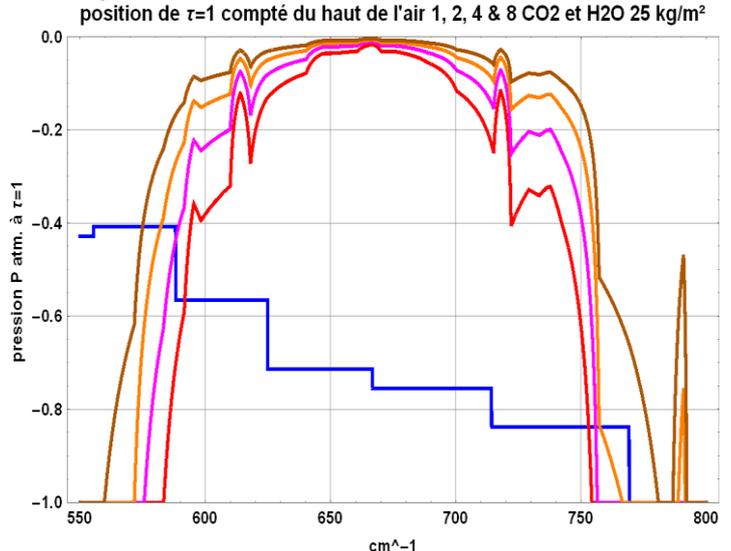
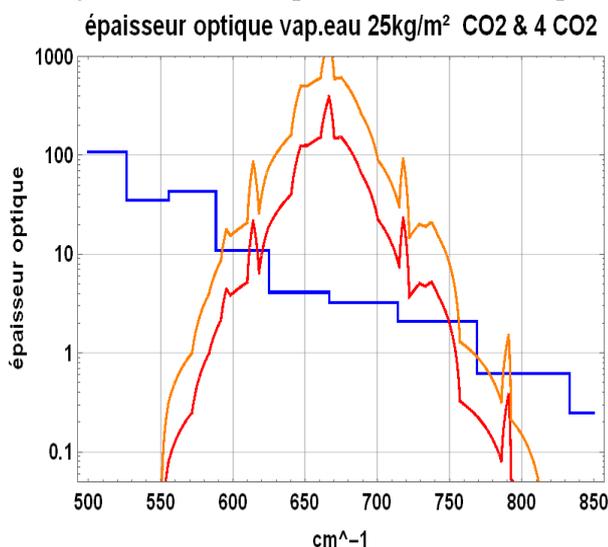


Figure 9-A bis: à gauche épaisseur optique de la vapeur d'eau ($w = 25 \text{ kg/m}^2$) en bleu et de CO₂ & de 4 x CO₂ en échelle logarithmique

à droite détail de la position de $t_{CO_2}(v) = 1$ pour la teneur actuelle (rouge), 2x CO₂ (magenta), 4 x CO₂ (orange) & 8 x CO₂ (orange foncé); en bleu position de $t_{H_2O}(v) = 1$ pour $w = 25 \text{ kg/m}^2$



La figure 9-A bis zoome sur le CO₂ avec des teneurs (2 fois, 4 fois et 8 fois l'actuelle) documentées pour certaines époques géologiques: une fois les "méplats" autour de 618 cm⁻¹ et de 720 cm⁻¹ passés dans la stratosphère, l'effet "plus haut plus froid", propre à la troposphère ne vaut plus que sur des bandes de quelques cm⁻¹, autour de 750 cm⁻¹ Sur le bord de la fenêtre en 750 cm⁻¹ et 800 cm⁻¹ la croissance du rayonnement OLR (rayonnement infrarouge thermique vers le cosmos) de l'air avec l'épaisseur optique compense en partie la diminution du flux OLR venant de la surface et atténué par un air plus opaque.

Le "relais à la tropopause" vu à la figure 6-H correspond à un transfert de chaleur des fréquences optiques du CO₂ et de l'ozone qui, à la tropopause, absorbent les flux de rayonnement infrarouge venant du dessous et du dessus, transmettent par collisions cette chaleur aux gaz majoritaires (N₂, O₂, Ar) qui par collisions la repassent à la vapeur d'eau de cette même couche, vapeur d'eau qui, elle, refroidit la tropopause autour de 300 cm⁻¹ comme le montrent la figure 9-A et les figures 6-H. Les variations de flux net montant à la tropopause associées à un doublement de l'absorption de cette couche aux fréquences optiques du CO₂ ne sont donc pas à interpréter comme un moindre refroidissement du globe.

9-2) Aperçu de quelques résultats de calculs, pour un ciel clair sans nuage

Les profils types de température et d'humidité en fonction de la pression, vus au § 5-8 permettent d'évaluer en % du flux OLR (rayonnement vers le cosmos) l'effet d'une variation d'un seul des paramètres (humidité, teneur en dioxyde de carbone, température), les autres étant fixés.

Les cas des profils-types extrêmes tropical (TRO) et hiver sub-arctique (SAW, Sub Arctic Winter) sont au tableau 9-A.

Tableau 9-A En pour cent de l'OLR (rayonnement infrarouge thermique vers le cosmos), effet par ciel clair sans nuage de changements de l'humidité, du doublement de la teneur en CO₂ noté 2 x CO₂, d'une augmentation de 1°C de la température à humidité absolue inchangée et à humidité relative (RH) constante (source: Buehler et al. ⁴⁶)

Pour l'OLR l'écart type est celui de l'ensemble d'observations dont la moyenne est le profil-type: il est de 4% pour TRO et de 8% pour SAW; l'effet sur l'OLR du 2x CO₂ est donc entre le quart et le dixième de l'écart-type de la variabilité naturelle de l'OLR.

	OLR ciel clair moyenne & écart type	humid. +20%	humid. - 20%	2 CO ₂	+ 1 K	+1K et RH constante
TRO	295 W/m ² & 12 W/m ²	-1,6%	+1,9%	-1,1%	+1,5%	+0,8%
SAW	201 W/m ² & 16 W/m ²	-0,6%	+0,7%	-0,8%	+1,6%	+1,3%

La réduction de l'OLR par le "2 x CO₂", de l'ordre de 1%, soit entre le quart et le dixième de l'écart-type de la variabilité naturelle de l'OLR (4% pour TRO, 8% pour SAW), est, comme vu au § 5-6:

* **pour (1/3)** environ une augmentation de l'absorption du rayonnement de la surface, - 0,8 W/m² en profil MLS, et du rayonnement de l'air vers la surface, + 1 W/m² sur ce flux IR air-surface: c'est sans effet sur l'OLR global puisque ce W/m² (à minorer de la réduction de l'IR solaire reçu en surface) sera évaporé puis rayonné là où il se condensera,

* **et pour les (2/3) restant un effet "plus haut plus froid"** autour des raies à 618 cm⁻¹ et à 720 cm⁻¹ du CO₂ troposphérique en tropical et aux moyennes latitudes.

Le cas "+1K et RH_{constante}" augmente l'humidité de 6,3% en surface, d'un peu plus en altitude (+8% à 5 km mais sur une pression partielle dix fois moindre), et ramène (cas tropical) de +4,4 W/m² à +2,4 W/m² l'augmentation de l'OLR pour +1 K: c'est là l'effet (1) d'une légère opacification de la fenêtre de la vapeur d'eau et (2) du "plus haut plus froid" appliqué à la vapeur d'eau.

Ces évaluations par ciel clair valent seulement (1/3) du temps puisqu'il y a des nuages les (2/3) du temps, avec des particularités géographiques connues.

La figure 9-B des "Jacobiens" de S.A. Buehler et al. (2004, op. cit.) permet de calculer l'effet sur l'OLR d'une réduction de l'humidité des hautes couches, kilomètre par kilomètre; multiplier par π pour passer – approximativement- en rayonnement diffus vers le cosmos en W/m².

Nous avons vu au § 4-1 une expression de l'humidité relative en $RH(P) = 0,8 P^{0,5}$ valable au dessus des océans non gelés. L'hypothèse du calcul de S.A. Buehler et al., +100% sur la vapeur d'eau, doit donc s'interpréter comme +100% sur l'épaisseur optique de la vapeur d'eau au point considéré de la grille décroissant linéairement vers +0% aux points adjacents 1 km au dessous et 1 km au dessus, sans considération de sursaturation.

Exemples d'utilisation de la figure 9-B:

* graphique de gauche: pour le profil TRO à 2 km, on a - 0,8 $\pi = -2,5$ W/m² pour un très hypothétique doublement de la teneur en vapeur d'eau localisé à 2 km contre -0,5 $\pi = -1,6$ W/m² pour un doublement localisé à 8 km, soit une pression vers 350 mbar puisque $P = (1 - 6,5 \cdot 10^{-3} z(m) / T_{\text{surface}})^{(1/0,19)} = 0,35$.

* graphique de droite: +1 K localisé à 8 km amène + 0,5 $\pi = +1,6$ W/m² pour les profils "été" et TRO.

⁴⁶ S. A. Buehler, A. von Engel, E. Brocard, V. O. John, *The Impact of Humidity and Temperature Variations on Clear-Sky Outgoing Longwave Radiation* JGR 2004

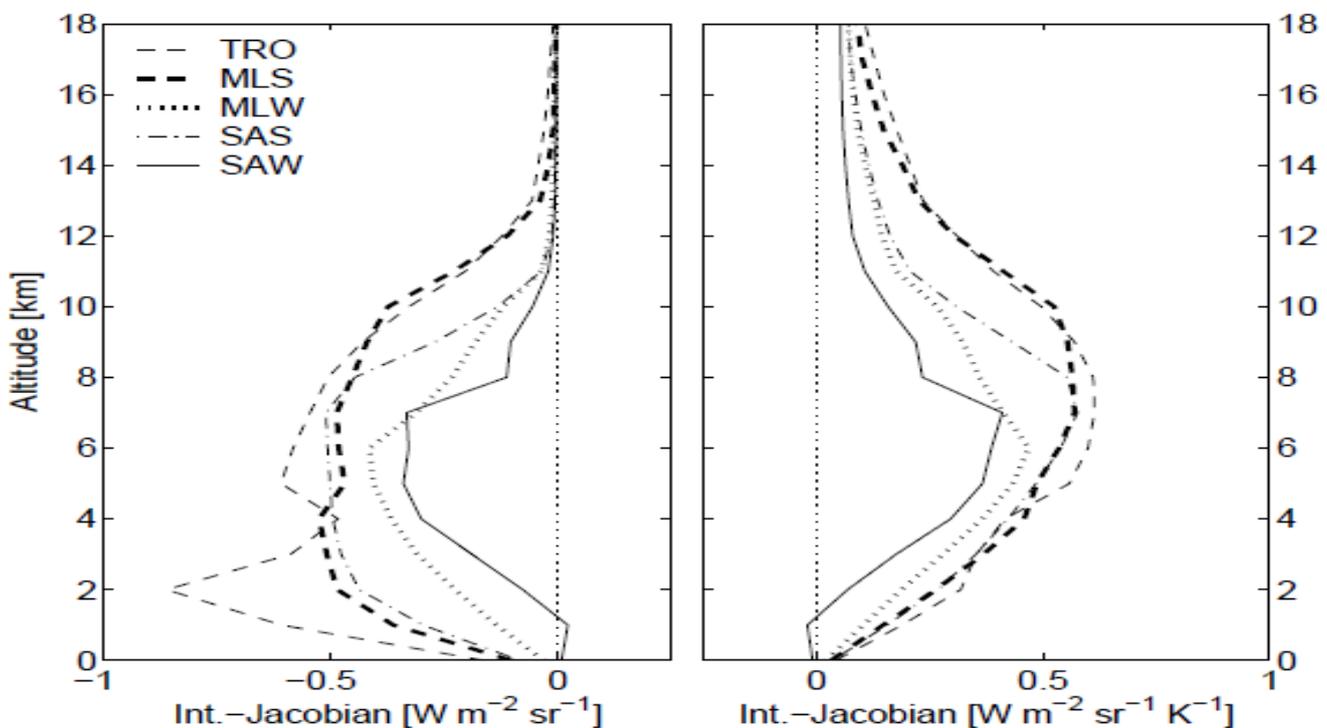
* graphique de gauche: une diminution de 20% de la vapeur d'eau entre 4 km et 10 km sur les profils d'été MLS et SAS augmentera l'OLR d'environ $7 \text{ km} \times 0,4 \pi \times 20\% (1,9\%/1,6\%) = +2,1 \text{ W/m}^2$ ^{47 48}
 * une diminution de 20% de la vapeur d'eau à partir de 6 km (473 mbar) et au dessus, sur le profil TROP, réduit la colonne de vapeur d'eau précipitable de 41,11 à 40,93 kg/m² mais augmente le flux OLR de +2,1 W/m² ce qui, curieusement, est exactement l'opposé de l'effet "plus haut plus froid" du "2 x CO₂", qui selon le tableau 9-A, vaut $(2/3) (-1,1\%) \times 295 \text{ W/m}^2 = -2,1 \text{ W/m}^2$ où le facteur (2/3) expliqué ci-dessus, sous le tableau 9-A, retire les effets entre air et surface compensés par évaporation-condensation et par une petite diminution de l'infrarouge solaire arrivant sur la surface plus absorbé dans la stratosphère par plus de CO₂.

Figure 9-B) Jacobiens de l'OLR en W/m²/sr par rapport aux variations d'humidité (à gauche, pour +100%) et de la température (à droite, pour +1K), sur une grille verticale kilomètre par kilomètre, pour les cinq profils types TRO tropical, MLS été moyennes latitudes, MLW hiver des moyennes latitudes, SAS été sub-arctique, SAW hiver sub-arctique.

À gauche est supposé un doublement localisé de la vapeur d'eau en un point de la grille avec décroissance linéaire de l'incrément ramené à 0 aux points voisins supérieur et inférieur de la grille au pas de 1 km.

À droite est supposé +1 K en un point de la grille avec décroissance linéaire à 0 de l'incrément aux points voisins supérieur et inférieur de la grille au pas de 1 km

{1, 2, 3, 4, 5} km en MLS font {0.89, 0.79, 0.70, 0.61, 0.54} atm.



L'humidité des basses couches en dessous de 3 km suit fidèlement la température de surface selon la relation déjà vue au § 4-1, et avec $RH(P)$ en $P^{0,5}$ $\rho_{H_2O}(P) / \rho_{air}(P) = (0,622 RH_{surface} / 101325) E_{vapeur\ saturante\ surface} P^{7,91 - 0,0165 T_{surface}}$
 par exemple: $6,5\%/^{\circ}C \times (+0,5^{\circ}C) \times 10 \text{ g/kg} = +0,325 \text{ g/kg}$ (voir figure 9-C)

Mais dans les hautes couches, celles qui rayonnent vers le cosmos (figure 6-H), la teneur en vapeur d'eau est, comme vu aux figures 4-A, 4-B et 6-E, une conséquence du mouvement de l'air, à savoir en intertropical la convection qui se déclenche à un certain moment dans la journée et, en extratropical, ce balayage régulier tous les quelques jours par des couples {anticyclones mobiles & dépression conjuguée} bien visibles sur la "photographie instantanée" de la figure 4-A, balayage explicité en annexe C.

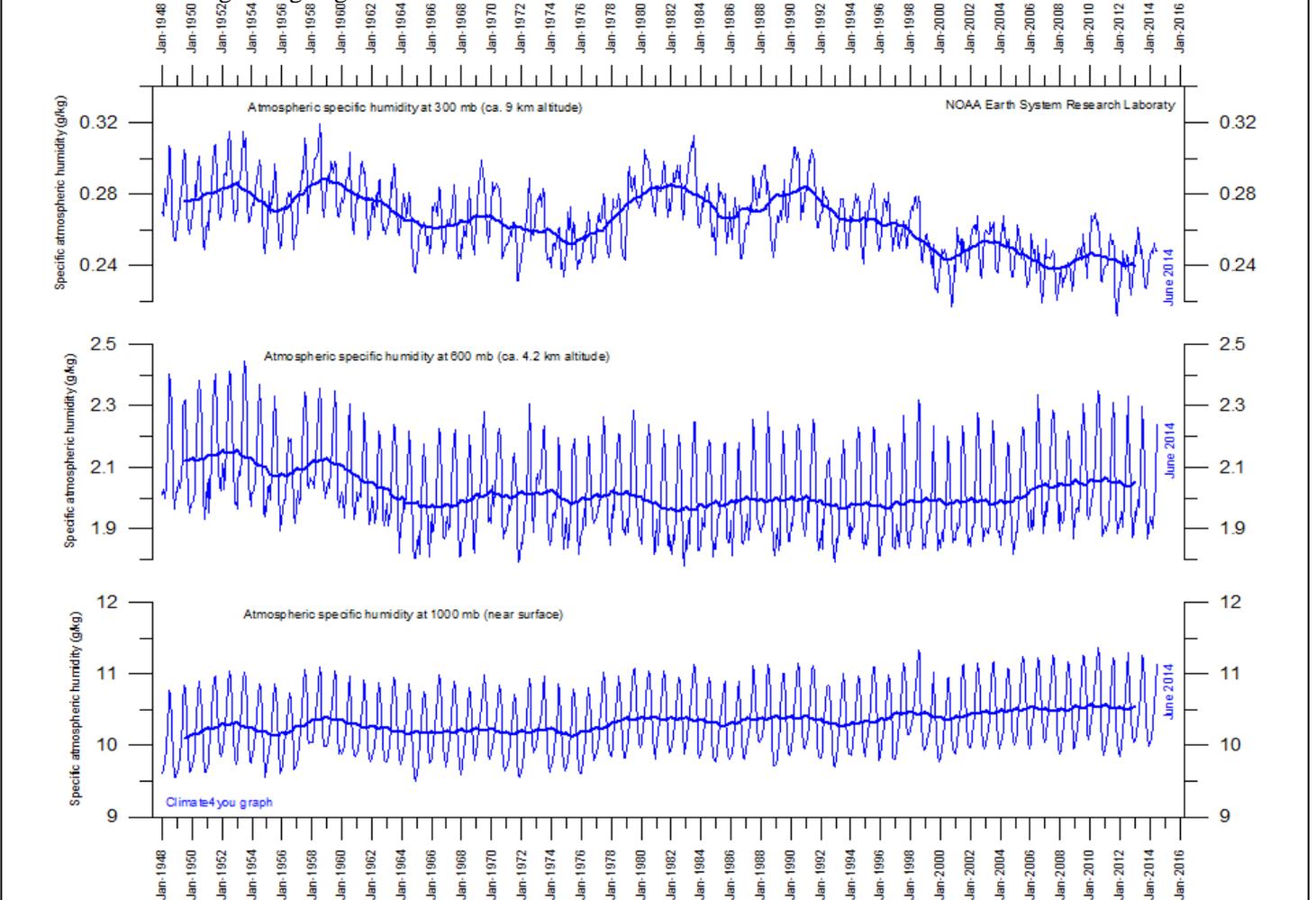
Une diminution de 10% de la vapeur d'eau des seules hautes couches, comme ce qui a été observé depuis 1948 (figure 9-C) ferait environ +1W/m² sur le flux rayonné vers le cosmos. Prendre garde que la très forte sensibilité de la pression de vapeur d'eau saturante par rapport à la température renforce sur ces "moyennes globales" la part de la zone intertropicale.

⁴⁷ Avec le rapport (19/16) suggéré au tableau 9-A entre les effets d'une diminution et ceux d'une augmentation de la teneur de l'air en vapeur d'eau

⁴⁸ en ordres de grandeur, la couche $t=1$ pour $t_{max\ H_2O}=100$ est vers $(1/100)^{(1/4,5)} = 0,36$ atmosphère et à 0,3 g/kg et est supposée occuper une tonne d'air ou 0,1 atmosphère; si la teneur est réduite de 10% il faudra une couche de plus épaisse, de base 0,4 atmosphère; l'intégrale du rayonnement entre 100 cm⁻¹ et 400 cm⁻¹ pour des températures de 294 K $0,36^{0,19} = 242$ K et de 294 K $0,4^{0,19} = 247$ K vaut respectivement 48,5 W/m² et 50,6 W/m² soit une majoration de 2,1 W/m²

Nous reviendrons dans la partie II, en détail, sur ce "paradoxe de la vapeur d'eau" qui invalide les raisonnements faits à humidité relative majorée ou minorée uniformément sur toute la hauteur de l'atmosphère; ces raisonnements conduisent à une très paradoxale – et, depuis des milliards d'années, fort heureusement non observée- auto-amplification par la vapeur d'eau de tout réchauffement ou refroidissement de l'air.

Figure 9-C) Observations des variations de la quantité de vapeur d'eau en g/kg dans l'air à trois altitudes 300 mbar (9 km), 600 mbar (4,2 km) et en surface de janvier 1948 à juin 2014 données NOAA ESRL
<https://wattsupwiththat.files.wordpress.com/2014/7/noaa2esrl2atmospericspecifichumidity2globalmonthlytempsince19482with37monthrunningaverage1.gif>



9-3) Examen des variations des différents flux rayonnés pour +20% sur l'humidité

Plus de vapeur d'eau c'est d'abord plus de rayonnement de l'air vers le cosmos, dans la fenêtre spectrale, et plus de refroidissement radiatif des basses couches

9-3-1) Vers le cosmos

Les indications qui suivent partent de l'hypothèse "invraisemblable" d'une augmentation de l'humidité uniforme sur toute la hauteur de l'air; comme déjà dit à la fin du §9-2 et montré figure 9-C, le 1% ou les 3% supérieurs de la colonne de vapeur d'eau, ont une altitude qui régule l'OLR (6-E pour l'OLR) et n'ont rien -ou presque- à voir avec la quantité totale de vapeur d'eau précipitable (figures 4-A) elle à 80% en dessous de 3 km et dépendant de la température de surface. Voir la figure 4-B: une subsidence accrue assèche la haute troposphère.

9-3-1-1) Dans la fenêtre spectrale de la vapeur d'eau: L'augmentation de la vapeur d'eau et de l'épaisseur optique de $t_{\max H_2O} = 0,3$ à $t_{\max H_2O} = 2$ augmente le rayonnement OLR de l'air (courbe noire figure 9-D gauche) dans la fenêtre spectrale de la vapeur d'eau prise ici entre 800 cm^{-1} et 1180 cm^{-1} mais réduit celui de la surface (courbe bleue figure 9-D, vignette de gauche).

Cette compensation partielle, entre flux rayonné par l'air vers le cosmos, en noir qui passe de 34 W/m^2 à 71 W/m^2 quand l'épaisseur optique passe de 0,3 à 2 et le flux de la surface après traversée de l'air, en bleu, qui passe de 63 W/m^2 à 6 W/m^2 est, à la vignette de droite, traduite en effet sur l'OLR, dans la fenêtre, d'une majoration de 20% de l'épaisseur optique: selon l'épaisseur optique initiale entre $t=0,3$ et $t=2$, l'OLR y est diminué de $-1,2\text{ W/m}^2$ à $-2,7\text{ W/m}^2$.

Figure 9-D) Flux dans la fenêtre entre 800 cm^{-1} et 1180 cm^{-1} pour un profil genre MLS en noir flux rayonné par l'air vers le cosmos⁴⁹ et en bleu flux de la surface arrivant en haut de l'air pour $T_{\text{surface}} = 294,2\text{ K}$ pour diverses épaisseurs optiques de la vapeur d'eau dans la fenêtre; surface de coefficient de noirceur 96%. En rouge OLR total. Ozone non prise en compte.

À droite $OLR_{\text{fenêtre}}(1,2 t_{\text{H}_2\text{O}}) - OLR_{\text{fenêtre}}(t_{\text{H}_2\text{O}})$ fonction de $t_{\text{H}_2\text{O}}$, id est réduction de l'OLR dans la fenêtre par +20% de vapeur d'eau

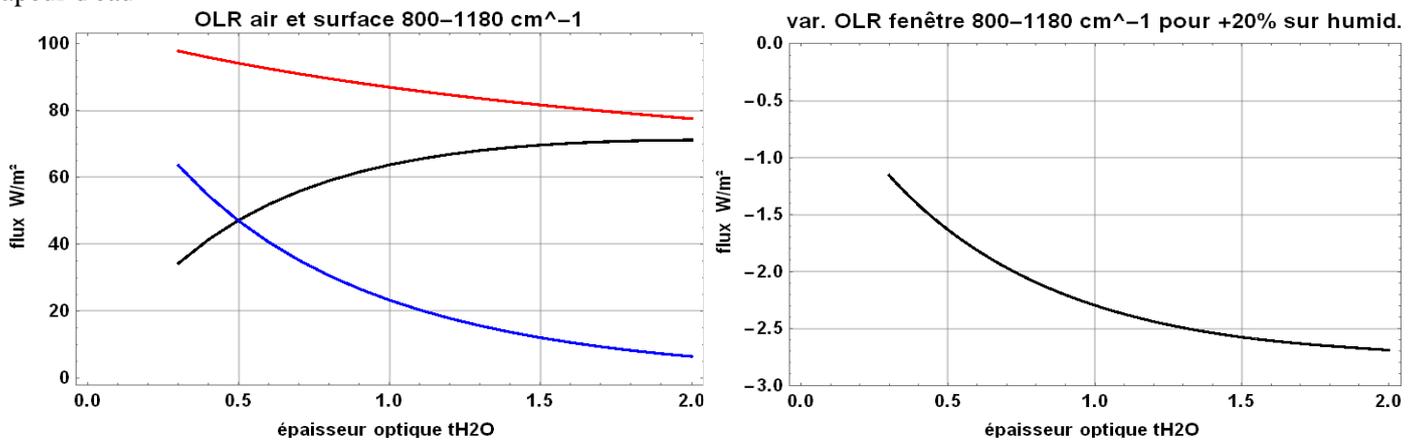
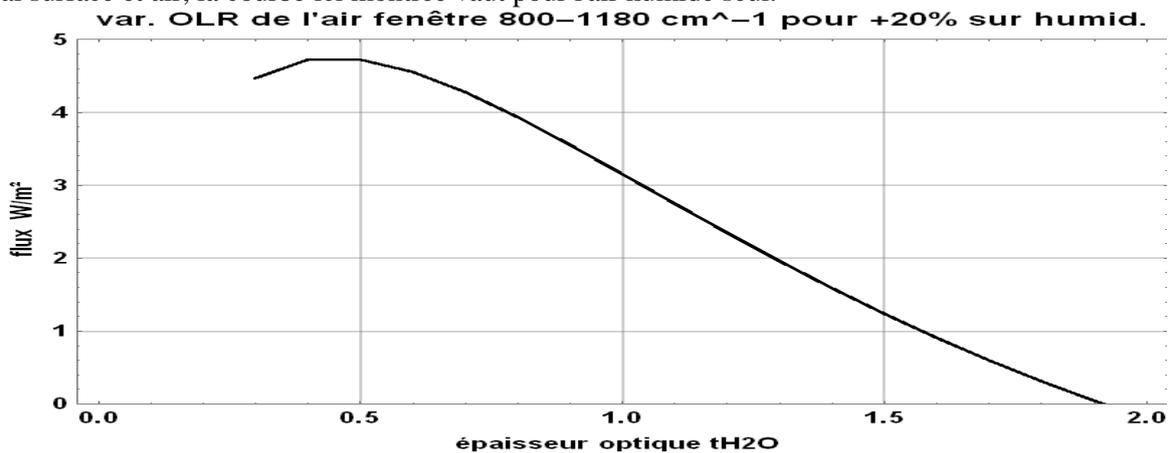


Figure 9-D-bis) Augmentation en W/m^2 du rayonnement OLR de l'air, dans la fenêtre, pour +20% sur l'humidité en fonction de $t_{\text{H}_2\text{O}}$ initial pour $0,3 < t_{\text{H}_2\text{O}} < 2$; profil genre MLS.

Correspond à la dérivée de la courbe noire de la figure 9-D, à gauche. La courbe noire de la figure 9-D à droite vaut pour l'OLR global surface et air; la courbe ici montrée vaut pour l'air humide seul.



C'est bien un effet des basses couches comme le montre le refroidissement dans la fenêtre, figure 6-H vignette du bas. Tous ces calculs sous-estiment légèrement l'absorption par la vapeur d'eau: l'absorption dite du continuum croît comme le carré de la teneur en vapeur d'eau et croît quand les températures diminuent; elle serait due à des dimères (paires de molécules H_2O) ou à des collisions persistantes entre molécules H_2O et augmente l'absorption dans la fenêtre.

9-3-1-2) Dans les hautes couches: une augmentation de l'humidité uniforme, ajoutera l'effet du "plus haut plus froid" (figure 9-A, en dessous de 600 cm^{-1} , partie FIR du spectre), pour environ -2 W/m^2 .

Au total, la somme des deux contributions de la vapeur d'eau, des basses couches ("fenêtre" surtout, figure 9-D vignette de droite) et des hautes couches ("plus haut plus froid" hors fenêtre) fait les $-3,8\text{ W/m}^2$ du tableau 9-B *infrarouge thermique vers le cosmos*, en partie compensé par plus d'absorption du solaire et un peu plus de rétrodiffusion du solaire.

9-3-1-3) Collins et al. (2006)⁵⁰ trouve par un calcul raie par raie (*line by line*) sur toutes les raies des gaz traces, pour le profil type MLS les "forçages radiatifs" du tableau 9-B. D'autres auteurs proposent des analyses comparables⁵².

Tableau 9-B Changements en W/m^2 des flux solaire et infrarouge thermique pour une majoration de 20% des teneurs de

⁴⁹ $f_{\text{montant}}(v)$ en haut de l'air est $\pi \int_0^{t_{\text{max}}} B(v, T(t'))^2 E_2(t') dt'$ comme vu au §5-5.

⁵⁰ Collins, W. D. et 20 co-auteurs, (2006), *Radiative forcing by well-mixed greenhouse gases: Estimates from climate models in the IPCC Fourth Assessment Report (AR4)*, J. Geophys. Res., 111, D14317, doi:10.1029/2005JD006713.

Nous reprenons les différences "2b -1a" et "4a-2b" appelés forçages dans cet article.

⁵² S. A. Buehler, A. von Engeln, E. Brocard, V. O. John, T. Kuhn, P. Eriksson *The Impact of Humidity and Temperature Variations on Clear-Sky Outgoing Longwave Radiation* J G R, 2008, DOI:10.1029

V. O. John, S. A. Buehler, A. von Engeln P. Eriksson, T. Kuhn, E. Brocard, G. Koenig-Langlo *Understanding the variability of clear-sky outgoing long-wave radiation based on ship-based temperature and water vapour measurements* Q. J. R. Meteorol. Soc. (2006), 132, pp. 1-17 doi: 10.1256/qj.05.70

l'air en vapeur d'eau (la référence est dans ce cas l'état trouvé pour 574 ppm de CO₂) à températures de l'atmosphère figées, à trois niveaux: surface, tropopause et haut de l'atmosphère. Profil MLS (Collins et al. 2006 op. cit.)

en W/m ²	reçu en surface	à 200 hPa	vers le cosmos
H ₂ O x 120% solaire absorbé (dist. zen. 53°)	-5,9	- 0,5 sur le flux descendant	+0,75
H ₂ O x 120% infrarouge thermique	+11,5 sur le flux descendant	- 4,5 sur le montant net flux _{montant} - flux _{descendant}	- 3,8

9-3-1-4) Variation du flux OLR venant de la surface et de l'air:

Les formules empiriques de F. Miskolczi, à la figure 4-C disent, avec le profil MLS à 294,2 K en surface ($w = 30 \text{ kg/m}^2$ de vapeur d'eau, sans nuage, de jour, sans inversion nocturne), pour une majoration de 20% de la vapeur d'eau précipitable, pour les bandes WIN, MIR et FIR, une diminution du flux de la surface parvenant au cosmos de $\{56.7, 1.27, 0.07\} \text{ W/m}^2$ à $\{48.5, 1.17, 0.03\} \text{ W/m}^2$, soit dans la fenêtre WIN une diminution de $8,2 \text{ W/m}^2$ sous l'hypothèse –abusive- d'une surface corps noir. La figure 9-D vignette de gauche, courbe bleue, dit une diminution de $6,5 \text{ W/m}^2$ pour une épaisseur optique passée de 0,5 à 0,6, surface corps gris de noirceur 96%.

Ce changement de $- 8,2 \text{ W/m}^2$ (ou $- 6,5 \text{ W/m}^2$) du flux OLR venant de la surface est compensé

(1) par le supplément de rayonnement OLR de l'air dans la fenêtre vu Figure 9-D-bis vers $+ 4 \text{ W/m}^2$

(2) par l'augmentation du chauffage solaire (figure 2-B, tableau 9-B: $+5,9 \text{ W/m}^2$ soleil à 37°) à peu près uniforme en dessous de 400 mbar (figure 9-E), chauffage re-rayonné en altitude, soit $+2$ à $+3 \text{ W/m}^2$ sur 24 h,

(2 bis) par une légère augmentation du solaire rétrodiffusé ($+0,75 \text{ W/m}^2$ au tableau 9-B dernière colonne)

mais sont

(3) aggravés par l'éventuel effet "plus haut plus froid" des hautes couches, en dehors de la fenêtre (figure 9-A pour la vapeur d'eau), conséquence de l'hypothèse "humidité relative constante" mais non observé (figure 9-C, courbe du haut).

9-3-2) Entre air et surface pour une humidité supposée majorée de 20%

Les formules empiriques de F. Miskolczi, figure 4-C disent, pour $+ 20\%$ sur la teneur de l'air en vapeur d'eau, un supplément de rayonnement de l'air vers la surface⁵³ de $10,3 \text{ W/m}^2$ ($11,5 \text{ W/m}^2$ au tableau 9-B).

Le bas de l'air, par cette opacification de la fenêtre de la vapeur d'eau, perd donc presque 2 W/m^2 différence entre $+10,3 \text{ W/m}^2$ rayonnés, et les $+8,2 \text{ W/m}^2$ absorbés: ça le refroidit entre 800 mbar et la surface (figure 9-E) de $(- 2 \text{ W/m}^2) (86400 \text{ secondes/jour}) / (2000 \text{ kg} \times 1005 \text{ J/kg}) = -0,085 \text{ K} / (24 \text{ heures})$ sur 200 mbar autour de 900 mbar,

Les basses couches, dans la fenêtre, perdent en plus, par augmentation de l'OLR, les 2 W/m^2 à 4 W/m^2 de la figure 9-D-bis. La somme de ces deux causes de perte de chaleur, au bénéfice du cosmos et de la surface, est représentée figure 9-E.

9-3-3) Refroidissement et réchauffement en fonction de la pression

La figure 9-E montre en fonction de la pression, pour le profil type MLS et $+20\%$ sur la teneur en vapeur d'eau, le refroidissement en bleu, le réchauffement solaire en rouge et une résultante approchée en magenta.

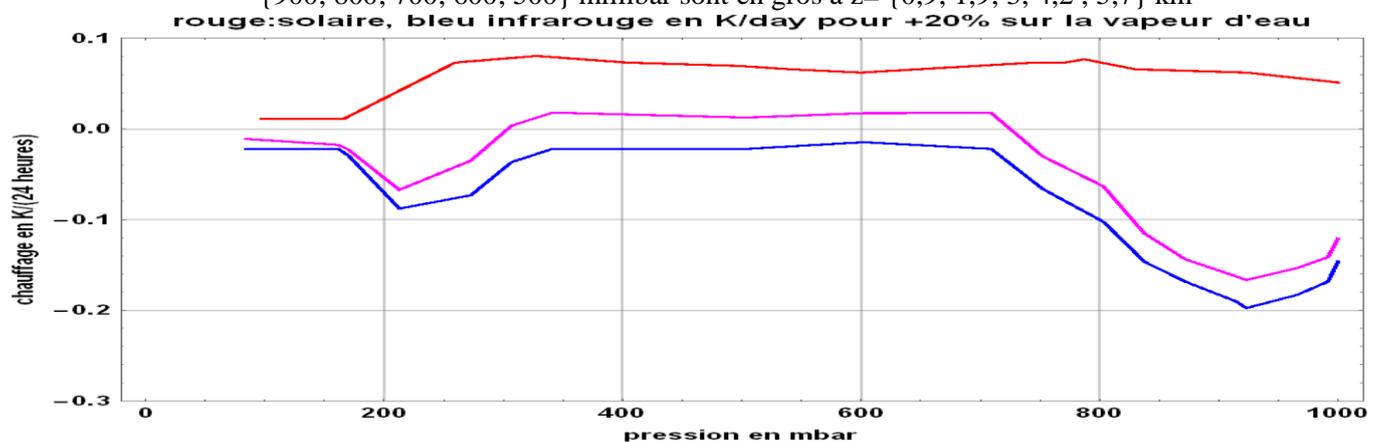
Figure 9-E) (Collins et al. 2006, figure 13) Profil type MLS, pour une majoration uniforme de 20% de l'humidité, en K/(24 heures) et en fonction de la pression en mbar (la surface est à droite en $P=1000 \text{ mbar}$)

* en rouge, supplément de chauffage solaire (élévation de 37°),

* en bleu, supplément de refroidissement en infrarouge thermique et

* en magenta, somme des deux effets, en divisant le solaire par 2 pour tenir compte des nuits.

{900; 800; 700; 600; 500} millibar sont en gros à $z = \{0,9; 1,9; 3; 4,2; 5,7\} \text{ km}$



9-3-4) Pour résumer ces exercices de calcul

⁵³ Les flux rayonnés par l'air vers la surface dans les trois bandes WIN (Window, 721 cm^{-1} à 1250 cm^{-1}), MIR (Medium InfraRed de 1250 cm^{-1} à 2500 cm^{-1}) et FIR (Far InfraRed, en dessous de 721 cm^{-1}) passent de $\{86.9, 52.5, 213.2\} \text{ W/m}^2$ à $\{96.7, 52.7, 213.5\} \text{ W/m}^2$ soit en tout $+10,3 \text{ W/m}^2$ dont $+9,8 \text{ W/m}^2$ dans la fenêtre.

(a) Dans la fenêtre, 800 cm^{-1} à 1180 cm^{-1} , l'OLR (air + surface) diminue quand augmente l'humidité des basses couches; l'absorption par l'air du rayonnement de la surface est en partie compensé par plus d'émission de l'air entre 0 km et 3 km, comme vu aux figure 9-D (vignette de gauche, courbe en rouge), 9-D bis et 6-H (localisation du refroidissement).

(b) Le surcroît de rayonnement de l'air vers la surface, corrigé de la réduction de l'infrarouge solaire reçu par la surface, est absorbé par quelques microns d'eau liquide, évacué par évaporation et contribue à l'OLR là où se produit la condensation. Il ne devrait pas avoir d'effet significatif en "moyenne globale".

(c) +20% sur les teneurs en vapeur d'eau des basses couches implique un refroidissement calculé de l'air de $0,15\text{ K}$ / (24 heures) vers 900 mbar (figure 9-E), somme de deux effets (1) l'augmentation de l'OLR de l'air dans la fenêtre (qui dépasse 4 W/m^2 pour $0,2 < t_{\text{H}_2\text{O}} < 0,8$ (figure 9-D bis)) et (2) l'augmentation du rayonnement net de l'air plus humide vers la surface.

(d) Le chauffage solaire uniforme en dessous de 300 mbar (pour ce profil MLS) compense à peu près le refroidissement entre 300 et 750 mbar, mais pas en dessous.

(e) La teneur en vapeur d'eau des hautes couches au dessus de 400 mbar, le 1% de la vapeur d'eau précipitable (cas MLS), est de nature dynamique et peut varier en sens inverse de la teneur en vapeur d'eau des couches basses (figure 9-C). L'effet "plus haut plus froid" en infrarouge lointain (FIR) y est donc fort discutable et d'autant plus incertain que la vapeur d'eau se condense.

9-3-5) Mais +20% sur l'humidité, est-ce possible ?

Comme affirmé au § 8 la vapeur d'eau est un régulateur **non linéaire** en fonction de la température, puisque les changements de phase, évaporation et condensation, et le démarrage de la convection sont des fonctions très non linéaires de la température.

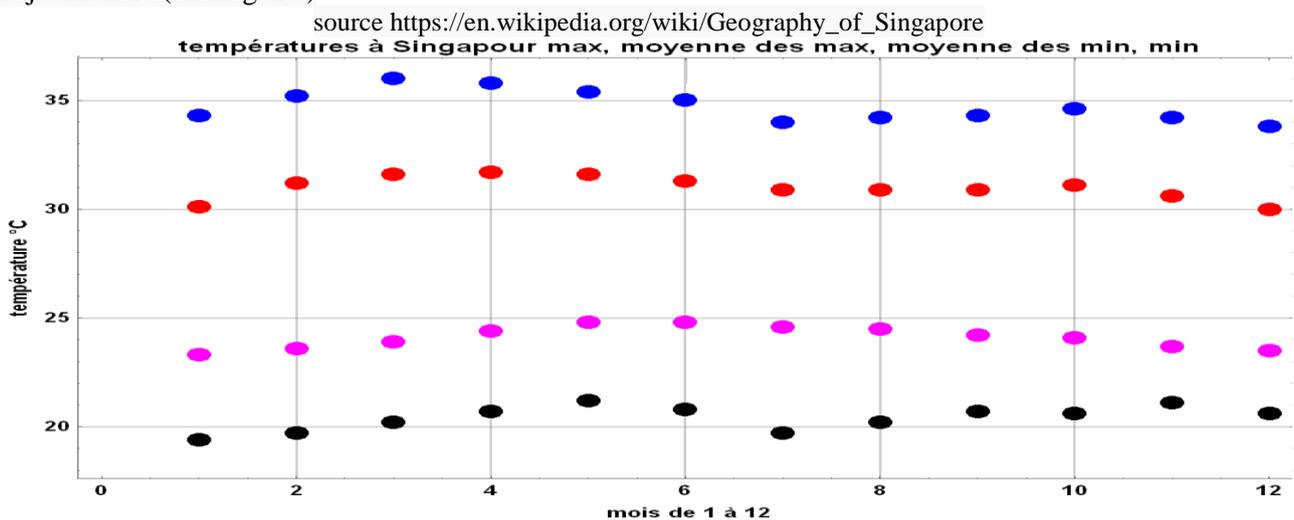
Le minimum de température de surface en fin de nuit limite la quantité de vapeur d'eau dans l'air des basses couches.

A Singapour (figure 9-F) où l'amplitude des températures sur 24 heures est une des plus faibles de la planète, la différence entre températures quotidiennes max (milieu d'après midi) et min (fin de nuit) est, en moyenne mensuelle, de $6,3^\circ\text{C}$ en juillet et de $7,7^\circ\text{C}$ en mars (différence entre les points rouge et magenta de la figure 9-F).

$E_{\text{sat}}^{\text{vapeur}}$ vaut 3160 Pa à 25°C et 4739 Pa à 32°C . Près de la surface $E_{\text{sat}}^{\text{vapeur}}$ (moyenne des max quotidiens) est en gros 150% de $E_{\text{sat}}^{\text{vapeur}}$ (moyenne des min quotidiens).

L'humidité relative moyenne à Singapour de 84% en surface est presque saturée en fin de nuit et réduite à 60% en milieu d'après midi, s'il ne pleut pas.

Figure 9-F) Températures extrêmes (noir et bleu) et moyennes (magenta et rouge) à Singapour à 1°N (années 1929–1941 & 1948–2011) de janvier (1) à décembre (12): moyennes sur le mois des maxima journaliers (en rouge) et des minima journaliers (en magenta)



Pour une humidité relative RH de 80% en surface – le minimum sur les océans et une partie des continents-, une majoration de 20% porte RH à 96%.

A $294,2\text{ K}$ (surface, profil MLS) $E_{\text{sat}}^{\text{vapeur}} = 2489\text{ Pa}$ par rapport à une surface d'eau plane.

RH= 96% implique une pression partielle de vapeur d'eau $e = 2390\text{ Pa}$, saturante à $293,5\text{ K}$, soit $0,7\text{ K}$ de moins que T_{surface} ; ces $0,7^\circ\text{C}$ sont quatre jours de refroidissement à $-0,17\text{ K}/(24\text{ h})$ selon la figure 9-E.

Il n'y aura donc de majoration possible de l'humidité en kg/kg que par une augmentation de la température de l'air; rabâchons encore que l'hypothèse "humidité relative constante" (dernière colonne du tableau 9-A) ne s'applique pas en haut de l'air où la vapeur est plus éloignée – en "moyenne"- de la saturation qui est bien moins clairement définie car la pression superficielle des nano-gouttelettes autorise de fortes sursaturations par rapport à la formule donnant $E_{\text{sat}}^{\text{vapeur}}(T)$ pour une surface d'eau plane.

9-4) Effet d'un hypothétique doublement des teneurs de l'air en dioxyde de carbone

Le tableau 9-A dit une diminution calculée de l'OLR (cas 2 x CO₂, colonne n°5) pour les profils TRO de -1,1% de 295 W/m² (-3,3 W/m²) et SAW de -0,8% de 201 W/m² (-1,6 W/m²).

Le CO₂ situé au dessus de la vapeur d'eau n'absorbe, sauf pôles en hiver, que 2% environ du flux de la surface absorbé surtout par la vapeur d'eau et les nuages bas (figure 9-A bis à gauche; transmission de 6% pour t=2).

La vapeur d'eau ne laisse au CO₂ troposphérique (en dessous de 200 mbar, figures 9-A et 9-A-bis) qu'un effet minime de refroidissement par rayonnement vers le cosmos, sur des plages spectrales étroites autour de 618 cm⁻¹ et de 720 cm⁻¹ car le gros du rayonnement du CO₂ se fait depuis la stratosphère (figure 6-I) pour disons 15 W/m².⁵⁵

Le refroidissement de la haute troposphère et de la basse stratosphère sur le spectre du CO₂, alimente en chaleur des zones autour de la tropopause, représentées en gris sur la figure 6-H vignette du haut; ce transfert net de chaleur vers la tropopause est évacué par le rayonnement vers le cosmos des raies des rotations de la vapeur d'eau des mêmes couches.

9-4-1) Absorption du solaire à 4,3 µm, fermeture de la fenêtre de la vapeur d'eau à 760 cm⁻¹ et supplément d'évaporation en surface

Le supplément d'absorption par l'air de l'infrarouge solaire à 4,3 µm et à 2,5 µm suite au doublement supposé de la teneur en CO₂ vaut, dans la stratosphère et la haute troposphère environ 0,4 W/m² en moyenne sur 24 heures; ça dépend évidemment de la hauteur du soleil sur l'horizon, donc de la latitude, de la saison, etc.

Ces 0,4 W/m² absorbés par l'air surtout de la stratosphère ne parviennent plus à la surface et sont rayonnés vers le cosmos dans la couche où a lieu l'absorption; ça compense en partie le moindre rayonnement de la surface vers le cosmos

conséquence du supplément $2 E_3(t_{H_2O} + t_{nuages}) f(t_{CO_2}(v))$ d'absorption par l'air du rayonnement de la surface, vu au § 5-6.

Pour le profil type "été des moyennes latitudes", ce moindre rayonnement de la surface vers le cosmos entre 750 cm⁻¹ et 800 cm⁻¹ (voir figure 3-F vignette de droite), pour un doublement de la teneur en dioxyde de carbone est de l'ordre de 0,8 W/m².

Il n'y aura donc, finalement, au point considéré, pour ces deux effets pris ensemble, qu'une réduction de 0,8 - 0,4 = 0,4 W/m² du rayonnement du globe vers le cosmos.

Mais le doublement de la teneur en CO₂ amène aussi un supplément de rayonnement de l'air vers la surface de l'ordre de 1 W/m², compensé en partie par la diminution susmentionnée de 0,4 W/m² de l'infrarouge solaire arrivant en surface.

Ce supplément de 0,6 W/m², infrarouge thermique accru et infrarouge solaire réduit, tombant sur la surface n'est pas "piégé" mais en réalité évacué par l'évaporation au prix d'une augmentation de la température de surface de l'ordre de 0,1°C⁵⁶, à étaler sur 200 ans à +2 ppm/an. Et, là où ce menu supplément de vapeur d'eau se condense, il restitue au rayonnement du globe vers le cosmos les 0,6 W/m² évaporés.

Il n'y a donc finalement aucune réduction du rayonnement global vers le cosmos mais le remplacement de 0,8 W/m² précédemment rayonnés par la surface vers le cosmos au bord de la fenêtre (entre 750 cm⁻¹ et 800 cm⁻¹; figure 3-F vignette de droite), par 0,4 W/m² (ou un peu moins) rayonnés en plus par la stratosphère au même endroit et 0,6 W/m² rayonnés ailleurs, là où la vapeur d'eau se condense.

Les quantités en jeu, 0,4 W/m² ou 0,6 W/m², sont, rapportées aux 360 W/m² à 400 W/m² rayonnés par la surface, évidemment négligeables par rapport aux variations quotidiennes des flux rayonnés avec la variation de l'humidité de l'air, qui elle agit sur la transparence de toute la fenêtre de la vapeur d'eau.

Pour s'éviter de discuter en détail le sort de ces dixièmes de W/m², certains auteurs⁵⁷ affirment que l'absorption par le CO₂ du rayonnement de la surface est saturée et que doubler la teneur de l'air en dioxyde carbone n'a pas d'effet quant au rayonnement de la surface. C'est en théorie inexact (voir figures 9-A-bis), mais comparés aux 347 W/m² ("en moyenne" figure 6-F) absorbés par l'air, ces dixièmes de W/m² sont négligeables, et évidemment non observables.

⁵⁵ le reste du rayonnement de la stratosphère vers le cosmos vient de l'ozone (3 W/m² ?) et de raies fortes de rotations de la vapeur d'eau en infrarouge lointain

⁵⁶ 0,6 W/m² à 6 W/m²/K là où l'évaporation est de 100 W/m²: en effet l'évaporation varie comme la pression de vapeur saturante à +6,5%/K

⁵⁷ Dufresne et Treiner revue "Découverte" mars-avril 2011 *L'effet de serre atmosphérique plus subtil qu'on ne le croit* pp. 32-43

*"L'effet de serre atmosphérique est souvent expliqué par analogie avec l'effet-de-serre produit par une vitre... or cela est **doublement inexact** ni les particularités de l'absorption du rayonnement terrestre par le dioxyde de carbone ni la variation de la température de l'atmosphère avec l'altitude ne sont correctement prises en compte."*

Suit une "explication de l'effet de serre [radiatif] d'une vitre" avec les âneries habituelles: "-18°C si les gaz à effet de serre n'existaient pas", ... "si la concentration en gaz à effet de serre augmente, l'absorption par l'atmosphère augmente sa température ... et elle enverra plus d'énergie vers le sol qu'auparavant d'où une augmentation de la température d'équilibre de la surface" ... mais ce paragraphe se termine par : "**Il se trouve que cette explication est fautive pour certains gaz comme le CO₂...**"

*"Qu'advient-il si l'on modifie les concentrations [de la vapeur d'eau et du CO₂] ? Le résultat est inattendu, mieux il soulève une interrogation **cruciale**... Pour le dioxyde de carbone on constate en effet sur la figure 4 que **L'absorptivité du rayonnement infrarouge par l'atmosphère ne change pratiquement pas** ! (idem dans la revue La Météorologie page 35, 2ème colonne)*

9-4-2) Le "plus haut plus froid" du seul CO₂ troposphérique

La figure 9-A montre autour de 618 cm⁻¹ et de 720 cm⁻¹ le passage de disons P=0,37 à P= 0,62 x 0,37 = 0,23 et donc une réduction du flux émis vers le cosmos de 0,22 W/m²/cm⁻¹ à 0,16 W/m²/cm⁻¹ sur une bande de fréquences de 30 cm⁻¹ soit -1,9 W/m² (ou -1,6 W/m² selon Hansen, Science, 1981 voir figure 14-D).

Cet effet augmente le refroidissement de la couche P=0,23 et diminue le refroidissement à P=0,37, soit "plus froid au dessus et plus chaud en dessous" ce qui semble instable vis-à-vis de la convection.

Et comme vu au § 9-3 et à la figure 9-A, une diminution de 10% de la vapeur d'eau de ces mêmes couches autour de 300 mbar suffit à compenser la diminution du rayonnement vers le cosmos du CO₂ troposphérique de ces mêmes couches.

9-4-3) Exemple de calcul des flux rayonnés de l'air et variation du chauffage radiatif de l'air pour 2 x CO₂

Tableau 9-C "Forçage radiatif" en W/m² pour un doublement des ppm à 574 ppm (Collins et al. op. cit., 2006) à profils types MLS de température et d'humidité inchangés: flux solaire et flux infrarouge thermique

	reçu en surface	à 200 hPa tropopause	vers le cosmos
CO ₂ 287→574 ppm solaire (dist. zen.53°)	-0,96	- 0,77 sur le flux descendant	+0,12
CO ₂ 287→574 ppm infrarouge thermique	+1,6 sur le flux descendant	- 5,5 sur le montant net	- 2,8

Le -2,8 W/m² vers le cosmos (tableau 9-C en bas à droite) est bien somme des deux effets:

(1) supplément d'absorption du rayonnement de la surface de 0,8 ou 0,9 W/m² du § 9-4-1

(2) effet "plus haut plus froid" sur 30 cm⁻¹ de l'ordre de -1,6 W/m² à -2 W/m², du § 9-4-2.

Le premier est, comme rabâché, compensé par une variation de l'infrarouge reçu par la surface (infrarouge solaire réduit, infrarouge thermique émis par l'air accru) et par une légère augmentation de l'évaporation, chaleur latente que la condensation sous d'autres latitudes apportera à l'OLR global.

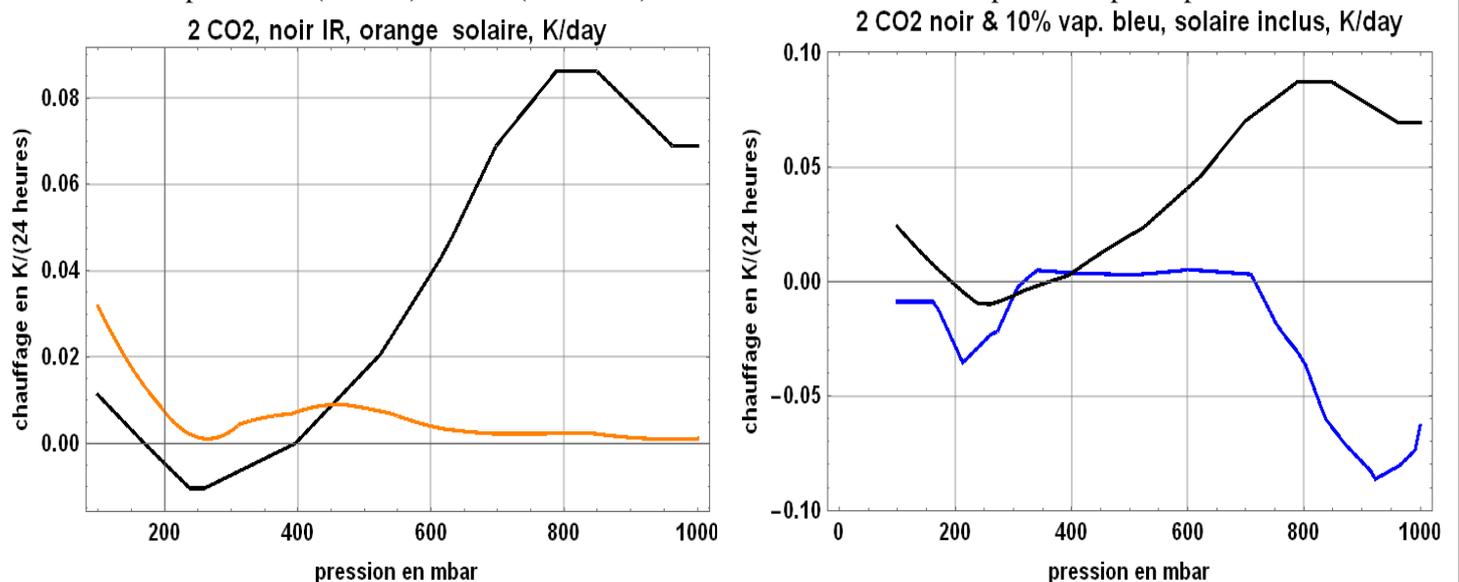
Le second (figure 9-G à gauche) avec chauffage à 800 mbar et refroidissement entre 200 et 400 mbar semble instable vis à vis de la convection.

La figure 9-G vignette de droite suggère que +10% sur la vapeur d'eau en surface compenserait en grande partie la modification du réchauffement dû au 2 x CO₂ en dessous de 800 mbar, ... si une augmentation des températures ou du vent permettait ce supplément d'évaporation et de vapeur d'eau.

Figure 9-G (Collins et al. 2006, op. cit.) profil MLS

à gauche: modification du réchauffement par le 2x CO₂ en infrarouge thermique (en noir) et en infrarouge solaire absorbé (en orange) en °C / (24 heures)

à droite: comparaison des modifications des réchauffements (infrarouge + 0,4 x solaire) pour 2x CO₂ (en noir) et pour +10% sur la vapeur d'eau (en bleu) en °C / (24 heures) en fonction de l'altitude⁵⁸ représentée par la pression



⁵⁸ La formule du tableau 7-2 $z(\text{km}) = (T_{\text{surface}}/6,49) (1-P^{0,19})$ dit $z(\text{km})$ correspondant à P et à p (mbar) = 1013 P

9-5) Effet du minimum des températures à la tropopause: quelques leures à éviter

Comme vu au § 4-7 le refroidissement radiatif d'une couche d'air vaut en degrés/(24 heures) vaut

$$0,0083 (2 \pi B(v, T) - f_{\text{montant}} - f_{\text{descendant}}) (dt_{\text{trace}}(v, P) / dP)$$

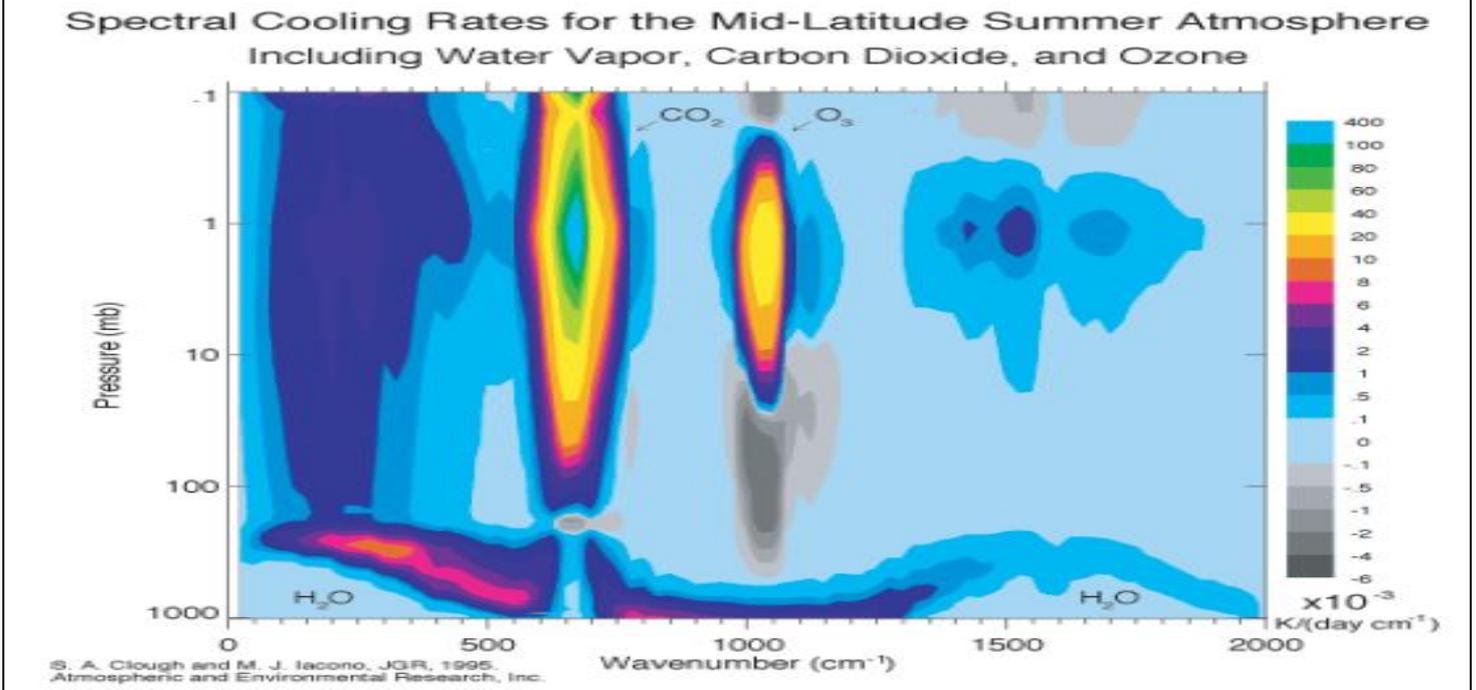
où $t_{\text{trace}}(v, P)$ est l'épaisseur optique cumulée comptée depuis le haut de l'air où $P=0$.

La figure 6-H est reproduite ici en 9-H pour montrer les zones de chauffage en gris entre 610 et 780 cm^{-1} .

L'élargissement du spectre du CO_2 (figure 9-A-bis) par le $2 \times \text{CO}_2$ se traduit par un élargissement de la zone centrale autour de 666 cm^{-1} , un élargissement de la zone en gris autour de la tropopause

Figure 9-H) Refroidissement radiatif en $\text{mK}/(24 \text{ heures}) / \text{cm}^{-1}$

profil type "moyennes latitudes en été" avec tropopause à 200 mbar; source S.A. Clough and M.J. Iacono JGR 1995, (Atmospheric and Environmental Research Inc)⁵⁹



Mais le refroidissement radiatif par rayonnement vers le cosmos ne concerne que la couche supérieure $t_{\text{gaz trace}} = 1,07$; Avec l'augmentation des teneurs le spectre d'absorption est élargi de quelques cm^{-1} ce qui est équivalent à la création au centre du spectre d'absorption de quelques cm^{-1} de forte épaisseur optique, très opaque, les bords du spectre étant seulement très légèrement décalés vers les hautes et les basses fréquences optiques.

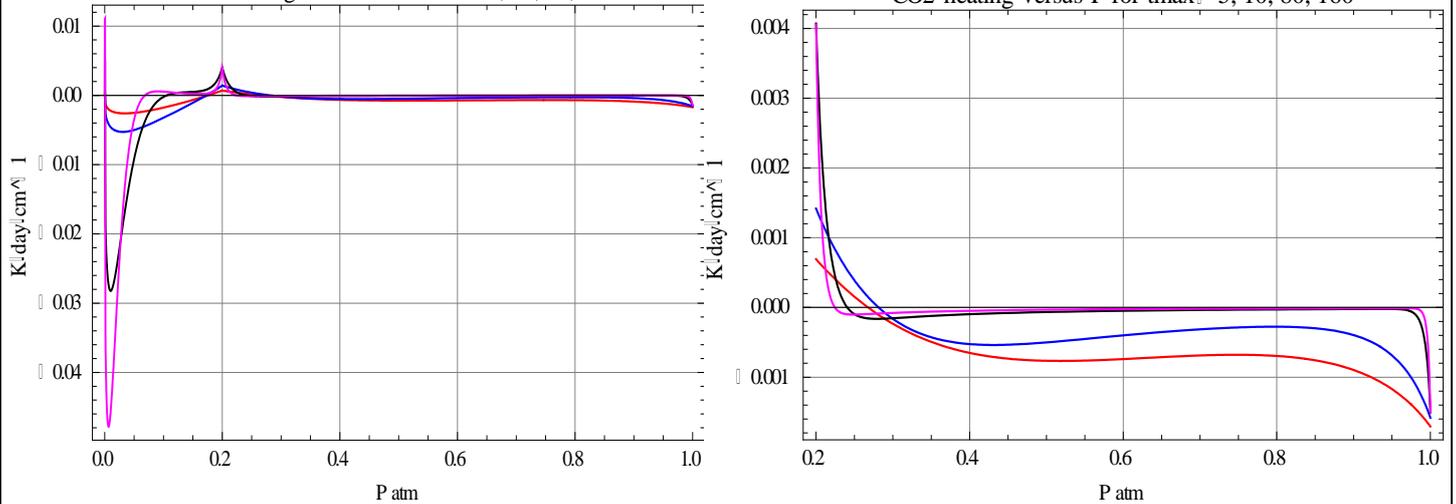
La figure 9-I montre l'effet de l'absorption à la tropopause qui croît avec l'épaisseur optique totale, alors que le refroidissement par rayonnement vers le cosmos est décalé vers les hautes couches de la stratosphère.

Figure 9-I) Chauffage radiatif en $\text{K}/(24 \text{ heures}) / \text{cm}^{-1}$ sans vapeur d'eau à 666 cm^{-1} & $T_{\text{surface}} = 288 \text{ K}$

à gauche pour $t_{\text{total CO}_2}(v)$ de 5 (rouge), 10 (bleu), 80 (noir), 160 (magenta)

à droite zoom sur la troposphère

CO_2 heating versus P for $t_{\text{max}} \square 5, 10, 80, 160$



⁵⁹ Journal of Geophysical Research: Atmospheres Volume 100, Issue D8, pages 16519–16535, 20 August 1995

http://wind.mit.edu/~emanuel/Lorenz/Lorenz_Workshop_Talks/Shepherd.pdf Ted Shepherd Stratospheric water vapour and climate <http://www.atmosphere.mpg.de/media/archive/1460.jpg>

1 à terminer

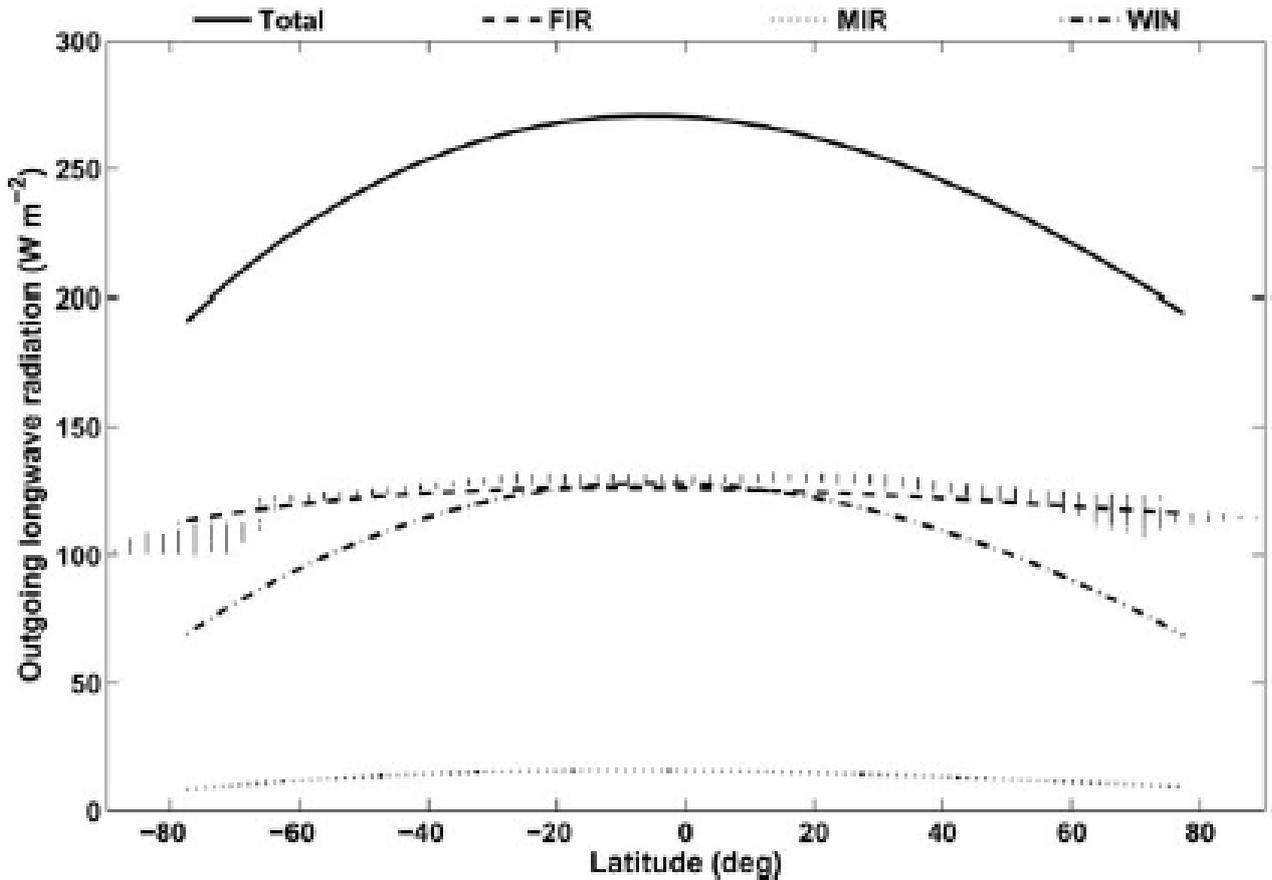
2 La figure 9-J montre que la partie infrarouge lointain, FIR (far infra red) entre 10 cm^{-1} et 720 cm^{-1} du rayonnement
3 infrarouge du globe vers le cosmos est à peu près indépendantes de la latitude: il y a donc une compensation
4 automatique entre la vapeur d'eau au dessus de 400 mbar et le CO_2 (figure 9-A) du fait de la variation de la hauteur de la
5 tropopause selon la latitude et la température de surface.

6 Pour une surface chaude et une tropopause haute et froide, le CO_2 rayonne peu vers le cosmos, mais la vapeur d'eau
7 rayonne plus.

8 Pour surface froide et une tropopause basse et chaude, le CO_2 rayonne plus vers le cosmos et la vapeur d'eau moins.

9
10 Par contre l'effet de la latitude est plus marqué pour la bande MIR et très marqué pour la fenêtre.

11 Figure 9-J) Décomposition spectrale de l'OLR: FIR (10 à 720 cm^{-1}), WIN (721 à 1260 cm^{-1}) et MIR (1261 à 3000 cm^{-1})
12 et leurs variations en fonction de la latitude. Noter la grande stabilité des émissions FIR et MIR presque indépendantes de
13 la latitude. (F. Miskolczi)



14
15 Fig. 5. Latitudinal distributions of the total and spectral components of the
16 outgoing longwave radiation. The FIR and MIR components have very small
17 latitudinal variation. The short vertical 'bars' are the estimated five year
average ERBE FIR OLR.

15 à terminer

10. Le calorimètre océanique: 2,5 m d'eau de mer ont la même capacité calorique que tout l'air au dessus

Les températures de surface des océans "déterminent à 80%" les températures de surface des continents, selon Compo & al. ⁶⁰. Voir aussi figure 6-J.

Sur un an la régulation "globale" est à mieux qu'un millième près, puisque l'on ne retrouve dans le calorimètre océanique qu'environ 0,3 W/m² des 340 W/m² reçus en haut de l'air, avec de fortes variations régionales (figure 10-C).

Les unités sont ici des Peta Watt de 10¹⁵ W noté PW et des Tera Watt de 10¹² W noté TW. Les contributions sont selon des estimations "traditionnelles" légèrement différentes de celles de la figure 6-F

* 122 PW = solaire moyen absorbé (effet de l'albédo moyen défalqué)

* 28 TW (0,9 ZJ/an) = chaleur transférée du manteau et de la croûte océanique à l'océan, jusqu'à 400 mW/m² par circulation hydrothermale le long des failles proches des dorsales océaniques mais vers 80 mW/m² en dehors des dorsales ⁶¹

* 16 TW = dégagement de chaleur des combustibles "anthropiques" (0,5 ZetaJoule/an ou 12 Gtep à répartir sur 365,25 jours x 86400 secondes) = 1,3 dix-millième du solaire

* 12 TW = chaleur venant de la radioactivité, libérée surtout dans la croûte continentale

* 3,09 TW = estimation du flux lumineux reçu de la pleine Lune

* 2 TW = dissipation turbulente des courants de marées

* estimations de 0,026 TW reçu des étoiles et 0,016 TW venant des rayons cosmiques

* "stockage" océanique de chaleur 6 mois par an et "déstockage" 6 mois par an d'environ 20 10²¹ Joule (20 ZetaJoule)

* transport de chaleur estimé à 6 PetaWatt de la zone tropicale vers le nord et autant vers le sud (figure 6-J) cette moyenne masque des variations saisonnières considérables

* 122 PW = infrarouge thermique moyen rayonné vers le cosmos, émis par l'air et très subsidiairement (1/12ème) par la surface.

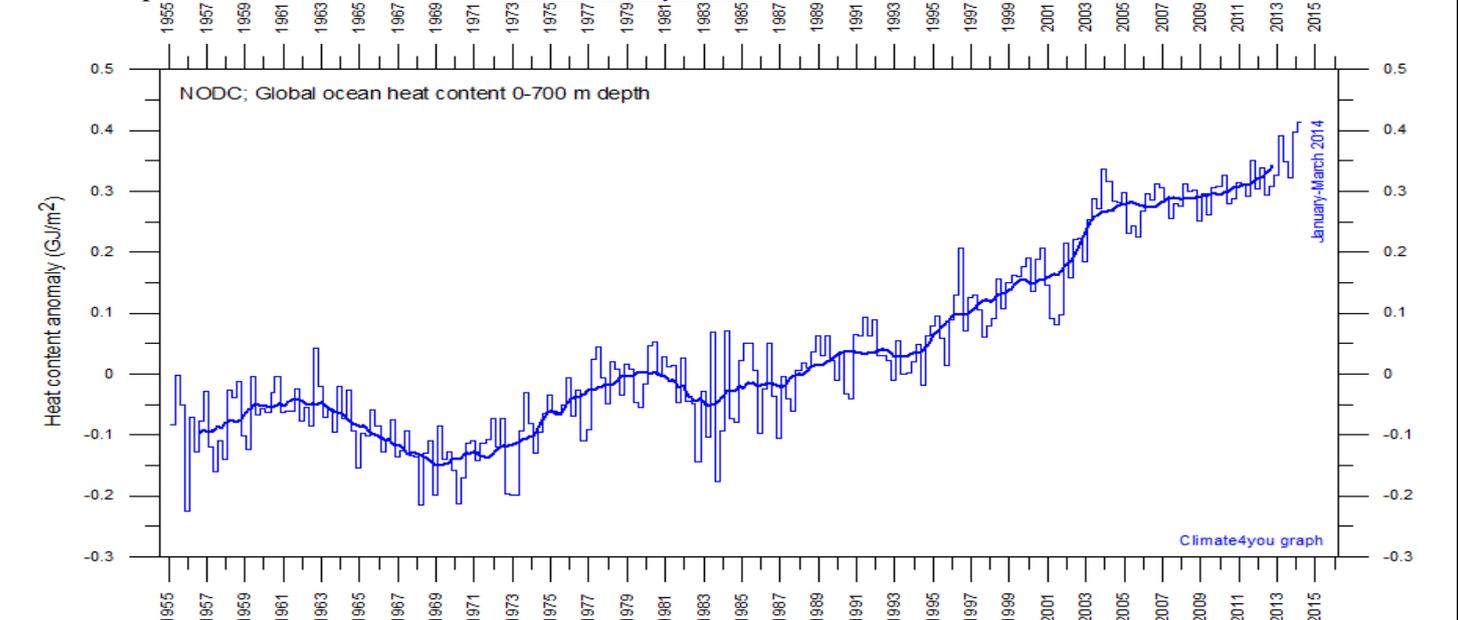
Le calorimètre océanique (figures suivantes) montre:

* une fluctuation entre trimestres de l'ordre de 0,1 GJ/m² = 36 ZetaJoule sur 361 M km²; 36 ZJ/ (6 mois) = 2,3 PW

* depuis 1975 +0,4 GJ/m² sur 40 ans soit +0,3 W/m² (et selon d'autres présentations depuis 1975 +170 ZetaJoule en 40 ans et +0,16°C sur les premiers 700 m de l'océan soit +0,35 W/m²)

0,3 W/m² est le huitième du "forçage radiatif" dit par l'IPCC-GIEC (2013, page 11, § C point 1 du résumé pour décideurs): "l'estimation du Forçage Radiatif anthropique total pour 2011 est 2,3 W/m²".

Figure 10-A) estimation en GJ/m² du contenu calorique global de l'océan sur les premiers 700 m trimestre par trimestre, de 1955 au premier trimestre 2014 selon www.climate4you.com 0,45 GJ/m²/(60 ans) = 0,24 W/m²

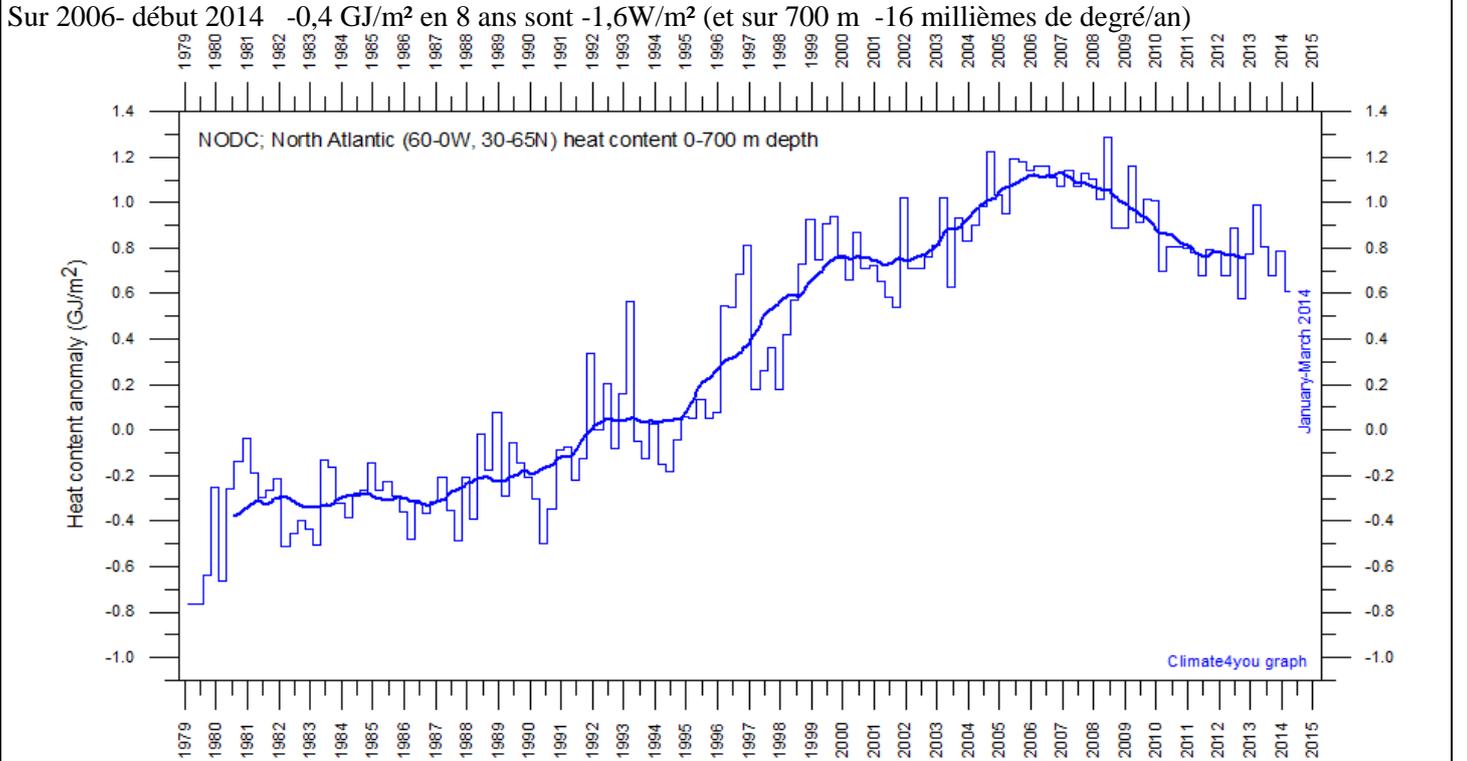


⁶⁰ Compo, G. P., and P. D. Sardeshmukh, 2009: *Oceanic influences on recent continental warming*. Climate Dynamics, 32, 333-342 doi: 10.1007/s00382-008-0448-9 "we find compelling evidence from several atmospheric general circulation model simulations without prescribed GHG (greenhouse gas), aerosol, and solar forcing variations that the continental warming in Fig. 1a is largely a response to the warming of the oceans rather than directly due to GHG increases over the continents ... our results emphasize the significant role of remote oceanic influences, rather than the direct local effect of anthropogenic radiative forcings, in the recent continental warming". Ces résultats sortent de modèles et ne peuvent donc servir de démonstration ou de preuve, seulement d'indices. Le gros des précipitations sur les continents vient des océans et seuls les déserts des centres de l'Eurasie et du Sahara n'en reçoivent point.

⁶¹ J. Emile-Geay and G. Madec: *Geothermal heating, diapycnal mixing and the abyssal circulation* Ocean Sci., 5, 203-217, 2009 www.ocean-sci.net/5/203/2009/

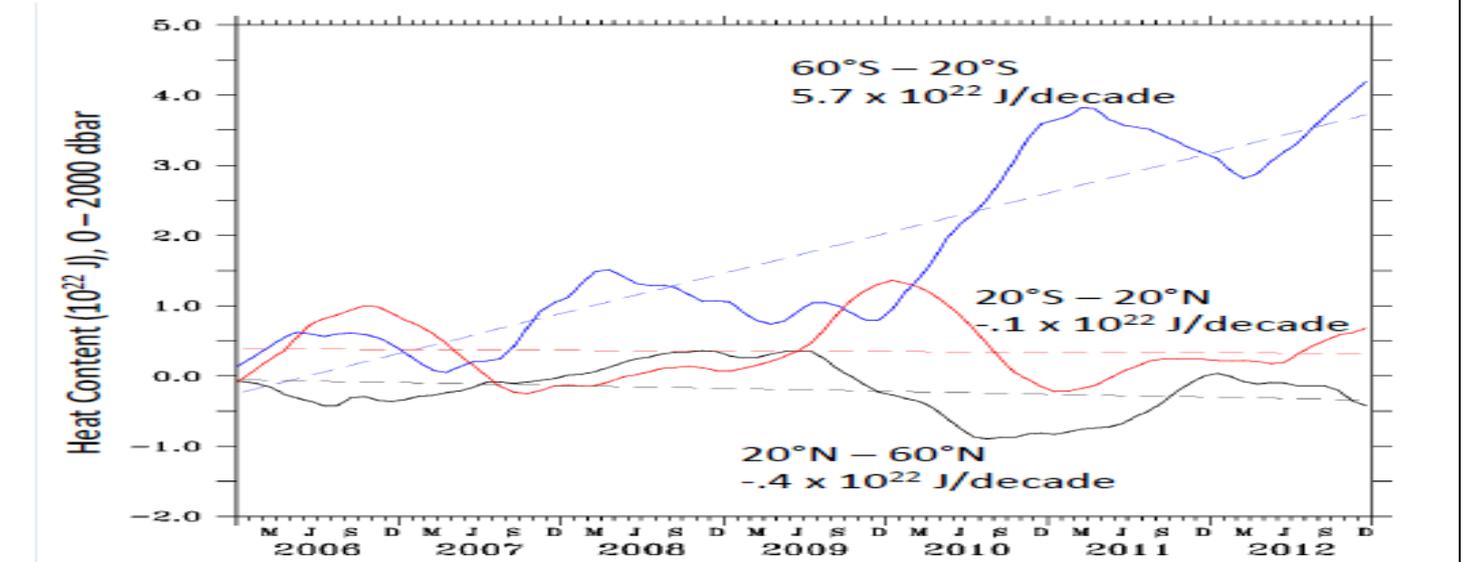
L'infrarouge est absorbé par quelques microns ou millimètres d'eau liquide; l'océan ne peut être chauffé que par les flux solaire visible et UV-A, régulés par la couverture nuageuse.
 Retenons que 1W/m^2 réparti sur les premiers 700 m de l'eau de mer sur une durée d'un an ferait + 11 millièmes de °C et + 0,03 GJ/m², donc en 33 ans 1 GJ/m² et en température 363 millièmes de °C, le triple de ce qui est observé.
 Il y a de nettes divergences entre océans et entre zones du même océan (figures 10-B et 10-C).

Figure 10-B) Contenu calorique des 700 premiers mètres de l'océan Atlantique nord (30°N-65°N), par trimestre, de 1955 au premier trimestre 2014. source www.climate4you.com



Une mise à jour de 2013⁶² montre qu'il n'y a de "réchauffement" qu'entre 20°S et 60°S, mais pas dans les autres océans.

Figure 10-C) Bouées Argo (Argo floats): évolutions du contenu calorique des océans 60°N-20°N, 20°N-20°S, 20°S-60°S entre la surface et 2000 deci-bar (2 km environ) en dizaines de ZJ (10^{22} J); 50 ZJ/(dix ans) sur 509×10^{12} m² sont $0,3 \text{ W/m}^2$



La lenteur extrême de la diffusion de chaleur dans l'océan fait qu'une augmentation de température l'ordre du dixième de degré sur les 700 premiers mètres (qui ferait 100 ZettaJoule pour tout l'océan) continue à diffuser vers les profondeurs, même si au dessus les températures ne croissent plus.

Enfin la moitié environ des données collectées dans les premières années des bouées Argo ont été éliminées⁶³: elles suggéraient un refroidissement et leurs capteurs ont été jugés suspects.

⁶² Dean Roemmich, Scripps Institution of Oceanography *Argo and Ocean Heat Content: Progress and Issues* http://ceres.larc.nasa.gov/documents/STM/2013-10/14_Global_averages.pdf

⁶³ Yan Chang-Xiang, Zhu Jiang *The Impact of "Bad" Argo Profiles on Ocean Data Assimilation* Atmospheric and oceanic science letters, 2010, VOL. 3, n° 2, 59-63 for list of "grey" floats: http://www.nodc.noaa.gov/argo/grey_floats.htm

Le graphique de la figure 10-A, trimestre par trimestre illustre bien le cycle annuel; sa forme générale se retrouve dans d'autres compilations d'observations dont la ligne noire sur la figure 10-D propose une moyenne.

Figure 10-D) Comparaison⁶⁴ de neuf évaluations différentes des changements du contenu calorifique du calorimètre océanique selon un modèle et huit compilations d'observations; ces courbes sont comprises entre $-0,2$ et $+0,2$ GJ/m² voire $+0,4$ GJ/m² en 55 ans⁶⁵ La tendance moyenne de la courbe en noir "Trend", $0,077$ GJ/m² en dix ans, fait $0,24$ W/m² et correspondrait à une augmentation de température des premiers 700 m d'eau de $+0,0027^{\circ}\text{C}$ / an (3 millièmes de $^{\circ}\text{C}/\text{an}$)

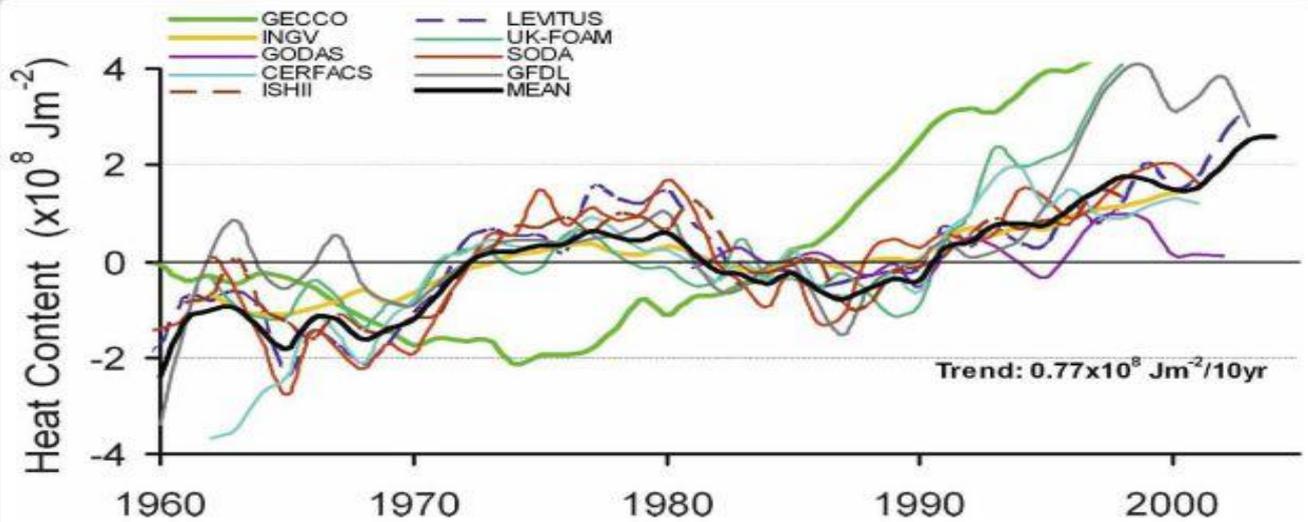


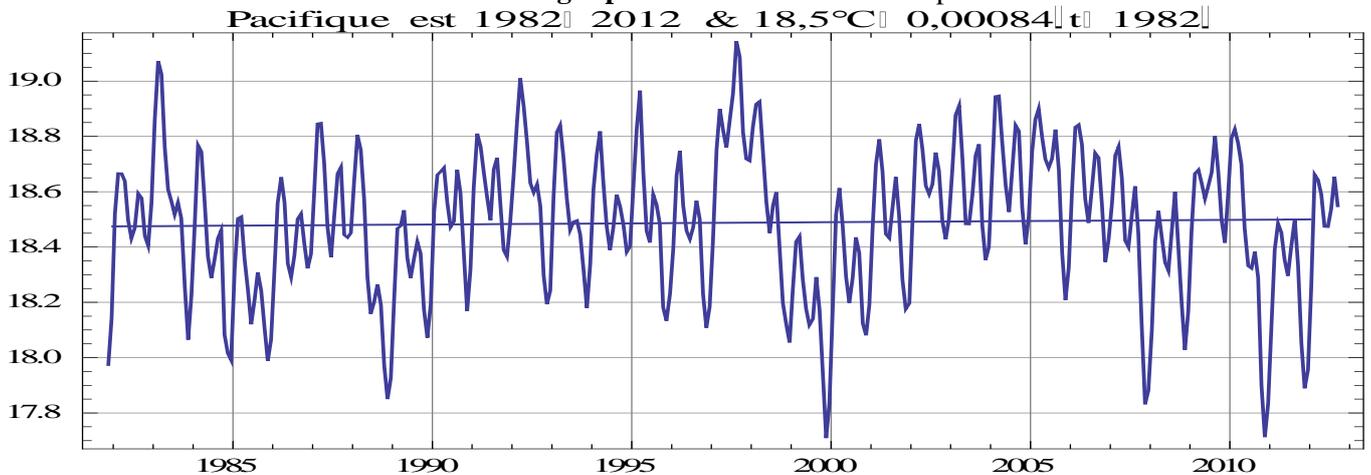
FIG. 1. Global average heat content anomalies from the individual 30-yr record means (1966–95), integrated at 0/700 m and temporally smoothed with a 1-yr running filter. Bold black curve shows the ensemble average of the eight no-model and sequential analyses. The linear trend of the ensemble average is $0.77 \times 10^8 \text{ J m}^{-2} (10 \text{ yr})^{-1}$ or 0.24 W m^{-2} , while trends of individual analyses range from 0.68 to $0.98 \times 10^8 \text{ J m}^{-2} (10 \text{ yr})^{-1}$ (0.21 – 0.31 W m^{-2}). Annual volcanic aerosol concentration is plotted along the lower axis (from Hansen et al. 2005). Global integrated heat content can be obtained from the global average by multiplying by the surface area of the World Ocean, excluding shelves, with $3.4 \times 10^{14} \text{ m}^2$.

Les $+0,46$ GJ/m² en cinquante-cinq ans (figure 10-D, courbe noire) correspondent, moyenné sur les premiers 700 m d'eau de mer, à $+0,16^{\circ}\text{C}$ et $0,26 \text{ W/m}^2$ appliqués pendant tout ce temps, soit environ un et demi millièmes de l'insolation moyenne en surface.

Rappelons que l'océan ne saurait réchauffer l'air au-delà de son propre "réchauffement" qui, en surface est de un dixième à quelques dixièmes de degrés Celsius.

Des séries continues d'observations satellitaires de la température **de surface** des océans remontent à 1982: le Pacifique à l'est de 180° et son prolongement l'océan austral entre 180° et l'ouest de la péninsule antarctique, en gros (1/3) de la surface des océans et 23% de la surface du globe, ne montre, depuis 31 ans, **aucun réchauffement** en tendance linéaire seulement les oscillations El Niño.

Figure 10-E) Températures mensuelles moyennes de la surface de l'océan Pacifique-Est (à l'est de 180°W): la tendance linéaire sur trente ans est de **huit centièmes de degré par siècle** source KNMI explorer



⁶⁴ James A. Carton and Anthony Santorelli, 2008: *Global Decadal Upper-Ocean Heat Content as Viewed in Nine Analyses*. *J. Climate*, **21**, 6015–6035. <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/2008JCLI2489.1>

discuté dans [Eruptions and Ocean Heat Content](#) Posted on [April 6, 2014](#) by [Willis Eschenbach](#)

⁶⁵ Armin Köhl *Evaluation of the GECCO2 ocean synthesis: transports of volume, heat and freshwater in the Atlantic Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* Volume 141, Issue 686, pages 166–181, January 2015 Part A

11. Variations de la couverture nuageuse et de la teneur de l'air en vapeur d'eau; les mécanismes de régulation: nuages, océans, températures observées

Le transfert de chaleur vient des différences de température entre la surface de la zone intertropicale (source chaude) et les hautes latitudes ou le "haut de l'air" défini par le couple $\{P_0, T_0\}$ du § 7 (sources froides). L'auto-organisation naturelle de ces transports de chaleur, essentiellement par la vapeur d'eau, serait pour ce système ouvert, auto-organisé, hors d'équilibre et totalement dissipatif régie par la maximisation de la production d'entropie, qui, sans qu'il soit besoin de résoudre les équations de la mécanique des fluides, donne une représentation très correcte des températures et de la couverture nuageuse (annexe B)⁶⁶. Le calorimètre océanique suggère une régulation au millième près sur 12 mois.

11-1) Rayonnement infrarouge thermique du globe

La figure suivante 11-A montre le rayonnement du globe vers le cosmos observé depuis 1974 par divers satellites et (a) des fluctuations **entre 225 W/m² et 240 W/m² mais nullement un "piégeage"** qui croîtrait avec la teneur en CO₂ (b) un stockage océanique et transitoire de chaleur qui surcompense la variation du flux solaire avec la distance Terre-Soleil: le périhélie début janvier voit un flux solaire de 1412 W/m² (Antarctique éclairé 24 heures sur 24 et Arctique dans la nuit polaire, figure 6-A) contre 1321 W/m² en juillet, alors que le **rayonnement infrarouge thermique du globe est, grâce aux océans, maximum en juillet, en retard de six mois par rapport au maximum de l'insolation** (figure 11-B).

Figure 11-A) Recueil des observations satellitaires du rayonnement infrarouge thermique du globe de 1974 à 2014, mois par mois; quelques lacunes et points "aberrants" dans cette série de mesures venant de plusieurs satellites
http://climexp.knmi.nl/data/inoaa_olr_0-360E_-90-90N_n.dat 333 ppm en 1974 et 398 ppm en 2013

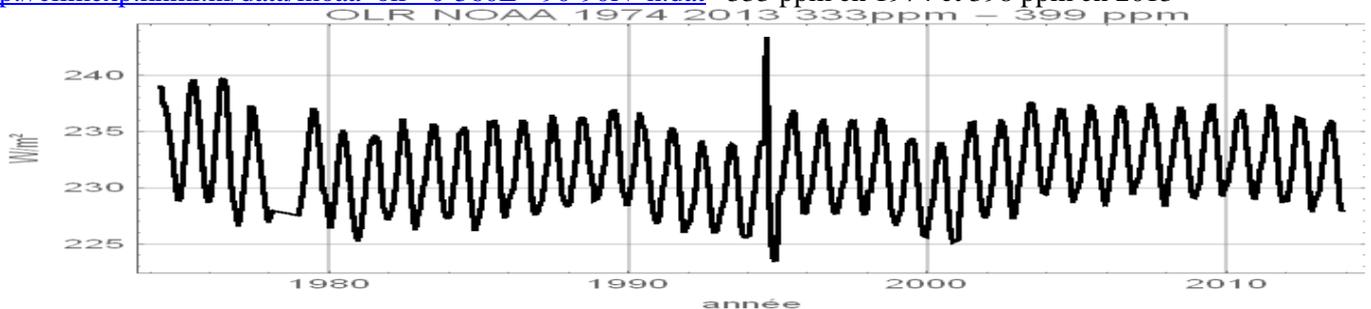
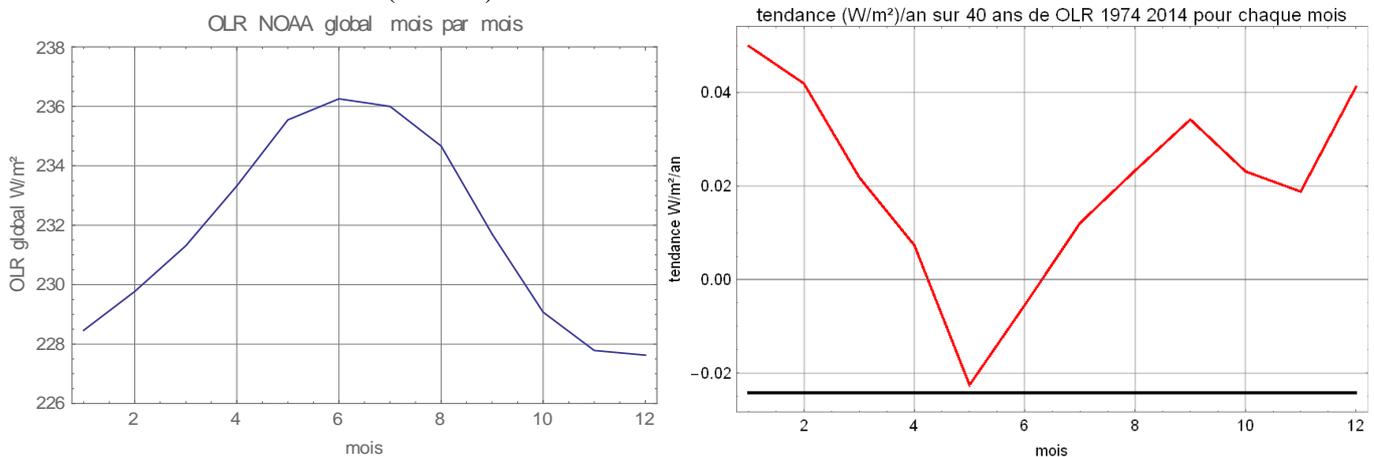


Figure 11-B) Rayonnement infrarouge thermique du globe de 1974 à 2014; pour chacun des mois: moyenne (à gauche) et tendance linéaire sur 1974-2014 (à droite)



⁶⁶ L'application de ce principe du maximum de production d'entropie à l'atmosphère terrestre restitue fort correctement la distribution observée de température et d'humidité (Garth Paltridge 1978 etc.; http://en.wikipedia.org/wiki/Non-equilibrium_thermodynamics)
<http://chiefio.wordpress.com/2014/06/01/le-chatelier-and-his-principle-vs-the-trouble-with-trenberth/> June 2014 by E.M.Smith
 Paltridge, G. W. (2001), *A physical basis for a maximum of thermodynamic dissipation of the climate system* Q.J.R. Meteorol. Soc., 127: 305–313. doi: 10.1002/qj.49712757203 /// G. W. Paltridge, "Stumbling into the mep racket: A historical perspective," in *Non-equilibrium Thermodynamics and the Production of Entropy: Life, Earth, and Beyond* (A. Kleidon and R. Lorenz, eds.), ch. 3, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2005 /// Paltridge G. W. *Global dynamics and climate- a system of minimum entropy exchange*. Quart J Royal Meteorol Soc . (1975) 101: 475-484. /// Paltridge G. W. *The steady-state format of the global climate* Quart. J.R. Met. Soc. (1978), 104, pp. 927-945 <http://www.climateaudit.info/pdf/models/paltridge.1978.pdf>
 G. W. Paltridge, G. D. Farquhar, and M. Cuntz, "Maximum entropy production, cloud feedback, and climate change," *Geophysical Research Letters*, vol. 34, 2007
 Sognnaes I. A. B. *Maximum entropy and maximum entropy production in macro-ecology*. Master thesis Norwegian University of science and technology April 2011 /// Jonathan Bertolaccini *Advection d'un scalaire passif et production d'entropie* http://www.ens-Lyon.fr/DSM/SDMsite/M2/stages_M2/Bertolaccini2012.pdf see for up to date references
 Herbert C., Paillard D., Dubrulle B. *Vertical Temperature Profiles at Maximum Entropy Production with a Net Exchange Radiative Formulation* <http://arxiv.org/pdf/1301.1550.pdf> noter dans ce papier l'hypothèse très inexacte de chauffage de l'air par le dessous (!)

11-2) Couverture nuageuse et insolation

Une évidence maintenant: les températures au sol (et surtout celles des mois chauds) et celles des premières dizaines ou centaines de mètres de l'océan dépendent de l'ensoleillement qui aux moyennes et hautes latitudes varie très fortement d'une année à l'autre et selon le mois et la latitude: voir figures 6-A (insolation), 6-B (solaire rétrodiffusé) et 6-J (transfert entre latitudes).

Figure 11-C) à gauche: en rouge températures (°C) moyennes du mois d'août en Allemagne depuis 1950 et en noir la quantité $7+$ (nombre d'heures d'ensoleillement)/20; 133 heures d'ensoleillement en 2006 et 277 heures en 2003. à droite Ensoleillement sur l'Angleterre ⁶⁷ en heures/an 1929-2013 et moyennes par dix ans: entre 1200 heures et 1800 heures par an <http://www.metoffice.gov.uk/pub/data/weather/uk/climate/datasets/Sunshine/date/England.txt>

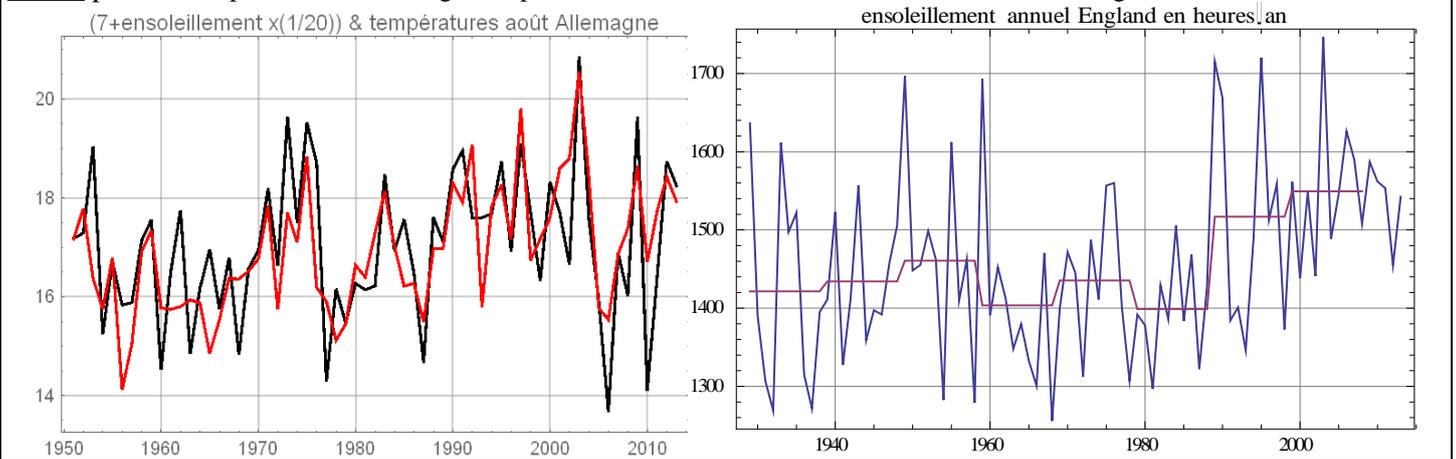
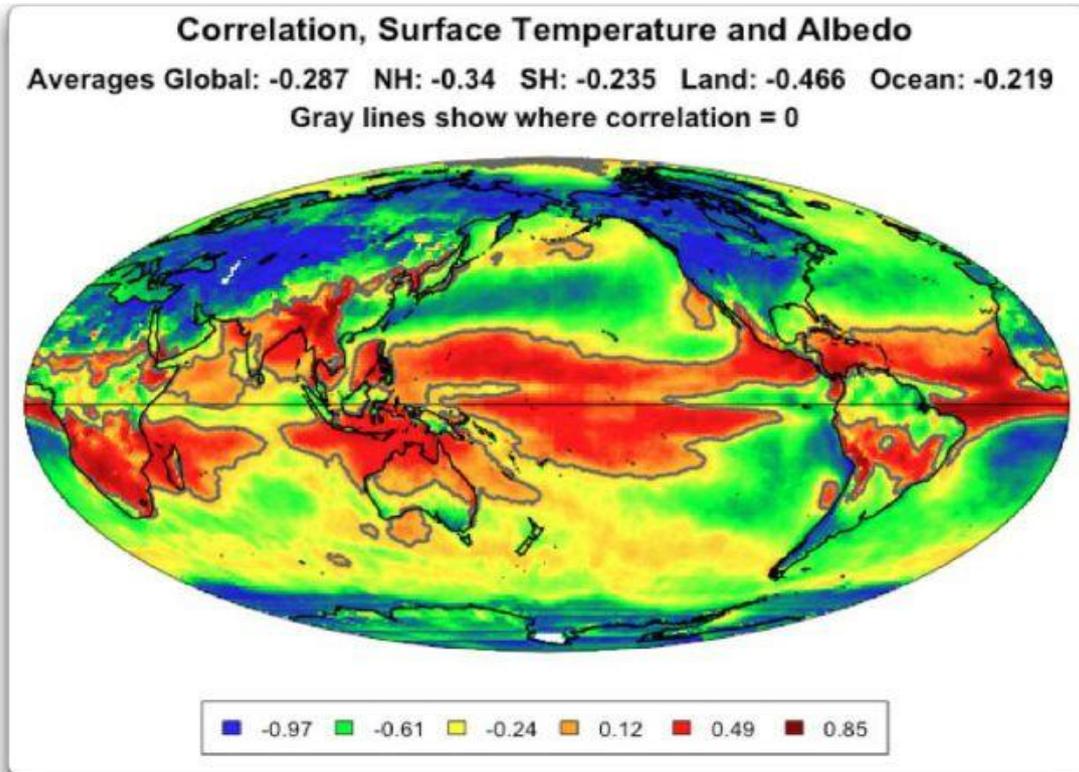


Figure 11-D) (W. Eschenbach, données CERES) ⁶⁸ En rouge, ces zones où une augmentation de la température de surface fait croître la couverture nuageuse: ce sont des zones de forte insolation et de forte convection. En bleu, ces zones où la couverture nuageuse, qui assure le rayonnement de l'air vers le cosmos, fait chuter la température de surface.



Sur les océans et les forêts humides en zone intertropicale des nuages apparaissent en milieu ou en fin de journée quand la température de surface atteint un certain seuil, avec la formation de systèmes convectifs.

⁶⁷ R. Vautard, P. Yiou, G. J. van Oldenborgh *Decline of fog, mist and haze in Europe over the past 30 years* Nature Geoscience Letters vol. 2, Feb. 2009, pp 115-119 expliquent le réchauffement de l'Europe occidentale de puis 1990 par l'amélioration de la visibilité et l'augmentation de la température de surface de l'Atlantique nord

⁶⁸ Voir <http://wattsupwiththat.com/2013/12/21/the-magnificent-climate-heat-engine/#more-99741> Posted on December 21, 2013 by Willis Eschenbach <http://climateconferences.heartland.org/willis-eschenbach-iccc9-panel-19/>

1 En extratropical au contraire les nuages limitent l'insolation et réduisent la température de surface.

2 L'albédo, dû surtout aux nuages et à la couverture neigeuse, mesure la rétrodiffusion vers le cosmos d'une partie du flux
3 solaire: sur 1984-1997 et en moyenne sur tout un hémisphère il a varié entre 0,284 et 0,335 (figure 11-E à gauche, courbe
4 noire, hémisphère nord) et 0,283 à 0,326 pour l'hémisphère sud (courbe rouge décalée de - 0,03). L'albédo est, pour
5 l'hémisphère nord, maximum en décembre (plus de neige et de banquise) même si l'insolation y est très faible aux hautes
6 latitudes.

7 Sur 1984-1997 les températures moyennes mensuelles de l'hémisphère nord ont varié entre 7,8°C et 21,4°C, celles de
8 l'hémisphère sud, plus océanique et tempéré, entre 10,6°C et 16,6°C.

9 La figure suivante 11-E vignette de droite montre pour chacun des hémisphères quatorze cycles annuels avec

10 * en abscisse la variation en W/m² de l'insolation d'un mois au suivant (**effet des nuages et de l'albédo compris**)

11 * en ordonnée les variations des températures **d'un mois au mois suivant**, variations positives de janvier (hémisphère
12 nord en bleu, coordonnées {+23 W/m², 0°C}) à juillet (coordonnées {-27W/m², 0°C}) avec un maximum en avril vers
13 +3,5°C et négatives d'août à décembre avec un minimum vers -4°C en octobre (octobre de 4°C plus froid que septembre).

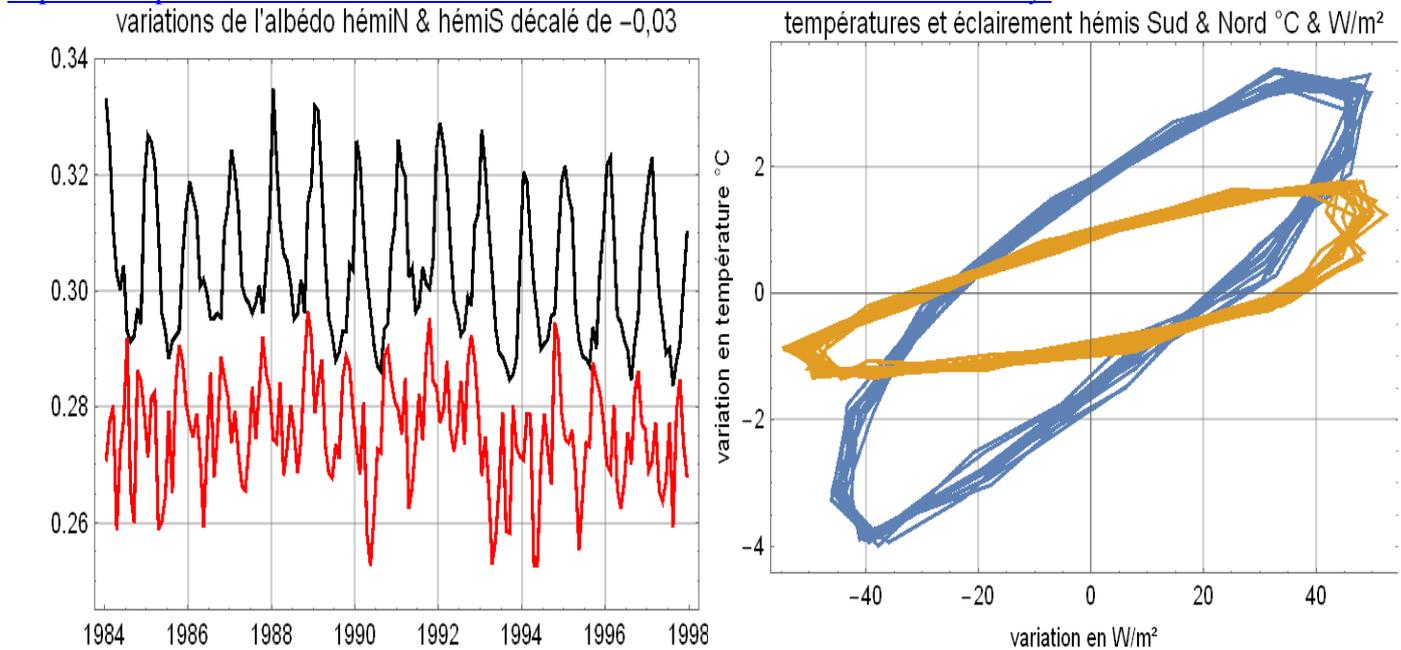
14 Figure 11-E) à gauche albédo observé sur 1984-1997⁶⁹, en séparant hémisphère nord (en noir) et hémisphère sud (en
15 rouge; **décalé de 0,03 vers le bas**)

16 à droite: quatorze années de cycles (1984-1997); en abscisse variations du flux solaire absorbé d'un mois par rapport au
17 mois précédent et en ordonnées variations des températures moyennes d'un mois par rapport au mois précédent:

18 hémisphère sud en jaune et hémisphère nord en bleu

eschenbach cycle annuel albédo & températures.nb

19 <http://wattsupwiththat.com/2012/05/29/an-observational-estimate-of-climate-sensitivity/> de Willis Eschenbach



20 Une régression linéaire ⁷⁰ sur ces quatorze cycles de la vignette de droite figure 11-E permet à partir des températures des
21 deux mois précédents (variation observée des températures du mois n-2 au mois n-1) et de la variation de l'insolation
22 entre le mois en cours (n) et le mois précédent (n-1), de prédire, avec une erreur moyenne de 0,2°C (figure 11-F), les
23 variations des températures moyennes de l'hémisphère nord (ou sud).

24 Et ce sur une période 1984-1997 animée par quatre El Niño et deux éruptions volcaniques majeures: ça suggère qu'à cette
25 échelle (le mois et l'hémisphère) la couverture nuageuse détermine très exactement les températures et ce mois par mois.

26 On a là sans doute affaire à un régulateur actif agissant par "tout ou rien" (ou passage d'un mode de fonctionnement à une
27 autre, par exemple El Niño ou la PDO) et **non pas** par des "feedbacks" proportionnels à un "forçage" qui ramèneraient un
28 "système" vers un "équilibre".
29

⁶⁹ <http://www.atmos-chem-phys.net/4/1217/2004/acp-4-1217-2004.pdf> Hatzianastassiou et al. Long-term global distribution of Earth's shortwave radiation budget at the top of atmosphere Atmos. Chem. Phys., 4, 1217–1235, 2004 N.

⁷⁰ $0.0017 + 0.587 x + 0.0425 y$ pour l'hémisphère nord et $0.002 + 0.655 x + 0.0157 y$ pour l'hémisphère sud avec $x =$ incrément des températures du mois n-2 au mois n-1 et y variation de l'insolation entre le mois n-1 et le mois n

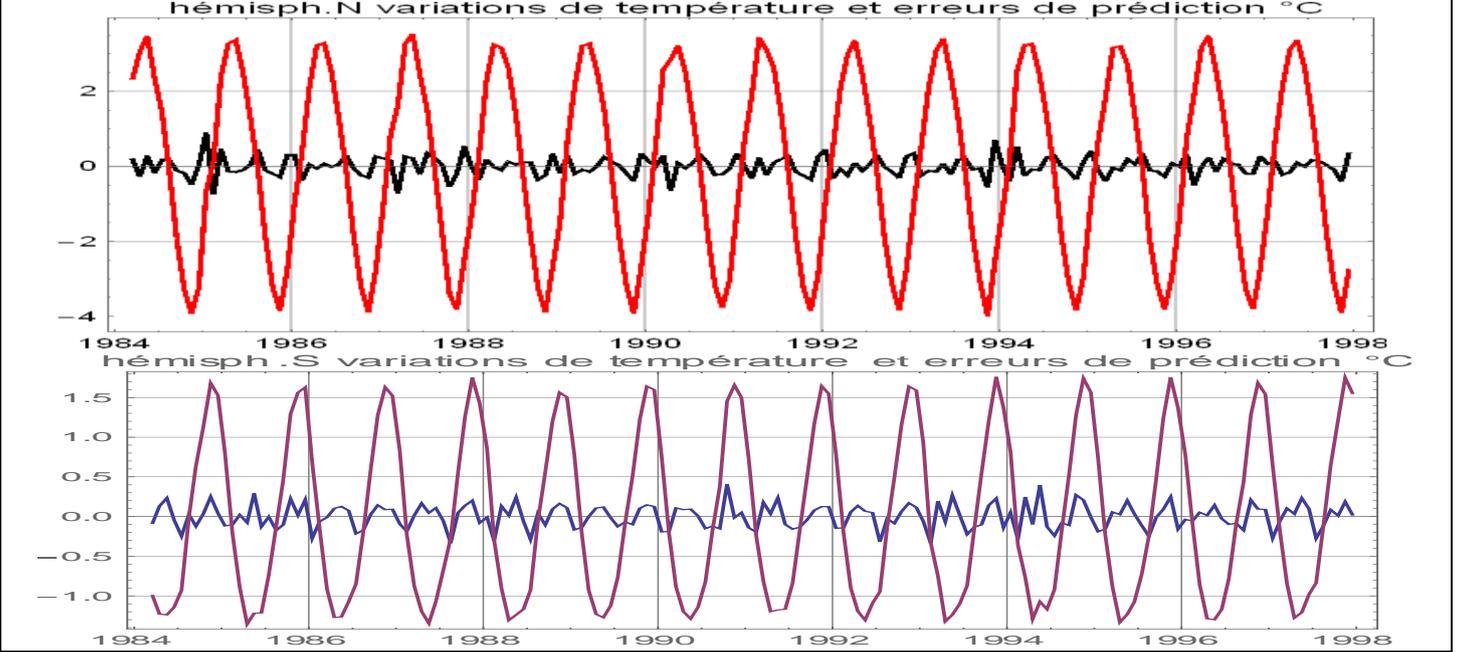
W. Eschenbach prend $\Delta T(n+1) = \Delta T(n) \exp(-1/\tau) + \lambda \Delta F(n+1)/\tau$ avec $\lambda = 0,08$ pour l'hémisphère nord et 0,04 pour le sud et un τ de 1,9 (nord) et 2,4 mois (sud).

En assimilant – à tort – un "forçage radiatif" de 3,7 W/m² par "doublement instantané" des ppm de CO₂ et son ΔF , il trouve +0,4°C dans l'hémisphère nord et +0,3°C au sud.

Mais le ΔF des observations est une variation du flux solaire absorbé par le globe alors que le forçage radiatif par doublement instantané des ppm de CO₂ est un artifice de calcul sans réalité physique, une hypothétique diminution de l'infrarouge thermique rayonné par le globe vers le cosmos dans un monde tout à fait virtuel où les températures et humidité de la troposphère sont supposées constantes pendant les 200 ans que prendrait le doublement des ppm à +2 ppm/an!

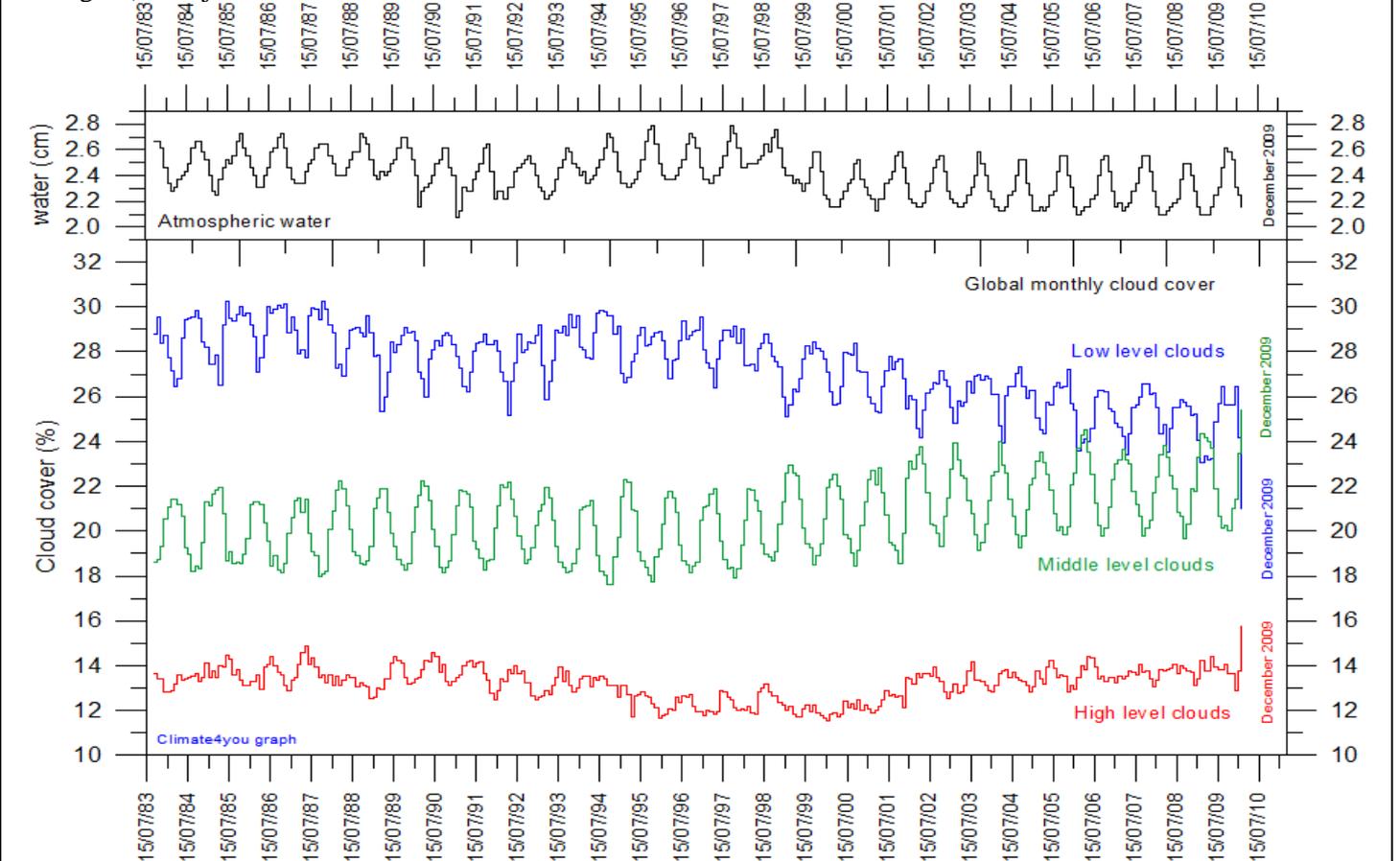
"Feedbacks", "forçages" et "équilibre" sont des concepts étrangers aux systèmes ouverts totalement dissipatifs et hors d'équilibre.

Figure 11-F) Qualité de la prédiction des variations d'un mois au mois suivant des températures moyennes de l'hémisphère nord (en rouge) et sud (en pourpre) et erreur de prédiction (en noir et en bleu)



Encore un autre exemple. La couverture par des nuages bas est passée de 29% en 1983 à 25% en 2009. Les données de base viennent du projet [The International Satellite Cloud Climatology Project](http://www.pensee-unique.fr/theses.html) (ISCCP). Le saut de la teneur en vapeur d'eau en 1998-99 peut venir en partie de changements des procédures d'analyse. Voir pour plus de détails <http://www.pensee-unique.fr/theses.html> et www.climate4you.com.

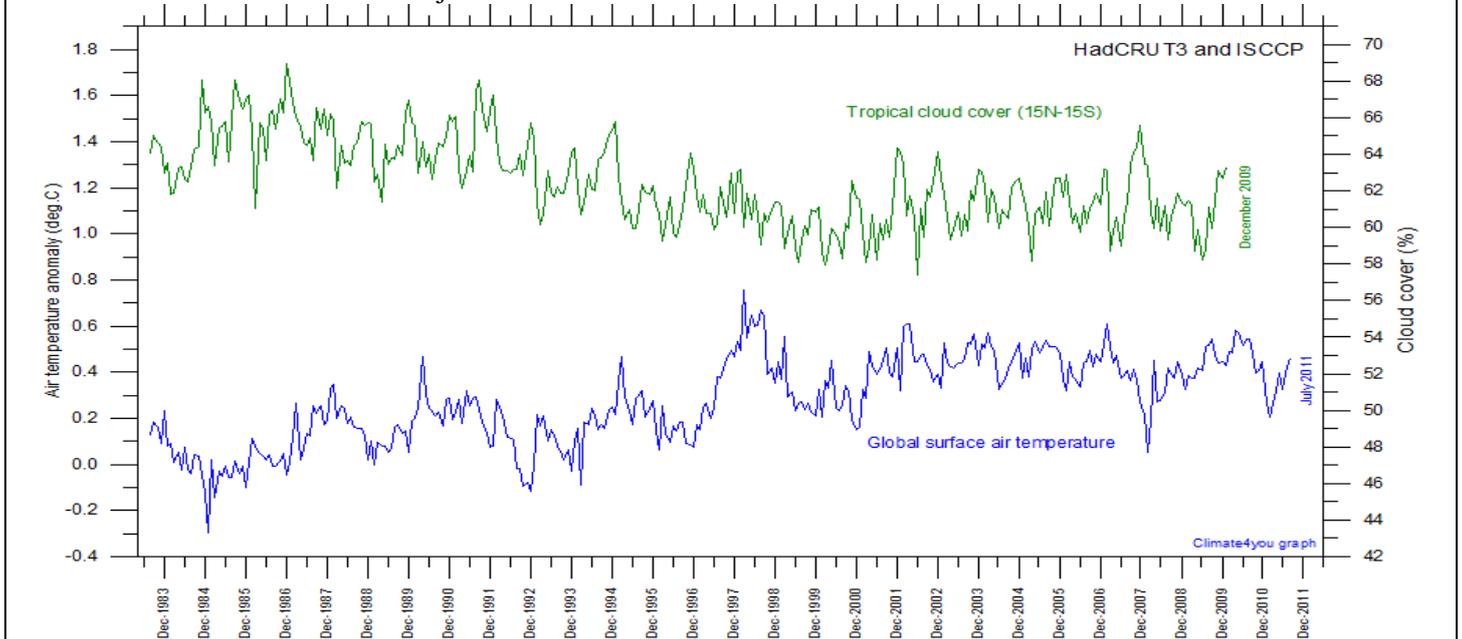
Figure 11-G) Couverture nuageuse des trois types de nuages et contenu moyen de l'air en vapeur d'eau précipitable (1 cm = 10 kg/m²) de juillet 1983 à décembre 2009



La figure 6-B a montré l'importance du solaire réfléchi en zone intertropicale et ses très fortes variations selon que l'on est dans une zone de stratus marins, sous une agglutination anticyclonique peu nuageuse (hautes pressions des Açores, de

l'île de Pâques, de Hawaï, de l'île de Sainte Hélène etc.) ou près de l'équateur météorologique vertical (ou "cheminée équatoriale convective").
Signalons l'hypothèse discutée du thermostat tropical⁷¹ que la figure 11-H pourrait illustrer: la couverture nuageuse entre 15°S et 15°N est passée de 66% à 60% (figure suivante, échelle de droite) avec des effets possibles sur la température moyenne "globale" (ici série HadCRUT3).

Figure 11-H) Couverture nuageuse 15°S-15°N et température moyenne globale de surface (valeurs mensuelles) de décembre 1983 à décembre 2009 et juillet 2011



Diverses expérimentations (Henrik Svensmark au Danemark⁷², projet CLOUD au Centre Européen de Recherches Nucléaires, CERN) suggèrent que les nuages bas de certaines parties du globe se forment plus ou moins rapidement selon le nombre de noyaux de condensation disponibles⁷³, noyaux dont l'accrétion est fortement dépendante de phénomènes électrostatiques induits par les flux de rayons cosmiques modulés par le champ magnétique solaire qui imprime ainsi l'effet de ses cycles sur les évolutions de la météorologie terrestre, dont les cycles de 22 ans (observés sur les précipitations) et de 210 ans.

Le cycle de "210 ans", dit de de Vries, se retrouve sur l'intensité de la production de l'isotope 10 du Beryllium et de l'isotope 14 du Carbone (figure 11-I: moindre production de ¹⁴C en 950, 1170, 1380, 1600, 1780, 2000), tous deux produits par l'interaction des rayons cosmiques avec les atomes d'azote; il est observé par les géologues à partir d'analyses des sédiments ou de couches de glaces pour les derniers siècles ou millénaires, ce qui a permis de proposer des séries historiques du champ magnétique du soleil et d'y rattacher des conditions "climatiques" récolées par les historiens ou par les géologues pour le ou les deux derniers millénaires en Europe et en Chine et au Japon. Des analyses détaillées ont rapproché des séries longues d'observations de températures et de pressions atmosphériques des séries représentatives d'effets magnétiques⁷⁴.

⁷¹ Willis Eschenbach[2] Thunderstorm Thermostat Hypothesis.ppt Heartland Institute conference May 2010

Willis Eschenbach *The thunderstorm thermostat hypothesis: How clouds and thunderstorms control the Earth's temperature* Energy & Environment Volume 21, Number 4 / August 2010

<http://www.drroyspencer.com/2013/08/on-the-cloud-thermostat-hypothesis/>

http://climategate.nl/wp-content/uploads/2011/02/CO2_and_climate_v7.pdf du Dr Ir Noor Van Anandel.

<http://climategate.nl/2010/09/14/noor-van-andel-imponeert-knmi-met-broeikasfysica/>

Feu Noor Van Anandel a été directeur de la recherche de Akzo Nobel

<https://pielkeclimatesci.wordpress.com/2011/05/01/guest-post-by-marcel-severijnen-in-memory-of-noor-van-andel/>

⁷² Professeur au DTU (université technique du Danemark). Relayé par feu le journaliste scientifique Nigel Calder

<https://calderup.wordpress.com/>

<http://wattsupwiththat.com/2013/09/04/svensmarks-cosmic-ray-theory-of-clouds-and-global-warming-looks-to-be-confirmed/>

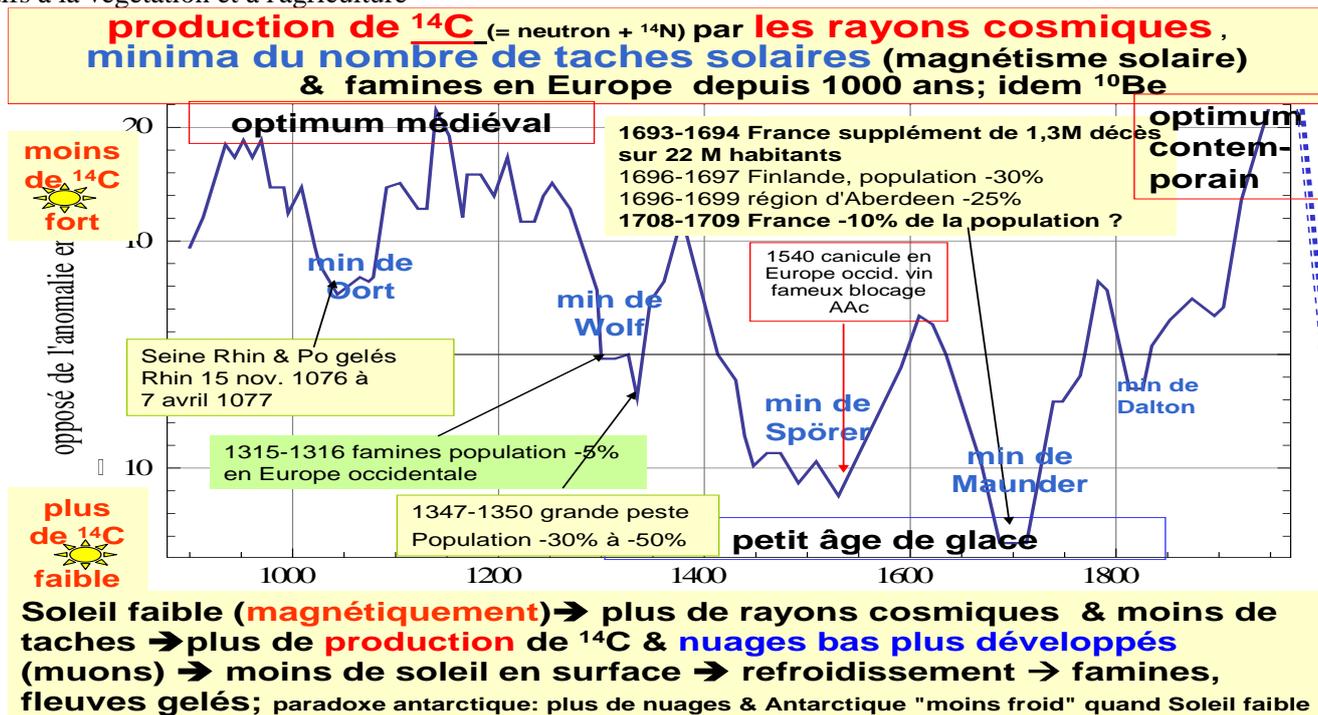
⁷³ La tension superficielle rend instables les nano-gouttelettes : la condensation ne démarre que grâce à des aérosols ou à quelques molécules de SO₃ qui permettent de surmonter cette barrière et de former des microgouttelettes.

⁷⁴ Jean-Louis Le Mouël, Vladimir Kossobokov, Vincent Courtillot *A solar pattern in the longest temperature series from three stations in Europe* Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 72 (2010) 62–76

Vladimir Kossobokov, Jean-Louis Le Mouël, Vincent Courtillot *A statistically significant signature of multi-decadal solar activity changes in atmospheric temperatures at three European stations* Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 72 (2010) 595–606

Jean-Louis Le Mouël, Elena Blanter, Mikhail Shnirman, Vincent Courtillot *Evidence for solar forcing in variability of temperatures and pressures in Europe* Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 71 (2009) 1309–1321

1 Figure 11-I) Relation apparente entre la production d'isotopes ^{14}C et ^{10}Be , les minima du nombre de taches solaires (reflet du champ magnétique solaire) de Oort, Wolf, Spörer, Maunder et Dalton et certains événements historiques relatifs à la végétation et à l'agriculture ⁷⁵



4 L'annexe A reviendra sur les observations depuis le début de l'holocène. La figure 11-I montre que ce n'est pas le réchauffement mais le refroidissement qui cause des catastrophes agricoles et sanitaires.

5 La discussion, dans le dernier rapport du GIEC, du rôle du champ magnétique du soleil comme déviateur des rayons cosmiques vise évidemment à laisser au CO_2 et à lui-seul la "responsabilité" des changements de température. Nous verrons au §12 qu'en réalité les changements de la teneur de l'air en dioxyde de carbone sont une conséquence des températures et ne peuvent donc pas en être la cause.

6 Comme la circulation atmosphérique extratropicale change significativement selon les phases de cycles de longue période, certaines zones devenant plus chaudes ou plus arrosées et d'autres moins, l'emploi de "températures globales moyennes" n'a aucun sens; seules ont un sens les observations locales et surtout celles de la pression atmosphérique: c'est le baromètre qui dit le temps qu'il fait !

11-3) Régulation périodique par les El Niño, tous les 4 ans environ

7 Ces phénomènes sont comparables à une sorte de chauffage central à eau pulsée, avec un coup de piston tous les quatre ou cinq ans et un saut des températures plus ou moins marqué qui se dissipe progressivement.

8 En effet la "piscine d'eau chaude" du Pacifique ouest, va, pendant un El Niño, de l'Indonésie à la ligne de changement de date ou à la côte péruvienne puis repart vers l'ouest et est alors éclatée vers les hautes latitudes et emportée par les courants marins; la chaleur de ces grosses masses d'eau (30° de longitude sur 10° de latitude) très chaude, de 27°C à 30°C , entre la surface et 300 m de profondeur, va ainsi périodiquement de la zone intertropicale aux hautes latitudes.

Jean-Louis Le Mouél, Vincent Courtillot, Elena Blanter, Mikhail Shnirman *Evidence for a solar signature in 20th-century temperature data from the USA and Europe* Comptes Rendus Geoscience 340 (2008) 421-430

Vincent Courtillot, Yves Gallet, Jean-Louis Le Mouél, Frédéric Fluteau, Agnès Genevey *Are there connections between the Earth's magnetic field and climate?* Earth and Planetary Science Letters 253 (2007) 328-339

Jean-Louis Le Mouél, Vladimir Kossobokov, Vincent Courtillot *On long-term variations of simple geomagnetic indices and slow changes in magnetospheric currents: The emergence of anthropogenic global warming after 1990?* Earth and Planetary Science Letters 232 (2005) 273-286

⁷⁵ Gerhard Wagner et al. *Presence of the Solar de Vries Cycle (# 205 years) during the Last Ice Age* GRL 28, 2, pp. 303-306, Jan. 2001 F. Steinhilber et al. *9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings* PNAS April 17, 2012 vol. 109, no. 165967-5971. O.M. Raspopov et al. *The influence of the de Vries (~200-year) solar cycle on climate variations: Results from the Central Asian Mountains and their global link* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 259 (2008) 6-16 Duan, Fucai et al. *Evidence for solar cycles in a late Holocene speleothem record from Dongge Cave, China* JA - Sci. Rep. 2014/06/04/online <http://www.nature.com/srep/2014/140604/srep05159/full/srep05159.html>

Pour les cycles de 1000 ans voir Maxime Debret *Caractérisation de la variabilité climatique Holocène à partir de séries continentales, marines et glaciaires* thèse Grenoble 2008 308 pages http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/53/57/69/PDF/These_Debret_2008.pdf et les études sur la terminaison du grand glacier d'Aletsch

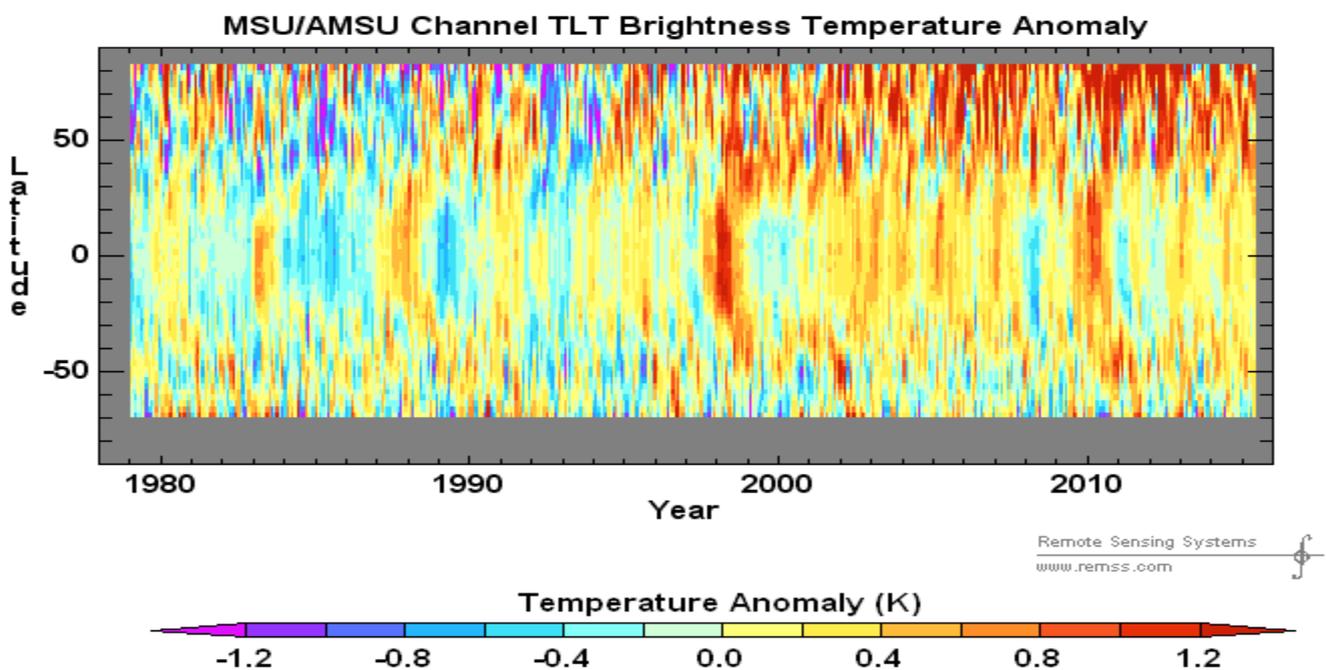
Hanspeter Holzhauser, 2007 *Die bewegte Vergangenheit des grossen Aletschgletschers* sa figure 25 est reproduite en annexe A http://doc.rero.ch/record/200969/files/BCV_N_178_41_2009_47.pdf

1 En hiver, comme la stratification océanique est moindre à ces latitudes, cette eau chaude un peu diluée repasse en
 2 surface et réchauffe la basse troposphère, car la capacité calorifique de toute la colonne d'air est celle de 2,5 m d'eau de
 3 mer⁷⁶. Ces pulsations et leurs analogues en Atlantique sont déclenchées par des variations des pressions des grandes
 4 agglutinations anticycloniques telles que les anticyclones "des Açores" ou de "Hawaï" dans l'hémisphère nord et leurs
 5 anticyclones antagonistes dans l'hémisphère sud de Sainte Hélène, de l'Île de Pâques, et celui des Mascareignes.
 6 Par exemple l'équateur météorologique vertical, zone convective à la confluence des alizés des deux hémisphères, passe,
 7 lors d'un El Niño, de 10°N à 10°S sur presque tout le Pacifique avec un décalage analogue des vents et des courants
 8 océaniques de surface et proches de la surface: voir détails en annexe C figure C-7.

9 La figure 11-J suivante montre les anomalies (ou écarts à une moyenne) des températures mensuelles de la basse
 10 troposphère avec en abscisse la date et en ordonnée la latitude, de 70°S en bas à 80°N en haut.

11 Les maxima de température de la zone équatoriale du Pacifique central se voient en bistre à la latitude 0 et sont
 12 synchrones des El Niño. Le bistre se déplace ensuite, en un an ou plus, vers les hautes latitudes; ce décalage entre
 13 tropical et extratropical se voit aussi sur la figure 11 M.

14 Figure 11-J) Températures de la basse troposphère (http://images.remss.com/msu/msu_data_monthly.html; jusqu'au 2
 15 juin 2015) exprimées en "anomalie" ou écart par rapport à une moyenne des mêmes mois prise (ici) sur Jan 1979 - Dec
 16 1998. Noter l'impact aux hautes latitudes des poussières volcaniques stratosphériques de la courbe magenta de la figure
 17 11-L, et le saut de température après le grand El Niño de 1997-98 (précisé au §11-6 ci-dessous)



18 Ces mécanismes essentiels semblent ignorés par les prétendus "modèles informatiques du climat" qui ne peuvent ni les
 19 prédire ni même les reproduire après qu'ils ont été observés, pas plus qu'ils ne reproduisent des éléments essentiels tels
 20 que le "Great Climate Shift" de 1976 (cf. § 16-6⁷⁷) et les oscillations de période 60 ans environ.

21 Rabâchons que ces phénomènes sont induits par des variations de la pression atmosphérique et de la fréquence et de la
 22 force des anticyclones mobiles polaires, avec d'éventuelles résonances océaniques.

25 11-4) Autres variations observées de l'insolation

26 La variabilité de la formation d'aérosols est, comme pour les nuages bas, une conséquence apparente des cycles du
 27 champ magnétique solaire (et terrestre) et des rayons cosmiques qui, plus ou moins défléchis et écartés de la Terre,
 28 électrisent plus ou moins les particules de poussières et en favorisent l'agglutination: elle a été mise en évidence sur les
 29 séries⁷⁸ longues de mesures très précises du rayonnement solaire initiées par Langley et Abbot au début du XXème
 30 siècle.

31 Les variations de long terme de l'insolation quotidienne (ici en moyenne annuelle) sont de l'ordre de 1 MJ/m² (à rapporter
 32 à 26 MJ/m²/jour en supposant 300 W/m² en "moyenne" sur 86400 secondes).

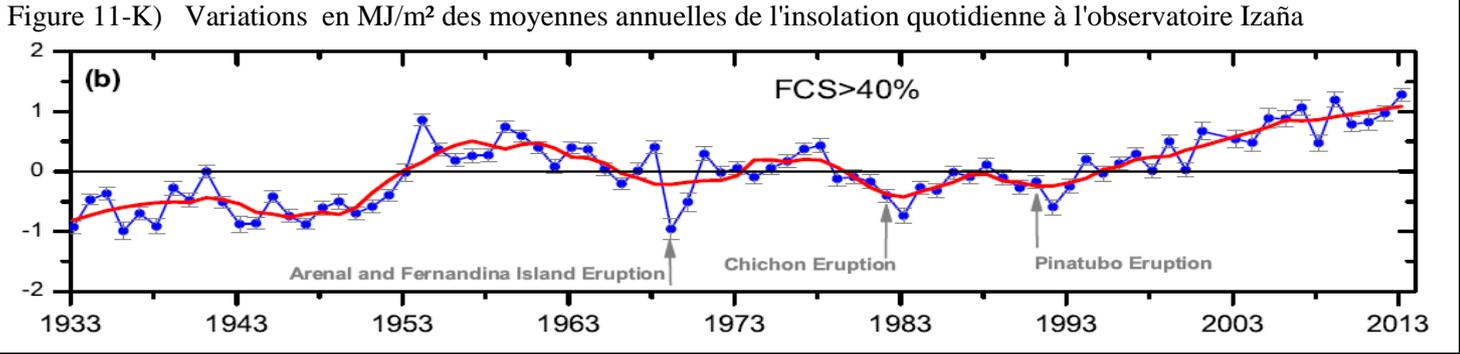
⁷⁶ Le livre électronique de Bob Tisdale *Who Turned on the Heat* 2012 588 pages illustre le caractère discret par sauts du réchauffement par les événements El Niño patent sur la figure 11-J

<http://bobtisdale.files.wordpress.com/2012/09/preview-of-who-turned-on-the-heat-v2.pdf>

⁷⁷ Alice Favre, Alexander Gershunov North Pacific cyclonic and anticyclonic transients in a global warming context: possible consequences for Western North American daily precipitation and temperature extremes *Clim Dyn* (2009) 32:969–987 DOI 10.1007/s00382-008-0417-3 http://meteora.ucsd.edu/cap/pdffiles/Favre_Gershunov_cd_2009.pdf

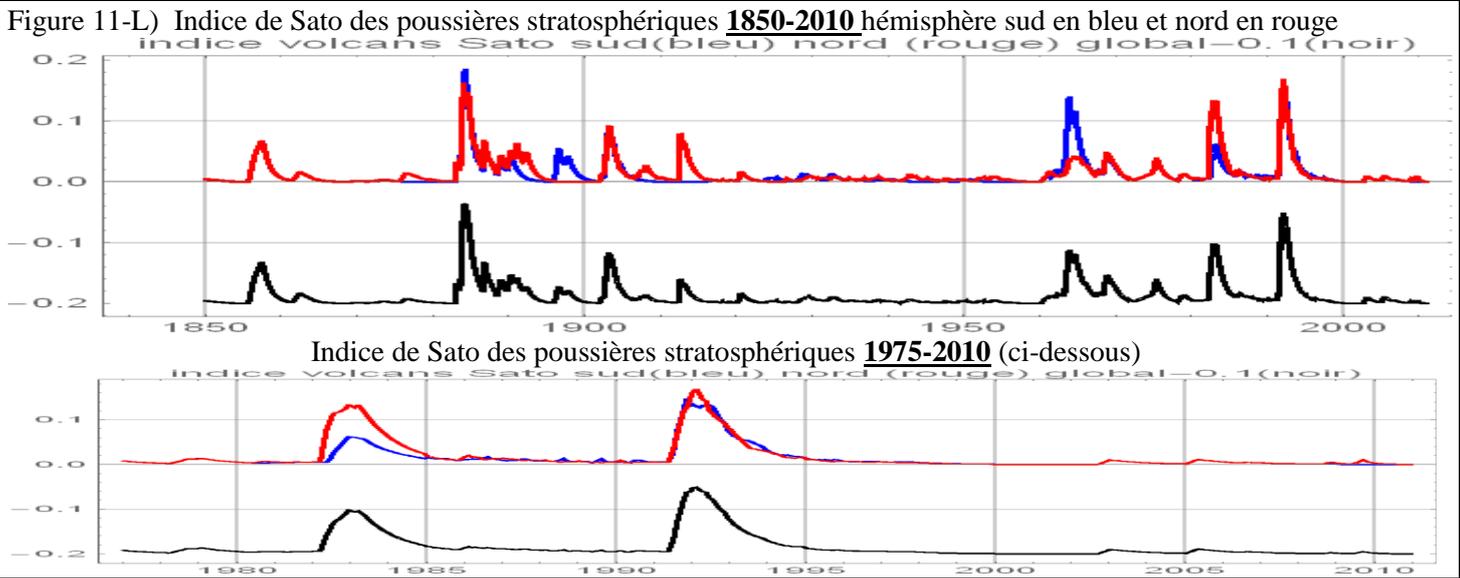
⁷⁸ Weber W. *Strong signature of the active sun in 100 years of terrestrial insolation data* *Annalen der Physik* 522 (6), pp. 372-381 et reply to Feulner 523 (11), pp. 951-956 http://t2.physik.tu-dortmund.de/de/mitglieder/weber/veroeffentlichungen/andp372_a-1.pdf

1 La figure 11-K montre 80 ans de mesures (fort délicates) à l'observatoire Izaña des Iles Canaries pour FCS *fraction of*
 2 *clear sky* > 40%; le "global dimming" des années 1963-1993 et le "global brightening" qui a suivi y sont apparents.



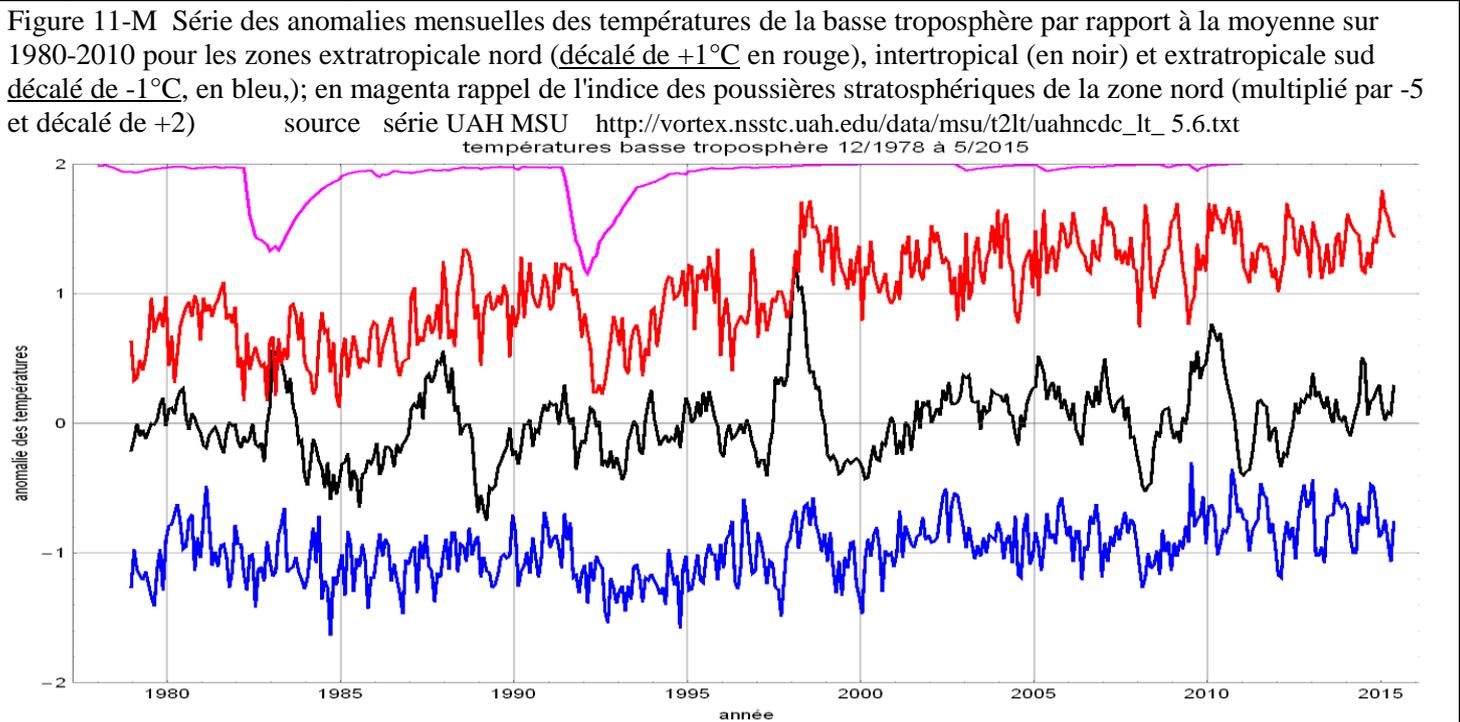
4
5
6 **11-5) Eruptions volcaniques**

7 Les poussières de certaines grandes éruptions restent quelques semestres dans la stratosphère extratropicale et amènent
 8 une réduction sensible de l'insolation par rétrodiffusion du flux solaire et, au nord de 40°N (ou au sud de 40°S), à un
 9 refroidissement notable, mais temporaire.



13
14
15 **11-6) Autres illustrations de l'effet des El Niño: températures observées depuis fin 1978**

16 La figure 11-M reprend la figure 11-J mais en moyennant sur trois zones, intertropicale et extratropicales nord et sud.



La figure 11-N présente la moyenne globale qui suggère un saut de $0,27^{\circ}\text{C}$ après le grand El Niño de 1997-1998, saut très localisé dans l'hémisphère nord: la moyenne "extratropical nord" (courbe en rouge) est passée de $-0,24^{\circ}\text{C}$ à $+0,28^{\circ}\text{C}$ (figure 11-M, courbe rouge) soit plus un demi-degré entre 40°N et 80°N bien visible à la figure 11-J.

Figure 11-N Série RSS-MSU des anomalies mensuelles (ou écart à leur valeur moyennée sur trente années) des températures de la basse troposphère de janvier 1979 à début 2015.

http://data.remss.com/msu/monthly_time_series/RSS_Monthly_MSU_AMSU_Channel_TLT_Anomalies_Land_and_Ocean_v03_3.txt

Les maxima de la courbe bleue des anomalies des températures correspondent aux El Niño et à leurs "téléconnexions" ; les mois à El Niño, repérés par les traits rouge sombre, correspondent ici à un dépassement de 1°C de l'anomalie de température de la zone dite Niño 3-4 au milieu du Pacifique équatorial.

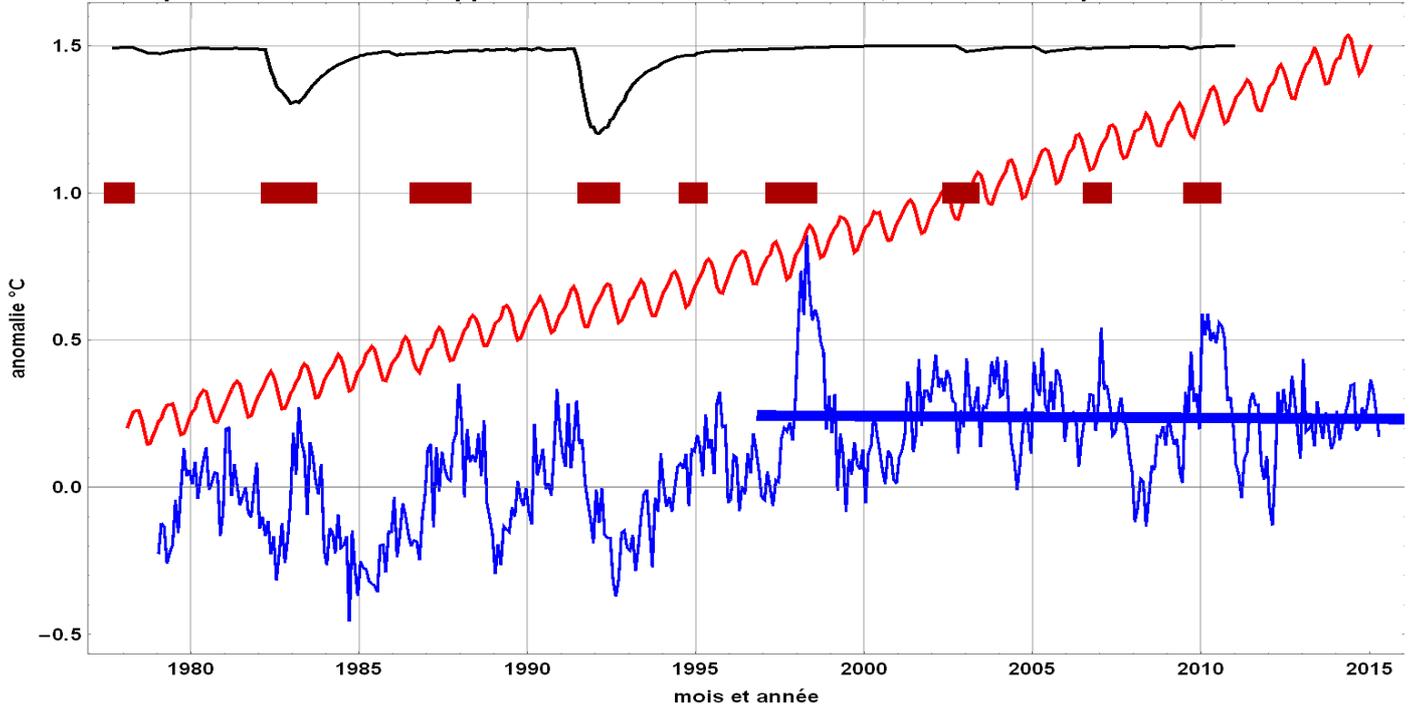
L'indice des poussières volcaniques, qui, après des explosions très puissantes, restent longtemps dans la stratosphère des hautes latitudes est représenté en noir ici sous la forme (0,8 - 2 fois l'indice).

Les teneurs de l'air en CO_2 , en orange, sont passées de 335 ppm, fin 1978, à 403 ppm en avril 2015.

Approximation linéaire de l'anomalie des températures: $0,029^{\circ}\text{C} + 0,007(t - 1997)$ avant janvier 1997 (à $+0,7^{\circ}\text{C}/\text{siècle}$), et de janvier 1997 à septembre 2014 $0,24^{\circ}\text{C} - 0,0006(t - 1997)$

Moyenne sur (jan. 1979- fin 1996) de $-0,036^{\circ}\text{C}$, moyenne de toute la série $0,1^{\circ}\text{C}$

Températures RMS-MSU, approximation linéaire, El Niño 3-4, indice volcanique inversé, $\text{CO}_2/50 - 6.5$



Sur la figure 11-N la moyenne $-0,04^{\circ}\text{C}$ avant 1997 passe à $+0,24^{\circ}\text{C}$ après et les moyennes des anomalies des 36 premiers et des 36 derniers mois, respectivement $-0,019^{\circ}\text{C}$ et $+0,25^{\circ}\text{C}$, différent de $0,27^{\circ}\text{C}$, ce qui est l'ordre de grandeur du réchauffement "moyen" observé sur ces derniers 37 ans.

Les El Niño existent depuis toujours et les anomalies des températures des 37 dernières années en portent la marque, sans aucune corrélation apparente avec la teneur de l'air en dioxyde de carbone.

11-7) Pour conclure sur la régulation par la vapeur d'eau et par les modes de fonctionnement de l'atmosphère ou de la circulation atmosphérique

On a vu (§ 11-2 et figure 11-E) une régulation par la couverture nuageuse, pour chaque mois.

Les El Niño donnent un exemple de changement temporaire mais périodique de la circulation atmosphérique avec un déplacement disons de 10°N à 10°S de l'équateur météorologique vertical.

La totalité des changements des températures moyennes observés depuis fin 1978 d'une façon fiable avec une couverture complète (figures 11-J, 11-M, 11-N) est rythmée par les El Niño et par les effets transitoires de deux grandes éruptions volcaniques, sans aucune corrélation apparente avec les teneurs en dioxyde de carbone passées de 335 ppm à 403 ppm.

11-8) Caractère cyclique des variations de la température "moyenne mondiale"

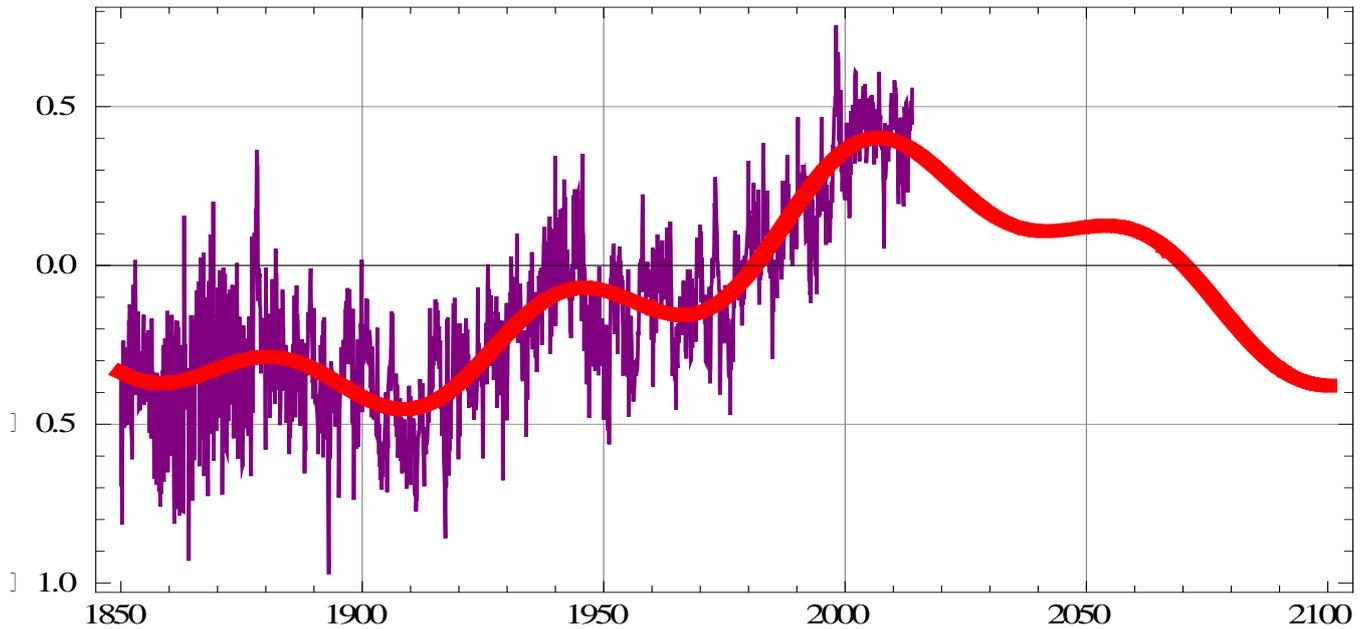
Rappelons que les variations de températures observées sont cycliques: la "meilleure approximation" de la courbe des températures "moyennes globales" par des cycles de 1000 ans, 210 ans et 60 ans (figure suivante) est cohérente avec un article récent⁷⁹ qui traite des variations dT/dt (t est ici le temps) et non pas des températures elles-mêmes.

⁷⁹ Diego Macias, Adolf Stips, Elisa Garcia-Goriz *Application of the Singular Spectrum Analysis Technique to Study the Recent Hiatus on the Global Surface Temperature Record* PLOS ONE 1 September 2014, Volume 9 Issue 9 e107222 (en accès libre)

S'y ajoutent les El Niño de la figure 11-J et les récupérations après les grandes éruptions volcaniques des figures 11-L, M et N.

Figure 11-O) Série HadCRU T3 des "anomalies" des températures mensuelles depuis 1850 et approximation par des cycles des 60 ans, 210 ans et 1000 ans. Nota Bene: cette approximation n'a qu'une valeur "heuristique" parce que 164 ans de données ne permettent évidemment pas de recaler de façon sûre les cycles "séculaires" de 1000 ans et de 210 ans

série mensuelle anomalie en °C HadCRUT3 2013



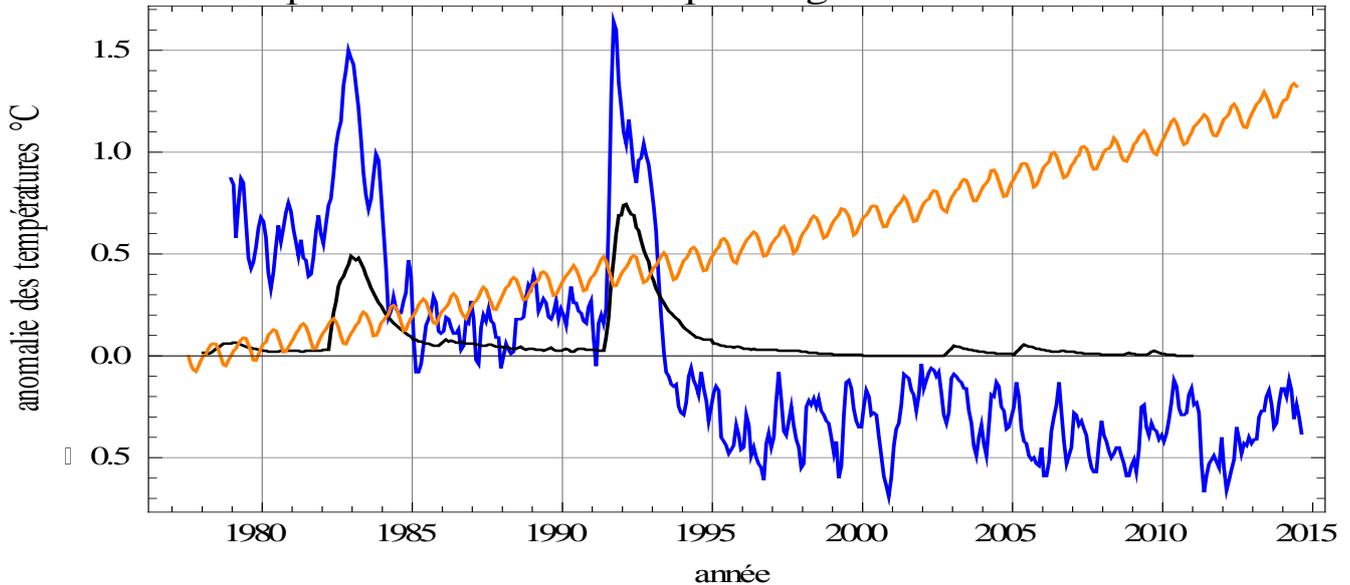
Les très grands El Niño de 1878, 1939 et 1942, 1997 sont bien visibles et rythment le cycle de 60 ans.

11-9) Sur l'évolution des températures de la stratosphère

Les poussières volcaniques après de grandes éruptions restent quelques semestres dans la stratosphère où elles interceptent une partie du rayonnement solaire; ces épisodes "chauds" sont suivis d'une récupération.

Figure 11-P) Températures de la basse stratosphère source: http://www.nsstc.uah.edu/data/msu/t4/uahncdc_ls_5.6.txt en orange (ppm_{Mauna Loa} -335) / 50) de 335 ppm à 400 ppm en noir indice des poussières stratosphériques

températures basse stratosphère global 12|| 1978 à 8|| 2014



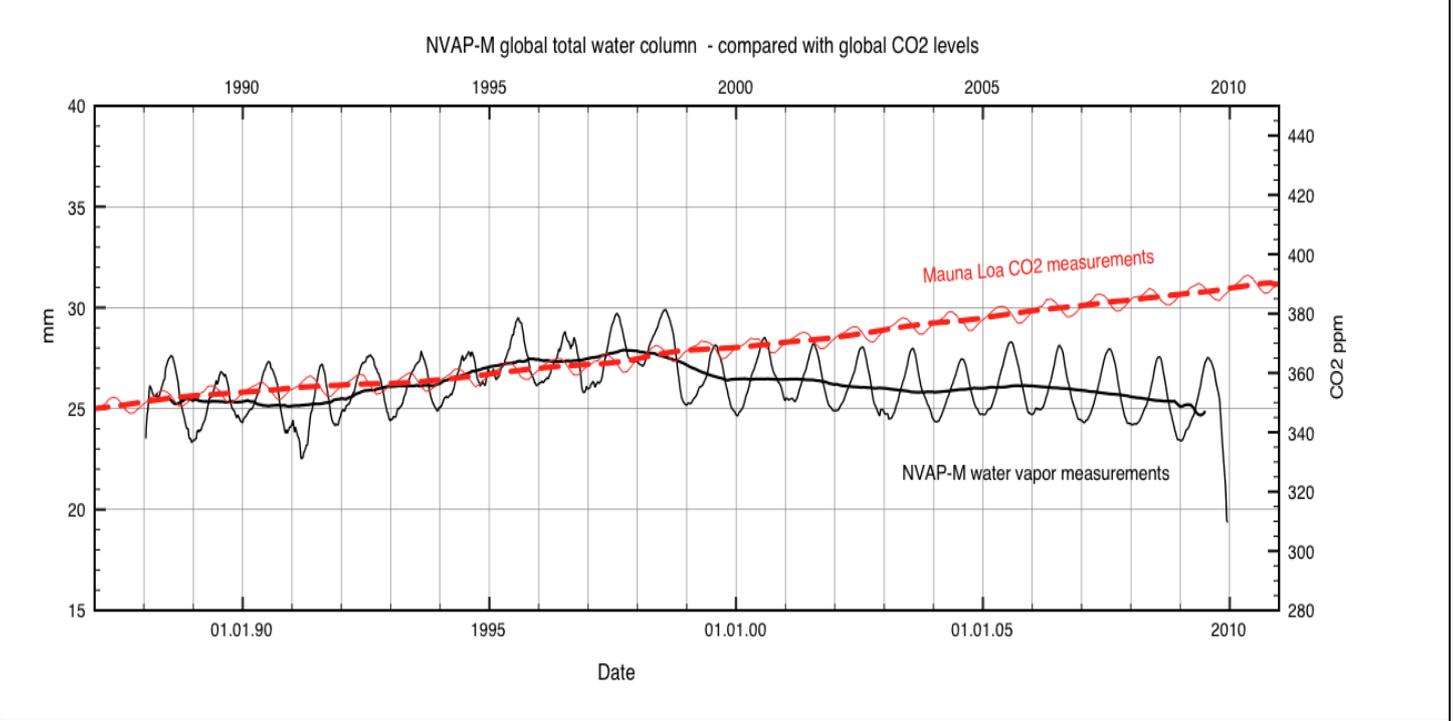
La figure précédente montre que la température moyenne de la stratosphère n'a pas de rapport évident avec la courbe en orange des teneurs en CO₂ passées de 335 ppm fin 1978 à 361 ppm en 1995 à 400 ppm en 2014.

Le refroidissement de la stratosphère à proportion des teneurs en CO₂ est souvent dit être une "validation ou preuve de l'effet de serre": ce n'est pas du tout ce qui est observé; il n'y a depuis vingt ans, depuis 1994, pas de refroidissement significatif de la basse stratosphère. Le résumé à l'intention des décideurs du rapport IPCC 2013 (page 15 § D3 quatrième point) dit: "Il est très probable que l'influence anthropique ... structure de réchauffement troposphérique détectable dans les observations et un refroidissement associé dans la basse stratosphère depuis 1961". La figure 11-P dément cette affirmation fondée sur des élucubrations radiatives.

11-10) Evolution de la teneur en vapeur d'eau observée depuis 1948

La croissance des teneurs en vapeur d'eau dite par IPCC-GIEC, page 15 du résumé à l'intention des décideurs de 2013, § D3 sixième point: " Les influences anthropiques ont contribué aux augmentations du contenu atmosphérique en vapeur d'eau (degré de confiance moyen)" n'est pas observée, comme le suggèrent les figures suivantes.

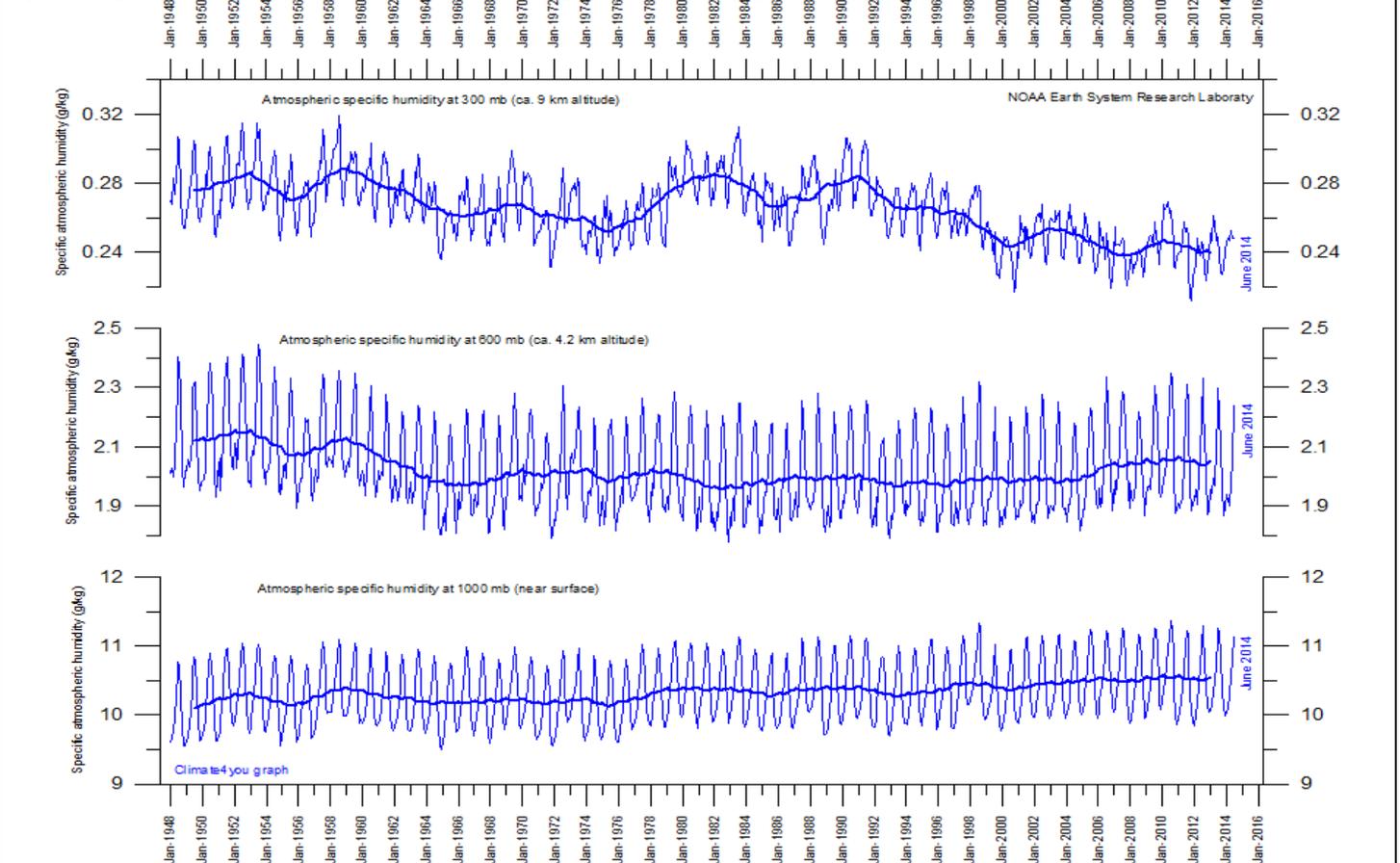
Figure 11-Q) Variations de la teneur totale moyenne de l'air en vapeur d'eau de 1988 à 2011 en kg/m² ou mm d'eau précipitable https://eosweb.larc.nasa.gov/project/nvap/nvap-m_table et discussion <http://clivebest.com/blog/?p=4871>



Le professeur de météorologie Ole Humlum (www.climate4you.com) a tracé les variations de la quantité de vapeur d'eau dans l'air pour les couches 1000 mbar, 600 mbar et 300 mbar.

Figure 11-R) Variations de la quantité de vapeur d'eau en g/kg dans l'air à trois altitudes 300 mbar (9 km), 600 mbar (4,2 km) et en surface de janvier 1948 à juin 2014 données NOAA ESRL

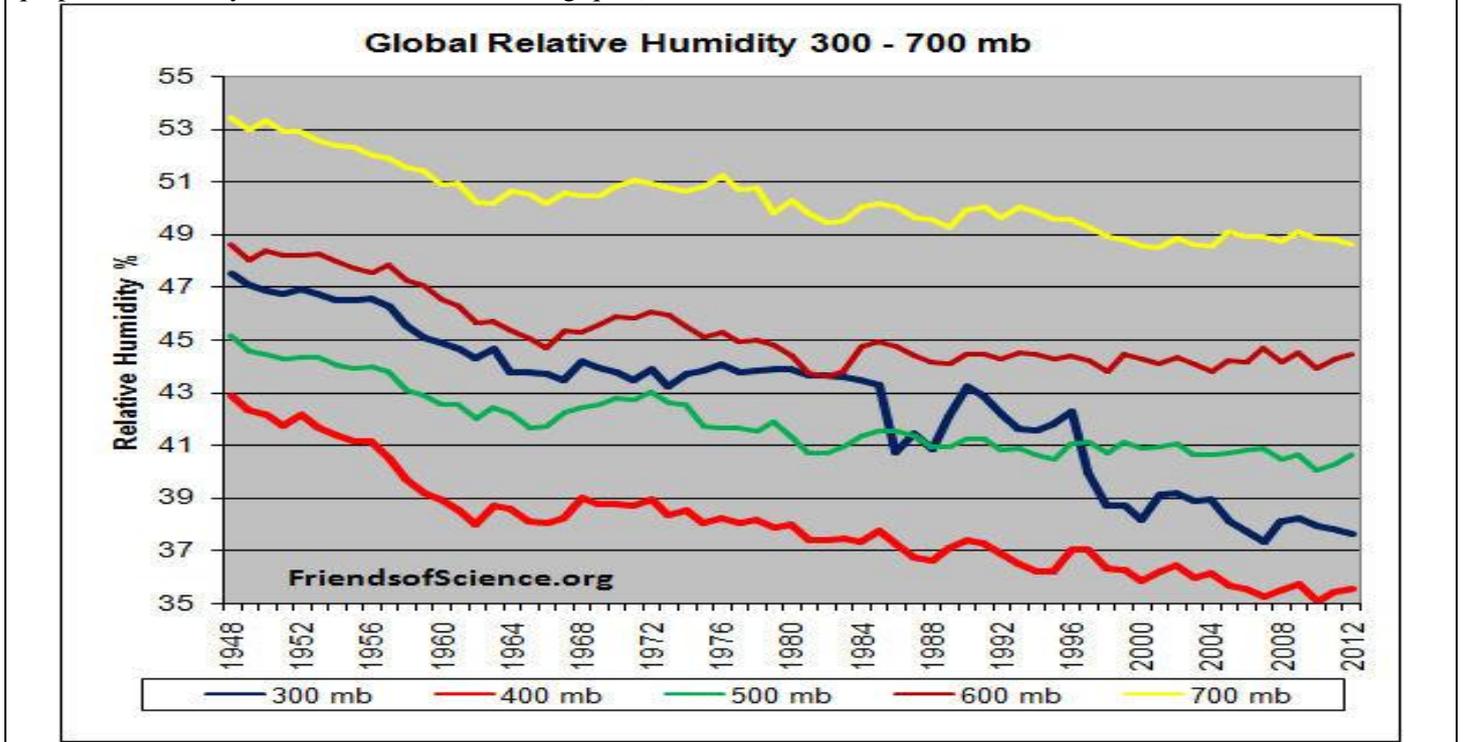
<https://wattsupwiththat.files.wordpress.com/2014/7/noaa2esrl2atmospericspecifichumidity2globalmonthllytempsince19482with37monthrunningaverage1.gif>



Ceci confirme le découplage entre la surface, la colonne totale de vapeur d'eau "précipitable" et les hautes couches.

1 L'humidité relative est le rapport de la pression de vapeur d'eau observée à la pression à saturation (§4-1): la figure
 2 suivante montre, de 1948 à 2012, une diminution dans les hautes couches, entre 300 et 600 millibars, selon les
 3 observations de ballons-sondes en "moyennes mondiales".
 4

5 Figure 11-S) Variations de l'humidité relative depuis 1948 selon les observations des ballons-sondes à 700 mbar, 600
 6 mbar, 500 mbar, 400 mbar et 300 mbar. (voir aussi <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl>
 7 qui part des réanalyses de situations météorologiques)



8
 9
 10 La petite diminution de la quantité de vapeur d'eau des hautes couches implique un rayonnement de la vapeur d'eau de
 11 "plus bas et plus chaud " ce qui conforte l'idée d'une régulation automatique de l'OLR⁸⁰.
 12

⁸⁰ et ruine la conjecture de l'amplification du réchauffement par plus de vapeur d'eau dans l'air

12. Variations de la teneur de l'air en dioxyde de carbone $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}/dt = a(T(t) - T_0)$

Les teneurs de l'air en CO_2 notées $[\text{CO}_2]$ sont exprimées en ppm ou nombre de molécules de CO_2 par million de molécules d'air ou parties par million, avec 1 ppm = 2,12 Gt-C ou milliards de tonnes de carbone contenu dans les molécules de dioxyde de carbone. La lettre t désignera ici le temps.

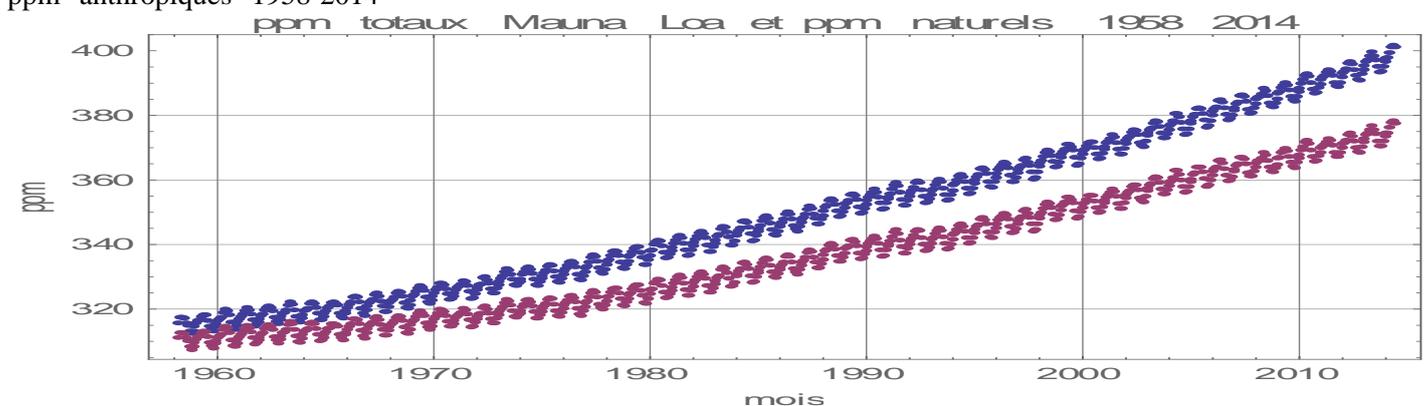
La durée de vie ν est définie par une probabilité de non absorption fonction du temps t en $\exp(-t/\nu)$: ν est le rapport du stock de l'air (850 Gt-C) à la somme des flux absorbés chaque année par les océans (environ 90 Gt-C) et par la végétation (80 Gt-C hors réabsorption rapide dans la couche proche de la surface et respiration des plantes).

Comme la durée de vie dans l'air d'une molécule de CO_2 est de l'ordre de cinq ans, conséquence d'un rapport stock / (flux annuel absorbé) de 5 environ, la quantité de CO_2 anthropique dans l'air est, en 2014, à peu près, 5 ans x 10 Gt-G (émissions annuelles de 2014) = 50 Gt-C soit 6% du stock de 850 Gt-C ou 400 ppm

12-1) Origine naturelle du gros de l'augmentation de la teneur de l'air en CO_2 depuis 1958

Défalquer des teneurs observées au Mauna Loa (courbe bleue figure ci-dessous) les ppm anthropiques calculés à partir des séries des productions de charbon de pétrole et de gaz naturel, plus cimenteries et torchères, pour une durée de vie de 5,5 ans des molécules de CO_2 dans l'atmosphère laisse les ppm "naturels" en pourpre à la figure 12-A.

Figure 12-A) Teneur de l'air en CO_2 : ppm totaux (en bleu) et ppm "naturels" (en pourpre) obtenus par soustraction des ppm "anthropiques" 1958-2014

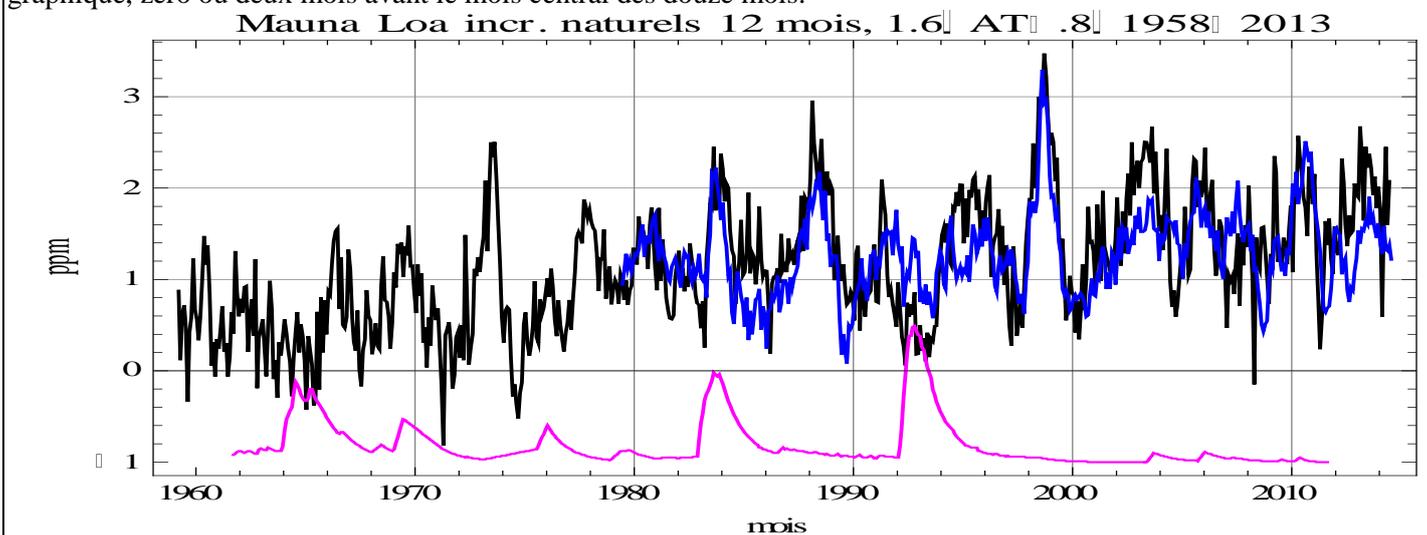


Une fluctuation de 1% du flux naturel dégazé ou absorbé (180 Gt-C/an ou 85 ppm/an) représente presque 1 ppm en plus ou en moins.

La série temporelle de teneurs de l'air $[\text{CO}_2](t)$ s'analyse comme **somme de ses incréments sur 12 mois, qui s'expriment par $d[\text{CO}_2]/dt$ pour $dt = 12$ mois**. La figure 12-B montre la série mensuelle des incréments sur 12 mois de la courbe pourpre de la figure 12-A.

Figure 12-B) Alignement en temps et en amplitude des incréments sur 12 mois des ppm Mauna Loa⁸¹ "naturels" 1958-2014 (en noir) avec 1,6 (AT-(-0,8°C)) en bleu soit +1,6 ppm/°C où AT est l'anomalie des températures de la basse troposphère intertropicale mesurée par satellite depuis fin 1978; en magenta 5 fois l'indice des poussières volcaniques de l'hémisphère nord; les mesures systématiques par satellite des températures de la basse troposphère commencent fin 1978.

Nota: il y a sur cette figure un décalage de 6 mois de AT et de 8 mois de l'indice volcanique par rapport au mois final des 12 mois servant au calcul de l'incrément: la variation des températures ou la réflectivité de la stratosphère est donc, sur ce graphique, zéro ou deux mois avant le mois central des douze mois.



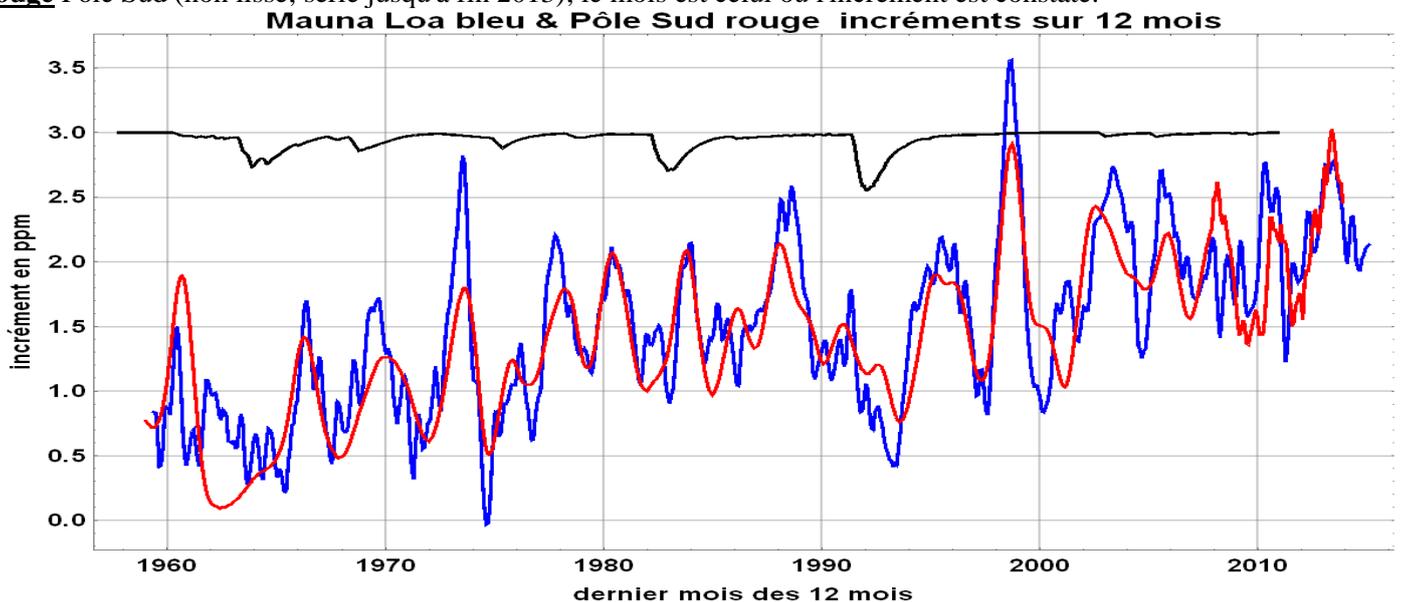
⁸¹ ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_mm_mlo.txt

1 Elle est superposable à la série mensuelle des fluctuations des températures de la basse troposphère de la zone
 2 intertropicale, dont le dégazage donne une assez bonne première approximation. S'y ajoutent des fluctuations de
 3 l'absorption aux hautes latitudes d'au plus 0,5 ppm/(douze mois) venues du refroidissement dû aux poussières
 4 volcaniques stratosphériques du Pinatubo accumulées aux hautes latitudes nord (en 1992 sur la courbe magenta sur la
 5 figure 12-B ci-dessus et figure 11-P) ou marquant une absorption moindre aux hautes latitudes comme on le verra à la
 6 figure 12-D .

7 Noter, dans les années 1959-1964, plusieurs incréments négatifs aggravés par l'éruption du volcan Agung en 1963.
 8 Comme la somme des incréments sur 12 mois sur chacun des mois de janvier 1959 à janvier 2014 est exactement douze
 9 fois la différence des ppm naturels entre ces deux dates, la totalité de la croissance de la courbe pourpre de la figure
 10 12-A est une conséquence des températures. Ce qui s'explique fort bien par la loi de Henry du dégazage du CO₂
 11 dissous, en $\exp(2600/T)$ pour l'eau de mer; les amateurs de boissons gazeuses savent qu'elles sont meilleurs fraîches.
 12 Ces observations évidentes sont confirmées par des auteurs proches de l'IPCC-GIEC qui ont pris soin de ne publier
 13 qu'après la date limite fixée pour prise en compte pour référencement dans le rapport IPCC-GIEC de 2013.⁸²

15 Quoique 19°29N et le pôle sud soient fort éloignés il y a un remarquable synchronisme des incréments $d[CO_2]$ pour $dt=$
 16 12 mois; il n'y a entre eux que l'océan Pacifique et l'océan austral (figure 12-C).

17 Figure 12-C) Comparaison des séries mensuelles des incréments sur douze mois des teneurs en dioxyde de carbone en
 18 ppm: en **bleu** Mauna Loa (jusqu'en 2015,29) avec lissage sur cinq mois, en moyenne mobile pondérée {1, 2, 3, 2, 1}, en
 19 **rouge** Pôle Sud (non lissé; série jusqu'à fin 2013); le mois est celui où l'incrément est constaté.



21 Ceci pointe vers une source de dégazage commune à ces deux sites, sans effet visible du CO₂ des gaz de combustion
 22 puisque le temps nécessaire pour que de l'air de l'hémisphère nord arrive au pôle sud se compte en années selon les
 23 observations de la diffusion du ¹⁴C des expérimentations nucléaires soviétiques en Arctique.

24 Les évolutions du minimum du delta¹³C au Mauna Loa et du delta¹³C au pôle sud (figure 12-G, vignette droite)
 25 présentent les mêmes "marches d'escalier" et suggèrent aussi une source de dégazage commune à ces deux sites 19°29N
 26 et pôle sud.

12-2) Localisation en latitude des variations du dégazage et de l'absorption

29 La figure 12-D tirée du rapport IPCC AR5 WG1 page 494 peut se comparer à la figure 11-J des anomalies des
 30 températures de la basse troposphère reproduite en bas et aux figures 12-B et 12-C; la fraction anthropique (figure 12-E
 31 vignette n°3 au milieu à gauche) n'est, ici, évidemment pas soustraite.

⁸² Wang Xuhui et al. *A two-fold increase of carbon cycle sensitivity to tropical temperature variations* Nature Research Letters 2014 qui prend +1,26 ppm/an/°C sur 1958-1980 et +2,58 ppm/an/°C après 1985. Les méthodes employées de "traitement statistique" relèvent de l'enfumage, mais ces douze auteurs ne peuvent plus attribuer à l'humanité coupable l'augmentation observée des ppm: "The observed positive correlation between CGR (carbon dioxide growth rate) and temperature reflects the direct impacts of temperature variations in driving variations of tropical carbon fluxes rather than, in reverse, the greenhouse effect of atmospheric CO₂ ... Thus, the problems present models have in reproducing the observed response of the carbon cycle to climate variability on inter-annual timescales may call into question their ability to predict the future evolution of the carbon cycle and its feedbacks to climate".

En bon français les formules de Berne de l'IPCC-GIEC ne valent rien et les scénarios d'augmentation des ppm à cause des émissions anthropiques sont absurdes.

Wang Weile et al. (12 co-auteurs) *Variations in atmospheric CO₂ growth rates coupled with tropical temperature* PNAS | August 6, 2013 | vol. 110 | no. 32 | 13061-13066 <http://www.pnas.org/content/110/32/13061.full.pdf>

Il ne s'agit pas des flux absorbés et dégazés eux-mêmes (voir figure 3-D) mais des variations, pour chaque latitude, de la différence du dégazage et de l'absorption.

Figure 12-D) Localisation en latitude des variations de $f_{\text{dégazé}}(t) + f_{\text{gaz de combustion}}(t) - f_{\text{absorbé}}(t)$ IPCC AR5 page 494 En dessous anomalies des températures de la basse troposphère en fonction de la latitude et du temps (figure 11-J)

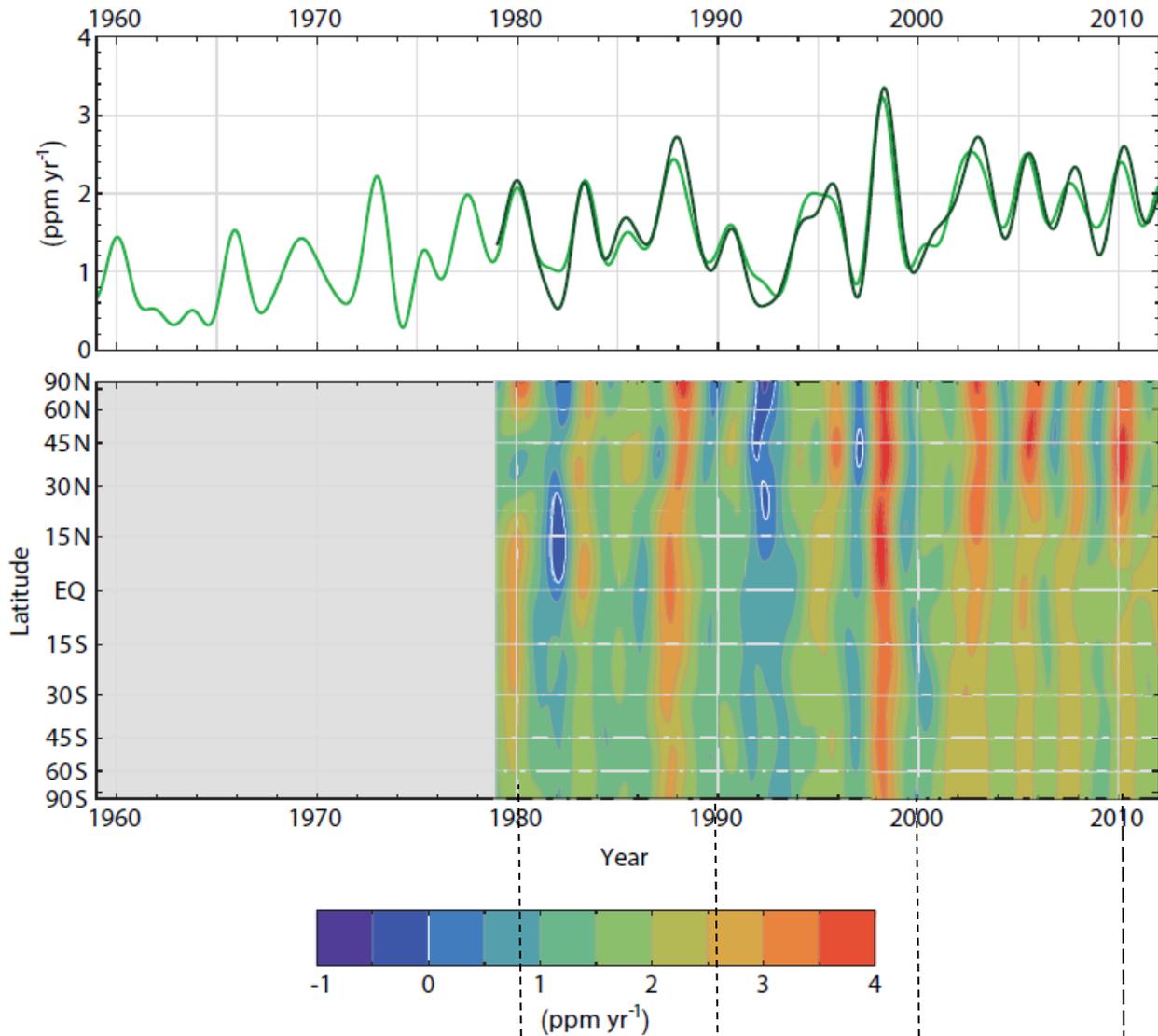
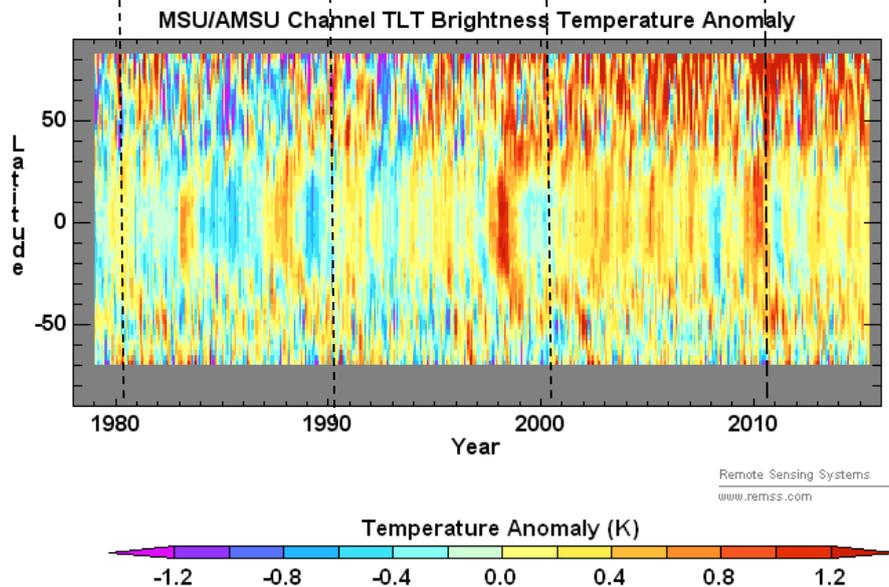


Figure 6.12 | (Top) Global average atmospheric CO₂ growth rate, computed from the observations of the Scripps Institution of Oceanography (SIO) network (light green line: Keeling et al. 2005, updated) and from the marine boundary layer air reference measurements of the National Oceanic and Atmospheric Administration –Global Monitoring Division (NOAA–GMD) network (dark green line: Conway et al., 1994; Dlugokencky and Tans, 2013b). (Bottom) Atmospheric growth rate of CO₂ as a function of latitude determined from the National Oceanic and Atmospheric Administration–Earth System Research Laboratory (NOAA–ESRL) network, representative of stations located in the marine boundary layer at each given latitude (Masarie and Tans, 1995; Dlugokencky and Tans, 2013b). Sufficient observations are available only since 1979.



Remote Sensing Systems
www.remss.com

1
2
3
4

5

6

12-3) Sur la relation $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}/dt = a(T(t) - T_0)$

La relation $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}/dt = a(T(t) - T_0)$ de la figure 12-B est confirmée par la figure 12-D. Elle a été trouvée par des méthodes fort différentes et des auteurs différents, qui ont souvent oublié de défalquer la contribution anthropique, faible entre 1980 et 2000 (environ 0,3 ppm/an) mais significative depuis la renaissance du charbon ("chinois") après 2003 (+0,6 ppm/an: figure 12-E, 3ème vignette).

Citons:

le professeur Jeffrey Park: *A re-evaluation of the coherence between global-average atmospheric CO2 and temperatures at interannual time scales* GRL 2009 VOL. 36, L22704, doi:10.1029/2009GL040975 voir *online supplement* pour une description de l'algorithme et la conclusion suivante:

"Roughly speaking, in the 1979-2008 time interval, interannual variations atmospheric CO2 at Mauna Loa **follow a simple integral of global-average temperature fluctuations**. This relationship applies to time scales where ocean-atmosphere quasi-cycles, such as ENSO, dominate global climate variations, and does not apply to the long-term secular increase in CO2 [précaution oratoire pour éviter le tribunal de l'inquisition] or fluctuations on time scales of a year or less."

Noter (a) que le refus de considérer des tendances séculaires est pleinement justifié par le fait que la série Mauna Loa commence en 1958, et (b) que la tendance de long terme est la somme des fluctuations annuelles.

Ce travail explicite pour la série Mauna Loa la carte des zones de dégazage et d'absorption, par une analyse statistique avec les fonctions de cohérence dans le domaine temporel.

le professeur Murry Salby : <http://talks.cam.ac.uk/talk/index/44760> (conférences à l'université de Cambridge, UK)

<http://www.skyfall.fr/wp-content/2013/08/autour-de-salby-et-du-co2.pdf> donne en français un résumé des conférences du Pfr Salby ses conférences de 2011, 2012, 2013

http://www.youtube.com/watch?v=2ROw_cDKwc0 à Hamburg 2013

http://www.youtube.com/watch?v=ZVCps_SwD5w&index=3&list=PLILd8YzszWVtp8s1bx2KTNHXCzp8YQR1z à Sidney 2012

https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=YrI03ts--9I à Sidney 2011

http://scef.org.uk/attachments/article/532/salby01-20131107_u2.pdf

<http://scottishsceptic.co.uk/2013/11/08/thanks-prof-salby/>

Ce travail complète celui du prof. J. Park en employant des réanalyses des situations météorologiques et retrouve par corrélations l'effet très visible sur le $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 de l'air des moindres précipitations sur certaines zones lors des El Niño.

les professeurs Beenstock & Reingewertz à partir de méthodes de traitement des séries maintenant classiques en économétrie : Beenstock, M., Reingewertz, Y., and Paldor, N. *Polynomial cointegration tests of anthropogenic impact on global warming*, Earth Syst. Dynam., 3, 173-188, doi:10.5194/esd-3-173-2012, 2012 <http://www.earth-syst-dynam.net/3/173/2012/esd-3-173-2012.html>⁸³

"La méthodologie de co-intégration polynomiale sert à tester le réchauffement climatique anthropique sur 1880-2007: les températures moyennes globales et le flux solaire ont des différences d'ordre 1 stationnaires [la série dX/dt est stationnaire] alors que le forçage par les gaz à effet de serre et par les aérosols ont des différences d'ordre 2 stationnaires [la série d^2X/dt^2 est stationnaire] ... Quoique ces forçages anthropiques présentent une tendance aléatoire commune, cette tendance est empiriquement indépendante de la tendance stochastique des températures.

En conséquence le forçage par les gaz à effet de serre, les aérosols, le rayonnement solaire et les températures globales ne sont pas polynomialement co-intégrés et la relation entre ces variables est un phénomène de régression parasite."

voir <http://www.earth-syst-dynam-discuss.net/4/C118/2013/esdd-4-C118-2013-supplement.pdf>.

L'état de la discussion -en juin 2014- est rapporté sur <http://wattsupwiththat.com/2014/06/24/pro-agw-economists-try-to-discredit-skeptics-succeed-in-discrediting-fellow-warmists/>

Beenstock et Reingewertz réécrivent la relation $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}/dt = a(T(t) - T_0)$ sous la forme

$T(t) = T_0 + (1/a) d[\text{CO}_2]_{\text{total}}/dt$ et disent avec humour que c'est là une formule inédite pour le calcul de l'effet de serre !

12-4) Flux absorbés par la végétation et par les océans

Plus de CO_2 dans l'air et les plantes croissent plus et plus vite et résistent mieux à la sécheresse ! Ce que montre la pratique des horticulteurs qui augmentent d'un facteur deux à quatre la teneur de l'air de leur serre en dioxyde de carbone.

Pour les flux absorbés par la végétation et les océans, l'IPCC AR4 de 2007 (figure 7-3, page 515) dit:

pour la végétation 120 Gt-C (préindustriel) + 3 Gt-C = 123 Gt-C

pour les océans 70 Gt-C (préindustriel) + 22 Gt-C = 92 Gt-C

⁸³ une première version de ce papier: Beenstock Michael, Yaniv Reingewertz *Polynomial Cointegration Tests of the Anthropogenic Theory of Global Warming* Department of Economics, The Hebrew University, Mount Scopus, Israel http://economics.huji.ac.il/facultyee/beenstock/Nature_Paper091209.pdf

1 donc 190 Gt-C en préindustriel (durée de vie $v = 3$ ans) et 215 Gt-C soit +13% en 2006 donc $v = 3,75$ ans

2 Le rapport suivant IPCC AR 5 de 2013 (figure 6-1, page 471) dit :

3 pour la végétation 109 Gt-C (préindustriel) +14 Gt-C = 123 Gt-C

4 pour les océans 60 Gt-C (préindustriel) +20 Gt-C = 80 Gt-C;

5 donc 169 Gt-C en préindustriel (durée de vie $v = 3,5$ ans) et 203 Gt-C soit +20% en 2011 et $v = 4,1$ ans

6 ce alors que la teneur de l'air aurait crû de 37% environ (de 285 ppm à 390 ppm puisque ce rapport AR5 fait référence à

7 2011).
8 La référence au "préindustriel" ne saurait être prise au sérieux; on n'a de mesures par spectroscopie infrarouge que depuis
9 la fin des années 1950; les teneurs de l'air en dioxyde de carbone mesurées par titrage chimique de 1812 à 1962 sont la
10 plupart assez supérieures aux 280 ppm à 300 ppm supposés par l'IPCC, en particulier vers 1940, les teneurs observées sont
11 entre 380 ppm et 400 ppm.⁸⁴ Le rapport stock/(flux absorbé) serait donc plutôt de 4,3 ans pour un "préindustriel" de 350
12 ppm vers 1850-1900.

13 Les flux absorbés par la végétation et les océans sont très incertains comme le montrent ces réévaluations d'un rapport
14 IPCC-GIEC à l'autre; mais malgré la correction de **+3 Gt-C (IPCC AR4) à +14 Gt-C (IPCC AR5)** de la différence
15 entre l'absorption actuelle et l'absorption "préindustrielle" par la végétation terrestre, la croissance, depuis la sortie du
16 petit âge de glace à la fin du XIX^{ème} siècle, du flux absorbé par la végétation est encore très sous-estimée. En effet:

17 * la dynamique annuelle de la croissance de la végétation au nord de 45°N repérée par la diminution entre avril-mai et
18 octobre de la teneur de l'air en CO₂ (il est absorbé par les plantes) a crû de **50% entre 1960 et 2010**⁸⁵,

19 *les mesures par satellite de la couverture végétale (Normalized Difference Vegetation Index ou NDVI) ont montré sur
20 1982-2011 que 31% de la surface végétale de la Terre est devenue plus verte (plus de feuilles), que la production
21 primaire nette de la végétation a crû de 14%⁸⁶ pour une augmentation de 15% de la teneur en CO₂ (de 341 ppm en 1981
22 à 392 ppm en 2011). Les zones arides ont vu une augmentation significative de la surface des feuilles⁸⁷,

23 * la croissance des forêts en Europe centrale a depuis 1960 augmenté à proposition de la teneur de l'air en dioxyde de
24 carbone.⁸⁸

25 Voir aussi le triplement, ou plus, depuis 1960 des productions agricoles⁸⁹ passées de 200 Mt à 852 Mt pour le maïs, de
26 220 Mt à 654 Mt pour le blé et de 150 Mt à 466 Mt pour le riz.

27 Et chose fort étonnante, un des principaux auteurs (ou fauteurs) du réchauffement climatique, James Hansen lui-même,
28 en 2012 trouve au charbon "chinois"⁹⁰ un effet prodigieusement bénéfique; pourtant, il y a quelques années, il appelait

⁸⁴ Pour une compilation de ces observations (environ 90 000) voir www.realCO2.de de feu E. G. Beck; la diminution rapide de 1945 à 1960 des teneurs de l'air suggère que la végétation, avant de s'étioler, a continué à absorber du CO₂ en même temps que la baisse des températures augmentait l'absorption et diminuait le dégazage océaniques.

⁸⁵ Graven HD, Keeling RF, Piper SC, [et al.](#), 2013, Enhanced Seasonal Exchange of CO₂ by Northern Ecosystems Since 1960, Science, Vol:341, ISSN:0036-8075, pages 1085-1089 "*Les résultats viennent d'une surveillance sur plusieurs années de la chimie de l'atmosphère faite en avion et appelée HIAPER Pole-to-Pole Observations (HIPPO), et NOAA aircraft observations. Les observations du CO₂ atmosphérique faites en avion à des altitudes entre 3 et 6 kilomètres montrent que les variations saisonnières du CO₂ variations on crû sensiblement en amplitude sur ces dernières 50 années. L'amplitude a crû en gros de 50 pour-cent sur les régions au nord de 45° N, en comparaison d'observations faites en avion de la fin des années 1950 au début des années 1960*".

⁸⁶ Prof. Ranga B. Myneni (department of Earth & Environment Boston University USA), *The Greening Earth*, Probing Vegetation Conference From Past to Future July 4-5, 2013 Antwerp, Belgium

⁸⁷ Donohue Randall et al. *Deserts 'greening' from rising CO₂* (CSIRO, the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. Australia's national science agency. 3 July 2013 <http://www.csiro.au/en/Portals/Media/Deserts-greening-from-rising-CO2.aspx> publié dans GRL 2013

⁸⁸Pretzsch, H., et al. Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. Forest Ecol. Manage. (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.050>
Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., Rötzer, Th., Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870 (2014) Nat. Commun. 5:4967, [DOI:10.1038/ncomms5967](https://doi.org/10.1038/ncomms5967) [http://www.wwk.forst.tu-muenchen.de/info/publications/](http://www.wwk.forst.tu-muenchen.de/info/publications/http://www.wwk.forst.tu-muenchen.de/info/publications/OnlinePublications/2013_Changes_of_Forest_Stand_Dynamics_Pretzsch_etal.pdf)
Pour une compilation des articles publiés sur la croissance de la productivité des forêts en conséquence de la fertilisation de l'air par plus de CO₂ depuis les années 1970 <http://www.co2science.org/subject/f/summaries/forestsmodern.php>

⁸⁹ La fertilisation par plus de CO₂ dans l'air n'est qu'une des causes de ce triplement, attribuable d'abord au choix d'espèces plus productives et adaptées et à une augmentation très sensible de la restitution au sol de l'azote consommée par les plantes, avec une production d'engrais multipliée par 8 ou 9 depuis 1960; la baisse du coût relatif de l'énergie et des combustibles fossiles a rendu ces engrais économiquement abordables dans bien des pays en développement. Voir <http://www.drroyspencer.com/wp-content/uploads/global-grain-yields.jpg> ou <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdDownload.aspx> et <http://www.friendsofscience.org/index.php?id=712>

⁹⁰ James Hansen, Pushker Kharecha and Makiko Sato [Climate forcing growth rates: doubling down on our Faustian bargain 2012 Environ. Res. Lett. 7 044035 Full text PDF \(631 KB\)](#)

" Un mécanisme par lequel les émissions des combustibles fossiles augmentent l'absorption du carbone est la fertilisation de la biosphère à laquelle ils apportent les aliments essentiels pour la construction de la matière végétale surtout l'azote qui joue un rôle critique dans le pilotage de la productivité primaire nette et est un facteur limitant pour bien des écosystèmes (Gruber and Galloway 2008). La modélisation (e.g., Thornton et al 2009) et les études de terrain (Magnani et al 2007) confirment le rôle majeur des dépôts d'azote qui de concert avec la fertilisation par le CO₂ causent une très considérable augmentation de la productivité primaire nette

1 "trains de la mort" ces convois ferroviaires qui, aux Etats-Unis, transportent le charbon des mines aux centrales
2 électriques.

3 Les affirmations du tome II des rapports de l'IPCC-GIEC, sur une diminution annoncée des ressources végétales et
4 agricoles sont contraires au bon sens et aux observations. Ce volume est en fait rédigé par des employés et des
5 consultants des nombreuses ONG et des bureaucraties qui vivent –aux dépens des contribuables- de la prédication de la
6 catastrophe climatique.

7 La révision de 92 Gt-C (Takahashi, 2009, IPCC 2007) à 80 Gt-C (IPCC, 2013) de l'absorption annuelle par les océans du
8 dioxyde de carbone de l'air (hors années El Niño) est un autre sujet d'étonnement.

10 12-5) Considérations élémentaires sur $d[\text{CO}_2]/dt + [\text{CO}_2](t) / v = \text{émissions}(t) + \text{dégazage naturel}(t)$

11 La teneur $[\text{CO}_2](t)$ de l'air en dioxyde de carbone en fonction du temps est la solution de l'équation différentielle où f
12 désigne les flux entrant et sortant

$$13 \quad d[\text{CO}_2]/dt = f_{\text{dégazé}}(t) + f_{\text{gaz de combustion}}(t) - f_{\text{absorbé}}(t)$$

14 Si le rapport $f_{\text{absorbé}} / [\text{CO}_2] = (1/v)$ est constant, de l'ordre de (1/4) ou de (1/5) parce que la végétation et les océans
15 absorbent proportionnellement à la teneur de l'air en CO_2 , $[\text{CO}_2](t)$ est solution de l'équation différentielle élémentaire

$$16 \quad d[\text{CO}_2]/dt + [\text{CO}_2]/v = f_{\text{dégazé}}(t) + f_{\text{gaz de combustion}}(t)$$

17 qui s'écrit $[\text{CO}_2](t) = \exp(-(t-t_0)/v) [\text{CO}_2]_{(t_0)} + \int_{t_0}^t (f_{\text{dégazé}}(t') + f_{\text{gaz de combustion}}(t')) \exp(-(t-t')/v) dt'$

18 $[\text{CO}_2](t)$ est donc simplement la moyenne des flux entrants en $f(t')$ pondérés par $\exp(-(t-t')/v)$.

19
20 Comme $\int_{t_0}^t \exp(-(t-t')/v) dt' = v (1 - \exp(-(t-t_0)/v))$ vaut sensiblement v dès que $(t-t_0)/v$ est de quelques unités, le stock
21 $[\text{CO}_2](t)$ serait simplement v fois le flux entrant si ce dernier était constant.

22
23 Toujours sous l'hypothèse que $v = [\text{CO}_2]_{\text{total}} / f_{\text{absorbé}}(t)$ est constant, comme ni les océans ni la végétation ne discriminent
24 entre les molécules de CO_2 selon leur origine, l'équation précédente se décompose en deux relations

$$25 \quad d[\text{CO}_2]_{\text{anthropique}}/dt = f_{\text{gaz de combustion}}(t) - f_{\text{absorbé}}(t) \quad [\text{CO}_2]_{\text{anthropique}} / [\text{CO}_2]_{\text{total}} = f_{\text{gaz de combustion}}(t) - [\text{CO}_2]_{\text{anthropique}} / v$$

$$26 \quad d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}/dt = f_{\text{dégazé}}(t) - f_{\text{absorbé}}(t) \quad [\text{CO}_2]_{\text{naturel}} / [\text{CO}_2]_{\text{total}}$$

27
28 Les recueils statistiques économiques donnent $f_{\text{gaz de combustion}}(t)$ assez exactement (figure 12-E vignette du haut) et
29 $[\text{CO}_2]_{\text{anthropique}}$ s'en déduit ainsi que les incréments anthropiques.

30 Par contre $f_{\text{dégazé}}(t)$ n'est connu qu'en ordre de grandeur comme vu au § 12-3 précédent et varie de quelques pour cent
31 d'une année à l'autre.

32 Les rapports isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ fixent des bornes inférieure et supérieure à v comme montré au § 12-4-2 et en détail au
33 fascicule "Comprendre vraiment le cycle du carbone".

34
35 Nous prendrons ici $v=5,5$ ans pour n'être pas accusé de sous-estimer la contribution anthropique au CO_2 de l'air.

36 L'incrément sur 12 mois de la partie anthropique du stock de l'air est

$$37 \quad \int_{t-1}^t f_{\text{gaz de combustion}}(t') \exp(-(t-t')/v) dt' - (1 - \exp(-1/v)) \int_{t_0}^{t-1} f_{\text{gaz de combustion}}(t') \exp(-(t-1-t')/v) dt'$$

38 Si $f_{\text{gaz de combustion}}(t)$ était constant $[\text{CO}_2]_{\text{anthropique}} = v f_{\text{gaz de combustion}}$ et l'incrément annuel serait nul.

39
40 Pour une croissance exponentielle des émissions $f_{\text{gaz de combustion}}(t) = f_{\text{gaz de combustion}}(t) (1+a)^{t-t_0}$ l'incrément de la partie
41 anthropique entre $(t-1)$ et t est à peu près $a v / (1+a) / (1 + v \ln(1+a))$ fois les émissions $f_{\text{gaz de combustion}}(t)$ de la dernière
42 année: par exemple pour $v=5,5$ et $a=0,025$, c'est $0,118 f_{\text{gaz de combustion}}(t)$ et pour $f_{\text{gaz de combustion}}(t) = 10 \text{ Gt-C}$, $+0,56 \text{ ppm/an}$.

43
44 Une évaluation précise avec les séries historiques des émissions confirme ces ordres de grandeurs (figure 12-E, 3ème
45 vignette, au milieu à gauche: *incréments anthropiques en ppm/an*).

46 La vignette 4 de la figure 12-E (au milieu, à droite) suggère une approximation en fonction logistique des émissions de
47 gaz de combustion de combustibles fossiles avec un prolongement jusqu'en 2100. Ce n'est qu'une approximation
48 commode pour le calcul. Les courbes logistiques s'appliquent usuellement au cumul des découvertes de gisements et au
49 cumul des productions décalé de quelques dizaines d'années par rapport aux découvertes, avec en réserves estimées
50 (selon BP, 2014) 240 Gtep en pétrole de tous types, 200 Gtep en gaz de tous types, et 890 Gt-charbon, soit en passant de
51 Gtep en Gt-C

$$52 \quad 0,837 \ 240 + 0,64 \ 200 + 1,08 \ (892/2) = 329 \text{ Gt-C (pétrole et gaz)} + 482 \text{ Gt-C (charbon)} = 811 \text{ Gt-C de réserves}$$

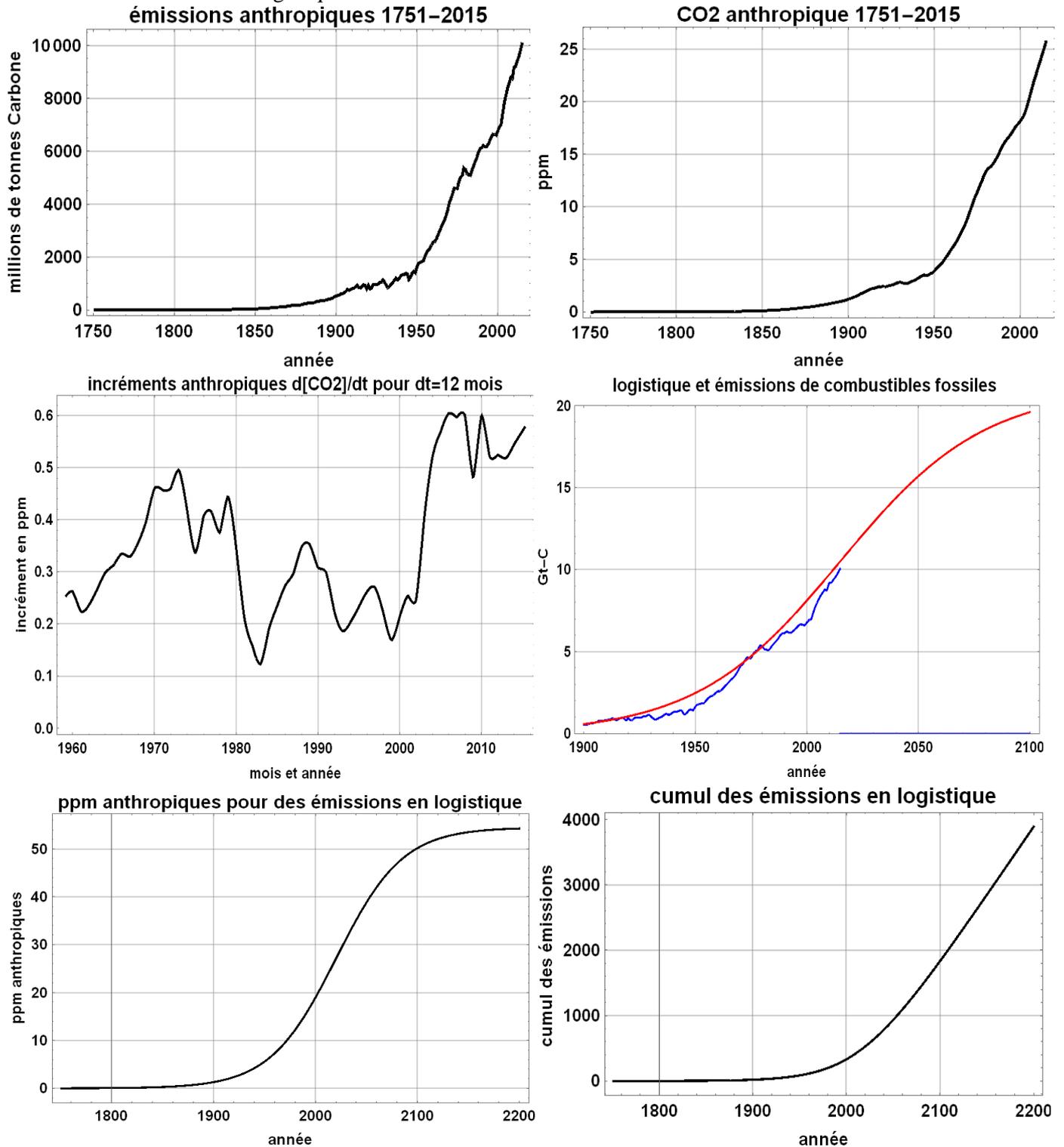
53 Le "scénario" RCP8.5 du GIEC 2013 limite le cumul des émissions en 2100 à environ 1685 Gt-C, le double.

54 IPCC AR5 figure 6-1 dit des réserves de 173 Gt-C à 264 Gt-C en pétrole (soit de 207 Gtep à 281 Gtep), de 383 Gt-C à
55 1135 Gt-C en gaz (soit de 600 Gtep à 1800 Gtep, et curieusement entre 3 et 9 fois les estimations du recueil *BP energy*
56 *outlook 2014*) et de 446 Gt-C à 541 Gt-C en charbon (de 825 Gt-charbon à 1000 Gt-charbon), soit en tout de 1000 Gt-C à
57 1900 Gt-C, avec bizarrement une grosse contribution du gaz.

*des forêts tempérées et boréales. Les aérosols sulfatés venant de la combustion du charbon peuvent aussi augmenter l'absorption du
carbone par la végétation en augmentant la part relative de l'insolation diffuse [par rapport à l'insolation directe] etc."*

L'exercice de calcul sur des "émissions en logistique", figure 12-E, vignettes 4 à 6, montre seulement que, même pour un scénario peut-être invraisemblable quant aux ressources accessibles dans les réservoirs géologiques (Voir les explications détaillées de M.°J.°Laherrere à <http://aspofrance.viabloga.com/texts/documents>), la fraction anthropique du CO₂ de l'air ne dépasserait guère 50 ppm en 2100 contre 25 ppm en 2015 soit **+25 ppm, bien loin des +536 ppm du scénario RCP8.5** de l'IPCC 2013⁹¹.

Figure 12-E) Emissions anthropiques (charbon, pétrole, gaz et ciments), ppm anthropiques dans l'air depuis 1751 pour une durée de vie de 5,5 ans et vignette 3 (milieu à gauche) leurs incréments sur 12 mois depuis 1958 en ppm/an. émissions en logistique $21/(1 + \exp[-0,031(t-2015)])$ pour un exercice de calcul (vignette 4 courbe rouge conjecture et courbe bleue observations) et prévisions associées des ppm anthropiques et du cumul des émissions pour ces bien peu vraisemblables "émissions en logistique"



⁹¹ Van Vuuren D. et al *The representative concentration pathways: an overview* Climatic Change (2011) 109: 5–31

DOI 10.1007/s10584-011-0148-z:

936 ppm en 2100 sont +536 ppm par rapport à 2014 ou +1136 Gt-C, soit une *airborne fraction* de $1136 / (1685 - 403) = 89\%$ des émissions cumulées entre 2014 où elles étaient de 403 Gt-C et 2100 où elles atteindraient 1685 Gt-C pour ce scénario RCP8.5

12-6) Emploi d'une durée de vie variable des molécules de CO₂ dans l'air

L'hypothèse d'un rapport $v = (\text{stock dans l'air}) / (\text{flux absorbé})$ constant peut être adaptée à un rapport légèrement variable en $v / (1 - a t)$ ce qui coûte un paramètre de plus.

La solution de l'équation différentielle

$$d[\text{CO}_2]/dt + [\text{CO}_2](t) (1 - a t) / v = f_{\text{dégazé}}(t) + f_{\text{gaz de combustion}}(t)$$

est presque de la même forme que précédemment mais t y est remplacé par $(t - a t^2/2)$

$$[\text{CO}_2](t) = \exp(- (t - a t^2/2) / v) \{ [\text{CO}_2](0) + \int_0^t (f_{\text{dégazé}}(t') + f_{\text{gaz de combustion}}(t')) \exp((t' - a t'^2/2) / v) dt' \}$$

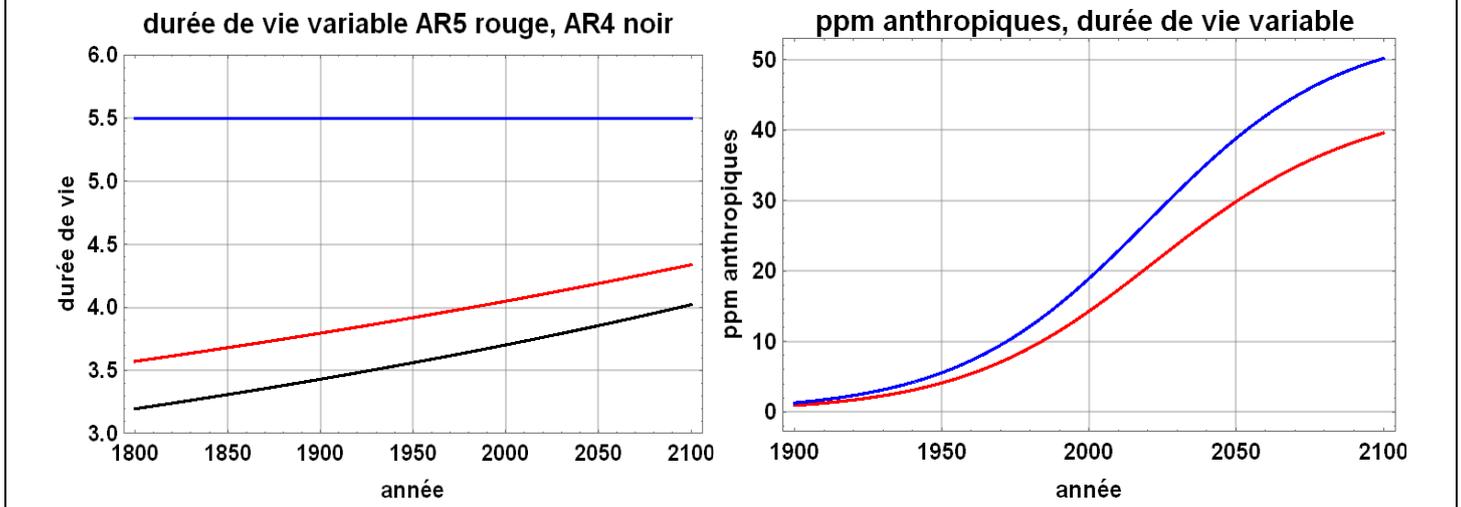
D'autres expressions en $v / f(t)$ avec un $f(t)$ tel que $\int f(t) dt$ soit une fonction simple peuvent aussi servir.

Les calculs et résultats du § 12-5 sont à peine modifiés: $[\text{CO}_2]_{\text{anthropique}}(t)$ se calcule exactement à partir de $f_{\text{gaz de combustion}}(t)$, d'où $[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}(t) = [\text{CO}_2]_{\text{observé}}(t) - [\text{CO}_2]_{\text{anthropique}}(t)$ et $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}(t) / dt$ qui se superpose aux conditions météorologiques telles que les températures et les précipitations observées, comme aux figures 12-B et 12-D.

Figure 12-F) Durées de vie $v(t)$ variables dans le temps

à gauche: comparaison des durées de vie de 5,5 ans maximum compatible avec les rapports isotopiques, et les fonctions $1,43 / (1 - 0,000306 t)$ et $1,734 / (1 - 0,00289 t)$ correspondant aux valeurs dites par les rapports IPCC-AR4 (en noir) et IPCC-AR5 (en rouge) où t est l'année de notre ère

à droite: ppm anthropiques dans l'air, pour le scénario d'émissions en logistique figure 12-E, vignette^o4, pour la durée de vie de 5,5 ans (en bleu) et, en rouge, pour la durée de vie variable entre 3,5 ans (en préindustriel) et 4,1 ans (en 2011) de l'IPCC AR5-2013



12-7) Sur les rapports isotopiques ¹³C/¹²C

12-7-1) Introduction

Le delta¹³C est une fonction linéaire du rapport du nombre d'atomes de carbone 13 (noté ¹³C) au nombre d'atomes de carbone 12 (noté ¹²C). Il est exprimé en pour mille, ici abrégé en "pm".

Le delta¹³C d'un mélange est la somme des delta¹³C des composantes du mélange pondérés par leurs quantités; la signature des émissions anthropiques varie avec la proportion de charbon (vers -24 pm), de pétrole (vers -28 pm) et de gaz (vers -45 pm) et était de l'ordre de -28 pm à -29 pm ces dernières années.

La végétation terrestre absorbe du carbone de delta¹³C vers -26 pm car elle préfère les atomes de carbone ¹²C: la proportion relative de ¹³C augmente donc pendant la période de croissance de la végétation qui voit une nette diminution de la quantité de ¹²C de juin à septembre. Cet effet saisonnier est imperceptible au pôle sud et sur l'océan austral (figure 12-F vignette de droite).

12-7-2) Bornes supérieure et inférieure de la durée de vie $v(t)$ déduites du delta¹³C de l'air et de celui des gaz de combustion

Un atome de carbone absorbé par la végétation et les océans sera reminéralisé par décomposition dans les sols ou l'océan de la matière organique ou transporté par l'océan sur une surface isopycne qui affleure en surface aux hautes latitudes et se retrouve alimenter un upwelling intertropical, l'un et l'autre en quelques dizaines d'années "en moyenne".

$f_{\text{dégazé}}(t)$ aura donc, en moyenne, la composition isotopique de l'air quelques dizaines d'années avant.

Le delta¹³C naturel d'une année t s'exprime comme fonction de quantités connues

$$\text{delta}^{13}\text{C}_{\text{naturel}}(t) = ([\text{CO}_2]_{\text{total}}(t) \text{delta}^{13}\text{C}_{\text{total}}(t) - [\text{CO}_2]_{\text{anthropique}}(t) \text{delta}^{13}\text{C}_{\text{anthropique}}(t)) / ([\text{CO}_2]_{\text{total}}(t) - [\text{CO}_2]_{\text{anthropique}}(t))$$

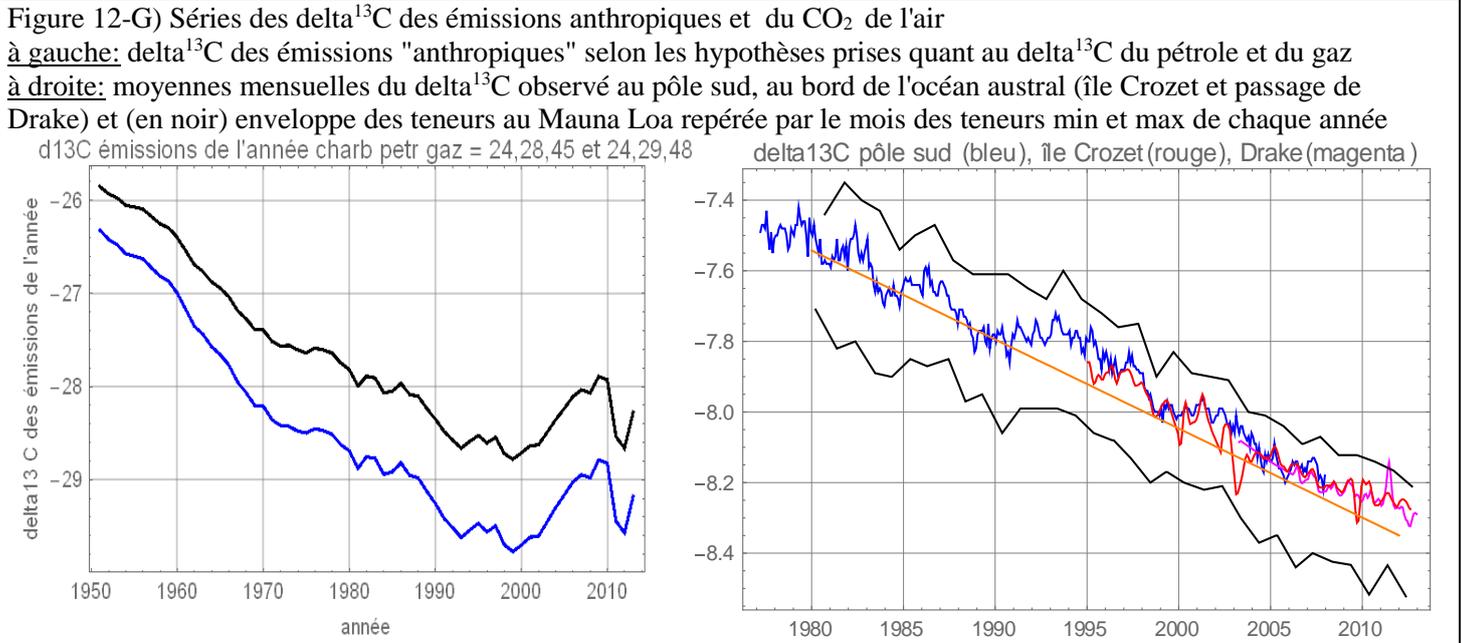
ou

$$\text{delta}^{13}\text{C}_{\text{naturel}}(t) = (\text{delta}^{13}\text{C}_{\text{total}}(t) - \text{delta}^{13}\text{C}_{\text{anthropique}}(t) R(t)) / (1 - R(t)) \quad \text{avec } R(t) = [\text{CO}_2]_{\text{anthropique}}(t) / [\text{CO}_2]_{\text{total}}(t)$$

R(t) de quelques pour cent dépend de la durée de vie qui peut être constante v ou variable en $v / (1 - a t)$ ou en $v / f(t)$.
 Une durée de vie trop courte (pas assez de carbone anthropique dans l'air) implique une variation très rapide de $\delta^{13}C_{naturel}(t)$ qui supposerait une reminéralisation ou décomposition de la matière organique de plus en plus rapide, ce qui n'est pas vraisemblable.
 Une durée de vie trop longue impliquerait une variation de $\delta^{13}C_{naturel}(t)$ en sens contraire de celle de $\delta^{13}C_{total}(t)$ ce qui n'est pas vraisemblable non plus.

12-7-3) Observations

Les combustibles fossiles ont actuellement un $\delta^{13}C$ de -28 pm à -29 pm (figure 12-G) selon les proportions de gaz, de charbon, etc... et l'air "naturel" est en 2010 vers -7,1 pm
 $6\% (-28 \text{ pm}) + 94\% (-7,1 \text{ pm}) = (-8,35 \text{ pm})$ ce qui est observé (figure 12-G à droite)



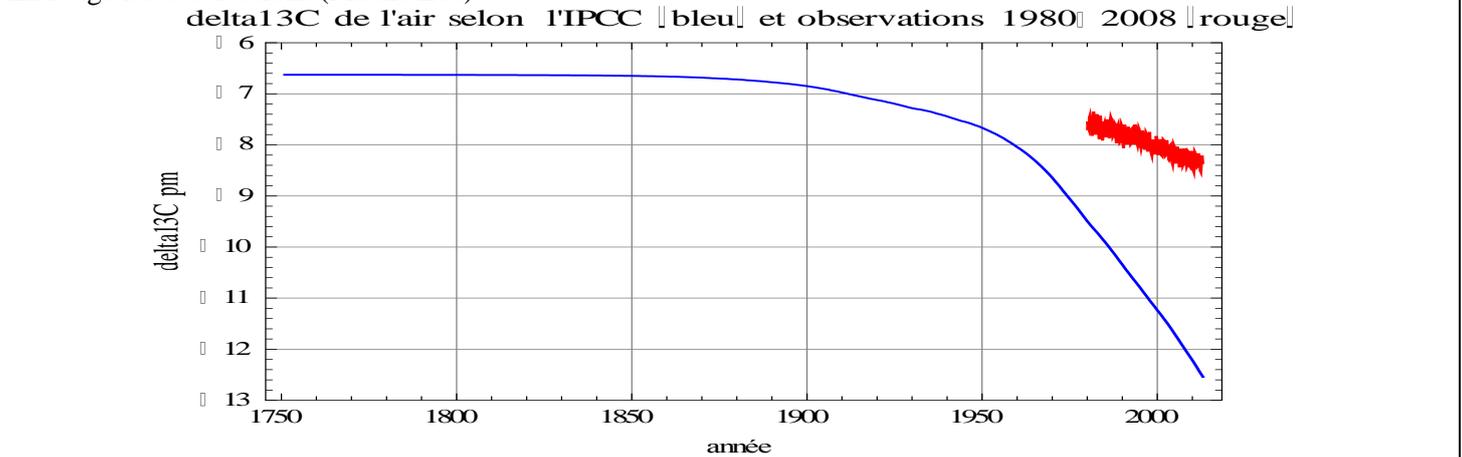
Le $\delta^{13}C$ de l'air aurait été de -7 pm en 1956 ce qui suggèrerait environ 50 ans entre absorption et résurgence

Le GIEC affirme page 10 § B.5 troisième paragraphe du résumé pour décideurs: "*Parmi ces émissions anthropiques cumulées de CO_2 , 240 [230 à 250] Gt-C se sont accumulées dans l'atmosphère*".

Comme $(240 / 840) = 28\%$ et comme $28\% (-28 \text{ pm}) + 72\% (-7 \text{ pm}) = -13 \text{ pm}$, bien différent des $(-8,35 \text{ pm})$ observés, l'affirmation de l'IPCC 2013 est grossièrement inexacte.

L'application de la formule de Berne (supposée exprimer la rémanence dans l'air du CO_2 anthropique, selon l'IPCC-GIEC AR4 2007 ⁹²) à la série des émissions de carbone "fossile" depuis 1750 avec l'estimation du $\delta^{13}C$ découlant de la proportion variable de charbon pétrole et gaz des séries des statistiques économiques (figure 12-E, gauche) conduit à la courbe en bleu à la figure 12-H. Les mesures sont en rouge.

Figure 12-H) En bleu $\delta^{13}C$ de l'air calculé selon l'IPCC-GIEC (formule de Berne dite donner la fractions des émissions anthropiques restées dans l'air t années après l'émission) en partant de -6,5 pm et 277 ppm en "préindustriel" En rouge les observations (Mauna Loa)



Ce ne sont donc pas les émissions anthropiques elles-mêmes qui "se sont accumulées dans l'atmosphère".

⁹² Rapport IPCC 2007 WG1, page 213 note a du tableau 2-14

12-8) Formules de Berne, de Hamburg et "airborne fraction"

Pour faire croire à une rémanence "cent ans"⁹³ dans l'air non pas des molécules de CO₂ anthropiques mais de leurs fantômes après de multiples absorptions et dégazages par la végétation, les sols et les océans il suffit de poser par exemple

$f_{\text{absorbé}}(t) = f_{\text{dégazé}}(t) + 0,55 f_{\text{gaz de combustion}}(t)$ et alors $d[\text{CO}_2](t)/dt = 0,45 f_{\text{gaz de combustion}}(t)$ dite être la "airborne fraction" restant perpétuellement dans l'air, ou encore d'appliquer une fonction à retards $g(t)$

$$[\text{CO}_2](t) = \int_{t_0}^t f_{\text{gaz de combustion}}(t') g(t-t') dt'$$

où $g(t)$ est exprimé par des formules "justifiées" par des "modèles en compartiments" de l'océan, avec $g(100) = 1/e = 0,367$.

$g(t)$ est en fait la meilleure fonction de transfert à 6 ou 8 paramètres arbitraires entre $f_{\text{gaz de combustion}}(t)$ et $[\text{CO}_2](t)$ observé au Mauna Loa.

Des exemples de ces approximations justifiées par des "modèles en compartiments"⁹⁴ sont :

$$\text{berne}[t] = 0,217 + 0,259 \exp(-t/172,9) + 0,338 \exp(-t/18,51) + 0,186 \exp(-t/1,186)$$

$$\text{hamburg}[t] = 0,131 + 0,201 \exp(-t/363) + 0,321 \exp(-t/74) + 0,249 \exp(-t/17) + 0,098 \exp(-t/1,9)$$

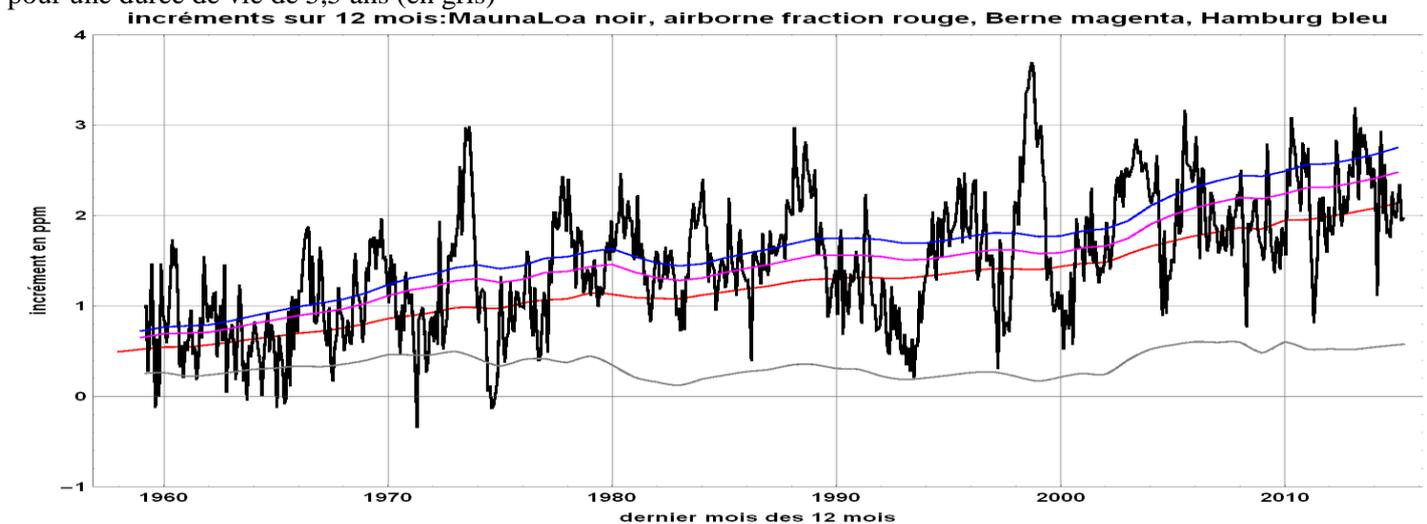
$$\text{variante berne1}[t] = 0,18 + 0,14 \exp(-t/420) + 0,18 \exp(-t/70) + 0,24 \exp(-t/21) + 0,26 \exp(-t/3,4)$$

ce qui par exemple pour $\text{berne}[t]$ exprime que 22% des émissions anthropiques reste perpétuellement dans l'air, 26% ont une durée de vie de 173 ans, 34% une durée de vie de 19 ans etc.

Les raisonnements sur des compartiments imaginés dans les sols et les océans sont un habillage; ces compartiments diffèrent beaucoup d'une expression de $g(t)$ à une autre.

Enfin on assure que les "aléas météorologiques" tels que les El Niño ajoutent un "bruit" autour de la tendance. La figure 12-I montre ces différentes variantes en couleurs et les compare avec $g(t) = \exp(-t/5,5)$ (courbe en gris en bas) et avec les observations (en noir)

Figure 12-I Incréments $d[\text{CO}_2]/dt$ pour $dt=12$ mois observés (en noir) et calculés pour diverses fonctions $g(t)$ "airborne fraction" = 45% (en rouge), formules de Berne (magenta) et de Hamburg (en bleu) et, en bas, incréments anthropiques pour une durée de vie de 5,5 ans (en gris)



La "airborne fraction" atteint, sur 2015-2100, pour le "scénario" RCP8.5⁹⁵, 89% au lieu des 45% ou 42% supposés pour le XXème siècle.

Le rapport IPCC AR5 WG1 p.495 indique que cette "airborne fraction" a augmenté de 0,05 sur 1960-2010⁹⁶.

⁹³ Communiqué de presse de l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) du 9 septembre 2014 "Le dioxyde de carbone demeure pendant des centaines d'années dans l'atmosphère et encore plus longtemps dans l'océan. L'effet cumulé des émissions passées, présentes et futures de ce gaz se répercutera à la fois sur le réchauffement du climat et sur l'acidification des océans. Les lois de la physique ne sont pas négociables"

H. Le Treut Le Figaro 28 11 2011 " ...par exemple la moitié environ du dioxyde de carbone injecté dans l'atmosphère à un moment donné y est encore présente un siècle plus tard ... ces effets des gaz à effet de serre sont avant tout des effets futurs ... urgence climatique qui tient à cet engagement croissant sur l'avenir de la planète que nous prenons en émettant des gaz à effet de serre

R. Kandel Le Figaro 25 3 2010 "... une fraction croissante du CO₂ ajouté à l'atmosphère risque d'y rester plus d'un siècle, il est urgent d'agir..."

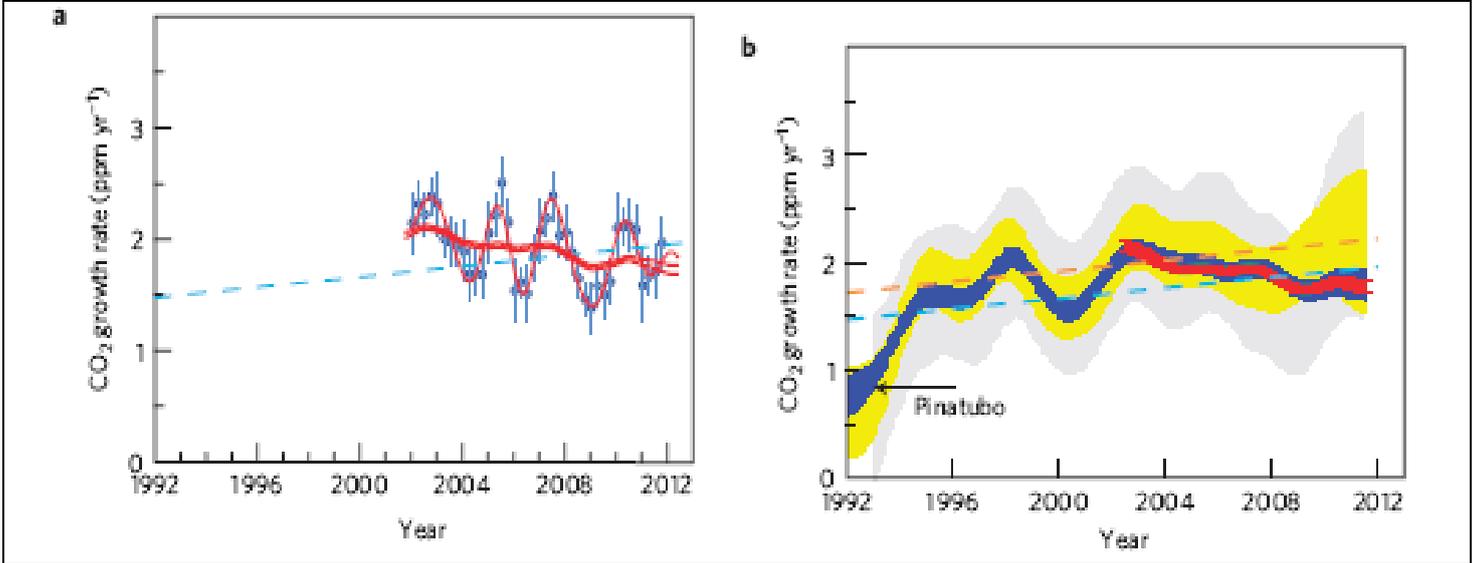
⁹⁴ Soit $X(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ le vecteur des contenus des compartiments liés par un système d'équations linéaires de la forme $dX/dt = A X(t) + F(t)$, résolu en prenant la transformée de Laplace de $X(t)$ et éliminant $\{x_2, x_3, \dots, x_n\}$; le contenu $x_1(t)$ du premier compartiment est alors une somme d'exponentielles du temps, $\exp(-a_i t)$ où a_i est une des racines du déterminant B factorisé sous la forme $\prod (s + a_i)$; $B(s)$ sert à exprimer les transformées de Laplace de $\{x_2, x_3, \dots, x_n\}$ en fonction de celle de x_1

⁹⁵ 936 ppm en 2100 sont +536 ppm par rapport à 2014 ou +1136 Gt-C, soit une "airborne fraction" de $1136 / (1685 - 403) = 89\%$ des émissions cumulées entre 2014 où elles étaient de 403 Gt-C et 2100 où elles atteindraient 1685 Gt-C pour ce scénario RCP8.5

Et pourtant les incréments observés **dé**croissent depuis 2002 malgré des lissages en moyenne mobile: figure 12-J.

Figure 12-J) Observations de la croissance du CO₂ de l'air (Figure 2 de l'article de Francey et al. Nature Climate Change, 10 February 2013). La légende de cette figure 2 est :

a: ralentissement de la croissance d[CO₂]/dt en Gt-C/an: les points bleus sont les différences des concentrations moyennes mensuelles d'un an à l'autre avec un lissage sur 1,8 an (ligne rouge mince) et sur 5 ans (ligne rouge épaisse); la ligne en tirets bleus est l'extrapolation d'une régression linéaire faite sur 50 années de valeurs de d[CO₂]/dt
 b: d[CO₂]/dt à Cape Grim (Tasmanie) (air marin) (en bleu), au Mauna Loa (en jaune) et à Alert (à 817 km du Pôle Nord, dans l'Arctique canadien) (en gris) en Gt-C/an. La courbe rouge est celle de la vignette a).
 Les droites en tiretés sont les régressions linéaires sur 50 ans de d[CO₂]/dt au Mauna Loa et au Pôle sud.

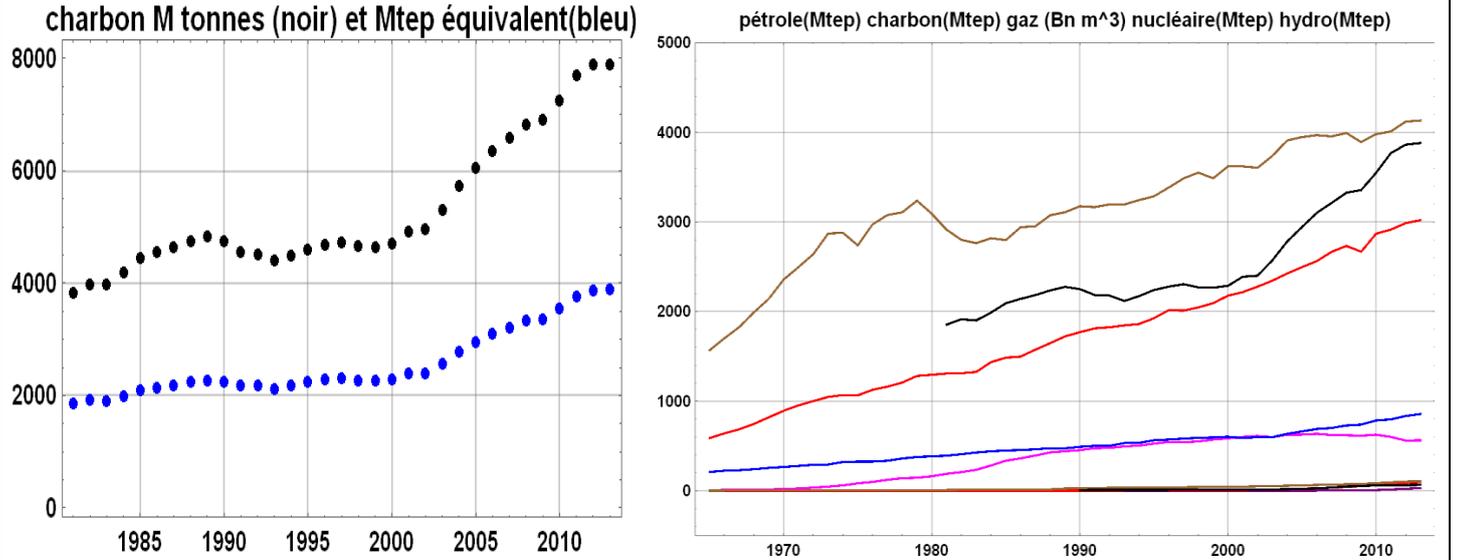


La production de charbon a presque doublé (figure 12-K) alors que dans le même temps, selon Francey et al., 2013, d[CO₂]_{total}/dt diminuait sensiblement (figure 12-J) .

Voilà pourquoi James Hansen (citation à la note 89) trouve maintenant au charbon "chinois" des propriétés miraculeuses pour la végétation et pourquoi Wang Xuhui et al. (citation à la note 81) conclut à l'inadéquation des "modèles" du cycle du carbone employés par l'IPCC-GIEC.

Figure 12-K) à gauche: Production de charbon en Mt-charbon (en noir) et en équivalent-pétrole en Mtep (bleu) à droite: évolutions en Mtep des productions de pétrole (brun), charbon (noir), gaz (rouge), hydroélectrique (bleu), nucléaire (magenta), bois de chauffage (bistre) et de divers prétendus renouvelables (de 20 Mtep à 100 Mtep)

Selon BP energy outlook 2014



⁹⁶ "A positive trend in airborne fraction of ~0.3% yr⁻¹ relative to the mean of 0.44 ± 0.06 (or about 0.05 increase over 50 years) was found by all recent studies"

1 Beaucoup d'auteurs qui ne comprennent pas pourquoi les émissions anthropiques resteraient "cent ans" dans l'air
2 invoquent fort bizarrement la stabilité chimique de la molécule de CO₂⁹⁷.

3 Des synthèses récentes sur la circulation des carbones organiques et inorganiques dans les océans infirment les modèles
4 de compartiments; Levy et al. 2013⁹⁸ explique: "*Aux latitudes tempérées la subduction de carbone inorganique dissous*
5 *(DIC) et dans une moindre mesure (< 10%) la descente de particules [de matière organique] assure une sous-saturation*
6 *en CO₂ alors que le carbone inorganique dissous remonte vers la surface dans la zone intertropicale (75%) et dans*
7 *l'océan austral (25%).*

8 *A l'échelle du globe on aurait une remontée de 275,5 Gt-C/an et une subduction de 264,5 Gt-C/an, soit **trois à cinq fois***
9 *les estimations précédemment avancées."*

11 12-9) Pour conclure

12 Il n'y a, en 2015, que 6% de carbone anthropique dans l'air (figure 12-A) ; le reste de la croissance des ppm est un
13 phénomène naturel conséquence des températures (figure 12-B).

14 Les relations

15 $[\text{CO}_2]_{\text{total}}(t) = [\text{CO}_2]_{\text{naturel}}(t) + [\text{CO}_2]_{\text{anthropique}}(t), \quad f_{\text{absorbé}}(t) = [\text{CO}_2]_{\text{total}}(t) / v \quad \text{et} \quad d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}} / dt = a (T(t) - T_0)$
16 permettent très simplement et exactement de rendre compte des quatre séries temporelles des émissions anthropiques
17 (depuis 1750), des teneurs de l'air en CO₂ (depuis 1958), et de leurs rapports isotopiques, ce sans hypothèses arbitraires
18 sur des compartiments fantasmés à l'intérieur de l'océan ou des sols.

19
20 Nous renvoyons à un autre fascicule de la collection "*Comprendre vraiment*" pour une étude plus détaillée de la durée de
21 vie v et l'examen des modèles en compartiments.

22
23 Comme déjà dit le "scénario" RCP8.5 avec 936 ppm en 2100 suppose +536 ppm par rapport à 2014 ou +1136 Gt-C et
24 donc une "*airborne fraction*" de $1136 / (1685 - 403) = 89\%$ des émissions cumulées entre 2014 (cumul de 403 Gt-C) et
25 2100 (cumul de 1685 Gt-C pour ce scénario).

26 Ce passage de 42% ou 45% à 89 % de la "*airborne fraction*" ôte toute crédibilité aux scénarios de l'IPCC-GIEC.

27 La figure 12-I monte bien que les incréments de $[\text{CO}_2]_{\text{total}}(t)$ en noir, n'ont que peu à voir avec les incréments du stock
28 anthropique (en gris).

29
30 La croissance observée de la végétation assure la constance du rapport (stock dans l'air) / (flux absorbé par an)

31
32 *****

33
34 Pour l'océan il y a quelque contradiction entre dire que les sédiments calcaires à faible profondeur sur les plateaux
35 continentaux qui assurent un remarquable effet tampon n'auront d'effet que dans des millénaires et dire que les coquilles
36 calcaires de certaines espèces – pourtant généralement dans une enveloppe biologique- sont menacées de dissolution
37 immédiate.

38
39 Les quelques 400 Gt-C attribués aux combustibles fossiles brûlés depuis le début de l'ère industrielle ne sont que un pour
40 cent du stock de 45 000 Gt-C circulant dans l'air, l'océan, les sols et la végétation.

⁹⁷ Un exemple parmi mille: Adolphe Nicolas 2050 *Rendez-vous à risques* Belin 2004 191 pages... (p. 62) *L'atmosphère constitue un réservoir petit mais très ouvert; le quart de la masse de carbone qu'il contient est mobile...bien que modeste la contribution anthropique suffit à perturber un cycle naturel en équilibre depuis plusieurs siècles.... en vertu de sa stabilité chimique ce gaz s'accumule dans l'atmosphère.*

Bernard Tissot dans *Halte au changement climatique* (Odile Jacob 2003) dit une "*durée de vie de 200 ans*" et la justifie par la stabilité chimique des molécules de CO₂

⁹⁸ Levy, M., L. Bopp, P. Karleskind, L. Resplandy, C. Ethe, and F. Pinsard (2013), *Physical pathways for carbon transfers between the surface mixed layer and the ocean interior*, *Global Biogeochem. Cycles*, 27, 1001–1012, doi:[10.1002/gbc.20092](https://doi.org/10.1002/gbc.20092).

<http://hockeyschtick.blogspot.fr/2013/09/new-paper-finds-oceans-are-net-source.html>

12-10) Annexe: sur la "durée de vie de 50 ans à 200 ans "

L'IPCC AR1 explique que la durée de vie de 4 à 5 ans ne doit pas être confondue avec le temps nécessaire pour que le CO₂ atmosphérique "s'ajuste à un nouvel équilibre si les sources et les puits changent" et note que si l'on prend en compte un "puits dans la biosphère"⁹⁹ les concentrations seront moindres en 2100 par exemple 415 ppm en 2050 et 460 ppm en 2100 pour le scénario C ...

Le temps d'ajustement qui correspond à une durée de vie de 50 ans à 200 ans est déterminé par le lent échange de carbone entre les eaux de surface et l'océan profond. C'est ce temps qui compte pour le calcul des potentiels de réchauffement climatique... A cause de son cycle complexe le temps de décroissance d'un excès de CO₂ dans l'air ne suit pas une courbe exponentielle simple et donc une seule échelle de temps ne suffit pas à caractériser le processus d'ajustement vers un nouvel équilibre ".

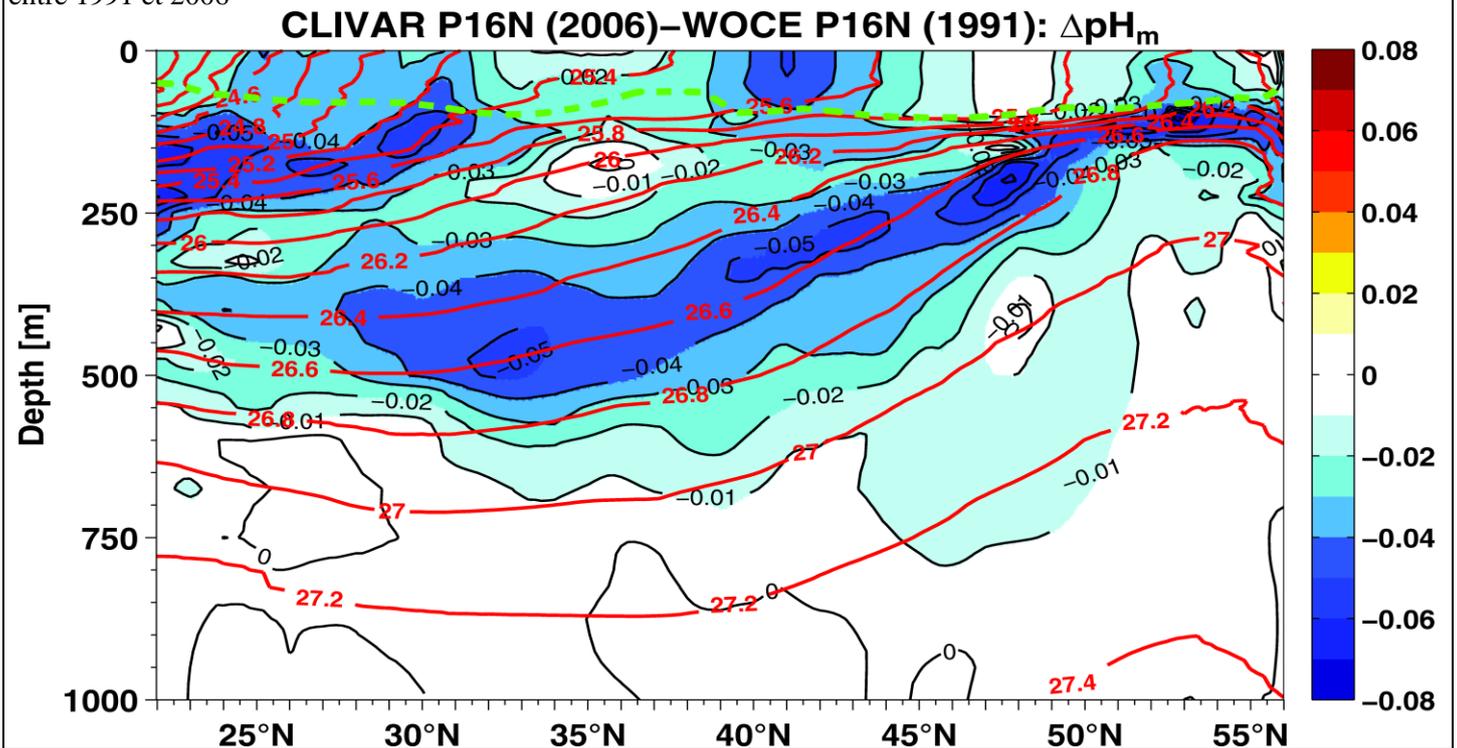
"L'équilibre" suppose a priori l'égalité entre apports et emports; les figures 12-B et 12-D montrent l'effet de températures, avec (figure 12-D) en orange, aux hautes latitudes l'indication d'une moindre absorption ou en intertropical l'indication d'un dégazage plus fort.

Il n'y a donc jamais eu d'équilibre puisque comme le reconnaît –enfin!- Wang Xuhui et al. (note 81) le dégazage suit les températures elles-mêmes perpétuellement variables (figure 11-O).

La figure 3-D montre qu'il n'y a pas non plus un équilibre entre un compartiment air et un compartiment océan mais des zones d'absorption et des zones de dégazage, fort contrastées et complémentaires; il faut quelques dizaines d'années pour que l'eau affleurant en surface aux hautes latitudes se retrouve, après migration sur les surfaces isopycnes ou d'égales densité, à quelques centaines de mètres dans la zone de dégazage et de "upwelling" ou remontée d'eau profonde.

La densité de l'eau de mer est en effet fonction de la salinité et de la température ce qui détermine la forme de ces surfaces d'égale densité comme le montre la figure 12-L.

Figure 12-L Océan Pacifique nord: lignes d'égale densité (isopycnes, en rouge) de l'eau de mer¹⁰⁰ et variation du pH entre 1991 et 2006



⁹⁹ A biosphenc CO₂ sink (Goudriaan, 1989)

¹⁰⁰ Byrne, R. H., S. Mecking, R. A. Feely, and X. Liu (2010), Direct observations of basin-wide acidification of the North Pacific Ocean, Geophys. Res. Lett., 37, L02601, doi:10.1029/2009GL040999

Annexes A, B et C à la première partie

1
2
3 L'annexe A revient sur les observations des températures, leur variabilité et la définition des climats par les géographes.

4
5 Elle essaie de ramener un peu de bon sens dans des discussions sur des dixièmes de degré Celsius, ponctuées par des
6 annonces hystériques de records de températures pour un centième de degré en plus ou en moins

7
8
9 Les annexes B et C suggèrent qu'il est, à certaines échelles de temps et d'espace, possible d'appréhender la réalité de
10 façon plus correcte – et bien plus simple- que par la discrétisation des équations de Navier-Stokes avec des
11 "*paramétrages*" de tout ce qui concerne la vapeur d'eau.
12
13

Annexe A Sur les climats, et sur la variabilité naturelle des températures

A-1) Les climats de Köppen et les observations des géographes; déplacements des frontières entre climats

Une classification des climats a été établie par Wladimir Köppen¹⁰¹ vers 1900 et révisée par R. Geiger en 1931. Des exposés en sont donnés dans les manuels de géographie (e.g. d'A. Hufty¹⁰²) et certains atlas.

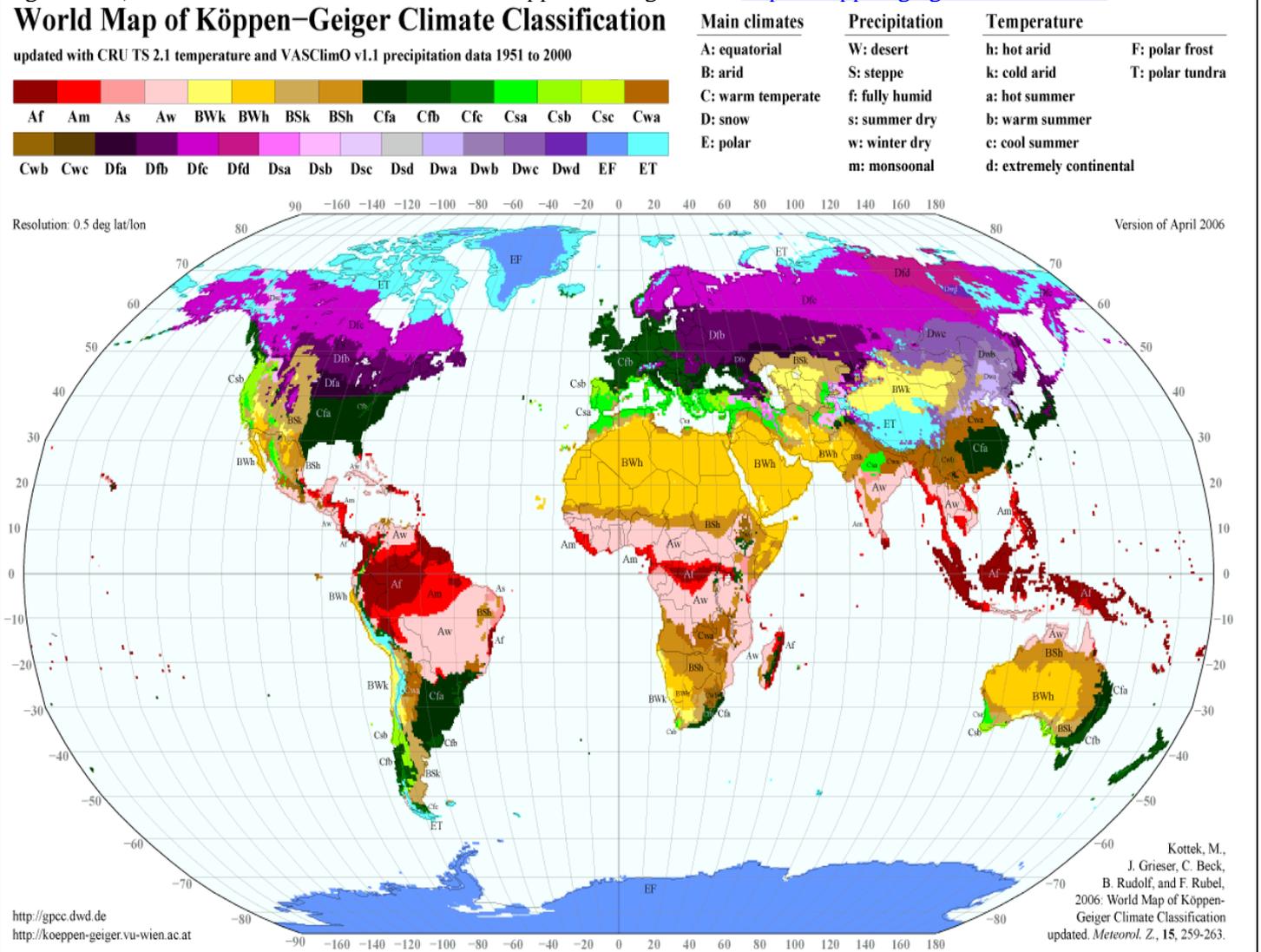
Le site <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> est consacré à ce sujet.

Les climats sont caractérisés par trois lettres rendant compte des précipitations, des températures et reflètent le type de végétation; par exemple, la limite nord de l'arbre est que le mois le moins froid de l'année soit à +10°C au moins; la **saisonnalité et le volume des précipitations sont essentiels**; par exemple pas de pluie en été en climat méditerranéen (Csa en vert clair à la figure A-1), pluies d'été en climat de mousson (en rose Aw et en rouge Am, sauf mousson chinoise plus complexe et sud du Brésil en Cfa), etc..

Les températures qui, d'une année à l'autre, pour le même mois, fluctuent de quelques degrés en climat tempéré (pour les moyennes mensuelles plages de fluctuation d'une année à l'autre de l'ordre de 5°C en été, de 8°C et plus en hiver) n'ont qu'un rôle bien moindre que les précipitations; la limite nord de certains végétaux est fixée par les froids extrêmes subis même seulement tous les dix ans, par exemple la limite des orangers dans le nord de la Floride ou la limite entre blés d'hiver et blés de printemps qui dépend évidemment de l'intensité de l'hiver.

Figure A-1) Carte des climats du monde selon Köppen et Geiger

<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at>



Les climats sont donc l'expression visible –et exprimée par la végétation - de la circulation atmosphérique et océanique qui reflète en partie les reliefs, avec des zones aérologiques distinctes.

Les chaînes montagneuses infranchissables par les anticyclones mobiles polaires séparent les zones d'influence des différents océans: par exemple les montagnes Rocheuses en Amérique du Nord et les Andes en Amérique du sud limitent l'influence de l'océan Pacifique à une bande étroite à l'ouest du continent; l'Himalaya limite l'extension de la mousson

¹⁰¹ Né à Saint Petersburg en 1846, décédé en 1940, publie le Handbuch der Klimatologie de 1920 à 1939

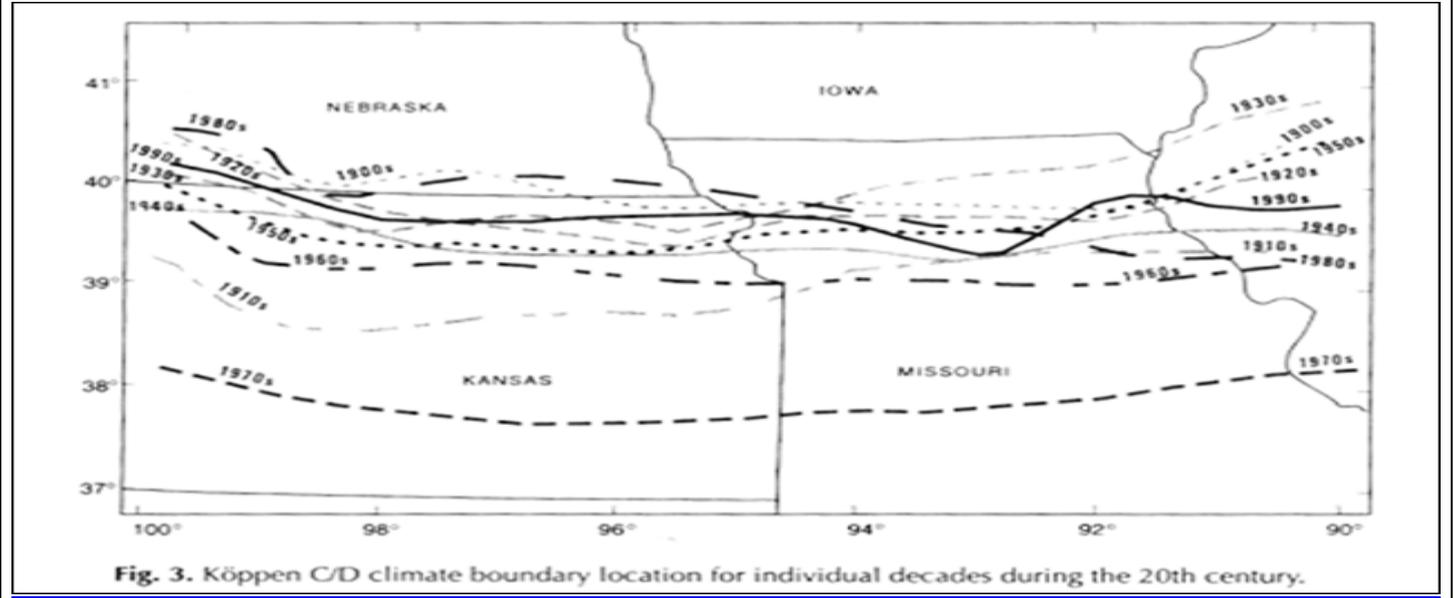
Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006: *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. Meteorol. Z., 15, 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130

¹⁰² André Hufty *Introduction à la climatologie* de Boeck, 2001-2009, 542 pages

1 indienne; le Groenland sépare les anticyclones mobiles qui passent à l'ouest par le nord du Canada de ceux bien moins
2 fréquents qui passent à l'est entre la Scandinavie et l'Islande.

3 Les limites entre les climats se déplacent de quelques dizaines ou centaines de kilomètres tantôt vers le nord et tantôt vers
4 le sud selon les cycles "climatiques" dont le plus évident a une période de 60 ans, par exemple oscillation de quelques
5 degrés de latitude de la limite nord de la zone à pluies d'été entre le Sénégal et l'Erythrée¹⁰³, ou oscillation de la limite
6 entre climats C et D, décennie par décennie, aux USA; la figure C-2¹⁰⁴ montre l'ampleur du refroidissement ressenti au
7 début des années 1970, avant le changement de signe de la PDO (Pacific Decadal Oscillation) en 1977.

8 Figure A-2) Variations de la limite entre climats C et D de Köppen aux Etats Unis XXème siècle, par décennie, de
9 1900-1910 à 1990-2000



10 <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/shifts.htm> propose des cartes et des animations de ces déplacements.

11 A-2) La plus longue série thermométrique CET 1659, la série de Paris et un exemple à Ceylan

12 La figure suivante montre un extrait de la plus longue série thermométrique (CET 1659 ou Central England Temperature
13 depuis 1659, <http://hadobs.metoffice.com/hadcet/cetml1659on.dat>). Les températures moyennes du mois le plus froid ont
14 une répartition vaguement gaussienne

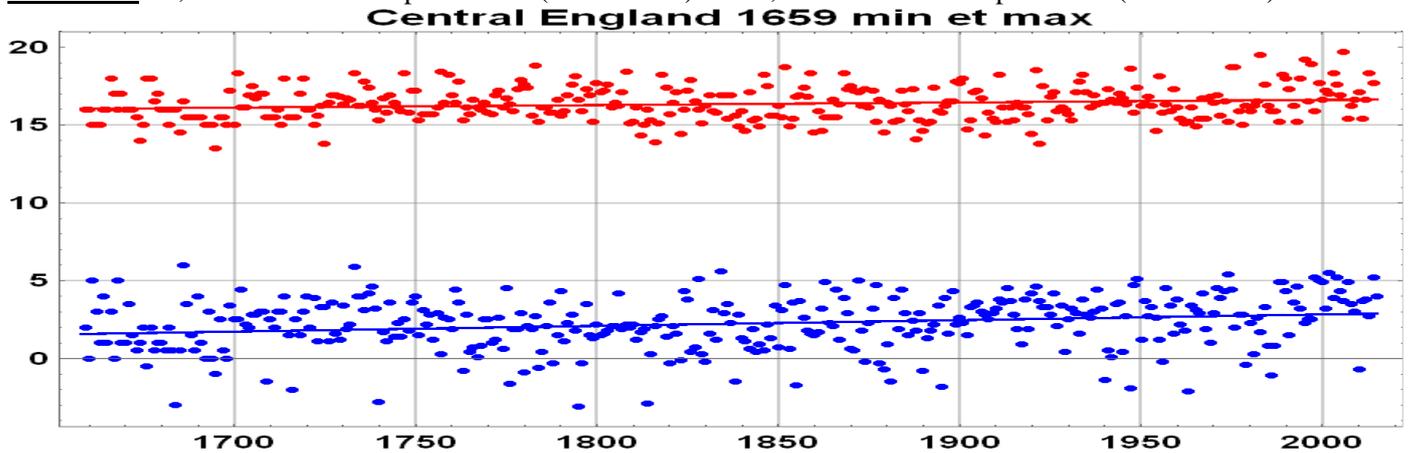
15 {moyenne = 2,2°C, écart type 1,7°C, kurtosis 3,2, extrema -3,1°C et +6°C en gros à 3 et 2½ écarts-types de la
16 moyenne} comme celles du mois le plus chaud

17 {moyenne = 16,3°C, écart type 1,1°C, kurtosis 2,96, extrema 13,5°C et 19,7°C à 3 écarts-types de la moyenne}.

18 En 356 ans tendances linéaires de +0,6°C pour le mois le plus chaud (droite rouge) et de +1,2°C pour le mois le plus
19 froid (droite bleue); ce sont des fractions de l'écart type de la distribution des températures qui, même calculé sur par
20 exemple 30 ans, reste remarquablement constant.

21 Figure A-3 Températures moyennes mensuelles du mois le plus chaud et mois le plus froid de chaque année selon la
22 plus longue série thermométrique: "Central England Temperature" depuis 1659 et droites de régression:

23 **en 356 ans** +0,6°C sur le mois le plus chaud (droite noire) et +1,2°C sur le mois le plus froid (droite bleue)



103 à la sécheresse au Sahel a succédé son "reverdissement" depuis 2000

104 Suckling, P.W. and Mitchell, M.D. 2000. *Variation of the Köppen C/D climate boundary in the central United States during the 20th century*. *Physical Geography* 21: 38-45.

<http://wattsupwiththat.com/2013/01/04/solar-neutrons-and-the-1970s-cooling-period/>

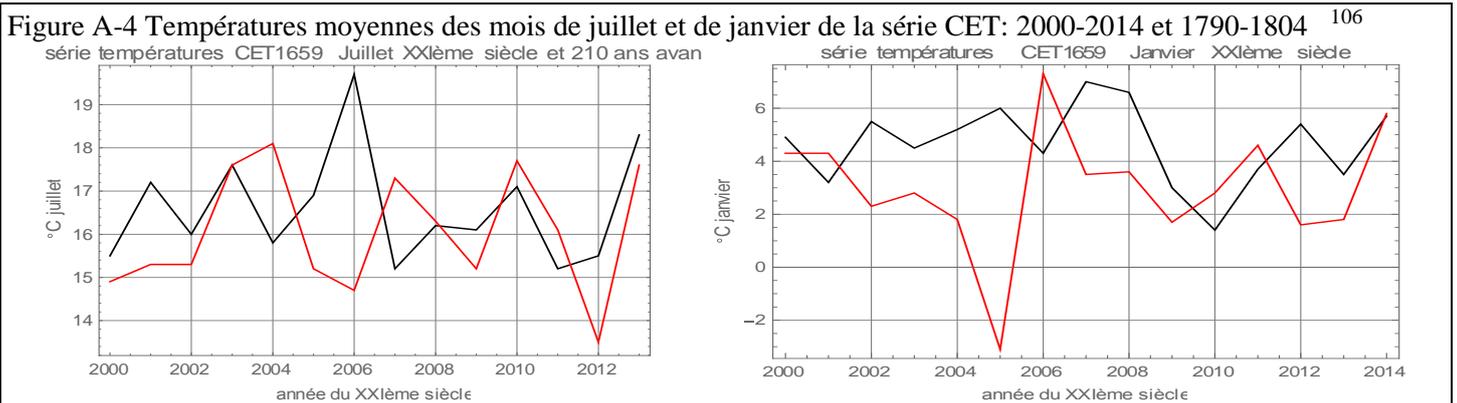
Le climat anglais au sens de la végétation et de la figure A-1, de type Cfb, tempéré humide, n'a évidemment pas changé, même si la limite nord de la culture de la vigne en Angleterre aurait, dit-on, remonté vers le nord de 100 km depuis 1900, se rapprochant ainsi de sa position à l'époque romaine.

Les 21 années de mois le plus froid de moyenne à $-0,7^{\circ}\text{C}$ ou moins sont:

{1795, $-3,1^{\circ}\text{C}$ }, {1684, -3°C }, {1814, $-2,9^{\circ}\text{C}$ }, {1740, $-2,8$ }, {1963, $-2,1$ }, {1716, $-2,$ }, {1947, $-1,9$ }, {1895, $-1,8$ }, {1855, $-1,7$ }, {1776, $-1,6$ }, {1881, $-1,5$ }, {1838, $-1,5$ }, {1709, $-1,5$ }, {1940, $-1,4$ }, {1986, $-1,1$ }, {1695, $-1,0$ }, {1780, $-0,9$ }, {1890, $-0,8$ }, {1763, $-0,8$ }, {2010, $-0,7^{\circ}\text{C}$ }, {1879, $-0,7^{\circ}\text{C}$ }.

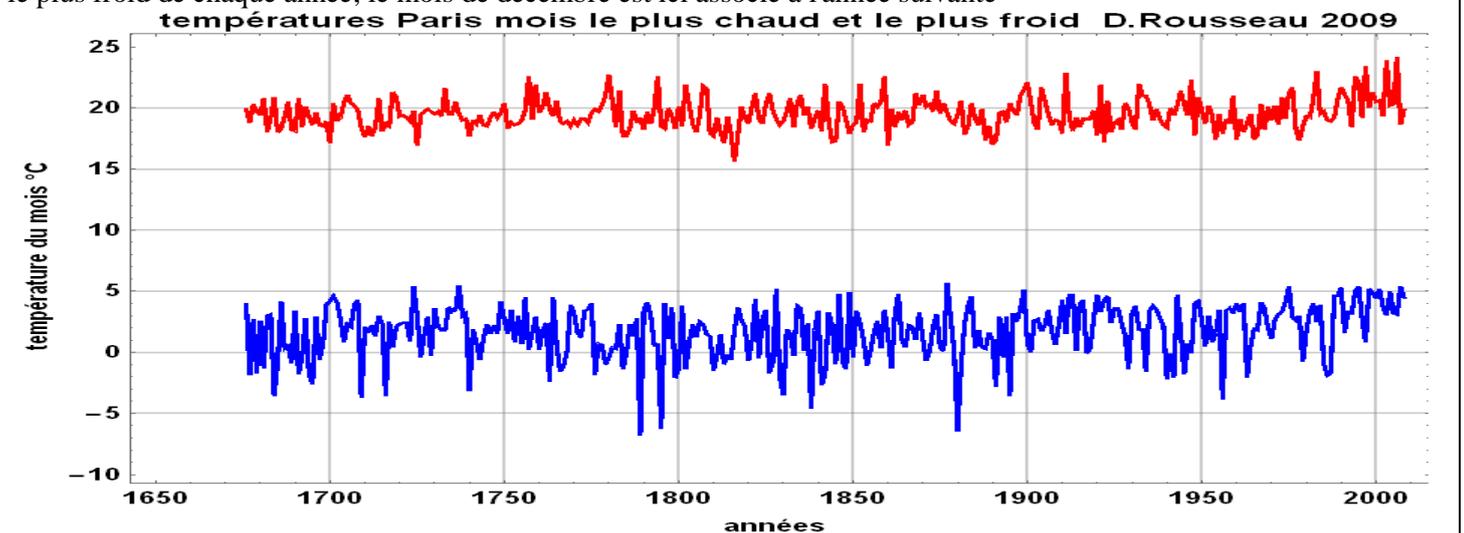
On se reportera à https://en.wikipedia.org/wiki/Winter_of_2010%E2%80%9311_in_Great_Britain_and_Ireland pour une description du terrible hiver 2010-2011 (-19°C dans le Yorkshire); les chutes de neige abondantes en janvier et en mars 2013 et encore en 2014-2015 démentent les annonces du met office¹⁰⁵ et de la CRU (Climate Research Unit) d'hivers anglais sans neige au XXIème siècle.

Laissons le lecteur deviner sur les figures suivantes quelle est la courbe du XXIème siècle et quelle est celle des années 1790-1804.



M. Daniel Rousseau¹⁰⁷ a établi une série pour Paris depuis 1676; il montre que les trois séries de Paris ($48^{\circ}51'N$), CET-1659 et de de Bilt ($52^{\circ}7'N$) près de Utrecht aux Pays-Bas sont très proches quant à leurs évolutions avec Paris plus chaud que les deux autres sites de moins de 1°C en hiver et plus chaud de 2°C à 3°C en été, soit en gros -1°C par degré de latitude N.

Figure A-5 Températures à Paris, 1676-2008 (Daniel Rousseau), moyennes mensuelles du mois le plus chaud et du mois le plus froid de chaque année; le mois de décembre est ici associé à l'année suivante



Les moyennes mensuelles à plus de $22,5^{\circ}\text{C}$ sont parfois la marque d'années avec canicule (1794, 1911, 2003, 2006) {1757, 22.6}, {1780, 22.7}, {1794, 22.6}, {1859, 22.6}, {1911, 22.9}, {1983, 23.}, {1994, 22.6}, {1997, 23.4}, {2003, 23.9}, {2006, 24.2}

Les moyennes mensuelles à moins de $-3,5^{\circ}\text{C}$ sont en janvier, sauf mention contraire

¹⁰⁵ <http://wattsupwiththat.com/2009/12/29/crus-forecast-winter-snowfall-will-become-a-very-rare-and-exciting-event/>
<http://21stcenturywire.com/2014/01/10/didnt-our-media-tell-us-that-snow-would-be-a-thing-of-the-past/>
<http://iceagenow.info/>

¹⁰⁶ Réponse: on distingue la canicule de juillet 2006 (en noir) et le grand froid de janvier 1795 (en rouge) quand un détachement de cavalerie français a pris la flotte hollandaise bloquée par les glaces au Texel.

¹⁰⁷ série imprimée dans la Météorologie n°67 Novembre 2009

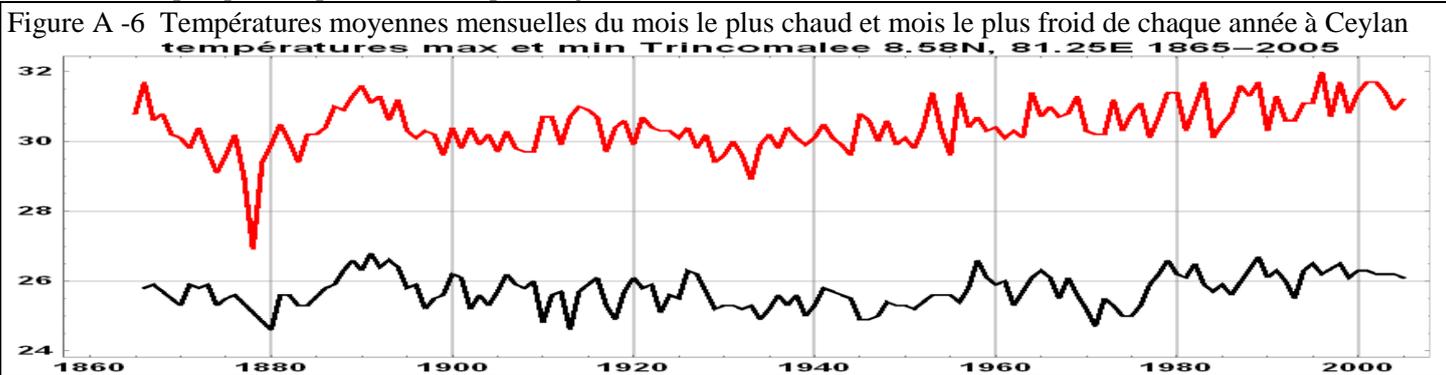
http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/30038/meteo_2009_67_43.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Daniel Rousseau *Les moyennes mensuelles de température à Paris de 1676 à 2008* Geographia Technica. Numéro spécial, 2009, pp. 407-412 http://geografie.ubbcluj.ro:8010/AIC/pdf/69_d_rousseau_-_les_moyennes_mensuelles_de_temperature_a_paris_de_1676_a_2008.pdf

{1684, -3.6}, {1709, -3.7}, {1716, -3.6}, {déc. 1788, -6.8}, {1795, -6.3}, {1838, -4.6}, {dec. 1879, -6.5}, {fev. 1895, -3.6}, {fev. 1956, -3.9}

Les principales différences entre la zone tempérée entre 40°N et 60°N et la zone intertropicale sont sur ces moyennes mensuelles

- la moindre amplitude entre mois le plus chaud et mois le plus froid, de seulement 4,7°C en moyenne (écart type 0,6°C) à Trincomalee (Ceylan) au bord de l'océan indien
- la très faible variabilité d'une année à la suivante (sur la série des mois les moins chauds: moyenne 0°C, écart type 0,45°C) hors quelques éruptions volcaniques et grands El Niño.



Nous avons ici présenté des moyennes mensuelles; la réalité est d'une heure à l'autre et d'un jour du même mois à l'autre une variabilité du même ordre de grandeur que l'écart entre les moyennes des mois le plus chaud et le plus froid, ce qui montre le peu de sens de "tendances linéaires" en dixième de degré par siècle.

Ce sont les distributions des extrema diurne et nocturne, même simplement modélisées en moyenne et écart type, avec les records à disons 3 écarts-types de la moyenne qui déterminent les conditions de vie de la végétation et des animaux.

A-3) Sur la perception des variations de température: quelques exemples: Ryadh, Paris, Perpignan, Fairbanks

Les moyennes de Paris (Trappes) et de Bordeaux diffèrent de 3°C, celles de Trappes et de Nice de 5°C, et il y a 12°C entre Paris et Rio de Janeiro où les hivers sont fort doux.

Quatre degrés Celsius, le réchauffement maximum prophétisé par l'IPCC pour 2100 pour le cas pire de son scénario "repoussoir" RCP8.5, est la différence de température entre 8 h du matin et midi, à Paris.

3°C est l'ordre de grandeur du refroidissement des eaux des océans observé entre l'optimum holocène autour de 8000 avant le "présent", c'est à dire vers 6050 avant notre ère, et le XXème siècle (figure A-13).

A-3-1) Températures extrêmes, moyennes des maxima ou des minima et "température moyenne"

La différence des températures entre jour et nuit est de l'ordre de 10°C à 15°C à Paris, mais peut parfois atteindre 40°C dans des déserts secs (Sahara, Rajasthan, ...). A Ryadh (Arabie, pluies de 100 mm/an) exemple de désert chaud de climat de Köppen de type BWh (aride, désert, très chaud) (figure A-1) la différence entre les moyennes des extrema est moindre que 15°C (tableau A-A); si les records sont à 3 écarts-types de la moyenne, l'écart type de la répartition des minima et des minima d'un mois n'est que de 2°C à 3°C.

Tableau A-A températures minima et maxima & moyennes mensuelles de maxima et minima journaliers en °C à Ryadh, Arabie Saoudite

Ryadh °C	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	octo.	nov.	déc.
record froid	-2,2	0,5	4,5	11	18	16	23,6	22,7	16,1	14	7	1,4
min moy.	8,4	10,4	14,5	19,4	23,9	25	27,0	26,2	23,9	18,2	14,0	9,6
max moy	20,2	23,4	27,7	32,4	38,4	41,5	42,5	42,2	40,4	34,5	27,3	22,0
record chaud	31,5	34,8	38	42	45,1	47,2	48	47,8	45	41	38	31

Wikipedia donne pour Paris depuis 1873 ¹⁰⁸ les valeurs extrémales suivantes, où sur une période d'observation plus longue les extrema de juillet sont 6°C et 40,4°C, avec le même record de chaleur qu'à Perpignan sur 1981-2010.

Les extrema -24°C et +40°C sont de décembre 1879 et de juillet 1947; min et max records d'un même mois diffèrent d'environ 34°C; le "climat parisien" est dit "tempéré": la plage de variation des températures est, sur ces 140 ans, de 64°C moindre que les 85°C de l'état américain du Maine situé au débouché sur l'Atlantique des anticyclones mobiles polaires et donc, quoiqu'à la latitude de Nantes, soumis de temps en temps à des températures véritablement polaires.

La moyenne des maxima (diurnes) ou celle des minima (nocturnes) est à de cinq à dix degrés de la moyenne des températures ¹⁰⁹ sur 24 heures, qui n'a donc guère de sens pratique.

¹⁰⁸ voir aussi <http://la.climatologie.free.fr/record.htm>; voir aussi <http://www.meteorologic.net/>; http://fr.wikipedia.org/wiki/Climat_de_Paris; http://www.over-blog.com/Quelle_est_la_temperature_moyenne_des_regions_de_France-1095203942-art392985.html; <http://www.linternaute.com/ville/climat.shtml>

Paris °C	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	octob.	nov.	déc.
record de froid	-14,6 23/1/ 1940	-14,7 2/2/ 1956	-9,1 3/3/ 1890	-3,5 13/4/ 1879	-0,1 7/5/ 1874	3,1 10/6 /1881	6 3/7/ 1907	6,3 29/8/ 1881	1,8 26/9/ 1889	-3,1 27/10/ 1887 29/10/ 1890	-14 28/11/ 1890	-23,9 10/12/ 1879
min moy.	2,7	2,8	5,3	7,3	10,9	13,8	15,8	15,7	12,7	9,6	5,8	3,4
moyenne	5,0	5,6	8,8	11,5	15,3	18,3	20,6	20,4	16,9	13,0	8,3	5,5
max moy	7,2	8,3	12,2	15,6	19,6	22,7	25,2	25,0	21,1	16,3	10,8	7,5
record de chaleur	16,1 5/1/ 1999	21,4 28/2/ 1960	25,7 25/3/ 1955	30,2 18/4/ 1949	34,8 24/5/ 1922 29/5/ 1944	37,6 26/6/ 1947	40,4 28/7/ 1947	39,6 6/8/ 2003	36,2 7/9/ 1895	28,9 1/10/ 2011	21 2/11/ 1899 21/11/ 2014	17,1 16/12/ 1989

La sortie du petit âge de glace (1300-1860) a vu au XX^{ème} siècle, sur Paris, une diminution des extrema, grands froids ou canicules, l'un et l'autre toujours liés à la persistance pendant une ou quelques semaines d'une haute pression stationnaire. Cette présentation exprime la fréquence relative de situations de blocage synoptique bien mieux que la figure A-5 des moyennes mensuelles.

siècle	XVIII ^{ème}	XIX ^{ème}	XX ^{ème}
nombre d'années avec des maxima à 35°C et plus	35	24	27
minimum	-23,5°C	-23,9°C	-14,7°C
nombre d'années avec des minima à -15°C et en dessous	14	10	2 (1940, 1956)
nombre d'années avec des minima à -10°C et en dessous	43	46	26
nombre d'hivers " exceptionnels " et " grands "	5 & 14	9 & 26	5 et 20

Autre exemple: à Perpignan de climat méditerranéen, Csa (tempéré chaud, étés secs, étés très chauds) sur les 30 années 1981 à 2010, les températures de juillet sont entre 11,2°C et 40,5°C (températures extrêmes), les moyennes mensuelles des minima et des maxima de juillet sont 19,4°C et 29,2°C¹¹¹ et les records à 8°C et 11°C de ces moyennes.

Tableau A - D Relevé météorologique de Perpignan sur 1981-2010 ¹¹² (Wikipedia)

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Record de froid (°C)	-8,2	-11	-5,9	0,2	2,4	7,4	11,2	10,4	5	-1,2	-5,7	-6,3	-11
Température minimale moyenne (°C)	4,4	4,9	7,4	9,4	12,9	16,8	19,4	19,3	16	12,6	8,1	5,1	11,4
Température moyenne (°C)	8,4	9	11,7	13,8	17,3	21,5	24,3	24,1	20,7	16,8	12	9,1	15,7
Température maximale moyenne (°C)	12,4	13,2	16	18,2	21,8	26,2	29,2	28,9	25,4	21	15,9	13,1	20,1
Record de chaleur (°C)	25	26,5	28	32,4	34,4	36,8	40,5	38,7	36,8	34,2	28,1	26,7	40,5
Ensoleillement (h)	147,5	153,2	206,2	214,2	240,1	270,6	313,9	270,7	217,7	182,3	147,7	141,9	2 506
Record de vent (km/h)	136,8	136,8	126	115,2	108	104,4	115,2	90	104,4	108	108	126	136,8
Précipitations (mm)	50,6	44,8	43,5	55,9	50,1	28,3	17,1	32	47,3	89,8	58,6	54,4	572,4
Record de pluie en 24 h (mm)	83	178	118	113	127	91	45	61	186	165	222	114	222
Nombre de jours avec précipitations	5,2	4,7	4,5	5,9	5,5	4,1	3	3,9	4,2	5,1	5,1	5,3	56,5
Humidité relative (%)	70	68	64	64	66	62	59	63	68	73	71	71	66,6
Nombre de jours avec gel	4,9	2,8	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0,9	3,8	13,5
Nombre de jours avec neige	0,9	0,6	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	2,5
Nombre de jours d'orage	0,4	0,2	0,5	1,2	2,8	4,3	4,6	5,2	3,2	2,3	0,7	0,5	25,9
Nombre de jours avec brouillard	1,2	0,9	0,9	0,8	1,1	0,6	0,6	0,9	2,4	2	1,3	1,4	14,1

¹⁰⁹ Exemple d'ordre de grandeur en climat tempéré: moyenne de juillet 18°C, mais moyenne des maxima journaliers à 25°C écart type 4°C et canicule "du siècle" à "3 écarts types" à 25 + 12 = 37°C pour les maxima journaliers

¹¹⁰ Roger Dubrion *Le climat et ses excès* Féret, Bordeaux, 2008, 160 pages

¹¹¹ On peut spéculer que les minima sont gaussiens de moyenne 19,2°C avec 2σ ou 3σ de 19,2- 11,2 = 8°C et les maxima gaussiens de moyenne 29,2°C avec 2σ ou 3σ de 11,3°C.

¹¹² <https://fr.wikipedia.org/wiki/Perpignan>

<http://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/perpignan-rivesaltes/07747.html>

1 La "température moyenne" n'a guère de sens et ne dit rien sur les écarts-types des distributions des températures
2 maximale et minimale ou sur la fréquence ou le "temps de retour" de conditions proches des records de froid ou de
3 chaud.

4 La considération de moyennes sur 30 ans prônée par les organisations météorologiques évite –regrettablement– de
5 regarder en détail la distribution statistique des observations et de suivre les cycles climatiques. Ce moyennage vise
6 seulement à diviser l'écart type de la moyenne que l'on calcule par $30^{0.5}=5,5$.

7
8 **A-3-2) Fairbanks, Alaska**

9 Singapour (1°N) à la figure 9-F présente fort peu de contrastes: plus basse moyenne mensuelle des minima à 23,3°C et
10 plus forte moyenne mensuelle des maxima à 31,7°C

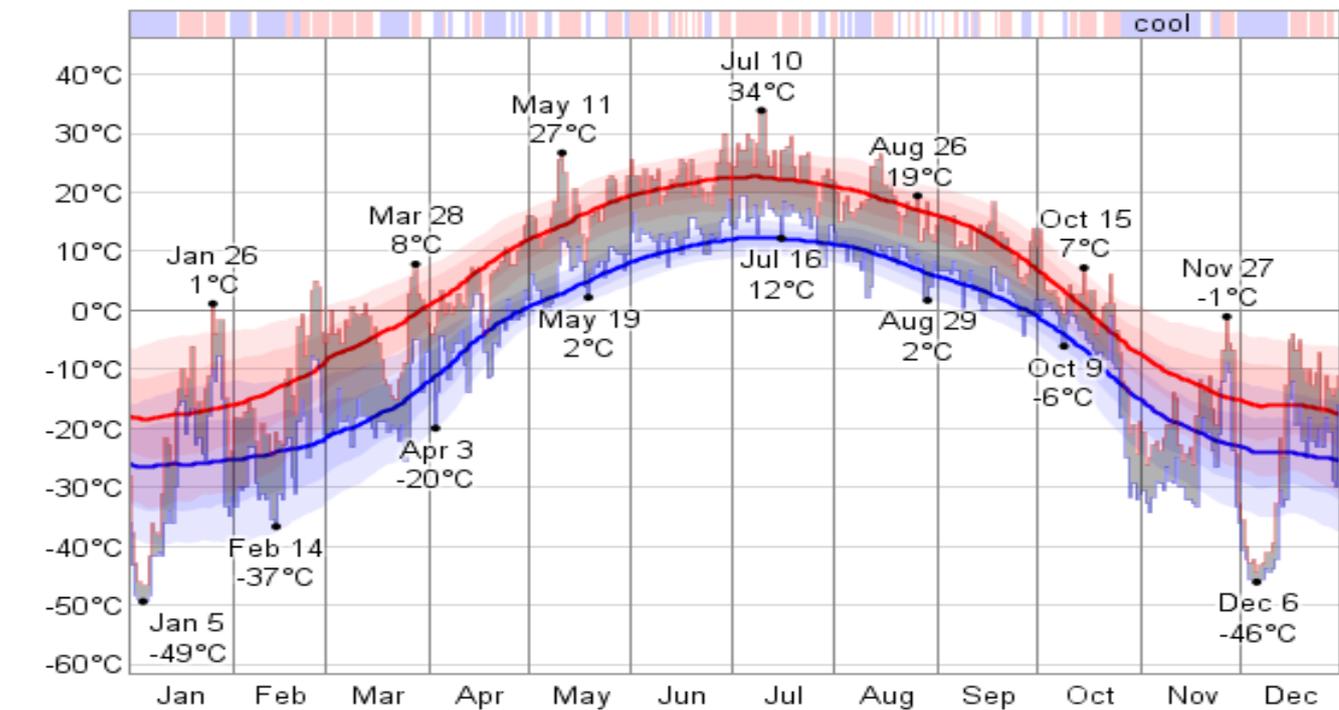
11 Fairbanks (Alaska, 64°5N, 147°43W) est à l'autre extrême de variabilité et voit des variations **d'un jour à l'autre du**
12 **même mois de 40°C à 50°C** en hiver et de 20°C en été. Le maximum historique de la ville serait 35°C en 1915.

13 Des "tendances" même de 4°C/siècle ne seront donc pas bien perceptibles pour les habitants ou la végétation.

14 Figure A-7) Illustration de la dynamique journalière des températures à Fairbanks (Alaska) pendant l'année 1975:
15 les lignes minces rouge et bleue sont les extrema quotidiens; entre ces deux lignes remplissage en gris;
16 les lignes épaisses rouge et bleue sont les moyennes "climatologiques" (sur 30 ans) avec en couleurs les limites des
17 intervalles de probabilité 25% - 75% et 10% - 90% (couleur la plus claire).

18 En haut du graphique la barre est bleue quand maximum et minimum de 1975 sont tous deux en dessous de leur
19 moyenne, et rouge quand tous deux sont au dessus de leur moyenne et en blanc autrement.

20 <http://weatherspark.com/history/3294/1975/Fairbanks-Alaska-United-States>

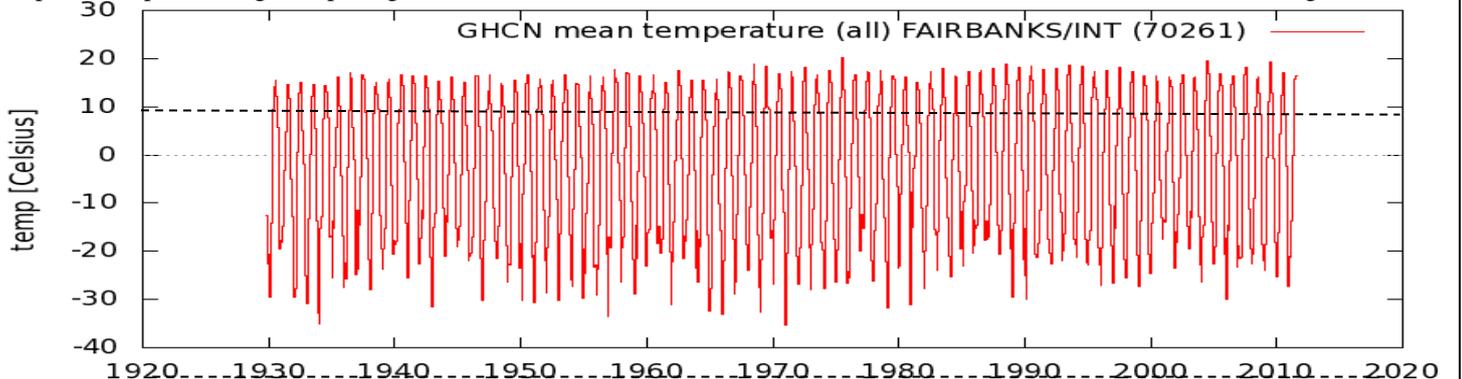


21
22 L'Alaska est comme la Sibérie et d'autres régions presque inexplorées avant les années 1920 ou 1930 une de ces régions
23 colorées en rouge-violet sur les cartes du "réchauffement" que l'IPCC-GIEC décompte depuis 1910, année que la figure
24 11-O montre être la plus froide depuis 1850 (2013 (RID, Résumé à l'Intention des Décideurs page 4); l'Alaska est,
25 numériquement un des plus gros contributeurs à ce "réchauffement global".

26 La figure suivante montre ce qu'il en est en réalité, pour les moyennes mensuelles depuis 1929.

27 Figure A-8) Station météo de Fairbanks (aérodrome) 1929-2011: moyennes mensuelles

28 <http://climexp.knmi.nl/gettempall.cgi?id=someone@somewhere&WMO=7261&STATION=FAIRBANKS/INT&extraargs=>



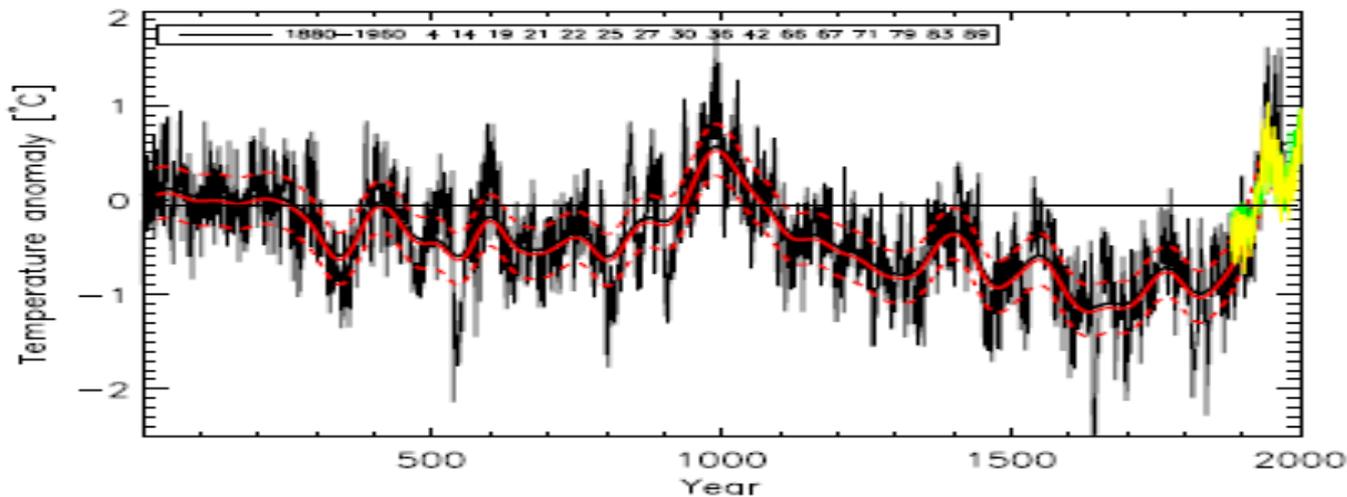
1 Un refroidissement notable de l'Alaska est constaté depuis 2005 ¹¹³. La PDO (Pacific Decadal Oscillation), un des
 2 principaux marqueurs des cycles climatiques de période 60 ans, est repassée en mode négatif, 30 ans après son passage
 3 en mode positif en 1976, date du "Great Climate shift" et du début du "réchauffement (1975- 1997).
 4

5 **A-4) Cycles de mille ans**

6 Ce cycle se voit bien aux deux figures suivantes. La première présente la moyenne d'une centaine de marqueurs des
 7 paléo-températures répartis sur les terres au nord de 35°N et trouve des oscillations entre -2,5°C et +2°C.

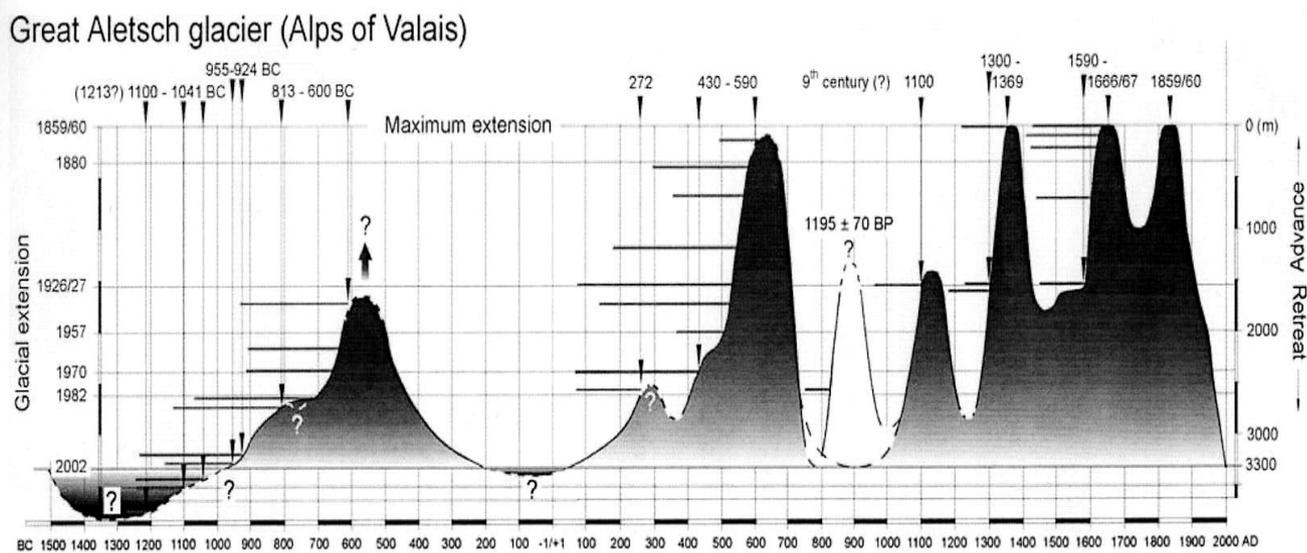
8 Figure A-9) ¹¹⁴ Reconstruction des températures extratropicales de l'hémisphère nord en °C, en écart à la moyenne de la
 9 période 1880-1960. Les courbes minces sont les valeurs annuelles, et la courbe lissée (en rouge) une moyenne mobile sur
 10 5 ans, avec en tiretés les quantiles à 2,5% de probabilité. La courbe verte montre la température extratropicale annuelle
 11 moyenne observée avec des thermomètres. La courbe jaune donne la moyenne des températures sur les seules cellules de
 12 5° de longitude et de latitude qui ont au moins un marqueur

13 source: Christiansen & Ljungqvist; 2012, figure 5 de <http://www.clim-past.net/8/765/212/cp-8-765-212.pdf>



14 La figure A-10, montre sur le grand glacier d'Aletsch (Suisse), des cycles de 1000 ans environ: avant notre ère, vers -100
 15 et vers -1300, le glacier a été plus court qu'actuellement. Le petit âge de glace, époque "froide" de 1300 à 1860, s'est
 16 terminé, selon les moraines de ce glacier, vers 1860 et le gros de la régression (de 0 m à 2000 m échelle de droite) a eu
 17 lieu entre 1860 et 1957 (échelle de gauche) et précède la croissance du CO₂.
 18

19 Figure A-10) Limite basse du grand glacier d'Aletsch (longueur 23 km) (Suisse) de l'an -1500 à l'an 2000
 20 (Holzhauser¹¹⁵)



¹¹³ G. Wendler, L. Chen and B. Moore *The First Decade of the New Century: A Cooling Trend for Most of Alaska* The Open Atmospheric Science Journal, 2012, 6, 111-116. Ces auteurs trouvent, depuis 2005, de -2°C à -3°C sur la moyenne annuelle, hors zone littorale de l'océan Arctique.

¹¹⁴ En réalité l'optimum médiéval vers l'an mil aurait été un peu plus chaud que l'optimum contemporain (voir <http://www.clim-past.net/8/765/2012/cp-8-765-2012.pdf> et http://www.climateaudit.info/pdf/multiproxy/shi_2013.pdf)

¹¹⁵ H. Holzhauser *Die bewegte Vergangenheit des grossen Aletschglatschers* http://doc.rero.ch/record/200969/files/BCV_N_178_41_2009_47.pdf

A-5) Sur l'optimum climatique holocène

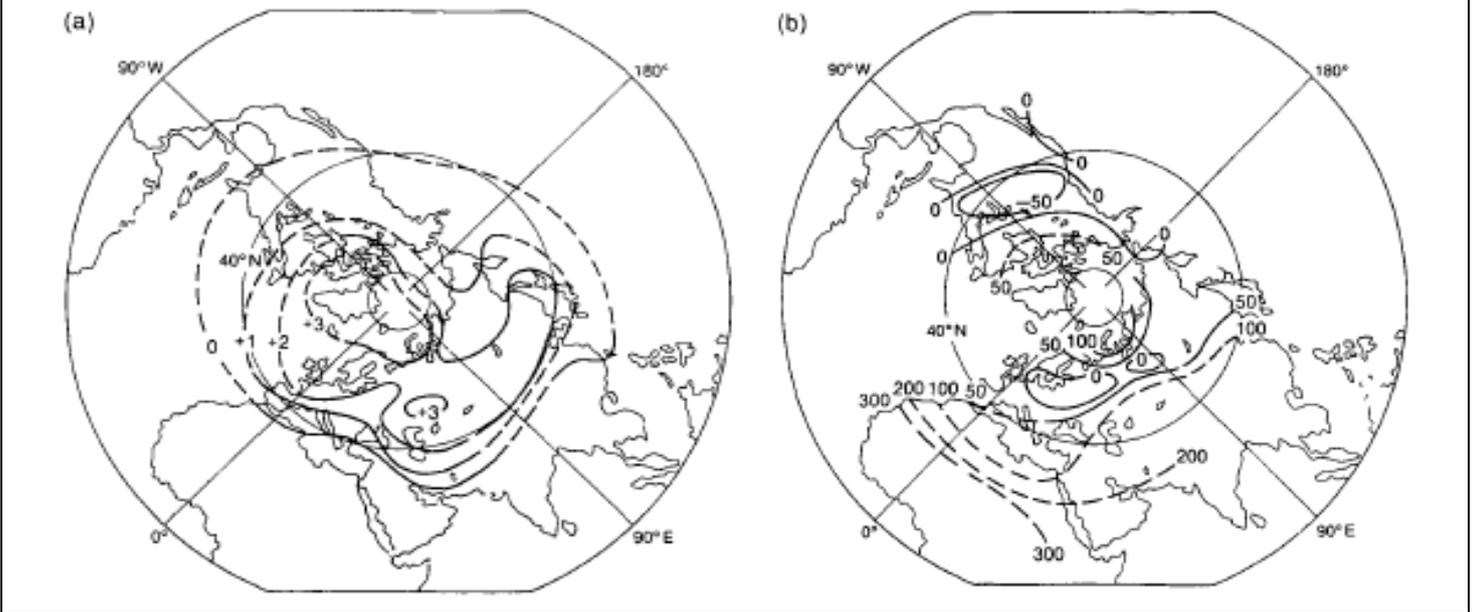
Les cycles glaciaires de durée 100 000 ans et interglaciaires de durée 12 000 ans alternent depuis plus de 600 000 ans. Le début de l'Holocène est par convention fixé à 11700 BP (Before Present, soit avant 1950) ou 9750 avant notre ère: c'est aussi le début de l'actuel interglaciaire.

Les figures A-11 (a) et (b) montrent en écart par rapport aux valeurs du XXème siècle les températures et précipitations lors de l'optimum climatique holocène entre 8000 ans et 6000 ans avant le présent. Vers 6000 avant notre ère l'insolation d'été à 65°N était disons de 40 W/m² plus forte que l'actuelle mais l'insolation annuelle moyenne (en haut de l'atmosphère) assez peu différente. Des températures arctiques estivales de quelques degrés plus fortes¹¹⁶ réduisaient le contraste avec la zone tropicale; les hautes pressions subtropicales qui traduisent ce contraste et limitent l'extension de la mousson vers le nord étaient bien moindres, d'où, au nord de l'actuel Sahel africain, des précipitations de 300 mm supérieures aux actuelles et un Sahara couvert de lacs¹¹⁷ avec crocodiles et hippopotames.

Figure A-11) Figure 7.5 du rapport IPCC GIEC de 1990 (FAR, first assessment report) Optimum climatique holocène

a) écart des températures d'été par rapport aux valeurs "modernes"

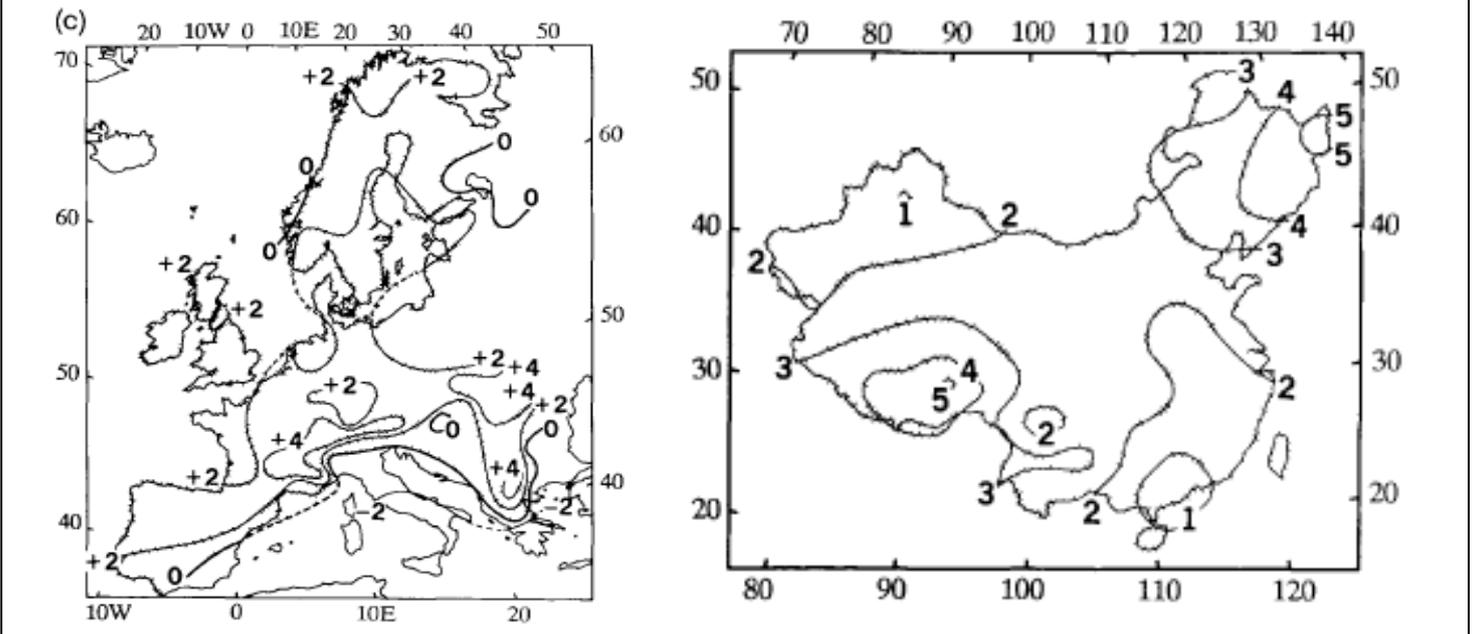
b) écart des précipitations, en mm/an par rapport aux valeurs "modernes"
sources: Borzenkova and Zubakov, 1984; Budyko and Izrael, 1987



La figure A-12 présente une estimation des températures en Europe et en Chine.

Figure A-12) Figure 7.5 du rapport IPCC GIEC de 1990 (FAR) Optimum climatique holocène

(c) Températures d'été par rapport à celle du milieu du XXème siècle en Europe et en Chine entre 5000 BP et 6000 BP (3050 et 4050 avant notre ère) sources: Huntley and Prentice, 1988; Wang et al. personal communication



¹¹⁶ Insolation estivale à 65°N de quelques dizaines de W/m² supérieure à l'actuelle; le périhélie était alors en juillet et non en janvier.

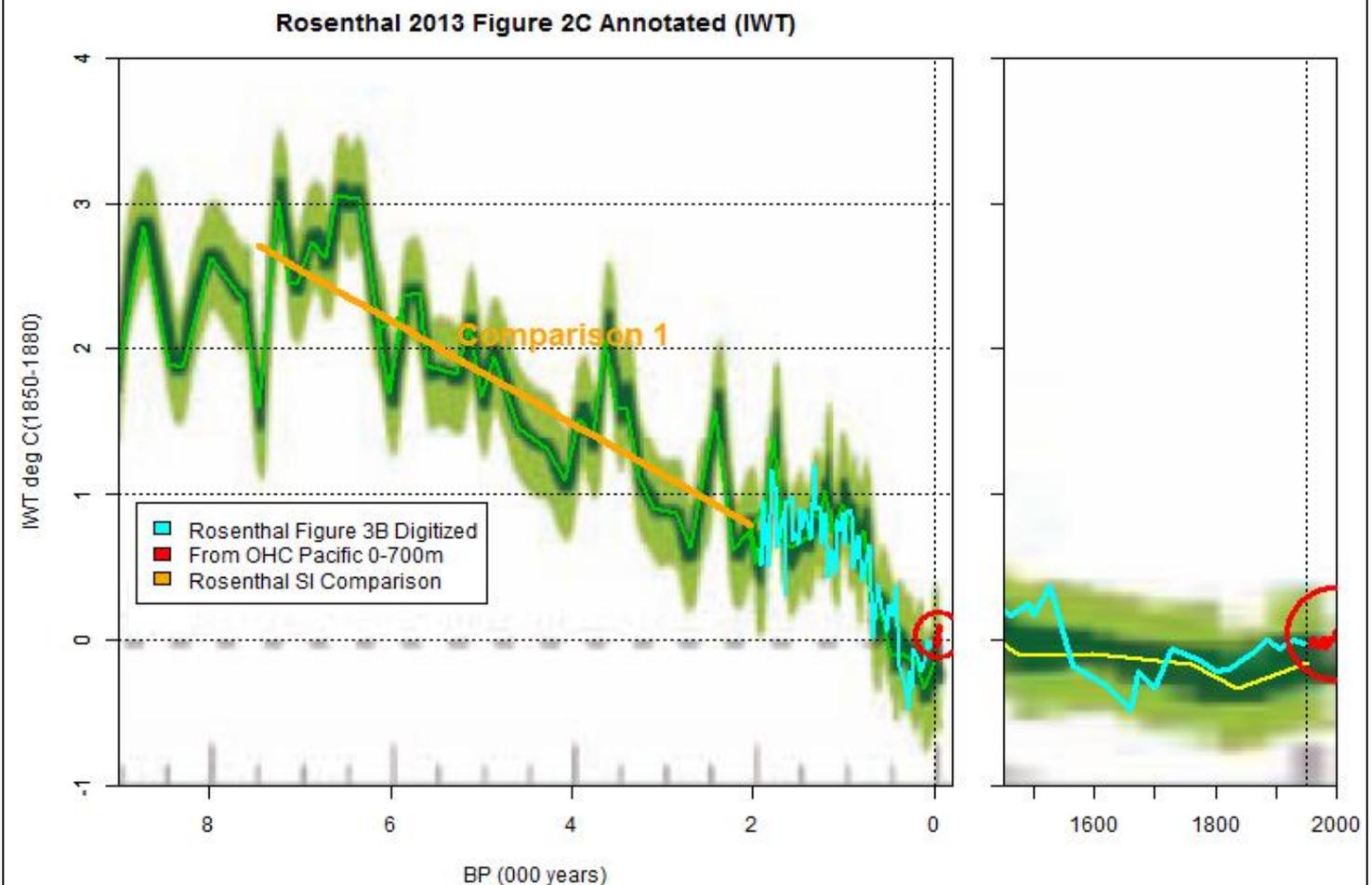
¹¹⁷ voir le livre de Nicole Petit-Maire *Sahara: les grands changements climatiques naturels*. Paris : Errance, 2012, 192 pages

1 On se reportera aux cartes de la commission de la carte géologique du monde ¹¹⁸ plus récentes que le rapport IPCC
 2 AR1 de 1990; elles montrent l'environnement végétal ou climats de Köppen au dernier maximum glaciaire et à l'optimum
 3 holocène.

4 D'autres observations encore trouvent dans le Canada central entre 6000 BP et 5000 BP ("optimum atlantique") une
 5 limite de la végétation à 200 km au nord de l'actuelle limite, et de 3000 BP à 2000 BP un repli de 300 km vers le sud, et
 6 dans l'arctique scandinave une forêt fossile d'époque Viking ¹¹⁹ à 100 km au nord de la limite actuelle, dans l'actuelle
 7 toundra.

8 Les températures au fond des océans (figure A-13 fonds des détroits indonésiens à des profondeurs de 500 m à 900 m)
 9 ont depuis 9000 ans, été, le plus gros du temps, nettement plus chaudes qu'actuellement malgré un très léger rebond par
 10 rapport au petit âge de glace: de 9000 ans à 5500 ans "avant le présent" (BP), températures de 2°C à 3°C supérieures à
 11 l'actuelle. Le petit âge de glace se voit sur le graphique de droite qui détaille les derniers 550 ans.

12 Figure A-13) Températures au fond de l'océan dans les détroits indonésiens (Yair Rosenthal et al.) en "anomalies" ou
 13 écart à celles du XXème siècle (<http://climateaudit.files.wordpress.com/213/11/rosenthal-213-figure-2c-annotated.png>)



14 La figure A-14 montre les variations des températures de surface de l'Atlantique Nord au large de l'Islande: elles sont très
 15 semblables à celles du fond des détroits indonésiens. Il s'agit là de températures isotopiques sur des diatomées de la
 16 carotte MD99-2275 sans doute marqueur biologique des températures d'été. Le minimum de 5,8°C est daté de 1823.
 17 Moyenne et écart types sont (9,45°C et 0,31°C) sur -6148 à -5319 et pendant le petit âge de glace de 1323 à 1860 (6,9°C
 18 et 0,35°C) soit une différence de 2,5°C entre ces moyennes.
 19
 20
 21

¹¹⁸ Cartes des environnements du monde pendant les deux derniers extrêmes climatiques (18000 +/- 2000 BP et 8000 +/- 1000 BP) publiées par la Commission de la Carte Géologique du Monde (1999)

N. Ray, J. M. Adams *A GIS-based Vegetation Map of the World at the Last Glacial Maximum (25,000-15,000 BP)*. 2001. *Internet Archaeology* 11 (http://intarch.ac.uk/journal/issue11/rayadams_toc.html) <http://lgb.unige.ch/lgmvegetation>

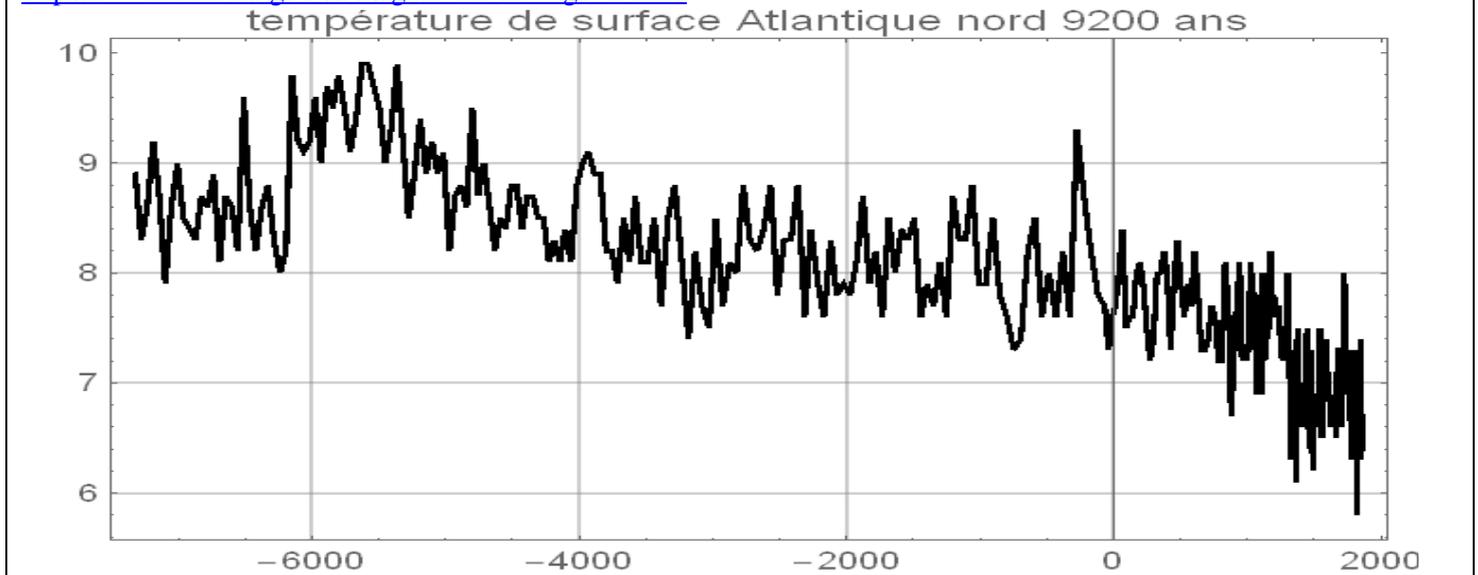
Petit-Maire, N., 1990, *Will greenhouse green the Sahara?* Episodes, v. 13, no.2, pp. 103-107.

Petit-Maire, N., Guo Zhengtang, 1996, *Mise en évidence de variations climatiques holocènes rapides, en phase dans les déserts actuels de Chine et du bord de l'Afrique*, C. R. acad. SC. Paris: 322, v. 10, pp. 847-851

N. Ray, J. M. Adams *A GIS-based Vegetation Map of the World at the Last Glacial Maximum (25,000-15,000 BP)*. 2001. *Internet Archaeology* 11 (http://intarch.ac.uk/journal/issue11/rayadams_toc.html) <http://lgb.unige.ch/lgmvegetation>

¹¹⁹ Alain Godard, Marie-Françoise André Les milieux polaires Armand Colin 1999, 454 pages, pages 317-318; voir aussi une mine d'informations dans www.ClimateSanity.com de M. Tom Moriarty <https://climatesanity.wordpress.com/2008/10/15/dont-panic-the-arctic-has-survived-warmer-temperatures-in-the-past/> qui examine quatorze articles

1 Figure A-14) Températures de surface en °C de l'Atlantique Nord au large de l'Islande depuis 9300 ans (diatomées)
 2 avec un échantillonnage assez lâche (toutes les années ne sont pas renseignées) jusque vers 1860.
 3 Jiang et al 2015 *Solar forcing of Holocene summer sea-surface temperatures in the northern North Atlantic*, *Geology* ¹²⁰
 4 ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/contributions_by_author/jiang215/jiang215-md99-2275.txt
 5 <http://climateaudit.org/215/1/8/ground-truthing-marcott/> fichier uahmsu 214-1.nb



De très nombreux relevés montrent, comme la figure A-13, que depuis 9000 ans les températures ont, hors petit âge de glace et période des invasions barbares, été presque constamment supérieures aux températures actuelles.

A-6) Indications bibliographiques sommaires sur les travaux des historiens

Les travaux des historiens montrent, comme la figure C-1 des climats de Köppen, que pour l'agriculture et l'élevage, ce ne sont pas tant les températures moyennes que les précipitations et les températures extrêmes qui comptent.

Citons entre autres :

- Geoffrey Parker *Global crisis war, Climate change and catastrophe in the seventeenth century*, Yale University Press, 2013, 871 pages; décrit pour tous les continents des conséquences de la catastrophe climatique du XVIIème siècle
- Th. Brooks *Sous l'œil des dragons La Chine des dynasties Yuan et Ming* Payot, 2012, 432 pages, montre la corrélation entre catastrophes météorologiques, famines, inondations ou sécheresses, révoltes et changements de dynastie de 1270 à 1630 (voir aussi figure C-7 ci-dessus)
- E. Garnier a étudié les caractéristiques et la fréquence des événements extrêmes en France depuis 1500, en particulier des sécheresses en Île de France (la plus grande date de 1567) et en Languedoc-Roussillon où elles sont bien plus fréquentes.
- E. Garnier *Les dérangements du temps : 500 ans de chaud et de froid en Europe* Plon, 2010, 244 pages
- F. Surville, E. Garnier, Ch. Moreau *Les colères de la nature. Dérèglements climatiques et catastrophes naturelles* Le Croît vif éditeur, 2012, 368 pages
- E. Garnier et F. Surville *Climat et révolutions autour du Journal du négociant rochelais Jacob Lambert 1733-1813* Le Croît vif éditeur, 2010, 567 pages
- E. Chaumillon, E. Garnier, Th. Sauzeau *Les littoraux à l'heure du changement climatique*, Les Indes savantes Editeur 2014, 267 pages
- Roger Dubrion *Le climat et ses excès* Editions Féret 2008, 160 pages
- E. Le Roy Ladurie *Histoire humaine et comparée du climat* en 3 gros tomes
- Rüdiger Glaser *Klimageschichte Mitteleuropas. 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*, 2008, Primus Verlag, 264 pages,
- Christian Pfister *Wetternachrsage 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen* Haupt Verlag, 304 pages

¹²⁰ Abstract: *Mounting evidence from proxy records suggests that variations in solar activity have played a significant role in triggering past climate changes. However the mechanisms for Sun-climate linkages remain a topic of debate. Here we present a high-resolution summer sea-surface temperature (SST) record covering the last 9300 yr from a site located at the present-day boundary between Polar and Atlantic surface-water masses. The record is age-constrained via the identification of 15 independently-dated tephra markers from terrestrial archives circumventing marine reservoir age variability problems. Our results indicate a close link between solar activity and SSTs in the northern North Atlantic during the past 4000 years. They suggest that the climate system in this area is more susceptible to the influence of solar variations during cool periods with less vigorous ocean circulation. Furthermore the high-resolution SST record indicates that climate in the North Atlantic regions follows solar activity variations on multi-decadal to centennial time scales.*

1 Dario Camuffo & P. Jones (ed.) *Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European*
 2 *Instrumental Sources* Springer Science & Business Media, 2002, 392 pages et voir aussi les 200 articles de
 3 D. Camuffo

4 Jürg Luterbacher <https://www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb07/fachgebiete/geographie/bereiche/klima/dateien/luterbacher>

5
 6 Sur la grande sécheresse de l'Europe centrale en 1540 qui a laissé en Rhénanie un millésime extraordinaire (dont
 7 certaines bouteilles existeraient encore) et a duré 11 mois au lieu de 2 à 3 mois pour celles observées au XIX^{ème} et au
 8 XX^{ème} siècles voir, de 32 coauteurs, l'article:

9 *The year-long unprecedented European heat and drought of 1540 – a worst case Climatic Change* (2014) 125:349–363
 10 qui conclut: "Our analysis of CMIP5 simulations suggests that climate models are so far unable to simulate 1540-like
 11 droughts ... palaeoclimatic evidence of the natural archives, such as tree-rings or grape harvest dates, may fail to detect
 12 record-breaking climatic outliers, whereas archives of society usually describe them in most accurate detail"

13
 14 Les indications de l'annexe C permettront de comprendre le rôle essentiel des pressions, reflet de la circulation
 15 atmosphérique, comme déterminant de la météorologie et de ses événements extrêmes, et de climats plus doux pendant
 16 l'optimum holocène, plus rudes pendant le petit âge de glace.

17
 18
 19 *****

20 Remarque anticipant sur la seconde partie

21
 22
 23 Le bienfaisant optimum climatique holocène, qui a vu l'humanité sortir des cavernes et commencer à pratiquer
 24 l'agriculture et l'élevage suffit à démentir les assertions des rapports de l'IPCC sur les conséquences effroyables d'un
 25 réchauffement "de plus de 2°C par rapport au petit âge de glace" dont un texte de l'IDDRI nous dit que c'est un pur outil
 26 politique au service de l'objectif fixé par la bureaucratie de l'ONU à savoir la destruction des sociétés industrielles et le
 27 retour de l'humanité dans les cavernes ¹²¹.

28
 29 **Et cette limitation à +2°C par rapport au "préindustriel" ne devrait-elle pas être comptée à partir de cet optimum**
 30 **climatique holocène et non par rapport au petit âge de glace ?** Ça ferait en gros +5°C par rapport aux températures
 31 actuelles !

32
 33 Nous renvoyons au § 16 pour la discussion des prophéties de plus d'événements météorologiques extrêmes (dont "*une*
 34 *canicule presque permanente en été*") alors que le réchauffement de 12°C en hiver et 5°C en été des hautes latitudes nord
 35 (Norvège, Finlande, Canada, Sibérie ...) annoncé pour un doublement des ppm de CO₂ devrait, en réduisant très
 36 considérablement le contraste entre hautes et moyennes latitudes, amener un climat presque sans hautes pressions
 37 stationnaires, très doux et sans canicules ni sécheresses ... plus encore que celui de l'optimum climatique holocène.
 38
 39

¹²¹ texte http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2014/07/DDPP_interim_2014_report.pdf de Laurence Tubiana (IDDRI) et al. : page
 xii "*The science is clear that global warming beyond 2°C carries the risk of grave and irreversible harm to human wellbeing and
 development prospects in all countries. The political risks of jettisoning the 2°C limit are also significant. If the world fails to
 mobilize in support of the 2°C limit or if countries try to weaken it there will be no realistic prospect for the international community
 to agree to another quantitative target. Countries would find themselves on a slippery downward slope with no quantitative foothold
 to organize an international and coordinated response to climate change. The 2°C limit is an invaluable tool for international
 mobilization that must be preserved*

Annexe B Compléments de thermodynamique

Exemple de modélisation de l'atmosphère comme système thermodynamique ouvert dissipatif hors d'équilibre et auto-organisé

Voyons d'abord quelques résultats de G.W. Paltridge (1978) (liste de publications en référence au § 11) obtenus à partir du principe de maximum de production d'entropie avec un découpage du globe en 20 zones de même surface selon la latitude et en 20 zones selon la longitude.

Figure B 1) température de surface, couverture nuageuse, transport de chaleur et dissipation thermique du mouvement
Valeurs calculées et valeurs observées, en moyenne annuelle

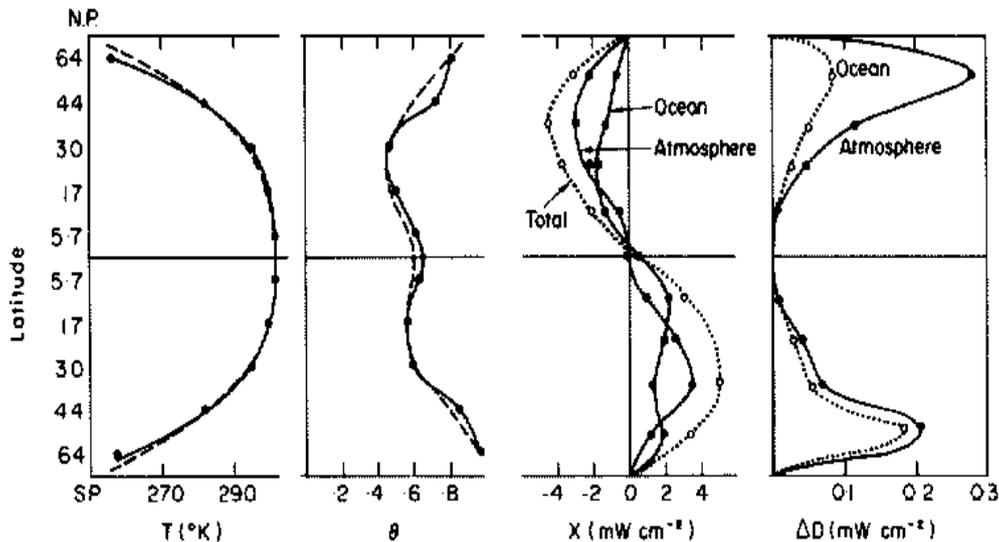


Figure 3. Surface temperature, T ; cloud cover, θ ; oceanic, atmospheric and total meridional energy fluxes, X ; and zonal oceanic and atmospheric dissipations, ΔD . The solid and dotted lines are the curves predicted by the zonal average mean-annual model. The dashed curves are comparative observations (from Crutcher and Meserve 1970; Taljaard *et al.* 1969; those for cloud cover from Landsberg, quoted by Winston 1969). The flux units are normalized by the surface area of the zones (1/10 of global surface area). Thus the difference in flux across a zone is numerically equal to the convergence into a 1 cm^2 vertical column.

Multiplication of the flux by zonal surface area gives the total energy flow across the latitude circle.

Figure B-2) Albédo de la surface attribué à chacun des 20 x 20 compartiments

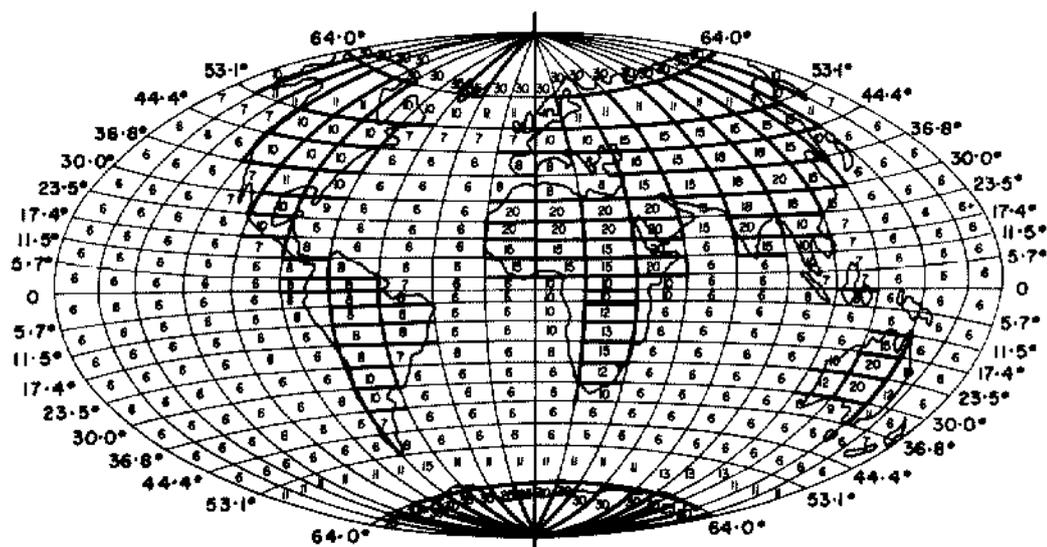
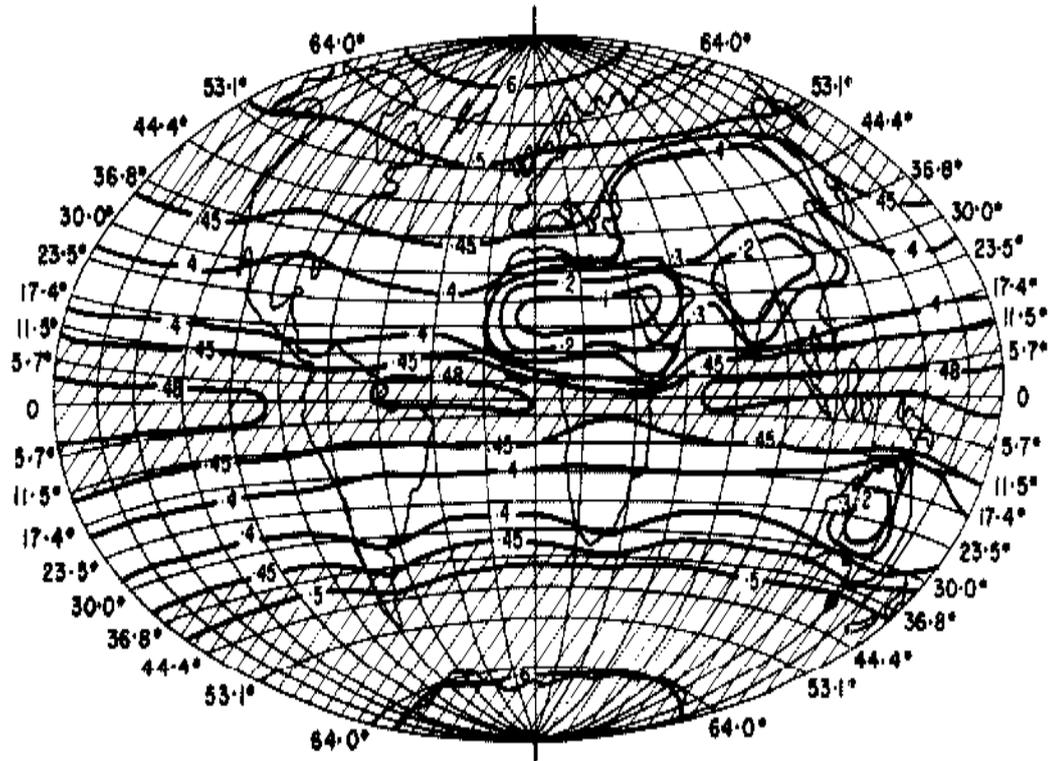


Figure 4. Format of the three-dimension (3-D) model. The numbers in each box are the surface albedos (percent) used as input data. The darkened box edges are those for which no oceanic energy flow is allowed. Latitudes are recorded on the edges of the diagrams.

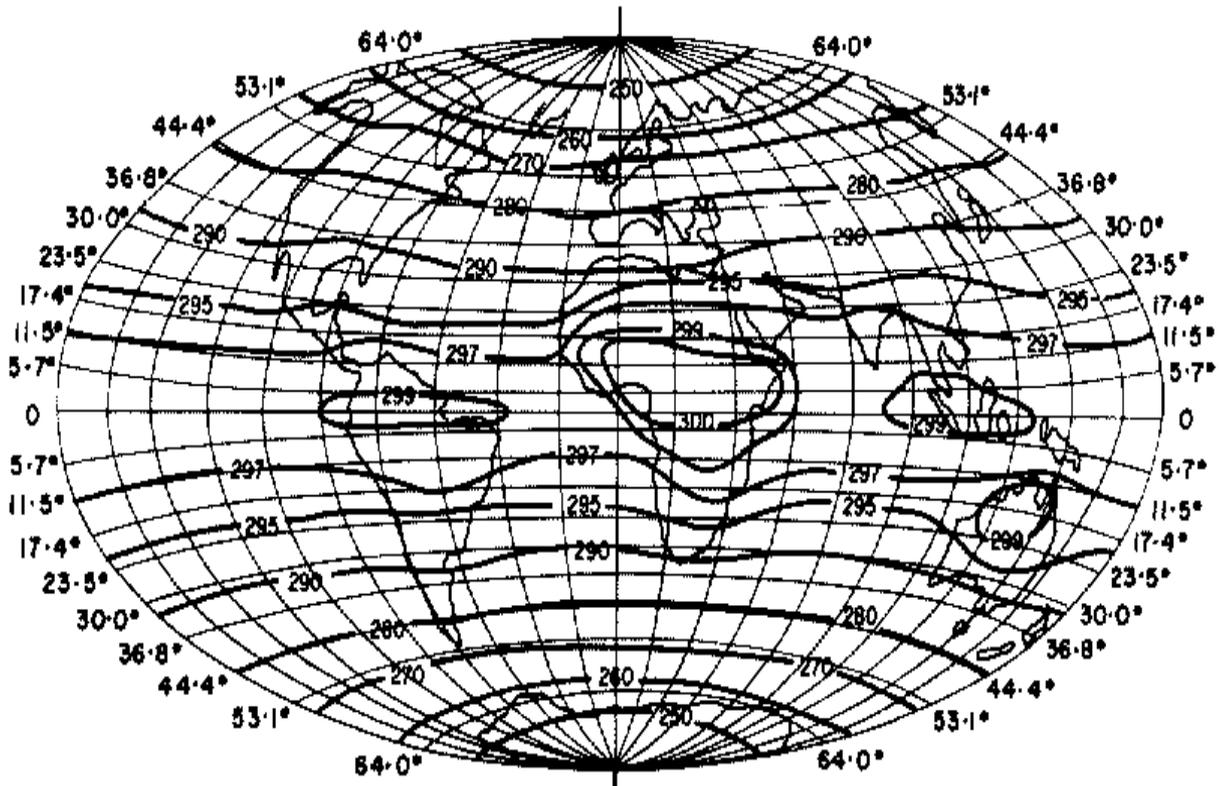
1 La couverture nuageuse et les températures de surface calculées (figures B-3 et B-4) sont fort correctes en "moyenne
2 annuelle"; l'article donne encore les flux de chaleur nord-sud et est-ouest entre compartiments dans l'air et dans les
3 océans.

4 Figure B-3) Couverture nuageuse moyenne annuelle calculée exprimée en fraction entre 0 et 1



5 **Figure 5** Global distribution of mean annual cloud cover, θ (as fraction from 0 to 1), predicted by the
6 3-D model. Cross-hatching indicates regions where $\theta > 0.45$.

7 Figure B-4) Températures de surface en moyenne annuelle



8 **Global distributions of mean annual surface temperature, $T(K)$ predicted by the 3-D model.**

1 Citons la conclusion de cet article:

2 "*Bien des modes de fonctionnement du système terre-atmosphère pourraient satisfaire aux conditions aux limites ... nous*
3 *supposons, par analogie avec des processus turbulents de transfert de chaleur à petite échelle, que le mode observé*
4 *satisfait au principe thermodynamique du maximum de production d'entropie. Que la dynamique [des fluides] soit sans*
5 *importance pour la thermodynamique est le point le plus difficile à croire. ... Les études qui montrent une relation entre*
6 *structures thermodynamiques et la dynamique portent en général sur des systèmes à très petit nombre de degrés de*
7 *liberté avec des conditions aux limites artificielles, par exemples les expériences en cuve tournante qui ne portent que*
8 *sur des flux d'énergie dans un seul milieu avec un seul mécanisme de transfert turbulent. Le système terre-atmosphère a*
9 *deux milieux [air et océans], un grand nombre de modes possibles de transfert d'énergie et les conditions aux limites ne*
10 *sont pas contraintes puisque la **dynamique interne rétro-agit sur les flux entrants d'énergie via la modulation de la***
11 ***couverture nuageuse** ... Notre modèle ne vaut que pour une situation moyenne sur quelques années ce qui rend plus*
12 *plausible que la dynamique ait moins d'importance qu'aux petites échelles de temps ...*

13 *Deux autres concepts sont intégrés dans le modèle ...*

14 *Le premier concept est la maximisation du flux convectif vertical de chaleur de l'océan vers l'atmosphère $LE+H$*
15 *[chaleurs latente et sensible] en satisfaisant aux deux contraintes d'équilibre en énergie (1) de la surface et (2) de*
16 *l'atmosphère ... qui peut être rapporté et aux observations et au principe suggéré par Malkus et Veronis d'un "principe*
17 *de maximisation du transport convectif de chaleur"...*

18 *Le second concept est que la partition du flux d'énergie horizontal total entre atmosphère et océan est gouvernée par une*
19 *tendance à l'égalisation des dissipations des deux milieux. ...*

20 *Enfin les concepts thermodynamiques peuvent expliquer les flux d'énergie à grande échelle mais la compréhension de la*
21 *réalisation de ces flux demande la prise en compte de la dynamique [des fluides].*

22
23
24

Annexe C Compléments de dynamique: les tourbillons sur la sphère en rotation

Voyons maintenant quelques observations de la circulation des tourbillons cycloniques et anticycloniques sur la sphère en rotation.¹²²

Les tourbillons anticycloniques, descendant des pôles vers les tropiques, sont des entités de quelques milliers de kilomètres de diamètre, qui, à l'échelle de la météorologie synoptique, permettent de modéliser macroscopiquement la dynamique des fluides sans passer par la discrétisation des équations des fluides qui elle relève en réalité de l'échelle microscopique. Cette approche permet de comprendre le mouvement de l'atmosphère.

C-1) Introduction

On a affaire à un système totalement dissipatif qui rayonne autant que ce qu'il absorbe (122 PetaWatt), absolument hors d'équilibre, auto-organisé, turbulent et assez comparable à des systèmes chimiques ou biologiques, dissipatifs et loin de tout équilibre statique, systèmes dont des théoriciens nous assurent qu'ils sont auto-organisés au "maximum de production d'entropie".

Le mouvement de l'air a une structure en feuillets superposés où dominent des mécanismes propres à ce feuillet:

- (1) dans la stratosphère une circulation apporte aux zones polaires l'ozone produite dans la zone intertropicale,
- (2) au dessus de quelques kilomètres des "jets d'ouest" extratropicaux, d'autant plus forts que la tropopause s'abaisse plus vite avec les latitudes croissantes et des "jets d'est" intertropicaux, moins rapides, au voisinage de l'équateur météorologique vertical,
- (3) la circulation dans les basses couches extratropicales, entre pôles et tropiques est "quantifiée" dans le temps et l'espace et se fait par "balayage" disons tous les deux à quatre jours.
- (4) dans la zone intertropicale les alizés surmontés par d'autres alizés convergent vers la cheminée équatoriale de l'équateur météorologique vertical qui en suivant le soleil entre les tropiques se déplace entre 10°N et 10°S ou bien reste vers 10°N (Pacifique central hors événements El Niño).

Nous essayons ici d'exposer brièvement les idées de feu Marcel Leroux sur la circulation atmosphérique et les Anticyclones Mobiles Polaires (notés AMP par la suite) et renvoyons à ses ouvrages^{123, 124} pour des descriptions plus complètes des observations; le rédacteur ne connaît pas d'autre représentation conceptuelle de la circulation atmosphérique qui soit plausible, cohérente et rende compte des observations¹²⁵ jour par jour des situations synoptiques dans la plupart des régions.

On connaît ces "modèles" d'auto-organisation où les cases d'un damier changent (toutes en même temps) de couleur selon des règles simples, selon la couleur des cases adjacentes. Des propriétés "émergentes" sont observées avec la formation de structures stables ou oscillatoires.¹²⁶ Les modèles numériques de circulation générale sont aussi une forme d'auto-organisation par interaction entre des cellules parallélépipédiques adjacentes, par exemple de taille 1° (en longitude) x 1° (en latitude) x 5 hPa (en altitude), qui changent d'état toutes les demi-heures (pas de calcul dans le temps) en fonction de l'état mécanique et thermodynamique des cellules voisines.

¹²²Sommeria, J. 1994 *Organized vortices as maximum entropy structures*. In *Modelling of Oceanic Vortices* (ed. G. J. F. van Heijst), pp. 37-50. North-Holland

Henri-Claude Nataf, Joël Sommeria *La physique et la Terre* Belin CNRS éditions 144 pages, 2000 préface de V.Courtillot Johnson et al. *Orographically generated nonlinear waves in rotating and non-rotating two-layer flow* Proc Royal Soc. A doi:10.1098/rspa.2005.1550

Robert, R. 1990 *Etats d'équilibre statistique pour l'écoulement bidimensionnel d'un fluide parfait*. C. R. Acad. Sci. Paris I 311, 575-578.

Jie-Zhi Wu, Hui-Yang Ma, Ming-De Zhou *Vorticity and Vortex Dynamics* en particulier chapitre 12 *Vorticity and Vortices in Geophysical Flows* pp. 641-691,

Hopfinger E. J., Van Heijst G. I. F. 1993, *Vortices in rotating fluids* Ann. Rev. Fluid Mech. 25, pp. 241-289

Van Heijst G. I. F., Flor J. B. *Dipole formation and collisions in a stratified fluid* Nature, vol. 340, 212-214, 1989

Paul K Newton *The N-Vortex Problem Analytical Techniques* Springer 2001 (chapitre 4 *Vortex motion on a sphere* pp. 139-208)

¹²³ Marcel Leroux *La dynamique du temps et du climat* Dunod 2ème édition, 2004, 367 pages épuisé; réédité en version anglaise *Dynamic Analysis of Weather and Climate Atmospheric Circulation, Perturbations, Climatic Evolution*, Springer-Praxis books in Environmental Sciences, 2nd ed., 2010, 440 p., ISBN: 978-3-642-04679-7

¹²⁴ http://fr.wikipedia.org/wiki/Marcel_Leroux ; http://www.hacene-arezki.com/pages/Questions_climatiques-1920461.html

¹²⁵ Les manuels de météorologie supposent des "explications" telles que constrictions du jet Stream, circulation de Hadley sans le feuilletage de la troposphère, cellules de Ferrel et de Walker, rôle des dorsales et des creux des surfaces isohypses. Mais on a là affaire tantôt à des "fantômes statistiques" tantôt à des conséquences en altitude de ce qui se passe dans les basses couches (< 2000 m) de la troposphère.

¹²⁶ La thermodynamique et la dynamique décrivant des systèmes dissipatifs hors d'équilibre ont fait l'objet de multiples ouvrages depuis

P. Glansdorf, I.Prigogine *Structure stabilité et fluctuations* Masson Paris 1971, 289 pages

Stephen Wolfram *A new kind of science* Wolfram media Inc, 2002, 1300 pages

1 Mais ces modèles discrets, ensembles de cellules homogènes, ne représentent pas bien la réalité, peut-être à cause de
 2 la "paramétrisation" des grandeurs relatives à la vapeur d'eau et aux nuages, du pas de discrétisation spatiale et
 3 d'expressions bizarres des transferts radiatifs de chaleur; ces "modèles" ne semblent pas restituer le feuilletage de
 4 l'atmosphère, et ils sont instables vis-à-vis des conditions initiales.

5
 6 Les météorologistes patentés nient l'existence et la circulation des AMP et des dépressions conjuguées¹²⁷: "*Ce sont des
 7 petites bêtes qui naissent dans les régions polaires sous forme de lentilles d'air froid et qui (par héliotropisme positif
 8 sans doute) se dirigent vers les régions équatoriales ... au cours de leur migration, elles expulsent (la sexualité n'a rien à
 9 voir avec cela) des dépressions ... et vont, par instinct grégaire, terminer leur existence en donnant naissance à des AA
 10 (puisque'il faut tout vous expliquer les AA sont des "agglutinations d'AMP")* . Je n'ai toujours pas compris en quoi les
 11 AMP et les AA avaient un rôle explicatif, ni les mécanismes qui les créent ou qui leur permettent d'engendrer des
 12 dépressions". Selon Météo-France, et d'après Science et Vie: "... le débat [sur les AMP] a déjà eu lieu¹²⁸ dans le cadre
 13 de la revue *La Météorologie*, et il est désormais clos." (n° 879, 1999, p. 72).

14 Voilà qui rappelle les déclarations de Guy Patin (161-1672) doyen de la faculté de médecine de Paris brocardant, sous
 15 Louis XIV, le concept de circulation sanguine développé par William Harvey de 1615 à 1628¹²⁹ : "*la circulation
 16 [sanguine de Harvey] est paradoxale, inutile à la médecine, fausse, impossible, inintelligible, absurde, nuisible à la vie
 17 de l'homme. La Bible ne mentionnant pas la circulation du sang il est difficile de l'admettre. Si le sang circulait, la
 18 saignée serait mauvaise; or la saignée est le meilleur remède qui soit*"¹³⁰.

19 Le docteur Diafoirus¹³¹ père dit de son fils Thomas: "*Mais, sur toute chose, ce qui me plaît en lui, et en quoi il suit mon
 20 exemple, c'est qu'il s'attache aveuglément aux opinions de nos anciens, et que jamais il n'a voulu comprendre ni écouter
 21 les raisons et les expériences des prétendues découvertes de notre siècle touchant la circulation du sang et autres
 22 opinions de même farine.*" Thomas Diafoirus tirant de sa poche une grande thèse roulée, qu'il présente à Angélique.:
 23 "*J'ai, contre les circulateurs, soutenu une thèse, qu'avec la permission de monsieur, j'ose présenter à mademoiselle,
 24 comme un hommage que je lui dois des prémices de mon esprit*".

25 Les Diafoirus de la météorologie donnent souvent des "explications" tout à fait dignes de Molière, à en juger par les
 26 citations qui ornent les ouvrages de feu Marcel Leroux, citations que l'on pourrait multiplier en relisant les revues et
 27 publications des institutions météorologiques.

29 C-2) Vent géostrophique et air en rotation

30
 31 Le mouvement de l'air par rapport à un repère tournant avec le sol résulte de l'équilibre entre
 32 la force de frottement ($- \rho k v$, v vitesse du vent) sensible seulement dans les basses couches,
 33 le gradient de pression à une altitude donnée ($\text{grad}(p)$) et

34 la "force" de Coriolis qui vaut $2 \rho \Omega v \sin(\text{latitude})$ en projection sur le plan horizontal. Ω est la vitesse angulaire de
 35 rotation de la Terre soit $72,921\ 15 \mu\text{rad/s}$.

36 La vitesse du vent "*à l'équilibre géostrophique*" vaut $\text{grad}(p) / (2\rho \Omega \sin(\text{latitude}))$; l'air suit les courbes d'égale
 37 pression, laisse à sa droite (dans l'hémisphère nord) les hautes pressions et tourne donc dans le sens cyclonique autour
 38 d'une basse pression et anticyclonique (horaire dans l'hémisphère nord) autour d'une haute pression.

39 Dans les basses couches le vent est orienté, du fait de la composante de frottement en surface, sur mer à 10° des courbes
 40 de pression constante ou isobares, du côté des basses pressions, et sur terre à 30° .

41 Cette convergence – en surface- vers le centre de la dépression implique un mouvement ascendant au milieu de la
 42 dépression.

43 Pour les anticyclones cette écart aux lignes isobares est orienté vers l'extérieur et implique une subsidence et un
 44 étalement progressif.

45
 46 Les anticyclones mobiles polaires (AMP), crêpes d'air froid tournant dans le sens anticyclonique, épaisses de 2 km et de
 47 diamètre 3000 km, sont émis au rythme approximatif d'un par 24 heures et par pôle; ils conservent le mouvement relatif
 48 anticyclonique de l'air par rapport à la surface du pôle entraînée par la rotation et glissent (dans l'hémisphère nord) vers le
 49 sud ou le sud-est; ils soulèvent et canalisent vers le nord-est (vers le sud-est dans l'hémisphère sud) de l'air qui sur les
 50 océans est plus humide et plus chaud, un peu comme un chasse neige; cet air alimente la dépression conjuguée
 51 cyclonique qui s'écarte vers le nord-est (sud-est dans l'hémisphère sud). Les couples {AMP & dépression conjuguée}
 52 font le temps ou la météo des latitudes extratropicales.

¹²⁷ M. Rochas *Lu pour vous: climat de panique d'Yves Lenoir* La météorologie 38, pp.68-69. Voir <http://lcre.univ-lyon3.fr/climato/ampmeteo.htm>

¹²⁸ Mais, dit Marcel Leroux, il n'a jamais eu lieu !

¹²⁹ William Harvey *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*, 1628

http://en.wikipedia.org/wiki/Exercitatio_Anatomica_de_Motu_Cordis_et_Sanguinis_in_Animalibus

¹³⁰ Article sur l'histoire de la circulation sanguine par le Dr Patrice Josset *Le Figaro* mardi 31 juillet 2012, page 2

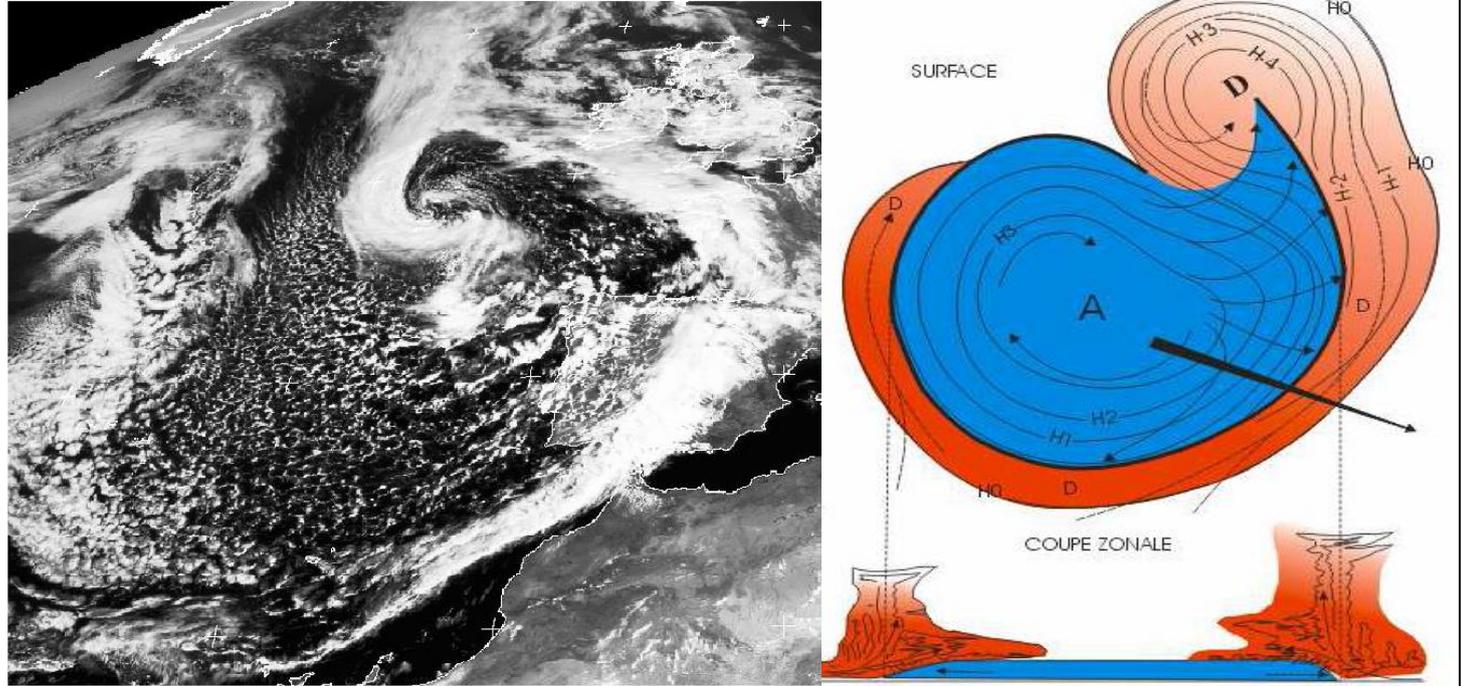
¹³¹ Le malade imaginaire, acte II scène V

1 Dans l'anticyclone les vents tournent dans le sens anticyclonique (aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord,
2 trigonométrique direct dans l'hémisphère sud).

3 Le vent observé en surface est évidemment la résultante du mouvement de l'air dans le cyclone ou l'anticyclone et de la
4 vitesse (vers l'est sud-est ou vers le sud) de déplacement de l'ensemble: on a donc une prédominance des vents d'ouest.

5 Figure C-1) Image et structure du couple AMP-dépression conjuguée, hémisphère nord

6 L'anticyclone mobile A froid est en bleu et les flux d'air chaud et humide sur les faces avant et arrière en rouge; le couloir
7 dépressionnaire sur la face avant alimente la dépression conjuguée D; les structures convectives et nuageuses sont très
8 visibles sur les images satellitaires.



9 Ces crêtes d'air froid en rotation sont canalisées par les reliefs même de faible altitude (1500 m à 2000 m) tels que les
10 Appalaches, les Rocheuses, le Groenland, la chaîne côtière norvégienne, les Pyrénées et la chaîne cantabrique. Les AMP
11 peuvent se diviser en deux sur les reliefs quand deux sorties sont possibles (par exemple chaîne cantabrique au nord de
12 l'Espagne ou région du Cap en Afrique du Sud) ou sont réfléchis par le relief quand un relief continu leur barre le
13 passage, par exemple par les Andes ou par l'escarpement namibien.

14 On voit sur la figure C-1) les précipitations (nuages convectifs marqués en rouge) devant l'AMP en bleu, l'air "chaud" se
15 soulevant à l'approche du "front froid" et à l'arrière de l'AMP encore des nuages à l'approche du "front chaud" qui côté
16 ouest en marque la limite.

17 Les AMP de trajectoires voisines se succèdent à la queue-leu-leu avec sur leur avant un front froid précédé par le couloir
18 dépressionnaire et sur leur arrière un "front chaud". Au milieu dans l'AMP se trouve une zone de "beau temps" avec
19 seulement quelques nuages convectifs isolés.

20 Le flux vers le nord-est de l'air chaud et humide est plus marqué aux hautes latitudes comme l'est la force géostrophique
21 $2 \rho \Omega v \sin L$, Ω rotation terrestre, L latitude, v vitesse du flux, ce qui, à partir de l'air soulevé amorce et développe la
22 dépression conjuguée.

23 Selon sa position, l'observateur verra des variations des vents, des températures, des nuages et des précipitations qui
24 découlent du schéma de la figure précédente: à la latitude de l'anticyclone, vent de sud-ouest chaud et humide, puis
25 basses pressions et précipitations à l'approche du front froid; dans l'AMP le vent vient de l'ouest ou du nord-est avec
26 augmentation de la pression (du genre +2 ou +3 mbar parfois un peu plus) au passage de l'air "polaire" avec une baisse
27 des températures de, par exemple, 3°C; au bout d'un ou deux jours (20 km à 40 km/h), passage du "front chaud", baisse
28 de pression et à nouveau précipitations; sur tout le bord arrière de l'AMP.

29 Les AMP finissent, après typiquement une semaine de transit à 40 km/h, en s'intégrant dans une des agglutinations
30 anticycloniques (AAc) que la description statistique appelle anticyclone des Açores (et des Bermudes en hiver), d'Hawaï
31 à l'est du Pacifique, des Philippines à l'ouest du Pacifique, et dans l'hémisphère sud de l'île de Pâques, de Sainte Hélène,
32 des Mascareignes, quoique leurs positions soit fort variables selon la saison. Ces AAc alimentent les alizés et la
33 circulation intertropicale et ses moussons. L'arrivée d'un AMP dans une AAc module les alizés qui en sortent et peut
34 causer une pulsation dans l'alizé avec des nuages convectifs localisés qui se déplacent, avec la pulsation et l'alizé, jusqu'à
35 l'équateur météorologique vertical.

1 Le point essentiel est la mobilité de l'AMP qui parcourt disons 1000 km/jour:

2 * vers le sud-est pour les AMP atlantiques qui vont du Labrador aux Açores, et pour les AMP asiatiques qui vont de la
3 Mandchourie ou de la mer d'Okhotsk à Hawaï,

4 * vers le sud pour les AMP scandinaves (passant entre Norvège et est du Groenland), pour ceux qui parcourent les
5 grandes plaines américaines entre les Rocheuses et les Appalaches jusqu'au Golfe du Mexique, pour les AMP qui en
6 hiver vont via l'est de la Chine et Taiwan vers une supposée AAC des Philippines,

7 * vers le sud ouest pour ces AMP qui passent au dessus de la Russie mais, en hiver, sont écartés par les hautes pressions
8 de l'Asie centrale qui s'étendent vers 50°N jusque sur la Caspienne et continuent au dessus des Balkans,

9 * vers le sud pour les AMP qui s'agglutinent dans les hautes pressions hivernales de l'Asie centrale.

10 Dans l'hémisphère sud les seuls reliefs qui canalisent les AMP sont les Andes, l'escarpement namibien, les reliefs à l'est
11 de l'Australie.

12
13 Les AMP de trajectoire méridienne provoquent des froids inattendus mais récurrents en Argentine (pampero du Rio de la
14 Plata), au Brésil (friagem du sud du Brésil jusque vers 25°S), en Floride entre 30°N et 25°N: -19°C le 13 février 1899, -
15 7°C en janvier 1985, -13°C le 28 janvier 1986 provoquant l'explosion de la fusée lançant la navette Challenger¹³², -10°C
16 à Miami en décembre 1989, -7°C à -12°C en 1996 etc. . Les plantations d'agrumes du nord de la Floride en ont
17 considérablement souffert. C'est un AMP scandinave "plein sud" qui a, les 24 et 25 octobre 2003, provoqué en France
18 des records de froids pour un mois d'octobre¹³³. Quelques semaines avant, début août 2003, c'étaient aussi des AMP
19 scandinaves, inhabituellement nombreux qui avaient contribué à l'installation d'une AAC sur l'Europe occidentale, avec la
20 fameuse canicule.¹³⁴ de 2003.

21 Les longs trajets au dessus les océans amenuisent la pression et le froid des AMP.

22
23 Des vents de tempête peuvent apparaître non seulement dans le secteur chaud devant l'AMP, mais encore, à la latitude de
24 la dépression, dans le coin froid en haut à droite figure B-1): de l'air froid et sec d'altitude est aspiré vers la dépression,
25 avec, dans ce coin, des zones de ciel clair. Les variations barométriques de 1 ou 2 mbar soir et matin sont sans commune
26 mesure avec celles observées au passage de tempêtes, par exemple, baisse de 33 mbar en 18 heures, puis remontée de 50
27 mbar en 15 heures ¹³⁵.

28
29 On se reportera aux ouvrages de Marcel Leroux pour de multiples études de cas concrets et à la thèse d'Alexis
30 Pommier¹³⁶ pour une présentation de trajectoires et des estimations de la force et de la fréquence des AMP et des
31 dépressions conjuguées sur les cinquante années 1951-2000 sur l'Atlantique nord: les trajectoires des AMP qui
32 convergent vers l'agglutination anticyclonique dite "des Açores" sont à 70% américaines puis atlantiques et à 30%
33 scandinaves, tandis que la dépression "statistique" islandaise vient du grand nombre de dépressions qui apportent de l'air
34 chaud et plein de vapeur d'eau et de chaleur latente vers les hautes latitudes de part et d'autre du Groenland.
35 Les AMP ne passent que fort rarement au dessus de l'Islande, où passent leurs dépressions conjuguées.

36
37 La météorologie "classique" affirme les dépressions en surface sont causées par des perturbations aléatoires et
38 imprévisibles du jet de haute altitude sous la tropopause. C'est là une interversion de la cause et de l'effet; ce qui se passe

¹³² Rappelons que les O-rings ou joints élastomères des réservoirs des boosters ou fusées d'appoint n'assurent correctement l'étanchéité qu'au dessus de 15°C à 20°C et avaient causé des soucis lors de quatre lancements en dessous de +18°C.

Christian Morel, dans *Les décisions absurde, Sociologie des erreurs radicales et persistantes* Gallimard 2002, 379 pages, décrit en détail les errements bureaucratiques de la NASA (joints classés pièces critiques 2ème niveau en 1980, puis 1er niveau en 1982, dérogation en 1983, classement rétabli en 1985 mais supprimé par erreur administrative) et les cinq réunions qui l'après midi du 27 janvier ont conduit à la décision de lancement malgré les réserves plus ou moins virulentes de quelques ingénieurs, oppositions finalement oubliées par le management; le sentiment de Ch. Morel est que beaucoup restaient imprégnés par l'idée qu'il fait toujours chaud en Floride ("le bricolage cognitif"); il indique avoir dû consulter cinq ouvrages de climatologie avant d'en trouver un qui montre (reproduction p. 115) un bel AMP sur le sud-est des USA.

L'explosion de Challenger aurait dû attirer l'attention sur les AMP; au contraire il semble que la bureaucratie de la NASA pour défendre ses crédits ait alors laissé libre cours à James Hansen (auditions au sénat de décembre 1987 et juillet 1988) pour justifier par l'alarmisme climatique le développement de plus de satellites d'observation.

¹³³ Leroux, Marcel *Global Warming - Myth or Reality? The Erring Ways of Climatology* Springer 2005, XXVI, 510 p. voir pp. 312-313

¹³⁴ Leroux *The erring ways* pp. 277-289

¹³⁵ A. Coles, P. Bruce *Navigation par gros temps* Gallimard-FFV 2004 (1977 -1999 pour l'édition anglaise) 432 pages, p.138

¹³⁶ Alexis Pommier *Analyse objective de la dynamique aérologique des basses couches dans l'espace atlantique Nord: mécanismes et évolution de 1950 à 2000* Université Jean Moulin Lyon 3, Laboratoire de Climatologie-Risques-Environnement, CRGA, CNRS UMR 5600 Université Jean Moulin, 18 Rue Chevreul 69007 Lyon, France; 321 pages

M. Leroux *The Mobile Polar High: a new concept explaining present mechanisms of meridional air-mass and energy exchanges and global propagation of palaeoclimatic changes* Global and Planetary Change Volume 7, Issues 1-3, May 1993, Pages 69-93

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/092181819390041L>

1 en altitude au dessus des anticyclones et des dépressions est une conséquence des évolutions en surface; en particulier
 2 les jets d'ouest sont "suralimentés" par la convection au dessus des dépressions.
 3 Ces invocations surnaturelles aux ondulations des jets d'ouest sous la tropopause ^{137, 138}, avec des "ondes longues de
 4 Rossby" et des "ondes courtes de Bjerknes" aperçues sur les isohypses et une classification des situations en altitude (de 5
 5 km à 11 km) dites être à l'origine des perturbations baroclines sont un sujet d'étonnement ¹³⁹: comme l'écrit l'auteur d'un
 6 bel ouvrage remarquablement illustré ¹⁴⁰: "quand une masse d'air chaud se dirigeant vers les pôles s'élève au sein d'un
 7 système de basses pressions elle engendre au sein du Jet Stream une dorsale barométrique ... à l'inverse quand l'air
 8 froid d'un système de hautes pressions reflue vers l'équateur, l'air descendant entraîne la formation d'une zone
 9 dépressionnaire au sein du Jet Stream.. le nombre de zones dépressionnaires et de dorsales barométriques présentes un
 10 endroit donné est imprévisible...".

11 Les zones de forte convection illustrées en rouge figure C-1) modifient la hauteur des couches d'égalité pression
 12 (isohypses) à quelques kilomètres d'altitude; les jets d'ouest, comme on le verra, contournent ces bosses et ces creux en
 13 conservant leur altitude géopotentielle.

14 La surpression en surface des anticyclones est peu marquée en comparaison des dépressions, elles couramment d'une
 15 dizaine de mbar voire bien plus.

16
 17 Le transfert de frigories et de calories entre la zone tropicale et les régions polaires se fait donc dans les basses couches
 18 par une sorte de balayage, (qui sur les continents est contraint par le relief); ce balayage, tous les deux, trois ou quatre
 19 jours, fait descendre (en latitude) des frigories que l'AMP cède en se réchauffant peu à peu pendant son transit, et fait
 20 passer, dans le couloir dépressionnaire que l'AMP provoque devant lui, un fort flux de chaleur sensible et latente des
 21 basses latitudes au sud de l'AMP à la zone de la dépression conjuguée au nord-est. ¹⁴¹

22
 23 C'est ce que l'observation montre être, en dehors de la zone tropicale, l'auto-organisation spontanée de ce système
 24 dissipatif hors d'équilibre qui maximise le transfert de calories des basses latitudes vers les hautes latitudes de façon à
 25 uniformiser le rayonnement infrarouge thermique du globe et, en conséquence, les températures de surface.
 26 Cette organisation vaut aussi bien en période interglaciaire qu'en période glaciaire, avec des forts décalages en latitude;
 27 en période glaciaire AMP et AAc sont plus forts ¹⁴² et la zone intertropicale bien moins étendue.

28 29 **C-3) Entre les hautes pressions subtropicales et la cheminée équatoriale: alizés, pulsations de l'alizé, moussons,** 30 **décalage de l'EMV**

31
 32 Les AMP réchauffés et affaiblis en fin de parcours s'agrègent ou à une agglutination anticyclonique transitoire de
 33 quelques jours ou semaines, par exemple au nord des Alpes, ou à l'une des six agglutinations anticycloniques (AAc)
 34 "permanentes" dites des Açores (28°3'N, 28°W), de Sainte-Hélène (15°57'S, 5°42'W), de Pâques (29°S, 19°3'W), de
 35 Hawaï (19°3'N, 155°3'W) et abusivement des Mascareignes (qui regroupent La Réunion, l'île Maurice et Rodrigues)

¹³⁷ Les amateurs trouveront une description détaillée des relations entre les fronts polaires et les ondulations du jet de haute altitude dans *Temporalis e Tornado*, éditions alpha test Milano 2006 pp. 223-317 avec les cinq ou six types de blocage; l'idée est qu'une divergence en altitude provoque l'assomption de l'air et le vortex cyclonique (dépression) des basses couches.

Le dogme de l'assomption a été proclamé le 1er novembre 1950 par Pie XII par la constitution apostolique *Munificentissimus Deus*, mais ne saurait s'appliquer en ces matières profanes; voir aussi pages 23 à 27 du manuel de M. Leroux.

¹³⁸ Et on ne saurait attribuer le front froid de l'avant de l'AMP à une subsidence d'air liée à une constriction de la banche NW-SE du jet d'altitude dont la branche suivante orientée SW-NE est dite causer la dépression: la subsidence (la compression) réchauffe l'air et il n'y saurait y avoir de front froid ! Cette grosse contradiction ne semble pas inquiéter les auteurs de manuels de météo.

Par ailleurs une aspiration par le haut ou assomption se raccorde mal ou pas du tout avec les fronts "chauds" et "froids" qui entourent la dépression en surface; on est bien en peine de prolonger ces fronts de la surface à 500 hPa et 200 hPa; les auteurs de manuels évitent ce sujet.

¹³⁹ De l'ouvrage clair, pratique et bien illustré de M. Hervé Hallot *Comprendre la météo* Evènement/Ciel éditions, 1998: "Aux latitudes moyennes le rapide courant d'ouest de la circulation planétaire offre l'occasion d'employer une autre méthode de transfert de l'énergie... plus le courant est fort plus il y a de tourbillons qui se forment à l'ouest et dérivent vers l'est et s'accompagnent du développement de systèmes nuageux qui s'enroulent progressivement autour d'un centre de basses pressions. L'ensemble se nomme perturbation".

¹⁴⁰ William J. Burroughs *Comprendre le Climat* Delachaux & Niestlé, 2000 et 2005

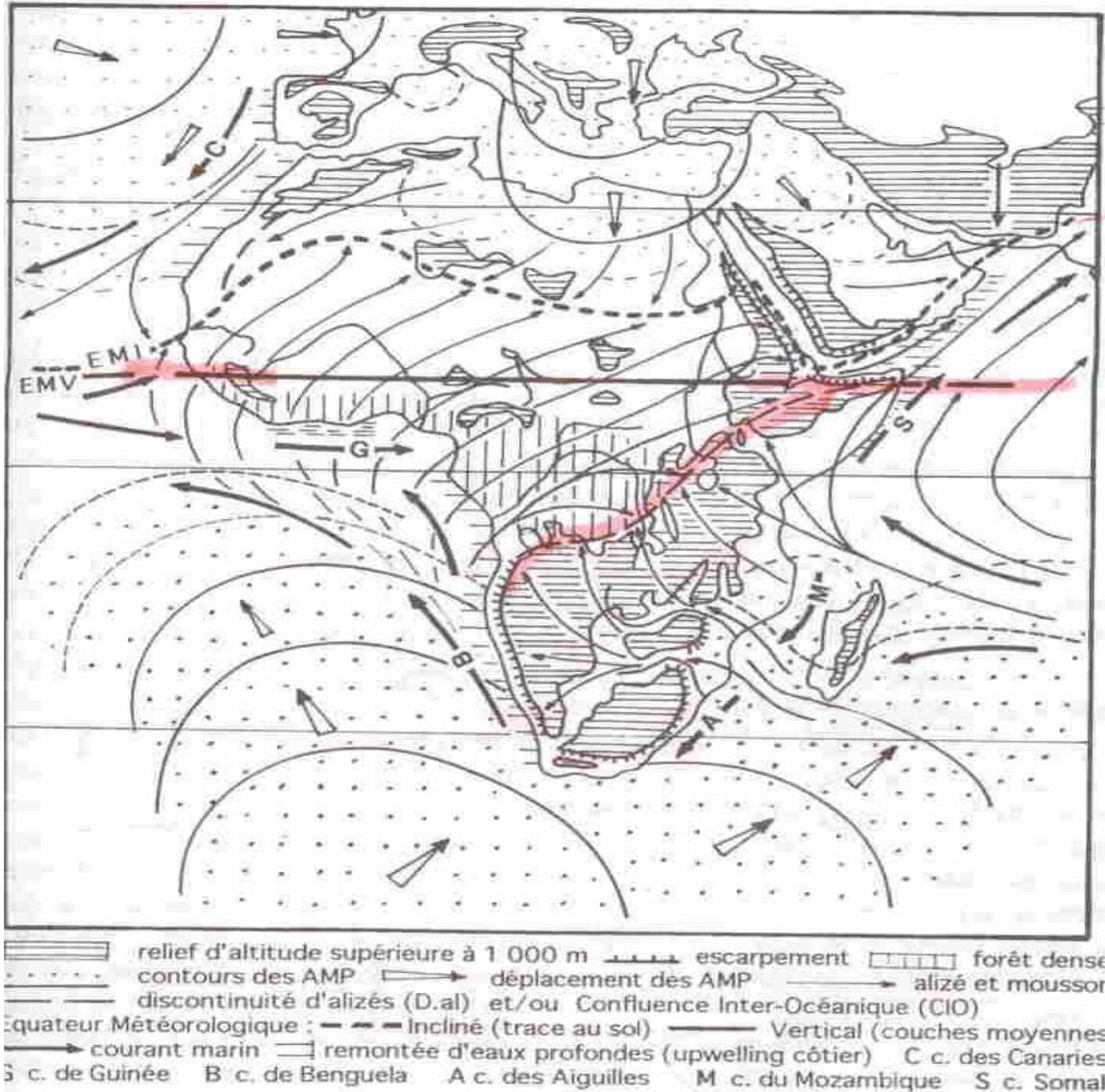
¹⁴¹ Ce balayage régulier est sans doute le plus efficace transfert de chaleur que l'on puisse concevoir sur une sphère en rotation: un transfert direct du pôle à l'équateur d'air froid en surface et d'air chaud en altitude ne semble pas possible, la cheminée convective de l'équateur restituant en altitude de l'air sec qui, disent les manuels, arriverait aux Tropiques avec un mouvement zonal de 500 km/h.

¹⁴² La distance entre zone froide et zone tropicale est diminuée (par exemple inlandsis à 45°N), le contraste thermique plus fort, les AMP et les pressions sous les AAc plus fortes, les AAc plus proches de l'équateur; les vents violents provoquent les dépôts de lœss et la formation de dunes, les pluies de mousson en Afrique et Amérique du sud sont limitées à une bande étroite autour de l'équateur géographique. La topographie des montagnes de glace ou inlandsis modifie considérablement les trajectoires des AMP et leur modification peut expliquer certains phénomènes comme le refroidissement du Dryas récent.

(20°S, 59°4'E). (Visibles sur la figure 3-C des précipitations en moyenne annuelle). Ce sont des positions moyennes; la position réelle peut parfois être fort différente.

La figure C-2 (Afrique en été boréal) montre les positions des AMP toutes les 24 heures; les AMP antarctiques (rotation en sens trigonométrique direct) sont divisés par le relief du Cap: une partie va vers "Sainte Héléne" et une autre vers les "Mascareignes", AAc d'où sortent les alizés; sont représentés aussi un AMP "atlantique" arrivant aux Açores et un AMP "russe" sur la Méditerranée orientale. Entre les agglutinations anticycloniques (AAc) des hémisphères nord et sud soufflent les alizés qui convergent en latitude sur une ligne dite de "convergence intertropicale" ou équateur météorologique vertical (EMV).

Figure C-2) Afrique juillet-août: position de l'équateur météorologique incliné EMI et de l'équateur météorologique vertical EMV (Guinée à Somalie), de la mousson et exemples d'AMP (figure 19 page 77 de Leroux 2004).



Comme ces AAc ne sont pas en regard, la ligne de convergence est décalée vers le sud ou le nord de l'équateur géographique plus ou moins fortement selon la saison; par exemple 8°N ("en moyenne") à l'est du Pacifique et en réalité entre 15°N fin août¹⁴³ et 2°S en février mais bien plus au sud (10°S) lors d'un hiver boréal à El Niño.

L'hiver la différence de température entre zone tropicale et régions polaires est bien plus considérable qu'en été; les AMP de l'hémisphère en hiver sont plus forts (plus froids, et de plus forte pression): l'agglutination anticyclonique subtropicale de l'hémisphère en hiver se déplace vers le tropique; l'équateur météorologique vertical (EMV) ou "cheminée équatoriale" suit le soleil et passe dans l'hémisphère en été, par exemple à 10°N (hiver austral, été boréal); l'alizé venant de l'hémisphère en hiver (ici l'austral) pénètre dans l'hémisphère (ici boréal) en été, change de direction avec, au passage de l'équateur, le changement du signe de $2 \rho \Omega v \sin L$, (Ω rotation terrestre, L latitude, v vitesse du flux) et va jusqu'à l'équateur météorologique incliné (EMI) qui sur les continents marque la limite de la mousson.

Entre EMV et EMI il y a toute la vapeur d'eau précipitable apportée par la mousson dans les basses couches, mais qui ne tombe en pluie que lorsque peuvent se développer des nuages convectifs: comme les alizés de l'hémisphère en été

¹⁴³ Leroux *Global Warming - Myth or Reality? The Erring Ways of Climatology* Springer 2005, pp 374-375, figure 121 et figure 123 p.381

1 alimentés par les AMP qui traversent l'Europe orientale sont de sens opposé aux alizés venant de l'autre hémisphère
 2 qu'ils surmontent, il y a une inversion d'alizés entre EMV et EMI. Les pluies ne se produisent que sous la forme de lignes
 3 de grains (précédée par une dépression mobile de l'ordre de 2 à 3 hPa), phénomènes convectifs se déplaçant d'est en
 4 ouest, entre EMI et EMV plus ou moins perpendiculairement au vent de la mousson dans les basses couches; les lignes
 5 de grains sont impulsées par un "choc" apporté par un AMP un peu plus fort sur l'AAc de l'hémisphère en été.

6 Noter la limite de la "confluence interocéanique" entre la Somalie et le sud du Congo, entre apports de l'océan indien et
 7 apports de l'océan atlantique, à la lisière de la forêt équatoriale.

8 La position de l'EMV entre 10°S et 10°N dépend de la longitude et de la saison¹⁴⁴.

9 A l'est de l'Afrique la mousson indienne va jusqu'à l'Himalaya sans opposition, puisque la haute pression sibérienne est
 10 au nord masquée par l'Himalaya.

11 Les courants océaniques sont impulsés par la direction des vents.

12 Les reliefs à plus de 1500 m sont réputés infranchissables par les AMP, au moins en été.

13 En hiver boréal, l'EMV passe dans l'hémisphère sud (sauf sur certaines longitudes du Pacifique). Le sens de la mousson
 14 s'inverse avec les moussons à Madagascar, à Darwin (Australie), en Amazonie; le sens du courant somalien s'inverse etc.

16 C-4) La circulation de Hadley^{145, 146}

18 Les énormes nuages convectifs de l'EMV reçoivent leur vapeur d'eau des alizés et de l'évaporation locale, et la
 19 précipitent; l'air qui a perdu une partie de sa vapeur d'eau redescend en "downdrafts" entre les "tours" convectives et
 20 aussi plus loin vers les jets d'est et vers le dessus des agglutinations anticycloniques subtropicales: il ne saurait atteindre
 21 le sol car cet air relativement sec se réchauffe fortement en descendant et arrive au dessus des AAc et des alizés de la
 22 couche inférieure faites d'air "polaire" (apporté par les AMP) plus froid et humide. Ces alizés de la couche supérieure
 23 finissent après traversée de l'océan, par se mélanger avec les alizés de la couche inférieure.

24 La cheminée équatoriale transforme la chaleur sensible et latente que lui apporte la confluence des alizés en énergie
 25 potentielle gravitationnelle: une partie des volumes d'air apportés dans les basses couches ressort à une altitude de 15 km
 26 à 18 km.

27 Les structures convectives autour de l'EMV et autour des AMP (front froid à l'avant et chaud à l'arrière) et des
 28 dépressions des moyennes latitudes voient une partie de l'air retourner vers la surface dans les downdrafts à l'avant ou à
 29 l'arrière de la zone convective, et une autre être emportée par les vents en altitude dans "l'enclume" qui précède la zone
 30 convective et figurent sur la carte des géopotentiels à 300 hPa. Les manuels ne détaillent guère les routes de retour de
 31 l'air vers la surface entre les AAc et les pôles.¹⁴⁷

32 Dans les régions polaires l'air de l'AMP naissant en surface vient des couches supérieures du vortex cyclonique
 33 permanent au dessus de quelques km (Voir discussion et illustrations animées sur
 34 <http://wattsupwiththat.com/2011/10/29/new-wuwt-polar-vortex-reference-page/>).

36 C-5) Quelques vues de satellite

38 Les observations de M. Leroux partent souvent des images visible et infrarouge de satellites géostationnaires, disponibles
 39 depuis les années 1980, avec un suivi dans le temps (toutes les six ou douze heures) et l'espace des formes
 40 caractéristiques des anticyclones et des dépressions. La détection du centre de ces formations et de son mouvement sur
 41 des résultats de réanalyse (NCEP-NCAR ou ERA 4 ou autres) a été automatisée par A Gershunov. La poursuite
 42 automatique en visuel et infrarouge des structures nuageuses des AMP reste à finaliser.

43 Sur les figures suivantes, les rayonnements solaire rétrodiffusé et infrarouge thermique émis sont compilés sur les images
 44 fabriquées à partir des données des instruments CERES du récent satellite Suomi NPP¹⁴⁸ en orbite polaire. La première
 45 vue (hiver 2011-2012) montre le solaire rétrodiffusé, à midi (maximum de 1063 W/m²).

¹⁴⁴ Malardrel Sylvie *Fondamentaux de météorologie*, Cepadues Toulouse, 2005 709 pages excellent manuel et merveille de pédagogie, mais dont quelques idées sont des idées reçues fort contestables Voir par exemple pp. 113-117 et figures 3-30 et 3-31

¹⁴⁵ Halley vers 1686 avait tiré de l'expérience des navigateurs l'idée des alizés et de la cheminée équatoriale; Hadley (1735) supposait que l'air allait du haut de l'EMV au pôle.

¹⁴⁶ Les manuels de météo et la pratique du copier-coller par certains géographes font encore et toujours apparaître des circulations à trois cellules de Hadley, de Ferrel où de l'air "monte" vers 60°N ou 70°N et "descend" vers 30°N ou 35°N et "polaire" où l'air qui monte un peu au nord de la cellule de Ferrel redescend au pôle; les statistiques sur les mouvements verticaux de l'air qui justifient la "cellule de Ferrel" reflètent la convection sur les fronts avant et arrière des AMP mais ne la voient pas puisque la statistique fait disparaître les éléments physiques observables; la branche descendante de la cellule de Ferrel ne peut exister. La mythologie détaille aussi des cellules de Walker le long d'un parallèle ou de l'équateur où de l'air qui monte au sud de l'Inde redescendrait à l'est du Pacifique, malgré les jets d'est.

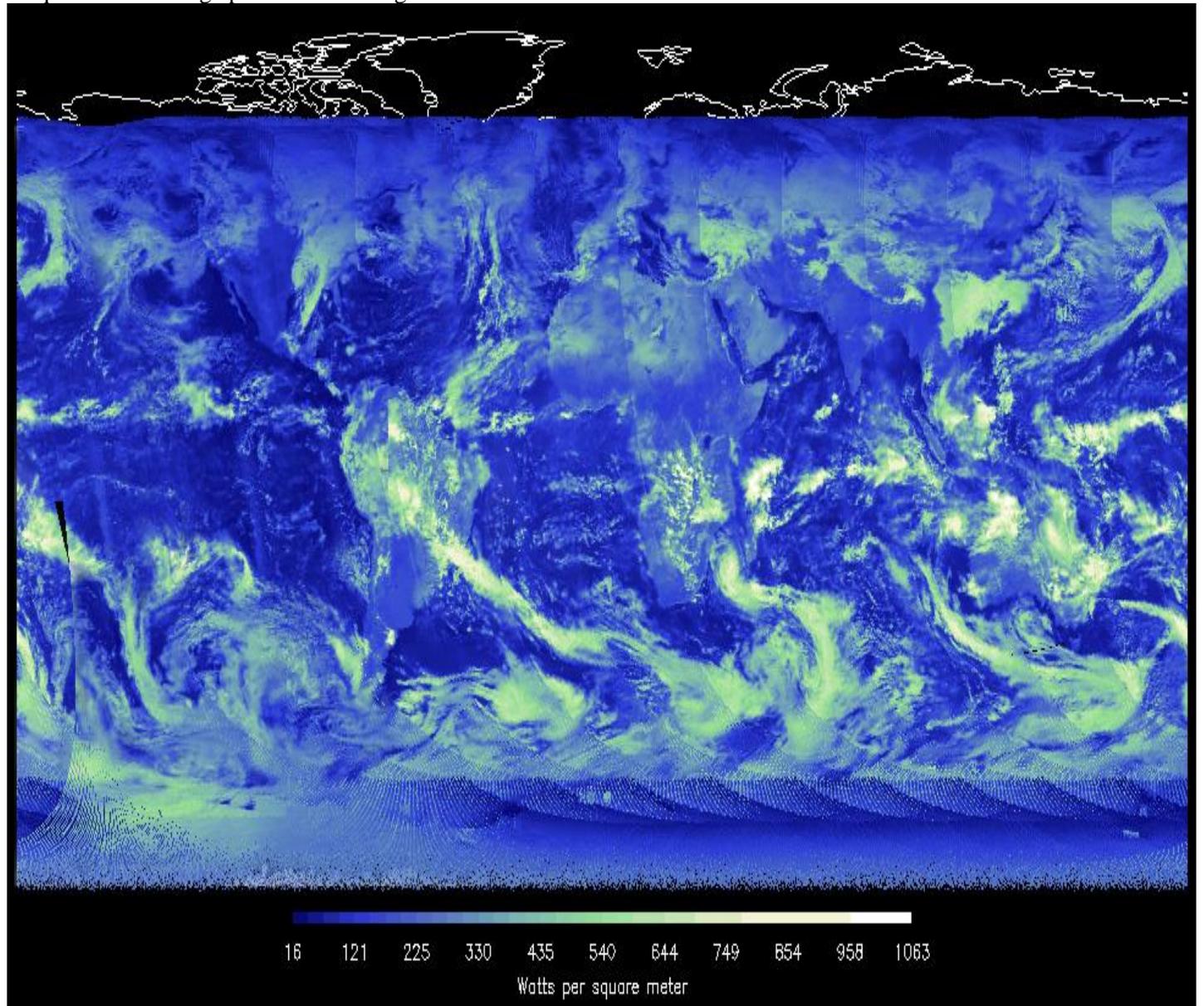
¹⁴⁷ Dans le concept à trois cellules (Hadley, Ferrel, polaire) il n'y a de retour vers la surface qu'aux pôles et au dessus des AAc.

¹⁴⁸ Suomi National Polar-orbiting Partnership, satellite lancé fin octobre 2011; le "partnership" est entre NASA, NOAA et le Department of Defense des Etats-Unis. Ce satellite est en orbite polaire à 824 km analyse au sol une largeur de 3000 km environ.

1 On reconnaît les nuages hauts de l'EMV au dessus du Pacifique, la mousson amazonienne, l'EMV entre Guyane et
 2 Guinée, les précipitations sur la forêt congolaise, l'EMV entre la mousson malgache et Sumatra, la mousson sur le nord
 3 de l'Australie. On voit aussi une partie des contours de la douzaine d'AMP en route et de leurs dépressions conjuguées,
 4 les pulsations dans l'alizé dans les AAC de l'île de Pâques et de "Sainte Hélène".

5 Figure C-3) Solaire rétrodiffusé perçu par le satellite Suomi NPP hiver boréal ; les couloirs dépressionnaires alimentant
 6 les dépressions (au nord-est dans l'hémisphère nord, au sud-est dans l'autre) sont bien visibles devant les AMP; noter les
 7 moussons amazonienne, au sud du Congo, malgache, australienne, l'EMV sur le Pacifique et l'Atlantique, le couloir des
 8 tempêtes à l'est du nord des USA, un AMP et sa dépression associée au milieu du Pacifique nord (à droite)

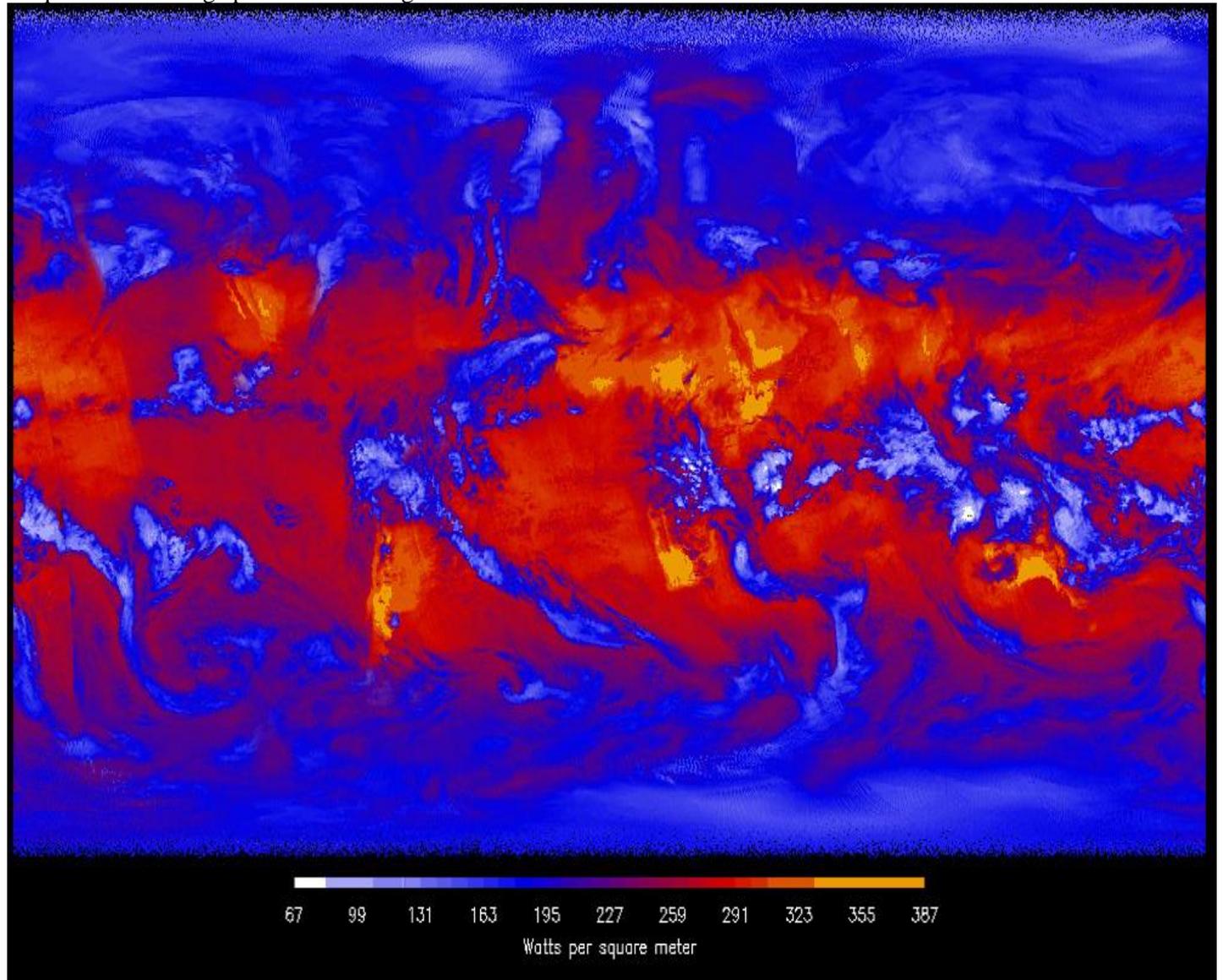
9 Cliquer dans la marge pour voir les nuages en sombre sur fond clair



12 Dans l'hémisphère sud les AMP tournent en sens antihoraire ou trigonométrique direct; les remontées d'air chaud et
 13 humide du couloir dépressionnaire devant les AMP se font avec une orientation du nord-ouest vers le sud-est; la
 14 dépression conjuguée de l'AMP est au sud-sud-est, structure symétrique par rapport à l'équateur de celle de ces mêmes
 15 météores dans l'hémisphère nord.

16
 17
 18 En infrarouge thermique (figure suivante) les nuages apparaissent bien en bleu (de 100 à 200 W/m²) en contraste avec le
 19 rouge très clair (plus de 330 W/m²) des zones désertiques sans nuages (Australie, Namibie, Paraguay, Mexique du nord-
 20 ouest, et divers points entre le Sahara et l'Asie centrale).

1 Figure C-4) Infrarouge thermique émis par les nuages (bleu en dessous de 200 W/m²) et par la vapeur d'eau et la
 2 surface (dans la fenêtre de semi-transparence de l'air) (de 240 à 300 W/m²) perçu par le satellite Suomi NPP
 3 Cliquer dans la marge pour voir les nuages en sombre sur fond clair



C-6) Mouvements des AMP

Les AMP se déplacent à disons 40 km/h (ou 1000 km/jour) vers le sud ou le sud-est et le couloir dépressionnaire qui les précède aussi.

Lorsque l'AMP est coupé par un relief ou s'intègre dans une agglutination anticyclonique, l'alimentation de la dépression conjuguée est coupée et la dépression disparaît en quelques heures.

Les AMP venant de l'Arctique passent non seulement par les trajectoires atlantiques illustrées mais encore par la Russie à l'ouest ou à l'est de l'Oural, par la Sibérie où en hiver ils se terminent dans les hautes pressions hivernales au nord du relief de l'Asie centrale, et encore à l'ouest et au sud-ouest des monts Tcherski et Verkhoïansk vers la mer d'Okhotsk entre Kamtchatka et Sakhaline, et vers la Mandchourie, et encore par le détroit de Béring sur l'est du Pacifique; le retour d'air chaud sur la face avant des AMP viendra tempérer le climat de la côte ouest de l'Amérique du Nord des Aléoutiennes (dépression statistique), de la bordure pacifique de l'Alaska, ou encore de l'Islande (autre dépression statistique) et de la côte de la Norvège et du nord de la Russie jusqu'à la mer des Laptev.

Evidemment s'il y a moins d'AMP atlantiques, il y aura plus d'AMP russes ou asiatiques: ce point ne semble pas avoir été analysé en détail.

Des AMP venant de l'ouest du Groenland pourront ou descendre sur les grandes plaines américaines ou passer vers le sud-est sur l'Atlantique, au Nord des Appalaches. Les températures extrêmes de l'état du Maine ¹⁴⁹ s'expliquent en partie

¹⁴⁹ Amplitude de 65°C en décembre (entre +24°C et -41 °C), de 71°C mars (entre +31°C et -40 °C), mais de seulement 43°C en août (entre +40°C et -3,3°C) et sur toute l'année amplitude de 85°C entre +41°C et -44°C.

A Nantes de même latitude, l'amplitude sur un mois est de l'ordre de 32°C avec entre +18°C et -13°C en janvier et entre +37°C et +4°C en juillet, et sur toute l'année l'amplitude est 50°C = +37 - (-13).

1 par le passage d'AMP très forts et froids, et par les remontées d'air chaud à l'avant des AMP le long de ce "couloir des
2 tempêtes" visible sur les "Précipitations moyennes en mm/jour" (figure 3-C) et, sur un instantané, à la figure 4-A.
3

4 En Europe de l'est, l'arc des Carpates d'altitude supérieure à 1500 m forme un quart de cercle du sud de Cracovie vers
5 (48°N, 20°E) à (45°N, 27°E) et se poursuit vers le sud-ouest par la Transylvanie (de 45°N, 27°E à 43°N, 22°E) et le
6 Rhodope (43°N à 41°N, 23°E) à l'ouest de la Bulgarie, ce qui canalise les AMP vers la mer Egée ¹⁵⁰, et contribue à une
7 AAC sur l'Egypte et l'est de la Lybie; l'alizé "saharien" chargé de poussières sortant de cette AAC passe au dessus de
8 l'alizé "atlantique" venant de l'AAC des "Açores".

9 En hiver l'anticyclone permanent en Asie centrale de 60°E à 110°E à 50°N, vient de ce que les AMP ne peuvent franchir
10 l'Himalaya; cette AAC s'étend vers l'ouest jusque sur la mer d'Aral (60°E) et la Caspienne (52°E) et bloque le mouvement
11 vers l'est des AMP et des dépressions atlantiques et des pluies.
12
13

14 C-7) Rapprochements et fusions d'AMP

15
16 La figure ci-dessous montre un AMP de position (1) au large du Portugal le premier jour, (2) le jour suivant: après
17 section par la chaîne cantabrique une partie passe au dessus de la vallée de la Garonne et peut même continuer au sud du
18 massif central; le reste traverse l'Espagne (en (2)) et arrive en Méditerranée le jour suivant (3); le flux d'air chaud et
19 humide qui le précède (en (3)) peut parfois se retrouver au dessus de la partie de l'AMP qui aurait continué au sud du
20 massif central ¹⁵¹. Le jour suivant en position (4) il alimente par son couloir dépressionnaire la dépression (statistique)
21 "ligure" du golfe de Gênes.

22 Au nord, sur l'Angleterre, un AMP atteint en (1) les côtes françaises de la Manche et un jour après finit dans l'AA au
23 nord des Alpes.

24 Figure C-5) Exemple de situation en hiver: quatre jours d'évolution; les reliefs infranchissables aux AMP d'été sont
25 marqués en noir; en hiver des AMP peuvent passer au dessus de l'Espagne (aux altitudes moindres que 1000 m)
26 (M. Leroux op. cit.)

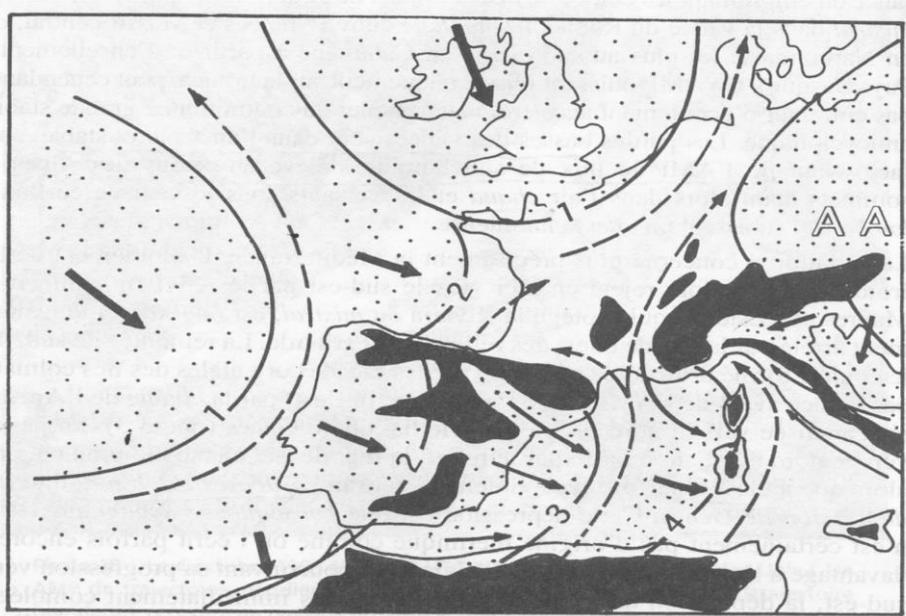


Figure 39 Dynamique du temps hivernal en France : schéma de surface.

27
28 La figure suivante montre, vignette de gauche, un exemple de situation "courante": un AMP "canadien" (1) traverse
29 l'Atlantique en quatre jours depuis le cap Farewell au sud du Groenland où il peut recevoir un supplément d'air froid des
30 vents catabatiques qui descendent de l'inlandsis; sa dépression conjuguée passe sur l'Islande, puis (jour 3) sur l'Irlande et
31 l'Ecosse; au jour (4) après scission sur la chaîne cantabrique une partie finit absorbée par l'AAC dite des Açores, une autre
32 passée au sud du massif central se retrouve au dessus du Golfe du Lion; un dernier morceau passé au nord du massif
33 central et des Alpes est, sur cette figure, rattrapé par un AMP de trajectoire scandinave scindé par le relief norvégien; la

¹⁵⁰ Et en traversant la méditerranée orientale leurs dépressions conjuguées contribuent à la dépression statistique "chypriote"

¹⁵¹ Le couloir dépressionnaire devant l'AMP qui progresse sur la Méditerranée occidentale, si il est "coincé" par un AMP venant de l'est, doit par force passer au dessus de la partie de l'AMP arrivé sur le Languedoc: le flux chaud et humide qui a traversé la Méditerranée doit alors monter au dessus de l'air froid de la fraction d'AMP passé au nord des Pyrénées: cette configuration explique des épisodes de pluies torrentielles par exemple sur Nîmes ou la plaine du Languedoc, désastres que la météo, qui ignore les AMP, peine à prévoir avant leur déclenchement et après coup attribue à l'effet orographique du Massif Central pourtant 200 km plus au nord

1 partie orientale passée au dessus de la Russie et des Balkans débouche sur la mer Egée, la partie occidentale passe sur
 2 l'Allemagne.

3 Figure C-6) Exemples de trajets d'AMP en Europe (M. Leroux la dynamique op. cit)

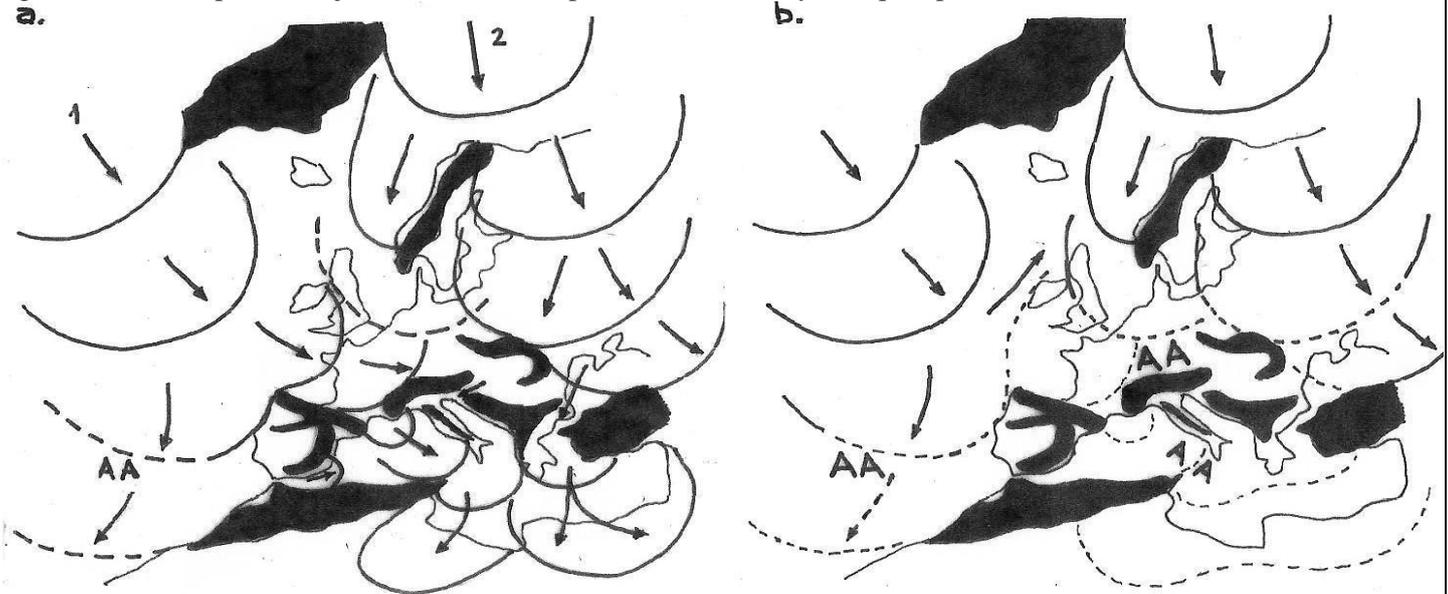


Fig : La dynamique du temps sur l'Europe occidentale.

a – situation habituelle, b – situation d'agglutination anticyclonique étendue.

L'Europe occidentale est le point de rencontre des AMP qui, après avoir quitté l'Arctique, se sont écoulés à l'ouest ou à l'est du Groenland

Trajectoires des AMP : — 1. à l'ouest du Groenland : trajectoire américano-atlantique

— 2. à l'est du Groenland : trajectoire scandinave et trajectoire russe

seule est représentée la face avant des AMP (devant laquelle remonte l'air chaud avec le potentiel précipitable du sud, et où se produit le « mauvais temps »)

AA : agglutination anticyclonique formée par l'emboîtement des AMP (= stabilité)

4 Une convergence fortuite entre deux AMP de trajectoires différentes peut conduire à une situation de blocage avec
 5 formation d'une AAC (agglutination anticyclonique) haute pression barométrique au nord des Alpes ou ailleurs sur la
 6 vignette de droite. Des auteurs ont trouvé sur 1980-2000 une anticorrélation de la croissance des glaciers scandinaves et
 7 alpins: une AA au nord des Alpes force les dépressions à aller vers la Scandinavie au lieu de continuer vers l'Europe
 8 centrale; les glaciers scandinaves grossissent, les stations alpines de sport d'hiver restent presque sans neige, mais bien
 9 ensoleillées sous la haute pression barométrique, comme dans les années 1990

10 La fusion de deux tourbillons, par exemple un AMP de trajectoire atlantique et un de trajectoire scandinave produit des
 11 AAC plus ou moins durables sur les continents, souvent synonymes de températures extrêmes et de sécheresse, les
 12 "hautes" pressions interdisant toute pénétration d'air "océanique". Pour la fameuse canicule de 2003, du 1er au 17 août
 13 2003, 12 AMP forts (1020 à 1025 hPa) sept de trajectoire américaine-atlantique et cinq de trajectoire scandinave ont été
 14 absorbés par une AAC qui a recouvert l'Europe occidentale. Un AMP plus puissant y a mis fin, qui était le 9 août au sud
 15 du Groenland, le 13 sur le Royaume-Uni, le 14 sur le Danemark et la France et le 17 s'étendait des Pyrénées à la mer
 16 noire.¹⁵²

¹⁵² Résumons quelques remarques de M. Leroux *The erring ways...* op. cit. pp. 288-289 : Des auteurs de Météo-France écrivaient dans les comptes-rendus de l'Académie des Sciences et le Journal du CNRS n°172, mai 2004 (MM. Dequé & Planton) " les climatologues **pensent** qu'une anomalie de la température de surface de l'océan enregistrée entre les mois d'avril et de juillet dans l'Atlantique nord **peut** être l'un des précurseurs de cette vague de chaleur (de 2003)... les causes de la vague de chaleur ne peuvent être réduites à cette simple anomalie ... des phénomènes **complexes mettant en jeu des interactions** entre l'océan et l'atmosphère et encore **mal compris** par les climatologues et **non prévus** par les modèles sont **probablement** en jeu ...

Comme les AMP sont inconnus des météorologues patentés, ils ne savent que dire pour "expliquer" le mécanisme de la canicule d'où cette formulation prudente ("**pensent**", "**peut**", "**probablement**", "**complexe**", "**mal compris**", "**non prévus**"); effectivement les prévisions de canicule sont données lorsque celle-ci a déjà bien commencé à se faire sentir.

L'abîme d'ignorance avoué par les chercheurs du CNRM (centre national de recherche en météorologie) n'empêche pas les directeur et président de la météorologie nationale (Météo France) d'affirmer sans aucune hésitation "*la canicule se conforme aux prévisions de modèles climatiques*" et "*les phénomènes météorologiques extrêmes que nous voyons de plus en plus souvent sont des manifestations avancées du changement climatique et des canicules pourraient être cinq fois plus fréquentes qu'elles ne le sont aujourd'hui... mais c'est plus une affaire de conviction que de certitude...*" [sic !]

Ces affirmations attribuant la canicule au CO₂ sont d'autant plus grotesques et impudentes que le président de Météo France ignore totalement le mécanisme de la canicule - ils n'en sait pas plus que ses chercheurs spécialisés - ... et ce n'est pas de la science mais de la religion comme l'exprime la dernière citation "*c'est plus une affaire de conviction que de certitude*".

1 Le rétrécissement du couloir dépressionnaire coincé entre deux AMP de trajectoires différentes, l'un venant de l'ouest,
2 l'autre de l'est ou du nord semble à l'origine de catastrophes non prévues par la météo par exemple lors de la course du
3 Fastnet (15 août 1979).

5 C-8) Compartimentation de la circulation atmosphérique

7 Comme déjà dit, il y a six zones distinctes¹⁵³, trois dans chaque hémisphère, avec des trajectoires d'AMP et de
8 dépressions propres et sans échanges significatifs entre elles, autrement que par les jets d'est ou d'ouest proches de la
9 tropopause. Entre hémisphères la limite au sol est l'EMI (défini au § C-3) et en altitude l'EMV; les alizés de l'hémisphère
10 en été surmontent la mousson en provenance de l'hémisphère en hiver. EMI et EMV sont confondus sur les océans.

12 Très grossièrement l'EMI varie entre 20°N et 20°S, l'EMV entre 10°N et 10°S, et plus allant jusqu'à l'Himalaya.
13 Les Andes et les Rocheuses séparent la zone pacifique de la zone atlantique qui alimente les précipitations jusque sur la
14 face est des Andes, sur les glaciers andins et la face est des Rocheuses.
15 L'Amérique centrale, du sud de la Sierra Madre mexicaine (15°N, 90 W) au nord de la Colombie, laisse passer des alizés
16 de l'Atlantique vers l'EMV qui reste au nord de l'équateur géographique et des Galápagos, sauf évènements "El Niño".
17 La zone de l'océan indien couvre aussi le gros de l'Afrique du Sud et de l'est (voir la position de la confluence
18 interocéanique figure C-2) et va jusqu'à l'Himalaya.
19 Au nord de 40°N, la Sibérie, de l'Oural (60°E) jusque vers 110°E voire jusqu'aux monts Verkhoïansk (128°E), n'a que
20 des débordements vers la Mandchourie et la mer d'Okhotsk.

22 C-9) El Niño

24 El Niño désignait initialement un déplacement vers le sud, à l'époque de Noël, du *contre-courant équatorial (CCE)* chaud
25 proche de l'EMV; ce courant vers le sud observé entre fin décembre et février au port péruvien de Paita (5°1'S) fait que
26 de l'eau chaude du CCE s'écoule vers le sud le long de la côte et remplace pour peu de temps le courant froid sud-nord de
27 Humboldt et l'upwelling côtier.

29 Ce mot désigne maintenant les forts décalages vers le sud de l'EMV donnant dans les provinces péruviennes de
30 Lambayeque et de Chiclayo (6°S à 8°S) des pluies torrentielles (200 mm/mois au lieu de 1 mm/mois, tableau B-8-A)
31 bienvenues pour les agriculteurs et des inondations catastrophiques pour les bâtiments et infrastructures construits sous
32 l'hypothèse d'un climat semi-désertique; pluies torrentielles aussi aux îles Galápagos (0,1°S à 1°S, 90°3W) usuellement
33 bien au sud de l'EMV.

tableau C-9-A) précipitations mensuelles en mm à Quito (2818 m, 0°13'S), Guayaquil (Equateur 2°12' S) et à Chiclayo
(Pérou, 6°47' S) 1° méridien = 111 km (tiré de Leroux, La dynamique..., p. 322)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	annuel
0,13°S	94	99	134	171	99	52	24	25	69	139	117	86	119
2,12°S	217	189	231	133	38	15				4	1	15	843
6,47°S	1	2	8	3						1	4	2	3

34 L'EMV, là, oscille entre 15°N et 20°N sauf années El Niño où des AMP "inhabituellement" forts dans l'hémisphère nord
35 en hiver (renforcement des alizés qui au sud de la Sierra Madre passent des Caraïbes au Pacifique, renforcement de l'AAc
36 dite d'Hawaï au large de la Californie) déplacent l'EMV vers le sud de quelques centaines de km (ou de quelques degrés
37 de latitude de 111 km) avec des pluies torrentielles dans le désert péruvien à 6°S voire 10°S et plus au sud.

39 En hiver boréal des AMP méridiens descendent au Golfe du Mexique dans la grande plaine du Mississippi; l'alizé venant
40 de l'Atlantique passe au dessus de l'Amérique centrale (isthme de Tehuantepec entre les états mexicains de Veracruz et
41 de Tabasco, et zone sans relief notable du sud du Guatemala à la Colombie) complétant les alizés venant de l'AAc de
42 "Hawaï". Un renforcement de la "circulation" de l'hémisphère boréal par rapport à celle de l'austral cause un El Niño.

L'apparition plus fréquente en 2003 d'AMP de trajectoire scandinave au mois d'août ne saurait venir d'un "réchauffement" de leur
région d'origine. Un autre AMP scandinave, en octobre 2003, fera de ce mois le mois d'octobre le plus froid de nombre de sites
français.

¹⁵³ Repérées comme dit au § B-3 par leurs AAc (agglutinations anticycloniques) de position "moyenne" de Hawaï, des Bermudes &
des Açores, de l'Asie centrale, de l'île de Pâques, de Sainte Hélène et enfin des Mascareignes.

1 Figure C-7) Déplacement de l'EMV lors des El Niño en hiver boréal

2 AA = agglutination anticyclonique; CCE = contre-courant équatorial; EMV équateur mobile vertical.

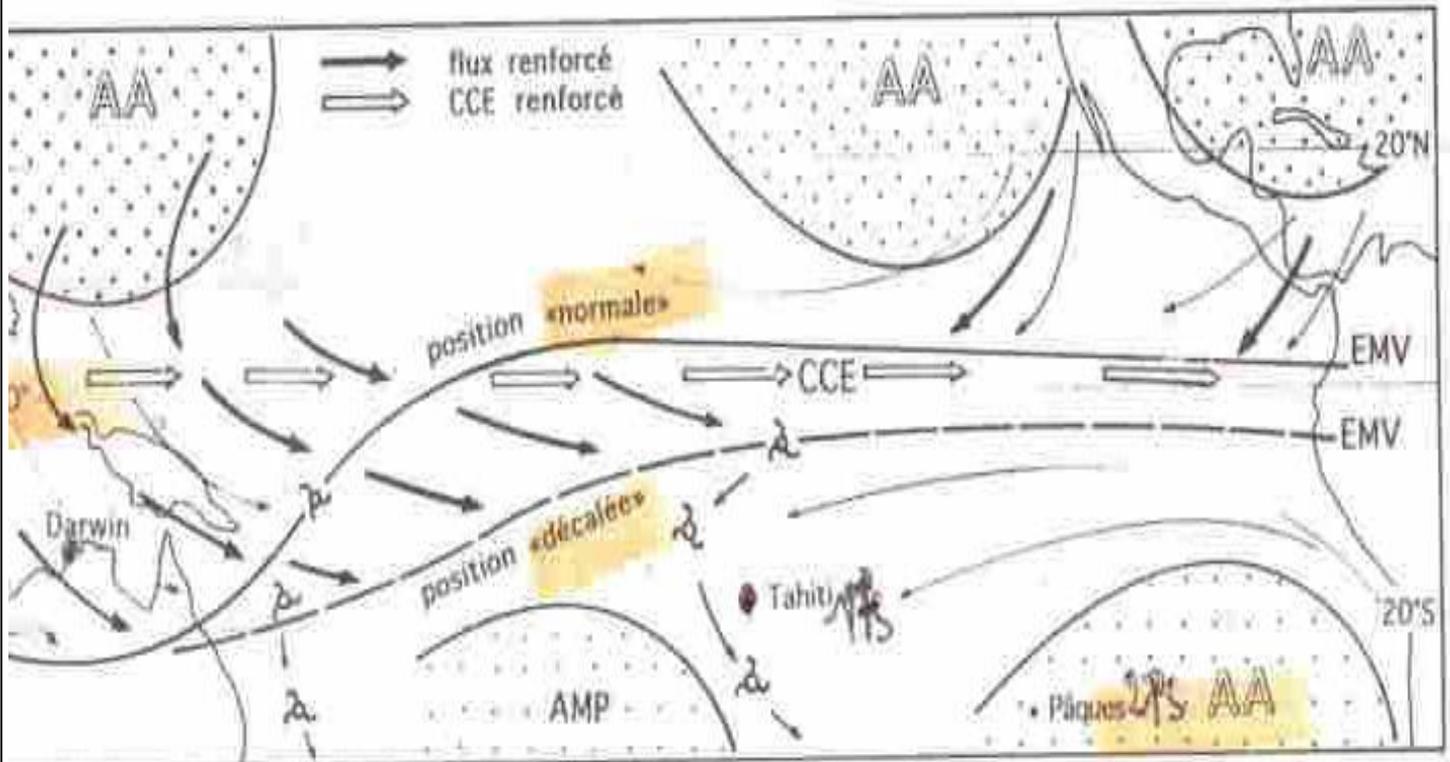
3 Les symboles à trois branches marquent des cyclones ou ouragans qui naissent à bonne distance de l'équateur

4 géographique dans les basses pressions de l'EMV et sont donc usuellement dans le seul hémisphère nord où par effet

5 Coriolis les typhons se déplacent vers le nord-est; lors des El Niño ces cyclones nés dans l'EMV à bonne distance de

6 l'équateur géographique (où l'effet Coriolis est nul) peuvent naître dans l'hémisphère sud et passer par exemple près de

7 Tahiti (17°S) (Marcel Leroux op. cit. p.)



8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

Figure 126 Les composantes aérologiques du phénomène *el niño* en hiver boréal sur le Pacifique tropical.

La différence de pression entre Darwin (12°S au nord de l'Australie) et Tahiti (17°S) sert à la confection d'un indice dit "Southern Oscillation" qui a été ensuite associé avec des indices relatifs à El Niño en un indice ENSO (*El Niño Southern Oscillation*).

La survenance d'un El Niño se voit sur la température de surface dans la zone dite Niño 3-4 (12W-17W & 5N-5S).

Un indice comparable est dans l'Atlantique Nord la différence de pression entre l'Islande et Lisbonne.

Annexe D Indications bibliographiques

à compléter

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27