

Chimie et climat

par Alfred MATHIS
Lycée Jean Rostand, 67000 Strasbourg

1. INTRODUCTION

L'altération du climat ne fait plus de doute pour personne. Aussi me semble-t-il important et même nécessaire d'introduire ce sujet au lycée et au collège. Cela permettra outre l'acquisition de quelques connaissances, de mettre chaque élève, chaque enseignant en face de ses responsabilités. De plus voila un beau sujet permettant un travail interdisciplinaire - chimie - physique - géographique - langue vivante - par exemple.

A la question de savoir si les hommes sont capables d'avoir par leurs activités une influence sur le climat, les spécialistes répondent maintenant unanimement par oui. C'est par des rejets gazeux de toute nature que l'homme change la composition de l'atmosphère, ce qui a des conséquences catastrophiques sur les échanges thermiques entre la planète Terre et l'Univers. Mais ce sont justement ces échanges thermiques qui conditionnent le climat.

Il serait certainement intéressant de montrer aux élèves quel rôle joue la chimie dans ces changements climatiques que nous observons actuellement [1].

2. COMPOSITION DE L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE

La composition de l'atmosphère est dans les couches jusqu'à 100 km d'altitude relativement constante et ceci à cause des déplacements d'air.

Actuellement l'air complètement sec a au niveau de la mer la composition suivante [2] :

Constituant	Formule	Titre volumique (%)	Titre massique (%)
Azote	N ₂	78,08	75,52
Oxygène	O ₂	20,95	23,01
Argon	Ar	0,93	1,29
Dioxyde de carbone	CO ₂	0,034	0,052
Néon	Ne	0,0018	0,0012
Hélium	He	0,0005	0,00007
Méthane	CH ₄	0,00016	0,00009
Krypton	Kr	0,00011	0,0003
Hydrogène	H ₂	0,00005	0,000004
Oxyde d'azote	N ₂ O	0,00003	0,00005
Monoxyde de carbone	CO	0,00002	0,00002
Xénon	Xe	0,000009	0,00004

A côté de ces constituants primaires on y trouve aussi :

- de l'eau,
- des particules de poussières,
- des aérosols,
- de l'ozone,
- des oxydes d'azote,
- des composés soufrés,
- des composés organiques.

Pour comprendre la relation entre la chimie et le climat, il faut connaître les facteurs qui déterminent le climat.

3. LES FACTEURS CLIMATIQUES NATURELS

Il y a de nombreux facteurs qui interviennent. Pour le moment on ne connaît pas encore assez les influences réciproques de ces facteurs.

Les grands facteurs climatiques naturels sont :

- le soleil,
- la glace des régions polaires,
- les courants marins,
- les éruptions volcaniques.

3.1. Bilan énergétique

En admettant pour la Terre un rayonnement solaire constant et perpendiculaire à sa surface, celle-ci reçoit par seconde et par mètre carré 1378 J (c'est la constante solaire) [3]. Une partie de cette énergie est cependant réfléchiée ou absorbée au niveau de l'atmosphère comme le montre la figure 1.

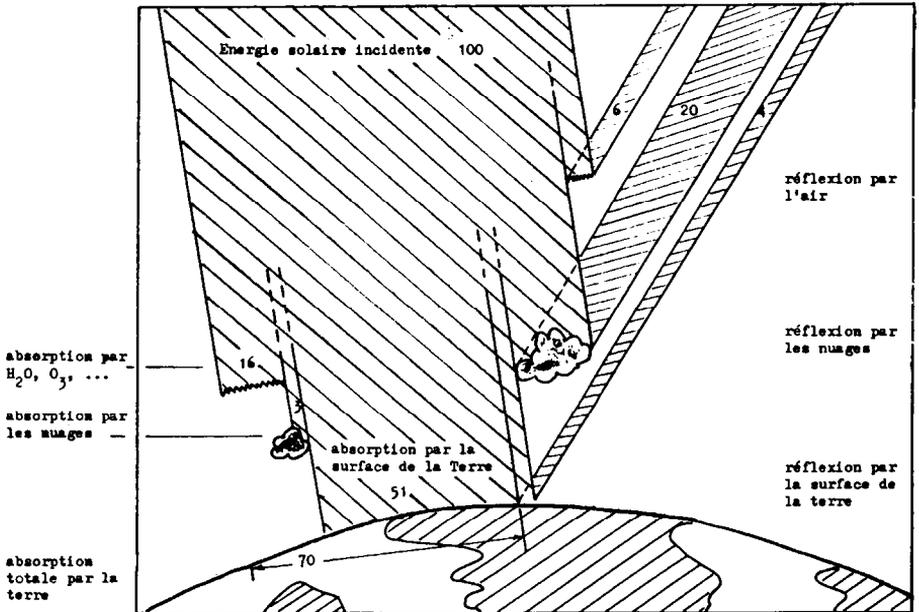


Figure 1

On constate donc que 51 % de l'énergie solaire est reçue par la Terre qui se réchauffe alors.

La Terre à son tour rayonne aussi de l'énergie et il s'établit un équilibre entre le rayonnement solaire reçu et le rayonnement terrestre.

C'est cet équilibre qui peut être rompu par un changement de la composition de l'atmosphère terrestre.

3.2. Les courants marins

Ces courants jouent aussi un rôle important pour le climat car ils sont la cause des grands vents [4]. Parmi ces courants on peut citer le Gulf Stream qui venant du sud remonte vers le Labrador et le Groenland.

3.3. La glace des régions polaires

La glace réfléchit 80 % de l'énergie solaire reçue. Lorsqu'en été cette glace se détache de la banquise pour s'enfoncer dans l'eau il n'y a plus que 10 % de l'énergie solaire qui est réfléchi.

3.4. Émissions volcaniques

Une éruption volcanique se caractérise par une émission de grandes quantités de poussières et de produits minéraux dans l'atmosphère [5]. Ces produits sont entraînés par les vents d'altitude tout autour de la terre. La poussière émise conduit ainsi à la formation d'un voile qui amoindrit le rayonnement solaire ce qui aura une influence sur le climat.

4. INTERVENTION DE L'ACTIVITÉ HUMAINE

Les besoins énergétiques, l'activité industrielle et l'agriculture constituent l'activité humaine. L'évolution des différentes techniques utilisées dans ces trois domaines conduit à une augmentation de la pollution atmosphérique qui peut à son tour introduire des changements climatiques [6].

4.1. Phénomène fondamental

La plus grande partie de l'énergie rayonnée par la Terre est absorbée par les nuages, la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, la poussière et l'ozone. Si la concentration de ces substances dans l'atmosphère est modifiée, il s'en suit une variation de l'énergie thermique rayonnée par la Terre vers l'Univers et par conséquent un changement de la température au niveau du sol terrestre.

4.2. Le dioxyde de carbone [7]

4.2.1. Généralités

Bien que la proportion du dioxyde de carbone dans l'atmosphère ne soit que de 350 ppm en volume, il joue un rôle essentiel.

4.2.2. Le rôle du dioxyde de carbone

Compte tenu de la température de la terre, le rayonnement thermique terrestre se fait dans le domaine de l'infrarouge et principalement entre 4 et 30 micromètres.

En considérant la loi du «déplacement» de Wien :

$$\lambda_m \cdot T = 2900 \mu \text{ m.K}$$

on constate bien que pour la température moyenne de la surface de la terre, soit 279 K, on obtient une longueur d'onde du maximum d'émission de 10,4 μm (voir figure 2).

En considérant le spectre d'absorption de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone (voir figure 2) on constate que pratiquement seuls les rayonnements entre 8 et 13 micromètres peuvent s'échapper de l'atmosphère. Les autres rayonnements sont absorbés ce qui conduit à une élévation de la température de l'atmosphère : c'est l'effet de serre qui se renforce. En effet sans aucun effet de serre la température de l'atmosphère terrestre serait de l'ordre de -15°C .

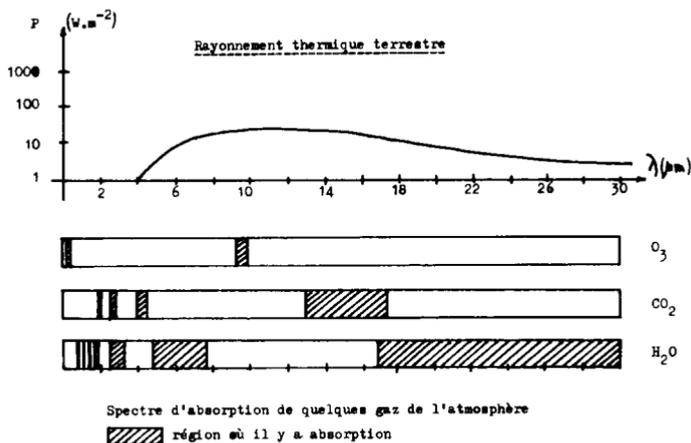


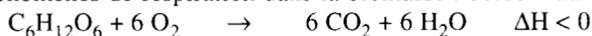
Figure 2

4.2.3. Augmentation de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère

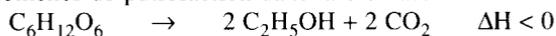
* Sources de dioxyde de carbone dans l'atmosphère

– Phénomène naturels

Phénomènes de respiration dans la biomasse : $10 \cdot 10^9 \text{ t.a}^{-1}$

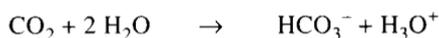


Phénomènes de putréfaction dans la biomasse : $25 \cdot 10^9 \text{ t.a}^{-1}$



Activité volcanique

Équilibre air - eau avec dissolution de CO₂

– Activités humaines

Le dioxyde de carbone est produit en particulier lors des combustions et de différentes opérations industrielles comme par exemple dans les hauts fourneaux ou lors de la calcination du carbonate de calcium.

La production totale de dioxyde de carbone par l'activité humaine se monte actuellement à environ $2 \cdot 10^6 \text{ t.a}^{-1}$.

La variation de l'émission de dioxyde de carbone par suite de l'activité humaine au cours des 130 dernières années est représentée par la figure 3.

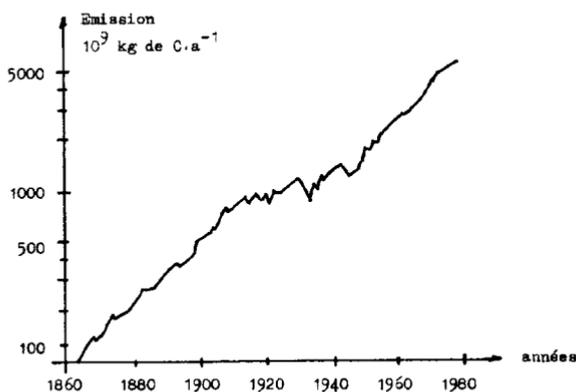


Figure 3

Les principales sources d'émission de CO₂ en Europe sont :

Véhicules à moteur terrestre	59,2 %
Avions et navires	4,6 %
Industrie	9,6 %
Combustion pour l'agriculture	8,3 %
Combustion des ordures	7,8 %
Feux de forêts	7,2 %
Chauffage	1,9 %
Divers	1,4 %

* Élimination du dioxyde de carbone de l'atmosphère [8]

– Photosynthèse



– Équilibre air - eau

Par année trois milliards de tonne de dioxyde de carbone sont absorbées par les eaux en particulier des océans. La solubilité du gaz dépendant de la température de l'eau, cette absorption se fera de préférence dans les eaux froides. Une partie du carbone reste dissout dans l'eau tandis que l'autre se retrouvera fixée dans les coquilles et la matière organique des animaux planctoniques. Mais il faut aussi tenir compte du dégazage des eaux lorsque les eaux profondes remontent à la surface en particulier dans les régions chaudes.

* Bilan

La teneur en dioxyde de carbone de l'atmosphère peut être déterminée par exemple par analyse de bulles d'air emprisonnées dans les glaces [9].

Avant l'ère industrielle en 1700, la proportion de dioxyde de carbone dans l'atmosphère était de 260 ppm. Elle est de 345 ppm actuellement.

La figure 4 représente la variation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère depuis 1700 jusqu'à nos jours.

L'augmentation annuelle de dioxyde de carbone est actuellement de 3,5.10⁹ t soit une augmentation de 0,3 à 0,4 % par an.

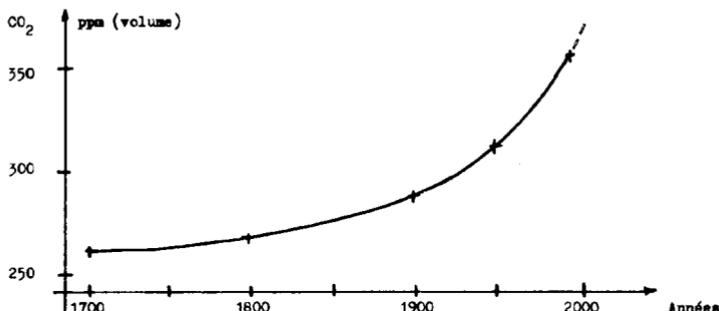


Figure 4

4.2.4. Conséquences

«Mes expériences montrent, que tout changement de la concentration en dioxyde de carbone dans l'air, induit un changement de climat».

Ce que le physicien irlandais John Tyndale avait expérimentalement annoncé dès 1861 est devenu le problème majeur de nos jours. Ainsi les climatologues prévoient pour les 50 prochaines années un réchauffement de l'atmosphère de 1,5 à 4,5°C.

La conséquence directe sera la fusion d'une partie de la glace polaire ce qui conduira à une remontée du niveau de la mer [10].

4.3. La poussière

La poussière dans l'atmosphère a une action opposée à l'effet de serre. En effet la poussière absorbe une partie de l'énergie solaire et contribue donc au refroidissement de l'atmosphère.

Parmi les sources de poussière dans l'atmosphère on peut citer :

- La poussière formée au cours des diverses combustions, dans l'industrie métallurgique et lors des opérations courantes telles que : broyage, tamisage, séchage, granulation, transport de produits pulvérulents. Il faut aussi mentionner la poussière résultant des transports sur route par les gaz d'échappement et l'usure des pneus.
- Les éruptions volcaniques qui rejettent de grandes quantités de poussières dans l'air jusqu'à la stratosphère. Les grandes éruptions rejettent jusqu'à plusieurs centaines de millions de tonnes de poussière.
- L'agriculture et le défrichage volontaire par incendie de forêts.

4.4. L'hémioxyde d'azote N_2O

Ce gaz provient essentiellement de l'emploi dans l'agriculture d'engrais fortement azotés et des moteurs à explosion.

C'est par suite de la décomposition des engrais azotés par les bactéries de dénitrification qu'il se forme cet oxyde d'azote. La quantité de ce gaz produit dans le sol dépend des conditions écologiques du sol. Il a été constaté que la plus forte production de ce gaz se fait juste après l'épandage des engrais. Environ 20 à 30 % de l'engrais azoté ajouté sont décomposés par les bactéries avant qu'ils ne puissent être assimilés par les plantes !

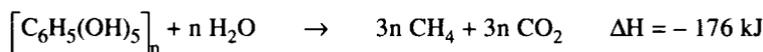
La concentration actuelle de l'hémioxyde d'azote est de 0,3 ppm avec un taux de croissance de l'ordre de 0,3 %.

Cet oxyde est plus que cent fois plus efficace que le dioxyde de carbone dans le captage de la chaleur. Avec une durée de vie moyenne de plus de 100 ans l'hémioxyde d'azote est un produit qui contribuera de plus en plus à l'effet de serre et ceci d'autant plus qu'actuellement dans aucun pays des mesures ne sont prises pour réduire sa formation.

4.5. Le méthane CH_4 [11]

Sa teneur dans l'atmosphère augmente chaque année environ de 1 à 2 % donc plus rapidement que celle du dioxyde de carbone. Son potentiel d'effet de serre est 30 fois plus grand que pour le dioxyde de carbone. La durée de vie d'une molécule de méthane dans l'atmosphère est de 7 à 10 ans. La concentration du méthane dans l'air a doublé depuis 200 ans en passant de 7.10^{-5} % à $1,6.10^{-5}$ % (volume) actuellement.

Ce gaz provient surtout de l'activité microbienne anaérobie. En particulier dans les sols des rizières et dans l'intestin des ruminants. Il s'en échappe aussi des dépôts d'ordures.



Cette réaction représente la décomposition anaérobie de la cellulose.

4.6. Ozone [12]

L'activité solaire variable a une influence sur la formation d'ozone

dans la haute atmosphère. La formation et la décomposition de l'ozone atmosphérique dépend aussi du rayonnement corpusculaire de l'Univers. Ainsi on a évalué que l'explosion d'une supernova de la voie lactée perturberait pour une dizaine d'années la couche d'ozone et par conséquent le climat sur la Terre.

A basse altitude, l'ozone dite troposphérique est un polluant. L'industrie et les véhicules à moteur en sont les principales sources.

L'ozone est 200 fois plus efficace que le dioxyde de carbone pour l'effet de serre.

4.7. Les chlorofluorocarbones CFC [12]

Ces gaz sont émis depuis 1931 et ils représentent aujourd'hui un total cumulé de 16 millions de tonnes avec une progression annuelle de 5 à 10 %. Ces molécules sont très stables et ont des durées de vie d'une centaine d'année.

Ces gaz sont connus pour la destruction de la couche d'ozone stratosphérique. Mais ces molécules sont terriblement efficaces pour l'effet de serre. Ils sont de 14 000 à 17 000 fois plus efficaces pour l'effet de serre que le dioxyde de carbone. Leur participation au réchauffement de l'atmosphère est de 17 %.

On trouve malheureusement et de façon tout à fait inutile ces produits par exemple dans des matériaux d'emballage expansés (barquette en polystyrène).

La figure 5 donne un aperçu de l'utilisation des chlorofluoro carbone.

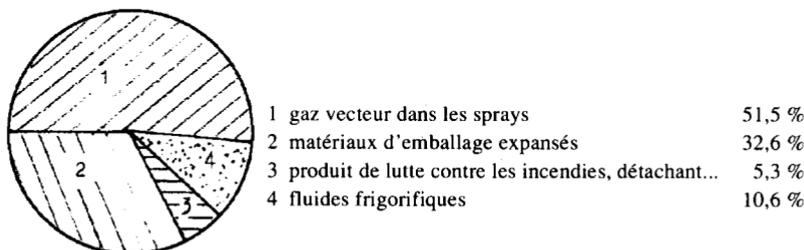


Figure 5

4.10. Vue d'ensemble

La figure 6 donne une vue d'ensemble des différents constituants participant à l'effet de serre [15].

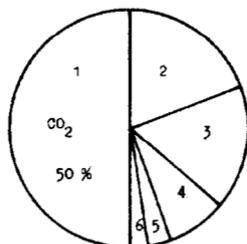


Figure 6

1	Dioxyde de carbone CO ₂	50 %
2	Méthane CH ₄	19 %
3	Chlorofluorocarbones CFC	17 %
4	Ozone O ₃	8 %
5	Oxydes d'azote NO _x	3 %
6	Autres : hydrogène H ₂ monoxyde de carbone...	3 %

L'impact cumulé des gaz autres que le dioxyde de carbone sur le réchauffement de l'atmosphère serait équivalent à 150 ppm supplémentaire de CO₂.

5. CONCLUSION

Beaucoup d'observations plaident indiscutablement pour une altération de notre climat [16] [17]. Parmi celles-ci il faut citer :

- depuis 100 ans le niveau moyen de la mer est monté de 20 cm,
- depuis le début du siècle l'air s'est réchauffé de 0,7°C en moyenne,
- depuis 40 ans il y a eut une redistribution des précipitations, avec comme conséquence de graves périodes de sécheresse (Sahel, USA 1988).

Les prévisions en matière de climat sont très difficiles car dans les modèles utilisés il est très difficile de faire intervenir tous les facteurs et surtout leurs actions réciproques [18] [19]. Joseph dans l'ancienne Egypte en prédisant les 7 années grasses suivies des années maigres avait la tâche plus facile.

La société a toujours réagi aux crises lorsqu'elles étaient présentes. Mais dans le cas de l'effet de serre et les conséquences climatiques, une action est nécessaire avant la crise elle même. Des mesures techniques seules ne suffisent pas, c'est le comportement de chacun qui doit se modifier. Chaque individu peut personnellement prendre la décision de participer par son action à la réduction des problèmes liés au climat [20].

Les efforts consentis aujourd'hui pour obtenir une réduction des produits chimiques dans l'atmosphère ont un sens, même si les résultats ne se feront sentir que d'ici 20 ou 30 ans.

Et c'est bien cette notion qu'il est important de faire comprendre aux jeunes et de faire partager avec nos élèves. Le défi est lancé.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Veränderungen des Klimas durch den Menschen. Aulis Verlag Köln.
- [2] Fond der Chemischen Industrie Frankfurt : Umweltbereich Luft.
- [3] Der Kohlenstoff. Dechema.
- [4] Physik in unserer Zeit 19/6 161 1989.
- [5] Fond der Chemischen Industrie Frankfurt : Umweltbereich Luft.
- [6] Supplément La Recherche 201 26 1989.
- [7] Courrier du CNRS n° 72 page 25.
- [8] Sciences et Avenir n° 517 28 1990.
- [9] Courrier du CNRS n° 72 page 12.
- [10] Max Planck Gesellschaft (MPG) Spiegel 1/1989.
- [11] Chemie für Labor und Betrieb 36/7 333 1985.
- [12] MPG Spiegel 4/1989.
- [13] Chemie für Labor und Betrieb 31/9 406 1980.
- [14] Chemie für Labor und Biotechnick 41/3 156 1990.
- [15] CLB Memory 03 23 1989.
- [16] La Recherche 219 304 1990.
- [17] Sciences et Avenir 517 32 1990.
- [18] MPG Spiegel 1/1989.
- [19] Bild der Wissenschaft 11 61 1988.
- [20] Bild der Wissenschaft 6 90 1989.