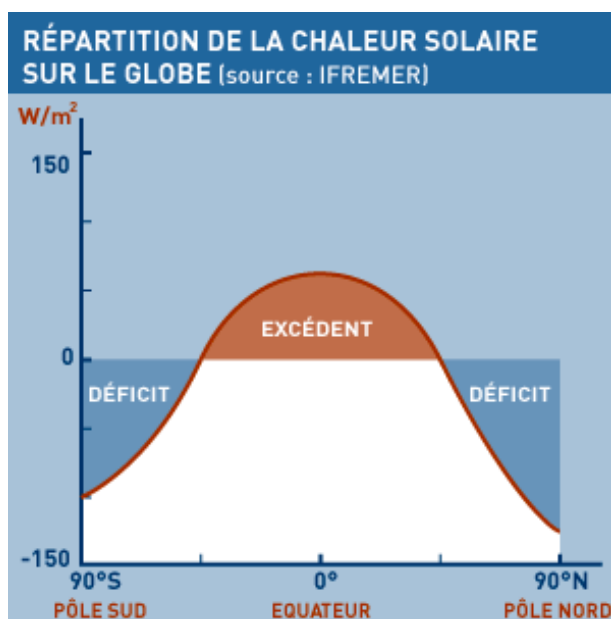


## LE SOLEIL, CHAUFFAGE DE LA TERRE

Une formidable source d'énergie réchauffe notre planète : le Soleil. Une partie des rayons qui arrivent sur la Terre est réfléchié ou absorbée par l'atmosphère. Le reste atteint le sol, qui en réfléchit et en absorbe à nouveau. Atmosphère et sol (ou océan) réchauffés, émettent à leur tour des rayonnements dits infrarouges vers l'espace. La différence entre l'énergie gagnée par la Terre et la chaleur renvoyée s'appelle le bilan radiatif (régional ou pour toute la planète).



## TROPIQUES CHAUDS, PÔLES FROIDS

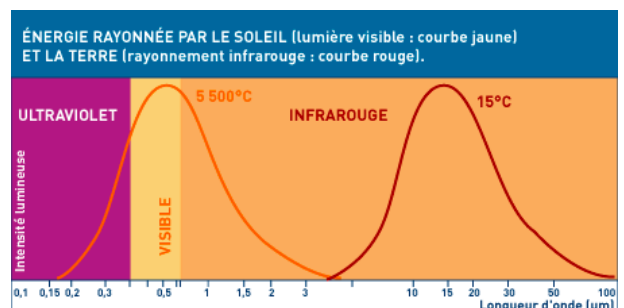
La Terre n'est pas uniformément chauffée par le Soleil : l'Equateur reçoit plus d'énergie que les pôles. En effet, la Terre est ronde et "penchée" sur son axe. Aux pôles, les rayons solaires sont donc rasants ; ils traversent une plus grande couche d'atmosphère, absorbant beaucoup d'énergie, et la "chaleur" reçue se répartit sur une surface plus grande.

## DEUX Puits DE FROID

En hiver, la nuit polaire est très longue. Sans soleil, il fait froid ; de plus, la Terre continue à renvoyer vers l'espace son propre rayonnement : elle perd donc encore de la chaleur. En été, neige et glace renvoient comme un miroir une grande partie des rayons du Soleil sans les absorber (albédo). Au total, les régions polaires perdent davantage d'énergie qu'elles n'en reçoivent.

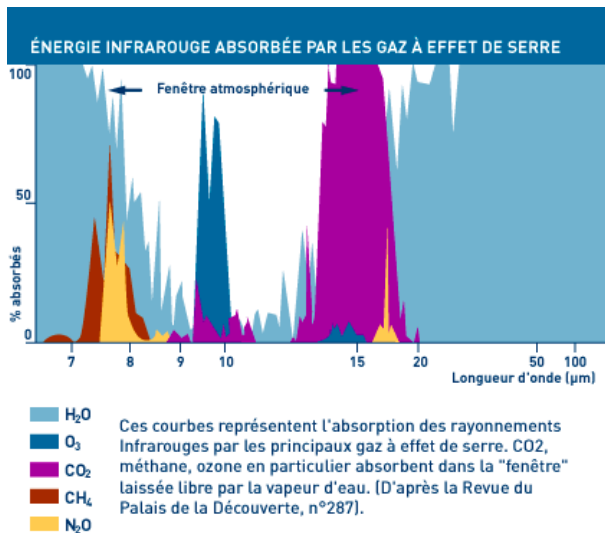
## AUTOUR DU GLOBE : DES ÉCHANGES DE CHALEUR

Les pôles devraient devenir de plus en plus froids et les zones tropicales plus chaudes ; mais cet excès de chaleur tropicale est absorbé par l'océan et l'atmosphère, qui le transportent vers les régions froides. Ainsi s'établit un équilibre global. Cependant, à l'échelle planétaire, si le bilan radiatif devient positif, la Terre se réchauffe ; s'il est négatif, elle se refroidit.



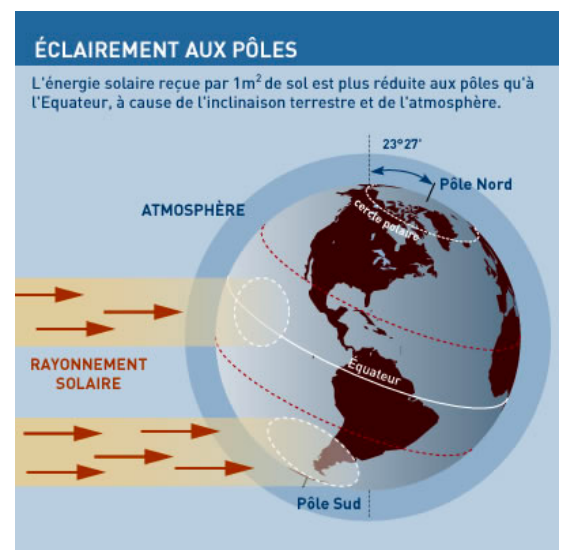
## VISIBLE OU INFRAROUGE ? À CHACUN SON RAYONNEMENT

Le Soleil émet essentiellement des ondes électromagnétiques de longueurs d'onde courtes (<4µm), dont la lumière visible. Une partie de cette énergie est réémise par la Terre sous forme d'ondes électromagnétiques de grandes longueurs (>4µm) : c'est-à-dire dans l'infrarouge dit thermique ; car la Terre, comme tout corps "chaud", se comporte comme un radiateur : elle rayonne vers l'espace. Actuellement, le flux solaire mesuré au sommet de l'atmosphère à quelques dizaines de kilomètres d'altitude, est en moyenne de 340 watts par m<sup>2</sup> (en fait, 1 368 W/m<sup>2</sup> sur une surface qui serait partout perpendiculaire au flux lumineux : mais la Terre est une sphère...). Sol et atmosphère réfléchissent en moyenne 30% du flux solaire. Le reste, environ 240 watts par m<sup>2</sup> absorbés et transformés en chaleur, est utilisé pour maintenir la température, mettre en mouvement l'atmosphère et l'océan, évaporer l'eau, etc., alimentant ainsi la "machine thermique" que constitue la planète et réglant les climats. Un flux à peu près équivalent aux 240 watts par m<sup>2</sup> apporté par le Soleil est réémis vers l'espace.



## HIVER ET ÉTÉ POLAIRES

Aux hautes latitudes, en hiver, il n'y a pas de rayonnement solaire : la nuit dure 6 mois au pôle, 4 mois à 80° de latitude et 2 mois à 70°. Il fait donc très froid, car il y a non seulement très peu d'apport calorifique, mais en plus, l'émission de rayonnement infrarouge "thermique" persiste (bien que neige et banquise forment un manteau isolant, qui limite cette perte). En été au contraire, l'ensoleillement 24 h sur 24 est très favorable au réchauffement : pendant 2 mois environ, aux alentours du solstice, le nombre de calories par m<sup>2</sup> reçu par jour est plus important aux pôles qu'à la latitude de 40° ! L'effet est renforcé par d'autres facteurs (orientation, etc.), de sorte que, parfois, les températures sont relativement hautes pendant une petite partie de l'année. Cependant, le soleil demeure bas (moins de 150 watts/m<sup>2</sup> au sol), et neige et glace renvoient jusqu'à 80% de la radiation solaire (albédo) : l'énergie réfléchie par la Terre vers l'espace est donc toujours très importante aux pôles, même en été. De ce fait, les calottes glaciaires restent en place et la fonte de la banquise est tardive.



## L'ÉNERGIE RÉFLÉCHIE PAR LA TERRE (ALBÉDO)

Neige fraîche froide	jusqu'à 90 à 98%
Neige fondante	50 à 60%
Neige fondue, sale	40%
Glacier	50%
Océan	5 à 15%
Glaces de mer	50 à 85%
Désert de sable	jusqu'à 35%
Roches nues	20 à 25%

## EFFET DE SERRE ET BILAN RADIATIF

Si l'atmosphère était totalement transparente au rayonnement infrarouge émis par la Terre, il ferait beaucoup plus froid (en moyenne  $-18^{\circ}\text{C}$ ) ; mais l'atmosphère (gaz, vapeur d'eau) absorbe une partie de ce rayonnement et renvoie à son tour un rayonnement infrarouge vers la Terre, qui conserve ainsi une température moyenne de  $+15^{\circ}\text{C}$  : c'est l'effet de serre. La température à la surface due à ce phénomène correspond à un flux thermique IR ascendant de quelque  $390\text{ W/m}^2$  ;  $240$  seront perdus vers l'espace, l'atmosphère en retenant  $150$  (effet de serre) ; à cela, se rajoutent dans l'atmosphère  $100\text{ W/m}^2$  d'énergie non radiative "remontant" du sol (convection...) et  $80$ , absorbés directement sur les  $240$  d'énergie solaire incidente. C'est donc en fin de compte  $330\text{ W/m}^2$  qui se trouvent "pris" dans l'atmosphère et rayonnent vers le sol (flux thermique IR descendant). Toute augmentation de l'effet de serre tend à augmenter ce bilan, en diminuant l'énergie émise.

## DES SATELLITES AU CHEVET DE LA TERRE

Le climat est la conséquence du bilan radiatif planétaire. Connaître ce bilan avec le maximum de précision est un enjeu essentiel pour surveiller l'évolution des climats. Les satellites mesurent le bilan radiatif au sommet de l'atmosphère, en watts par mètre carré. Lorsque le bilan global est nul, la Terre reste en équilibre thermique. Si ce bilan devient positif, la Terre se réchauffe ; s'il est négatif, elle se refroidit. Toutes les dernières mesures semblent indiquer un bilan positif.



### LE COIN DES PHYSICIENS

Tout corps émet une énergie thermique  $W$  (en joules) équivalente à celle d'un "corps noir", uniquement fonction de sa température absolue  $T$  (en Kelvin) selon la loi  $W = sT^4$ , où  $s$  est un coefficient constant (loi de Stephan). Ainsi en est-il du Soleil, mais aussi de la Terre, de l'océan, de la glace, etc.



### LE SAVIEZ-VOUS ?

Notre planète n'intercepte qu'une toute petite partie (un milliardième) de l'énergie émise par le Soleil. Ce qui correspond tout de même à  $10\,000$  fois plus de puissance ( $175$  millions de mégawatts) que celle consommée par l'humanité ! Le flux géothermique issu de la chaleur interne de notre globe est, quant à lui,  $4\,000$  fois inférieur ( $0,09\text{ W/m}^2$ ).

La glace de mer est capable de stopper presque totalement les échanges entre l'océan et l'atmosphère. On parle de couvercle thermique. L'étanchéité de ce couvercle dépend de sa distribution et de son épaisseur. Elle présente cependant une certaine transparence vis-à-vis du rayonnement solaire qui rend possible la pénétration partielle de la lumière visible dans l'océan et le développement d'organismes marins sous la glace.

