

BOUMAHDJ Ismael

MAURIN Louis

WARLOP Yann



rentre au lycée.



Professeurs : Romain Marie et Arnaud Durieux
Chercheur : Benjamin Hanoune

Sommaire

- Résumé
- Introduction au Sujet

Capteur de CO2

- Introduction
- Fonctionnement : Beer Lambert
- Traitement des données (code)
 - Quantification
 - Améliorer la précision
 - Enregistrer les données
 - Affichage en temps réel
- Modélisation
 - Taux de renouvellement de l'air
 - Comptage du nombre de personnes dans une pièce
- Début de solution

Capteur de particules

- Introduction
- Fonctionnement : Diffusion de Mie
 - Énoncé de la Diffusion de Mie
 - Observation du phénomène
- Traitement des données (code)
- Résultats et Réglementation

Collaboration avec le chercheur

Conclusion

- Sources

Résumé

Dans le but de réaliser des mesures de qualité d'air, nous réalisons deux systèmes Arduino destinés à établir des valeurs sur la concentration de CO₂ et sur la quantité de particules fines dans l'air.

Introduction

La mauvaise qualité de l'air est un enjeu actuel qui nous concerne tous, elle représente un danger pour notre santé.

Dans chacun de nos trajets quotidiens, de nos journées de lycéens, nous sommes exposés à la pollution de l'air. Le type de pollution peut varier: dioxyde de carbone CO_2 , particules fines ou autres polluants.

Dans le cadre des Olympiades de Physique, nous nous sommes donc penchés sur la question de la qualité de l'air rencontrée par un lycéen, au cours d'une journée banale, dans les transports en commun, sur la route, et à l'intérieur de son lycée.

Nous avons développé nos propres systèmes de mesures pour déterminer la qualité de l'air dans des lieux variés. Nous avons également travaillé parallèlement avec un chercheur du PC2A (Université de Lille) qui nous a aidé dans nos mesures et nous a renseigné sur des informations utiles. Nous avons interprété et comparé ces mesures à des normes, recommandations et études afin de déterminer les effets sur nous, les lycéens.

Capteur CO_2

Introduction

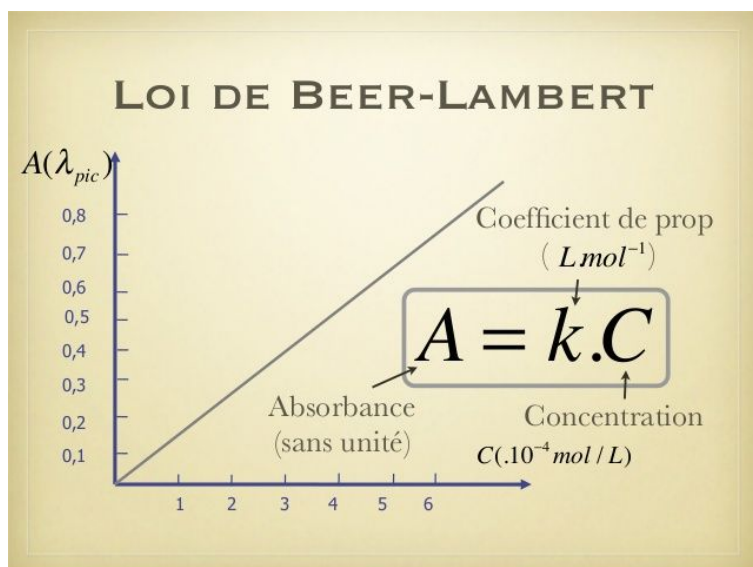
Certaines salles du lycée Colbert sont assez petites et avec 27 élèves pendant plus de 2 heures de cours, la chaleur et la sensation d'asphyxie peuvent se faire rapidement ressentir si la salle n'est pas aérée.

Lorsque que nous respirons, nous consommons ou absorbons du dioxygène O_2 et rejetons du dioxyde de carbone CO_2 .

Nous avons donc décidé de réaliser des mesures de concentration de CO_2 pendant les cours.

Afin de réaliser ses mesures, nous avons décidé d'utiliser un capteur de CO_2 relié à une carte Arduino.

Principe de fonctionnement



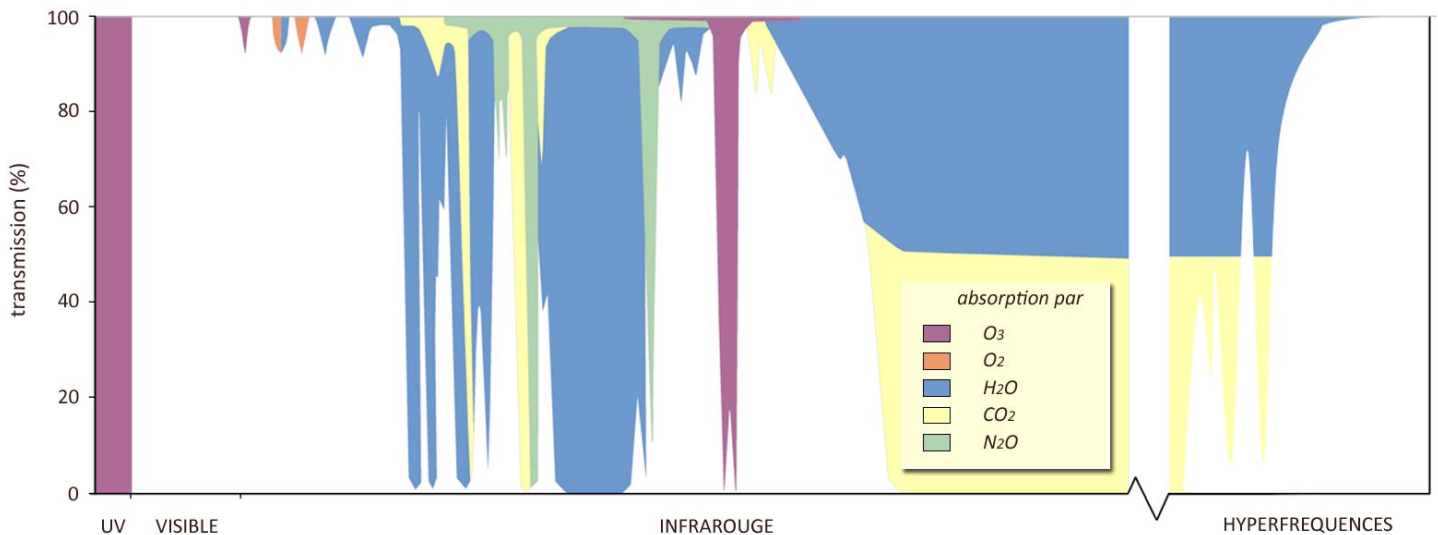
La loi de Beer-Lambert établit une proportionnalité entre l'absorbance et la concentration.

Elle est applicable aux gaz.

C'est ce que notre capteur de CO_2 va utiliser en mesurant l'intensité de la lumière après être passée à travers le gaz. Le capteur va ensuite calculer

l'absorbance A $A = \log\left(\frac{I_{réf}}{I_{mesuré}}\right)$

à l'aide de l'intensité lumineuse obtenue et l'intensité lumineuse de référence quand il n'y a pas de gaz absorbant. Par proportionnalité, plus l'absorbance est grande, plus la concentration en CO_2 est grande.



Ce graphique nous donne la transmission des différents gaz de l'atmosphère en fonction du domaine des ondes électromagnétiques. Dans le visible, la transmission est de 100%, le CO₂ n'absorbe pas, c'est pour ça qu'il est invisible à l'œil nu. Par contre, sur le graphique, on peut voir que le CO₂ absorbe dans l'Infrarouge. Notre capteur va donc mesurer son absorption dans l'Infrarouge.

Traitement des données

-Quantification

Dans notre système, la concentration mesurée grâce au capteur de CO₂ (Gravity SEN0219) arrive dans la carte Arduino Uno sous forme de tension via l'une de ces 6 entrées analogiques pouvant mesurer des tensions comprises entre 0 et 5 volts. Cette tension va ensuite être convertie grâce au CAN (Convertisseur Analogique Numérique) intégré à la carte. Le CAN numérise la tension sur 10 bits (soit $2^{10} = 1024$ points). Ici on va s'intéresser surtout à la quantification du CAN qui va jouer sur la précision de nos mesures et non l'échantillonnage car dans notre modèle, on ne mesure pas la valeur à chaque instant. La résolution ou pas de quantification du CAN est donnée par la relation :

$$p = \frac{\text{plage de mesure}}{2^N} \text{ avec } N \text{ le nombre de bit du CAN}$$

On a donc : $p = \frac{5}{2^{10}} \approx 0,0048828125 \text{ V}$, la précision du CAN de l'Arduino est donc d'environ 5mV.

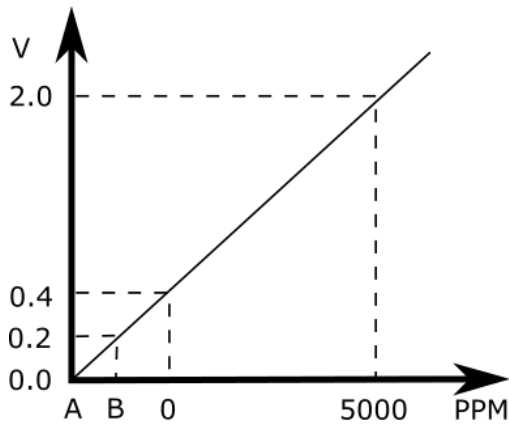
Une valeur de 1024 en sortie du CAN, correspond donc à 5000 mV en l'entrée. En faisant un simple produit en croix, on obtient :

// The analog signal is converted to a voltage

```
float voltage = sensorValue*(5000/1024.0);
```

Ce code qui provient de la fiche technique du capteur permet de passer de la valeur en sortie du CAN (sensorValue) à la tension en entrée (voltage) en mV.

Dans la fiche technique, on trouve aussi comment passer de cette tension à une concentration en ppm.



La plage de mesure du capteur est de 0 à 5000 ppm avec une précision de ± 50 ppm. Une tension de 0V est envoyée si il y a une erreur lors de l'initialisation du capteur et 0.2V si le capteur est en train de préchauffer (3 min requises). La valeur 0,4V correspond à une valeur de 0ppm. On va donc retirer 400 mV à notre tension calculée :

```
int voltage_difference=voltage-400;
```

On a maintenant $2.0-0.4=1.6V$ qui correspond à 5000 ppm. Via un produit en croix, on peut maintenant calculer notre concentration :

```
float concentration=voltage_difference*5000/1600.0;
```

A: Fault

B: Preheat

- Améliorer la précision

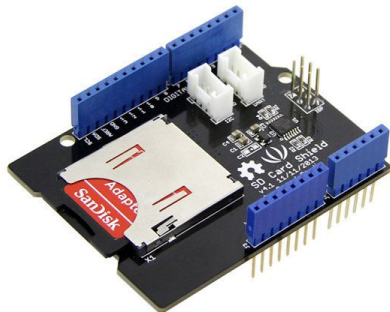
Le CAN de la carte Arduino ayant une précision d'environ 5 mV, nous nous sommes demandés si nous pouvions utiliser un CAN plus précis dans notre système.

$$\frac{\frac{5}{2^{10}} * 1000 * 5000}{1600} \approx 15 \text{ ppm}$$

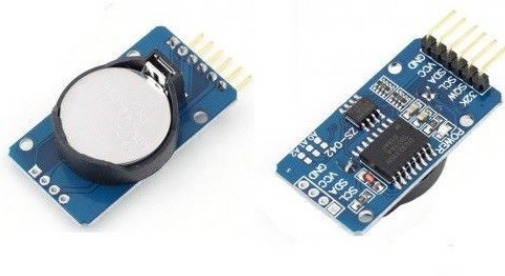
Notre CAN peut détecter une variation de 15 ppm, or le capteur de CO₂ n'a qu'une précision de 50 ppm. Il nous faudrait donc utiliser un capteur de CO₂ plus précis plutôt qu'un CAN.

Maintenant, on peut aussi remarquer que l'imprécision due à la quantification du CAN peut faire alterner la valeur mesurée. Nous allons donc faire la moyenne sur 10 mesures espacées d'une seconde chacune pour compenser cela.

-Enregistrer les données



**Support
pour
carte SD**



**Horloge
(RTC)**

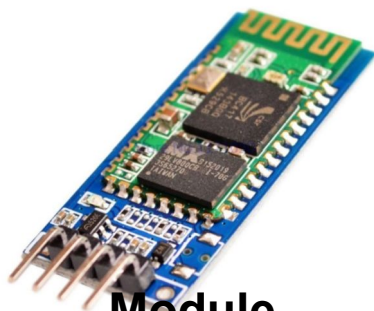
Pour stocker les résultats de nos expériences, on va utiliser un lecteur de cartes SD compatible avec Arduino. Les mesures sont écrites directement dans un fichier csv de la carte SD qui peut s'ouvrir avec un tableur.

De plus, on utilisera une horloge (aussi appelée RTC pour Real Time Clock) pour obtenir le moment exact de prise des mesures. L'horloge RTC permet de ne pas avoir à remettre le système à l'heure à chaque nouvelle utilisation car elle est équipée d'une pile qui a une très longue durée de vie.

	A	B	C	D	E
1	03/10/2019	13:39:57	1	3	5041.25
2	03/10/2019	13:42:57	2	6	2296.88
3	03/10/2019	13:45:57	3	9	1998.44
4	03/10/2019	13:48:57	4	12	1964.06
5	03/10/2019	13:51:57	5	15	2007.50
6	03/10/2019	13:54:57	6	18	2043.75

Voici un exemple de fichier csv obtenu. On a ici la date, l'heure, le numéro de la mesure, les minutes depuis le lancement du programme et enfin la mesure de la concentration du CO₂ en ppm. Les premières mesures de la concentrations sont fausses car notre capteur a besoin d'un certain temps pour s'initialiser.

-Afficher les valeurs en temps réel



**Module
Bluetooth
HC06**

Le module Bluetooth HC06 permet simplement d'effectuer la connexion entre la carte Arduino et un téléphone. Il nous suffit de convertir notre valeur mesurée en chaîne de caractères à envoyer.

On va ensuite créer notre propre application grâce au logiciel en ligne MIT App Inventor 2. Il nous permet de créer des applications smartphone très facilement. La programmation dans MIT App Inventor 2 est très intuitive car elle utilise un système d'emboîtement de blocs semblable à celui de Scratch.

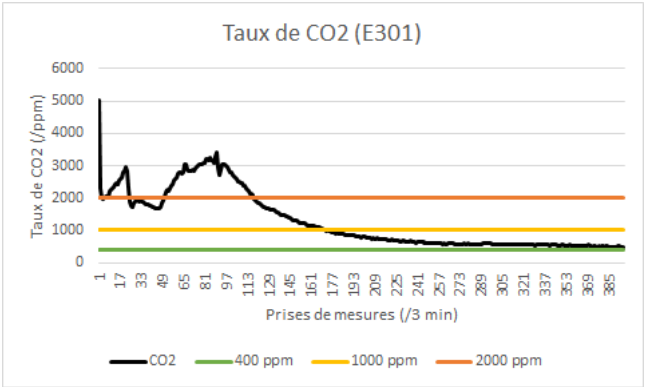


L'interface d'MIT AppInventor 2

-Analyse des résultats



Grâce aux capteurs de CO₂, nous avons pu relever les données dans différentes salles. Pour les mesures prises dans une salle utilisée en mathématiques et en physique, nous avons pu établir ce graphique :

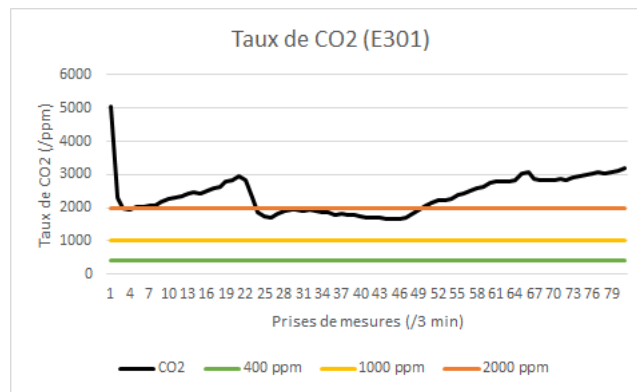


Les mesures ont été prises toutes les 3 minutes durant 1188 minutes. En axe des abscisses nous avons le nombre de mesures et en ordonné, le taux de ppm de CO₂. Nous avons placé trois niveaux :
-400 ppm, qui représente un taux faible de CO₂ équivalent à l'air extérieur.
-1000 ppm, le taux recommandé de CO₂ dans les bâtiments scolaires en France :

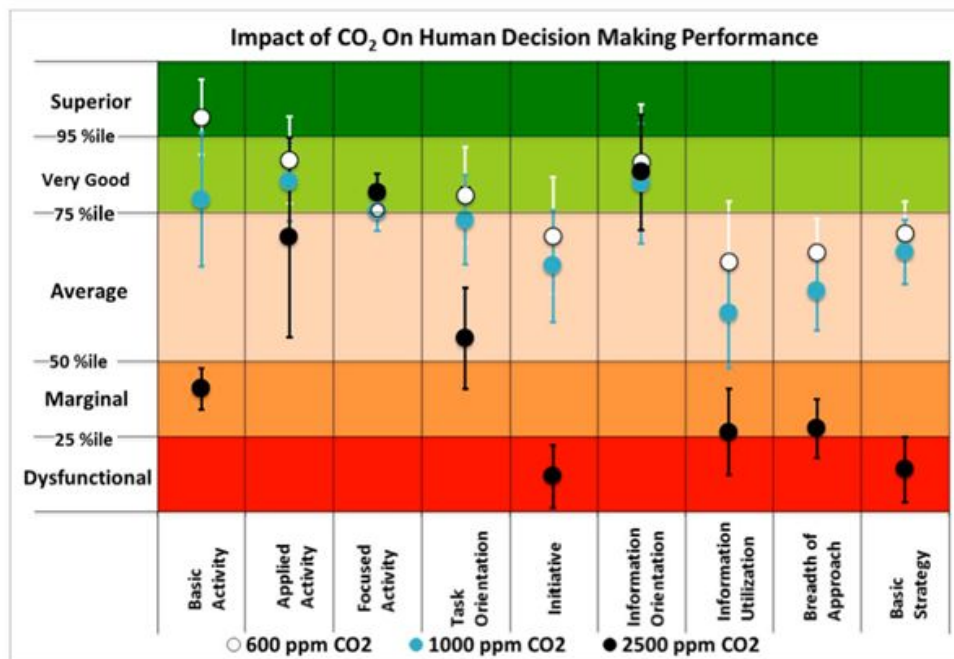
Tableau VI : Récapitulatif des valeurs réglementaires ou recommandées pour les bâtiments scolaires (CSTB, 2011)

Pays	Textes	Concentration limite en CO ₂
France (1978)	Circulaire du 9 août 1978	1000 ppm

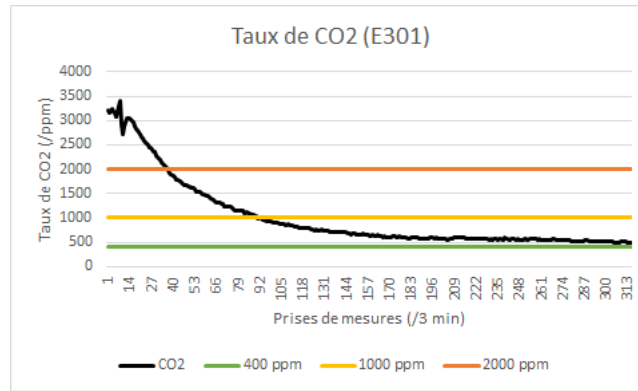
-2000 ppm, un taux à partir duquel on peut observer des symptômes tel que la nausée ainsi que la perte de concentration et d'attention.



Dans la partie où la salle était occupée, nous pouvons observer que le seuil des 2000 ppm est souvent dépassé et que l'on atteint même les 3200 ppm. Le taux recommandé de 1000 ppm est alors largement dépassé. Pour la durée d'exposition, ces taux ne sont pas dangereux. Cependant, ils sont suffisamment élevés pour nuire à la concentration des élèves et des professeurs.



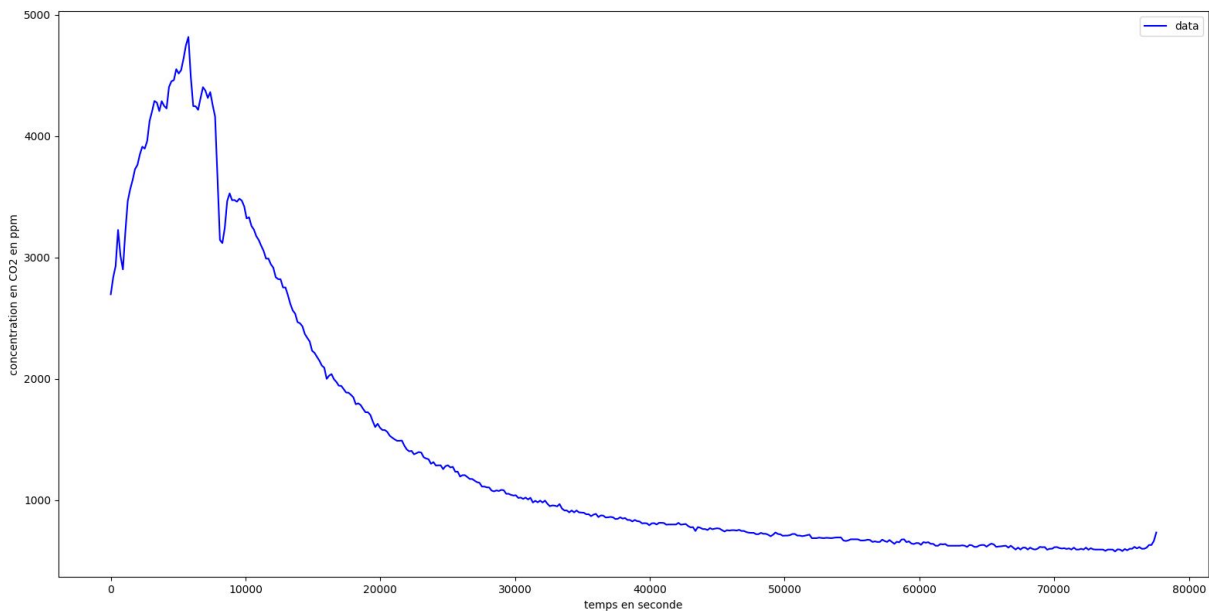
L'étude menée par les deux chercheurs William Fisk et Mark Mendell, sur l'impact du CO₂ sur les performances de prise de décision humaine montre qu'un plus haut taux de CO₂ dans un pièce diminue les capacités. Ainsi en comparant nos mesures au tableau issu de l'étude, nous pouvons interpréter que les élèves et les professeurs peuvent avoir certaines difficultés dans certaines tâches cognitives. Les mesures ont été réalisées pendant un cours de mathématiques et un cours de physique pendant lesquels les élèves ont eu à cause du taux de CO₂ des dysfonctionnements dans la prise d'initiative, l'utilisation d'informations et la mise en place de stratégies basiques. C'est un vrai handicap dans un cours de sciences ! Il est donc nécessaire de ventiler la salle, en ouvrant les fenêtres par exemple.



Dans la deuxième partie du graphique, nous pouvons observer une exponentielle décroissante similaire à celle qui nous a permis plus tôt d'obtenir le taux de renouvellement d'une salle de mathématique. On peut alors observer que les taux de CO₂ se rapprochent de 400 ppm sans l'atteindre, même au bout de 15 heures.

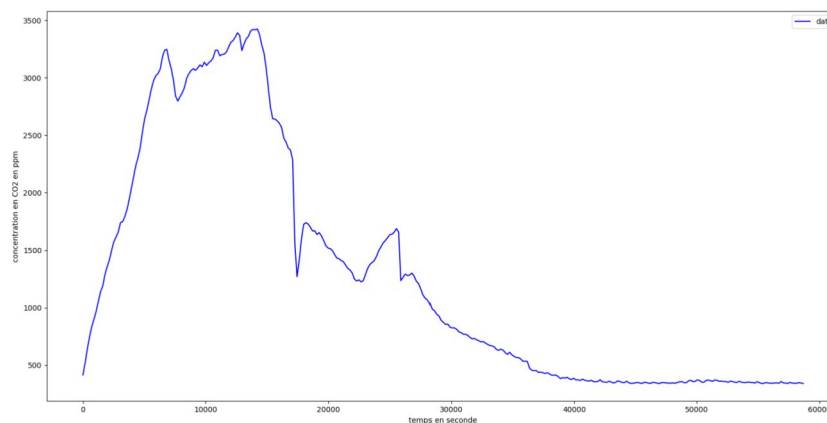
Des mesures dans deux salles nous ont été demandées :

- Par les professeurs de prépa dont aucune fenêtre n'ouvre dans leur salle alors que la demande a été faite régulièrement depuis plusieurs années :



Ils ont battu le record de l'établissement 4800 ppm ! Inutile de demander pourquoi la porte est toujours ouverte.

- Par l'intendance, en effet les salles ont été changées malheureusement dans 2 salles aucune fenêtre n'ouvre.



Sans surprise sans aucun système d'aération le CO₂ s'accumule très vite dans la pièce.

Modélisation

Taux de renouvellement de l'air

Lorsque la pièce est inoccupée :

$V \frac{dC_{CO_2}}{dt} = -R_{air} \cdot C_{CO_2}$ La variation de la quantité de CO_2 dans la pièce est due au renouvellement de l'air dans la pièce. R_{air} correspond au taux de renouvellement de l'air dans la pièce.

$$\frac{dC_{CO_2}}{dt} = \frac{-R_{air}}{V} \cdot C_{CO_2}$$

On pose $\tau_{vide} = \frac{V}{R_{air}}$

$$\frac{dC_{CO_2}}{dt} + \frac{C_{CO_2}}{\tau_{vide}} = 0$$

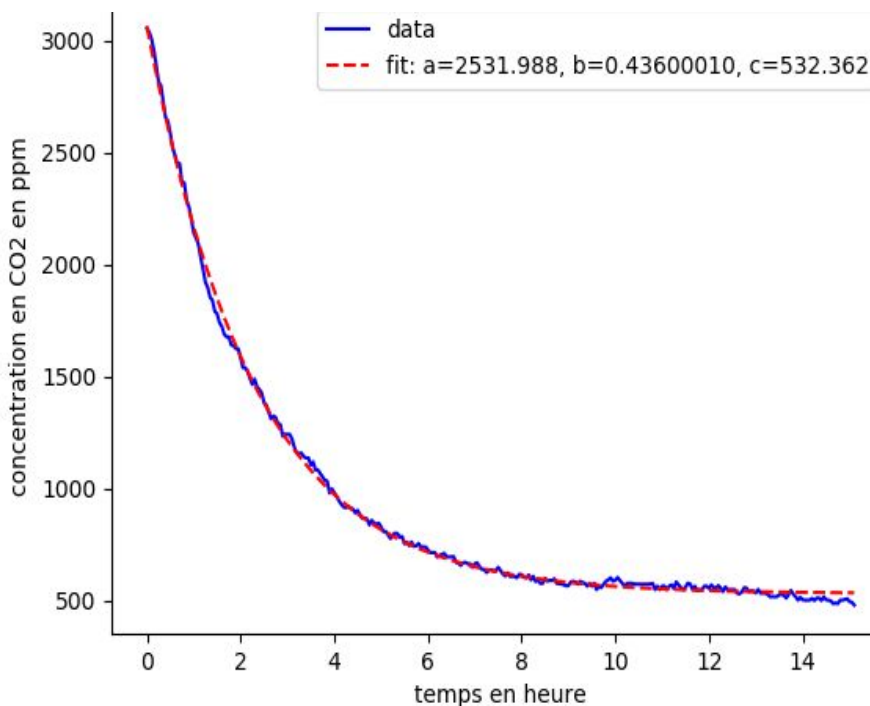
On a une équation différentielle dont la solution est de la forme $C_{CO_2} = a \cdot e^{-bt}$

avec $b = \frac{1}{\tau_{vide}}$

En réalité, la concentration en CO_2 dans la salle n'est jamais nulle, elle tend vers la valeur de 400ppm.

Donc la solution est de la forme $C_{CO_2} = a \cdot e^{-bt} + c$.

On va ensuite modéliser la diminution du CO_2 dans un pièce vide (salle E301) grâce à un code Python qui nous trouvera les valeurs de a, b et c correspondantes.



Voici le graphique obtenu avec la fenêtre restée légèrement ouverte qui suit bien une courbe exponentielle décroissante. Ici le volume de la pièce $V=200 \text{ m}^3$

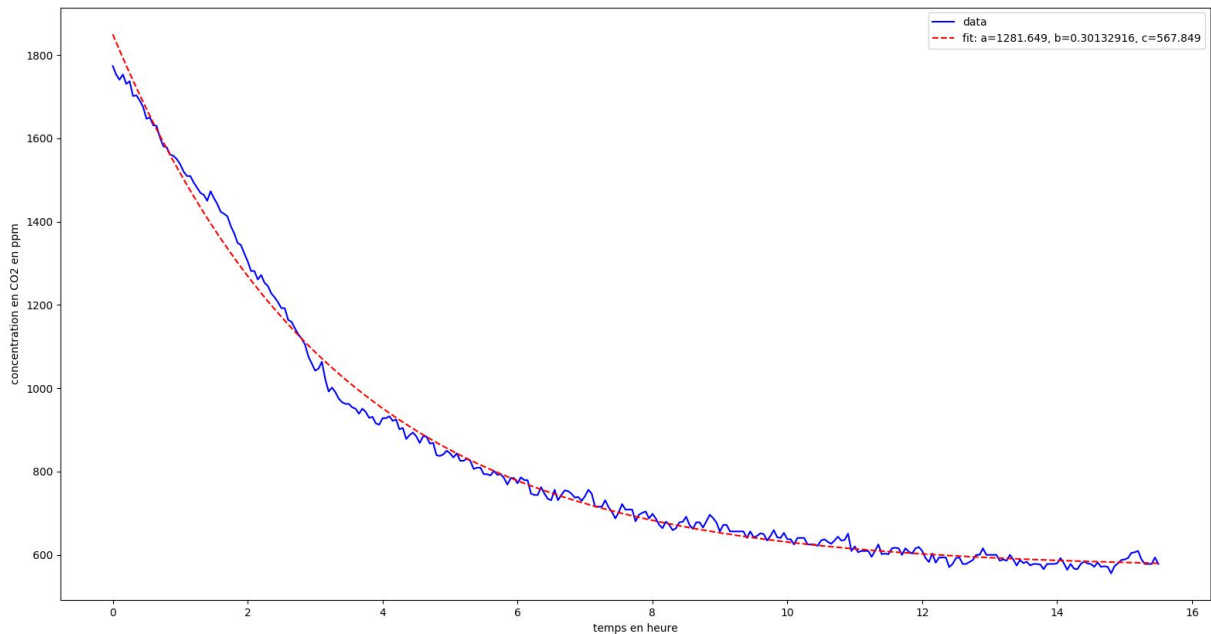
On obtient $b=0.43600010$

Or $b = \frac{1}{\tau_{vide}}$ donc

$$\tau_{vide} = \frac{1}{b} = \frac{1}{0.43600010} \approx 2.294 \text{ h}$$

$$\tau_{vide} = \frac{V}{R_{air}} \text{ donc } R_{air} = \frac{V}{\tau_{vide}} = \frac{200}{2.294} \approx 87 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ici on a réalisé la même expérience mais avec la fenêtre fermée cette fois. On obtient :



$$b=0.30132916$$

$$\tau_{vide} = \frac{1}{b} = \frac{1}{0.30132916} \approx 3.319h$$

$$R_{air} = \frac{V}{\tau_{vide}} = \frac{200}{3.319} \approx 60 m^3/h$$

Sans surprise ouvrir une fenêtre permet une meilleur aération. Est-ce suffisant ?

La réglementation de 1978 préconise dans une salle de classe au lycée un débit minimal d'air neuf de $18m^3/h$ par occupant.

La salle E301 pourrait donc accueillir 3 personnes fenêtres fermées ($\frac{60}{18} \approx 3 \text{ personnes}$) et 4 personnes

fenêtres ouvertes ($\frac{87}{18} \approx 4 \text{ personnes}$) !

Notre valeur de renouvellement d'air ne s'applique pas seulement au renouvellement du CO_2 , cette valeur susdite est d'une grande importance car elle concerne également les particules fines et les polluants présents dans la salle, portés par les mouvements d'air.

Comptage du nombre de personnes dans une pièce

Pour une pièce occupée, il faut ajouter à cette équation différentielle la production de CO_2 émise par les personnes présentes dans cette pièce :

$$V \frac{dC_{CO_2}}{dt} = -R_{air} \cdot C_{CO_2} + P_{humaine}(t)$$

$P_{humaine}$ correspond à la production du dioxyde de carbone (CO_2) par les personnes présentes dans la pièce.

Afin d'évaluer notre production de dioxyde de carbone P , nous avons calculer celle-ci à l'aide de la formule suivante :

$$P = 4.10^{-5} \cdot M \cdot A$$

Avec M le métabolisme que l'on fixera à $70 W.m^{-2}$ qui est une valeur communément utilisée pour une personne assise.

A correspond à notre aire et se calcule en utilisant la formule : $A = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725}$ avec m la masse en kilogramme et h la hauteur en mètre.

	A(m ²)	P(L/s)	P(L/h)
Louis	1,69	0,00473	17,04
Ismaël	1,61	0,00449	16,20
Yann	1,64	0,00460	16,56

Pour un adulte le taux moyen est de 18L/h par respect pour nos professeurs nous les considérerons dans la moyenne.

Nous nous sommes enfermés pendant 1h avec nos deux professeurs dans la salle E301 pour travailler et mesurer l'élévation de CO₂. En 1 heure, le taux de CO₂ est passé de 1015 ppm à 1225 ppm soit une augmentation de 210 ppm.

Si nous estimons notre production de CO₂ en 1 heure :

$$17,04 + 16,20 + 16,56 + 18 + 18 \approx 85,8 \text{ L}$$

Soit un volume de 85,8 L en 1 heure dans une pièce de 200 m³, qui correspond donc à une augmentation de la concentration de $\frac{0.0858}{200} = 4,29 \cdot 10^{-4} = 429 \text{ ppm}$.

Toutefois durant cette heure l'air s'est partiellement renouvelé, par lecture graphique sur une courbe de décroissance du dioxyde de carbone dans la salle E301 on voit une diminution d'environ 200 ppm par heure pour une concentration dans la pièce de l'ordre de 1000 ppm à 1200 ppm (voir le graphique fenêtre fermée).

Donc en prenant en compte le taux de renouvellement on trouve par le calcul une augmentation de l'ordre de 229 ppm en « théorie ».

On a donc un accord entre le résultat obtenu par la mesure 210 ppm et le résultat obtenu par le calcul 229 ppm.

On peut donc estimer le nombre de personnes dans une salle ainsi. Pour un plus grand nombre de personnes, l'ordre de grandeur est bon mais une incertitude sur la corpulence des personnes donc leur production de dioxyde de carbone ne permet pas un comptage exact mais une très bonne première évaluation.

Début de solution

Nous avons maintenant ajouté un système d'alerte constitué d'un buzzer qui sonne pour un seuil de CO₂ donné. En concertation avec le chercheur nous avons choisi un seuil de 2000 ppm. En effet, dans nos salles de classe en dehors de la première heure de cours le taux de 1000 ppm (recommandation pour une salle de classe en France norme aux Etats Unis) est atteint très rapidement et il faut plusieurs heures même en aérant pour retrouver un taux inférieur. Le seuil de 1500 ppm (recommandation pour un lieu accueillant du publique) a aussi été évoqué mais nous sommes aussi beaucoup trop souvent au dessus de ce seuil pour laisser un buzzer sonné dans la salle.

Dès que le buzzer sonne, nous ouvrons en accord avec le professeur une fenêtre en grand ainsi après environ 20 minutes le taux de CO₂ retrouve un niveau acceptable. On réussit ainsi à faire prendre conscience aux élèves de notre classe pour l'instant et aux enseignants de la nécessité d'aérer et de la faisabilité même en hiver dans le Nord.

Capteur de particules

Introduction

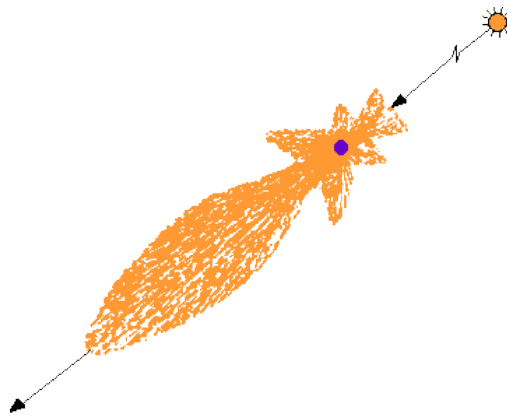
Lors de nos trajets quotidiens entre maison et lycée, on est soumis à différentes particules fines se trouvant dans l'air. Ces particules, de tailles variées peuvent s'infiltrer dans nos poumons et obstruer nos bronchioles, causant ainsi différents problèmes respiratoires. Nous avons donc décidé de mesurer la quantité des différentes micro-particules dans l'air.

Principe de fonctionnement

-La Diffusion de Mie

La théorie de Mie, aussi appelée théorie de Lorenz-Mie, est une théorie de la diffusion de la lumière par des particules sphériques. Elle tire son nom du physicien danois Ludvig Lorenz et du physicien allemand Gustav Mie, qui lui donna sa première forme en 1908.

La diffusion de Mie désigne la diffusion par des particules dont le rayon oscille entre 0,1 et 10 fois la longueur d'onde. Cette théorie est complexe et des résultats quantitatifs ne sont obtenus qu'avec des particules de géométries symétriques (ici sphériques). On note que la puissance diffusée est maximale lorsque la particule est grande devant la longueur d'onde.



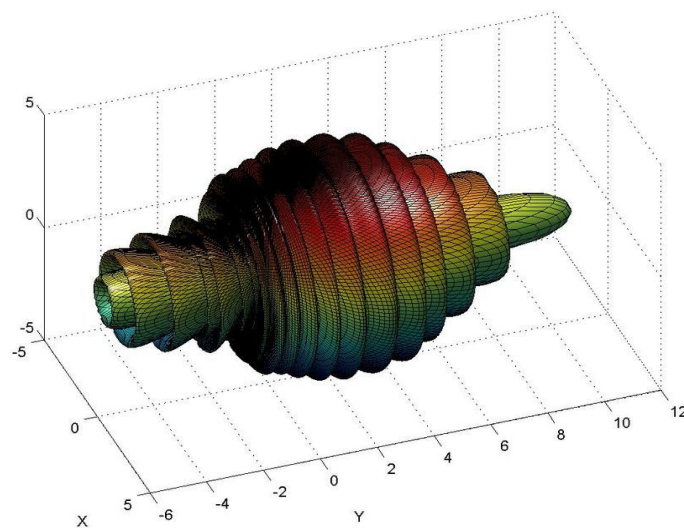
Les propriétés de diffusion des particules dépendent de leur taille, de leur forme et de leurs constantes intrinsèques. Selon Mie, la quantité d'énergie diffusée vers l'avant est plus importante que dans n'importe quelle autre direction (voir figure). Lorsque la taille de la particule augmente, la diffusion vers l'avant augmente également. La diffusion type des particules plus importantes de la lumière incidente est illustrée par la figure ci-dessus.

Bien que la théorie de Mie soit compliquée, on peut trouver une relation simple entre la taille de la particule, la longueur d'onde et l'intensité.

La solution de Mie a été publiée il y a de nombreuses années. Étant donné qu'il n'y avait pas de solution analytique au problème, il a fallu attendre, pour son application, les progrès informatiques permettant le calcul numérique de nombreux coefficients et fonctions impliqués.



Les poussières et polluants dans l'atmosphère au-dessus des grandes villes diffusent le rayonnement solaire à toutes les longueurs d'onde. Sur cette photo de la ville de Lille, on peut observer un nuage grisâtre dû à la diffusion de Mie.

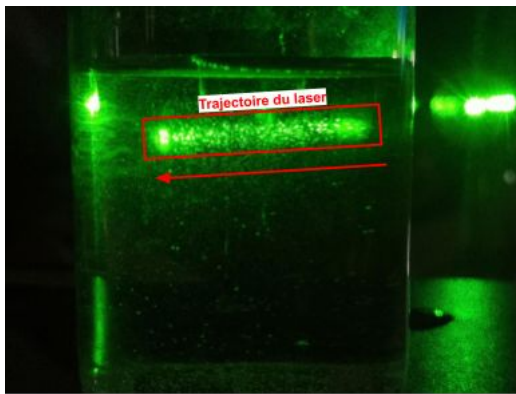


Représentation de la diffusion Mie pour une particule sphérique de $2\ \mu\text{m}$ de rayon, éclairée par la gauche avec de la lumière rouge ($\lambda = 633\ \text{nm}$).

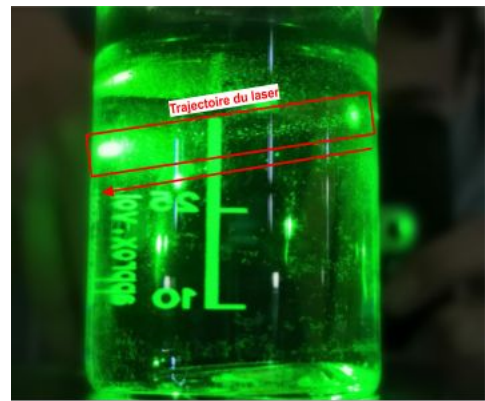
De part une diffusion non-symétrique avec une Diffusion de Mie, nous pouvons expérimentalement le montrer, en utilisant les particules de Toner, d'un diamètre relativement comparable à la longueur d'onde de notre laser nous pouvons alors visualiser une diffusion plus importante dans le sens de propagation du laser et inversement.

-Observation de la Diffusion de Mie

En faisant passer un laser dans un bécher contenant des particules de Toner en suspension, nous pouvons alors observer une Diffusion de Mie, identifiée par la luminosité plus importante des particules dans le sens de propagation du laser (quand on est face à la source).



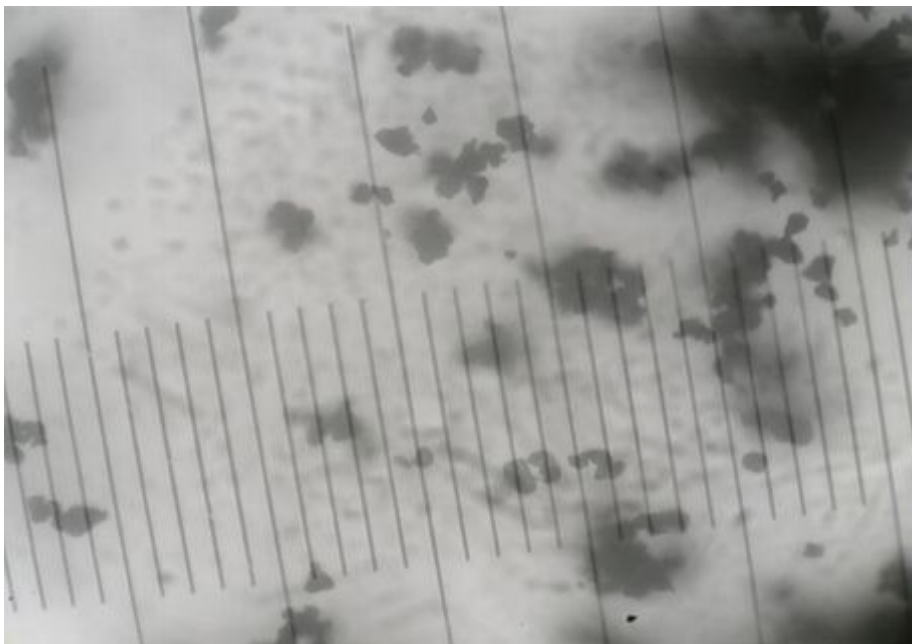
Laser vert passant dans du toner immergé
face au laser



Laser vert passant dans du toner immergé
dos au laser

Nous avons alors observé des particules de Toner au microscope pour en estimer leur taille. Si leur rayon est comparable à la longueur d'onde du laser utilisé (530 nm) nous avons bel et bien affaire à une diffusion de Mie.

Lors de cette observation au microscope, nous avons utilisé une lamelle graduée, sur laquelle nous avons répandu une petite quantité de Toner.



Ici, une graduation représente $10\mu\text{m}$. On peut alors estimer qu'ici, une particule de toner a en moyenne un diamètre de $9\mu\text{m}$ et donc un rayon de $4,5\mu\text{m}$, soit 4500 nm. Puisque la longueur d'onde du laser est de 530 nm, ce qui nous donne un rapport de $\frac{4500}{500} \approx 8,5$. La diffusion de mie s'applique lorsque le rayon des particules est de 0,1 à 10 fois la longueur d'onde, il s'agit alors bien d'une diffusion de Mie.



Ici, Réalisation de l'expérience avec un Laser Rouge

-Application au capteur

Le capteur de particules utilise la Diffusion de Mie, en examinant et mesurant la diffusion d'un laser par des particules fines. Le capteur mesure la puissance lumineuse à un angle précis, pour pouvoir ensuite déterminer si une particule d'une certaine taille a créé une diffusion. Il va ensuite réaliser différentes estimations pour obtenir des résultats en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et peut aussi nous donner une valeur plus précise qui représente directement le nombre de particules d'une certaine taille présentes.

Traitement des données

Le capteur de particules transmet ces données sur 32 octets. On va ensuite découper ces octets par paquets qui représentent chacun une donnée différente.

Start Character 1	0x42(fixed bit)
Start Character 2	0x4d(fixed bit)
Frame Length 16-byte	Frame Length = $2 \times 9 + 2$ (data+check bit)
Data 1, 16-byte	concentration of PM1.0, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Data 2, 16-byte	concentration of PM2.5, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Data 3, 16-byte	concentration of PM10.0, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Data 4, 16-byte	Internal test data
Data 5, 16-byte	Internal test data
Data 6, 16-byte	Internal test data
Data 7, 16-byte	the number of particulate of diameter above 0.3 μm in 0.1 liters of air
Data 8, 16-byte	the number of particulate of diameter above 0.5 μm in 0.1 liters of air
Data 9, 16-byte	the number of particulate of diameter above 1.0 μm in 0.1 liters of air
Data 10, 16-byte	the number of particulate of diameter above 2.5 μm in 0.1 liters of air
Data 11, 16-byte	the number of particulate of diameter above 5.0 μm in 0.1 liters of air
Data 12, 16-byte	the number of particulate of diameter above 10.0 μm in 0.1 liters of air
Data 13, 16-byte	Internal test data
Check Bit for Data Sum, 16-byte	Check Bit = Start Character 1 + Start Character 2 + ...all data

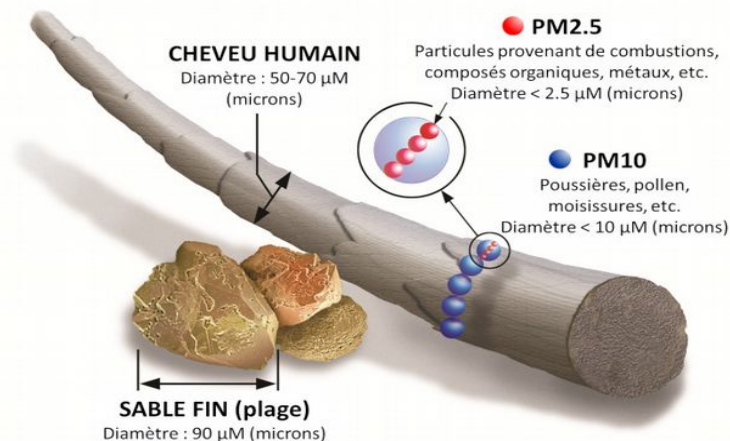
Voici la répartition des données correspondantes aux différents octets. Nous utilisons dans notre code les Data1, Data2 et Data3 sur l'écran d'affichage et nous utilisons les Data 7, 8, 9,10,11,12 que nous récupérons sur la carte SD. En effet les 3 premières données sont reliées aux normes alors que les autres données ont une information scientifique plus importante. Tous les capteurs ne permettent pas de faire cela.

On a ensuite utilisé une horloge RTC et un support pour carte SD comme on l'a fait pour le capteur CO_2 . Ainsi qu'un module Bluetooth pour indiquer où la mesure a été prise.

Résultats et Réglementation



Avec nos capteurs, nous avons obtenu des données dans différentes conditions. Pour les interpréter il faut alors les comparer soit à des normes ou à des taux recommandés. En France, il n'y a pas de lois sur les particules de $1\mu\text{m}$ ou moins, qu'on appelle particules ultrafines. Seules les particules fines sont réglementées.



Ces particules sont divisées en deux catégories : les particules de 10µm ou moins et celles de 2,5µm ou moins. Plus les particules sont petites plus elles peuvent pénétrer dans les poumons. Cependant l'unité utilisée pour mesurer les particules dans l'air est le ppm ou mg/m^3 , une unité qui se base sur la masse des particules et non sur leur quantité. Ainsi, pour 1 ppm, il y a plus de particules de 2,5µm que de particules de 10µm. 1 ppm de particules 2,5µm est donc plus dangereux de part le nombre et la taille de ces particules que 1 ppm de particules de 10µm. Les particules fines sont réglementées en fonction d'une durée d'exposition, relativement longue : à partir de 24 heures consécutives.

Polluants	Durée d'exposition								UR Vie ($\mu\text{g/m}^3$) ⁻¹
	10 mn	15 mn	30 mn	1 heure	8 heures	24 heures	Semaine	année	
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 micromètres (PM10)						50 à ne pas dépasser plus de 3 jours par an		20	
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres (PM2,5)						25 à ne pas dépasser plus de 3 jours par an		10	

Nous avons mesuré les particules fines à l'extérieur car les mesures en intérieur n'indiquaient pas ou peu de particules.

Parmi nos différentes mesures nous avons notamment pu mesurer deux situations où les valeurs sont élevées.

PM 1.0	PM 2.5	PM 10	Nombre de particule supérieur à 0.3	Nombre de particule supérieur à 0.5	Nombre de particule supérieur à 1	Nombre de particule supérieur à 2.5	Nombre de particule supérieur à 5	Nombre de particule supérieur à 10
133	184	247	29118	12770	5491	179	1	0
61	83	115	11930	4669	1687	164	18	5

La première valeur est issue du parvis du lycée durant la pause de récréation. Durant cette période certains lycéens ont pour habitude de sortir du lycée afin d'aller fumer ce qui provoque une grosse quantité de particules fines et ultrafines.

La seconde valeur est issue d'une rame de métro. Cette fois ci, la quantité de particules fines et ultrafines est expliquée par l'architecture du métro. En effet la profondeur du métro rend difficile l'aération et les poussières et particules viennent s'y déposer, elles s'accumulent et sont remises en suspensions à chaque passage de la rame.

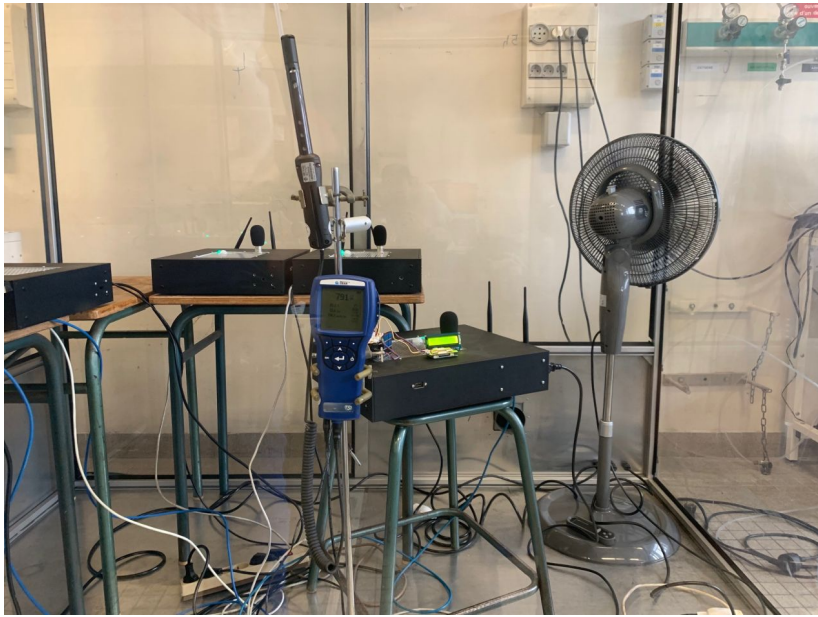
Les taux observés sont au-dessus des normes, cependant les durées d'exposition y sont inférieures. Les élèves ne fument que durant les pauses de récréation et le métro est fermé durant la nuit.

Le problème est que l'exposition à ces particules est répétée 5 ou 6 jours par semaine. L'élève est donc exposé longtemps à ces particules.

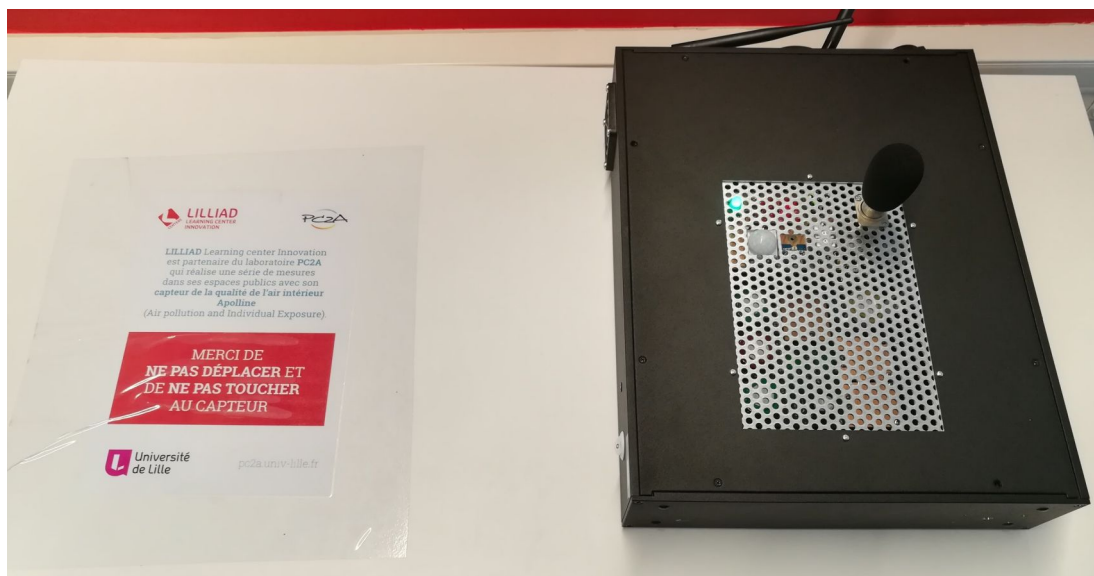
Collaboration avec le chercheur B. Hanoune

Dans le cadre de notre projet, nous avons collaboré avec un chercheur professionnel. Ce chercheur travaille au PC2A, un laboratoire de l'Université de Lille, il participe au projet Apolline (d'où notre titre), visant à mesurer et analyser la composition de l'air. Il nous a permis d'utiliser leur matériel afin de calibrer nos instruments, qui avaient 50 ppm de moins ce qui est correct sachant que notre capteur a une précision de 50 ppm et qui est tout à fait satisfaisant au vue de l'ordre de grandeur des mesures que nous réalisons. Par ailleurs, il nous a présenté avec plus de précision leur projet Apolline, ainsi que les capteurs qu'ils utilisent, répartis sur le campus. Il nous a également partagé un grande variété d'informations utiles.

Ici, nous voyons la Chambre utilisée par les chercheurs pour tester l'efficacité et la calibration de leurs instruments, ici, ils augmentent le CO₂, les particules et autres gaz, c'est ici que nous avons calibré nos capteurs en utilisant leurs appareils plus perfectionnés



Voici une image des boîtes de capteurs, réparties sur tout le campus, elles sont reliés en réseau et transmettent Taux de CO₂, Particules, Humidité, Niveau Sonore et bien d'autres pour analyse par le PC2A. Ces boîtiers étant mobile nous allons pouvoir bientôt accueillir l'un de ceux-ci dans l'établissement.



Conclusion

Nous avons ainsi vu, pour le moment, que la qualité de l'air dépend de nombreux facteurs, et si ces variables sont analysées et maîtrisées, elles peuvent nous apporter nombre d'informations.

Avec ces mesures, nous pouvons cependant déjà établir quelques affirmations :

- La qualité de l'air au lycée (Principalement au niveau du CO₂) est bien pire que celle imaginée, et peut ainsi avoir des conséquences sur les élèves et leur capacité d'apprentissage dans les salles de classe.
- L'accumulation du CO₂ nous permet aussi d'affirmer que l'aération de nos salles est globalement à revoir.
- Les transports en communs nous exposent à une grande quantité de particules fines, bien que notre exposition est généralement trop faible pour sortir des normes.

Nous sommes fiers d'avoir développés deux systèmes de mesure de CO₂ et de particules fines qui fonctionnent et qui sont fiables, de les avoir utilisé pour faire un constat sur l'exposition à la pollution pour un lycéen au bord du lycée et dans le lycée, de pouvoir faire le suivi de nos mesures en direct sans fil mais aussi de pouvoir enregistrer celles-ci, de pouvoir déterminer le taux de renouvellement d'une salle avec notre matériel, de pouvoir évaluer le nombre de personnes dans une salle et d'avoir un système d'alerte nous permettant de faire évoluer les choses. Nous sommes contents d'avoir collaborer avec M. Hanoune, chercheur au PC2A, mais aussi avec l'intendance du lycée et avec les professeurs de l'établissement qui sont prêts à faire évoluer leurs pratiques en terme d'aération.

Nous sommes heureux d'avoir participer à ce concours et nous comptons poursuivre notre travail après le concours.