Castellano
Géographie
DECODING
THE WEATHER MACHINE

Table des matières

Objectifs du cours 3
Définition 3
Une machine qui s'enraye ? 4
Différents scénarios 6
Jour de dépassement (Earth Overshoot Day) 6
Empreinte écologique 7
Test : CALCULEZ VOTRE EMPREINTE ECOLOGIQUE 8
La constante solaire 11
Le bilan radiatif 12
Les effets de la latitude dans les déséquilibres énergétiques régionaux 15
Le mécanisme des saisons et son effet dans les déséquilibres énergétiques régionaux 16
Durée Jour / nuit : 17
Trajet apparent du soleil : 18
Exercices 19
Les transports compensateurs de chaleur 22
L'ATMOSPHERE 22
Quelques notions de base : 22
La circulation atmosphérique générale 26
L'OCÉAN 39
Les différents climats 40
Les climats chauds : 41
Le climat équatorial : 41
Le climat tropical humide ou sec : 42
Le climat désertique chaud : 45
Les climats tempérés 46
Le climat méditerranéen : 46
Le climat océanique : 47
Le climat continental : 47
Le climat froid : 48

Objectifs du cours

- Comprendre le changement climatique, ses causes, ainsi que les facteurs qui le contrôlent.
- Acquérir les notions de base de climatologie
- Evaluer les impacts du changement climatique sur l'environnement
- Evaluer les interrelations entre l'homme et son environnement

Les notes de cours contiennent des documents à analyser, des pistes de réflexions et des synthèses. Toutefois, elles ne contiennent pas tout et devront être complétées par des notes prises en classe.

Compétences exercées:

- Lire une représentation graphique complexe
- Analyser et corréler des graphiques, des cartes thématiques
- Établir une synthèse sous forme d'organigramme ou d'une carte
- Développer un esprit critique vis-à-vis de messages pseudo-scientifiques

Savoirs thématiques

- Influences astronomiques et naturelles sur le climat
- Notion de bilan radiatif - mécanisme de l'effet de serre
- Impacts du réchauffement et boucles de rétroaction

Définition

Le mot «climat » dérive du mot Grec « KLIMA » qui signifie «Inclinaison ». Cela fait référence au premier facteur explicatif de la géographie des climats, le rayonnement solaire et notamment son inclinaison (incidence) sur la surface terrestre.

La climatologie étudie les phénomènes atmosphériques à l'échelle d'une région, d'un pays, ou de la planète entière. Pour cela, elle utilise des relevés de température, de précipitations, de pressions (vents) sur une période d'au moins trente ans. Son échelle est différente de celle de la météorologie, qui s'intéresse à la prévision du temps à court terme et à l'échelle locale.

On fait donc une distinction entre la météorologie et la climatologie :

- La météorologie est l'étude et la prévision des phénomènes atmosphériques sur des périodes courtes et pour des espaces géographiques limités. Les informations traitées sont donc ponctuelles.
- La climatologie étudie l'état moyen de l'atmosphère, c'est-à-dire la succession des conditions météorologiques, sur une période statistiquement significative (30 ans d'après OMM[1]).

Des bases communes…des approches différentes

[1] OMM : Organisation météorologique mondiale

Nous allons évidement avoir dans ce cours une **approche spatiale** de climat : la Terre est découpée en zones climatiques en fonction des conditions météorologiques qui y règnent aux différentes saisons. Mais nous ne nous limiterons pas uniquement à cette approche spatiale, puisque nous intégrerons également **l'approche temporelle** pour essayer d'avoir une compréhension du fonctionnement du climat global et de ses changements récents.

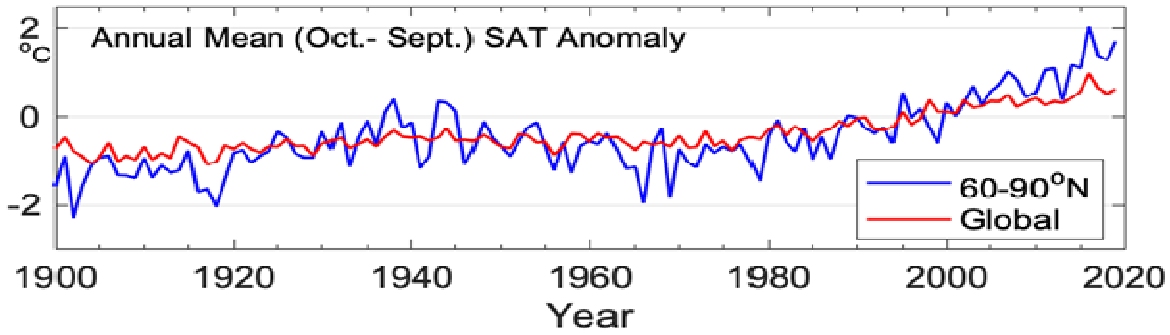
Une machine qui s'enraye ?

Que pensez-vous de l'article suivant du *06/01/2020 ?*

Arctique : la fonte des glaces de mer s'accélère[2]- L'amplification arctique

Le rapport de la NOAA[3] publié en décembre alerte sur les nombreux changements observés en 2019 en Arctique, où le réchauffement climatique est deux fois plus rapide que la moyenne mondiale.

La température à la surface des terres de l'Arctique moyennée sur la période d'octobre 2018 à septembre 2019, est la deuxième valeur la plus élevée sur cette période de 12 mois, derrière 2015-2016, avec des archives débutant en 1900. L'anomalie atteint +1,9 °C par rapport aux moyennes 1981-2010. Sur les 6 dernières années, la température moyenne sur la période octobre-septembre a dépassé chaque fois le record de la période 1900-2013.



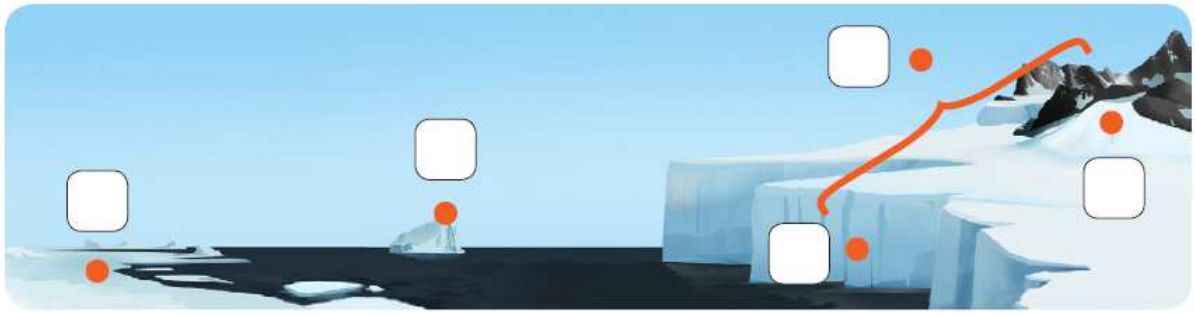
*Depuis le milieu des années 1990, la température moyenne arctique a augmenté deux fois plus vite que la température moyenne du globe. Ce phénomène s'appelle **l'amplification arctique**. Elle peut s'expliquer en partie par plusieurs mécanismes accélérant le réchauffement sur ces régions. Une d'entre elles est la réduction de **l'albédo** lié à la perte d'étendue de glace de mer et de couverture neigeuse. La glace et la neige réfléchissent en effet une grande partie du rayonnement solaire vers l'espace. En leur absence, plus d'énergie issue du rayonnement solaire est disponible pour réchauffer les mers ou les terres, amplifiant la fonte de la glace. Une autre raison est l'augmentation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère arctique, autorisant plus de **formation nuageuse**. La présence de nuages dans les premières couches de l'atmosphère, atténue certes le rayonnement solaire en journée mais limite surtout la baisse du mercure durant la nuit par rayonnement infrarouge.*

[2] http://www.meteofrance.fr/actualites/78418660-arctique-la-fonte-des-glaces-de-mer-s-accelere
[3] *National Oceanic and Atmospheric Administration, l'équivalent américain de l'IRM en Belgique.*

Relie chacun de ces mots à la définition qui lui correspond :

a. Banquise	b. Iceberg	c. Glacier	d. Ice shelf	e. Calotte = Inlandsis
1. Glace terrestre formée à partir de l'accumulation de neige sur une montagne. Cette glace forme une sorte de rivière qui s'écoule vers le bas.	2. Glace formée à partir de l'eau de mer qui gèle.	3. Partie d'un glacier qui s'écoule sur l'océan et qui flotte sur l'eau.	4. Morceau de glace qui s'est détaché de la calotte et flotte seul sur l'océan.	5. Immense étendue de glace formée à partir de l'accumulation de neige sur un pays ou un continent. On y trouve des glaciers et des ice shelf sur les côtes.

Sur le dessin, écris dans chaque encadré la lettre qui correspond à ce type de glace (voir exercice précédent).



Réponses :
a2 / b4 / c1 / d3 / e5

Comprendre le climat, c'est comprendre le monde dans lequel on se trouve, et la manière dont il évolue et est influencé. Aujourd'hui il est presque inconcevable de remettre en doute la responsabilité humaine dans les dérèglements climatiques récents. On parle alors de changements climatiques d'origine anthropique.

Nous insisterons bien dans ce cours sur les termes « changement », « dérèglement », et non « réchauffement », car même s'il est vrai au niveau global, celui-ci peut se traduire de manières très différentes au niveau régional. C'est le cas par exemple dans nos régions, où on craint, avec le changement de la salinité des océans, la perturbation du **gulfstream** : ce courant marin chaud qui vient réchauffer nos côtes nord-ouest européennes en hiver.

Différents scénarios

Voici quelques scénarios pour le futur selon les différents points de vue et les actions politiques que l'on décide de prendre ou pas :

Changement climatique /Actions	OUI	NON
FAUX		
VRAI		

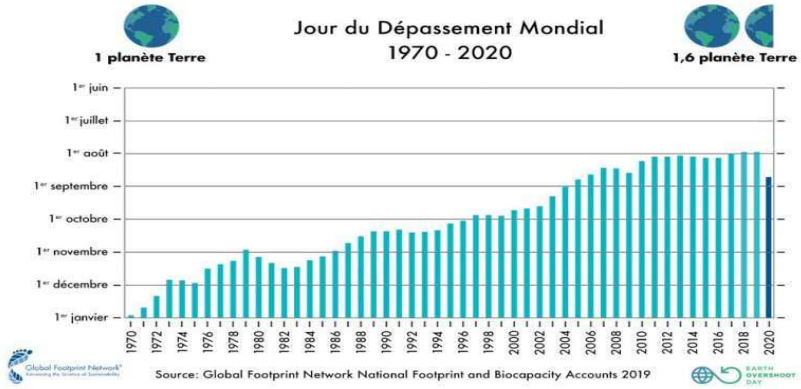
Jour de dépassement (Earth Overshoot Day)

C'est en 1970 que l'ONG « Global Footprint Network » invente cet indicateur, qui calcule le dépassement de notre consommation des ressources de la terre par rapport à sa capacité de renouvellement. Le tout, en précisant un jour dans l'année où le dépassement a lieu.

Depuis 1970, la première année du calcul, cette date a toujours reculé pour se rapprocher inévitablement de la demi-année. Donc, si l'humanité a utilisé toutes les ressources terrestres après seulement une demi-année, elle utilisera les ressources équivalentes à deux terres pendant une année complète.

La date de dépassement:

- 1970 : 29 décembre
- 1995 : 5 octobre
- 2005 : 26 août
- 2018 : 1er août
- 2019 : 29 juillet
- 2020 : 22 août

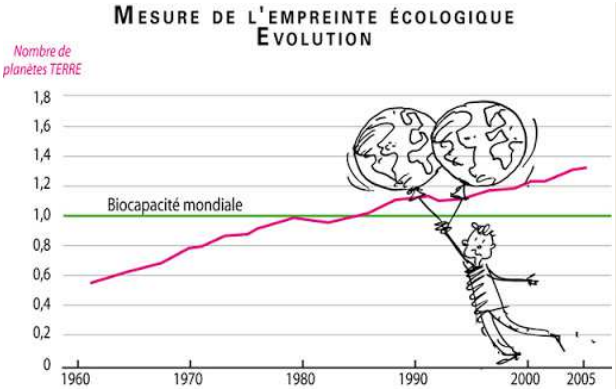


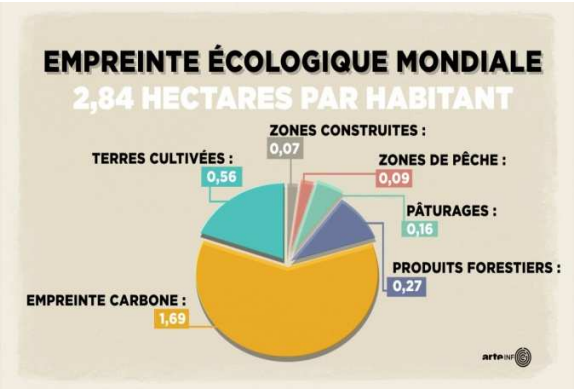
Rm : Le Jour du dépassement, qui marque donc la date à laquelle l'humanité vit « à crédit » par rapport à la Planète, tombe cette année le **22 août 2020**. Un recul exceptionnel dû à la pandémie de Covid-19, qui a entrainé une baisse de la consommation d'énergie et une moindre déforestation.

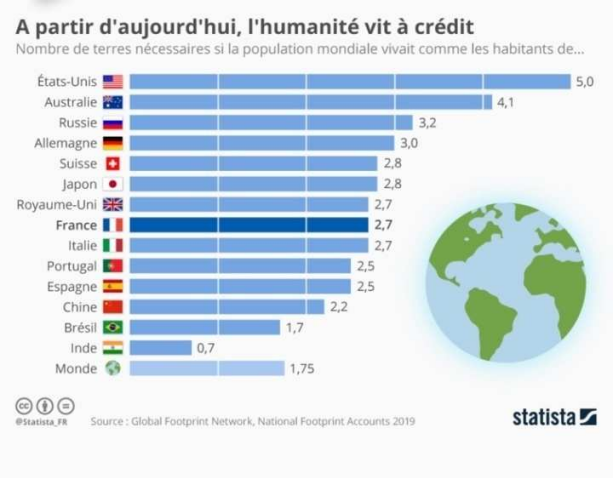
Empreinte écologique

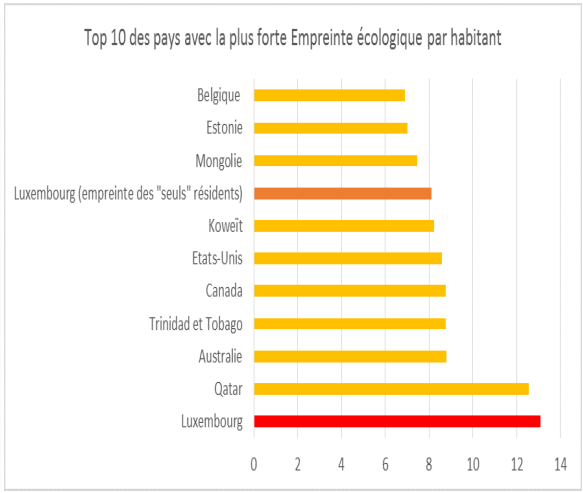
L'empreinte écologique d'une population humaine correspond à la surface écologique productive[4] nécessaire au maintien durable de la population à son niveau de vie actuel, en termes de consommation d'énergie et de matières premières, ainsi que du recyclage des déchets générés.

La moyenne mondiale de l'empreinte écologique est de 2,84 hag par personne alors que la biocapacité moyenne est de 1,68 hag par personne[5] ; il faut donc 1,69 Terre pour couvrir la consommation de l'humanité.









Source: Global Footprint Network

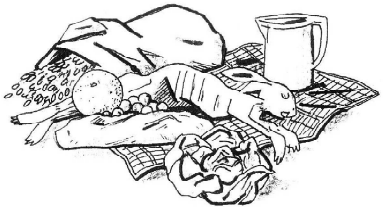
Si le monde entier vivait comme les États-Unis, il faudrait 5 terres pour parvenir à pourvoir à nos besoins en ressources terrestres. Si nous vivions comme l'Australie, il faudrait 4,1 terres pour nous satisfaire. Par contre, si nous vivions comme l'Inde, moins gourmande, nous aurions besoin de seulement 0,7 terre pour nous satisfaire.

[4] Unité exprimée en hectare global (hag), c.à.d. bioproductif, dans le sens où il crée chaque année une certaine quantité de matière organique grâce à la photosynthèse.
[5] Chiffres de 2014.

Test : Calculez Votre Empreinte Ecologique

Alimentation : Partez de 8000

- Vous achetez des produits emballés, préparés, transformés, cuisinés : +2000
- À chaque repas, vous avez beaucoup de perte (surplus jetés) : +2000
- Vous êtes gros mangeur : +2000
- Vous achetez à des producteurs locaux, au marché : -2000
- Vous achetez plutôt au supermarché : +2000
- Vous êtes végétarien : -2000
- Vous achetez surtout des produits bio : -1000
- Vous avez un beau jardin potager : -2000



Résultat pour l'alimentation : . . . . . .

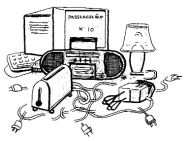
Eau : Prenez 600 pour commencer.

- Vous prenez souvent des bains ? +300
- Vous arrosez souvent votre gazon ? +400
- Vous avez une machine à laver la vaisselle ? +600
- Vous prenez surtout des douches, pas tous les jours ? -100
- En général, vous veillez à économiser l'eau ? -200
- Vous récupérez l'eau de pluie, ou vous utilisez des toilettes sèches ? -200

Résultat pour l'eau : . . . . . .

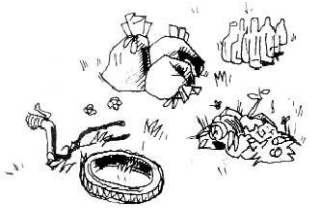
Electricité

- Si vous êtes économes, que vous avez très peu d'appareils électriques, et que vous utilisez une éolienne ou des panneaux solaires : comptez 500
- Si vous avez tout le confort moderne et les appareils à la mode, si vous laissez souvent la lumière et d'autres appareils allumés ou en veille, comptez 10000.
- Entre les 2, faites une estimation entre 500 et 10000, la moyenne étant de 5000.



Résultat pour l'électricité : . . . . . .

Ordures



- Si vous produisez très peu d'ordures, ou si vous recyclez, compostez ou réutilisez tout ce qui est possible, comptez 6000.
- Si vous produisez beaucoup d'ordures, ou si vous ne recyclez rien du tout, comptez 20000.
- Entre les 2, faites une estimation entre 6000 et 20000

Résultat pour les ordures : . . . . . .

Papier

- Si vous achetez beaucoup de journaux et livres, comptez 3000
- Si vous préférez la bibliothèque, si vous partagez la lecture de journaux avec d'autres personnes, comptez 1000
- Entre les 2, faites une estimation entre 1000 et 3000.

Résultat pour le papier :. . . . . .

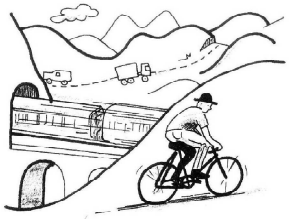
Transports :

Votre empreinte transport est la somme des empreintes des différentes moyens de transports que vous utilisez.

Si vous vous déplacez uniquement à pied ou en vélo, passez à la rubrique suivante !

Voiture

Combien en moyenne faites vous de kilomètres par an, comme conducteur ou passager ?
(si vous êtes passager ou si vous avez souvent un ou des passagers, divisez par 2).
(Résultat Voiture : . . . . .)



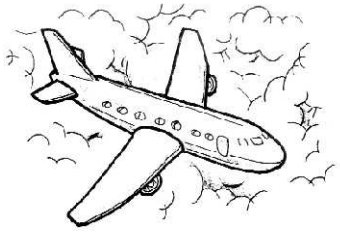
Moto/mobylette :

Combien de kilomètres faites vous par semaine en moyenne en moto ou mobylette ? Multipliez ensuite ce chiffre par 30.
(Résultat Moto : . . . . .)

Transports publics, bus, train, métro, ferry :

Combien de kilomètres faites vous par semaine en moyenne en transports publics ? Multipliez ensuite ce chiffre par 20
(Résultat Transports Publics : . . . . .)

Total pour les transports (sauf avion) : . . . . . .



Vacances ou travail : l'avion

Combien d'heures voyagez vous en moyenne en avion par année ? . . . . . Multipliez ensuite ce résultat par 500.

Résultat pour l'avion : . . . . . .

Chauffage

Si vous économisez le chauffage, si votre habitat est très bien isolé, et si vous avez des très petites factures de chauffage, comptez 2000

Si vous aimez bien avoir bien chaud en hiver, si votre habitat est peu isolé thermiquement, si vous avez des factures élevées de chauffage, comptez 9000.

Entre les 2, faites une estimation entre 2000 et 9000 selon que vous vous sentez plus proche de l'économe ou de l'énergivore.

Résultat pour le chauffage : . . . . . .

TOTAL : Faire la somme des 8 rubriques précédentes : . . . . . .

⇨ Ce chiffre est également le nombre de m² nécessaires à la planète pour assurer votre mode de vie.

⇨ Sachant qu'un hectare comprend 10 000m², vous en déduisez votre empreinte écologique: . . . . . .hectares. Or, il y a sur la Terre environ 2,2 hectares productifs disponibles par personne...

Résultats

- **Si votre empreinte est inférieure à 1,1 hectare (score inférieur à 11000)** C'est exceptionnel : votre mode de vie laisse de la place pour la vie sauvage de la planète, et pour tous ses autres habitants, humains, animaux, ou végétaux.

- **Si votre empreinte est comprise entre 1,1 et 3,3 hectares (score inférieur à 33000 m²)** Bravo ! Votre empreinte correspond à peu près à la surface disponible équitablement. Le savoir peut vous encourager à persévérer dans votre démarche écologique.

- **Si votre empreinte est comprise entre 3,3 et 5,5 hectares (< 55000)** Vous êtes économe et conscient du fait que votre mode de consommation a des impacts écologiques. Vous avez déjà diminué significativement les principales sources de pollution et de pillage des ressources naturelles. Ou bien alors, vous êtes particulièrement fauché !

- **Si votre empreinte écologique est comprise entre 5,5 et 8,8 hectares** Si tout le monde vivait comme vous, il faudrait 3 planètes pour subvenir aux ressources de l'humanité. C'est désastreux, et cependant, vous êtes dans la moyenne européenne. Ne culpabilisez pas, mais, cette prise de conscience faite, passez à l'action.

- **Si votre empreinte est supérieure à 8,8 hectares (score supérieur à 88000)** Si tout le monde était comme vous, il faudrait plus de 4 planètes pour subvenir aux besoins de l'humanité (moyenne aux états unis : 6 planètes !). Comme il n'y en a qu'une, les ressources naturelles s'épuisent et des éléments aussi vitaux que l'air, l'eau et la terre, se détériorent.

Cherche dans la grille les 10 mots qui sont liés à l'empreinte écologique et entoure-les.

E	G	N	L	V	E	M	B	A	L	L	A	G	E	E
A	L	A	S	W	H	V	O	U	T	G	F	B	N	N
V	F	E	I	N	E	R	M	T	O	J	Z	E	A	G
P	R	L	C	C	T	E	B	O	W	Q	R	E	A	R
O	A	N	S	T	E	B	A	A	D	G	U	S	L	A
L	Z	A	P	E	R	R	O	L	I	I	W	T	A	I
L	Q	A	V	T	G	I	P	E	S	I	C	S	M	S
U	L	D	A	L	I	C	C	P	E	T	R	O	L	E
T	U	V	I	A	N	D	E	I	O	I	A	O	A	N
I	Z	D	V	G	J	K	O	E	T	B	A	F	Y	A
O	R	P	A	P	I	E	R	A	Z	E	A	I	A	A
N	F	Y	F	Q	H	F	D	P	G	K	I	S	J	T
Z	Y	R	K	E	A	U	X	U	S	A	G	E	E	S

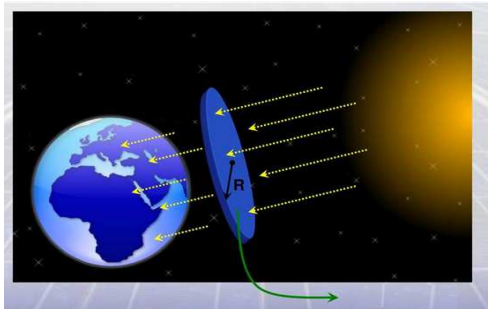
Jeu

Dans tous les cas, il est intéressant de comprendre d'abord comment le climat fonctionne et s'organise de manière globale pour tendre vers un équilibre, afin d'éviter de le perturber, parfois de manière irréversible.

La constante solaire

La Terre reçoit son énergie du Soleil. La constante solaire est une quantité d'énergie quasi constante[6] de 1 368 W/m^2, reçue hors atmosphère par unité de surface et perpendiculairement aux rayons lumineux. En moyenne, compte tenu du fait que la Terre est une sphère[7], la puissance reçue à la surface terrestre est de 342 W/m^2.

Constante solaire : 1368 W/m^2



Comment expliquer que l'énergie solaire soit transportée jusqu'à nous sans perte d'énergie ?

La chaleur produite par la fusion nucléaire de l'hydrogène est émise sous forme de rayonnement solaire, soit un flux de particules (photons). Ce flux de photon (lumière) forme des ondes électromagnétiques qui se propagent sans perte d'énergie dans toutes les directions de l'espace, et notamment vers la Terre.

Il fait plus chaud en été car la Terre est plus proche du soleil ?

FAUX, en été, la Terre est plus éloignée du soleil. En effet, elle se situe sur l'aphélie. Sa distance par rapport au soleil est donc la plus grande. En conséquence, la quantité de rayons solaires/m² captés par celle-ci est légèrement plus faible (=1320 W/m²)

On en déduit que ce n'est pas la distance Terre-soleil qui influence les températures sur Terre mais d'autres facteurs (inclinaison des rayons solaires et la durée d'insolation par jour).

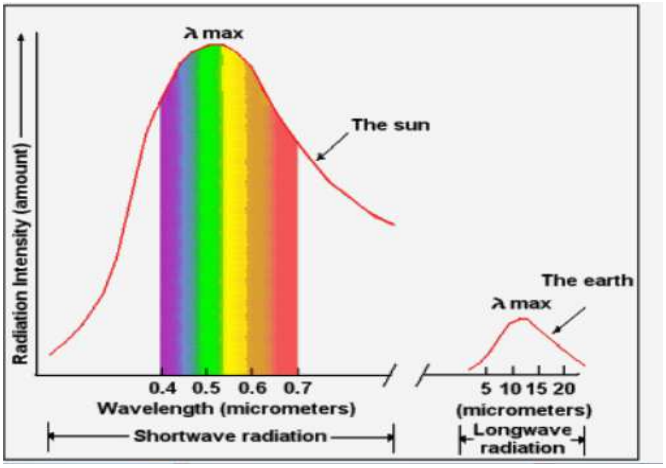
[6] A vrai dire, elle varie au cours de l'année, en fonction de la position de la Terre sur son orbite : au périhélie, elle est la plus forte et tourne autour de 1.412 W/m^2, tandis qu'elle est la plus faible au moment de l'aphélie, atteignant environ 1.320 W/m^2, pour une moyenne d'environ 1.361 W/m^2.

[7] La formule de la surface d'une sphère est de $4\pi r^2$, on divise donc par 4 pour avoir le rapport de la surface de la terre à sa section diamétrale pour tenir compte de la dissipation de cette énergie sur l'ensemble de la surface terrestre (4X plus importante que la surface du disque équatorial).

Le bilan radiatif

Notre planète tire toute son énergie d'une seule source : le Soleil. Le sol, les océans et l'atmosphère reçoivent de l'énergie du Soleil sous forme de rayonnement. La lumière que nous voyons est formée de ce rayonnement. Le rayonnement auquel nos yeux sont sensibles ne représente qu'une petite portion du rayonnement que l'on reçoit du Soleil.

- Le soleil émet principalement dans le visible, puisque son spectre de longueurs d'onde est compris entre 0,4 µm (violet) et 0,7 µm (rouge), avec un maximum d'émission lumineuse se situant à une longueur d'onde d'environ 0.5 µm (**jaune**).
- La Terre, elle, émet vers l'espace de l'énergie (le rayonnement tellurique) sous forme de rayons infrarouges « thermiques » (4 à 100 µm).



La Terre rayonne donc de l'énergie, tout comme notre corps. En effet, tout corps qui possède une température supérieure à 0 Kelvin (-273° C) émet un rayonnement.

Le bilan radiatif est la différence entre les rayonnements absorbés et émis par une masse quelconque. Si l'absorption l'emporte sur l'émission, il ya réchauffement.

Le climat sur Terre est déterminé par un équilibre entre :

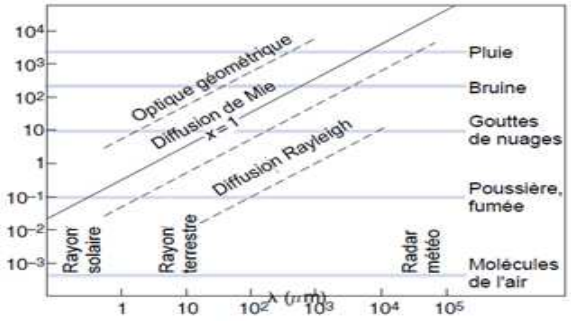
- Le rayonnement solaire **incident** qui provoque le réchauffement de la Terre.
- Le rayonnement solaire **réfléchi**, qui fait que moins de rayonnement solaire est absorbé et a donc un effet de refroidissement relatif.
- Le rayonnement **tellurique** émis vers l'espace sous forme de rayonnement infrarouge, ce qui induit un refroidissement.

Pour que la Terre ne se refroidisse pas, ni se réchauffe, le bilan radiatif doit être en équilibre au sommet d e l'atmosphère. L'énergie moyenne que reçoit la Terre est de 342 W/m2.

Sur ces 342 W/m2 (100%) qui arrivent au sommet de l'atmosphère, différents phénomènes optiques vont se produire au cours du passage des rayons dans l'atmosphère, qui vont tous correspondre à des pertes d'énergies :

1. Un tiers de l'énergie rebondit sur l'atmosphère ou le sol ou les océans et est **réfléchie** directement vers l'espace. Cette fraction est appelée albédo. (Rayonnement réfléchi/rayonnement incident). Par exemple les pôles ont des albédos élevés car les glaces renvoient beaucoup de lumière (les surfaces blanches réfléchissent beaucoup plus que les surfaces sombres qui ont tendance à absorber la lumière). La neige a un albédo de 80-90%. C'est-à-dire que 80-90% des rayonnements solaires sont réfléchis.

2. Une partie du rayonnement solaire incident (6%) rencontre lors de son passage dans l'atmosphère, des petites particules diffusantes[8]. Il se produit alors la **diffusion de Rayleigh** : Il s'agit de la dispersion du rayonnement dans toutes les directions (dévié par sa collision avec les particules de l'atmosphère). Les particules étant très petites, ce phénomène n'est pas très efficace et concerne seulement une partie du rayonnement solaire incident : celui dont la longueur d'onde est faible…à savoir le **bleu**[9], qui se retrouve principalement diffusé. En effet, l'atmosphère agit comme une passoire « sélective », laissant passer les grandes longueurs d'ondes et bloquant les petites (bleu) qui se retrouvent diffusées.
   Au sujet de l'efficacité, on se rend compte que c'est parce que le soleil est une source puissante de photons que la diffusion s'opère. Ce n'est pas le cas des autres astres dans l'espace…ce qui explique que le ciel reste **noir** la nuit.



Dans le cas des petites particules diffusantes, c'est la diffusion de Rayleigh qui s'opère et qui dépend de la longueur d'onde du rayonnement solaire incident (λ) .

Dans le cas de particules plus grosses, l'efficacité de diffusion est indépendante de λ. Dans ce cas, la lumière diffusée a la même couleur que la lumière incidente

   C'est donc ce phénomène qui explique la couleur bleue du ciel. Les longueurs d'ondes les plus courtes (bleu) du rayonnement solaire sont davantage diffusées que les longueurs d'onde plus grandes (rouge). A l'aube ou au crépuscule, en revanche, lorsque le soleil est bas sur l'horizon, l'épaisseur de la couche atmosphérique traversée par le rayonnement est bien plus importante que pendant la journée. Les courtes longueurs d'onde sont totalement diffusées, on ne voit alors plus que les longueurs d'onde les plus grandes (rouge) et le ciel apparaît **rouge orangé** dans la direction du soleil.

   Par contre, dans le cas d'un ciel nuageux, les particules étant beaucoup plus grosses, la diffusion se fait dans la même couleur que la longueur d'onde incidente, à savoir le **blanc**.

3. Les deux-tiers d'énergie qui ne sont pas directement renvoyés vers l'espace sont **absorbée** par l'atmosphère (14%), qui contient des molécules O_3, et la surface terrestre (49%).

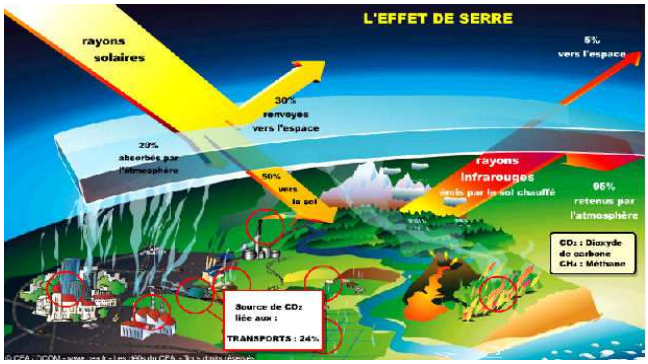
[8] O_2, N_2, CO_2, vapeur d'eau, *etc*. ou bien aussi des fines particules de poussière.
[9] C'est en effet le bleu et le violet qui sont plus susceptibles de rentrer en collision avec les particules de l'atmosphère, étant donné une fréquence plus élevée. L'œil humain n'est pas très sensible au violet, c'est donc le bleu que nous voyons.

La surface se réchauffe alors et réémet des rayonnements **infrarouges**[10]. Une partie de des rayonnements est capturée par les gaz atmosphériques, au lieu d'être renvoyée vers l'espace. C'est ce phénomène naturel qui provoque **l'effet de serre** et permet une température moyenne sur notre planète de 15°C.

L'effet de serre de la Terre est primordial à la vie. Sans l'effet de serre, notre planète aurait une température moyenne de -18° C au lieu de 15° C.

Les principaux gaz à effet de serre sont

- la vapeur d'eau (H2O),
- le dioxyde de carbone (CO2),
- le méthane(CH4),
- l'oxyde nitreux (N2O),
- les oxydes d'azote (NOx),
- l'ozone (O3)
- le monoxyde de carbone (CO).



Texte lacunaire: Qu'est-ce que l'effet de serre naturel ?

L'effet de serre est un mécanisme…… qui se produit en plusieurs étapes. Le soleil envoie de ……..sous forme de …….. à la terre. Une fois réchauffée, la Terre rejette la chaleur vers …… La chaleur est retenue par des gaz présents dans l'atmosphère, les …….. On les appelle ainsi, car comme dans une serre de jardin, ils…… l'énergie et la renvoient vers la Terre. Sans cela, la température sur Terre serait de…….. au lieu de ……..

Mots à replacer dans le texte :
-18°C / gaz à effet de serre / l'espace / rayonnements / naturel / 15°C / emprisonnent / l'énergie

Au final, le bilan radiatif moyen de la Terre sur une année est nul car il existe un équilibre des échanges entre l'atmosphère et la surface terrestre.

Mais il existe des déséquilibres énergétiques régionaux dus à …

Il existe deux conséquences de la variation de l'inclinaison des rayons solaires sur la surface de la terre :

- La surface qui reçoit une même quantité d'énergie est plus grande si l'inclinaison des rayons est forte.
- La longueur du rayonnement est plus longue pour les surfaces où l'inclinaison est la plus forte. Il existe alors des pertes d'énergie due à la réflexion, l'absorption, et la diffusion.

[10] Ces IR ont une longueur d'onde plus faible, ce qui permet à la Terre d'émettre plus d'énergie qu'elle n'en reçoit.

L'équateur reçoit donc plus d'énergie que les deux pôles, car :

- Les rayons arrivent de façon directe à l'équateur (contrairement aux autres régions où les rayons arrivent à l'oblique) ;
- le Soleil est un peu plus proche de l'équateur que des autres régions.

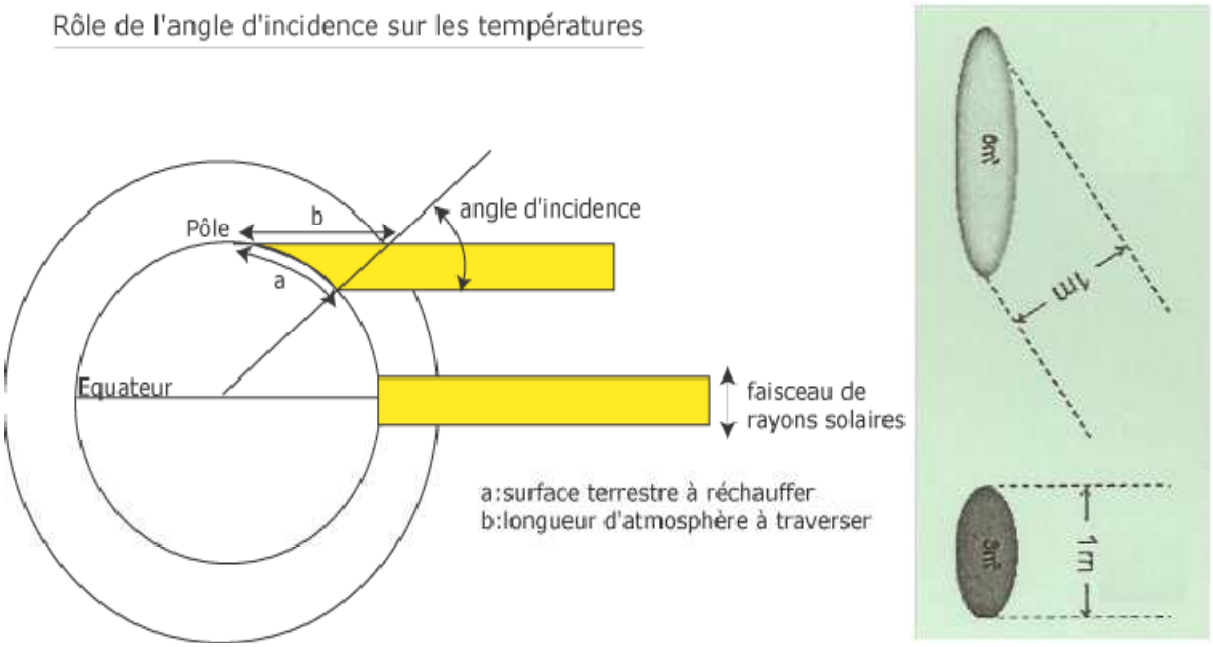
Le déséquilibre radiatif entre les pôles et l'équateur provoque un transport compensateur de chaleur depuis l'équateur vers les pôles. Ce transport est réalisé par les mouvements atmosphériques (87%) et les mouvements océaniques (13%).

Au niveau zonal, la répartition des températures dépend de…

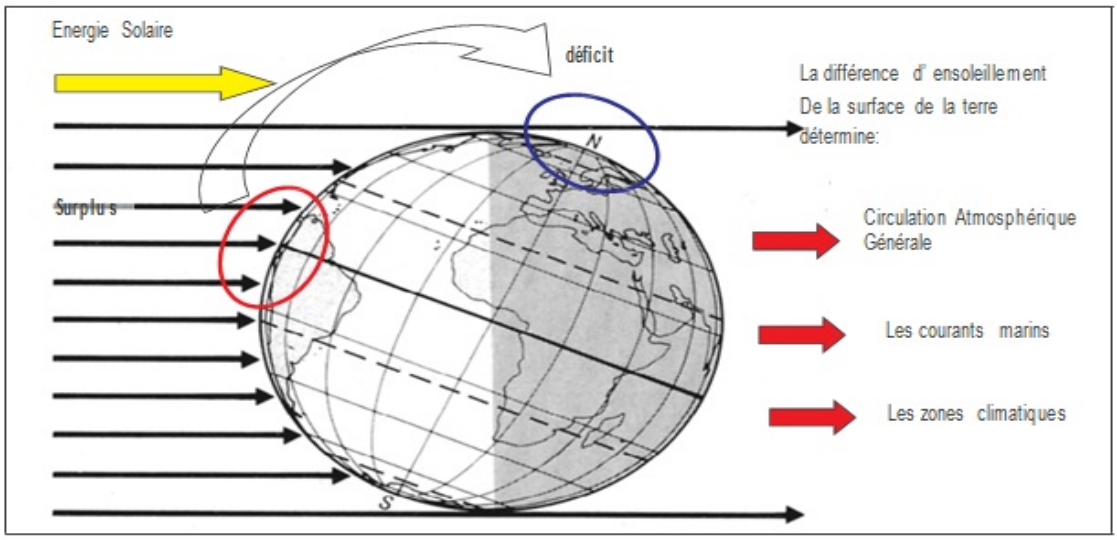
Au niveau azonal, d'autres facteurs sont responsables des variations de températures :

Les effets de la latitude dans les déséquilibres énergétiques régionaux

Quelles différences observez-vous dans le rayonnement solaire (la quantité d'énergie solaire est la même aux 2 endroits) entre les 2 latitudes ?

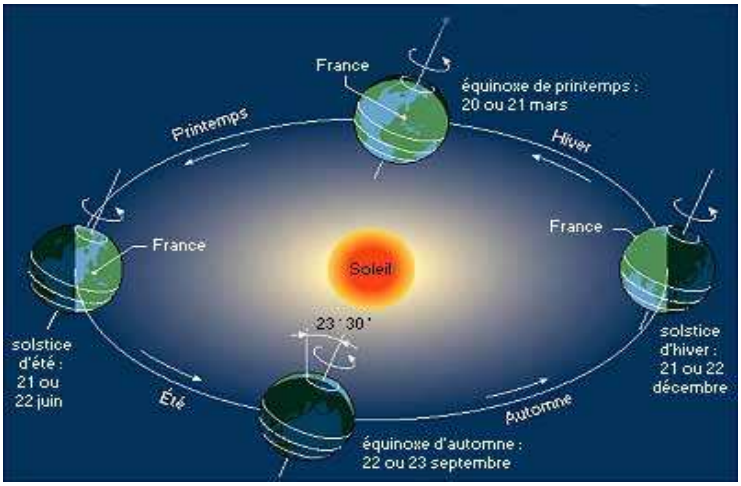


L'inclinaison différente des rayons par rapport au sol (angle d'incidence) est à l'origine du réchauffement inégal de la surface terrestre. L'intensité du rayonnement est atténué vers les pôles et maximale dans la zone intertropicale. Dans les régions polaires les rayons solaires arrivent obliquement, le flux d énergie solaire se répartit sur une plus grande surface terrestre (a) et après avoir traversé une grande épaisseur d'atmosphère (b)



Le mécanisme des saisons et son effet dans les déséquilibres énergétiques régionaux

Le mot clef est "Inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite". En effet, la révolution de la Terre, jointe à l'inclinaison de l'axe des pôles par rapport à la verticale, détermine les saisons et l'existence des grandes zones climatiques et biologiques. Le mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil décrit une ellipse que l'on appelle orbite de la Terre. Notre planète effectue une révolution complète en 365 jours et un quart. (D'où année bissextile de 366 jours tous les quatre ans)

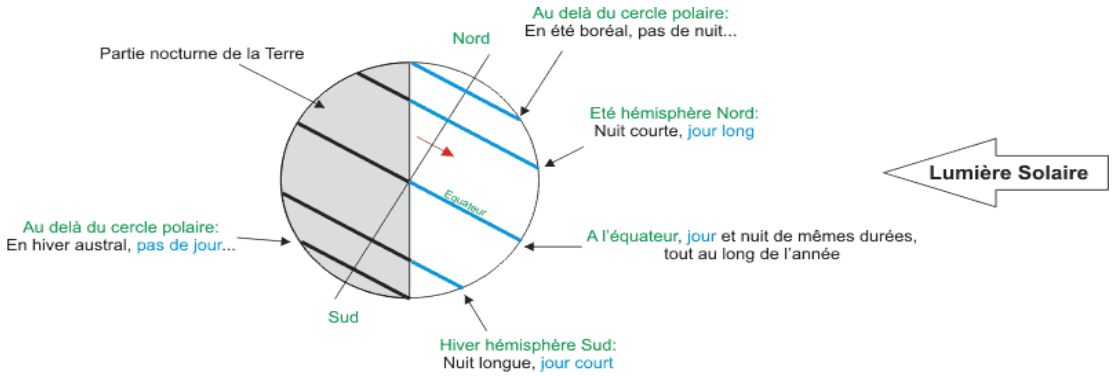


Le plan dans lequel se déplace la Terre, appelé plan de l'écliptique, n'est pas perpendiculaire à l'axe des pôles. De ce fait, la Terre est représentée par rapport à la verticale avec une inclinaison de 23° 27'. L'inclinaison de l'axe des pôles est donc responsable de l'existence des saisons.

En été, une surface de sol reçoit une certaine quantité d'énergie par seconde. En hiver, **la même surface**, à la même heure solaire, en reçoit une bien plus faible, car la surface s'est beaucoup inclinée par rapport à la direction d'arrivée des rayons solaires.

Durée Jour / nuit :

La deuxième conséquence de l'inclinaison de l'axe de rotation terrestre, est que la durée du jour l'emporte sur celle de la nuit en été. Vous pouvez bien sûr le constater réellement par vous-même, mais aussi en regardant sur le schéma ci-dessous, où vous observerez que la longueur de parallèle exposée au jour est plus grande que la partie nocturne. Ainsi, le Soleil dispose de plus de temps en été pour nous réchauffer...



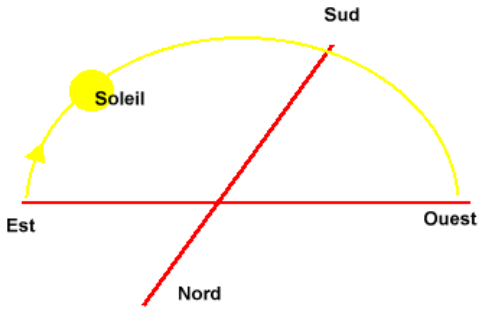
Vue de ce côté, la Terre tourne dans le sens de la flèche rouge. On y voit clairement les durées inégales des jours (en bleu) et des nuits (en noir). Sauf à l'équateur, où les durées sont identiques toute l'année. Ce qui explique les faibles écarts saisonniers constatés dans ces régions... -On y remarque aussi ces régions spéciales qui peuvent n'avoir qu'un jour et pas de nuit (ou l'inverse), situées au-delà des cercles polaires. Même si seules les régions confinées près des pôles "bénéficient" d'un jour de 6 mois, qui suit une nuit toute aussi longue...

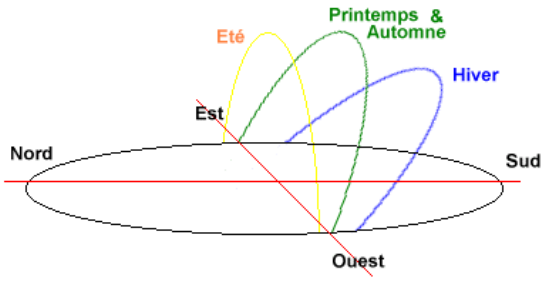
A l'équateur: la durée du jour est égale à la durée de la nuit toute l'année, dans les autres régions, la durée du jour est différente de celle de la nuit, sauf aux équinoxes (21 Mars et 23 Septembre). Cependant on note que:

- sur la zone tropicale (entre les tropiques du Cancer [23°27'Sud] et du Capricorne [23°27'Nord]), il y a peu de variation entre la durée du jour et celle de nuit,
- sur les zones tempérées (entre 23°27' et 66°33'): l'inégalité entre la durée du jour et celle de la nuit augmente en fonction de la latitude
- sur les zones glaciales (arctique: pole nord, et antarctique: pole sud): on parle du jour polaire et de nuit polaire qui durent aux pôles 6 mois chacun.

Doc. : Soleil de Minuit

Trajet apparent du soleil :





En hiver, le Soleil ne se lève pas exactement à l'Est mais légèrement décalé vers le Sud; le Soleil s'élève peu dans le ciel et se couche, pas tout à fait à l'Ouest. Le Soleil est moins longtemps au dessus de l'horizon: Les jours sont plus courts.(en bleu).

Le jour de l'année où le Soleil descend le plus bas (le plus au Sud) est le jour du solstice d'hiver (21 décembre).

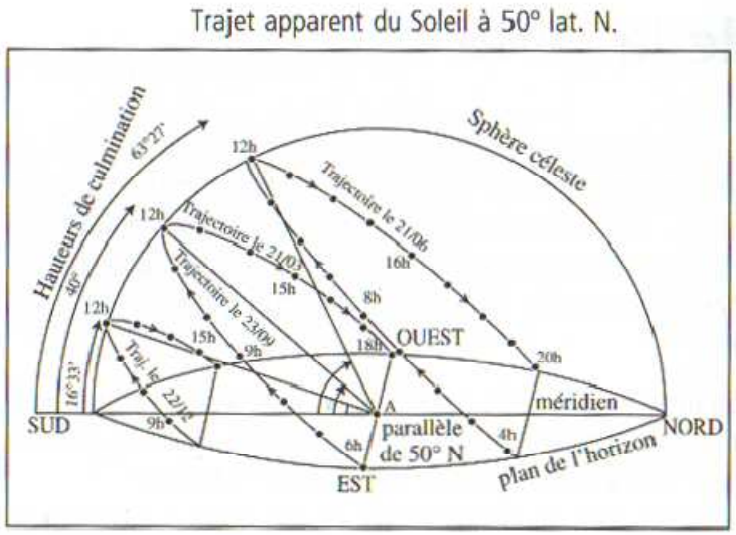
En Eté, le Soleil se lève non pas à l'Est mais légèrement décalé vers le Nord, il s'élève très haut dans le ciel et se couche, pas tout à fait à l'Ouest (en jaune). Le Soleil est plus longtemps au dessus de l'horizon: Les jours sont plus longs. Le jour de l'année où le Soleil monte le plus haut est le jour du solstice d'été (21 juin).

Au Printemps et en Automne, le Soleil suit une course intermédiaire (en vert). Deux jours par an, le Soleil se lève exactement à l'Est et se couche exactement à l'Ouest lors de l'équinoxe de printemps et de l'équinoxe d'automne. Durant ces 2 jours, la durée du jour est identique à la durée de la nuit.

Au cours de l'année, on distingue donc quatre positions remarquables du Soleil par rapport à la Terre: le 23 septembre et le 21 mars, le jour et la nuit ont la même durée; il s'agit des équinoxes, qui ouvrent l'automne et le printemps. Le 21 décembre et le 21 juin, les jours sont respectivement le plus court et le plus long de l'année dans l'hémisphère Nord, alors que c'est l'inverse dans l'hémisphère Sud : il s'agit des solstices, qui inaugurent l'été et l'hiver.

Exercices

1. La figure suivante montre qu'au Solstice d'hiver chez nous, le Soleil à midi est bas sur l'horizon soit une hauteur de……..Il se lève au ……et se couche au …….Au Solstice d'été, il est beaucoup plus haut sur l'horizon soit une hauteur de……..Il se lève aux environs de ……heure et se couche aux environs de ……..Dans nos régions, le Soleil n'est jamais au zénith.



2. En vous appuyant sur votre schéma, observez et décrivez pour chaque date :

	23-sept	22-déc	21-mars	21-juin
Localisation précise des rayons du soleil perpendiculaire à la planète				
Position de l'axe de rotation de la terre				
Nom donné à cette date				

3. A quelle(s) date(s) précise(s) y a-t-il :

- Nuit polaire au pôle nord ?
- Nuit polaire au cercle polaire antarctique ?
- Jours et nuits égaux à l'équateur ?
- Jours et nuits égaux en Belgique ?
- Soleil au zénith à l'équateur ?
- Soleil au zénith en Belgique ?

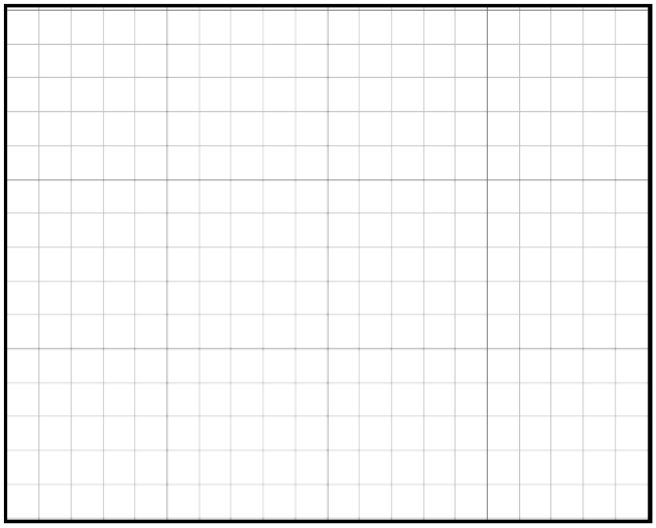
4. A l'équinoxe du 21 mars, où :

- Le soleil est-il au zénith ?
- Y a-t-il jour = nuit ?
- Y a-t-il nuit polaire ?
- Y a-t-il soleil à son maximum de hauteur ?
- Y a-t-il 6 mois de nuit ?
- Y a –t-il le jour le plus court ?
- Y a-t-il soleil de minuit ?

Rm : Répondre aux mêmes questions pour les 2 solstices…

5. **Alternance jour/nuit : représentez graphiquement le lever, le coucher, et la durée du jour de Sambreville ?** **(axe x : mois de l'année et axe y : les heures de lever & coucher)**

	Lever	Coucher	Durée
Janvier	08:36	17:07	08:30
Février	07:53	17:59	10:06
Mars	06:52	18:49	11:56
Avril	05:45	19:39	13:54
Mai	04:52	20:26	15:34
Juin	04:30	20:56	16:26
Juillet	04:49	20:47	15:58
Août	05:32	20:00	14:28
Septembre	06:19	18:55	12:35
Octobre	07:08	17:48	10:40
Novembre	07:59	16:56	08:56
Décembre	08:37	16:39	08:01



6. **Parmi les affirmations suivantes, lesquelles sont vraies ?**

- Il y a 6 mois de jour et de nuit continue au nord du cercle polaire arctique ?
- La longueur du jour ne varie pas au cours de l'année à l'équateur ?
- Les équinoxes sont les deux seules dates de l'année où le jour (et la nuit) durent 12 heures partout sur la terre ?
- La rotondité de la terre est le principal facteur du balancement saisonnier ?
- La longueur du jour le 23 août est maximale au pôle nord ?
- Le jour est plus long à 60°N qu'à 25°S le 12 septembre ?
- Le soleil est plus haut à 60°N qu'à 25°S le 12 septembre à 12 h locales ?

Résumé :

On l'a vu, le **21 juin**, les rayons du soleil sont à la verticale (Zénith) du tropique du cancer ; c'est alors le début de l'été dans l'hémisphère Nord. Inversement, le **21 décembre**, les rayons solaires sont au zénith du tropique du Capricorne ; c'est alors le début de l'hiver chez nous et le début de l'été dans l'hémisphère Sud. Lais saisons sont donc inversées dans les 2 hémisphères.

L'axe de rotation de la terre est incliné de 23°27' par rapport à la verticale au plan de l'orbite de la terre autour du soleil (c'est-à-dire le plan de l'elliptique).

L'inclinaison de l'axe de rotation fait en sorte que pendant quelques mois, un hémisphère penche du côté du soleil. Lorsque cela arrive, le soleil est haut dans le ciel et les jours sont longs. L'été s'installe, il fait donc plus chaud en été car le soleil est plus haut dans le ciel et la durée d'ensoleillement est plus longue.

On le voit, les déséquilibres régionaux sont dus à **l'intensité** de l'insolation en fonction de l'angle suivant lequel les rayons solaires atteignent la surface terrestre (qui va jouer sur l'énergie reçue au sol par m^2) et la **quantité** d'ensoleillement reçue par jour en fonction de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre par rapport à l'écliptique (qui va jouer sur le nombre d'heures par jour auxquelles le sol est exposé à de l'énergie). La distribution des températures à la surface du globe varie donc en fonction de la latitude et des saisons.

Dans les zones polaires, le bilan radiatif est négatif et dans les zones situées à proximité de l'équateur, il est positif. Ce déséquilibre radiatif entre les pôles et l'équateur provoque un transport compensateur de chaleur depuis l'équateur vers les pôles, qui se met en place via les vents et les courants marins.

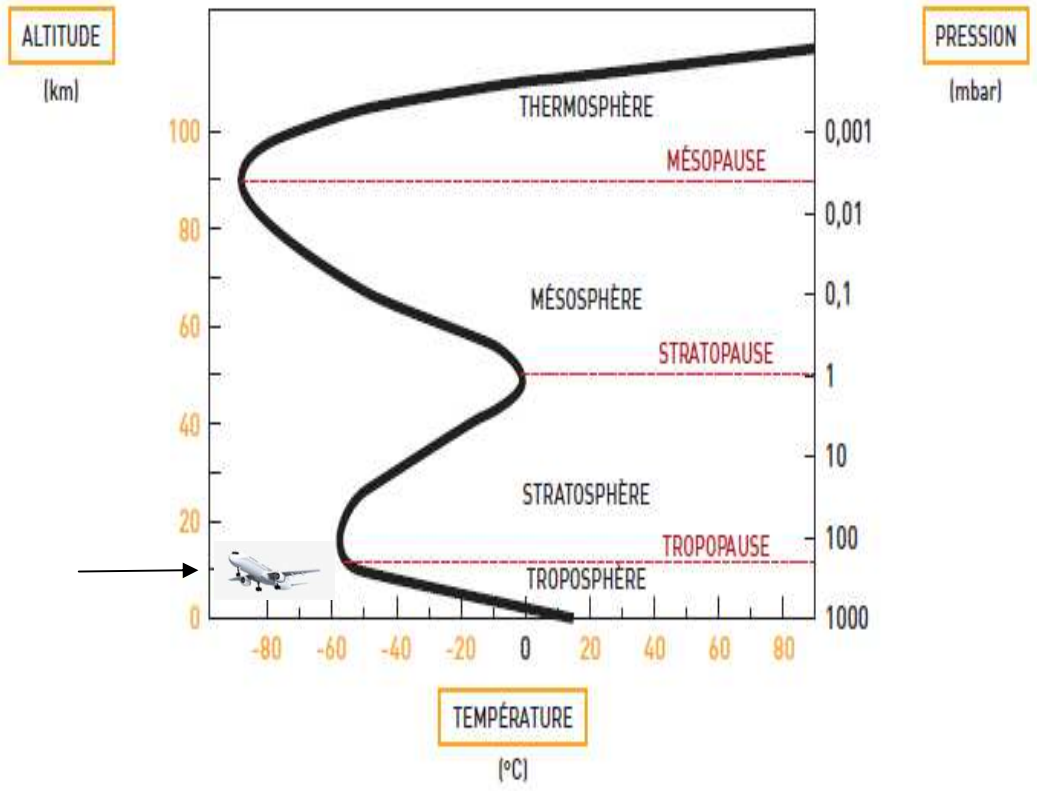
Les transports compensateurs de chaleur

L'ATMOSPHERE

Quelques notions de base :

La Terre est entourée d'une enveloppe gazeuse, l'atmosphère. L'essentiel des phénomènes atmosphériques affectant le climat a lieu dans la troposphère.

- La troposphère est marquée par une diminution des températures avec l'altitude (-1°/100m pour l'air non saturé en humidité ou -0.6°/100m pour l'air saturé en humidité), due au fait que l'essentiel des transferts thermiques qu'elle reçoit provient de la surface terrestre, qui la lui transmet via le rayonnement tellurique.
- La stratosphère joue aussi un rôle au niveau du bilan radiatif, en situation normale par l'absorption des UV par l'ozone[11]. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle, sa température augmente avec l'altitude.
- La mésosphère : la pression est de plus en plus petite, l'air y est très raréfié. Sa température diminue avec l'altitude.
- La thermosphère : dernière couche de l'atmosphère. Son réchauffement avec l'altitude est lié à la décomposition des molécules d'air en molécules plus simples (atomes, ions) par UV et RX solaires.



[11] Ozone (0_3) : Puissant gaz à effet de serre formé naturellement dans la stratosphère et présent dans la troposphère sous l'effet de la pollution

Si tous les points de l'atmosphère étaient à la même pression, l'air serait en équilibre et il n'y aurait ni vent ni masse d'air. Mais ce n'est pas le cas. Ce point va nous permettre de comprendre pourquoi :

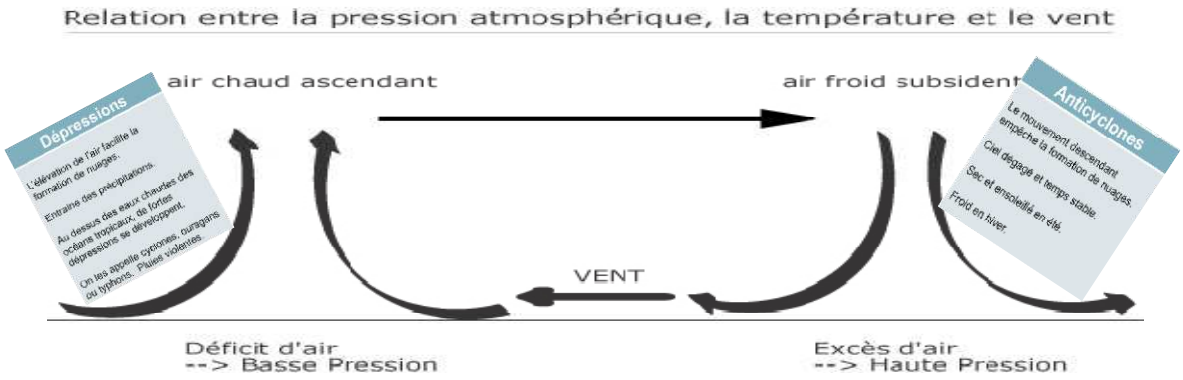
- Il fait chaud et humide sur et à proximité de l'équateur ?
- Il existe 2 saisons (sèche et humide) dans les zones tropicales ?
- Il fait chaud et sec dans les zones subtropicales[12] ?
- Il fait tempéré et humide en zone tempérée ?
- Il fait froid et sec dans les régions polaires ?

Formation des anticyclones et des dépressions

L'air chaud a une densité relativement faible et a donc tendance à s'élever. Il est animé d'un mouvement ascendant qui va créer au sol un déficit d'air qui se marquera par une zone de basse pression.

Faites le même raisonnement pour la formation des hautes pressions ?

L'air …… a une densité relativement …… et a donc tendance à …….. Il est animé d'un mouvement …….. qui va créer au sol un …… d'air qui se marquera par une zone de …… pression.



Lorsqu'il existe une différence de pression entre 2 points, l'air circule toujours de l'endroit où la pression est la plus forte vers l'endroit où la pression est la plus faible.

Exemple pratique :

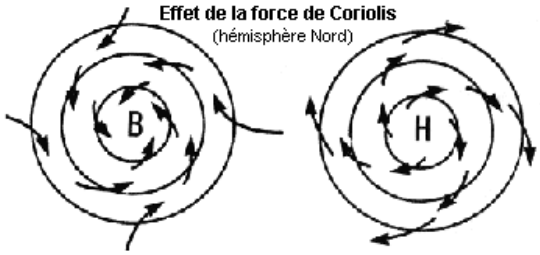
Lorsque dans un autobus, il y a énormément de personnes à l'avant de celui-ci et peu à l'arrière, les personnes se dirigeront **naturellement** vers l'endroit où il y a plus de places. En quelque sorte, de l'endroit de haute pression vers l'endroit de basse pression.

[12] Subtropicales : situées sur les tropiques ; à 23°27'N pour le tropique du Cancer et 23°27'S pour le tropique du Capricorne.

La force de Coriolis

La force de Coriolis est due à la rotation de la Terre, qui implique une vitesse plus grande à l'équateur par rapport aux pôles. Cette différence va dévier les masses d'air vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

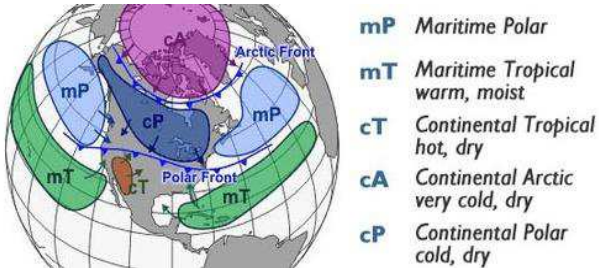
CORIOLIS



- En effet, une masse d'air qui se déplacerait, dans **l'hémisphère Nord**, de l'équateur vers le pôle Nord, serait dévié vers sa **droite**, étant donné que la Terre tourne d'Est en Ouest, c'est-à-dire dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.
- Par contre, dans **l'hémisphère Sud**, c'est le contraire : la Terre tourne toujours d'Est en Ouest, ce qui signifie cette fois-ci dans le sens des aiguilles d'une montre. Une masse d'air qui se déplacerait de l'équateur vers le pôle Sud serait alors dévié vers sa **gauche**.

Les masses d'air

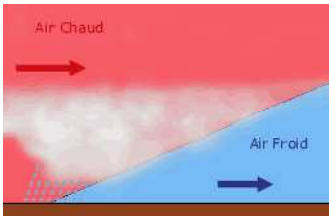
Une masse d'air est une zone de l'atmosphère où les conditions de température, de pression et d'humidité, sont **homogènes** pendant une période +/- longue (quelques jours à une semaine). Elle prend donc naissance dans une région où l'air est resté relativement **stagnant**.



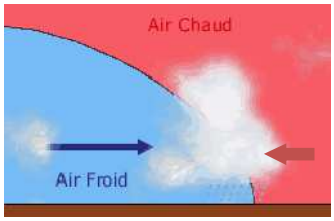
En bougeant, ces masses d'air arrivent sur des secteurs dont les températures sont différentes des leurs. Des masses d'air chaud arrivent sur des surfaces plus froides et des masses d'air froid arrivent sur des surfaces plus chaudes.

S'il est difficile de délimiter précisément une masse d'air, on peut en revanche assez aisément cerner un **front**, qui correspond à une zone où des masses d'air différentes se rencontrent. En effet, lorsque 2 masses d'air différentes entrent en contact, elles ne se mélangent pas ! L'air froid, plus dense, tend à glisser sous l'air chaud. Ce dernier s'élève en s'étendant. Une fois l'air chaud refroidi dans les couches supérieures de la troposphère, l'humidité qu'il contient se condense en donnant naissance aux nuages et finalement aux précipitations.

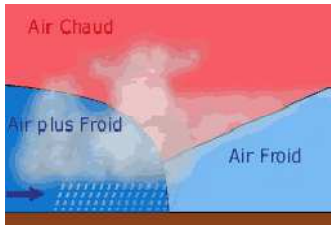
On distingue 3 types de fronts au sein de ces dépressions :



- le ***front chaud*** : zone où la masse d'air la plus chaude va monter lentement au dessus de la masse d 'air froide (même direction). La rencontre est donc relativement douce[13] et va créer des précipitations longues e t continues.



- Le ***front froid*** : zone où la masse d'air la plus froide et la masse d 'air la plus chaude se déplacent l'une vers l'autre (direction opposée). Ce qui force la masse d'air la plus chaude à monter rapidement, créant de fait des précipitations de courtes durées mais intenses, souvent accompagnées d'orages.



- Lorsque l'air chaud progresse en altitude, il peut être rejoint par une 3ème masse d 'air, froide[14] également, qui va repousser l'air chaud en altitude près de la dépression. Une partie de cet air est alors forcée de s'élever, créant un ***front occlus***, c'est-à-dire un emprisonnement et soulèvement d'air chaud entre 2 masses d'air froides.

Plus les dépressions sont importantes, plus le front froid s'engouffre violemment sous le front chaud en produisant un fort courant d'ascendance qui donne naissance à des nuages convectifs (cumulus, cumulonimbus). Ce sont ces derniers qui produisent de grosses averses ou même des orages.

Les nuages

Un nuage est un ensemble de gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère. Le nuage se forme via la condensation de la vapeur d'eau lorsque l'air se refroidit en altitude et que l'humidité atteint un certain seuil.

Il existe 3 principaux types de nuages que l'on peut classer suivant l'altitude:

1. Les nuages élevés (>5000 mètres) = **Cirrus**.
   Ce sont les plus blancs de tous car composés de cristaux de glace. Ils prennent l'aspect de longs filaments. Les traînées de vapeur laissées par les avions, lorsqu'elles s'étendent peuvent former des cirrus.
   Les cirrus annoncent une perturbation à venir. Ils se forment souvent en avant d'un front chaud et sont donc annonciateurs d'un changement de temps.
2. Les nuages moyens (2000 à 5000 mètres) = **altostratus & altocumulus**.
   Les premiers ont une forme proche d'un large voile blanc, les autres des petites tâches arrondies et grises.

   Jusqu'à présent, on a encore des conditions météorologiques stables (pas de précipitations).

[13] L'air chaud (plus léger) va avoir du mal à pousser l'aire froid (plus lourd).
[14] Les vents dans l'air froid ont tendance à être plus forts que dans l'air chaud et l'air y est plus dense.

3. Les nuages bas (<2000 mètres) = **stratus et nimbostratus**.
   Les Stratus sont le prolongement des Altostratus. Ils forment du brouillard lorsqu'ils touchent le sol. Les nimbostratus sont des nuages assez denses et donc opaques laissant passer peu de lumières. Ils sont à l'origine de précipitations continues de plusieurs heures…le fameux temps à la belge. A cette altitude, existe également des stratocumulus ; qui apparaissent sous forme de galets et rouleaux avec des parties sombres.

   Exception : les cumulus, qui sont des nuages de beaux temps, c'est-à-dire formés de manière individuelle à la suite d'un mouvement de convection[15].

La circulation atmosphérique générale

Commençons par essayer de comprendre les très fortes précipitations autour de l'équateur, en lisant le texte suivant qui nous aidera à déterminer l'origine de l'humidité :

La touffeur équatoriale

Les pluies sont extraordinairement abondantes : entre 2000 et 3600 mm/an avec même des records à 6000 mm/an. Les pluies équatoriales se caractérisent par des averses violentes et fournies qui durent peu, d'une demi-heure à deux heures et il n'est pas rare de voir tomber 1 mm de pluie par minute. L'arrivée d'un front de pluie est impressionnante, on le repère dans les cinq minutes qui précèdent par le grand bruit de la masse d'eau martelant les feuilles. L'eau ruisselle longuement ce qui explique l'abondance des plantes épiphytes[16] créant elles-mêmes des milieux particuliers de vie. La plus célèbre d'entre elles étant l'orchidée dont plus de 15000 espèces sont recensées. Aussi vite qu'elle est venue la pluie s'en va et la nature respire, rafraîchie ; des cumulus joufflus se forment indiquant qu'une partie de l'eau tombée retourne par évaporation dans l'atmosphère. Des observations ont montré que près de la moitié des eaux de pluie repart directement dans l'atmosphère où elle se condense à nouveau et retombe un peu plus à l'ouest. La retro alimentation de l'humidité est donc accentuée par la forêt, par évapotranspiration[17]. En effet, 50 à 60 % de l'énergie solaire reçue est utilisée pour l'évaporation de l'eau à travers la transpiration des plantes et si on retire la couverture végétale, la plus grande partie de cette énergie solaire contribuera à réchauffer l'air. Ainsi, le climat actuel dépend de la forêt ; si elle disparaît, l'évapotranspiration sera moins active et inéluctablement des changements climatiques s'accentueront, introduisant de profondes modifications dans les écosystèmes.

Source : *L'Amazonie Vers un développement durable Martine Droulers éd. Armand Colin 2004*

Commentaires :

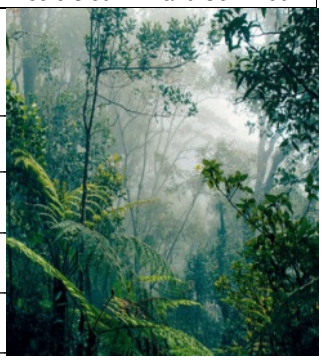
_____

_____

_____

_____

_____



Le moteur de la circulation atmosphérique dans les tropiques est le **réchauffement solaire**. À cause de l'inclinaison de 23°27' de l'axe de rotation de la Terre, le Soleil n'est jamais plus qu'à quelques degrés (au maximum 23°27') du **zénith** à midi tout au long de l'année dans les tropiques ce qui donne un maximum de réchauffement autour de l'équateur. Cet échauffement va permettre à l'air de s'élever dans la troposphère.

[15] Lorsque l'air chauffé à la surface du sol est soulevé, il se refroidit et la vapeur d'eau se condense pour produire le nuage.
[16] Les épiphytes sont des organismes qui poussent en se servant d'autres plantes comme support. (cfr. Lianes,…)
[17] Émission de vapeur d'eau de la surface du sol vers l'atmosphère via l'évaporation et la transpiration des plantes.

La détente adiabatique

En un point donné l'air sera caractérisé par :

- sa pression, exprimée ici en pascal [Pa],
- sa température, en degré Celsius [°C],
- sa teneur en humidité.

C'est la pression et la température qui vont déterminer la teneur en humidité (H2Og) que l'air peut contenir. Lors de son ascension, l'air finit par atteindre une quantité maximale d'H2Og qu'il peut contenir, on parle de **saturation**[18]**.** En effet, comme il se refroidit en montant, sa capacité à contenir l'humidité diminue, il va donc saturer.

A ce moment précis, l'évaporation s'arrête, et on atteint le **point de rosée**. Au-delà de ce point, la masse d'air ne peut plus contenir d'H2Og mais passe à H2Ol, c'est la phase de la **condensation** dans laquelle les **nuages** se forment. Cette phase durera tant que les molécules d'eau en suspension dans l'atmosphère ne seront pas assez lourdes que pour tomber et donner naissances à des précipitations.

Pour résumer, la 1ère phase d'ascension, correspond à de l'évaporation, c'est-à-dire à un air sec et stable qui monte jusqu'à être saturé et atteindre le point de rosée. Ensuite, la 2ème phase d'ascension correspond à de la condensation (=nuages), c'est-à-dire à un air humide et toujours stable qui monte jusqu'à atteindre l'instabilité (=précipitations).

Au cours de ce processus d'ascension appelé la **détente adiabatique**, l'air effectue un travail important pour s'élever. Etant donné qu'il est un mauvais conducteur de chaleur[19], il va s'élever de manière isolée avec le reste du système et puiser dans ses propres ressources pour s'élever. On comprend ici tout le sens du mot **adiabatique** qui veut dire : « sans échange de chaleur avec l'extérieur ». Il perd donc de la température à chaque kilomètre parcouru, c'est ce qu'on appelle le **gradient thermique**.

Il existe 3 gradients thermiques :

- Le gradient d'air sec = -10°C/km
- Le gradient d'air humide = -5°C/km
- Le gradient d'air local[20] = -6,5°C/km

La perte de température est plus importante pour l'air sec car on se trouve dans la phase d'évaporation, qui consomme beaucoup d'énergie[21]. Il faut en effet passer de l'état liquide à l'état gazeux, ce qui demande un travail important à l'air et un refroidissement plus marqué.

Par contre pour l'air humide c'est le contraire, la phase de condensation libère cette fois de l'énergie sous forme de chaleur latente[22], ce qui va atténuer le gradient thermique, passant alors de -10°C à -5°C.

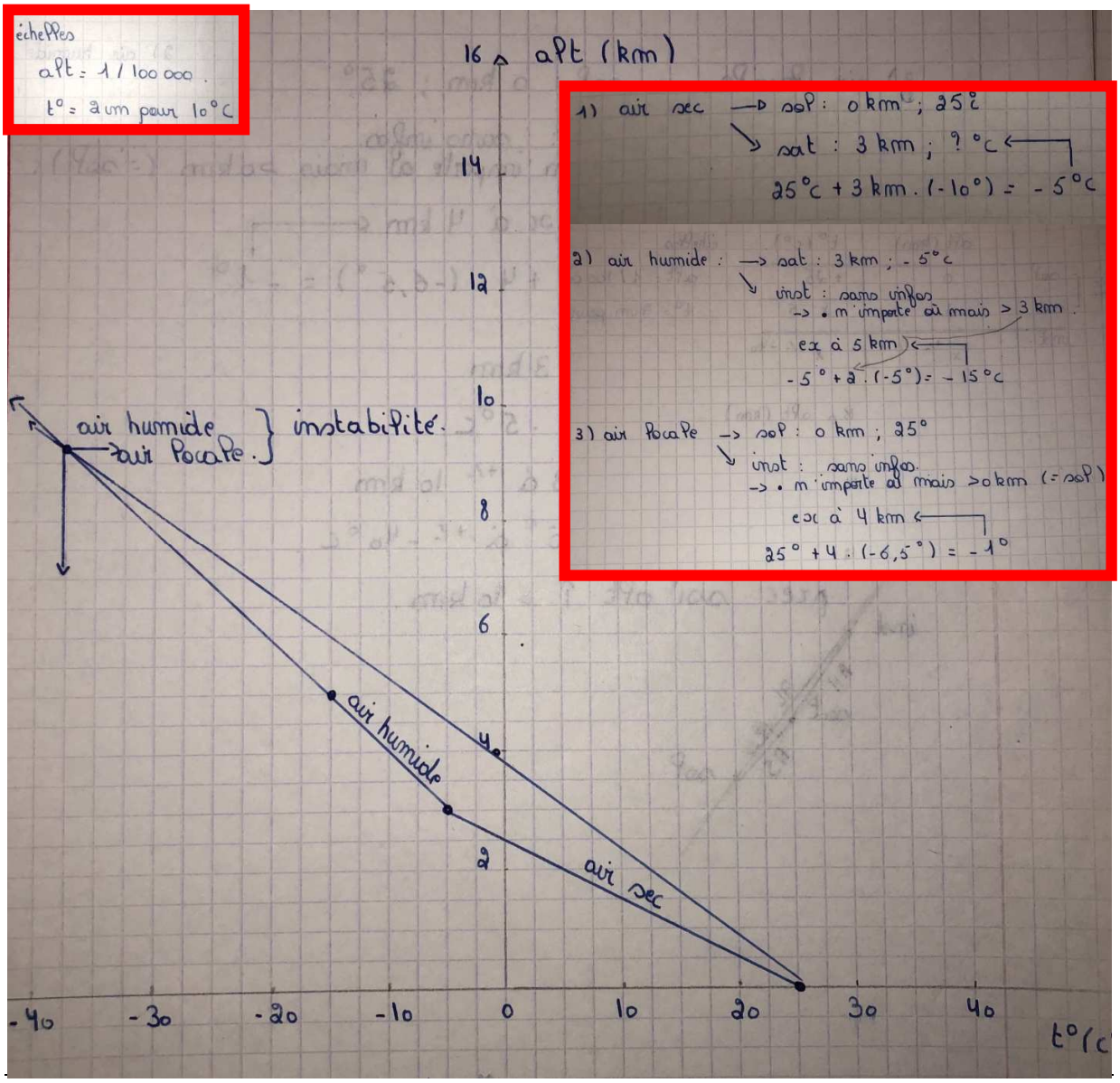
Après son ascension, l'air finit par redescendre vers le sol pour former une boucle qu'on appelle **cellule**.

[18] Saturation = quantité maximale d'H2Og qu'une masse d'air peut contenir.
[19] L'air est un bon isolant, c'est la raison pour laquelle vous portez des pulls de laines à grosses mailles en hiver…autant de bulles d'air qui vous protègent du froid environnant ou par exemple des châssis double vitrage… on met de l'air entre 2 couches de verre pour l'isolation des fenêtres.
[20] Il s'agit d'une moyenne scientifique de l'ensemble des masses d'air à la surface du globe.
[21] Le corps utilise cette technique lorsque vous transpirez pour se refroidir.
[22] Chaleur latente = chaleur liée au changement d'état provoqué par la condensation (gaz à liquide).

Exercices sur la détente adiabatique :

1

	Altitude (km)	T° ©
Sol	0	+25
Saturation	3	?
Instabilité	?	?

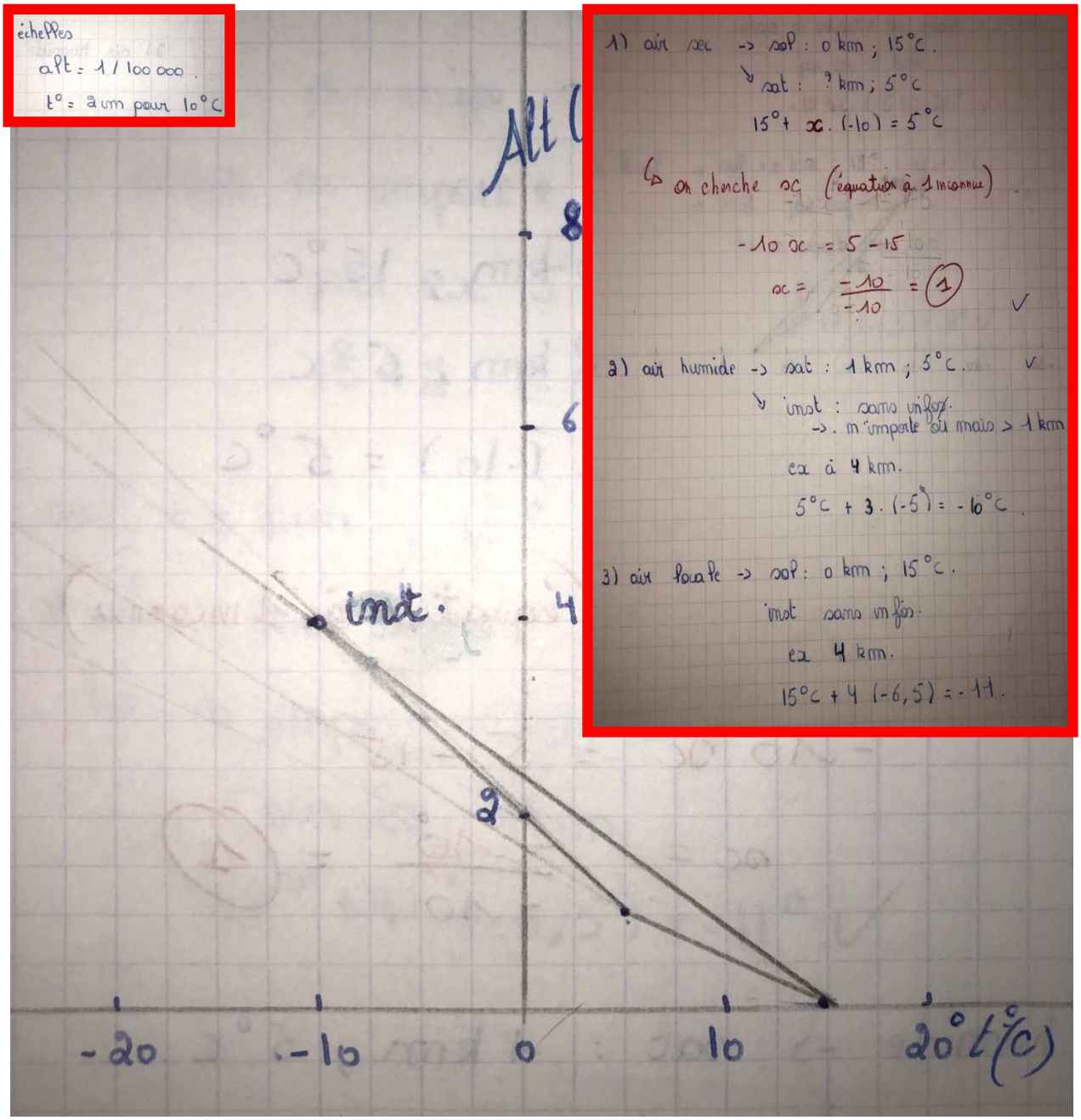


Conclusion :

Evaporation sur la courbe d'air sec de 0 à 3 km, passant de 25° à -5°C
Condensation sur la courbe d'air humide de 3 à 10 km, passant de -5° à -40°C
Précipitation ssi altitude >10km

2

	Altitude (km)	T° ©
Sol	0	+15
Saturation	?	+5
Instabilité	?	?



<u>Conclusion :</u>

Evaporation sur la courbe d'air sec de 0 à 1 km, passant de 15° à 5°C
Condensation sur la courbe d'air humide de 1 à 4 km, passant de 5° à -10°C
Précipitation ssi altitude > 4km

3

	Altitude (km)	T° ©
Sol	0	+15
Saturation	?	-15
Instabilité	?	?

4

	Altitude (km)	T° ©
Sol	?	+20
Saturation	4	-15
Instabilité	?	?

5

	Altitude (km)	T° ©
Sol	0	?
Saturation	?	?
Instabilité	8	-40

6

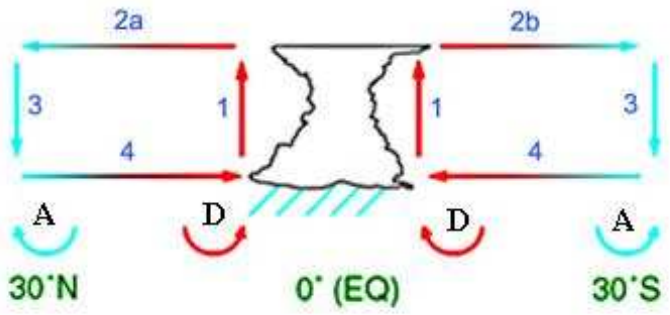
	Altitude (km)	T° ©
Sol	?	?
Saturation	4	-10
Instabilité	9	?

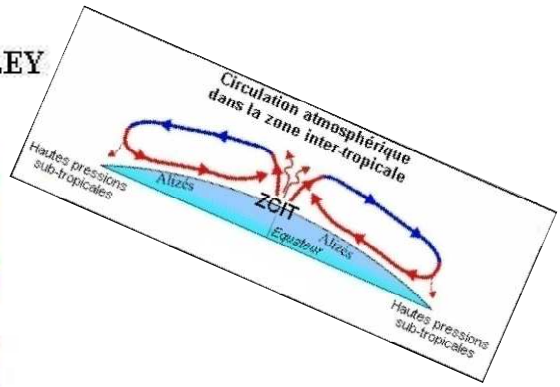
7

	Altitude (km)	T° ©
Sol	1	?
Saturation	?	?
Instabilité	8	-60

La cellule de Hadley : mécanisme de formation

COUPE VERTICALE DE LA CELLULE DE HADLEY



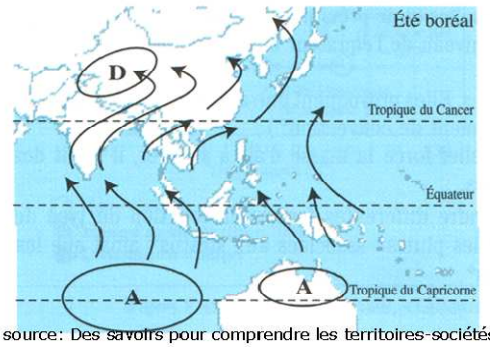


- Dans l'image, on voit en (4) que l'air chaud et humide converge à l'équateur parce que le facteur de Coriolis y est négligeable et que les vents n'y ont pas de direction privilégiée. L'air se déplace alors vers les zones de pression plus basses (4) où ils s'élèvent en formant des orages (1). C'est la zone dite de **convergence intertropicale (ZCIT)** où les précipitations sont très abondantes mais les vents faibles.
- Quand les parcelles d'air chaud et humide atteignent 12 à 15 km d'altitude, elles ne peuvent monter plus haut[23] ni ne peuvent rester à cet endroit à cause du flux constant venant des basses couches de l'atmosphère. Par conséquent, elles sont repoussées vers le nord (2a) ou le sud (2b) de l'équateur.
- En s'éloignant de l'équateur, la force de Coriolis augmente ce qui dévie les parcelles vers l'Est (du point de vue d'un observateur terrestre). En se déplaçant vers les Pôles, l'air se refroidit et il commence à descendre (3). On a donc un air sec qui en descendant se réchauffe (adiabatiquement). Cela se produit autour de 30 à 35 degrés N et S où l'on retrouve la zone de calme subtropical aride dominée par un anticyclone (HP).
- Finalement, l'air venant de l'anticyclone subtropical se dirige vers l'équateur pour compléter le cycle et cette fois, la force de Coriolis le dévie vers l'Ouest, ce sont les alizés.

L'**alizé** est un vent des régions intertropicales (entre 23°27’ nord et 23°27’ sud), soufflant d'est en ouest de façon régulière des hautes pressions subtropicales vers les basses pressions équatoriales. Dans l'hémisphère nord, il souffle du nord-est vers le sud-ouest, dans l'hémisphère sud du sud-est vers le nord-ouest, de manière à converger vers la zone équatoriale.

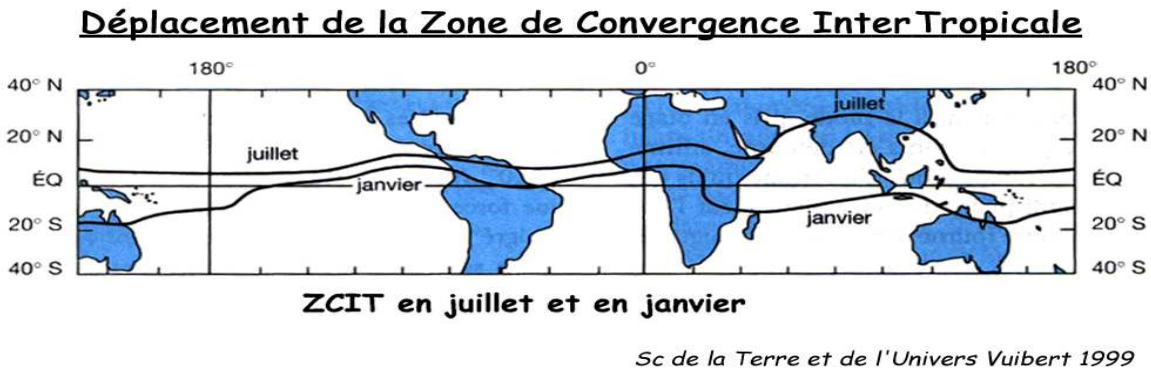
Les alizés sont au départ des vents secs puisque qu'ils résultent de la descente de l'air sec d'altitude. Mais les alizés continentaux, qui traversent des terres émergées et fréquemment arides, diffèrent par leur nature des alizés océaniques, qui soufflent longuement au-dessus de surfaces d'eau à température élevée et peuvent ainsi se régénérer en eau. (Exemple mousson en Inde…)

Le mécanisme des moussons en Asie



source: Des savoirs pour comprendre les territoires-sociétés

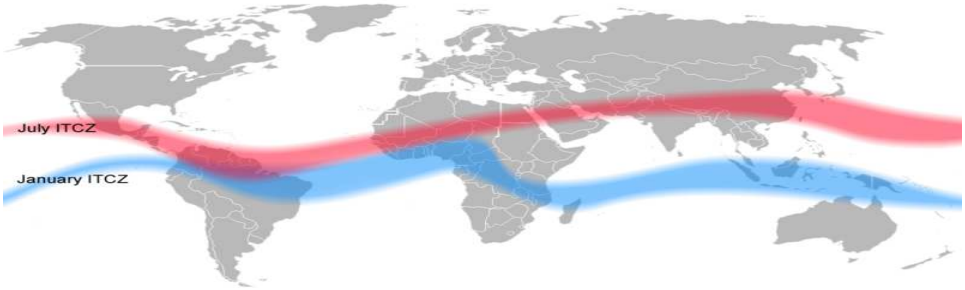
[23] Car on atteint la limite de la troposphère…couche de l'atmosphère où se déroule la quasi-totalité des phénomènes météorologiques.



Le déplacement saisonnier de la cellule de Hadley (et donc de la ZCIT)

La Zone de Convergence Intertropicale correspond à **l'équateur météorologique**: c'est la zone de rencontres entre les vents chauds (alizés) des 2 hémisphères. C'est une ceinture dépressionnaire qui se caractérise par la formation importante de cumulonimbus…des nuages à forte extension verticale et très chargé en humidité. De l'espace, on reconnait d'ailleurs la ZCIT par sa bande nuageuse entourant la Terre. La zone de convergence intertropicale (ZCIT) est donc une ceinture, de seulement quelques centaines de kilomètres du nord au sud, de zones de basses pressions entourant la Terre près de l'équateur. Elle est formée par la convergence des masses d'air chaudes et humides provenant des tropiques portées par les alizés. Elle est caractérisée par des mouvements convectifs et, en règle générale, par des formations importantes de cumulonimbus.

Les variations de la ZCIT ont un effet important sur les précipitations pour plusieurs nations équatoriales, produisant les saisons sèches et humides (moussons). Des anomalies prolongées de la ZCIT peuvent produire de graves inondations ou sécheresses dans les zones intertropicales.

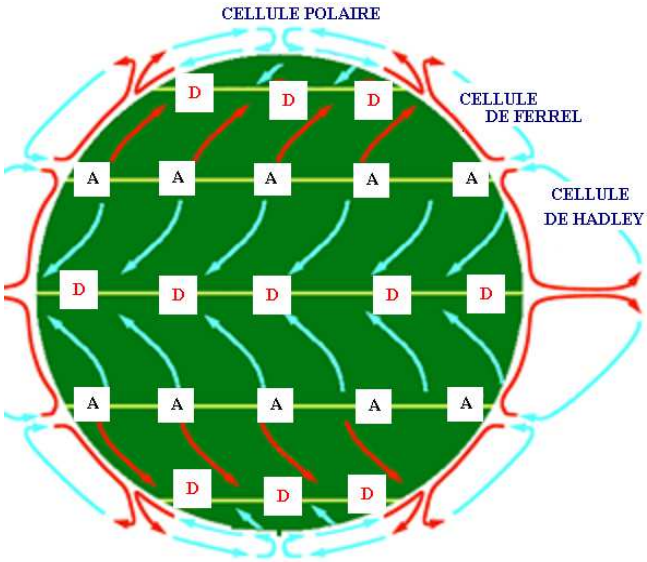


- En juillet, du fait de l'inclinaison de la Terre dans l'hémisphère nord, la zone qui reçoit le plus de chaleur de la part du soleil se trouve légèrement décalée vers le nord de l'équateur. En conséquence, la ZCIT se déplace vers le Nord.
- En janvier, l'échauffement est plus important vers le sud de l'équateur. La ZCIT se déplace donc vers le Sud.

La ZCIT est donc la zone d'échauffement maximal qui se déplace avec les saisons au cours de l'année entre les 2 tropiques. Elle remonte vers le nord en été, englobant l'Inde et le sud-est de l'Asie, et descend dans l'hémisphère sud en hiver, en passant exactement deux fois par an par l'équateur (21 mars et 23 septembre).

Explication du schéma de la circulation atmosphérique globale :

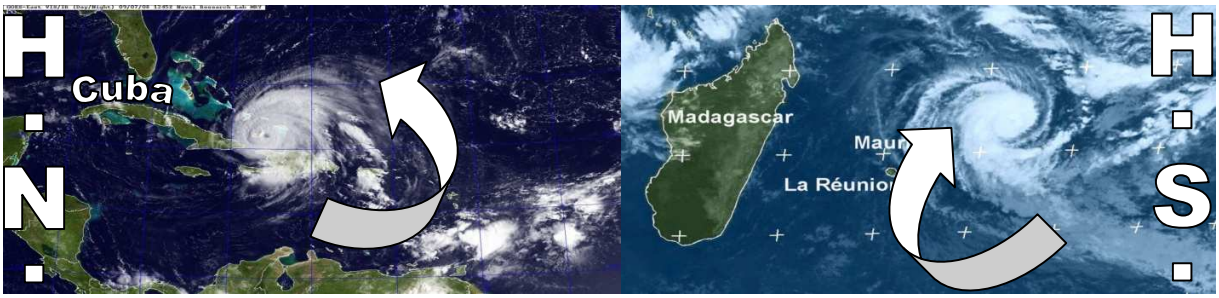
La répartition moyenne de la pression (graphique ci-dessous) permet de mettre en évidence des zones de hautes pressions et de basses pressions.



Le modèle général de circulation atmosphérique permet de considérer 3 cellules de convection dans chaque hémisphère : la cellule de **Hadley**, dont nous avons déjà parlé, la cellule de **Ferrel** située approximativement dans la zone ± 30° et ± 60° de latitude dans les 2 hémisphères, et les 2 cellules **polaires**, au-delà de ± 60°.

- L'air qui quitte les pôles est dévié, par la force de Coriolis, vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud. Cela produit les **vents d'Est polaires**.
- L'air qui se déplace des latitudes de 30° (HP) vers les latitudes de 60° (BP) est dévié vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud pour produire les **vents d'Ouest. (westerlies)**
- De la même façon, l'air qui se dirige des latitudes 30° vers l'équateur est dévié. Cela produit près du sol les vents nommés **alizés** qui se rencontrent à l'équateur.

Les cyclones tropicaux :



Quand et comment se forme un cyclone ?

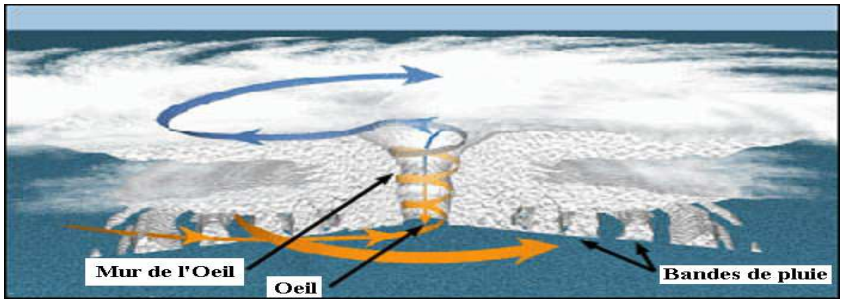
A partir de la fin du mois d'Août et jusqu'à la moitié du mois d'Octobre, les paquets nuageux (cumulonimbus) que l'on voit au-dessus du Golfe de Guinée peuvent atteindre les côtes américaines en s'amplifiant. On parle alors de dépression tropicale et de cyclone. Pour qu'un cyclone se crée, il faut un fort échauffement de l'eau des océans en plus de l'air ambiant dans l'atmosphère. Ainsi, la formation d'un cyclone nécessite une température de l'océan supérieure à **26°C sur une profondeur d'au moins 60 mètres.**

Un cyclone désigne une grande zone où l'air atmosphérique est en rotation autour d'un centre de basse pression local. Il s'agit donc d'une dépression extrême avec des vents tourbillonnaires, extrêmement violents. En dehors de la zone centrale calme, l'œil du cyclone, le vent croît de la périphérie vers le centre où il peut atteindre 260 km/h. Cette rotation affecte une masse d'air chaude qui va monter brutalement, entraînant une nébulosité et des pluies intenses. L'œil du cyclone est lui caractérisé par une colonne d'air descendante. Il se manifeste par une éclaircie souvent totale dont la base a un diamètre d'environ 30km.

Source et lieu de formation :

L'eau chaude est la source d'énergie des cyclones tropicaux. Ils se forment donc sur les mers chaudes (26°C) où le mouvement de convection est plus important. Lorsque le cyclone arrive sur le continent, il meurt car il n'est plus alimenté par cette forte humidité.

Presque tous les cyclones tropicaux se forment à moins de 30° de l'équateur et 87% à moins de 20° de celui-ci. Comme la force de Coriolis donne aux cyclones leur rotation initiale, ceux-ci se développent cependant rarement à moins de 10° de l'équateur car la force de Coriolis y est trop faible pour amorcer le mouvement tourbillonnaire.



L'OCÉAN

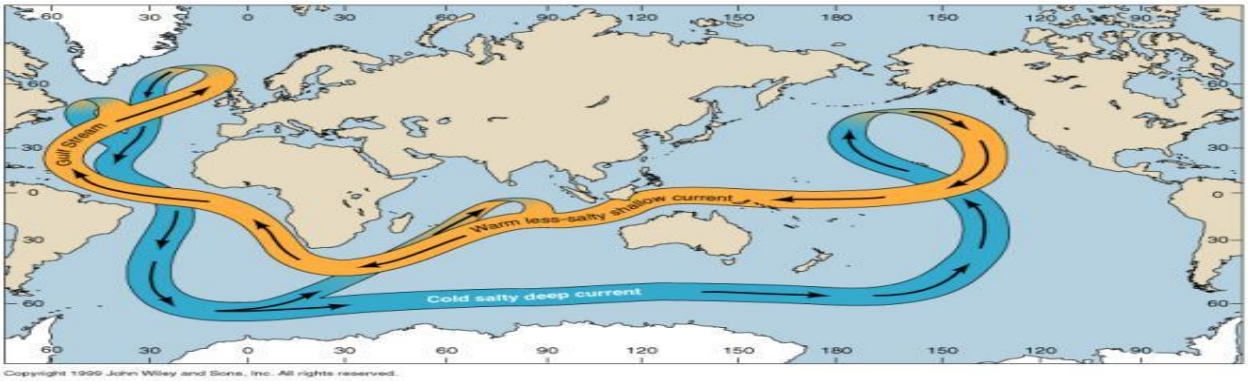
L'océan est un grand réservoir d'eau salée dont la surface couvre 70 % de la Terre, et dont la profondeur moyenne est de 3,7 km.

Bateau en mer de Weddell

La salinité et la température de l'eau varient d'un point à l'autre. Les masses d'eau circulent dans l'océan mondial en se mélangeant très peu les unes aux autres. De ce fait, leur température et leur salinité évoluent très lentement et servent aux océanographes pour tracer la provenance de ces masses d'eau. On estime qu'une molécule d'eau fait le circuit entier en environ 1000 ans. La salinité et la température de l'eau étant variables, il en résulte des différences de densité d'une masse d'eau à l'autre. Ces différences sont la cause d'une circulation, profonde, appelée circulation thermohaline[24].

Les eaux, refroidies et salées plongent au niveau des hautes latitudes (Norvège, Groenland, ...) et descendent vers le sud à des profondeurs comprises entre 1 et 3 km. Elles sont réchauffées sous les Tropiques, et remontent alors à la surface, où elles se refroidissent, et ainsi de suite.

Une eau froide, ayant une forte concentration en sel, sera dense, alors qu'une eau chaude pauvre en sel sera peu dense. Dans les régions polaires (océan Arctique et mer de Weddell), l'eau de mer, froide donc dense, se transforme en glace. Lors de la solidification, le sel est rejeté (la glace n'en contient pas ou peu) et enrichit donc l'eau liquide en sel. Ceci la rend encore plus dense, et elle plonge donc vers les fonds marins.

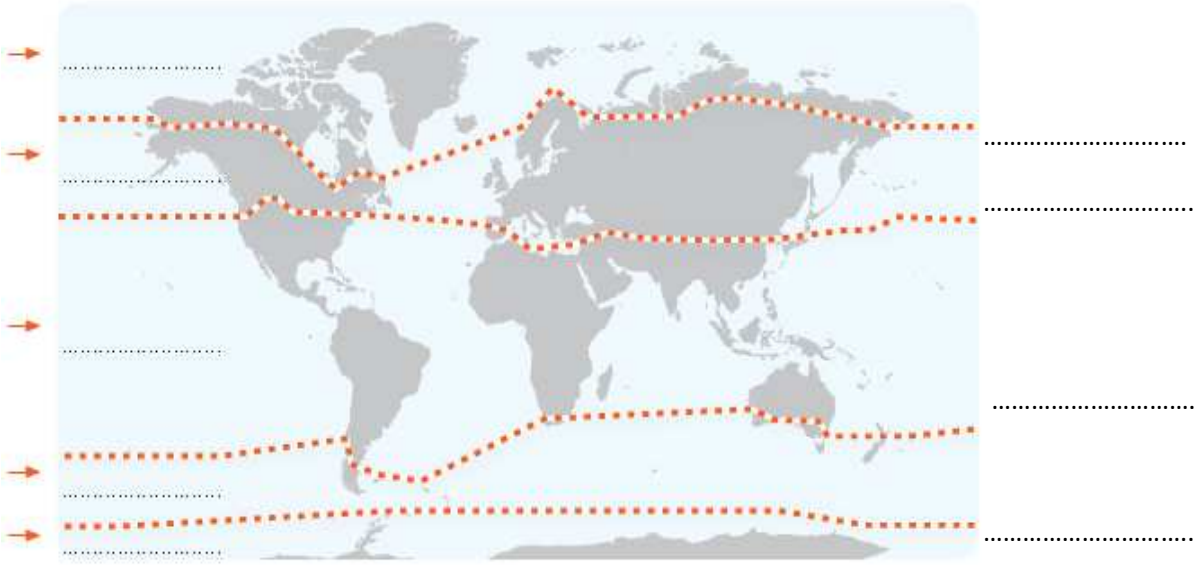


Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

[24] Thermohaline : Du grec thermos = chaud et halos = sel, circulation liée à la température et la salinité.

Les différents climats

Zone climatique chaude, tempérée ou froide ?



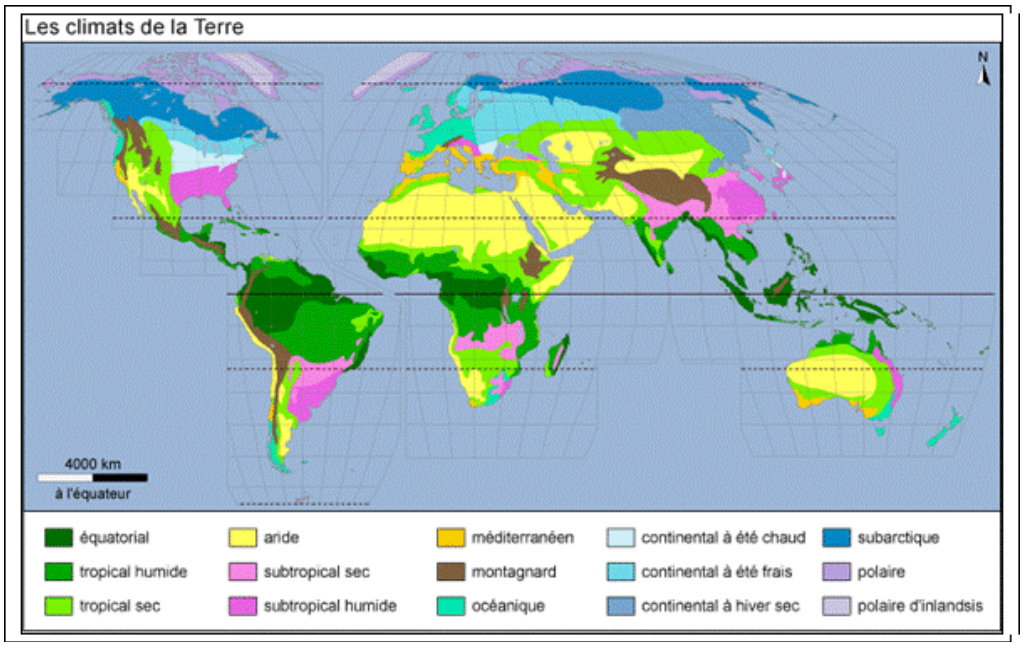
- Ecris sur les pointillés à gauche, le terme correspondant à chaque zone climatique (chaude, froide ou tempérée). Un même terme peut être utilisé plusieurs fois.
- Ecris sur les pointillés à droite, l'isotherme correspondante à chaque transition de zone climatique (0°C, 20°C). Un même terme peut être utilisé plusieurs fois.

Observez les températures de l'Equateur vers les Pôles. Les températures varient avec la ……
Les 3 zones climatiques (chaude – tempérée – froide) regroupent plusieurs climats :

Relie chaque climat à sa zone :

a. Océanique	1. Zone climatique chaude
b. Tropical sec	
c. Polaire	2. Zone climatique tempérée
d. Continental	
e. Désertique	3. Zone climatique froide
f. Equatorial	
g. Méditerranéen	
h. Tropical humide	

On distingue 3 grandes zones climatiques : chaudes, froides, et tempérés. Au sein de ces zones existent 8 principaux climats, dont la répartition suit une logique latitudinale ; de l'équateur vers les pôles…



Les climats chauds :

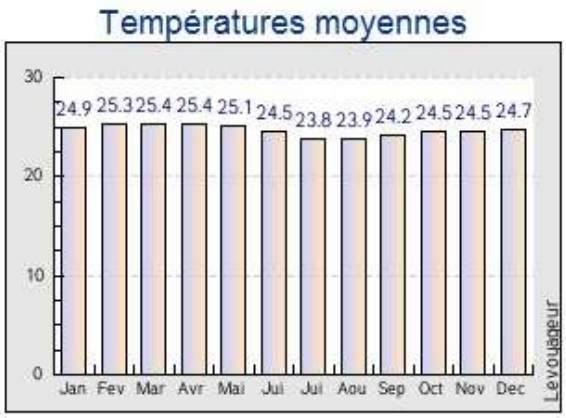
Cette zone comprend le climat équatorial, auquel font suite, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur : le climat tropical humide, tropical sec, et désertique.

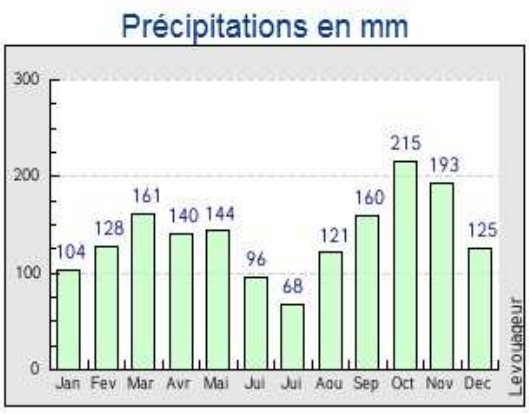
Le climat équatorial :

- Une seule saison : chaude et humide.
- Températures : élevées toute l'année, entre 25 et 27°C.
- Amplitude thermique annuelle : négligeable (<5°C), car toute l'année le soleil monte haut dans le ciel ET toute l'année la durée du jour = nuit (constance…).
- Précipitations : abondantes, entre 2000 et 4000 mm/an. Il pleut tous les jours, en général en fin d'après-midi sous forme d'orages, car le fort échauffement permanent du sol maintient la région dans une zone de basse pression et provoque l'ascendance de l'air qui donne lieu à des pluies d'origine convective. On peut remarquer qu'il y a 2 maxima aux équinoxes où l'évaporation est plus forte car le soleil y est exactement au zénith.
- Sa végétation naturelle est la forêt dense.

Exemple : Mbandaka (RDC) 3° N

- T° annuelle : 24°C
- Amplitude thermique annuelle négligeable (<5°C) : 1°C
- Total des précipitations annuelles : 1678 mm





Analyse détaillée :

Inclinaison de l'axe de rotation de la Terre : rayons solaires peu inclinés ou fortement ?.....

La quantité d'énergie calorifique reçue par unité de surface est peu ou très importante ?.....

Les variations de l'inclinaison des rayons solaires au cours de l'année sont faibles ou forts ?.....

Comment est l'amplitude thermique ? ……

Quelle est la température moyenne annuelle ? ……..

Quel est le total des précipitations ?.....

Le climat équatorial est caractérisé par :

_____

_____

Le climat tropical humide ou sec :

Quand on s'éloigne de l'équateur, une saison sèche apparaît, qui s'allonge au fur et à mesure qu'on se rapproche des tropiques. C'est la durée de la saison sèche qui va nous permettre de faire la différence entre un climat tropical humide et un climat tropical sec :

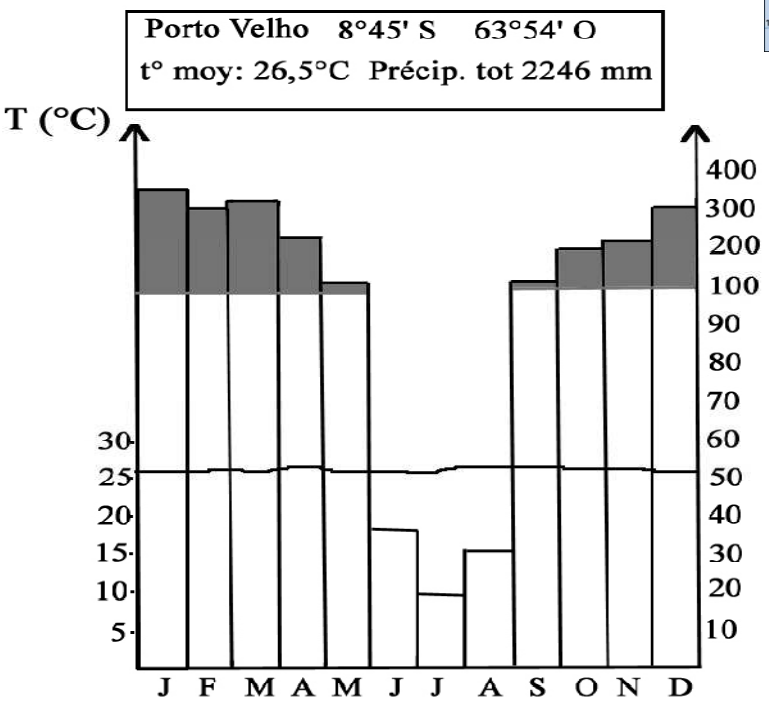
- Tropical humide : si le nombre de mois secs[25] < 6 mois
- Tropical sec : si le nombre de mois secs > 6 mois

[25] Un mois sec est un mois où les précipitations sont inférieures à 2 fois les températures, selon la règle **P=2T**
⟶ *On comprend donc bien qu'un mois sec n'est pas un mois où il ne pleut pas du tout mais un mois où il pleut en dessous d'un certain seuil dépendant des températures.*

- Un climat tropical est un climat où la température moyenne mensuelle ne descend pas en dessous de 18°C tout au long de l'année.
- L'amplitude thermique peut être plus grande que dans les climats équatoriaux, même si elle reste faible (<10°C). Cela s'explique à cause de la variation légèrement plus forte de la hauteur maximale du soleil et de la durée du jour au cours de l'année qui n'est plus aussi constante.
- Les précipitations tombent quand l'échauffement est maximal, lorsque la BP équatoriale atteint la région. La sécheresse est due à la présence de la HP subtropicale.
- C'est donc la pluviosité qui définit avant tout les saisons. Il existe une saison sèche (faibles températures, précipitations quasiment nulles) et une saison humide (hautes températures, très fortes précipitations) selon la position de la ZCIT.

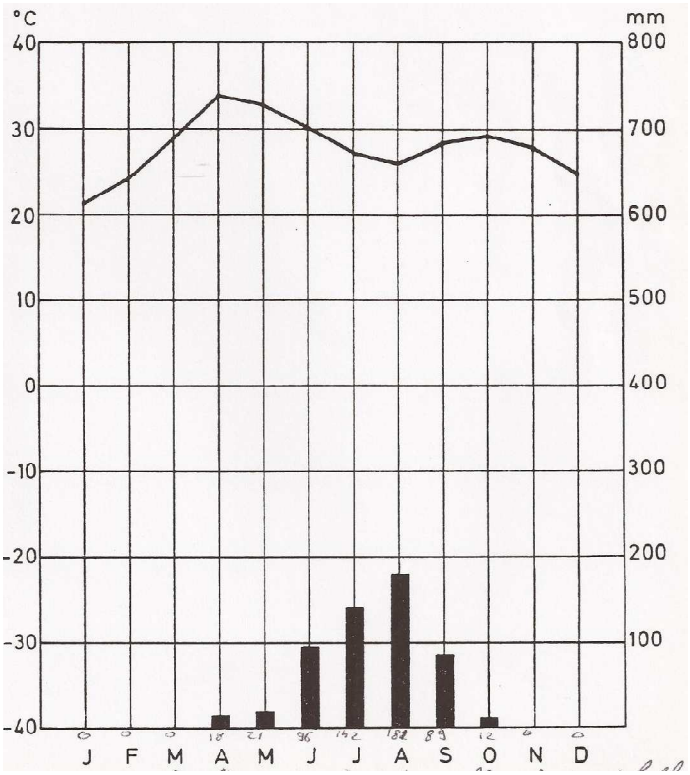
<u>Exemple de tropical humide :</u> Porto Velho (Brésil) 8°S

- T° annuelle : 26,5°C
- Amplitude thermique annuelle négligeable (<5°C) : 1°C
- Total des précipitations annuelles : 2246 mm



<u>Exemple de tropical sec :</u> Niamey (Niger) 13°N

- T° annuelle : 27,9°C
- Amplitude thermique annuelle faible (<10°C) : 9,5°C
- Total des précipitations annuelles : 551 mm



Le climat tropical est caractérisé par :

_____

_____

_____

_____

La ZCIT oscille en fonction des saisons. Elle se retrouve tantôt plus au Nord (juillet), tantôt plus au sud (janvier). Car le soleil passe au Zénith deux fois par an, à la latitude des régions concernées. Les régions tropicales subissent des pluies en fonction du passage de cette ZCIT. C'est alors la saison des pluies qui commence.

Une même région, par exemple celle située à proximité du Tropique du Cancer, subira tantôt une saison sèche (hiver), tantôt une saison humide (été).

A quel moment approximatif, fera-t-il plus sec au niveau du Tropique du Cancer ?.....

Le climat de mousson : Bombay (Inde) 18°N

C'est un type particulier du climat tropical humide. Avec une saison des pluies particulièrement forte. On le retrouve surtout dans l'Asie du Sud-Est.

Exemple : **Bombay** 18° 55'N.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
24°4	24°3	26°4	28°4	29°9	28°9	27°4	27°1	27°2	28°0	27°0	25°2

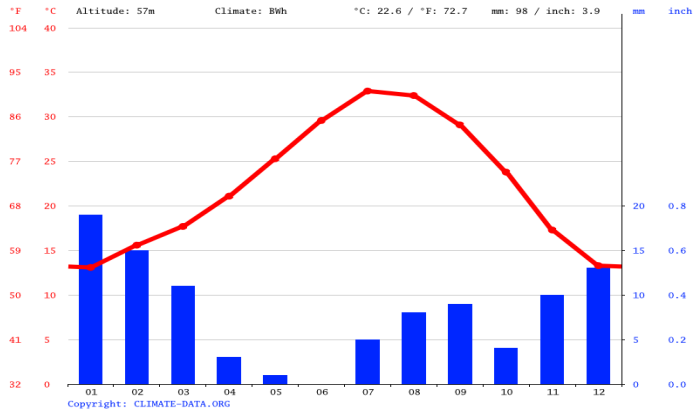
moyenne annuelle : 27°0

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3	2	1	1	17	504	614	370	261	47	11	1

total annuel : 1840 mm.

Le climat désertique chaud :

Le climat est désertique car la région est toute l'année située dans la zone de HP subtropicale. C'est le cas de Palm Springs qui affiche une température annuelle moyenne de 22.6 °C. La moyenne des précipitations annuelles atteint 98 mm.



Ce sont les zones intertropicales que la ZCIT n'atteint pas, le climat est désertique car la région est toute l'année située dans la zone de haute pression subtropicale (cellule de Hadley). La subsidence (mouvement vers le bas) atmosphérique est donc très forte. C'est les régions de grands déserts.

Le climat désertique chaud est caractérisé par :

_____

_____

_____

Les climats tempérés

La zone tempérée a ses climats rythmés par **4 saisons** et commandés par la proximité à la mer: les climats océaniques sont en contraste, sur un même parallèle, avec les climats continentaux. C'est ce qu'on appelle **l'effet de continentalité.**

Dans ces zones tempérées, on assiste également à des **changements de temps fréquents** à cause de la présence du front polaire, c'est-à-dire la rencontre des masses d'air froides venues des pôles et les masses d'air chaudes venues des tropiques.

Le climat méditerranéen :

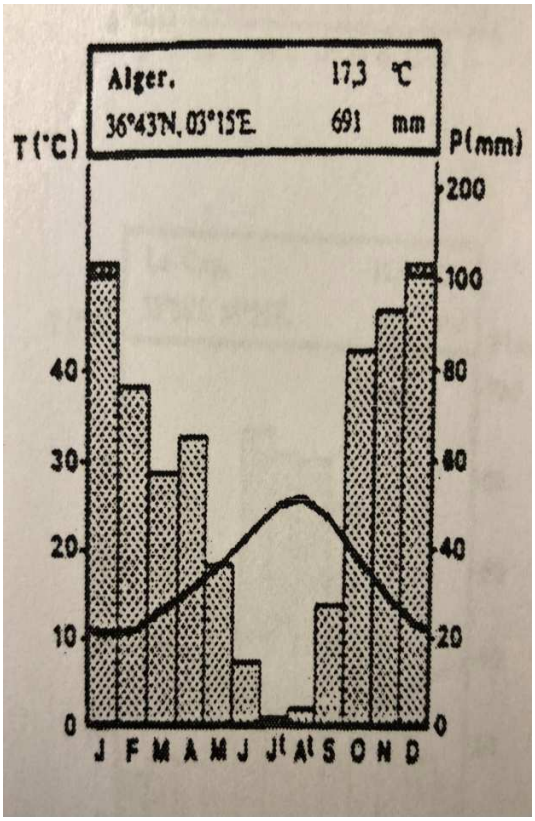
L'été est chaud et sec avec des températures moyennes comprises entre 20 et 30°C, car les HP subtropicales s'étendent jusque dans cette zone climatique à cette saison.

L'hiver est doux (t° comprises entre 5 et 15°C) et humide (entre 400 et 800 mm/an) car les BP tempérées ont alors remplacées les HP subtropicales.

Ce climat, dont les précipitations sont liées à des vents d'ouest, est typique des façades ouest des continents (ex, le sud de la Californie)

<u>Exemple : Alger, 36°N</u>

T° moyenne annuelle: 17, 3°C
Précipitations totales annuelles: 691mm



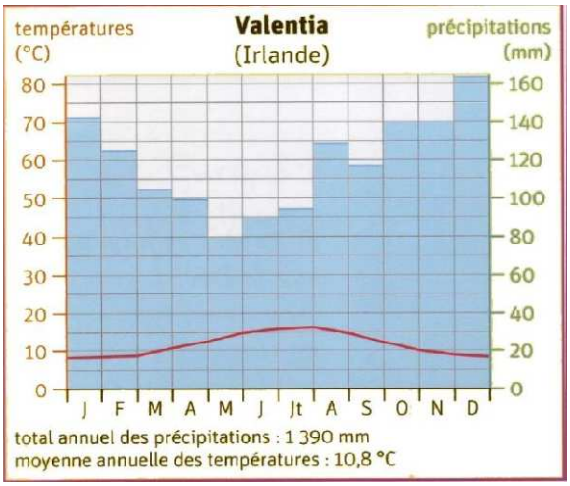
Le climat océanique :

Pour une telle latitude, **l'amplitude thermique est faible**. En effet, les étés sont assez frais (15°C) et les hivers relativement doux (5°C), aux gelées exceptionnelles. Cela s'explique par la présence d'un océan à l'ouest et donc des côtes longées par des courants marins chauds.

Les **précipitations** sont **abondantes** (1000mm) toute l'année car ces régions se situent dans la zone de BP tempérées : toute l'année, les vents d'ouest amènent des précipitations.

Exemple : Valentia (Irlande) 51°N

- T° moyenne annuelle : 10.8°C
- Amplitude t°. annuelle : 7.9°C
- Précipitations totales annuelles : 1390 mm



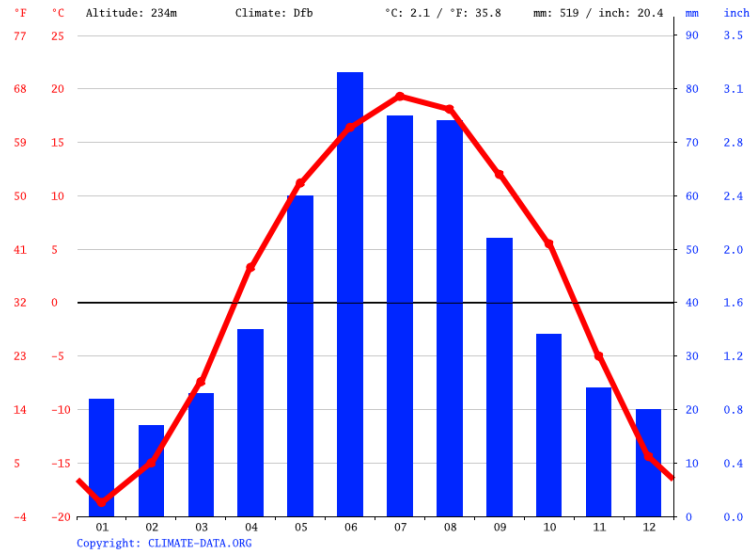
Le climat continental :

A mesure que l'on s'éloigne de l'océan, les hivers deviennent plus rigoureux et les étés plus chauds, ce qui donne une amplitude thermique de plus en plus forte au fur et à mesure qu'on rentre à l'intérieur des terres.

Le faible total de précipitations est également lié à la situation de la station, loin des sources d'humidité.

Exemple : Winnipeg (Canada) 49°N

- T° moyenne annuelle : 2.1°C
- Amplitude annuelle : 37.9°C
- Précipitations totales annuelles : 519mm



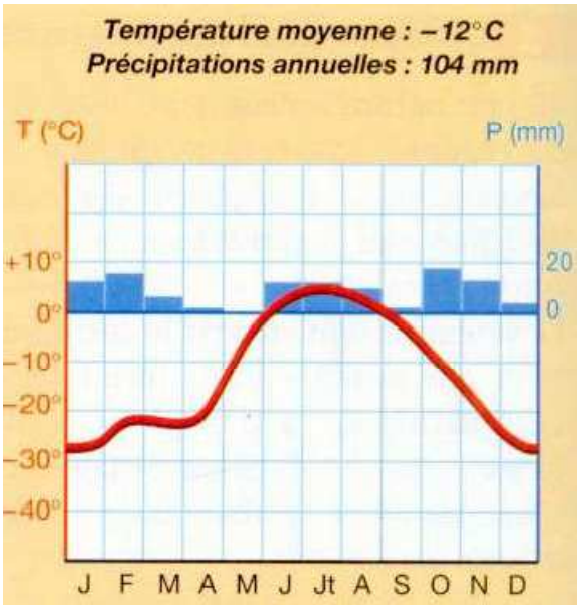
Le climat froid :

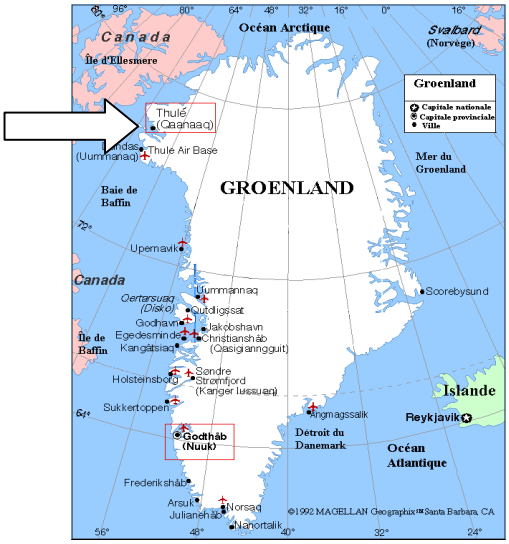
L'aire d'extension des climats froids commence à partir des cercles polaires (66°33') jusqu'aux pôles.

Les **températures** y sont la plupart du temps négatives et l'hiver dure pratiquement toute l'année.

Les **précipitations** sont très faibles car il y a peu d'évaporation, et donc la convection et la quantité de vapeur que peut contenir l'air froid sont très faibles !

Exemple : Thulé (Groenland) 76°N





Lexique

- **Anticyclone (zone de haute pression) :** Généralement annonciateur de beau temps. Il désigne une zone avec des isobares fermées, où la pression de l'air est plus haute qu'aux alentours. Symbole H sur les cartes météo.
- **Dépression (zone de basse pression) :** Généralement, annonciatrice de mauvais temps. Elle désigne une zone avec des isobares fermées, où la pression de l'air est plus basse qu'aux alentours. Souvent associée à une perturbation et à du vent plus ou moins fort. Symbole L sur les cartes météo.
- **Front :** Zone qui sépare deux masses d'air de caractéristiques différentes, qui est presque toujours accompagnée d'une bande nuageuse. Lorsque deux masses d'air se déplacent l'une vers l'autre, l'air le plus chaud, de par sa faible densité, est forcé de circuler au-dessus de l'air froid. Cet échange refroidit l'air, ce qui entraîne une formation de nuages et par la suite, éventuellement, des précipitations.
- **Hectopascal (hPa) :** Unité de mesure de la pression atmosphérique.
- **Instable (zone) :** Région ou couche de l'atmosphère dans laquelle les mouvements verticaux sont amplifiés.
- **Isobare :** Courbe fermée qui relie tous les points d'une carte ayant la même pression atmosphérique. Les isobares permettent de repérer les zones de haute pression ou de basse pression. Plus les isobares sont proches les unes des autres, plus le vent est fort.
- **Masse d'air :** Zone de l'atmosphère où les conditions de température, de pression et d'humidité principalement, sont homogènes. Les masses d'air sont séparées entre elles par des zones de transition assez brusques : les fronts.
- **Nuage :** Mélange d'air humide et de gouttelettes d'eau (et/ou de cristaux de glace) en suspension dans l'atmosphère. Ils sont classés en 10 genres en fonction de leur apparence et de leur altitude : Cirrus (Ci), Cirrocumulus (Cc), Cirrostratus (Cs), Altocumulus (Ac), Altostratus (As), Nimbostratus (Ns), Stratocumulus (Sc), Stratus (St), Cumulus (Cu), Cumulonimbus (Cb).
- **Perturbation :** Modification de l'état de l'atmosphère, caractérisée par des vents violents et des précipitations.