

Rôle de l'océan sur le CO₂ atmosphérique

Variabilité de la mesure

Ce document a pour vocation de mettre en œuvre des démarches expérimentales, autour de capteurs, sur le réchauffement des océans afin de sensibiliser les apprenants aux enjeux du réchauffement climatique. Il entre dans la thématique du « développement » durable et de la transition énergétique » et permet de créer du lien avec les Mathématiques en montrant la pertinence de la variabilité de la mesure dans une séquence de première ou de terminale professionnelle.

Présentation de la situation

Rôle de l'océan sur le CO₂ atmosphérique

L'objectif de l'activité est de pratiquer une démarche expérimentale afin de démontrer qu'en se réchauffant, l'océan ne joue plus son rôle de puits de carbone. Pour ce faire, l'utilisation d'un capteur de CO₂ permettra de sensibiliser les élèves aux incertitudes de mesures. En montrant, après traitement statistique que la distribution des mesures du capteur suit probablement une loi gaussienne, l'enseignant pourra utiliser cette incertitude pour sensibiliser les apprenants à l'importance d'un intervalle de confiance autour de la moyenne, dans lequel on aura une certaine probabilité de trouver la concentration de CO₂

Cette séance peut intervenir à la suite de séquences expliquant le réchauffement climatique global lié à l'augmentation anthropique du dioxyde de carbone qui est un des gaz à effet de serre.

Reformulation de l'énoncé en question scientifique :

Comment montrer que l'océan peut se comporter comme un puits de carbone ? A quelle grandeur physique mesurable peut-on relier la capacité de l'océan à être un puits de carbone ?

Comment montrer que le réchauffement des océans influence la concentration de CO₂ atmosphérique ?

Activité (expérimentale) n°1 : Comment montrer que l'océan peut se comporter comme un puits de carbone ?

Cette recherche peut s'opérer en interactivité avec le groupe classe, en recueillant des propositions et en les mettant en débat. Une formulation de questions moins ouvertes associée à un dossier documentaire en annexe peut éventuellement être présentée si les élèves ne parviennent pas à faire des propositions.

Une recherche pourrait aussi, avec des aides apportées par l'enseignant, amener les élèves à trouver les étapes nécessaires pour répondre à la question en menant des activités expérimentales. Il s'agira de simuler l'interaction entre l'atmosphère et l'eau de l'océan au niveau du laboratoire, de modéliser une atmosphère contenant du dioxyde de carbone, de modéliser une atmosphère contenant du dioxyde de carbone surplombant l'océan et d'inciter les apprenants à réfléchir sur la mise en œuvre et la programmation de capteur pour effectuer des mesures.

```

1 from microbit import *
2 from lcd_i2c import LCD1602
3 from sgp30 import SGP30
4
5 lcd = LCD1602()
6 sgp30 = SGP30()
7
8 uart.init(baudrate=4800, tx=pin14, rx=pin0)
9
10
11 while True:
12     lcd.clear()
13     lcd.setCursor(0,0)
14     lcd.writeTxt(str('CO2'))
15     lcd.setCursor(0,1)
16     lcd.writeTxt(str(sgp30.eCO2()))
17     uart.write(''.join([str(x) for x in ['CO2', ';', sgp30.eCO2()]]) + '\n')
18     sleep(5000)
19 |

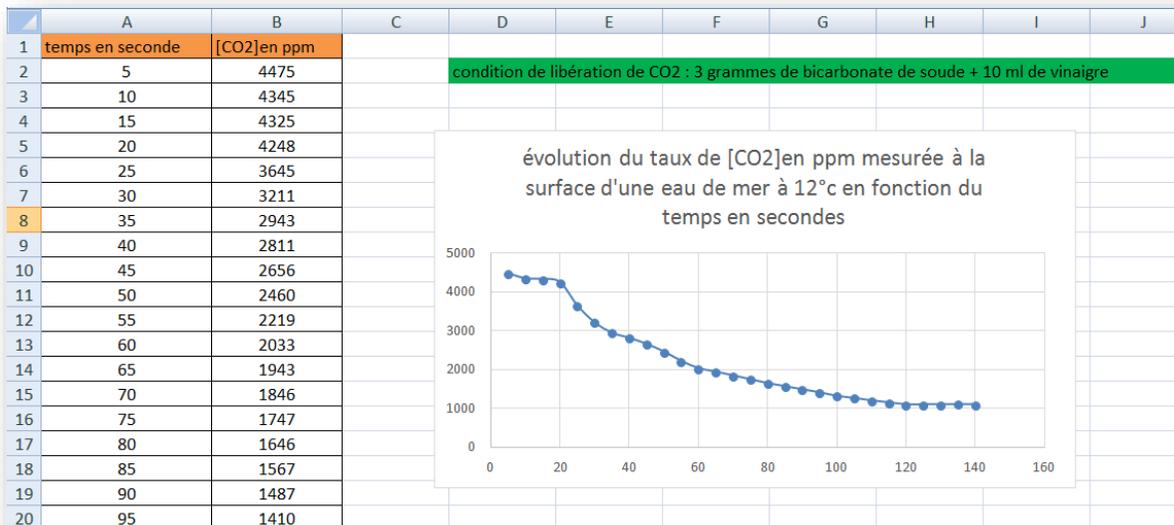
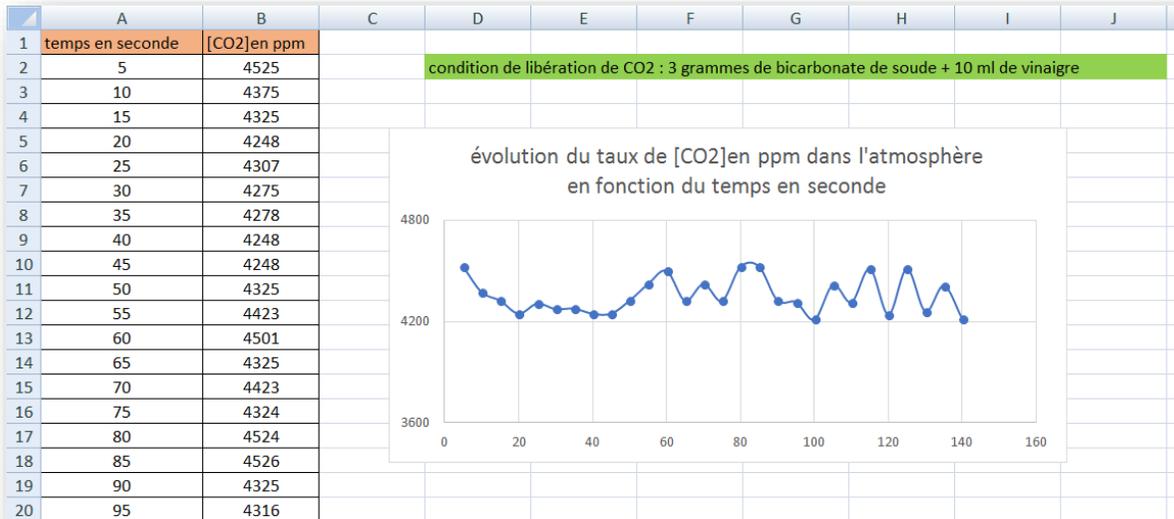
```

Une boucle permet de relever sur un écran (LCD1602) la valeur de la [CO₂] en ppm à l'aide du capteur (SGP30) toutes les cinq secondes.

Les données sont récupérées sur une carte SD afin d'être exploitées sous Excel©

Deux capteurs de CO₂ programmés de manière identique permettent de suivre l'évolution du taux de CO₂ dans l'atmosphère d'une part et à la surface d'une mer à 12°C d'autre part

L'analyse des deux courbes suivantes permet de démontrer que l'eau de mer à 12°C se comporte comme un puits de carbone.



Activité expérimentale n°2 : comment montrer que le réchauffement des océans influence la concentration de CO₂ atmosphérique ?

L'objectif est de répondre à la problématique par une expérience simulant un ensemble atmosphère / océan à des températures différentes.

L'activité expérimentale mise en œuvre au laboratoire montrera qu'une élévation du système atmosphère / océan conduit à un enrichissement de l'atmosphère en dioxyde de carbone.

L'expérience consistera à mettre en évidence qu'un accroissement de la température de l'eau de mer provoque un dégazage et donc une augmentation de la pression partielle de dioxyde de carbone, à pression totale constante.

Pour ce faire, un capteur de CO₂ mesure le taux de [CO₂] en ppm à la surface d'un volume d'eau de mer placé à des températures de 12, 14, 18, 20, 24 et 30 degrés Celsius.

L'élève modifiera l'algorithme précédent de façon à faire un relevé toutes les secondes.

Pour chaque température du volume d'eau de mer, le capteur relève 300 mesures de valeur de [CO₂] en ppm (1 mesure par seconde pendant 5 minutes). Sur les fichiers Excel® en annexe, un tirage aléatoire avec remise de 30 valeurs de mesures du taux de [CO₂] en ppm permet de créer un échantillonnage des valeurs données par le capteur.

On peut étudier dans ces conditions la loi d'échantillonnage des moyennes et estimer un intervalle de confiance de 95% des valeurs de [CO₂] données par le capteur à différentes températures.

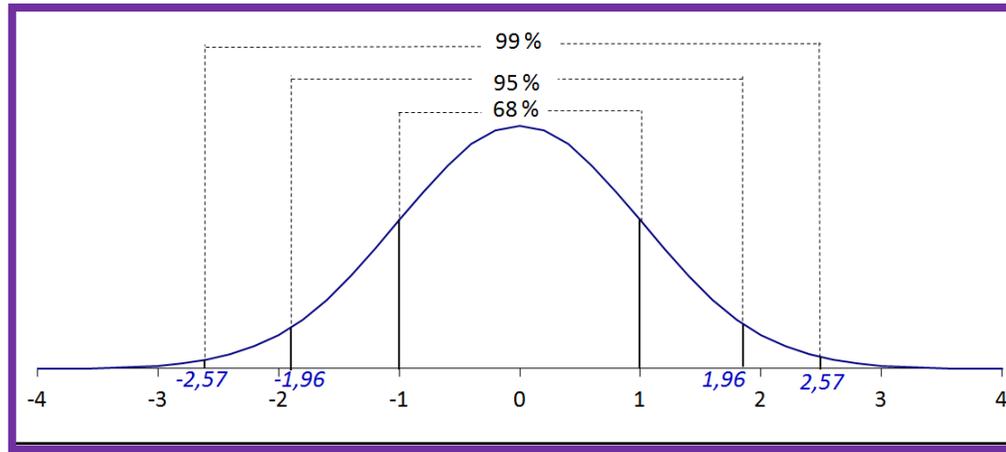
L'opération de mesurage est répétée plusieurs fois dans des conditions considérées comme identiques. Le nombre de mesure $N \geq 30$

On peut alors traiter statistiquement les données pour estimer l'incertitude sur une série suffisante de mesures et on obtient :

- La meilleure estimation de la valeur « X_{vraie} » de la mesure est la moyenne des mesures : \bar{X}
- La meilleure estimation de l'incertitude type sur la moyenne d'une série de mesures est $\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$

L'écart type σ d'une série de données donne une idée de la dispersion ou de l'étalement des données. Le facteur supplémentaire $\frac{1}{\sqrt{N}}$ montre que plus on fait de mesures, plus l'incertitude commise sur la valeur moyenne sera faible, donc plus le résultat sera précis.

La valeur de la mesure est alors : $X = \bar{X} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$



L'intervalle de confiance de la moyenne de la valeur des mesures du taux de CO₂ donné par le capteur avec le coefficient de confiance de 95% (ou le risque de 5%) est :

$$\left[\bar{X} - 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{30}} ; \bar{X} + 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{30}} \right]$$

(Les fichiers Excel© sont joints et peuvent être transposables à n'importe quels types de mesures)

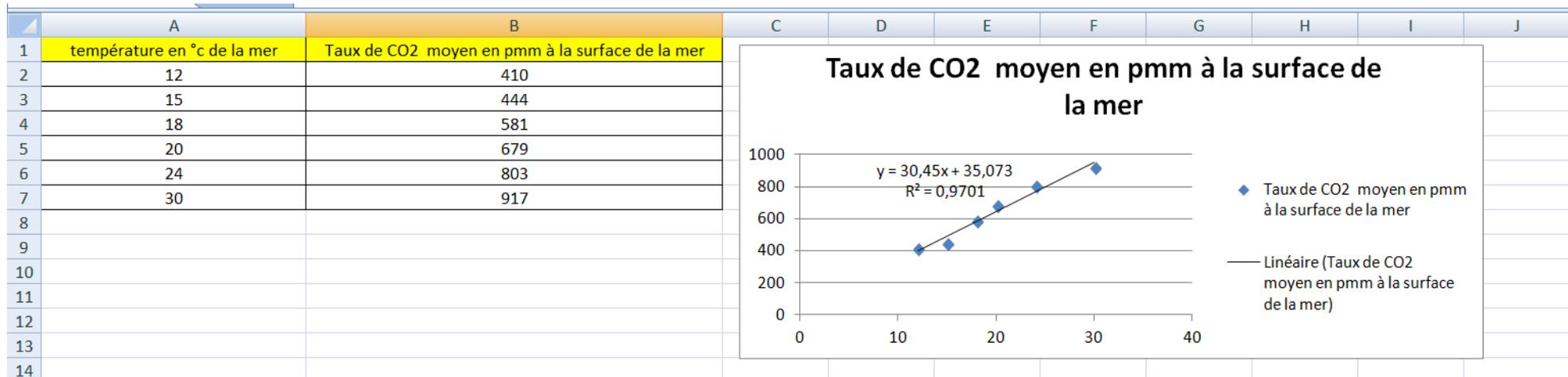
L'enseignant fournit un fichier Excel©, prêt à l'emploi où l'apprenant n'aura qu'à copier à partir de la carte SD les différentes mesures effectuées par le capteur. Le fichier Excel© peut également être partiellement guidé (l'apprenant peut entrer la valeur de la moyenne et de l'écart-type par exemple). La macro générant l'échantillon de 30 mesures sera réalisée par l'enseignant.

L'apprenant écrit avec un nombre adapté de chiffres significatifs la valeur de la moyenne et de l'écart type de la grandeur physique et conclue de manière qualitative sur la valeur du taux de CO₂ obtenu pour chacune des températures.

On constate que l'élévation de la température de l'eau entraîne une libération de CO₂ dissous dans l'air qui passe de 444 ppm (eau de mer à 12°C) à 917 ppm (eau de mer à 30°C).

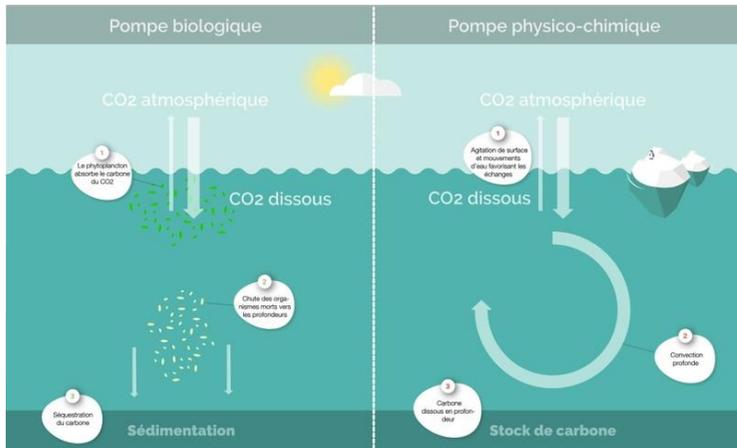
Il peut être judicieux de montrer aux apprenants que l'on s'intéresse à deux grandeurs : le taux de CO₂ et la température. On peut donc essayer de relier ces deux grandeurs par une loi les reliant :

[CO₂] = f (T). Ici, l'enseignant pourra montrer que cette loi est affine et expliquer la régression linéaire



Il est intéressant d'exploiter les résultats obtenus pour communiquer aux élèves que dans le cadre du cycle du carbone terrestre, l'océan n'est pas un puits de carbone, mais une source de carbone, en cas de réchauffement climatique global. L'effet de ce départ de CO₂ vers l'atmosphère, suite au réchauffement climatique, est une amplification de l'effet de serre et donc une accentuation du réchauffement climatique.

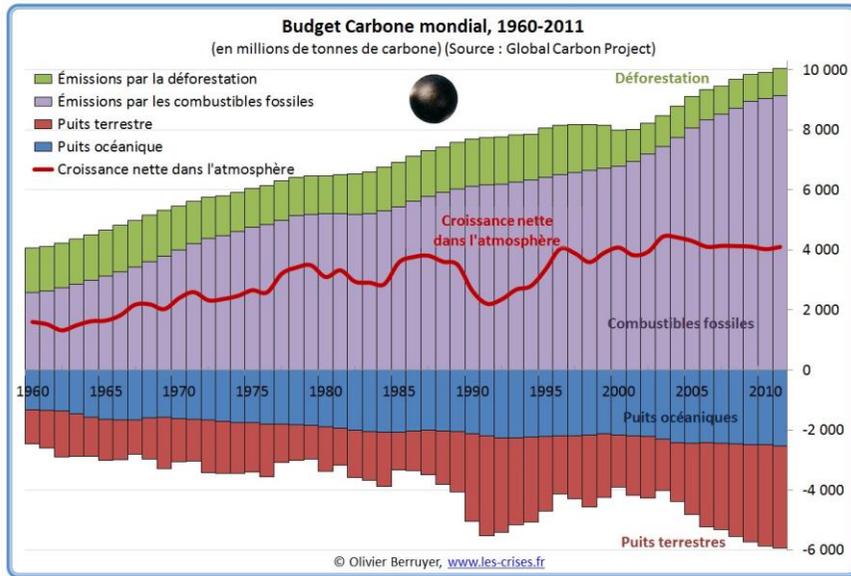
Depuis cinquante ans, le réchauffement global entraîne un réchauffement global des océans, provoquant une diminution de la solubilité du CO₂ dans l'océan. L'augmentation accrue du CO₂ atmosphérique, constituant principal des gaz à effet de serre, contribue à la fonte des calottes polaires.



Un puits de carbone est un réservoir naturel ou artificiel qui absorbe et stocke le carbone de l'atmosphère, grâce à des mécanismes physiques et biologiques



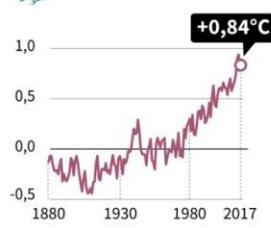
Dégagement de CO₂ (bicarbonate de soude + vinaigre) dans un bécher simulant un ensemble atmosphère/océan avec une mer à 12 degrés Celsius et dans un bécher simulant l'atmosphère. Des capteurs identiques de CO₂ suivent l'évolution du taux de CO₂.



Niveau record de gaz à effet de serre en 2017

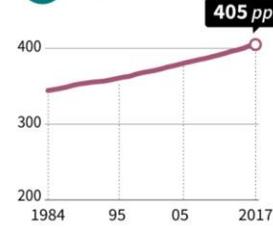
«Le taux de croissance global du CO₂ a presque été multiplié par quatre depuis le début des années 1960»

Températures



Source : NOAA

CO₂



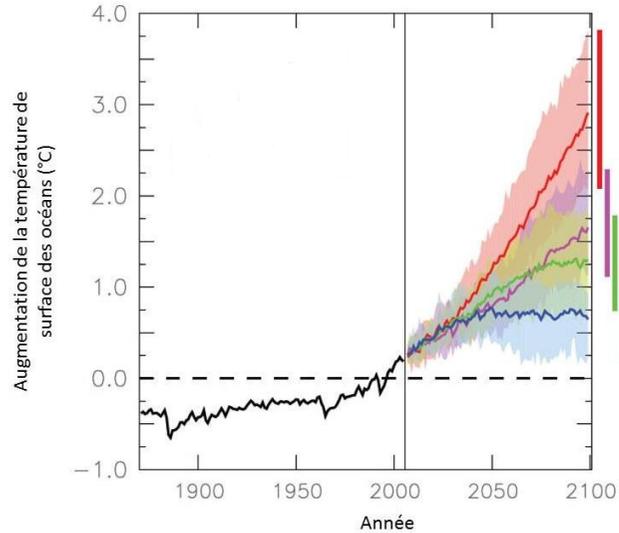
Fonte des glaces

Arctique : en mars plus faible étendue de banquise en **37 ans** de mesures



38^e année consécutive de **rétrécissement des glaciers** de la planète

© AFP



Evolution de la température de surface moyenne des océans (°C) depuis les années 1870 (ligne noire) et modèles de prédiction pour 2100 basés sur les différents scénarios émis par le GIEC (groupeement intergouvernemental d'étude du climat). L'ombrage indique l'écart type inter-modèle.