

Société de Calcul Mathématique SA

Outils d'aide à la décision

depuis 1995



Le CO2

Données disponibles et analyse critique

Extrait du livre blanc rédigé par la SCM

Première rédaction : août 2015

I. Introduction

Beaucoup de scientifiques se posent la question de l'influence des gaz à effet de serre sur le climat. L'atmosphère terrestre est composée en majorité d'atomes d'azote, d'oxygène et d'argon et les trois principaux gaz à effet de serre sont : la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO_2) et le méthane (CH_4). La composition de l'atmosphère sera vue de manière plus détaillée dans le paragraphe IV du Chapitre 1 de la Partie 2.

La particularité d'un gaz à effet de serre est sa capacité à s'échauffer en absorbant les rayons infrarouges provenant du soleil et de la terre. Les facteurs qui font qu'un gaz influe sur le réchauffement climatique sont : sa capacité d'absorption des infrarouges, son temps de vie et sa concentration dans l'atmosphère.

Dans la suite de ce chapitre, nous nous intéresserons uniquement au CO_2 , celui-ci étant considéré comme responsable du réchauffement climatique. La capacité d'absorption des infrarouges du CO_2 est un facteur quantifiable et mesurable en laboratoire, ce qui n'est pas le cas pour son temps de vie et sa concentration mondiale dans l'atmosphère. En effet, le CO_2 participe au cycle du carbone (Figure 14). Cela signifie que les atomes de carbones provenant du CO_2 sont transférés dans différents "réservoirs". Il y a un flux d'échange continu entre les réservoirs. Durant ces transferts, ceux qui relâchent du CO_2 dans l'atmosphère sont appelés les "sources" et ceux qui en consomment sont les "puits". Par exemple, l'océan est à la fois source et puits.

A cause du cycle du carbone, il est difficile de déterminer le temps de vie du CO_2 dans l'atmosphère. C'est pour cette raison que les scientifiques s'intéressent plus à sa concentration.

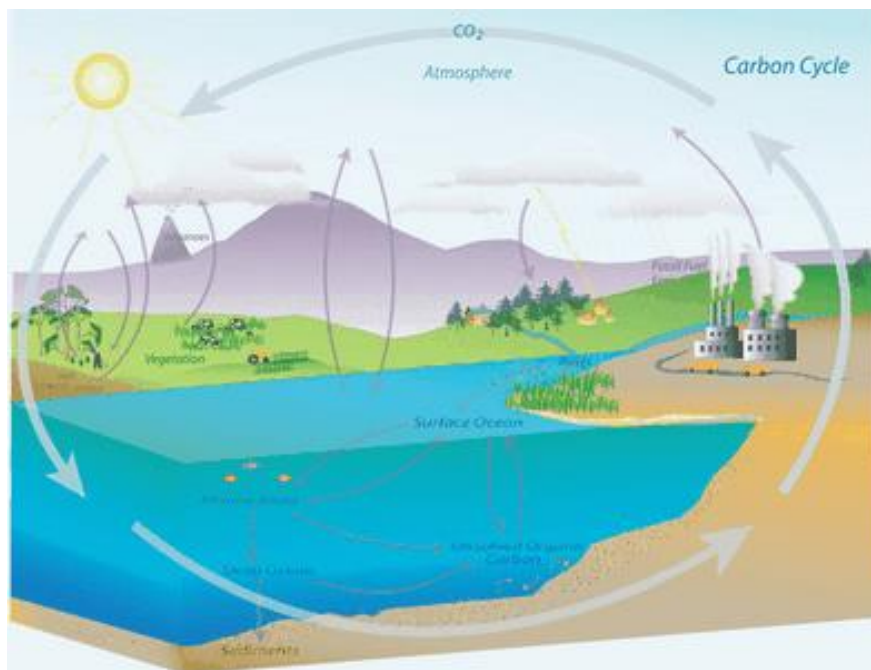


Figure 1 : Cycle du Carbone ; Source: Barb Deluisi, NOAA

La concentration brute en CO_2 ne permet pas de montrer l'évolution de ce gaz, car la composition de l'atmosphère dépend de la pression, de la température et de la dilution des autres gaz

dans la vapeur d'eau. Afin d'obtenir une mesure qui ne dépende pas de ces paramètres, on mesure le nombre de molécules de CO₂ dans 1 million de molécules d'air sec. Cette mesure se chiffre en ppm (partie par million) et est appelée fraction molaire, voir [Tans et Thoning].

Plusieurs types de mesures sont actuellement effectués. Dans la plupart des cas, celles-ci reflètent une concentration locale en CO₂ et sont prises à une altitude définie. Nous allons montrer la variabilité des valeurs et l'hétérogénéité des mesures.

II. Mesures par Infrarouge

Les mesures par infrarouge présentées dans ce rapport proviennent de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), qui rassemble les données d'un réseau de plus de 100 sites dans le monde. Les échantillons sont pris à des intervalles de temps variables. L'objectif de la NOAA est de créer une "carte" de la concentration de gaz à effet de serre dans le monde, pour différentes altitudes.

A. Prélèvement d'échantillons

Les échantillons analysés par la NOAA proviennent de quatre méthodes de prélèvement :

1. Mesure en surface

Les échantillons d'air sont prélevés hebdomadairement et contenus dans des bonbonnes de gaz. Elles proviennent de différents laboratoires répartis dans le monde (voir Figure 2). Ces mesures permettent de déterminer la concentration des gaz à effet de serre et les variations (à court et long terme) sur le lieu de leurs prélèvements. Ceux-ci sont réalisés au niveau du sol.



Figure 2 : Localisation des laboratoires effectuant des prélèvements dans des bonbonnes de gaz. Les points rouges sont les sites actifs, les jaunes les inactifs et les oranges, ceux pris sur un bateau.

2. Programme aérien

Il permet de collecter des échantillons saisonniers d'air dans les différents niveaux de la troposphère (au-dessus de 8000 m). Les prélèvements sont principalement concentrés au nord de l'Amérique. (voir Figure 16).



Figure 3 : Localisation des mesures par le programme aérien.
Les avions en jaune représentent les sites inactifs.

3. Mesure par haute tour

Le réseau de tours fournit des mesures du CO₂ quotidiennement pour des altitudes de l'ordre de 500 m. A cette altitude, l'air se mélange et il est possible de mesurer une "empreinte" de l'atmosphère. Les prélèvements sont principalement concentrés au nord de l'Amérique. (voir Figure 17)



Figure 4 : Localisation des sites de haute tour. L'icône jaune représente un site inactif.

4. Observatoires de référence

Ce sont des laboratoires qui sont isolés de la civilisation. Leurs emplacements permettent de mesurer quotidiennement une atmosphère qui n'est pas "faussée" par une pollution extérieure. Il y en a six : Barrow (Alaska), Summit (Groenland), Trinidad Head (Californie), Mauna Lāua (Hawaii), American Samoa, Pôle sud (Antartique).

Parmi ces observatoires, celui de Mauna Loa est connu pour ses mesures sur le CO₂, qui sont effectuées uniquement sur la haute atmosphère. Les résultats présentés par la NOAA proviennent principalement de cet observatoire. Il est situé aux États-Unis, dans le sud-ouest de l'île d'Hawaï (Big Island), la plus grande de l'archipel et État d'Hawaï.

Willis Eschenbach justifie dans un article, voir [Eschenbach], le choix de cette station de mesure, comme représentatif de la concentration mondiale, de la manière suivante :

L'influence locale des rejets de plantes ou de l'activité humaine sur les mesures de CO₂ doit être éliminée. C'est pourquoi le laboratoire est isolé sur une île située sur un volcan, à une altitude de 3 397 mètres au-dessus du niveau de la mer et est entouré par des kilomètres de surface volcanique sans aucune végétation aux alentours.

L'influence des rejets gazeux liés à l'activité volcanique pourrait être limitée par l'existence d'un vent ascendant soufflant le jour, et un vent descendant soufflant la nuit. Ces courants d'air sont créés par la différence de température entre le sol de l'île et de la mer. Durant la journée, le sol de l'île chauffe plus vite que l'océan. L'air au niveau de la terre s'échauffe donc plus rapidement et crée un courant ascendant car l'air chaud, moins dense, remonte dans l'atmosphère. Le problème est qu'en journée ce courant ramène l'air du sol et de l'océan (avec l'influence de la flore et humaine) au niveau des capteurs du laboratoire. Dans ces conditions, la concentration mesurée n'est plus une concentration globale mais dépendante de l'environnement, voir [Eschenbach].

Inversement, durant la nuit, la température de l'île est plus froide que celle de l'océan, et c'est un courant d'air descendant qui est créé (voir Figure 5 18). Il permet donc de mesurer de l'air provenant de la très haute altitude.

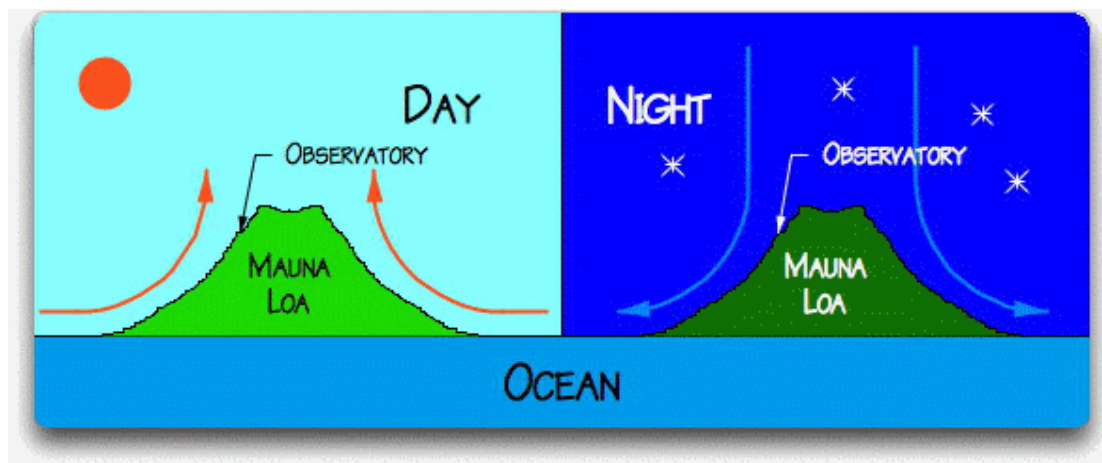


Figure 5 : Courant d'air jour et nuit à Mauna Loa

Les mesures à Mauna Loa commencent en 1958. Elles sont effectuées toutes les heures. Cependant, comme expliqué précédemment, seules quelques heures dans la journée sont finalement choisies pour calculer la moyenne journalière des concentrations en CO₂.

En conclusion la répartition des échantillonnages n'est pas homogène sur l'ensemble du globe. Certaines zones sont très bien pourvues en stations de mesures (États-Unis, Europe Occidentale) alors que d'autres n'en possèdent quasiment aucune (Afrique, Asie).

B. *Mesure par absorption infrarouge*

Les échantillons ainsi prélevés sont ensuite analysés. Chaque gaz est caractérisé par une technique différente :

- CO₂ par absorption infrarouge ;
- CO par fluorescence ;
- CH₄, N₂O, SF₆, H₂ par chromatographie au gaz.

Le CO₂ est analysé par absorption infrarouge et le principe de fonctionnement est le suivant : l'air est aspiré dans un cylindre. Un émetteur envoie une lumière infrarouge qui traverse l'échantillon d'air et passe par un détecteur infrarouge. Les atomes de CO₂ présents dans l'échantillon d'air vont absorber une partie du rayonnement infrarouge selon une fréquence propre. Plus la concentration des molécules est importante, plus la quantité d'infrarouge absorbée est grande et moins fort est le signal reçu par le récepteur. Le signal du détecteur (signal électrique) est alors traduit en une quantité de CO₂. Une calibration est effectuée, chaque heure, afin de vérifier l'exactitude des mesures.

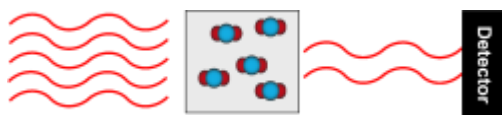


Figure 6 : Schématisation du phénomène d'absorption infrarouge.

C. *Traitement des résultats*

En sortie du spectromètre infrarouge, on obtient des données brutes de concentration en CO₂ pour un site et une date. Elles sont ensuite sélectionnées selon une méthode bien précise.

- Premièrement, la déviation standard sur une minute doit être inférieure à 0,30 ppm ;
- Deuxièmement, les données horaires ne doivent pas différer de plus de 0,25 ppm de l'heure précédente ;
- Troisièmement, les heures où le vent souffle vers le haut ne sont pas sauvegardées ;
- Enfin, une méthode d'éjection de données aberrantes est utilisée. Une courbe est ajustée sur les données des heures précédentes, et, pour chaque jour, les heures déviant de cette courbe de plus de deux fois la déviation standard sont retirées.

Au total, en moyenne seules 13,7 heures sont conservées sur une journée.

Les traitements préliminaires subis par les données ne sont pas neutres et sont scientifiquement très discutables. Ils ont évidemment pour effet d'éliminer un certain nombre de variations, qui peuvent avoir une réalité.

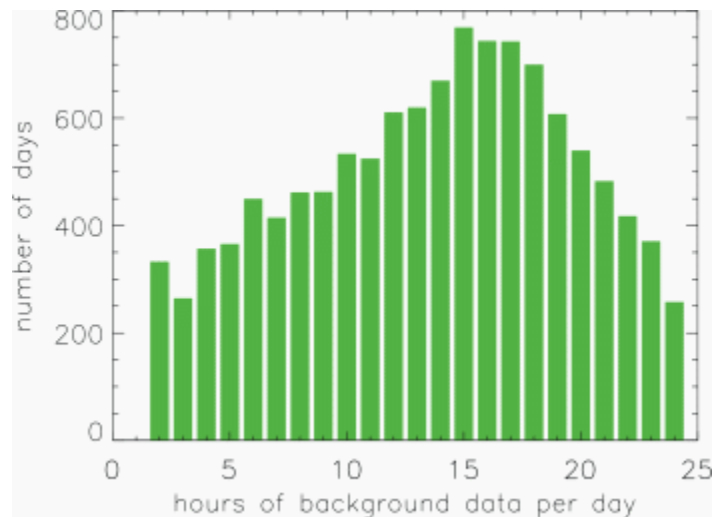


Figure 7 : Répartition du nombre d'heures conservées dans les données

Ci-dessus, la répartition du nombre d'heures sélectionnées, sans considérer les jours où moins de 2 heures ont été conservées. Pour plus de 6,5 % des jours, seulement 0 ou 1 heure a été conservée.

D. *Résultats*

Les données récoltées sur le site de la NOAA montrent les résultats suivants :

- Il y a une augmentation de la concentration en CO₂ en différents endroits du globe ;
- La variation de concentration dépend de la position du prélèvement (longitude, latitude) ;
- Il y a une oscillation saisonnière.

La précision des données dépendent en partie de la méthode de prélèvement des échantillons. Les résultats sont mieux détaillés pour les observatoires de référence que pour les mesures en surface.

1. **Observatoires de référence :**

Les mesures ont été effectuées depuis les années 1974 jusqu'à 2013 pour les quatre observatoires suivants : Barrow (Alaska), Mauna Loa (Hawaii), American Samoa, Pôle sud (Antarctique).

Les données pour chaque observatoire sont disponibles sur le site de la NOAA sous forme de fichier texte. Trois fichiers sont proposés pour chaque observatoire : les moyennes horaires, les moyennes journalières et les moyennes mensuelles.

Les fichiers présentent plusieurs colonnes :

- le code correspondant au nom du site ;
- la date allant de 1974 à 2013 : l'année, le mois, l'heure, les minutes, les secondes ;
- les concentrations : une valeur de -999,99 est donnée quand une valeur est manquante ;
- l'écart-type sur les mesures de concentration ;
- le nombre de point pris en compte pour calculer la moyenne ;
- la latitude, longitude, altitude ;
- la qualité de la mesure.

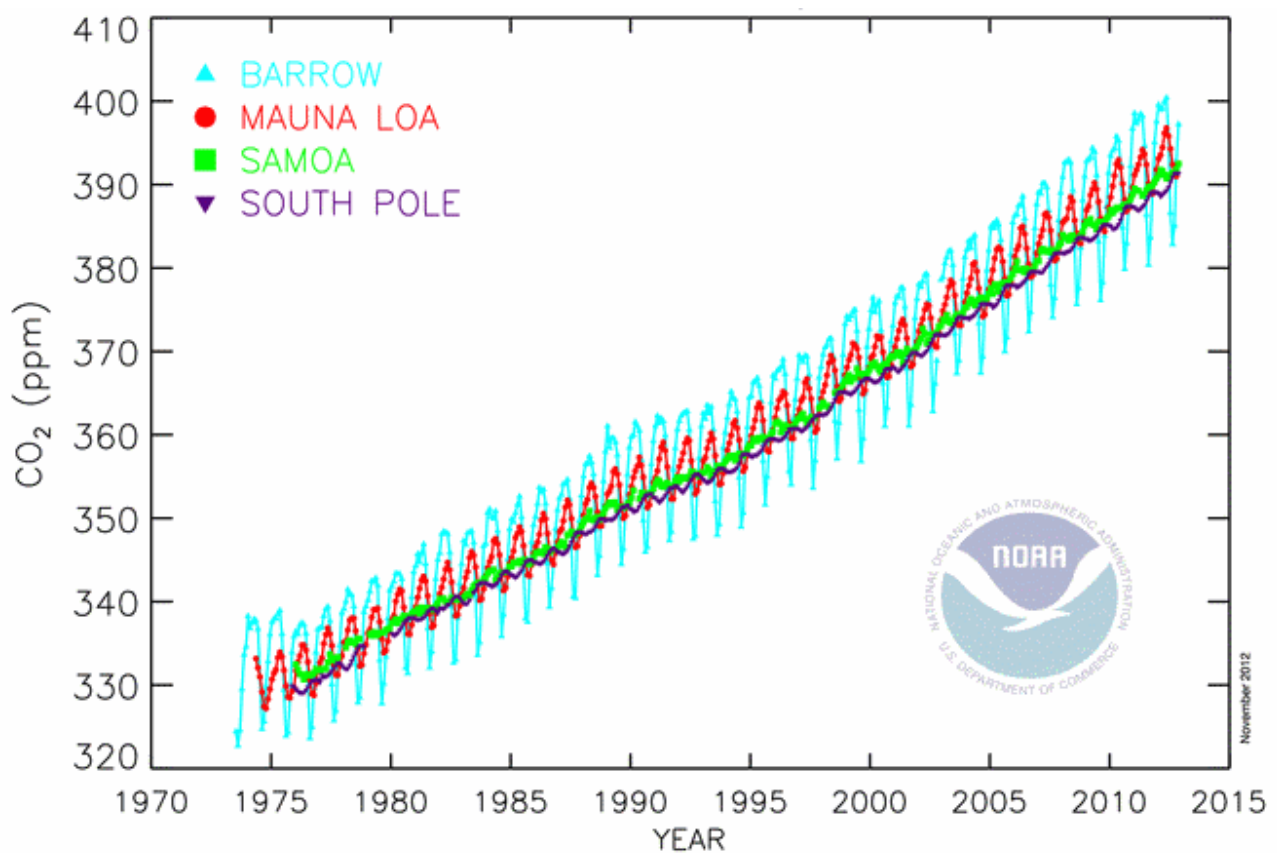


Figure 8 : Moyenne mensuelle de CO₂ pour différents laboratoires.
Les trois observatoires diffèrent par leur position (longitude et latitude). [Tans]

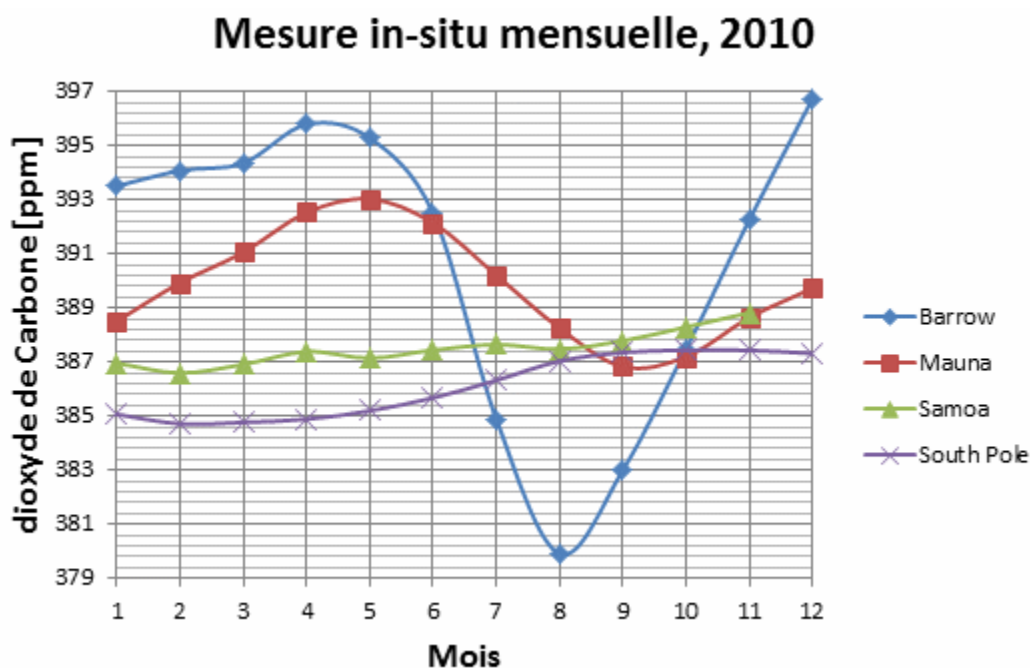


Figure 9 : Moyenne mensuelle de CO₂ pour différents laboratoires et pour l'année 2010. Les trois observatoires diffèrent par leur position (longitude et latitude).

Les résultats de ces observatoires montrent une augmentation de la concentration en CO₂ qui est indépendante de la latitude (Figure 21). On constate des oscillations annuelles de la concentration en CO₂, provenant des changements saisonniers et de la photosynthèse des plantes. Durant l'été, cette dernière est très importante et la concentration en CO₂ est forte ; inversement en hiver. Le cycle saisonnier est plus fort dans l'hémisphère nord car la surface terrestre est plus grande.

La Figure 22 montre que la variation de concentration en CO₂ n'est pas la même sur l'ensemble du globe. Par exemple, le maximum de CO₂ mesuré n'est pas atteint à la même date pour Barrow et le Pôle sud. La variation de concentration est aussi différente dans chacun des sites : plus l'observatoire est situé à une latitude faible, plus la variation est petite.

Revenons à Mauna Loa. Les mesures qui y ont été effectuées pendant l'année 1990 sont représentées sur la Figure 23. Elles présentent une variabilité journalière de l'ordre de 3 ppm et, après traitement des données, il y a un décalage des valeurs mensuelles par rapport aux valeurs journalières : elles sont au-dessus lorsqu'il y a une tendance à la hausse et en dessous lors d'une diminution. Cela s'explique par le choix de la date pour la moyenne mensuelle : par exemple pour le mois de janvier, elle est placée à la date du premier janvier au lieu du 15 janvier (moitié du mois).

De plus, on observe la saisonnalité des concentrations en CO₂ sur la Figure 11. Un maximum de la concentration est atteint au mois de mai et un minimum au mois de septembre. La NOAA explique que cette différence provient de la photosynthèse des plantes.

Mauna Loa, Hawaii, United States (MLO), 1990

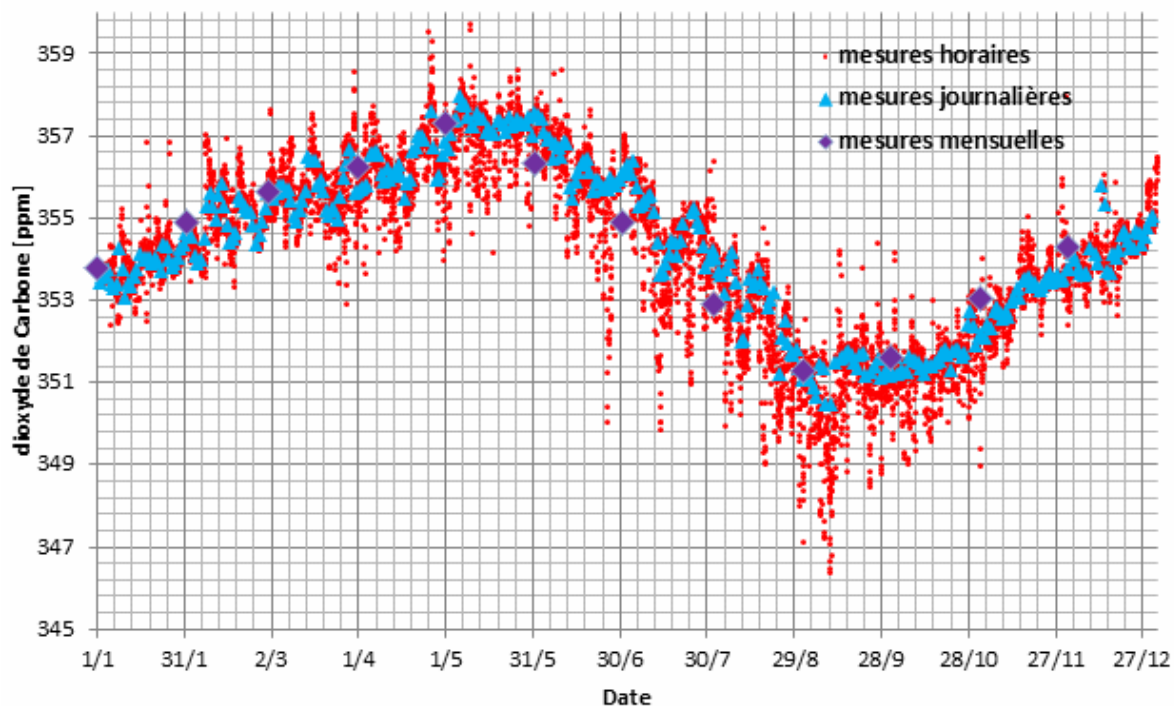


Figure 10 : Mesures des concentrations de CO_2 à Mauna Loa pour l'année 1990.

Mauna Loa, Hawaii, United States (MLO)

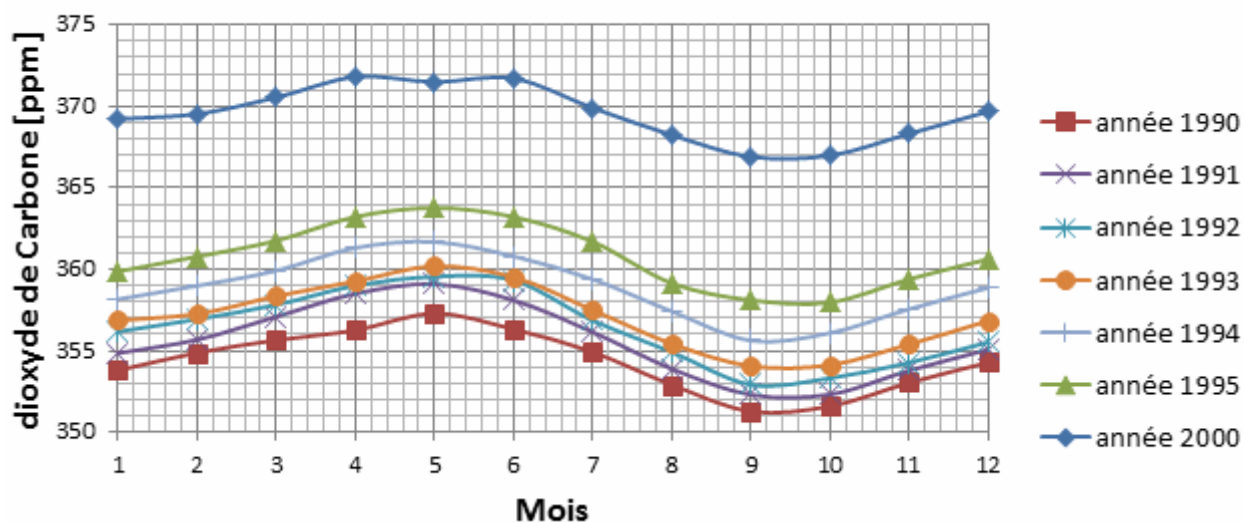


Figure 11 : Mesure du CO_2 à Mauna Loa, pour les années 1990 à 2000.

2. Hautes tours

Les données pour ce type de prélèvement ne sont pas fournies. Seuls les résultats présentés ci-dessous (en Figure 25 et Figure 26) sont accessibles.

Une étude a été réalisée au Wisconsin (États-Unis) à partir d'une haute tour. Les résultats présentés mettent en évidence l'influence de l'altitude sur les mesures de concentration en CO_2 (Figure 25). La variabilité des mesures est accrue lorsqu'elles sont réalisées à basse altitude. L'explication proposée par la NOAA est que l'influence humaine et de la flore est mieux

ressentie à basse qu'à haute altitude : pendant les horaires de la journée, les concentrations atteignent un maximum alors que la nuit les concentrations sont au plus bas.

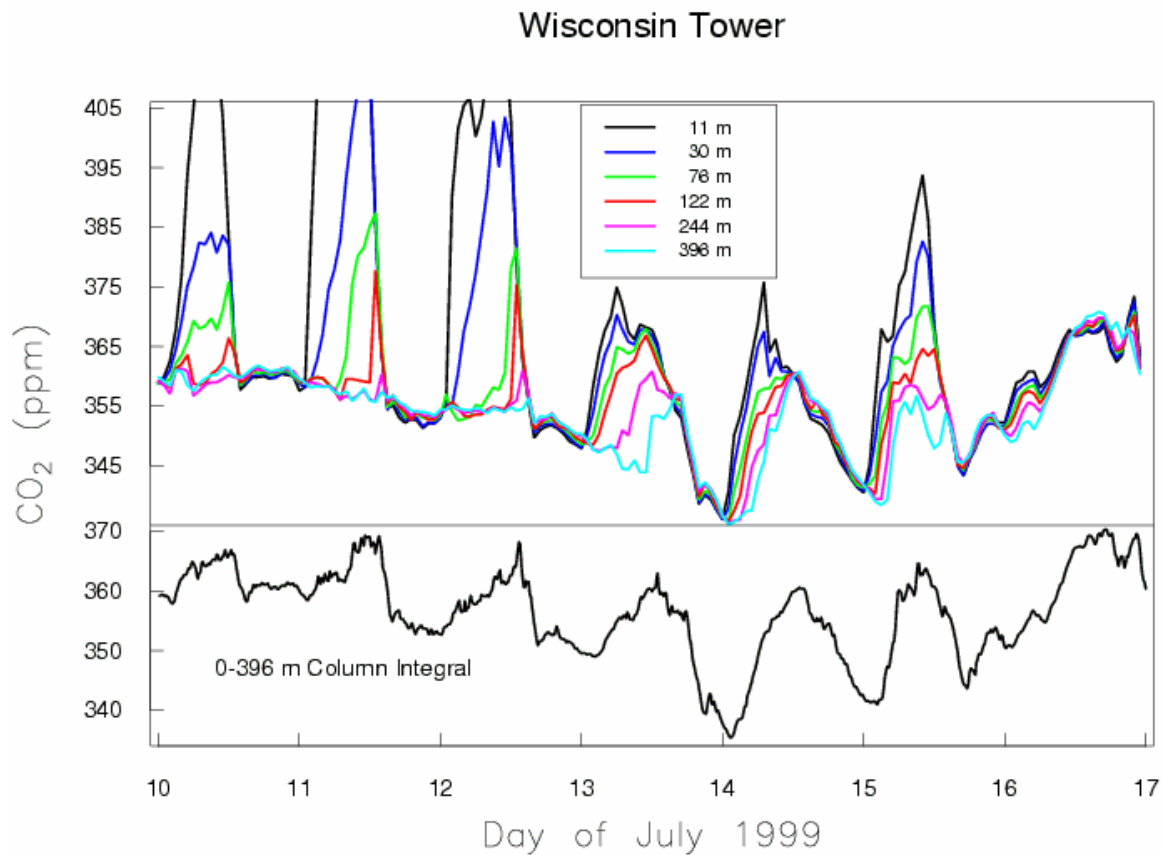


Figure 12 : Mesures de concentration en CO_2 pour une semaine de juillet 1999 à partir d'une haute tour (Wisconsin)

La Figure 13 présente l'influence des saisons sur la variabilité des mesures à différentes altitudes. Au mois de janvier, l'altitude ne joue aucun rôle sur la concentration mesurée : il y a moins de végétation et moins de "respiration de la flore".

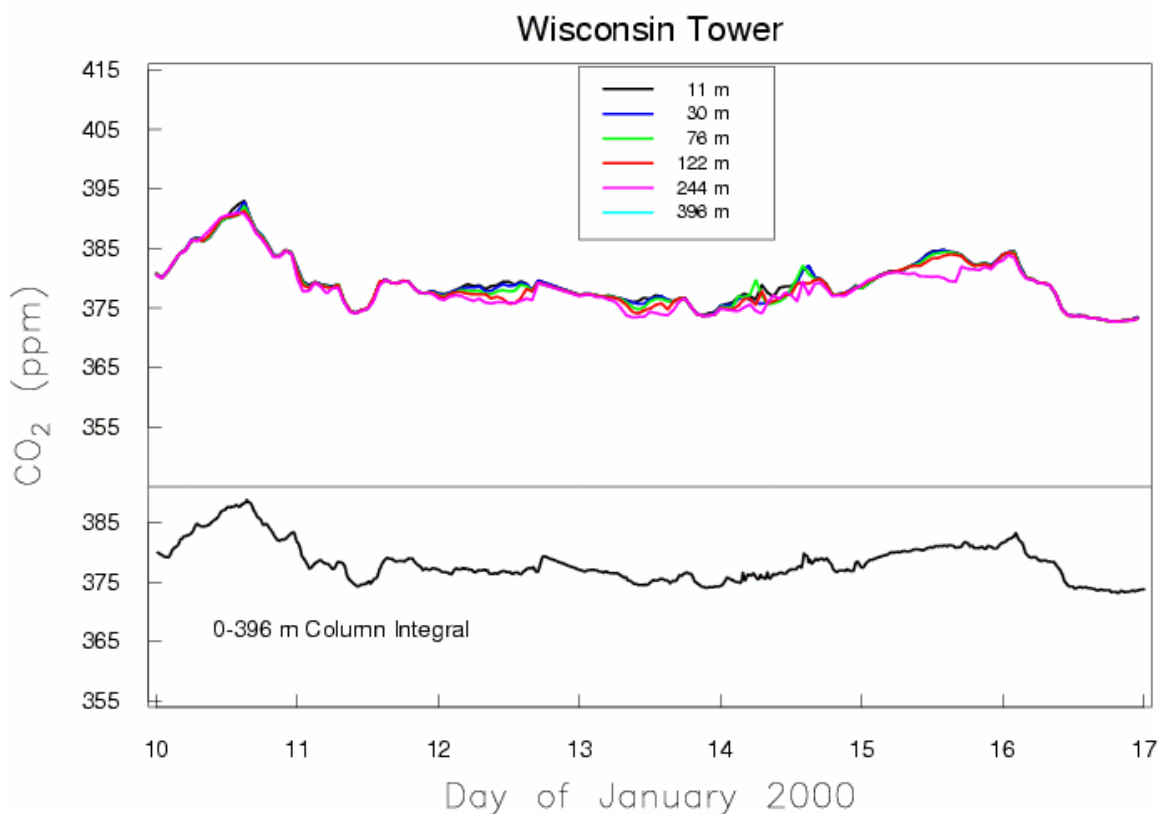


Figure 13 : Mesure de concentration en CO_2 pour une semaine de janvier 2000 à partir d'une haute tour (Wisconsin)

3. Mesures en surface

Les prélèvements ont été effectués dans différents laboratoires du monde et placés dans des bonbonnes.

Les données pour chaque laboratoire sont disponibles sur le site de la NOAA sous forme de fichier texte (91 fichiers). Chaque laboratoire propose un fichier texte avec les résultats mensuels (déjà traités). Les dates de prélèvement varient pour chaque laboratoire : par exemple les mesures en France vont de 1982 à 2013 et celles d'Allemagne de 2006 à 2013.

Les fichiers présentent plusieurs colonnes :

- le code correspondant au nom du site ;
- la date : l'année, le mois ;
- les concentrations : une valeur de -999,99 est donnée quand une valeur est manquante.

Les fichiers sont beaucoup moins détaillés que ceux des observatoires de référence. Il est possible de trouver la géolocalisation des laboratoires sur le site de la NOAA, mais pas directement dans le fichier texte.

Prenons comme exemple les laboratoires suivants :

Code	Nom	Pays	Latitude	Longitude	Elévation [m]
KZM	Plateau Assy	Kazakhstan	43,250	77,880	2519,0
KCO	Kaashidhoo	Républic of Maldives	4,970	73,470	1,0
CRZ	Crozet Island	France	-46,434	51,848	197,0

Tableau 1 : Répartition de trois laboratoires effectuant des mesures en surface.

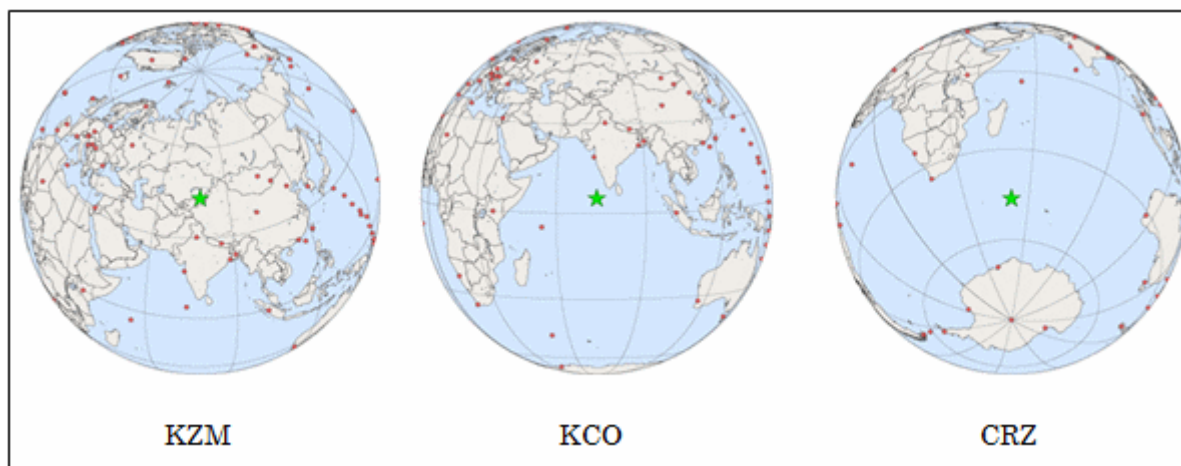


Figure 14 : Localisation des laboratoires appartenant à la France, au Kazakhstan et à la République des Maldives

Ces trois laboratoires se situent environ à la même longitude (Tableau 1). En couplant les données pour les années 1998 et 1999, il est possible d'observer les mêmes phénomènes que pour la Figure 23. Les variations de concentration sont plus importantes pour de hautes latitudes. Contrairement aux mesures effectuées dans les observatoires de référence, les fréquences de mesure de ces trois laboratoires sont moins constantes.

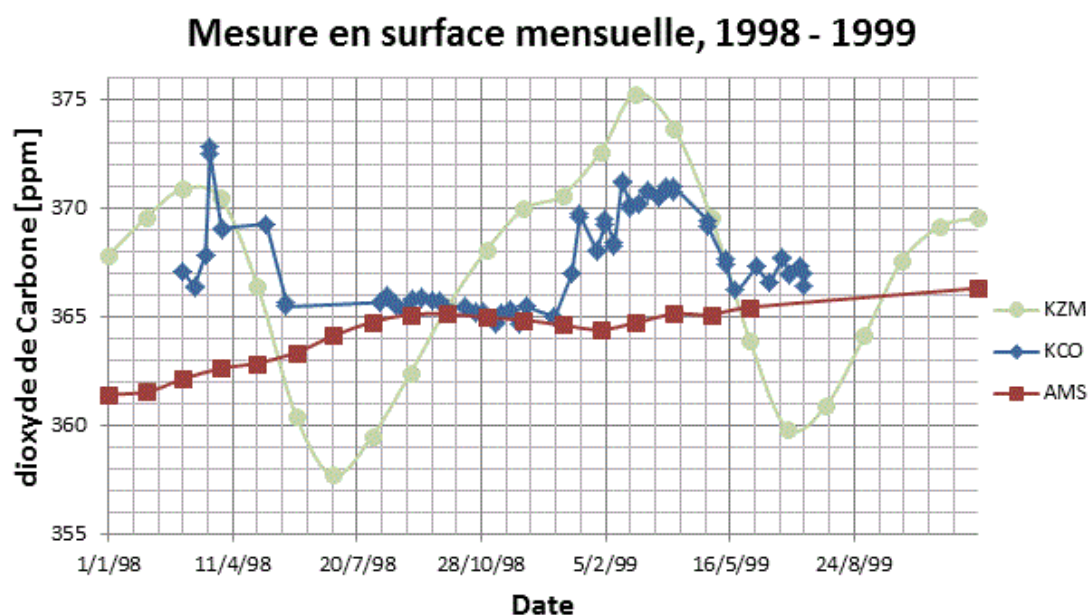


Figure 15 : Moyenne mensuelle de CO₂ pour différents laboratoires et pour l'année 1998 - 1999.

E. *Conclusion*

- Mauvaise répartition des capteurs

Pour les relevés mondiaux, la répartition spatiale des mesures n'est absolument pas homogène. Ainsi, quasiment toutes les stations de mesures sont localisées en Europe ou aux États Unis.

Le choix de la station de mesure de Mauna Loa pour représenter toute l'atmosphère terrestre est contestable, malgré les arguments de certains scientifiques. Les mesures ne sont effectuées qu'à un seul endroit, en haute atmosphère, sur un volcan. On aurait pu comparer les données de Mauna Loa aux autres mesures, sur une longue période, pour voir si elles étaient représentatives, mais cela n'a jamais été fait.

Il n'a jamais été prouvé qu'à partir d'une certaine altitude, le CO₂ soit réparti de manière homogène. La quantité de CO₂ qui se trouve dans la basse atmosphère ne peut en aucun cas être éliminée d'un bilan global. Il ne viendrait à l'esprit de personne de dire que l'on va éliminer la mesure des températures au niveau du sol, pour ne garder que les mesures en haute altitude.

- Insuffisance des données

Un premier problème se pose dans la façon d'analyser les échantillons de CO₂ récoltés. Seulement 13,7 heures sont conservées chaque jour dans les mesures de Mauna Loa, ce qui correspond à une grosse moitié de journée.

Pour les relevés mondiaux deux problèmes supplémentaires se posent. Premièrement, les données de chaque site ne sont pas disponibles pour des périodes journalières, mais uniquement par mois.

De plus, chaque laboratoire/observatoire édite et sélectionne ses propres données. Les résultats ainsi obtenus sont spécifiques à leur localisation.

Pour la station de Mauna Loa, seules des mesures nocturnes sont conservées. Comme expliqué précédemment, ceci est "justifié" par les flux d'air.

- Traitement des données

Les fichiers textes ont été préalablement traités. Le remplacement par moyenne ou interpolation des valeurs initialement manquantes est précisé. Les courbes précédentes sont directement issues des données de la NOAA.

Les données publiées montrent une augmentation de la concentration en CO₂, mais l'inhomogénéité des mesures et le traitement qui en est fait avant leur publication leur ôtent toute valeur scientifique : les données brutes sont nécessaires pour valider les traitements qui ont été faits.

III. Mesures chimiques directes du CO₂

A. Technologie de mesure

Les mesures directes de concentrations du CO₂, recueillies par différents scientifiques, ont été compilées par Ernst-Georg Beck dans "180 Years of atmospheric CO₂ gas analysis by chemical methods".

Plusieurs techniques ont été employées : la titrimétrie, la volumétrie, etc. Ces techniques permettent d'avoir une mesure à 3 ppm près. Il s'agit de techniques bien maîtrisées depuis 1812 et optimisées depuis.

Ces mesures ont été récoltées dans des zones rurales ou en périphérie de grandes villes. Elles sont donc sujettes à une forte variabilité locale due à l'absorption ou rejet du CO₂ par l'océan ou par les sols, la photosynthèse de la végétation, l'industrie, la pression atmosphérique locale, le vent, ou les diverses fluctuations naturelles. Pour pouvoir interpréter ce type de mesure, il faudrait mesurer le CO₂ dans chaque kilomètre cube du globe.

Les mesures chimiques dans la troposphère présentent des variabilités de plus de 400 ppm en moins de 5 ans, ce qui revient à dire qu'une quantité aberrante de CO₂ a été émise dans l'atmosphère durant cette période. Ces mesures ne reflètent donc pas la concentration mondiale du CO₂.

B. Répartition spatiale et temporelle des mesures

Ces mesures ont été prises, depuis 1812, en différents endroits de la surface du globe, majoritairement dans l'hémisphère nord. La densité temporelle des points de mesure est très variable en fonction des endroits.

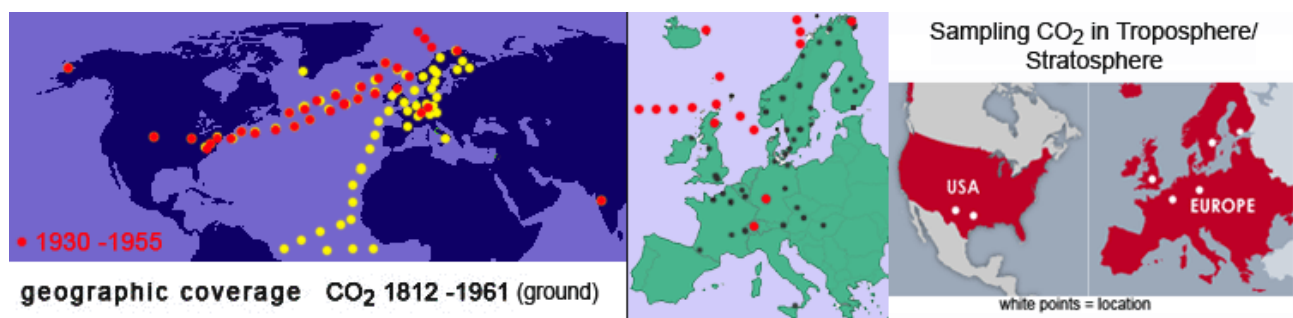


Figure 16 : Répartition des mesures chimiques

C. Résultats

Les mesures compilées par Georg-Ernst Beck indiquent une concentration en CO₂ dépassant 400 ppm à plusieurs reprises par le passé.

Ces données montrent une grande variabilité de la concentration du CO₂ ces 150 dernières années, et contredisent les données issues des carottes de glaces qui indiquent une concentration strictement croissante et très peu variable.

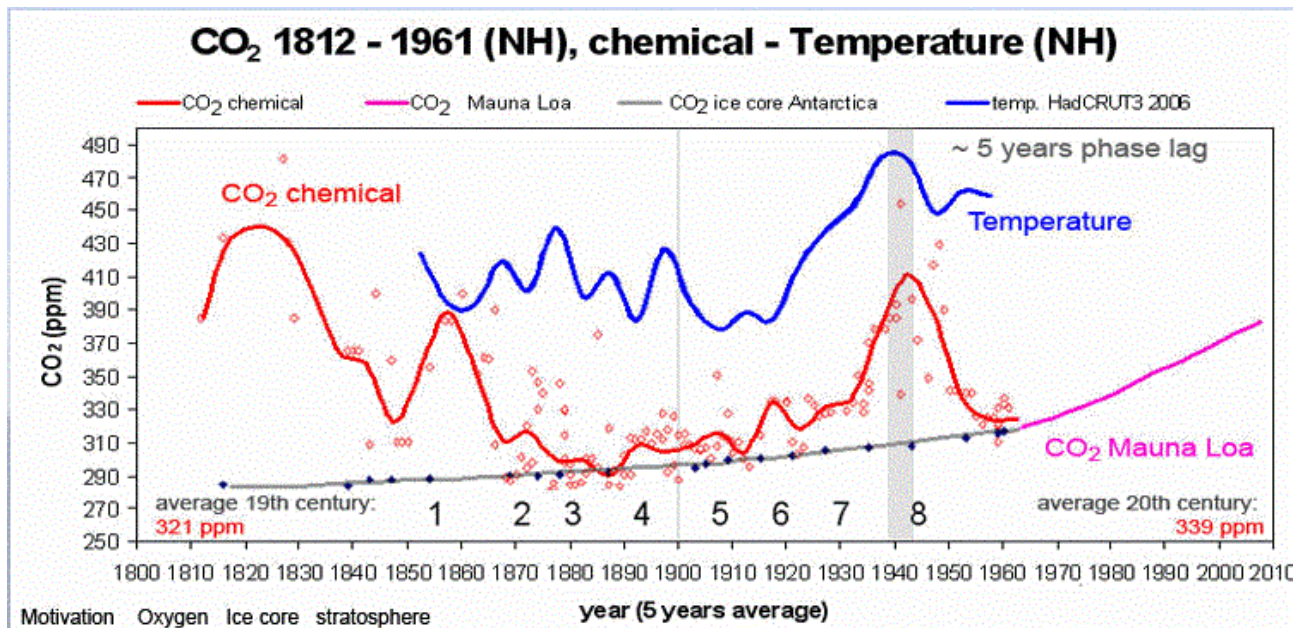


Figure 17 : Comparaison des différentes techniques (Beck et al. 2008)

D. Conclusion

Cette technique de mesure de CO₂ est bien maîtrisée, mais les stations de mesures ne sont pas réparties de façon homogène et leur nombre est clairement insuffisant, compte-tenu de la grande variabilité de la concentration en CO₂. On observe simplement que les données ainsi recueillies ne permettent pas de conclure à une augmentation de la concentration en CO₂.

IV. Mesures sur les carottes glaciaires

A. Technologie de mesure

La concentration des bulles d'air est mesurée par spectroscopie, par absorption des rayons lasers et par chromatographie gazeuse. Des échantillons de glace de 40 grammes sont placés sous vide et écrasés par une aiguille. L'air qui s'échappe est récupéré, puis analysé.

Cette méthode de mesure a une faible fiabilité, voir [Delmas]. Il s'agit de mesures indirectes, ne reflétant pas nécessairement la composition d'origine. Le CO₂ peut se dissoudre au fil du temps et être absorbé. Des réactions acido-carbonate peuvent se produire, ainsi qu'une oxydation de la matière organique par le H₂O₂. Ces incidents sont favorisés par la présence d'impuretés dans la glace. Celles-ci sont beaucoup moins présentes en Antarctique qu'au Groenland.

L'absence de gaz émis récemment (tels que le SF₆) dans les carottes glaciaires permet de conclure que celles-ci sont parfaitement hermétiques et n'ont pas été contaminées par l'air récent.

B. Répartition spatiale et temporelle des mesures

Dans les zones où les températures sont au-dessous de 0°C, la neige qui tombe ne fond pas mais s'accumule et se transforme progressivement en glace. Elle emprisonne ainsi des microbulles d'air et des poussières. Aujourd'hui, l'étude des carottes de glace permet de déterminer la concentration en CO₂ de ces microbulles d'air jusqu'à 800 000 ans.

Les chutes de neige en Antarctique sont peu fréquentes, ce qui limite le nombre de données disponibles.

De plus, pour les périodes les plus anciennes, la glace s'est compactée en profondeur sous son poids, ce qui réduit la précision dans la date. Les concentrations relevées sont ainsi des moyennes prises sur de très longues périodes. L'âge des bulles d'air peut différer de 6 000 ans par rapport à l'âge de la glace qui les emprisonne, et cet écart n'est pas correctement estimé actuellement.

Les données issues des carottes glaciaires sont disponibles sur le site de la NOAA en fichier texte. Ils présentent plusieurs colonnes : l'âge de l'air mesuré, l'âge de la glace, la profondeur de la glace, la concentration en CO₂ avec l'incertitude associée. Les principales sources de données brutes sont listées ci-après :

1) Les données de Vostok [DonnéesVostok] sont datées entre l'année -420 000 av. J.-C. et +2000 apr. J.-C. L'âge de l'air est calculé avec une précision de plus ou moins 5 000 ans, dépassant parfois 10 000 ans, et l'échantillonnage temporel varie de 2 400 à 4 500 ans dans les couches profondes, voir [Fisher].

2) L'étude ayant la plus grande profondeur historique a été réalisée par le projet européen EPICA en Antarctique [DonnéesDomeC]. La carotte de glace extraite mesure 3,1 km et permet de mesurer la concentration de CO₂ il y a 800 000 ans. L'incertitude sur l'âge il y a 800 000 ans est de plus ou moins 6 000 ans. Différentes méthodes de datation ont été utilisées (LR04 et EDC2), et elles ne montrent pas la même chose, à 20 000 ans près, voir [Parrenin].

3) Des mesures ont également été réalisées à partir de carottes glaciaires au Law Dome [DonnéesLawDome]. Elles sont datées d'entre l'an 948 et 1992. Les données sont lissées sur 10 ans pour les couches profondes.

C. Résultats

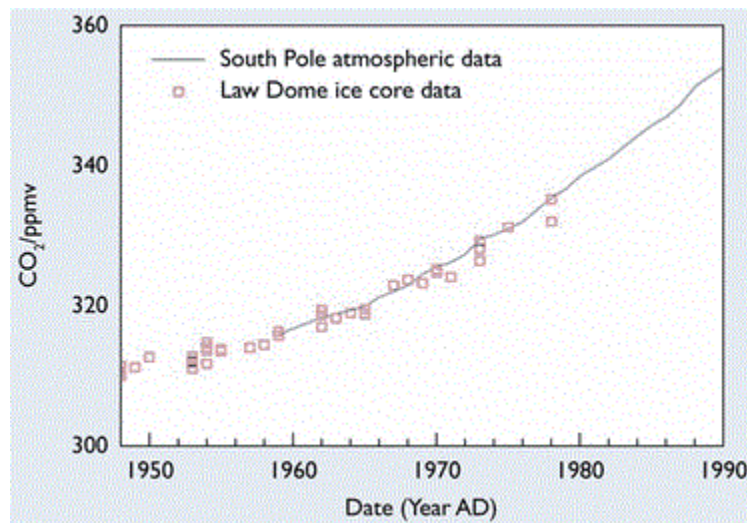


Figure 18 : Mesures directes du CO₂ comparée avec les mesures issues de la glace.

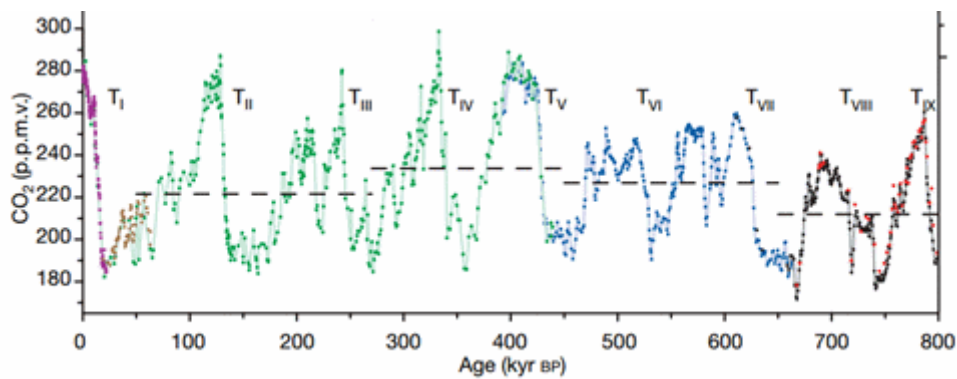


Figure 19 : Mesures du CO₂ au Dome C (violet, bleu et noir), Taylor Dome (marron) et à Vostok (Vert)

Les mesures du CO₂ indiquent une concentration relativement stable comprise entre 180 et 280 ppm (Figure 32). Les données issues de la glace ont été comparées avec les mesures directes atmosphériques au pôle sud, et ces mesures semblent être en accord à l'échelle de l'année (Figure 31). Les concentrations mesurées au Law Dome coïncident avec celles mesurées à Vostok.

D. Conclusion

Plusieurs défauts méthodologiques apparaissent ici :

- Premièrement, la technique est critiquable. Etant donné qu'il s'agit de mesures indirectes, la composition des carottes n'est pas strictement représentative de l'atmosphère de l'époque. De plus l'incertitude sur l'âge réel du gaz emprisonné est très grande.
- Deuxièmement, les mesures sont clairement limitées aux régions de prélèvement et ne peuvent donc pas refléter la concentration globale du CO₂.

V. Mesures sur des stomates des plantes fossiles

A. *Technologie de mesure*

Les stomates sont des pores microscopiques présents dans les feuilles des plantes fossiles. Ils sont utilisés pour les échanges gazeux. Il existe une relation empirique entre la densité de stomates et la concentration en CO₂. Il s'agit là de mesures indirectes très peu précises, l'incertitude allant jusqu'à 60 ppm.

B. *Résultats*

Ces mesures indiquent une variabilité du CO₂ bien plus importante que pour les carottes glaciaires, et bien souvent des niveaux de concentration très supérieurs. De plus, les différentes études analysant ce type de données sont en désaccord. Dans [Beerling] la plage de concentrations est comprise entre 225 ppm et 310 ppm pour la période d'il y a 9 000 ans, alors qu'elle se situe entre 250-360 ppm dans [Wagner].

C. *Conclusion*

L'incertitude sur ces mesures est bien trop grande pour qu'elles puissent être retenues.

VI. Analyse critique

Il n'existe rien qui permette d'étayer la conclusion, que l'on retrouve partout, selon laquelle la concentration en CO₂ augmente constamment, et serait supérieure à tout ce qui a pu se voir avant l'ère industrielle.

En réalité, la concentration en CO₂ varie constamment, d'un point à un autre, d'une heure à l'autre, tout comme la température. Prétendre que les données recueillies en un petit nombre d'observatoires (une centaine !), traitées et expurgées comme on l'a vu, sont représentatives de la valeur mondiale est une absurdité. Ce choix restreint résulte d'un consensus d'experts, et n'a jamais été validé.

Les différentes méthodes de mesure donnent des résultats différents, ce qui n'a rien d'étonnant compte-tenu de la variabilité du phénomène. La référence à des carottes prélevées dans des glaces est une absurdité : ces carottes sont représentatives de la concentration en CO₂ à cet endroit-là (et encore, sur une très longue période !) et nullement de ce que peut être la concentration ailleurs.

Il y a un consensus au sein d'une certaine communauté pour présenter comme "scientifiques" les résultats obtenus par les méthodes qu'elle préconise, même si ces méthodes n'ont jamais été validées et souffrent à l'évidence de défauts méthodologiques majeurs.

Notre conclusion est très claire : l'ensemble de la méthodologie mise en œuvre pour l'observation du CO₂ est à reprendre, avant même, évidemment, que l'on réfléchisse sur les résultats obtenus par cette observation. Il faut commencer par documenter correctement la variabilité naturelle de la concentration en CO₂ (de quoi dépend-elle et comment se manifeste-t-elle ?) ; n'oublions pas que l'on veut ici faire un bilan global de la concentration dans l'ensemble de l'atmosphère.

Prenons une comparaison simple pour bien faire comprendre ceci. Imaginons que l'on cherche à documenter les occurrences des péchés commis par l'espèce humaine. Avant de conclure "nous pouvons restreindre nos investigations au voisinage des cathédrales", ce qui aurait au moins le mérite de la simplicité, il faudrait se renseigner sur la variabilité "naturelle" des péchés. Peut-être, en définitive, y en a-t-il davantage loin des cathédrales ?