

A partir de : CNRS Sagascience, le climat de la Terre <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/>

La température de la Terre à une moyenne de 15°C (soit 288 K, degré Kelvin).

Quels sont les facteurs qui permettent les conditions d'une telle température ?

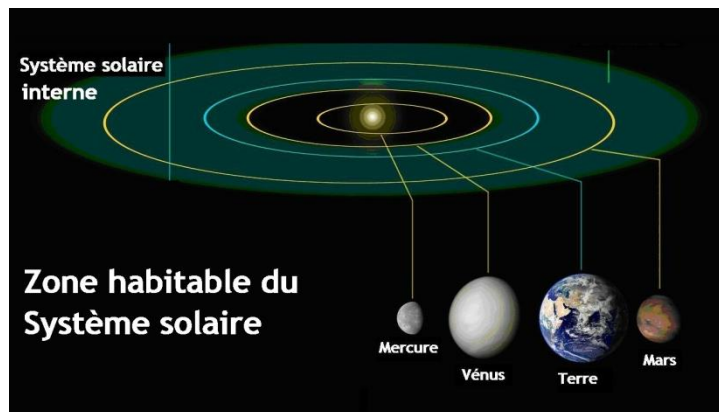
Le climat de la Terre résulte de **3 facteurs** :

- De l'**énergie solaire** apportée sous forme de rayonnement électromagnétique,
- de l'**effet de serre** de l'atmosphère
- et de **la circulation des masses d'air atmosphérique et des masses d'eau océanique**.

### La Terre dans le système solaire

La rotation terrestre fait que le rayonnement solaire n'est pas réparti de façon équitable à la surface de la Terre. En effet celui-ci sera différent si on se place à l'équateur ou à l'un des pôles.

Il y a 8 planètes qui tournent autour du soleil et la Terre est la seule pouvant abriter de la vie et de l'eau par le fait qu'elle se trouve à la bonne distance Terre-Soleil ( 150 000 000 km ). Elle n'est pas trop près du soleil ,comme Vénus , ni trop éloigné comme Mars qui ne peuvent abriter de la vie par le fait que leurs température vont d'un extrême à l'autre ( trop froid et trop chaud ).

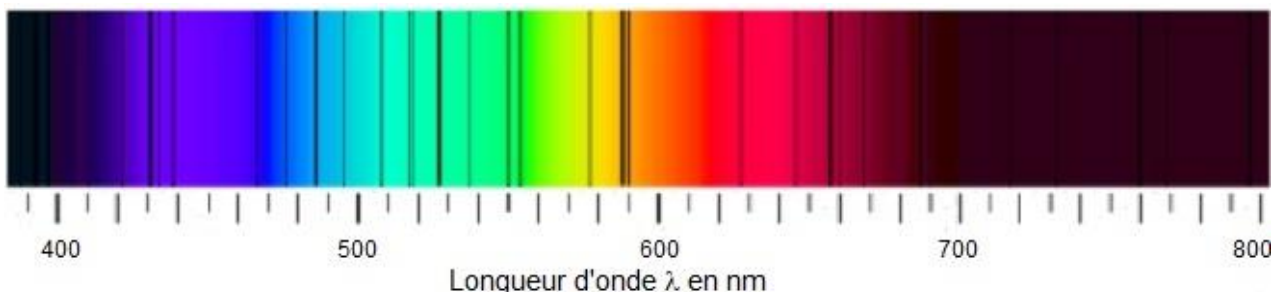


zone habitable de notre système solaire

**Le soleil** à donc un rôle très important dans la température de la Terre.

La température à sa surface est de 6000°C mais bien plus chaud en son cœur. Cette température est due aux réactions thermonucléaires de fusion de l'hydrogène.

On peut connaître la température d'un corps chaud grâce à son spectre, et plus précisément grâce à son profil spectral.



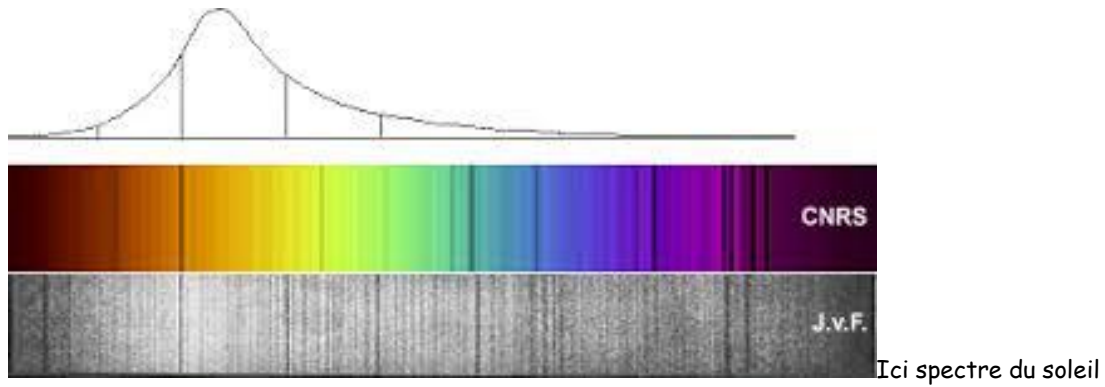
Vers 400nm nous avons les UV et vers 800nm, les infrarouges.

Mais d'autres ondes que celle-ci ainsi que la lumière existe. En effet il y a d'autres types d'ondes électromagnétiques tel que les rayons X , les rayons gammas , les micro-ondes et les ondes radios .

L'œil humain n'est capable que de voir un objet entre 400 et 800nm.

On peut mettre en relation  $\lambda_{\max}(m)$  et la température  $T(K)$  pour obtenir une constante, c'est la **Loi de Wien** qui nous permettra d'obtenir  $\lambda_{\max}$  d'un objet de température  $T$  :  $T \cdot \lambda_{\max} = \text{constante} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ .

Si  $T$  est grande alors  $\lambda_{\max}$  est petite (le corps chaud est bleu) et si  $T$  est petit alors  $\lambda_{\max}$  est grand (rouge).



Ici,  $\lambda_{\max}$  pour le soleil est d'environ 500nm, c'est pourquoi il est jaune.

On va ensuite pouvoir calculer  $\lambda_{\max}$  de la Terre.

La température moyenne de la Terre est de 15°C donc 288 K environ.

$$\lambda_{\max} = \frac{\text{constante}}{T} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{288} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 1,0 \cdot 10^4 \text{ nm soit } 10\,000 \text{ nm}$$

Ainsi, on constate que le rayonnement électromagnétique émis par notre planète Terre se trouve dans le domaine des infrarouges.

### L'énergie solaire reçue par la Terre

Nous pouvons aussi calculer la puissance fournie par le soleil avec la **loi de Stefan**:

La **loi de Stefan** sert à calculer le flux surfacique exprimé en watt par m<sup>2</sup>.

Cette loi s'exprime par la relation suivante :  $\varphi \text{ (W/m}^2\text{)} = \sigma \cdot T^4$  La constante de Stefan est  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ uSI}$

La loi de Stefan permet de calculer l'énergie rayonnée par un corps chaud à sa surface.

Pour le soleil :

$$P = \varphi \times \text{surface sphère du soleil} \quad S_{\text{soleil}} = 4\pi \cdot R_s^2$$

$$P(w) = \sigma \cdot T^4 \cdot 4\pi \cdot R_s^2$$

Pour le Soleil, la température de surface est  $T = 5780\text{K}$  (environ 6000°C),

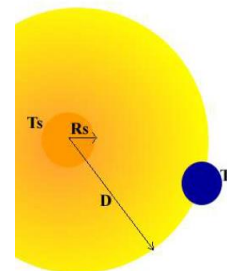
On en déduit  $P_{\text{Soleil rayonnée}} = \varphi S = \sigma T^4 \times 4\pi R_s^2 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times 5780^4 \times 4\pi \times (696 \cdot 10^6)^2 = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Cette puissance (ou énergie par seconde) est due aux réactions thermonucléaires de fusion qui ont lieu au cœur du Soleil.

La puissance rayonnée par le Soleil se répartit sur une sphère, centrée sur le Soleil.

Au niveau de l'orbite terrestre, soit à la distance Terre-Soleil  $d = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$ , la puissance par unité de surface incidente est :

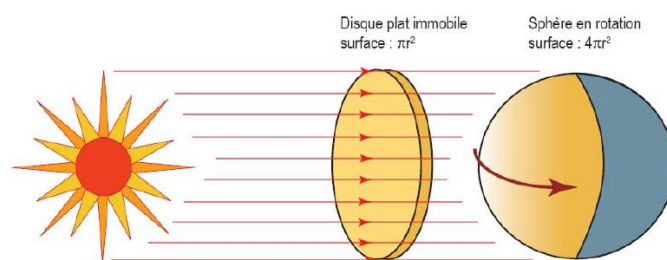
$$\varphi_0 = P_{\text{Soleil}} / 4\pi d^2 = \frac{3,85 \cdot 10^{26}}{4\pi \times (150 \cdot 10^9)^2} = 1,36 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



En considérant que les rayons lumineux provenant du Soleil sont parallèles entre eux, ils éclairent une section de surface égale à  $\pi R_T^2$ ; ainsi la puissance du rayonnement solaire incident éclairant la sphère terrestre est

$$\varphi_S = \varphi_0 \frac{\pi R_T^2}{4\pi R_T^2} = \varphi_0 / 4$$

$$\varphi_S = \frac{1,36 \cdot 10^3}{4} = 3,4 \cdot 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



L'albédo moyen  $\alpha$  de la planète Terre est de 30%, ce qui signifie que 30% du rayonnement solaire incident est réfléchi et seulement 70% de ce rayonnement parvient sur Terre. En considérant la Terre comme un corps noir en équilibre thermique, déterminer sa température  $T_{OT}$ .

On considère que le rayonnement absorbé par la Terre est égal au rayonnement émis par celle-ci. On peut donc écrire :

$$0,7 \varphi_S = \varphi_T = \sigma T_{OT}^4 \quad \Leftrightarrow T_{OT} = \sqrt[4]{\frac{0,7\varphi_S}{\sigma}} = 255 \text{ K } (-18^\circ\text{C})$$

Nos calculs ne tiennent pas compte du rôle de l'atmosphère.

En réalité, grâce à son atmosphère, la température moyenne de la Terre est égale à 288 K, soit 15°C.

### L'effet de serre réchauffe la Terre

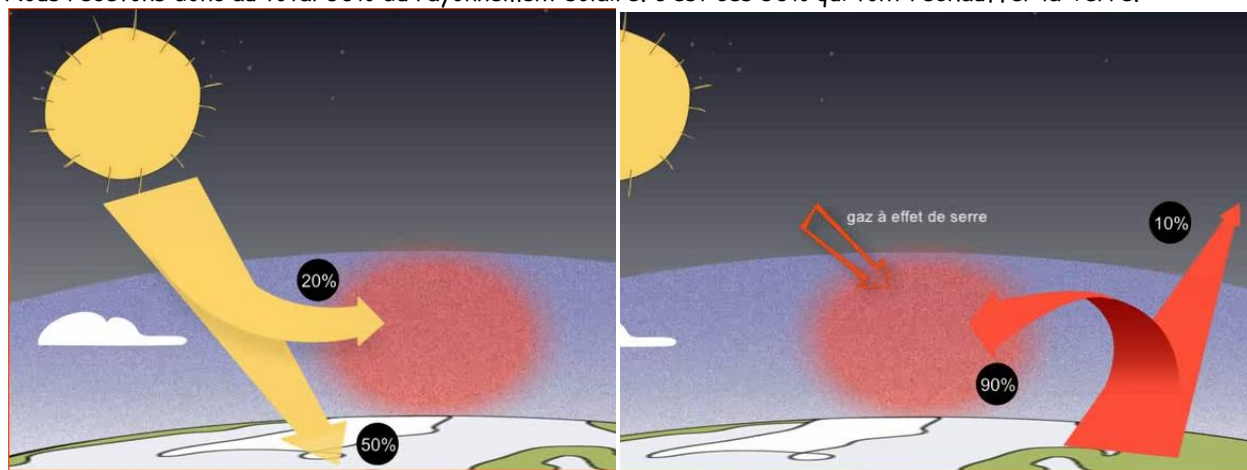
Nous allons parler maintenant de **l'effet de serre** qui est un critère important pour notre climat. En effet sans lui la température de la Terre serait d'environ -18°C, comme à la surface de la Lune.

L'atmosphère est constituée de gaz, comme la vapeur d'eau et le gaz carbonique, qui entravent l'évacuation de l'énergie solaire et permet de garder cette température clémente de 15°C.

C'est le phénomène de **l'effet de serre naturel**. 30% des rayonnements du soleil sont réfléchis par l'atmosphère, les nuages et les océans.

20% sont ensuite absorbés par l'ozone ( $O_3$ ), qui se trouve dans 2 régions atmosphériques (la stratosphère et la troposphère) et qui absorbe les UV qui sont nocifs pour l'homme.

Nous recevons donc au total 50% du rayonnement solaire. C'est ces 50% qui vont réchauffer la Terre.



Ensuite 10% vont se transformer en rayons infrarouges qui vont s'échapper dans l'espace et les 90% restant vont être absorbés naturellement par les gaz à effet de serre.

Cette énergie absorbée par les gaz à effet de serre va être envoyée sur Terre (les  $\frac{2}{3}$ ) pour de nouveau la réchauffer après une première fois par le soleil. Le  $\frac{1}{3}$  restant va être renvoyé dans l'espace.

Il y a ensuite le cycle de l'eau qui rentre en jeu pour créer les nuages ce qui va créer avec l'effet de serre des mouvements d'air froid et chaud qui vont engendrer cette température moyenne de 15°C.

Nous pouvons donc dire que l'effet de serre naturelle a des effets bénéfiques sur la vie terrestre, sans elle nous ne serions pas là.

C'est l'intensification de l'effet de serre non naturel lié aux activités humaines (Usines, transports) qui est dangereuse. En effet la combustion de carburant fossiles comme l'essence et les hydrocarbures est nocive pour la couche d'ozone. Mais fort heureusement la végétation terrestre absorbe le dioxyde de carbone.

## La répartition de l'énergie solaire sur le globe terrestre : le phénomène des saisons

En un point donné, la température moyenne mesurée à la surface de la Terre n'est pas constante tout au long de l'année : c'est le phénomène de l'alternance des saisons.

Dans les zones tempérées, l'année voit la succession de quatre saisons.

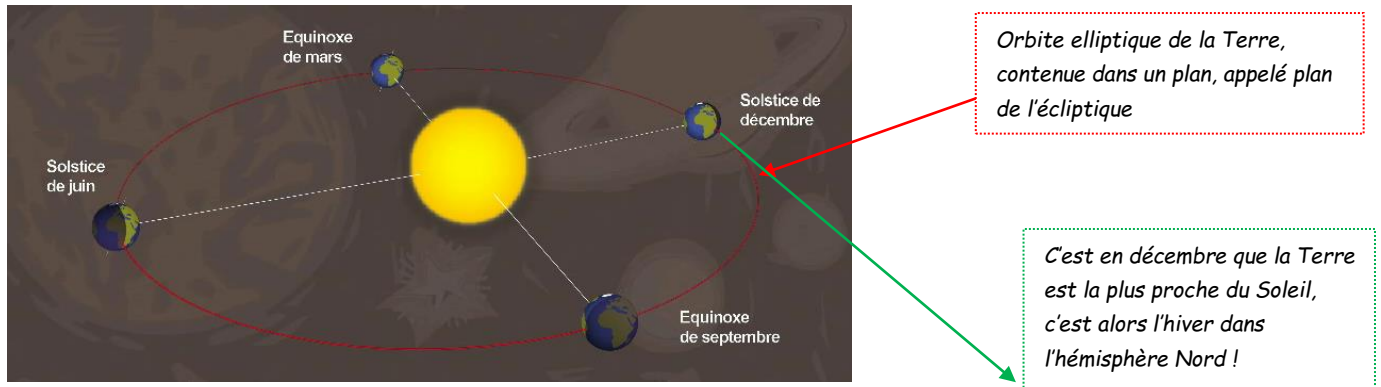
Il y a trois raisons à ce phénomène :

- la révolution de la Terre autour du Soleil,
- la rotondité de la Terre
- et l'inclinaison de l'axe de rotation journalière de la Terre, l'axe des pôles, par rapport au plan de son orbite autour du Soleil.

La Terre tourne autour du Soleil sur une orbite en forme d'ellipse (sorte de cercle aplati), contenue dans un plan, le plan de l'écliptique.

L'excentricité de cette orbite est si faible que notre planète se déplace pratiquement sur un cercle.

La Terre effectue ce tour complet autour du Soleil en une année.

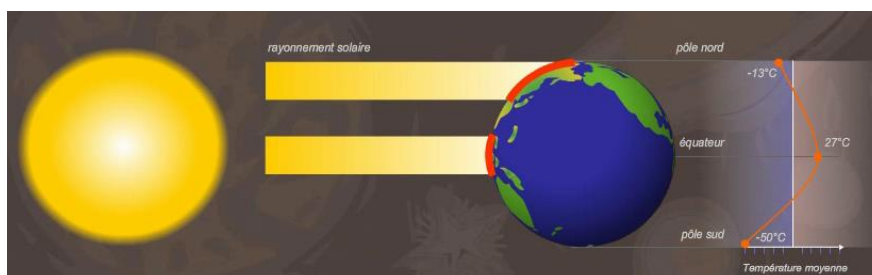


Une année connaît :

- deux équinoxes : une vers le 20 ou 21 mars, l'autre vers le 22 ou 23 septembre. A l'équinoxe les rayons du Soleil arrivent verticalement par rapport à un point de l'équateur. La durée du jour est égale à la durée de la nuit, d'où le nom équi-noxe.
- deux solstices : un vers le 20 ou 21 juin, l'autre vers le 21 ou 22 décembre.
- Au solstice, l'angle entre le plan équatorial terrestre et la direction des rayons est maximale. Dans l'hémisphère nord le solstice de juin correspond au solstice d'été, l'illumination par le Soleil y est maximale. Dans l'hémisphère sud le solstice de juin correspond au solstice d'hiver.

Compte tenu de la rotondité de la Terre, à l'équateur les rayons arrivent perpendiculairement à la surface et plus on se rapproche des pôles, plus les rayons arrivent obliquement par rapport à la surface de la Terre.

Donc, pour la même quantité d'énergie solaire arrivant au sol, la surface réchauffée sera plus petite à l'équateur qu'aux pôles. **La quantité d'énergie reçue** par unité de surface au niveau du sol sera donc **plus grande à l'équateur qu'aux pôles**.

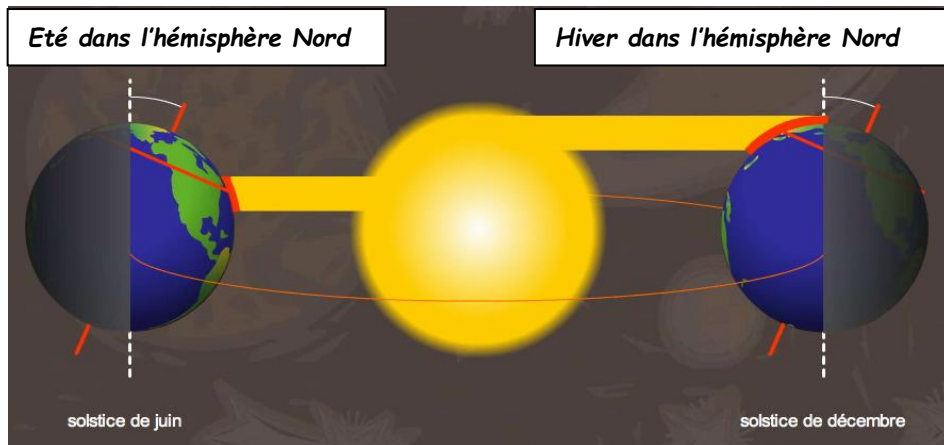


D'autre part, plus on se rapproche des pôles, plus les rayons solaires doivent parcourir une grande distance dans l'atmosphère où ils perdent de leur énergie. Au final, la quantité d'énergie reçue est par exemple deux fois plus importante à l'équateur qu'à 60° de latitude.

Mais révolution autour du Soleil et rotondité de la Terre n'expliquent pas le phénomène des saisons. Il est **dû uniquement au fait que l'axe des pôles n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique**, ou si on préfère, que le plan équatorial de la Terre et le plan de l'écliptique ne sont pas confondus. Ils forment un angle appelé obliquité, qui est de 23,5°. Si cet angle était nul, pour une même latitude, celle de Paris par exemple, on constaterait que, en décembre et en juin, la quantité d'énergie solaire reçue serait la même. Il n'y aurait donc pas de différence de température entre l'hiver et l'été.



Dans la réalité, on constate qu'en décembre les rayons du Soleil arrivent très inclinés à cette latitude. La quantité d'énergie solaire reçue est faible. C'est l'hiver. En revanche, en juin, à la même latitude, les rayons du Soleil arrivent beaucoup plus perpendiculairement. La quantité d'énergie reçue est forte. C'est l'été.

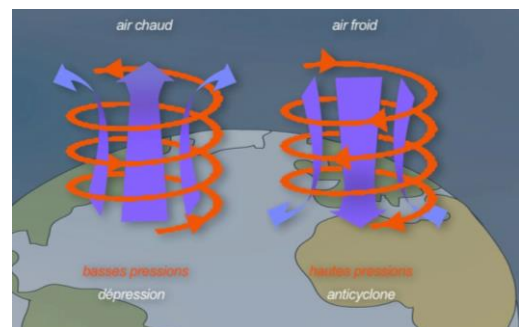


En dehors des zones tempérées, on ne retrouve pas cette alternance régulière de quatre saisons bien marquées. Entre les deux tropiques par exemple, le Soleil est toujours suffisamment proche de la perpendiculaire pour que la différence de température entre été et hiver ne soit pas très marquée. Il n'y a alors souvent que deux « saisons », au sens climatique, une saison des pluies et une saison sèche.



**La répartition de l'énergie solaire sur le globe terrestre : la circulation des masses d'air**

Le moteur principal des mouvements atmosphériques est le Soleil. Celui-ci réchauffe la surface de la Terre, qui réchauffe à son tour l'air ambiant. Au contact de la surface terrestre, les masses d'air se réchauffent et ont **tendance à monter** car **l'air chaud est moins dense que l'air froid**. Au niveau du sol, se produit alors une **dépression**, ou basse pression. Les masses d'air froid ont, elles, **tendance à descendre** et à former des **anticyclones, ou hautes pressions**, au niveau du sol. En s'élevant l'air chaud se refroidit et, lorsqu'il redescend vers le sol, il se réchauffe à nouveau.



Cette **circulation en boucle** s'organise à l'échelle de la planète en fonction du bilan d'énergie.

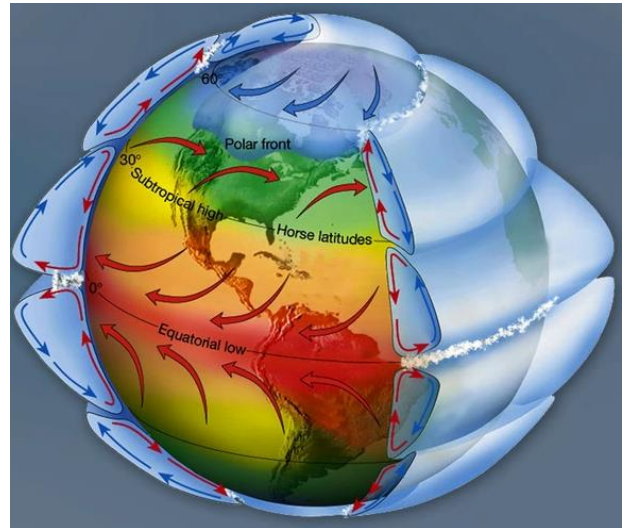
En moyenne sur le globe le bilan est nul, mais il se caractérise par une **accumulation d'énergie aux basses latitudes** et un **déficit aux pôles**.

La circulation s'organise depuis les hautes pressions polaires vers les basses pressions équatoriales au niveau du sol et le retour se fait en haute atmosphère.

Ce n'est pas une seule cellule zonale mais trois cellules qui vont s'organiser dans chaque hémisphère.

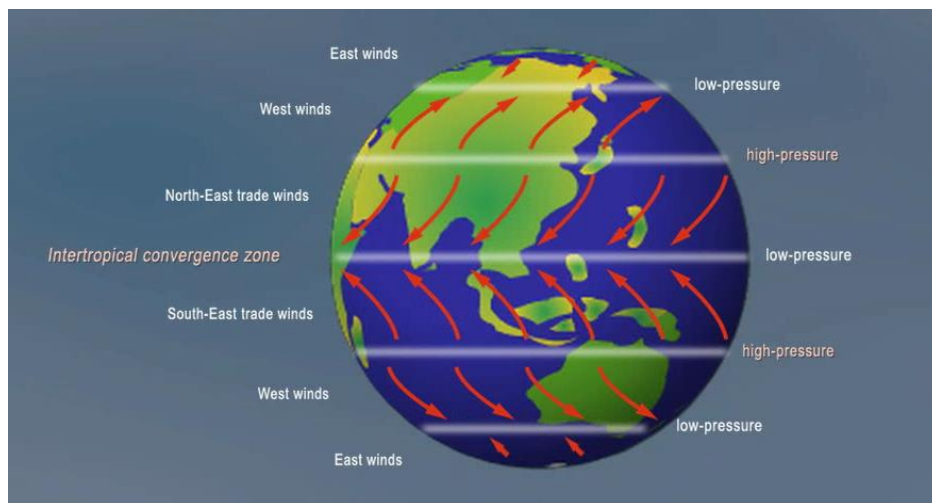
L'air chaud et humide qui monte du sol dans les régions de basses pressions équatoriales se déplace vers les pôles Nord et Sud de part et d'autre de l'équateur en se refroidissant.

Vers 30° cet air tropical rencontre l'air froid polaire, redescend en surface et revient vers l'équateur sous forme d'alizés. Cette cellule tropicale transfère la chaleur de l'équateur vers les tropiques. Entre 30 et 60° une cellule inverse se met en place, marquée par des vents du sud au nord au sol et, plus au nord, l'air froid et dense s'écoule vers les latitudes tempérées formant la troisième cellule.



En outre, la rotation terrestre affecte ce déplacement des masses d'air : **les vents soufflant des hautes pressions vers les basses pressions sont déviés sur leur droite dans l'hémisphère nord** et sur leur gauche dans l'hémisphère sud.

L'air chaud et humide qui monte du sol dans les régions de basses pressions équatoriales est dévié vers l'est lors de son déplacement vers le nord et se transforme vers 30°N en un puissant courant-jet, qui surplombe la région de rencontre au sol entre l'air tropical et l'air polaire. Cette région est caractérisée par un front thermique instable qui engendre les perturbations atmosphériques dont l'activité est très efficace pour le transfert de chaleur du sud au nord.



**Les directions principales des vents**