

Îlot sur les changements climatiques

Afin de permettre aux élèves l'élaboration de la grille d'analyse du panorama, voici des hyperliens vers trois articles tirés de cyberpresse à distribuer en classe.

1) Drôle de monde

<http://www.cyberpresse.ca/le-quotidien/opinions/chroniqueurs/200810/22/01-31800-drole-de-monde.php>

2) Des emplois verts pour sortir du marasme

<http://www.cyberpresse.ca/le-soleil/actualites/environnement/200810/19/01-30868-des-emplois-verts-pour-sortir-du-marasme.php>

3) L'atmosphère urbaine pourrait devenir insupportable.

<http://www.cyberpresse.ca/environnement/pollution/200810/22/01-31724-atmosphere-urbaine-pourrait-devenir-insupportable.php>

L'anhydrase carbonique

« Quand vous commandez de l'eau gazeuse, c'est pour les bulles. Le pétilllement délicieux vient d'un gaz, mais pas n'importe lequel : le gaz carbonique. Certaines boissons sont pleines de bulles d'azote, par exemple, mais leur pétilllement passe quasiment inaperçu. Comme un pétard mouillé. C'est le dioxyde de carbone libéré par les bulles qui, en s'hydratant sur notre langue, produit de l'acide carbonique et cause ainsi la sensation familière de picotement. La réaction chimique incriminée est la suivante :



L'hydratation du gaz carbonique (CO₂) qui génère de l'acide carbonique (HCO₃⁻) et un proton (H⁺) – ou la réaction inverse – a lieu spontanément lorsque les composés chimiques adéquats se trouvent en présence, et ce, quelque que soit le moment ou le lieu. Cependant, comme c'est le cas pour de nombreux processus chimiques naturels, quand une enzyme s'en mêle, ça va beaucoup plus vite. L'anhydrase carbonique est l'enzyme au coeur des réactions réversibles d'hydratation du dioxyde de carbone et de déshydratation de l'acide carbonique. Et elle est redoutablement efficace puisqu'elle peut accélérer ces réactions d'un facteur d'environ un million!

Cette réaction se produit dans de nombreux organismes – des bactéries au poulet, en passant par le petit pois – et on l'observe dans de nombreux tissus. Chez l'humain, on connaît actuellement une famille de treize enzymes qui la catalysent : certaines baignent à l'intérieur de la cellule, d'autres sont liées à la membrane cellulaire, d'autres encore sont sécrétées dans notre salive. Leur rôle est de fournir des protons, du dioxyde de carbone et de l'acide carbonique pour leur transport ultérieur à l'intérieur ou l'extérieur de la cellule. Ainsi impliquées dans le convoi de molécules aussi importantes, il n'est pas surprenant que ces enzymes participent à des processus physiologiques aussi cruciaux que la respiration, l'homéostasie du pH, la gluconéogenèse ou la résorption de l'os.

En conséquence, si, pour une raison ou une autre, l'anhydrase carbonique est dysfonctionnelle, bien que la réaction se fasse spontanément, la vitesse de réaction devient insuffisante. Dans ces conditions, nous pourrions suffoquer par empoisonnement au dioxyde de carbone ou souffrir de calcifications cérébrales, rigidité musculaire ou encore de dysfonction rénale. Nous pourrions aussi perdre la perception du pétilllement, une particularité qui met tant de joie dans la dégustation du champagne. Si c'est sans doute le moindre des désagréments, ce serait quand même bien dommage! »

Source : <http://www.expasy.org/prolune/instantanes/036/>

Le cycle du carbone

Le carbone est un élément qui peut se trouver sous forme organique (dans les êtres vivants) liés à des atomes d'hydrogène H, d'azote N, de phosphore P.... Le carbone inorganique se trouve sous forme de CO_2 , ou de Ca CO_3 (calcaire), par exemple.

Le carbone est un élément des deux principaux gaz à effet de serre, le CO_2 et le CH_4 .

Il existe quatre réservoirs de carbone : la lithosphère, l'hydrosphère, l'atmosphère et la biosphère. Les échanges de carbones ont lieu entre ces quatre réservoirs à des vitesses différentes (voir le schéma ci-dessous).

Les flux rapides se produisent entre l'atmosphère, d'une part, et la biomasse ou les océans, d'autre part. Ils sont susceptibles d'avoir des conséquences à court terme sur le climat (d'une décennie à quelques siècles).

Les flux assez lents, entre la biomasse vivante et celle qui est morte ainsi qu'entre les carburants fossiles et l'atmosphère, ont des conséquences qui ne s'observent que sur le moyen terme, soit sur quelques siècles.

Les flux très lents qui impliquent le carbone fossile et le calcaire ont des conséquences qui ne s'observent que sur un terme de plusieurs millions d'années. Ces flux sont trop lents pour être à l'origine du récent changement climatique.

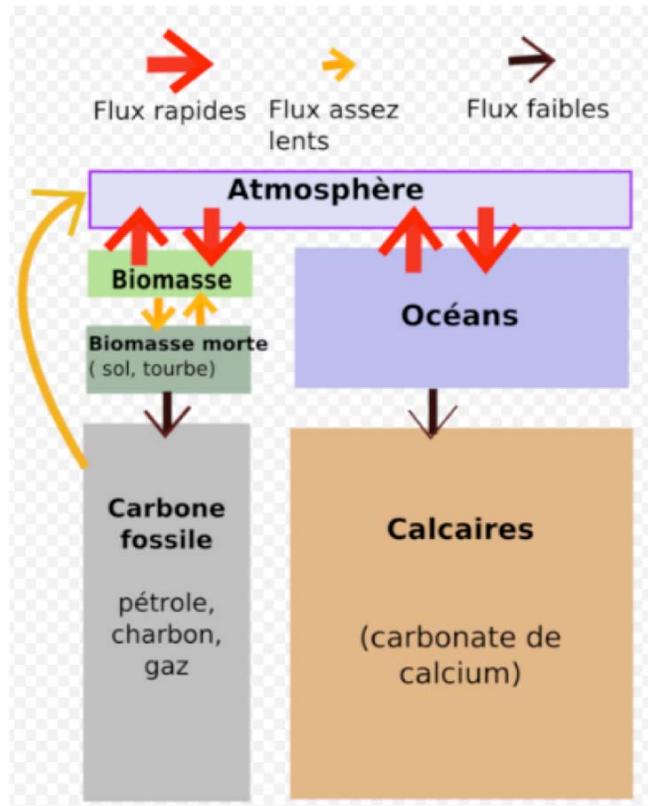


Image : maxime lev, Licence GNU

Échanges atmosphère-biosphère

Le flux de carbone de l'atmosphère vers la biosphère est assuré par la photosynthèse. Le sens inverse est causé par la respiration, la fermentation est la déforestation.

Échanges atmosphère-hydrosphère

Le CO₂ est très soluble dans l'eau et cette solubilité dépend de la température de celle-ci. Du fait de l'importance du volume des océans, la capacité de stockage des couches supérieures de l'hydrosphère, c'est-à-dire jusqu'à 100 m, est importante. En milieu aqueux, le CO₂ se transforme hydrogénocarbonate (HCO₃⁻).

Échanges biosphère-lithosphère

Ces échanges sont dus à la fossilisation des êtres vivants morts et demandent plusieurs millions d'années.

Échanges hydrosphère-lithosphère

La sédimentation océanique des coquilles des crustacés, des mollusques ou des algues planctoniques se forme par précipitation du calcaire à partir des éléments dissous. Ce calcaire ou carbonate de calcium (CaCO₃) reste stocké pendant des centaines de millions d'années.

Échanges lithosphère-atmosphère

Ils sont en majorité d'origine humaine et sont dus à la combustion d'énergie fossile et à la fabrication du ciment.

Effets du réchauffement climatique sur le cycle du carbone

La combustion de source d'énergie fossile augmente le flux de carbone de la lithosphère vers l'atmosphère, ce qui augmente le taux de CO₂ dans l'atmosphère avec pour conséquence d'augmenter l'effet de serre de la planète.

La déforestation provoque un surplus de carbone dans l'atmosphère, provenant de la biomasse.

L'élevage intensif de bétail a pour effet d'augmenter le taux atmosphérique de CH₄, un autre gaz à effet de serre important.

Le réchauffement climatique diminue la dissolution du CO₂ dans les océans. En effet, la solubilité du dioxyde de carbone dans les océans diminue avec l'augmentation de la température de ces derniers. Ainsi, la capacité de stockage des océans diminue et ils se mettent à rejeter du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

De même, le réchauffement climatique peut diminuer le transfert du CO₂ vers les eaux profondes, et donc diminuer encore davantage sa dissolution dans les eaux superficielles.

Le réchauffement climatique augmente la dégradation de la matière organique des sols gelés (pergélisol) et des milieux tourbeux ce qui rejette du CO₂ et du méthane, aggravant l'effet de serre additionnel.

Médiagraphie

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

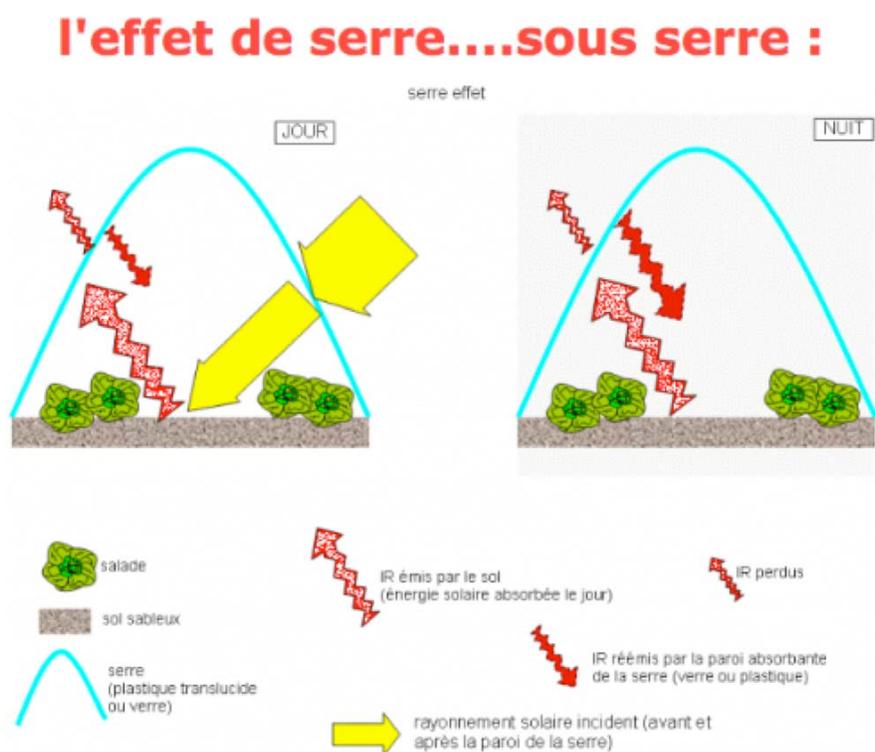
<http://www.manicore.com/>

L'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel de réchauffement de l'atmosphère sous l'effet des rayonnements solaires.

On nomme ce phénomène ainsi par analogie avec les constructions transparentes destinées à la culture de plantes, qui laissent passer le rayonnement solaire visible mais qui conservent une partie du rayonnement infra rouge réémis par le sol et les plantes à l'intérieur de la serre, ce qui a pour effet d'augmenter la température intérieure de celle-ci. Le verre de la serre joue un rôle analogue à celui de l'atmosphère dans sa fonction de rétention des rayons infra rouges.

Sans le phénomène de l'effet de serre, la température moyenne de la terre serait de -18°C au lieu de 15°C .



[Image](#) : Alain Gallien

Mécanisme de l'effet de serre

Le rayonnement solaire est en partie réfléchi (environ $1/3$ des rayons) et en partie absorbé (environ $2/3$ des rayons) par l'atmosphère et la surface de la terre. Les rayonnements absorbés par la surface du sol transfèrent leur énergie à celui-ci, ce qui se traduit par un réchauffement de la

surface terrestre. Cette énergie est restituée en direction de l'atmosphère sous la forme de rayons infra rouges. Une partie de ce rayonnement est alors absorbée par les gaz à effet de serre, ce qui réchauffe l'atmosphère. Cette chaleur est réémise dans toutes les directions, notamment vers la Terre. C'est ce rayonnement qui retourne vers la Terre qui constitue l'effet de serre et qui est à l'origine d'un apport supplémentaire de chaleur.



Image : <http://effetdeserre.canalblog.com/>

Les Gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre (GES) sont des gaz qui font partie de l'atmosphère et qui contribuent à l'effet de serre en absorbant une partie des rayons à infra rouge qui sont émis par la surface de la Terre.

On peut distinguer les gaz qui existent naturellement dans l'atmosphère de ceux qui proviennent de l'industrie. Également, la concentration de certains gaz présents naturellement peut être augmentée artificiellement par les activités humaines.

Les principaux gaz à effet de serre présents naturellement dans l'atmosphère sont les suivants :

- la vapeur d'eau
- le dioxyde de carbone (CO₂)
- le méthane (CH₄)
- l'oxyde nitreux (N₂O également appelé protoxyde d'azote)
- l'ozone (O₃)

Les gaz à effet de serre d'origine industrielle sont principalement des halocarbones lourds (Chlorofluorocarbones comme le fréon, HFC, perfluorométhane, etc.) et l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Quelle que soit leur origine, ces gaz ont pour caractéristique commune d'absorber une partie des rayons infra rouges émis par la surface de la Terre.

Les GES industriels sont présents dans l'atmosphère à une proportion moindre que les GES naturels, mais leur pouvoir de réchauffement est plusieurs milliers de fois plus élevé que celui du CO₂.

Le tableau ci-dessous donne une liste des principaux gaz à effet de serre, d'origine naturelle ou artificielle.

Nom du gaz	Origine	Provenance	Pouvoir de réchauffement global	Demi-vie dans l'atmosphère
Vapeur d'eau	naturelle	Évaporation		Quelques jours
CO ₂ dioxyde de carbone	naturelle	Respiration Éruptions Décomposition Combustion d'énergie fossile	1 (valeur de référence)	100 à 120 ans
CH ₄ méthane	naturelle	Élevage Culture du riz Combustion de biomasse	21 fois celui du CO ₂	10 à 14 ans
O ₃ ozone	naturelle		3 fois celui du CO ₂	0,1
N ₂ O oxyde nitreux	naturelle	Agriculture Anesthésie	310 fois celui du CO ₂	120 à 150 ans
CFC chlorofluorocarbones	artificielle	Réfrigérants Aérosols	6500 à 10 000 fois celui du CO ₂	65 à 1000 ans
SF ₆ hexafluorure de soufre	artificielle	Métallurgie Armée Transformateurs Double vitrage	23 900 fois celui du CO ₂	3200 ans
CF ₄ perfluorométhane	artificielle		5 600 fois celui du CO ₂	50 000 ans

Pouvoir de réchauffement global

Le pouvoir de réchauffement global (PRG) d'un gaz mesure son impact sur l'effet de serre. Cet impact dépend de la capacité de ce gaz à absorber les rayons infra rouges ainsi que de son temps de demi-vie dans l'atmosphère. Les valeurs habituelles sont calculées pour un horizon de 100

ans. Ainsi, on peut voir dans le tableau ci-dessus qu'un kilo de méthane a un impact sur l'effet de serre qui est 21 fois plus fort que celui du CO₂.

Pour un gaz donné, le PRG est donc le facteur par lequel il faut multiplier ses émissions pour obtenir la masse de CO₂ qui produirait un impact équivalent. Ainsi, lorsqu'on dit que le PRG à cent ans du méthane (CH₄) est de 21, cela signifie que le largage instantané dans l'atmosphère d'un kilogramme de ce gaz produira sensiblement le même effet radiatif, au bout d'un siècle, que le largage de 23 kilogrammes de CO₂.

Contribution des différents gaz à l'effet de serre

La contribution d'un gaz donné à l'effet de serre dépend de sa capacité à absorber les rayons infra rouges et de son temps de demi-vie dans l'atmosphère (mesurés par le pouvoir de réchauffement global), ainsi que de sa quantité présente dans l'atmosphère. Ainsi, de par son abondance, la vapeur d'eau est le gaz qui contribue le plus à l'effet de serre d'origine naturelle.

Dans le calcul de la contribution des différents gaz à l'effet de serre, il est important de distinguer l'effet de serre naturel et de l'effet de serre d'origine humaine (anthropique) que l'on appelle également effet de serre additionnel. En effet, selon le cas, les chiffres sont très différents. De plus, les chiffres indiqués varient selon les sites consultés comme on peut le voir dans le tableau ci-dessous :

référence	file:///localhost/tp/::cf.geoci ties.com:tpeef fetdeserre:con tribu.html	http://planet- terre.ens- lyon.fr/planetter re/XML/db/plan etterre/metadata/ LOM-data-g-e- s.xml	file:///localhost/tp /::cf.geocities.co m:tpeeffetdeserre: contribu.html	http://planet- terre.ens- lyon.fr/planetterre /XML/db/planette rre/metadata/LO M-data-g-e-s.xml	Vivre les changements climatiques. Villeneuve C et Richard F, éd. Multimonde	http://www. manicore.co m/
	Effet de serre naturel	Effet de serre naturel	Effet de serre anthropique	Effet de serre anthropique	Effet de serre anthropique	Effet de serre anthropique
Vapeur d'eau	55 %	60 %	négligeable	négligeable	négligeable	négligeable
CO ₂	39 %	26 %	54 %	60 %	60 %	>55 %
O ₃	2 %	8 %	14 %	Non mentionné	8 %	10 %
CH ₄	2 %	6 %	14 %	20 %	15 %	>15 %
N ₂ O	2 %		5 %	6 %	5 %	5 %
halocarbures	Non mentionné		14 %	14 %	12 %	>10 %

Provenance des gaz à effet de serre

Voici un tableau résumant les principales sources des différents gaz à effet de serre :

GES	Origine naturelle	Origine anthropique
Vapeur d'eau	évaporation	évaporation
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Respiration • Combustion de composés organiques (incendies) • Volcanisme • Décomposition de matière organique 	<ul style="list-style-type: none"> • Pour l'essentiel, de la combustion des énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz) • De certaines industries comme la production de ciment • De la déforestation notamment en zone tropicale
O ₃	Ozone stratosphérique	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution • Combustion d'hydrocarbures
CH ₄	<ul style="list-style-type: none"> • Fermentation de matière organique en l'absence d'oxygène • Zones humides peu oxygénées • Estomac des mammifères • Termites 	<ul style="list-style-type: none"> • De la combustion de matière organique • De l'élevage des ruminants (le poids des vaches est supérieur au poids des hommes en France) • De la culture du riz (les zones humides émettent toujours du méthane) • Des décharges d'ordures et du compostage • Des exploitations pétrolières et gazières à cause des fuites de gaz
N ₂ O	<ul style="list-style-type: none"> • Zones humides 	<ul style="list-style-type: none"> • De l'utilisation d'engrais azotés en agriculture • De certains procédés chimiques
Halocarbures	Aucune	<ul style="list-style-type: none"> • Aérosols • Gaz réfrigérants • Fabrication de mousses isolante <p>Ces gaz sont à présent interdits en raison de leur impact sur la couche d'ozone</p>

Effet de l'augmentation des gaz à effet de serre sur le réchauffement climatique

Même si il est logique de penser que c'est l'augmentation des GES qui est à l'origine du réchauffement climatique observé actuellement, on ne peut pas l'affirmer sans preuve. Les deux observations suivantes appuient le fait que ce soit l'effet de serre qui provoque le réchauffement observé :

- Les températures ont plus augmenté la nuit que le jour au-dessus des continents, ce qui est en accord avec le fait qu'il s'agit bien d'un effet de serre. Si le réchauffement était dû à une augmentation du rayonnement solaire, l'augmentation serait plus intense durant le jour.
- Les continents se réchauffent plus que l'océan, ce qui ne serait pas le cas si le réchauffement était dû à une activité plus intense du magma terrestre.

Médiagraphie

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

<http://www.intellego.fr/soutien-scolaire--/aide-scolaire-SVT/SCHEMAS-SUR-L-EFFET-DE-SERRE-LES-GES-LE-RECHAUFFEMENT-CLIMATIQUE/16851>

<http://effetdeserre.canalblog.com/>

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-data-g-e-s.xml>

<http://www.manicore.com/>

Villeneuve, C. et Richard, F., 2007, Vivre les changements climatiques. éd. Multimonde, 450 pages.

Facteurs naturels influençant le climat

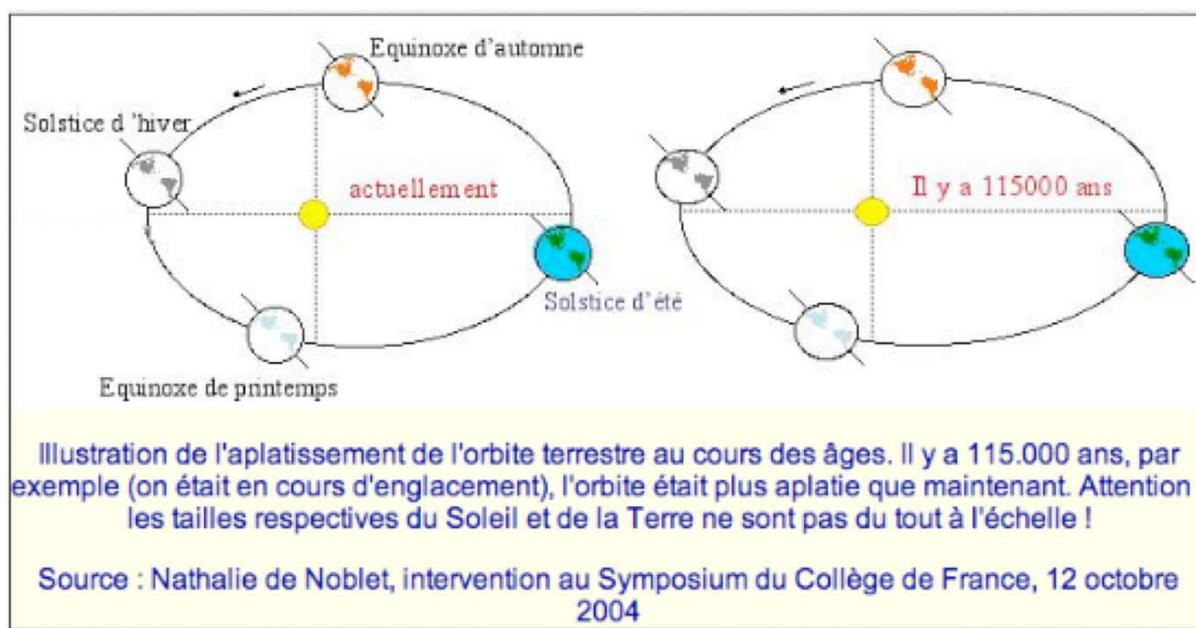
Plusieurs facteurs naturels peuvent influencer le climat, sur des périodes plus ou moins longues.

Variations de la position de la terre par rapport au soleil

Milankovic a proposé une théorie, largement acceptée par la communauté scientifique, selon laquelle les cycles climatiques glaciaires et interglaciaires observés au cours du dernier million d'années sont dus aux variations d'excentricité, d'obliquité et de précession terrestre. Selon cette théorie, sans forçage anthropique, la planète devrait entrer dans une nouvelle ère de refroidissement dans environ 10 000 ans.

Excentricité de l'orbite de la Terre autour du Soleil

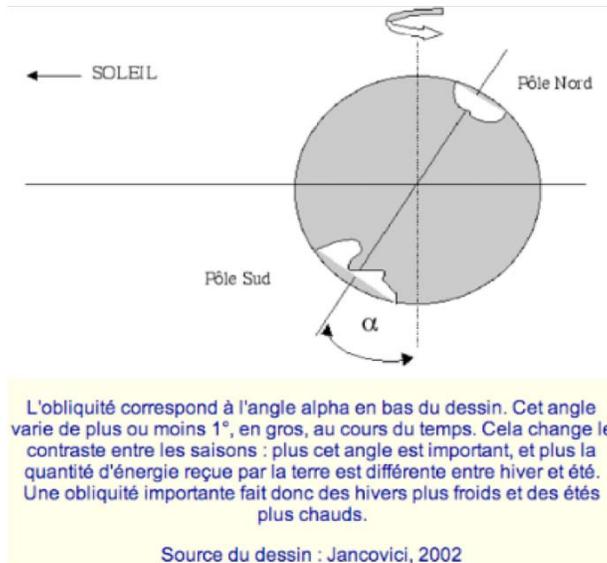
L'orbite de la Terre n'est pas circulaire et s'aplatit au cours des millénaires, avec une période de l'ordre de 80.000 ans. L'énergie solaire reçue par la terre dépend de cet aplatissement.



<http://www.manicore.com/>

Obliquité

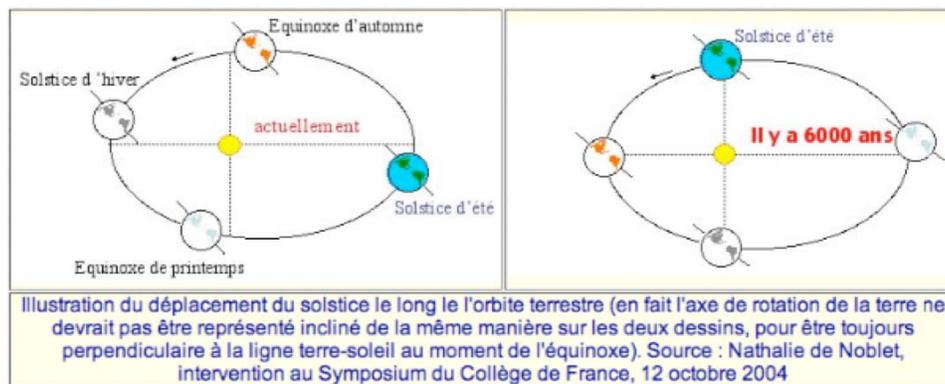
L'inclinaison de la Terre varie avec une période de 40 000 ans, ce qui change la quantité d'énergie reçue par la Terre.



<http://www.manicore.com/>

Précession des équinoxes

Il y a un changement graduel d'orientation de l'axe de rotation de la Terre qui fait que la Terre ne présente pas toujours le même hémisphère quand elle est au plus près du Soleil. Autrement dit, elle n'est pas toujours au même endroit de l'orbite au moment des équinoxes. À cause de ce phénomène, il y a inversion, tous les 13 000 ans, de l'hémisphère présenté au Soleil quand la Terre en est au plus près. Ce processus de précession des équinoxes joue un rôle important, parce que l'hémisphère Nord contient plus de terres, qui réfléchissent mieux la lumière que l'océan, ce qui fait varier l'énergie reçue par la planète.



C'est la précession des équinoxes qui engendre les variations les plus rapides de l'énergie solaire reçue par la Terre. Ce phénomène est toutefois plus ou moins amplifié selon ce qui se passe pour les autres paramètres astronomiques de la Terre.

Nuages interstellaires de poussières

Cette théorie controversée suggère que lorsque le système solaire passe dans un nuage interstellaire de poussière, une partie de l'énergie lumineuse serait absorbée, ce qui influencerait sur la quantité de chaleur qui arrive sur Terre et donc sur les climats.

Variation de l'activité solaire

Il existe un cycle de 11 ans, dû à la variation périodique du nombre de taches solaires, qui entraîne une légère variation de l'énergie solaire qui est reçue par la Terre. Ce phénomène peut expliquer de faibles variations climatiques sur des cycles de 11 ans.

Activité volcanique

Le climat peut varier en fonction de l'activité volcanique : une éruption volcanique envoie dans l'atmosphère du SO₂, qui est un "refroidisseur du climat", du CO₂, qui est un gaz à effet de serre, et elle peut même envoyer dans la stratosphère des poussières qui obscurcissent un peu la lumière du Soleil, pour des périodes allant de quelques mois à quelques années.

Dérive des continents

Sur de très longues périodes, le climat peut varier en fonction de la dérive des continents : l'installation d'une plaque continentale au Pôle Sud a permis l'apparition d'une calotte polaire permanente, ce qui a eu un effet sur le climat planétaire dans son ensemble. Enfin, la dérive des continents a créé des chaînes de montagnes, qui ont une influence locale importante sur le climat.

Variation de l'albédo

Le pouvoir réfléchissant de la Terre, l'albédo conditionne la quantité d'énergie solaire qui repart vers l'espace. L'albédo augmente avec la surface de la glace sur terre, avec la désertification, mais diminue quand une forêt apparaît à la place d'une savane ou prairie.

Médiagraphie

<http://www.manicore.com/>

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

Changements climatiques observés actuellement

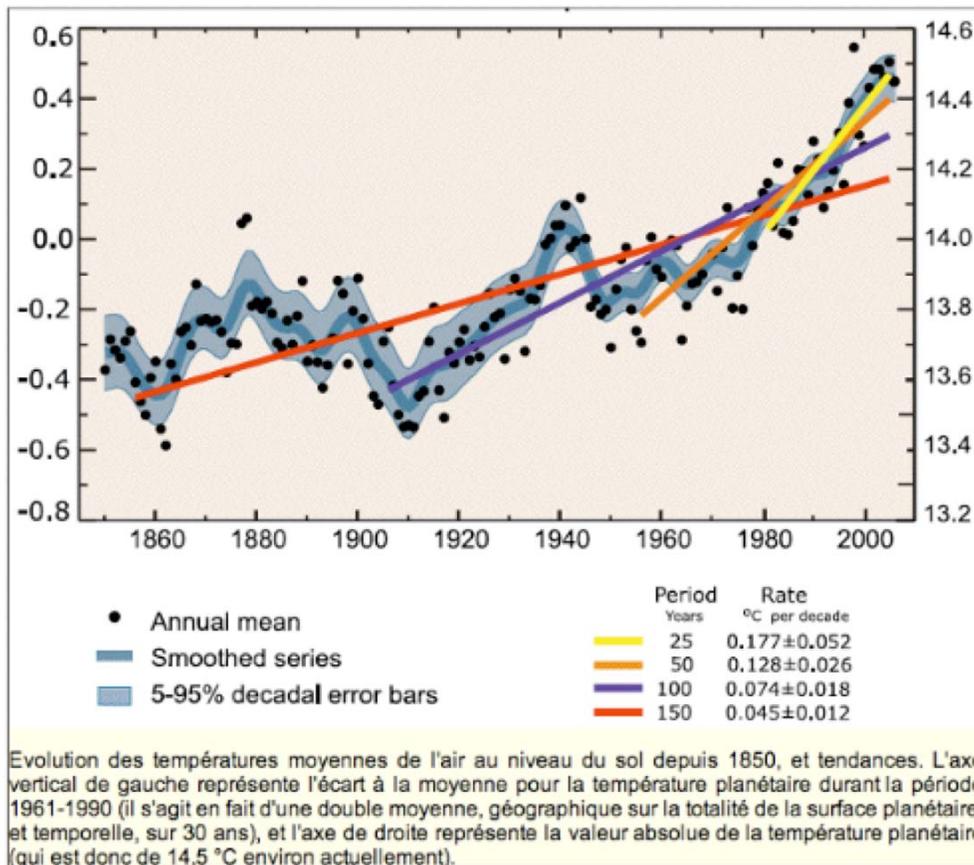
Dans le monde, on observe plusieurs changements qui semblent cohérents avec l'existence d'un réchauffement climatique planétaire. Trois observations permettent de constater le réchauffement du climat :

- l'augmentation de la température moyenne de l'atmosphère et des océans,
- la fonte de la banquise et des glaciers et
- une élévation du niveau moyen de la mer¹.

D'autres phénomènes sont également observés, mais leur lien avec le réchauffement climatique ne semble pas établi.

1) L'augmentation de la température moyenne de l'atmosphère et des océans

Les mesures directes de température avec une fiabilité acceptable ne sont disponibles que depuis 1860. Ces mesures ont permis de tracer la courbe suivante :



<http://www.manicore.com/>

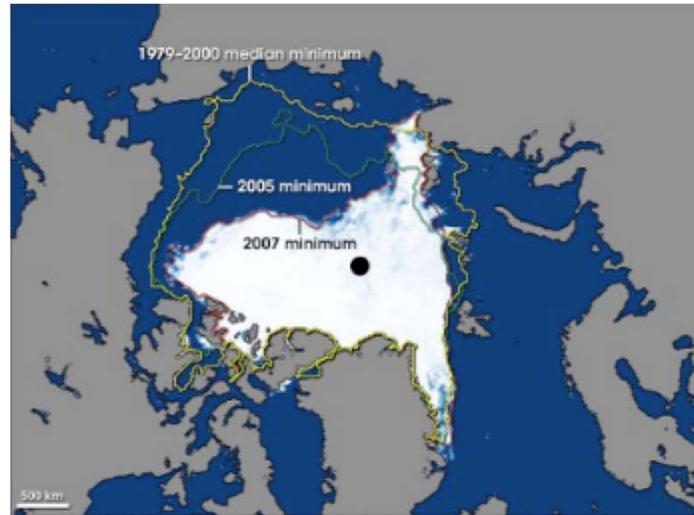
¹ GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques.

La température moyenne de l'air au niveau du sol est considérée comme ayant augmenté de $0,75^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ depuis le début du 20^e siècle.

2) La fonte de la banquise et des glaciers

La fonte de portions de banquise dans l'océan Arctique peut être mise en évidence par observation satellite d'une diminution de la superficie de celle-ci. Un amincissement de la banquise est également constaté.

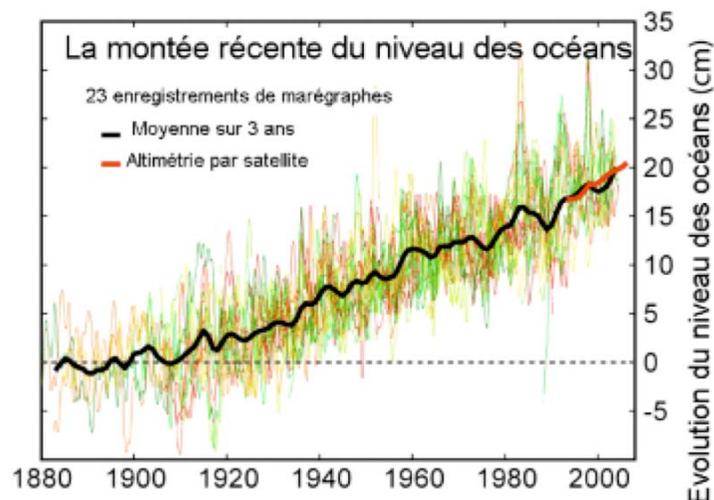
Évolution de la superficie de la banquise de 1979 à 2007



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

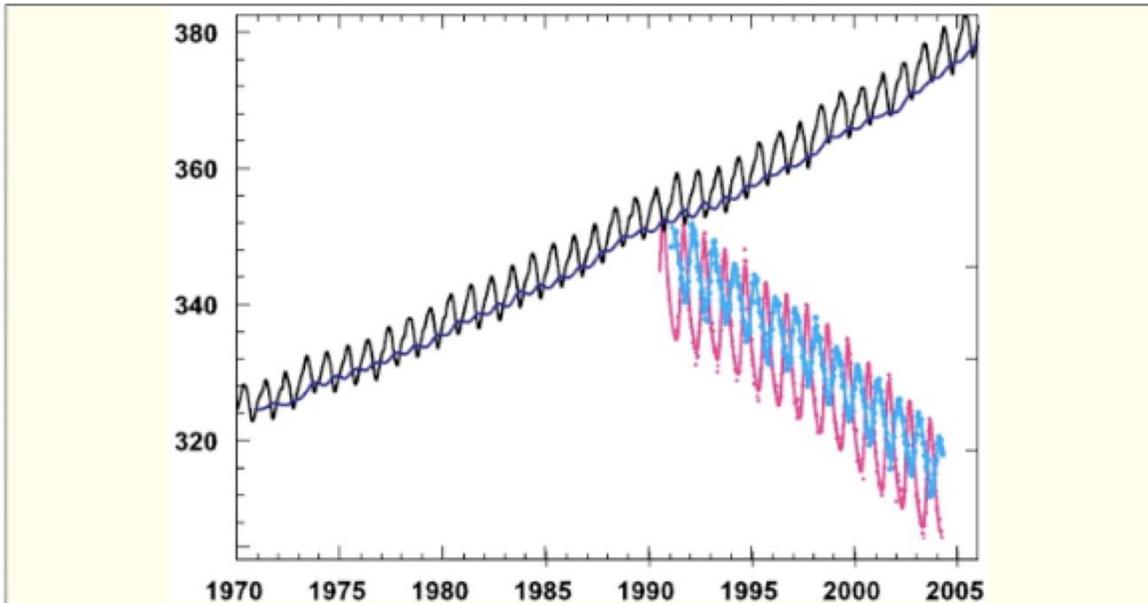
3) L'élévation du niveau moyen de la mer

Le réchauffement des océans s'accompagne d'une dilatation thermique qui se traduit par une augmentation du niveau de la mer. On estime que le niveau de la mer s'est élevé de 1,8 mm par an entre 1961 et 2003 et qu'il continue de s'élever régulièrement.



4) L'augmentation du taux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère

A côté de ces trois observations, on constate une augmentation du taux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère : les mesures systématiques du CO₂ dans l'atmosphère datent de 1957 et montrent que sur cette courte période, la concentration en CO₂ augmente.



La courbe noire du haut représente la variation de la teneur atmosphérique en CO₂ mesurée en parties par million à Mauna Loa, Hawaï (1 partie par million = 0,0001% du volume de l'atmosphère; ppm ou ppmv en abrégé), et la courbe bleu très foncé du haut ("imbriquée" dans la courbe noire, et évoluant au même rythme, mais avec une amplitude moindre) représente la même chose, mesurée à Baring Head, New Zealand. La moindre amplitude de la mesure à Baring Head vient de ce que l'essentiel de la biomasse continentale se trouve dans l'hémisphère Nord, où elle engendre une variation de la teneur atmosphérique en CO₂ au fil des saisons.

La courbe noire du haut représente la variation de la teneur atmosphérique en CO₂ mesurée en parties par million à Mauna Loa, Hawaï (1 partie par million = 0,0001% du volume de l'atmosphère; ppm ou ppmv en abrégé), et la courbe bleu très foncé du haut ("imbriquée" dans la courbe noire, et évoluant au même rythme, mais avec une amplitude moindre) représente la même chose, mesurée à Baring Head, New Zealand. La moindre amplitude de la mesure à Baring Head vient de ce que l'essentiel de la biomasse continentale se trouve dans l'hémisphère Nord, où elle engendre une variation de la teneur atmosphérique en CO₂ au fil des saisons.

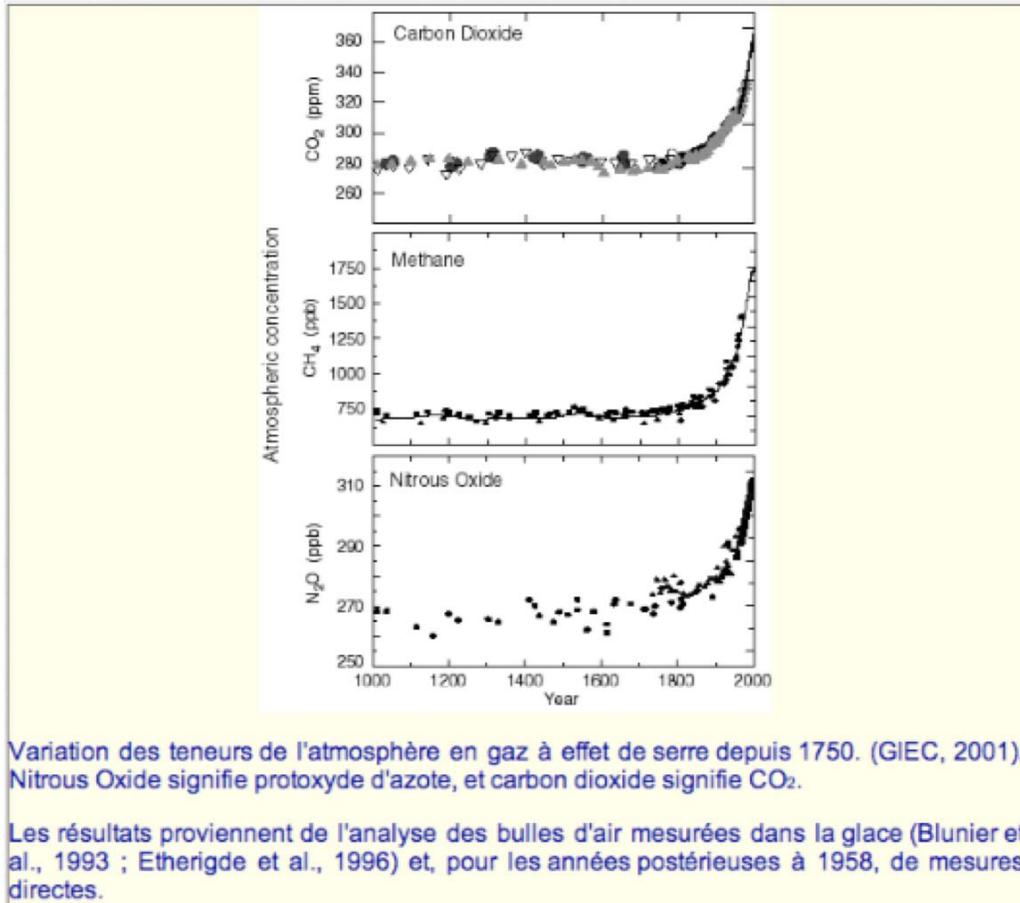
En gros, au printemps et en été, en pleine période de croissance de la végétation, le flux qui domine est l'absorption du CO₂ par la végétation (d'où diminution du CO₂ atmosphérique), alors qu'en automne et hiver le flux qui domine est celui de la décomposition des végétaux morts (dont les feuilles tombées en automne) et la respiration des plantes et des micro-organismes. Le brassage de l'air entre hémisphères ne se faisant pas en quelques mois mais plutôt en une année, cette amplitude annuelle due au cycle saisonnier de la végétation de l'hémisphère Nord ne se répercute pas sur les deux hémisphères de manière homogène. Au niveau de la moyenne annuelle, la différence entre les deux hémisphères est minime, et de toute façon la tendance est exactement la même : l'évolution annuelle est très nettement à la hausse, jusqu'à arriver à 380 parties par million de CO₂ en 2006 en moyenne annuelle.

Les courbes bleue et rose du bas représentent la variation de la teneur atmosphérique en oxygène, ou plus exactement l'écart à la normale, en ppm aussi. La courbe rose vient de mesures effectuées à Alert, Canada (82°N) et la courbe bleu clair de mesures effectuées à Cape Grim, Australie (41°S). La corrélation avec la courbe du CO₂ est spectaculaire.

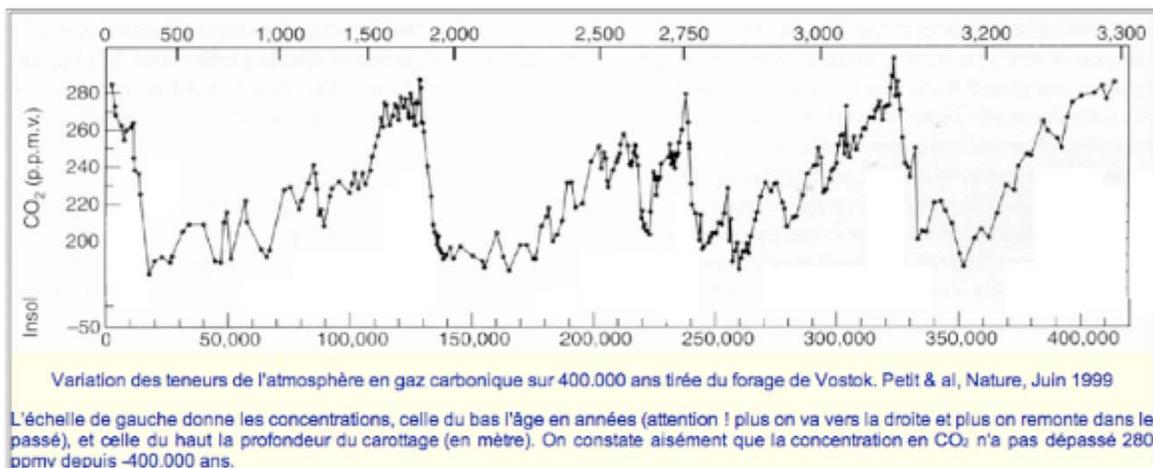
Source : GIEC, 4^e rapport d'évaluation, 2007

<http://www.manicore.com/>

Qu'en est-il avant 1957? L'étude de carottes de glaces permet d'estimer la concentration atmosphérique en CO₂ qui régnait dans le passé, en remontant jusqu'à environ 700 000 ans en arrière. Voici les résultats pour le dernier millénaire...



...et ceux pour les derniers 400 000 ans



On constate sur le premier graphique ci-dessus que depuis l'an mille environ, les concentrations en gaz à effet de serre restent constantes jusqu'en 1750 environ, période où débute l'ère industrielle.

Si l'on remonte plus loin dans le passé, le taux de CO₂ atmosphérique a connu des périodes d'augmentation et de diminution cycliques. Les valeurs les plus hautes n'ont cependant jamais dépassé 1750 pendant les 650 000 ans qui ont précédé cette date. Actuellement, cette valeur a été dépassée.

Cependant, ces chiffres ne permettent pas d'avancer que l'augmentation observée actuellement est uniquement d'origine humaine.

Il existe néanmoins un argument qui lie l'origine anthropique de l'émission des gaz à effet de serre à l'augmentation du taux de CO₂ atmosphérique : l'atome de carbone qui forme le CO₂ possède trois isotopes : le carbone 12, le carbone 13, qui sont stables tous les deux, et le carbone 14, qui est radioactif avec une demi-vie de 5500 ans.

Le carbone 14 se forme dans la haute atmosphère à partir du carbone 12. Le carbone 13 est plus abondant dans les océans que dans les milieux continentaux. On peut donc distinguer le CO₂ selon sa provenance :

- Les émissions de CO₂ provenant de l'océan sont relativement riches en carbone 13 et comportent du carbone 14.
- Les émissions de CO₂ provenant de la biomasse continentale sont moins riches en carbone 13 et comportent aussi du carbone 14.
- Les émissions de CO₂ provenant des combustibles fossiles sont aussi riches en carbone 13 que celles provenant de la biomasse continentale (charbon) ou marine (pétrole et gaz), mais sont dépourvues de carbone 14.

Or, on constate que le CO₂ atmosphérique s'appauvrit actuellement en carbone 13 et en carbone 14. L'appauvrissement en carbone 13 indique que l'augmentation de ce CO₂ atmosphérique ne vient pas de l'océan, et l'appauvrissement en carbone 14 implique, puisque c'est la seule source possible, que les émissions en provenance des combustibles fossiles augmentent.

5) Le recul des glaciers de montagne

À part quelques exceptions, la plupart des glaciers montagnards étudiés sont en phase de recul. Ainsi en est-il des glaciers de l'Himalaya et de ceux des Alpes. Plusieurs travaux documentent ce recul et cherchent à l'expliquer. Bien que ce recul semble cohérent avec un réchauffement du climat, cette hypothèse n'est pas nécessairement retenue. En effet, certains glaciers avaient commencé à reculer au milieu du XIX^{ème} siècle, après la fin du petit âge glaciaire. Il est reconnu que les glaciers avancent et reculent relativement fréquemment, selon plusieurs facteurs parmi lesquels figurent les précipitations et le phénomène El Nino. Ainsi, le recul actuel de la mer de glace à Chamonix a permis la découverte de vestiges datant du Moyen âge, indice que le glacier a déjà fondu davantage que de nos jours à une période historiquement proche.

6) Changements dans les pratiques agricoles

Exemple des vendanges : la date des vendanges est consignée et archivée depuis très longtemps. L'étude de ces archives a permis de constater un avancement de la date de ces vendanges depuis les dernières années.

7) Modification de l'aire de répartition d'espèces végétales et animales

Dans les cas où cette aire de répartition s'étend vers le nord ou vers des régions de plus haute altitude, on invoque le réchauffement climatique comme explication possible.

Médiagraphie

<http://www.manicore.com/>

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