

Optimiser la qualité de l'air dans les salles de sport : stratégies d'analyse et d'amélioration

SOMMAIRE



Contextualisation



Problématique et objectifs d'étude



Assemblage et tests des
capteurs utilisés / mesures



Lien entre le taux de CO₂ et
le niveau de particules fines



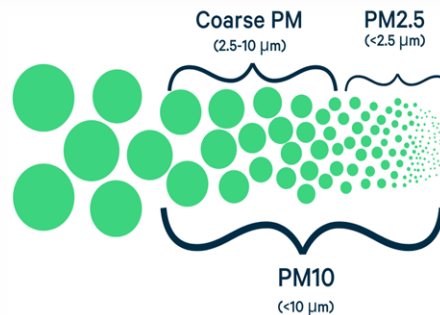
Méthodes de dépollution
d'une pièce confinée



I Contextualisation

A. Différents types de polluants dans l'air

- **Particules fines (PM_{10} , $PM_{2.5}$)**
- **Dioxyde de Carbone (CO_2)**
- Composés Volatils (COV)
- Monoxyde de Carbone (CO)
- Ozone



DMF



acétonitrile

B. Risques sur la santé des sportifs

- Irritations
- Symptômes respiratoires
- Baisse des performances sportives





II

Problématique et objectifs d'étude

Problématique et objectifs d'étude



Quels sont les principaux polluants présents dans les salles de sport ?

Comment détecter leur présence ?

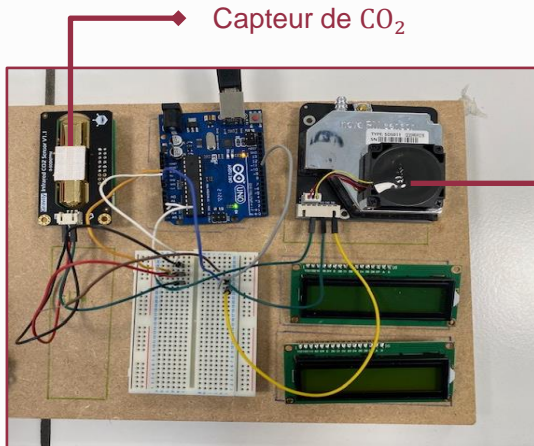
Quelles sont les mesures de prévention mises en place pour prévenir et limiter les impacts des polluants sur la santé des sportifs ?

III

Assemblage et tests des capteurs utilisés / mesures

A. Assemblage et tests des capteurs utilisés

- Assemblage électrique des différents capteurs (CO_2 , PM)
- Codes Arduino
- Test



Capteur de CO_2



Enceinte test

Capteur de particules fines (PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$)

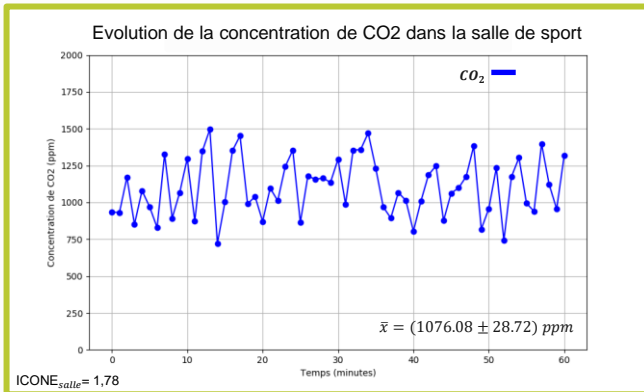
B. Mesures

- Acquisition des mesures

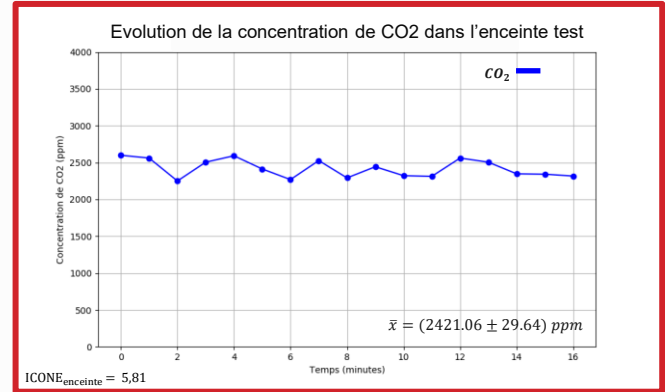
TIME	CH1
18:41:42,70	4,2
18:41:41,69	4,2
18:41:40,69	4,3
18:41:39,69	4,3
18:41:38,69	4,2
18:41:37,69	3,7
18:41:36,68	3,8
18:41:35,68	3,6
18:41:34,67	3,6
18:41:33,67	3,5

Méthode : Récupération numérique des données analogiques - Utilisation d'un tableur Excel

B. Mesures - CO₂ dans des lieux confinés



CO₂ - salle de sport



CO₂ - enceinte test



ICONE

B. Mesures – PM dans la salle de sport du lycée

- Expérience



But :

- Prise de mesures de la concentration de particules fines dans l'air à l'aide d'un capteur
- Tracé d'un graphique représentant l'évolution temporelle de la concentration en particules fines
- Analyse des résultats et interprétation

B. Mesures – PM dans la salle de sport du lycée

- Expérience



Précautions :

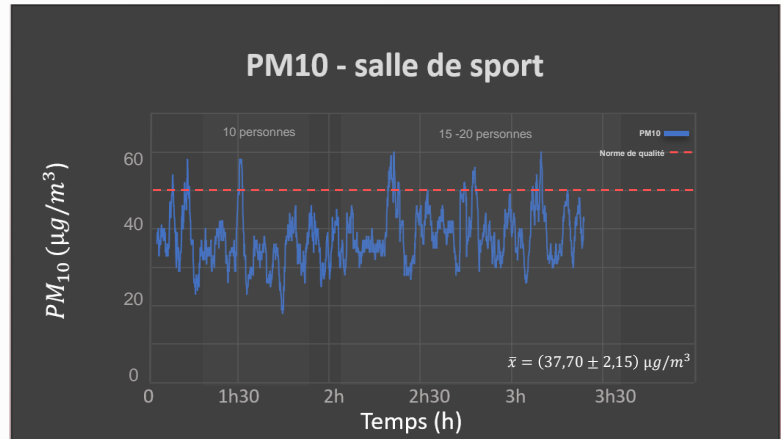
- Ne pas placer le capteur près d'une fenêtre
- Placer le capteur à environ 50 cm du sol

B. Mesures – PM dans la salle de sport du lycée

- Résultats

Analyse :

- Nombre de personnes présentes
- Aération ou non des locaux
- Localisation de la salle de sport
- Sports pratiqués



IV

Lien entre le taux de CO₂ et le
niveau de particules fines

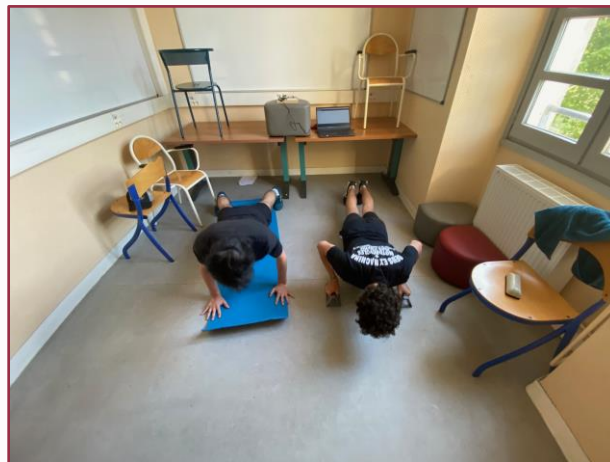
Lien entre le taux de CO₂ et le niveau de particules fines

IV

- Expérience

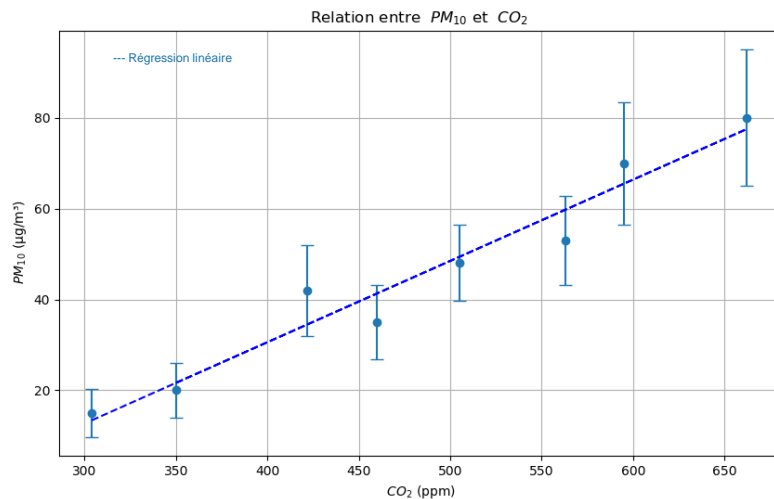
Description :

- Sport : cardio
- Durée : 1h30
- Rythme : soutenu
- Placement des capteurs CO₂/PM à 1m du sol
- Fermeture des fenêtres et calfeutrage de la pièce



Lien entre le taux de CO₂ et le niveau de particules fines

IV



Résultats : Corrélation entre le taux de CO_2 et le niveau de particules fines - La mesure en CO_2 est un bon indicateur du niveau de particules fines

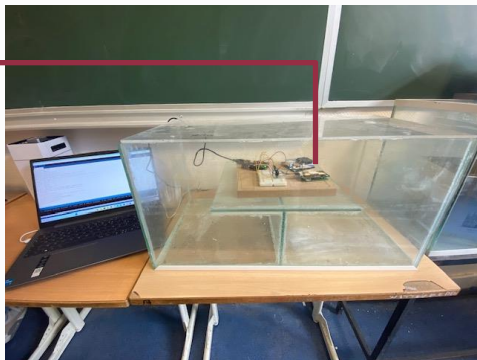
V

Méthodes de dépollution d'une pièce confinée

Méthodes de dépollution d'une pièce confinée

V

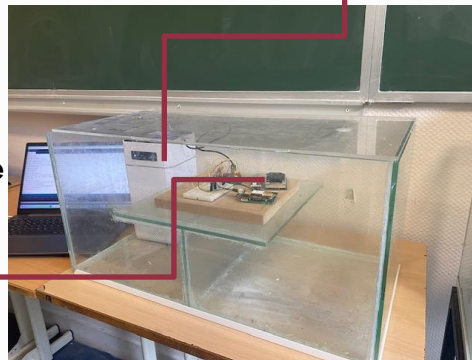
Capteur de CO2



Sans purificateur

Purificateur d'air

Capteur de
particules



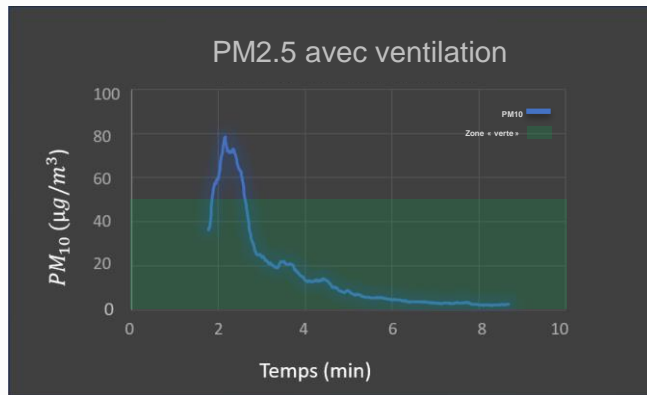
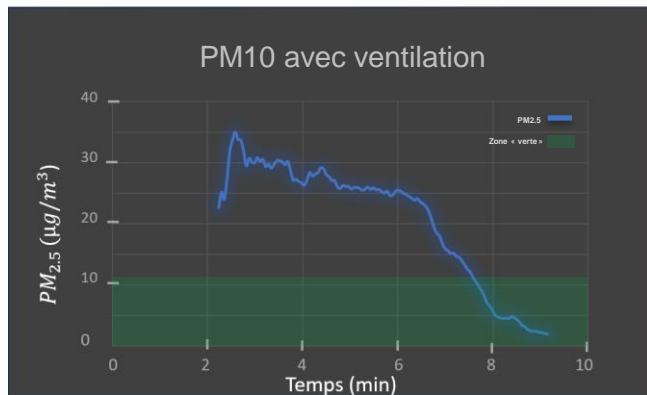
Avec purificateur

Méthodes de dépollution d'une pièce confinée

V

Influence de la ventilation

- Baisse significative de la concentration en PM
- $PM_{2.5}$ plus lentes à purifier

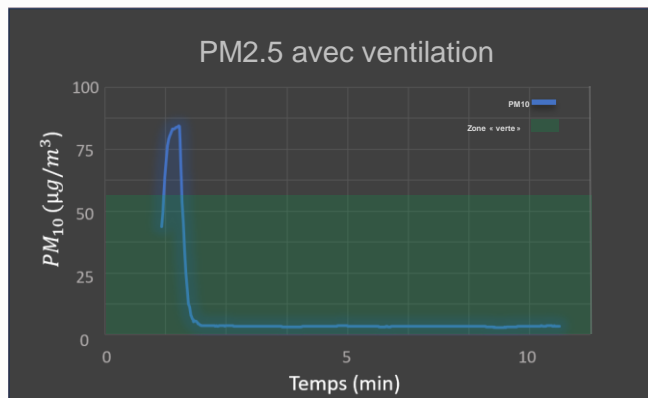
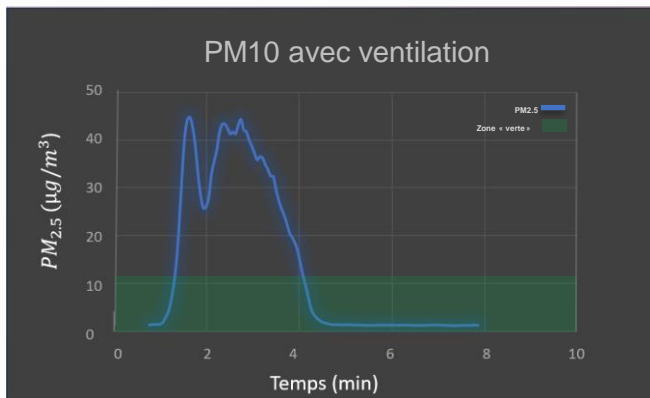


Méthodes de dépollution d'une pièce confinée











Influence de la purification de l'air

- Baisse brutale du niveau de PM_{10}



Méthodes de dépollution d'une pièce confinée - Bilan

V

	Avantages	Inconvénients
Ventilation	 	 
Purification	 	 

Conclusion

Réponse à la problématique

- Utilisation de capteurs : **manipulation** et **exploitation** des données
- Mesures **CO₂** et lien avec l'**indice de confinement**
- Mesures **PM** liées au **taux d'occupation** de la salle
- Lien entre taux de **CO₂** et PM

→ Le taux de CO₂ est un très bon indicateur du niveau de pollution de la salle

- Méthodes de dépollution : **purification** et **ventilation**

→ La purification est plus efficace que la ventilation

Annexe

Code - Capteurs

```
CO2_sensor;

int sensorIn = A4;
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
// Declaration for SSD1306 display connected using software SPI (default case):
#define OLED_MOSI 9
#define OLED_CLK 10
#define OLED_DC 11
#define OLED_CS 12
#define OLED_RESET 13
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT,
    OLED_MOSI, OLED_CLK, OLED_DC, OLED_RESET, OLED_CS);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // Set the default voltage of the reference voltage
  analogReference(DEFAULT);
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC);
  display.clearDisplay();
  display.display();
}
void loop() {
  //Read voltage
  int sensorValue = analogRead(sensorIn);
  // The analog signal is converted to a voltage
  float voltage = sensorValue*(5000/1024.0);
  if(voltage == 0)
  {
    Serial.println("Fault");
  }
  else if(voltage < 400)
  {
    Serial.println("preheating");
  }
  else
  {
    int voltage_difference=voltage-400;
    float concentration=voltage_difference*50.0/16.0;
    //Print CO2 concentration
    Serial.print(concentration);
    Serial.println("ppm");
    display.setTextSize(2);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(16,43);
    display.println("CO2");
    display.setCursor(63,43);
    display.println("ppm");
    display.setTextSize(2);
    display.setCursor(26,51);
    display.println(concentration);
    display.display();
    display.clearDisplay();
  }
  delay(100);
}
```

Programme CO2

```
Programme_PM10$

#include <SDS011.h>

float p10,p25;
int error;

SDS011 my_sds;

void setup() {
  my_sds.begin(10,11);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  error = my_sds.read(&p25,&p10);
  if (! error) {
    Serial.println(String(p10));
  }
  delay(100);
}
```

Programme PM10

```
Programme_PM2_5$

#include <SDS011.h>

float p10,p25;
int error;

SDS011 my_sds;

void setup() {
  my_sds.begin(10,11);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  error = my_sds.read(&p25,&p10);
  if (! error) {
    Serial.println(String(p25));
  }
  delay(5000);
}
```

Programme PM2.5

Code - Graphiques

```
import matplotlib.pyplot as plt

temps = list(range(0, 17, 1))
concentration_CO2 = [2599, 2561, 2250, 2505, 2592, 2413, 2269, 2527, 2292,
2443, 2322, 2313, 2561, 2505, 2347, 2342, 2317]

print("Liste temporelle :", temps)
print("Liste de concentration en CO2 :", concentration_CO2)

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(temps, concentration_CO2, marker='o', color='b')
plt.title("Évolution de la concentration de CO2 dans une boîte confinée")
plt.xlabel("Temps (minutes)")
plt.ylabel("Concentration de CO2 (ppm)")
plt.grid(True)
plt.ylim(0, 4000)
plt.show()
```

Programme graphique CO2 dans l'enceinte

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

co2 = [304,422,460,595,662,563,505,350] #en ppm
'u_co2 = [65.2, 71.1,73, 79.75, 83.1, 77.6, 75.25,67.5]'

pm10 = [15,42,35,70,80,53,48,20] #en µg/m³
u_pm10 = [5.25, 10.05, 8.25, 13.5, 15, 9.75, 8.4,6]

reg = np.polyfit(co2, pm10, 1) # polynome de degré 1
fit = np.polyval(reg, co2)

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.errorbar(co2, pm10, yerr=u_pm10, fmt='o', label='PM10/CO2', capsize=5)
plt.plot(co2, fit, color='blue', linestyle='--', label='Régression linéaire')
plt.xlabel('$\ CO_2$ (ppm)')
plt.ylabel('$\ PM_{10}$ (µg/m³)')
plt.title('Relation entre $\ PM_{10}$ et $\ CO_2$')
plt.grid(True)
plt.show()
```

Programme graphique CO2/PM

Incertitudes et moyennes (TYPE B)

Capteur PM :

$$u = 0,15 \times \text{Valeur} + 0,3 \times 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Capteur CO2 :

$$u = 0,05 \times \text{Valeur} + 1 \times 50 \text{ ppm}$$

Incertitudes et moyennes (TYPE A)

```

Explorateur de Code
+ module1
+ Imports
+ Globals

# Cr   par Coursier, le 25/05/2024 en Python 3.7
import numpy as np

concentration_CO2salle = [
    1252, 958, 958, 785, 1313, 760, 958, 816, 1248, 952, 867, 971,
    1049, 976, 827, 838, 1367, 1158, 1475, 981, 1311, 1284, 1320, 853,
    1350, 713, 1313, 702, 1230, 861, 756, 931, 1025, 1646, 1660, 1327,
    1072, 1154, 1200, 1186, 776, 989, 1269, 1167, 833, 996, 1261, 1110,
    1186, 733, 1350, 1032, 1444, 1303, 812, 992, 929, 1363, 1217, 1246, 800 ]

concentration_CO2boite = [2599, 2561, 2250, 2595, 2592, 2413, 2269, 2527, 2292,
    2443, 2322, 2313, 2561, 2505, 2347, 2342, 2317]

moyenneS = np.mean(concentration_CO2salle)
moyenneB = np.mean(concentration_CO2boite)

ecart_typeS = np.std(concentration_CO2salle, ddof=1)
ecart_typeB = np.std(concentration_CO2boite, ddof=1)

n1 = len(concentration_CO2salle)
incertitude_typeS = ecart_typeS / np.sqrt(n1)

n2 = len(concentration_CO2boite)
incertitude_typeB = ecart_typeB / np.sqrt(n2)

print(f"Moynne_salle: {moyenneS:.2f} ppm")
print(f"Incrtitude type sur la moyenne: {incertitude_typeS:.2f} ppm")

print(f"Moynne-boite: {moyenneB:.2f} ppm")
print(f"Incrtitude type sur la moyenne: {incertitude_typeB:.2f} ppm")

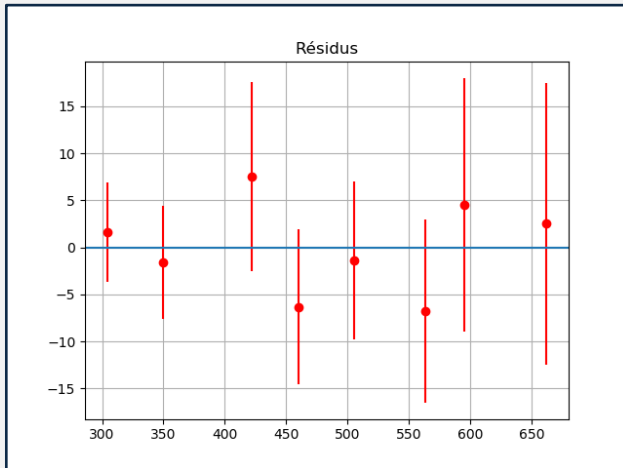
```

Formule utilisée :

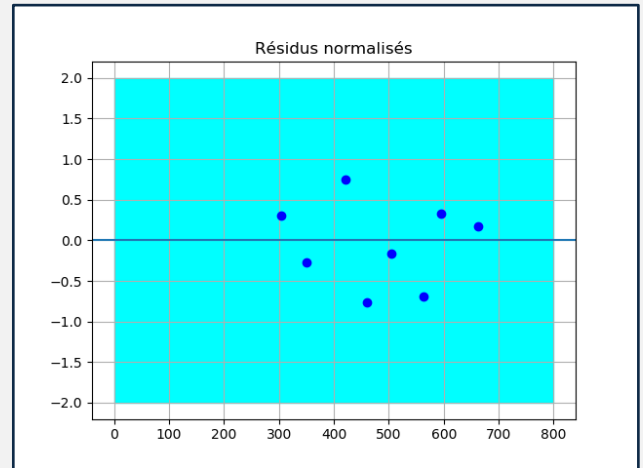
$$u(x) = \frac{\sigma(x)}{\sqrt{n}}$$

Code (graphique CO2)

Incertitudes et moyennes (régression linéaire)



```
residus = pm10 - fit
plt.figure(2)
plt.errorbar(co2, residus, yerr=u_pm10, fmt='ro')
plt.title("Résidus")
plt.axhline() # Adds a horizontal line at y=0
plt.grid()
plt.show()
```



```
residus_norm = (pm10 - fit)/u_pm10
plt.figure(3)
plt.plot(co2, residus_norm, 'bo')
plt.fill_between([0, 800], y1=-2, y2=2, color='cyan', alpha=1.)
plt.title("Résidus normalisés")
plt.axhline() # Adds a horizontal line at y=0
plt.grid()
plt.show()
```

Conversion ppm en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

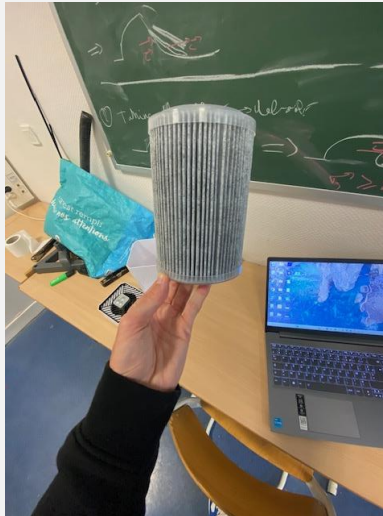
Table de mesures :

Composé	PPM(vol) vers mg/Nm3 @0°C et 101,3Kpa
H2O	ppm x 0,804
HCL	ppm x 1,63
NH3	ppm x 0,76
CO	ppm x 1,25
CO2	ppm x 1,96
NO	ppm x 1,34
NO2	ppm x 2,05
CH4	ppm x 0,72
C3H8	ppm x 1,97
SO2	ppm x 2,86
H2S	ppm x 1,52

Source : GMACX

Matériel utilisé

Purificateur d'air et son filtre



- Capteur de CO2
- Capteur de particules fines (30 euros)
- Breadboard
- Fil de connectique
- Carte Arduino

Matériel utilisé



Générateur d'Ozone
prix : 109 euros



Capteur d'Ozone
prix : 27 euros

Image salle de sport



Indice ICONE

Formule de calcul (Fletcher)

$$\text{ICONE} = 8.3 \log\left(1 + \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_0} + 3 \cdot \frac{n_2}{n_1 + n_2 + n_0}\right)$$

n_0 : nombre de valeurs inférieures ou égales à 1000 ppm

n_1 : nombre de valeurs comprises entre 1000 et 1700 ppm

n_2 : nombre de valeurs supérieures à 1700 ppm

Calcul d'indice

$$\text{ICONE}_{\text{boite}} = 8.3 \log(1 + 3 \times 1) = 5,81 \longrightarrow \text{Indice 5}$$

$$\text{ICONE}_{\text{salle}} = 8.3 \log\left(1 + \frac{39}{61}\right) = 1,78 \longrightarrow \text{Indice 1}$$

Test d'efficacité et normes de pollutions

AQI Value Of Index	Levels of Health Concern	PM _{2.5} Conc. (µg/m³)	PM ₁₀ Conc. (µg/m³)	Daily AQI Color	Air Pollution Level
0–50	Good	0–12	0–54	green	Level 1
51–100	Moderate	12.1–35.4	55–154	yellow	Level 2
101–150	Unhealthy for sensitive groups	35.5–55.4	155–254	orange	Level 3
151–200	unhealthy	55.5–150.4	255–354	Red	Level 4
201–300	Very unhealthy	150.5–250.4	355–424	Purple	Level 5
301 and Higher	Hazardous	250.5–Higher	425–Higher	Maroon	Level 6

Source: ResearchGate

Normes de pollution

	PM _{2.5}	PM ₁₀
Ventilation	5 min 30	42 s
Purification	1 min 15	10 s

Durée pour atteindre la ZONE « verte »

Caractérisation chimique des polluants

- Utilisation d'un spectromètre de masse



spectromètre de masse

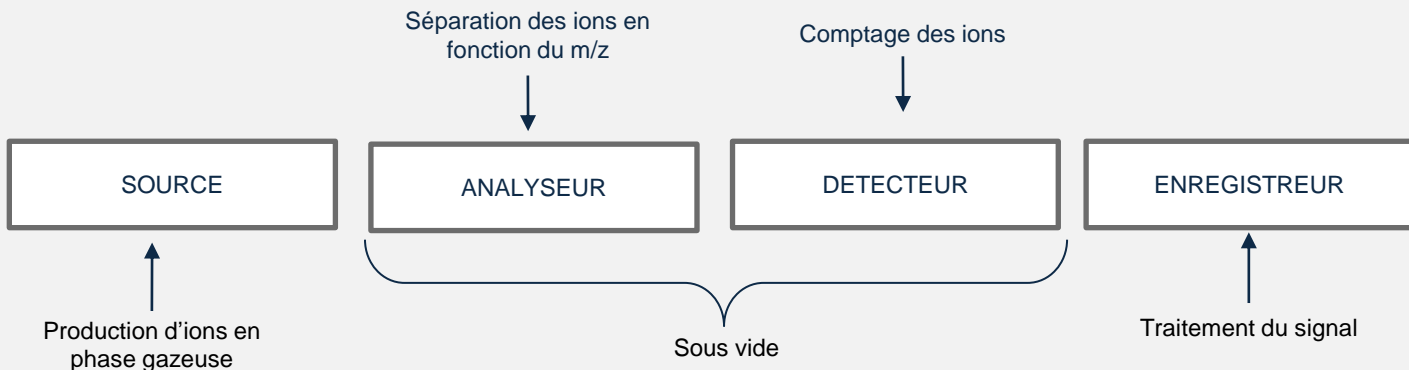
But : caractérisation des espèces présentes situées sur le filtre du purificateur avec un instrument de mesure

Résultats attendus : présence de COV, ozone et particules fines

Spectromètre de masse

But :

- Analyser des composés organiques solides, liquides ou gazeux.
- Déterminer la masse moléculaire
- Corréler le spectre d'un composé avec sa structure
- Expliquer des mécanismes de ruptures de liaisons



Spectromètre de masse

Sources d'ionisation

- L'impact électronique (G)
- L'ionisation chimique (G)
- L'electrospray (G)
- Bombardement par atomes rapides (L)
- Désorption-ionisation laser assistée par matrice (S)
- Désorption plasma (S)

Analyseurs

- L'analyseur magnétique
- L'analyseur quadripolaire
- L'analyseur à piégeage d'ions (trappe ionique)
- L'analyseur à temps de vol