



**Royaume du Maroc**  
Ministère de l'Enseignement Supérieur,  
de la Recherche Scientifique et de l'Innovation

# CLIMATISATION INTELLIGENTE DANS UNE SALLE DE SPORT: POUSSIÈRE-ODEUR-CO<sub>2</sub>

BY: **SALIM EL KHANTACH OJ015T**  
**YASSINE EL HARRANE**

Encadrée par: **M. YOUSSEF RAHOU**

**M. OUAANABI ABDERRAMAN**

CENTRE CPGE OMAR IBN ABDELAZIZ OUJDA



# *Plan de la présentation*

---



Contextualisation :



Problématique :



Cahier des charges :



Les objectifs :

- ✓ **Suivre les niveaux de CO2 en direct.**
- ✓ **Réduire la concentration de CO2.**
- ✓ **Mettre en place un système ventilation efficace dans la salle de sport.**
- ✓ **Calcul et affichage de l'indice global de qualité de l'air.**



Conclusion :

# Contextualisation

| Paramètre                      | Gym 1                                      | Gym 2                                      | Gym 3                                  |
|--------------------------------|--|--|--|
| Personnes inscrites            | 389  | 301  | 700                                    |
| Hauteur (m)                    | 2,6  | 4,5  | 6                                      |
| Superficie (m2)                | 300  | 160  | 616                                    |
| Type de système de ventilation | Climatiseur split-system<br>(70 000 BTU/h) | Climatiseur split-system<br>(70 000 BTU/h) | Climatiseur système central<br>(15 TR) |

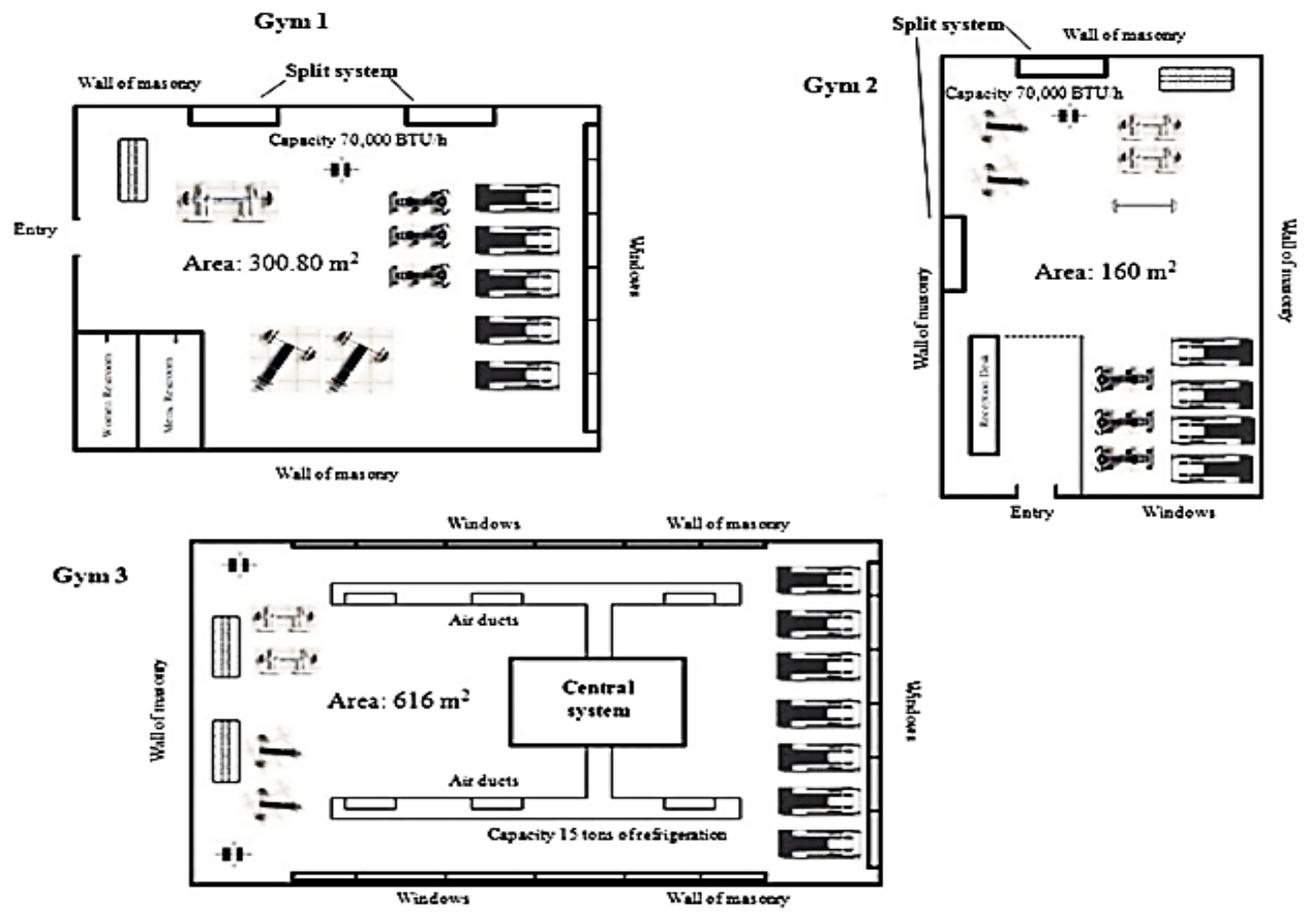
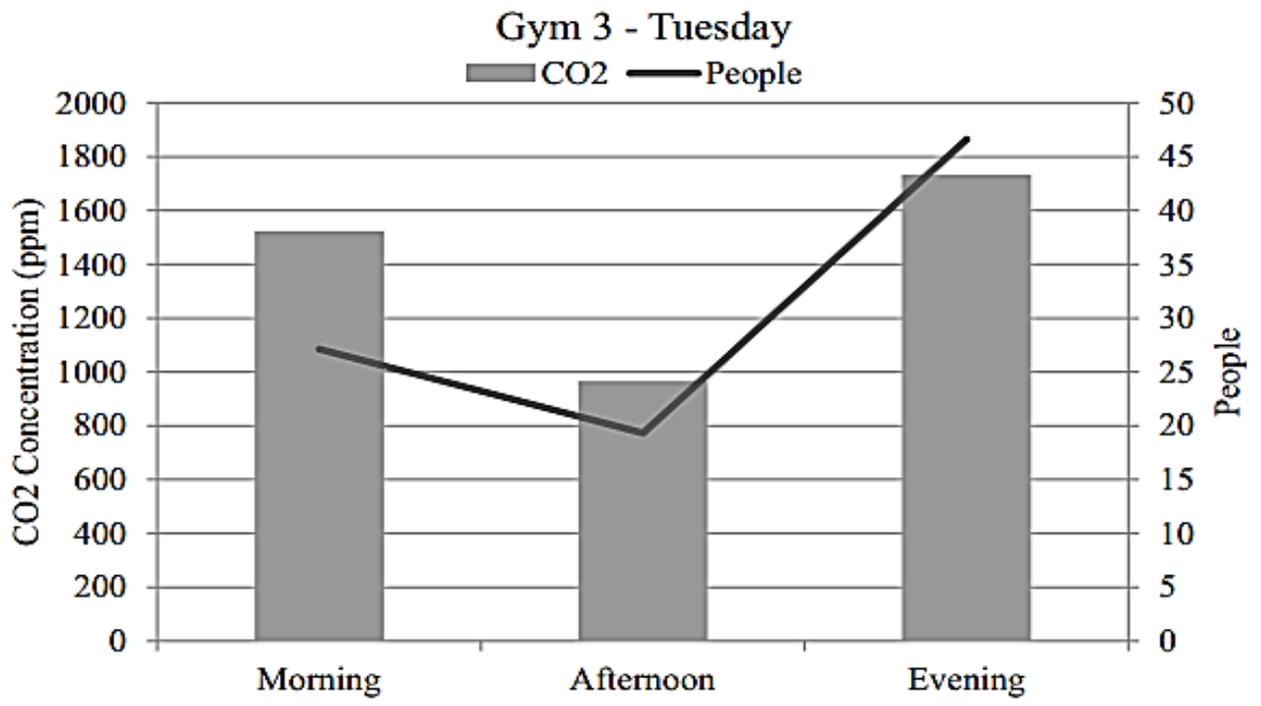
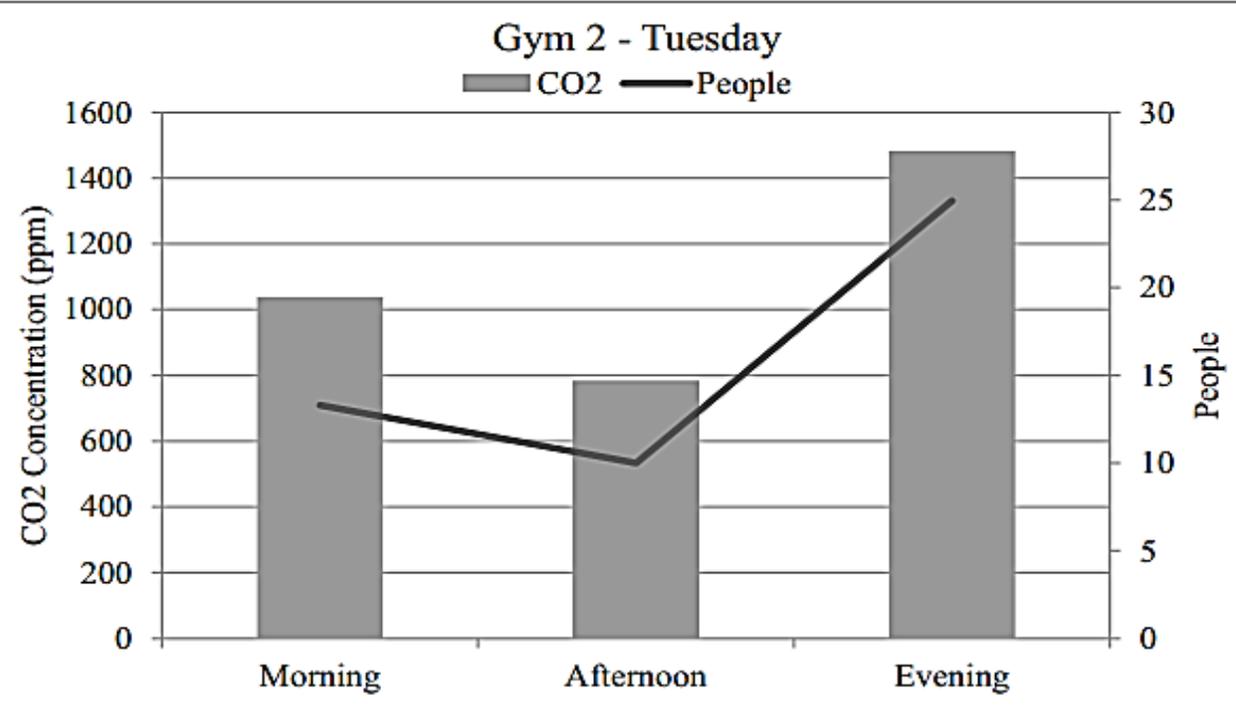
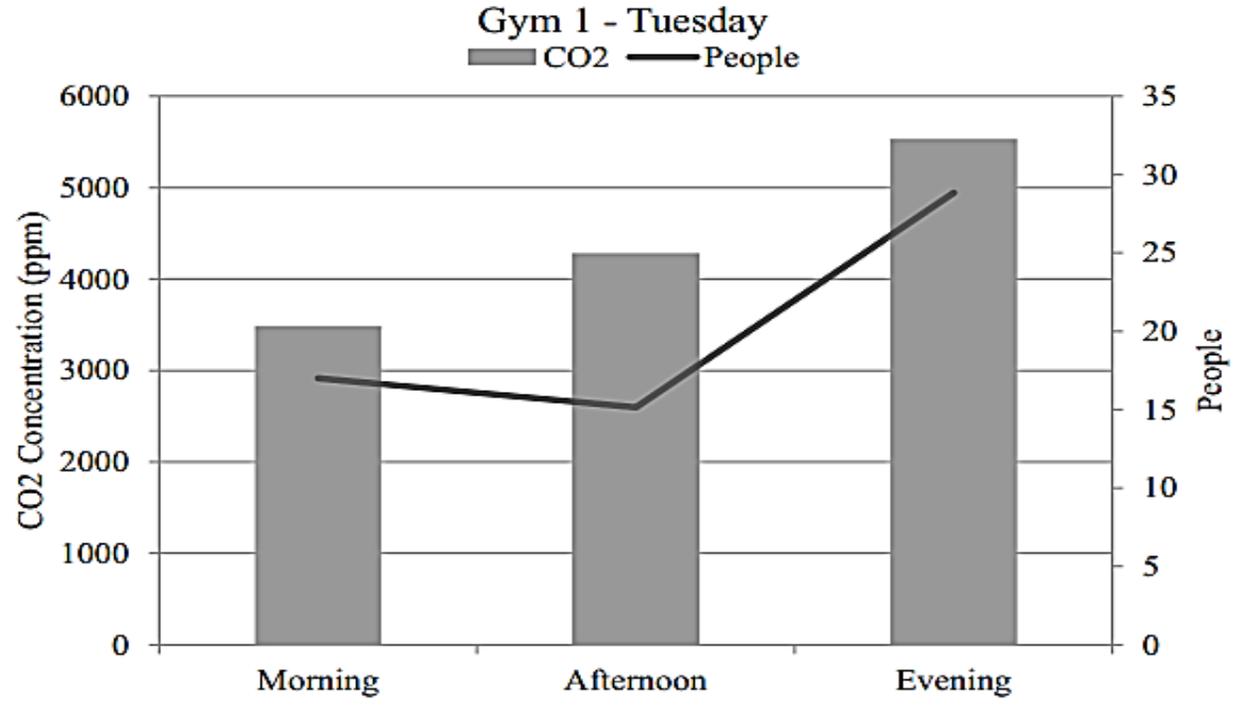


Figure 1 : trois salle de sport en Brazil



# Contextualisation

Seuils de concentration en CO2 en milieu clos

*\*Recommandations du Haut Conseil de la santé publique*

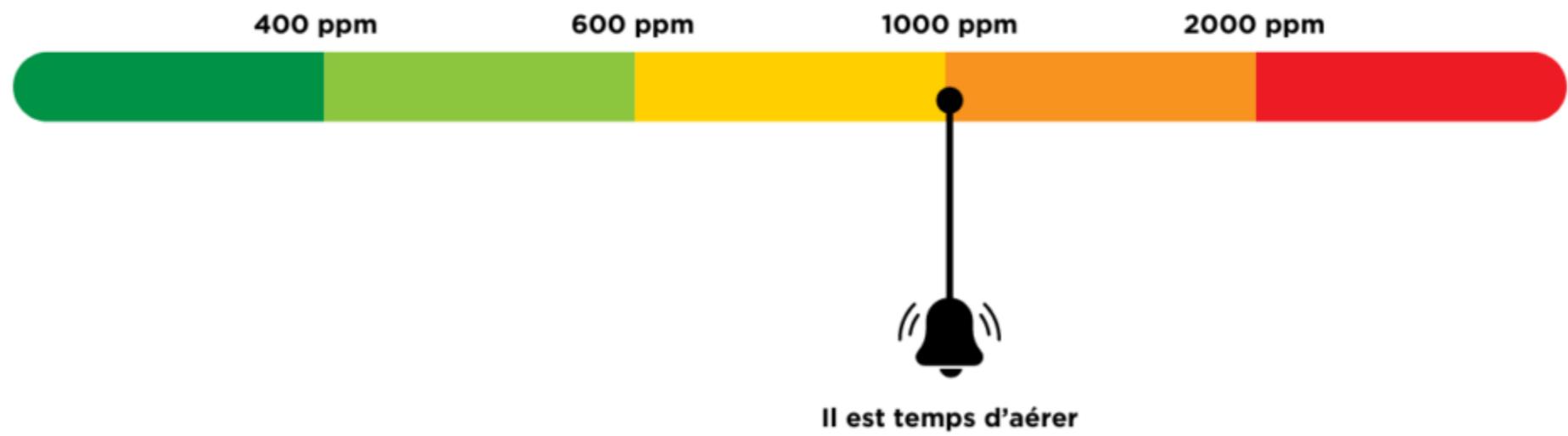


Figure 2 : Seuils de CO2 dans les espaces clos

# Contextualisation

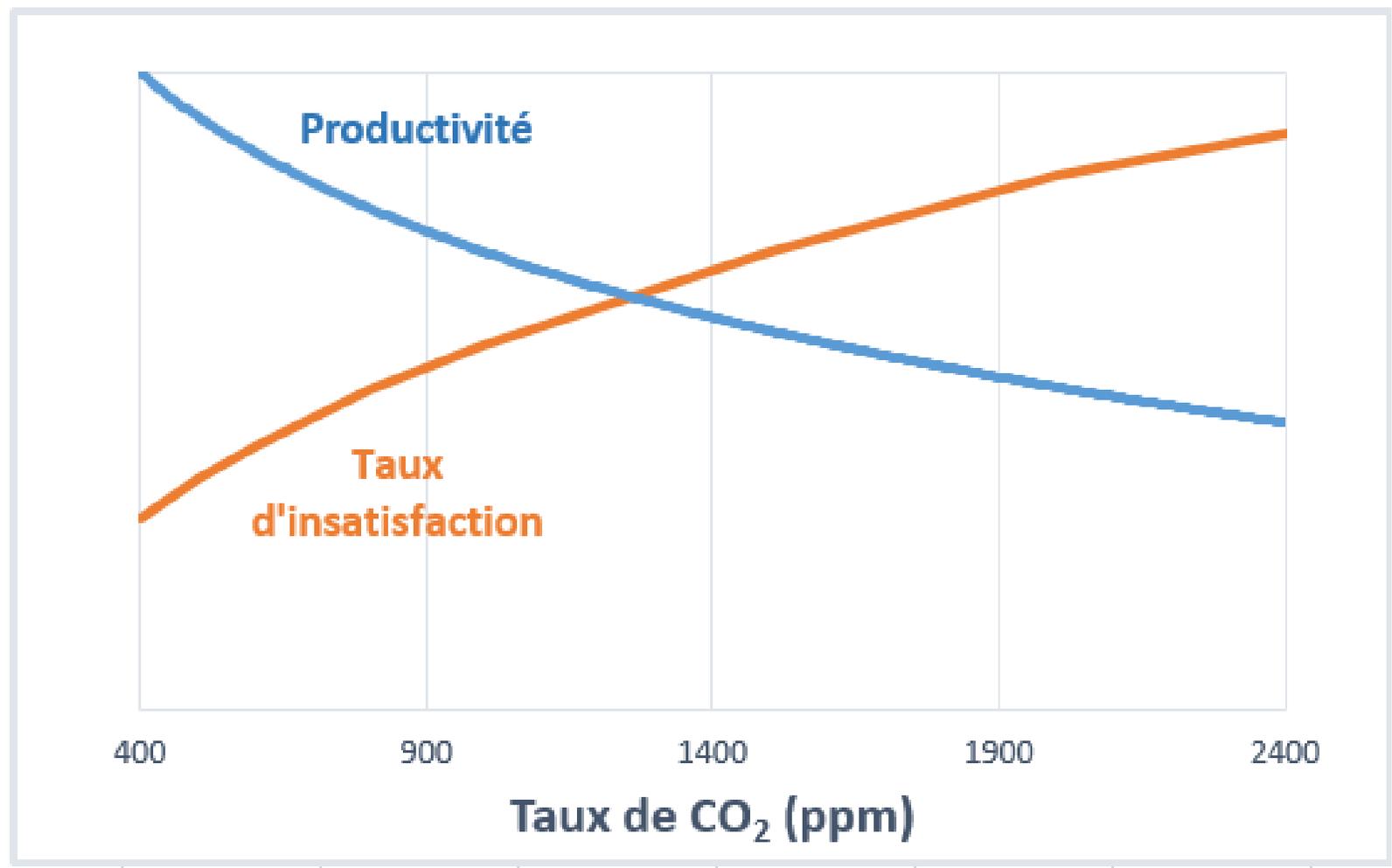
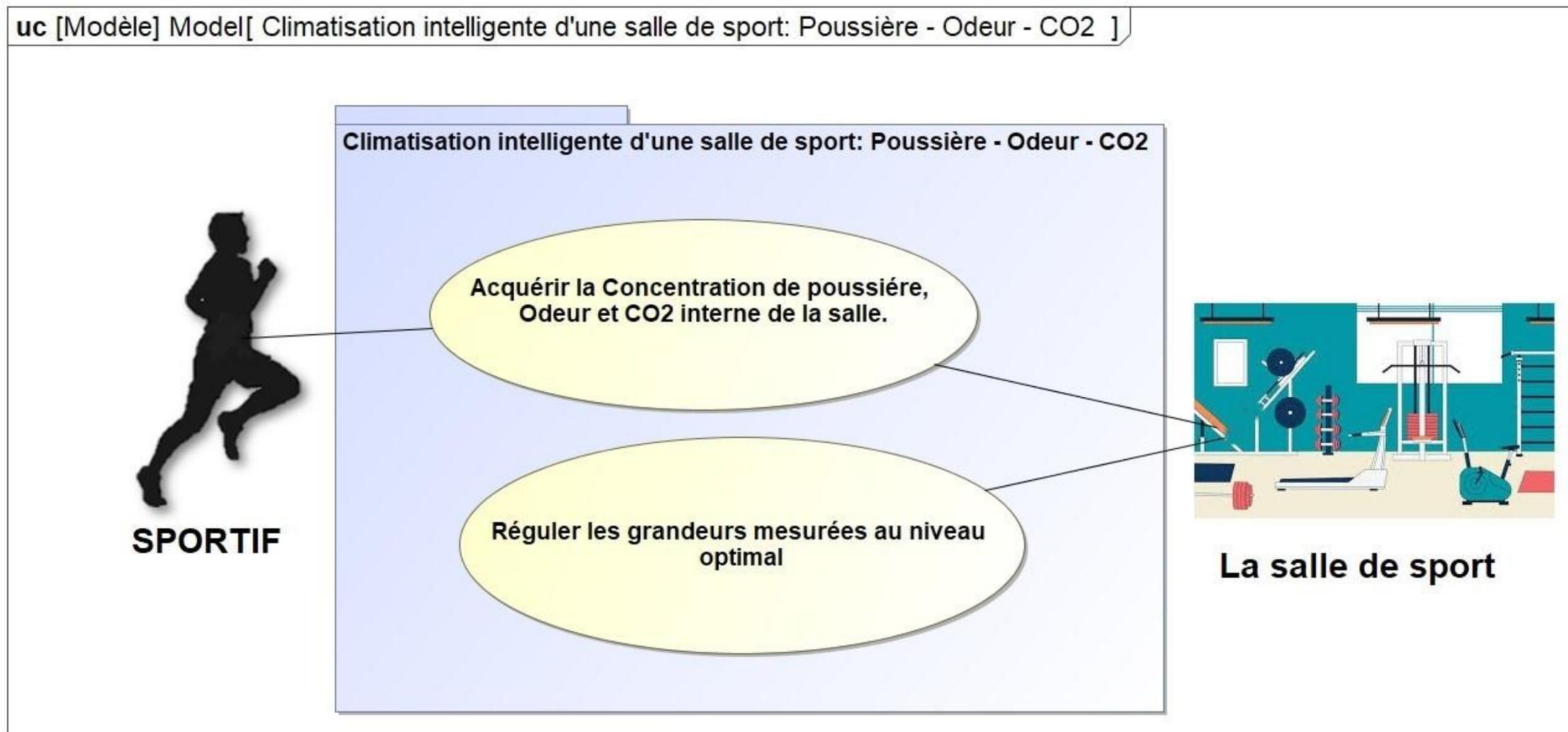


Figure 3 : Impact de CO2 sur les sportifs

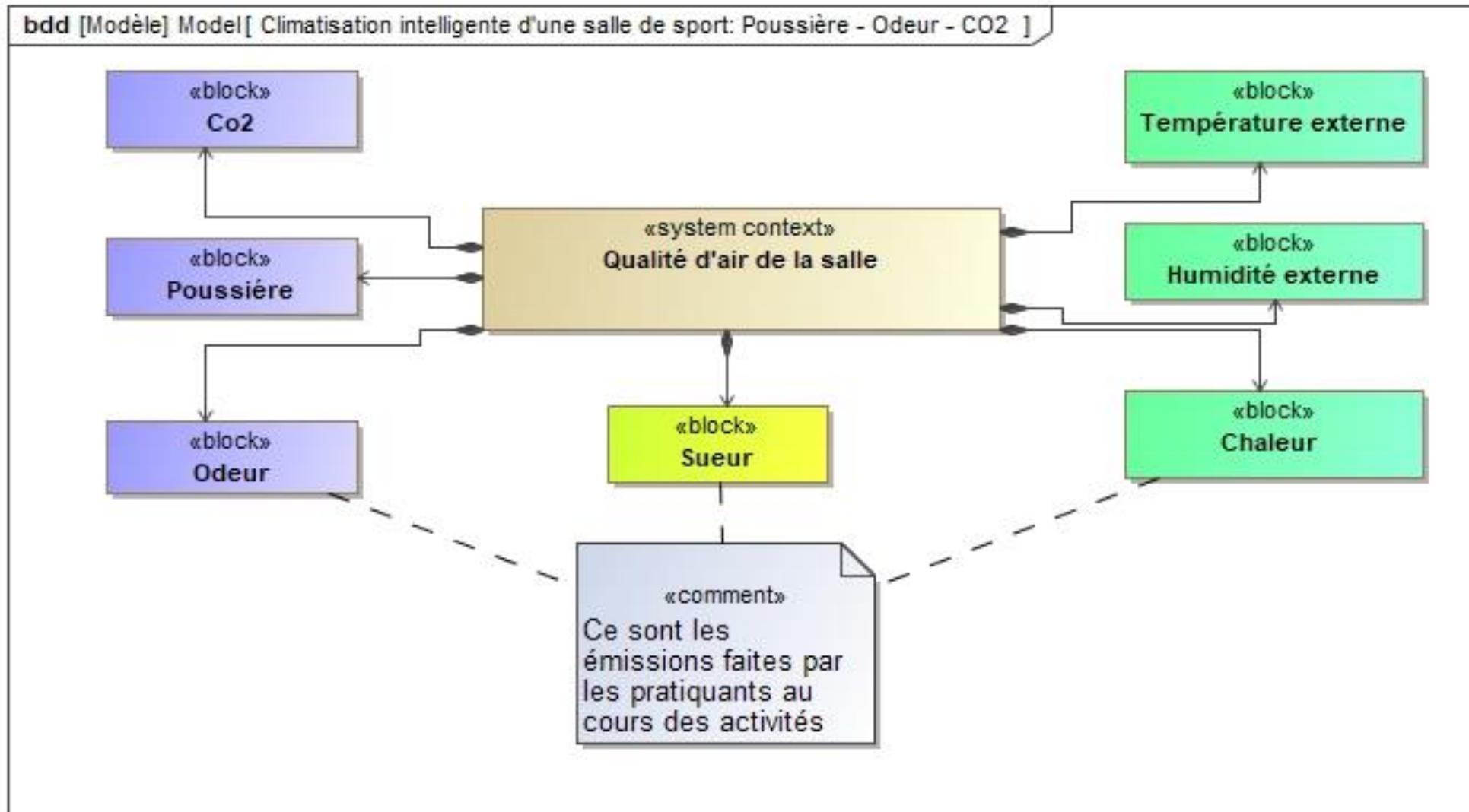
## Problématique retenue

**Comment peut-on mettre en place un système intelligent pour Optimiser la qualité d'air en réduisant la poussière, la concentration CO2 et en éliminant les odeurs dans les salles de sport ?**

# Diagramme des cas d'utilisation

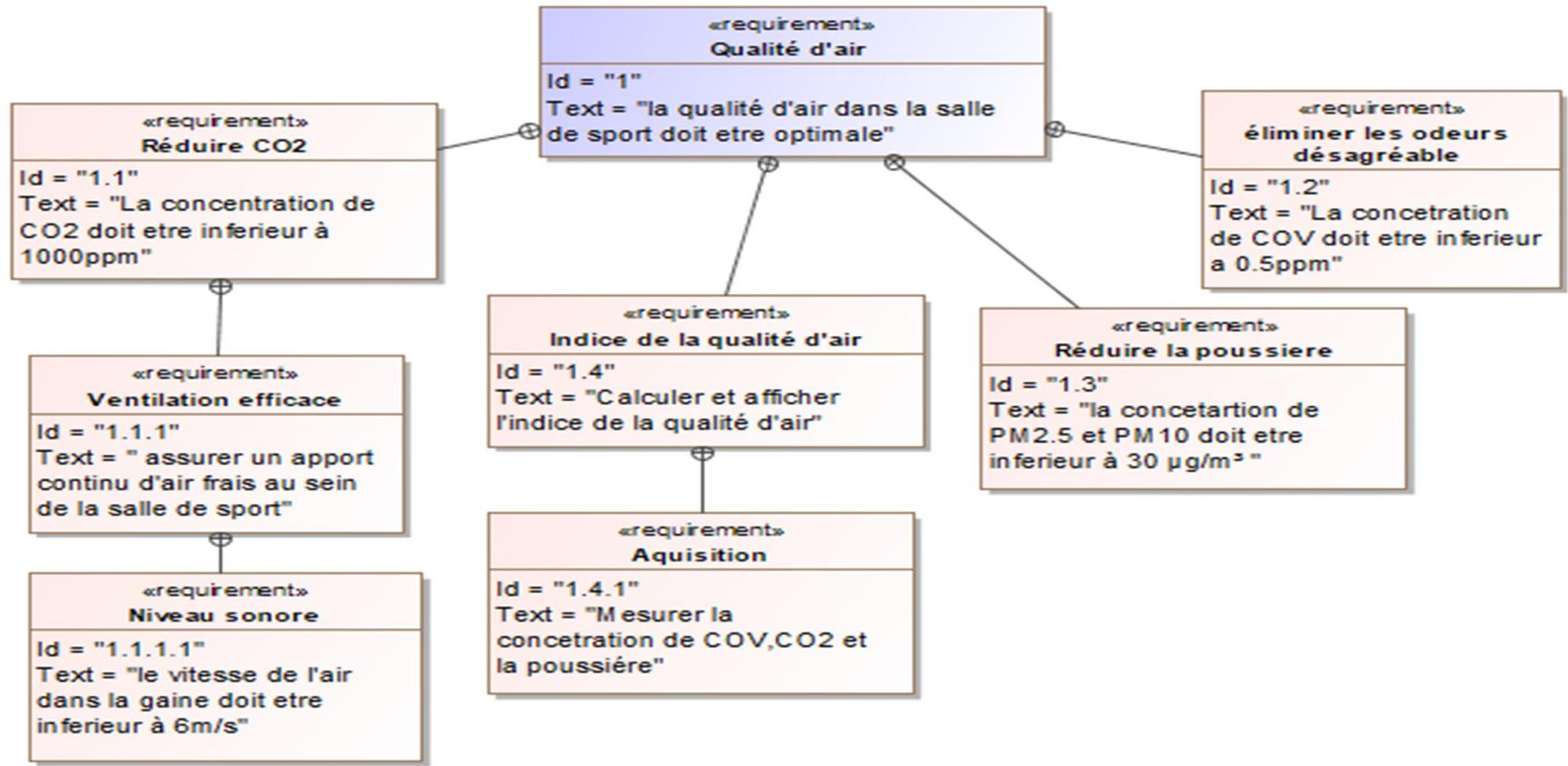


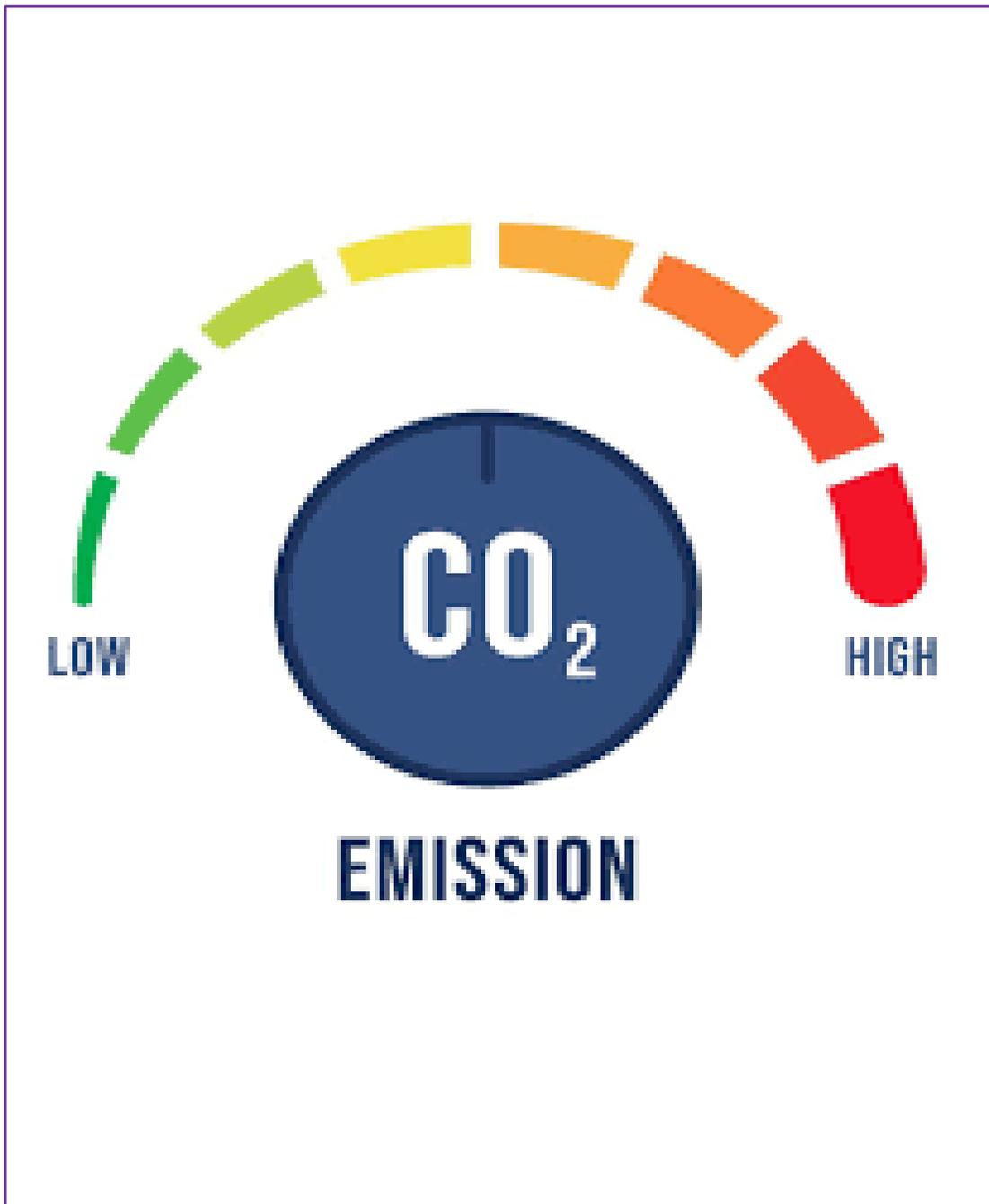
# Diagramme de Contexte



# Diagramme des exigences

req [Modèle] Model [ CLIMATISATION INTELLIGENTE DANS UNE SALLE DE SPORT: POUSSIERE-ODEUR-CO2 ]





Objectif 1 :

Suivre les niveaux de CO<sub>2</sub> en direct.

# Tableau des Capteurs de CO2 et leurs Prix

| Capteur      | Types de gaz détectés                  | Prix approximatif (MAD) | Avantages   | Inconvénients                                  |
|--------------|--|-------------------------|---|--|
| MQ135        | CO2, NH3, NOx, alcool, benzène, fumées | ~40 MAD - 100 MAD       | Prix bas, détecte plusieurs gaz                     | Moins précis que certains capteurs spécialisés |
| MH-Z19       | CO2                                    | ~300 MAD - 400 MAD      | Haute précision, sortie numérique                   | Plus cher, détecte uniquement le CO2           |
| SenseAir S8  | CO2                                    | ~400 MAD - 600 MAD      | Haute précision, faible consommation d'énergie      | Coût plus élevé                                |
| COZIR        | CO2                                    | ~1000 MAD - 1500 MAD    | Très haute précision, faible consommation d'énergie | Très cher                                      |
| TFA Dostmann | CO2                                    | ~500 MAD - 800 MAD      | Bonne précision, souvent avec affichage intégré     | Coût plus élevé                                |

# Choix des capteurs

## Caractéristiques du Capteur MQ-135

- Gaz détectés: COV, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, alcool, benzène, fumée, et CO<sub>2</sub>.
- Plage de détection:
  - COV: 10 à 1000 ppm
  - NH<sub>3</sub>: 10 à 100 ppm
  - H<sub>2</sub>S: 10 à 1000 ppm
  - Alcool: 10 à 300 ppm
  - Benzène: 10 à 300 ppm
  - CO<sub>2</sub>: 350 à 10000 ppm
- Tension de fonctionnement: 5V DC
- Sortie: Analogique



## Principe de fonctionnement

$$R_s = \left( \frac{V_{cc}}{V_{out}} - 1 \right) \times R_l$$

$$R_s = \left( \frac{1023}{AnalogValue} - 1 \right) \times R_l$$

- pour garantir des performances optimales on choisie :  $R_l = 20k\Omega$

$$\frac{R_s}{R_0} = A \times \log(ppm) + B$$

- $R_0$  est la résistance du capteur  $R_s$  en air propre

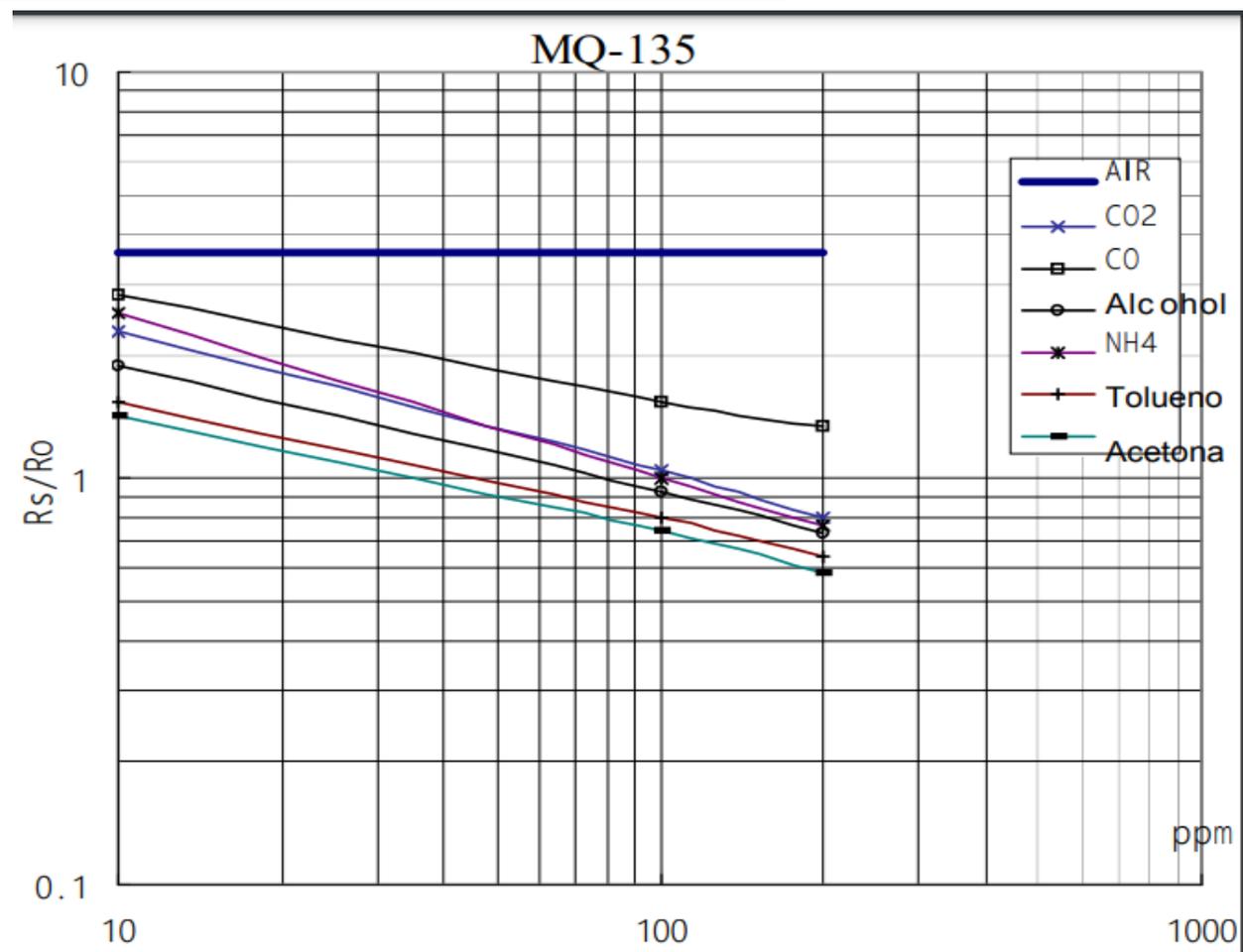


Figure 4 : les caractéristiques de sensibilité typiques du MQ-135 pour plusieurs gaz

Principe de fonctionnement**Détermination de A et B pour carbone(CO):**

$$A = \frac{2.9 - 2}{\log_{10} 10 - \log_{10} 40} = -1.94$$

$$B = 5.1$$

| Concentration (ppm) | Rs/Ro |
|---------------------|-------|
| 10                  | 2.9   |
| 40                  | 2     |

$$\frac{R_s}{R_0} = -1.94 \times \log(ppm) + 5.1$$

Principe de fonctionnement**Détermination de A et B pour CO2:**

$$A = \frac{1 - 0.8}{\log_{10} 100 - \log_{10} 200} = -0.66$$

$$B = 2.32$$

| Concentration (ppm) | Rs/Ro |
|---------------------|-------|
| 100                 | 1     |
| 200                 | 0.8   |

$$\frac{R_s}{R_0} = -0.66 \times \log(ppm) + 2.32$$

Principe de fonctionnement**Détermination de A et B pour NH4:**

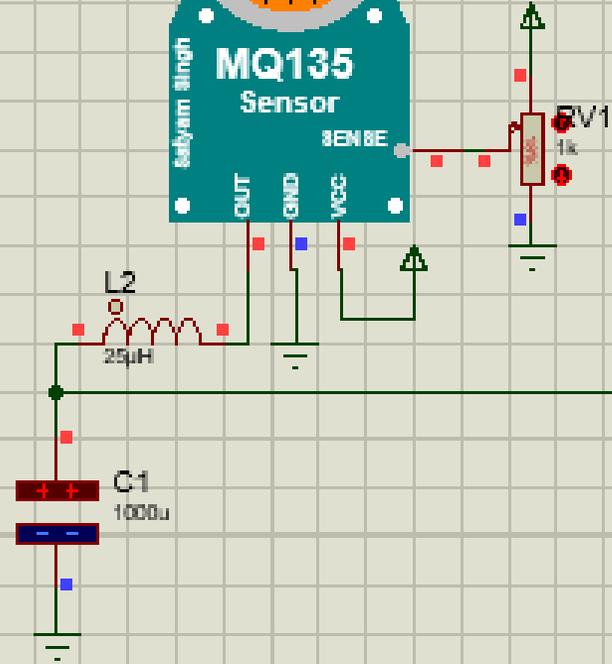
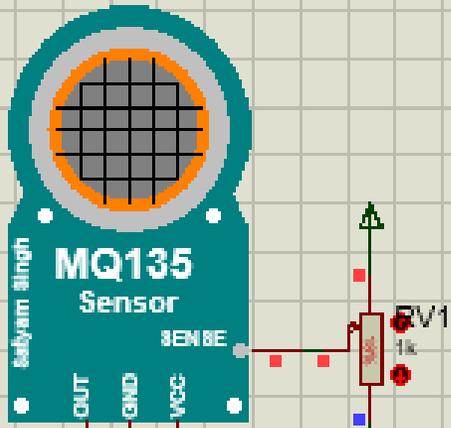
$$A = \frac{2.6 - 1}{\log_{10} 10 - \log_{10} 100} = -1.6$$

$$B = 4.2$$

| Concentration (ppm) | Rs/Ro |
|---------------------|-------|
| 10                  | 2.6   |
| 100                 | 1     |

$$\frac{R_s}{R_0} = -1.6 \times \log(\text{ppm}) + 4.2$$

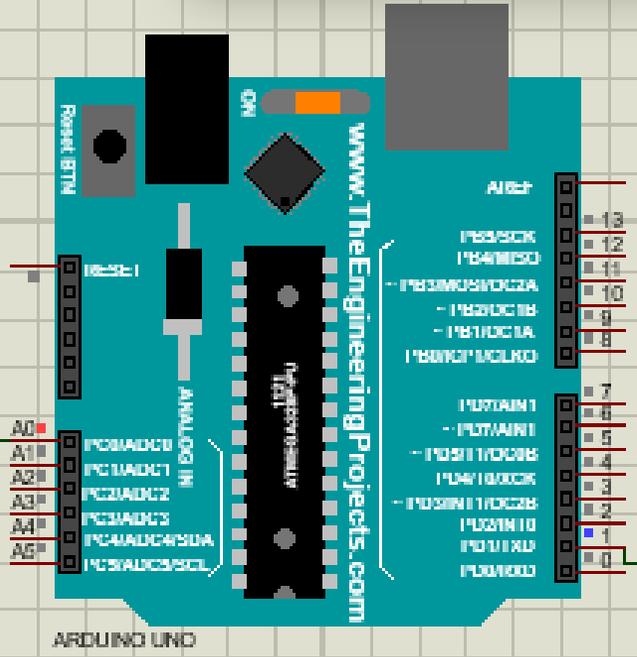
MQ1  
GAS SENSOR

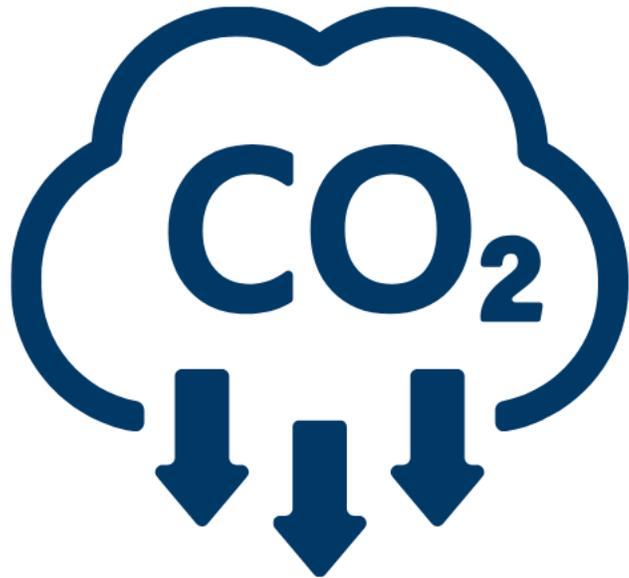


### Virtual Terminal

```
SALIH EL KHANTACH:  
analogValue= 0, Rs/R0= inf, CO (ppm)= 0.00, CO2 (ppm)= 0.00, NH4 (ppm)= 0.00  
analogValue= 847, Rs/R0= 0.2078, CO (ppm)= 332.47, CO2 (ppm)= 1586.04, NH4 (ppm)= 312.70  
analogValue= 840, Rs/R0= 0.2179, CO (ppm)= 328.52, CO2 (ppm)= 1531.32, NH4 (ppm)= 308.20  
analogValue= 846, Rs/R0= 0.2092, CO (ppm)= 331.91, CO2 (ppm)= 1578.16, NH4 (ppm)= 312.06  
analogValue= 845, Rs/R0= 0.2107, CO (ppm)= 331.35, CO2 (ppm)= 1570.30, NH4 (ppm)= 311.42  
analogValue= 838, Rs/R0= 0.2208, CO (ppm)= 327.39, CO2 (ppm)= 1515.87, NH4 (ppm)= 306.92  
analogValue= 850, Rs/R0= 0.2035, CO (ppm)= 334.16, CO2 (ppm)= 1609.81, NH4 (ppm)= 314.63  
analogValue= 844, Rs/R0= 0.2121,
```

ARD1





 Objectif 2 :

Réduire la concentration de  
 $\text{CO}_2$

---

## Equation reliant CO2 et le débit d'air

$$\frac{d(cV)}{dt} = \text{Production} - \text{Évacuation}$$

$$\frac{d(cV)}{dt} = N \cdot Q_{CO_2} - \left(\frac{Q}{V}\right) \cdot c$$

$$c(t) = \frac{N \cdot Q_{CO_2}}{Q} + \left(c_0 - \frac{N \cdot Q_{CO_2}}{Q}\right) e^{-\frac{Q}{V} \cdot t}$$

- $c$  est la concentration de CO<sub>2</sub> en ppm.
- $V$  est le volume de la salle en m<sup>3</sup>.
- $N$  est le nombre de personnes.
- $Q_{CO_2}$  est la production de CO<sub>2</sub> par personne en ppm.
- $Q$  représente le débit volumétrique d'air introduit

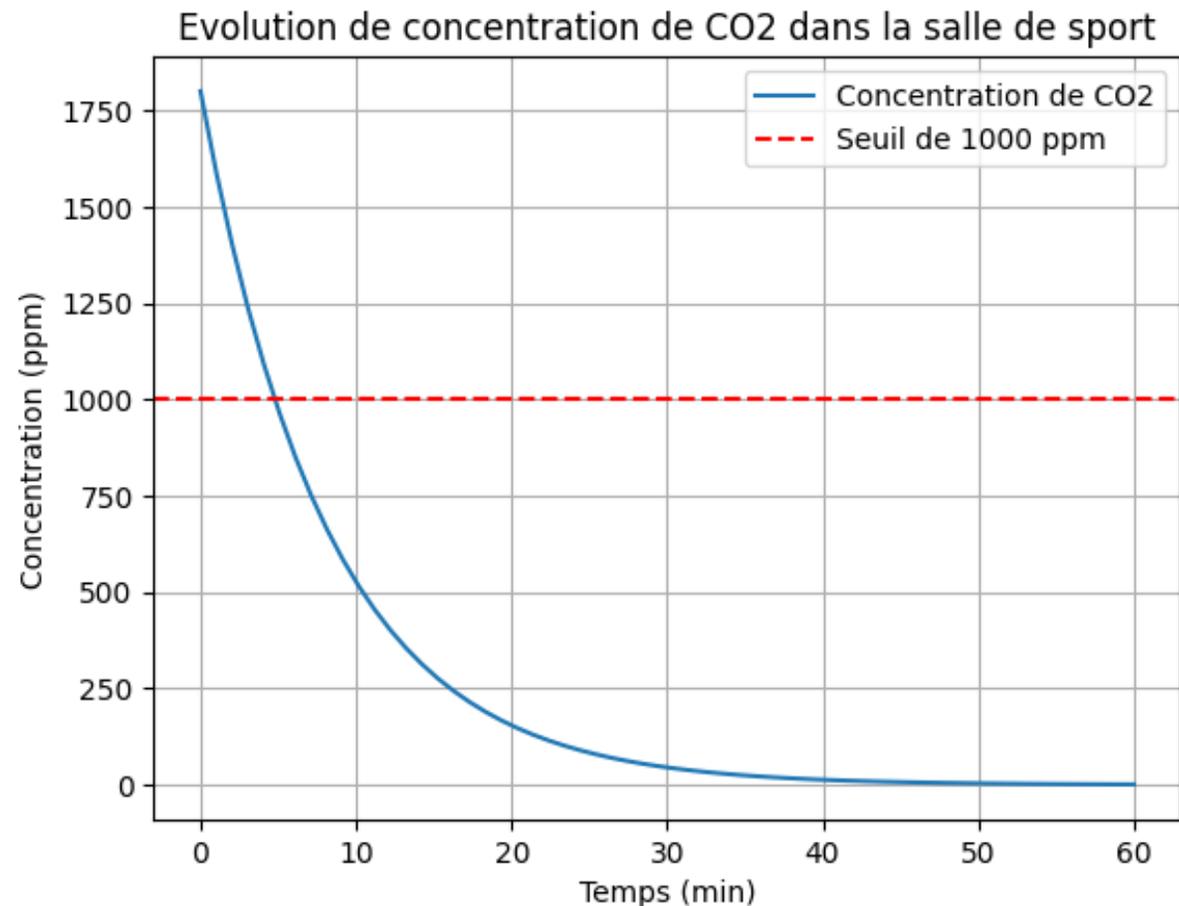
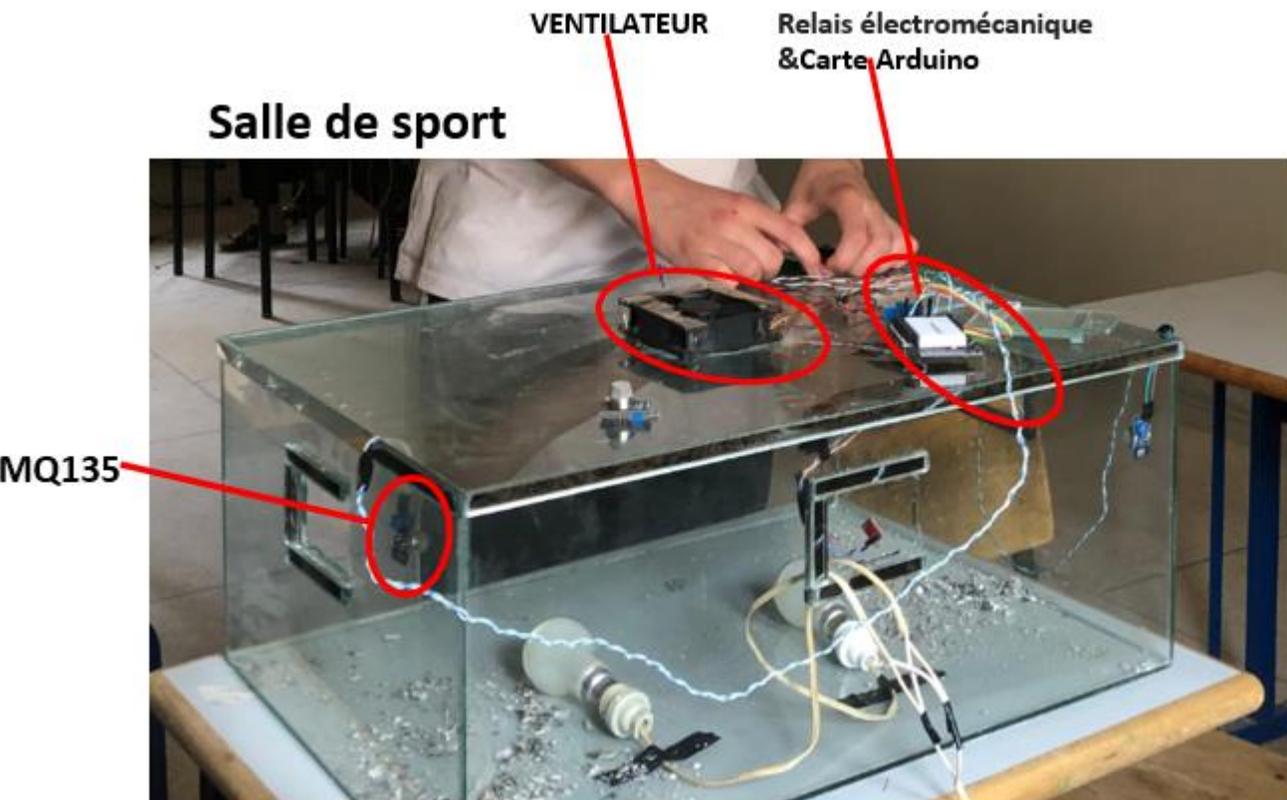
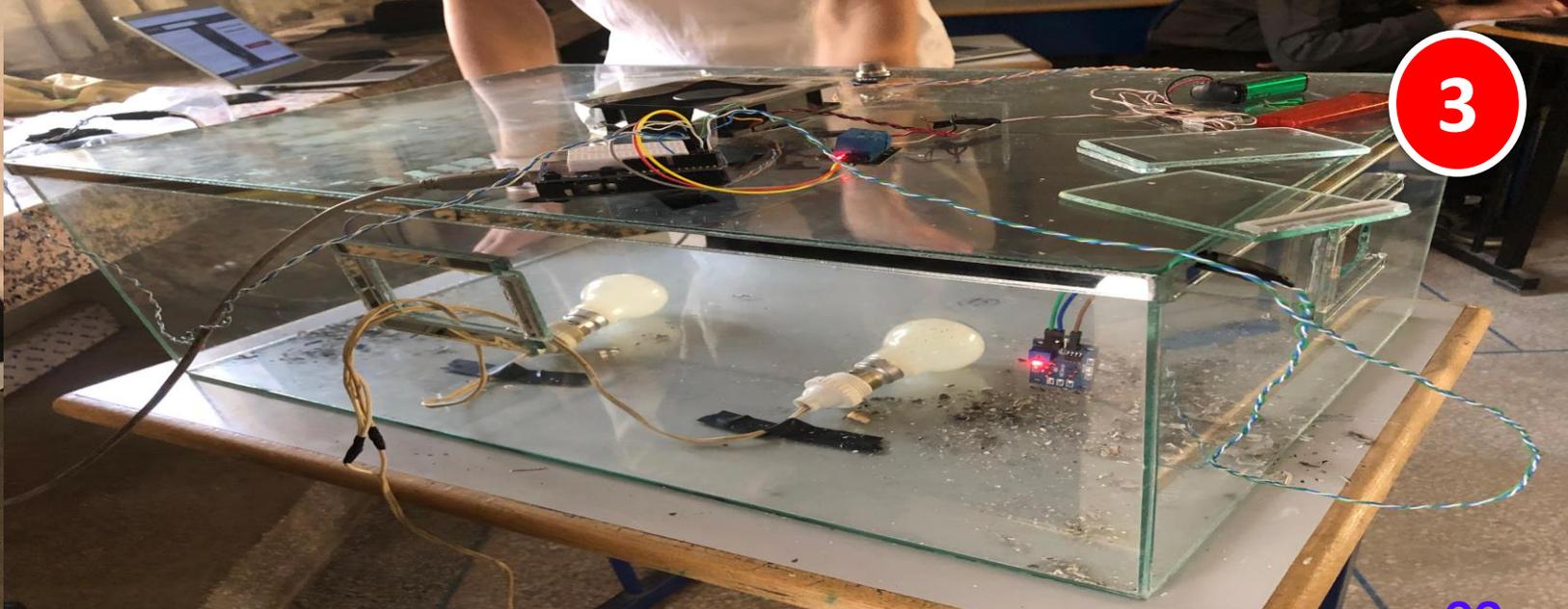


Figure 5 : Code python de l'équation de CO2

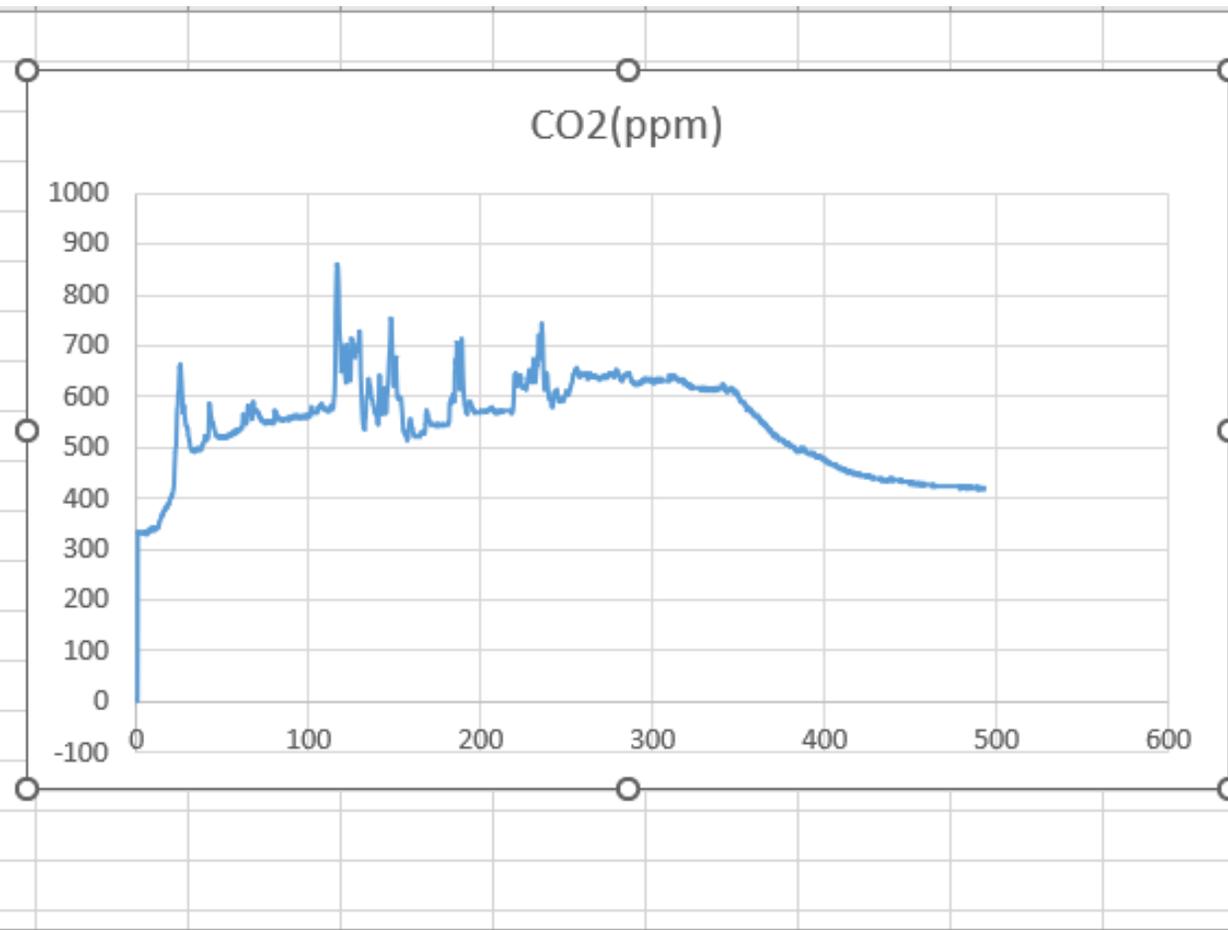
# Expérience





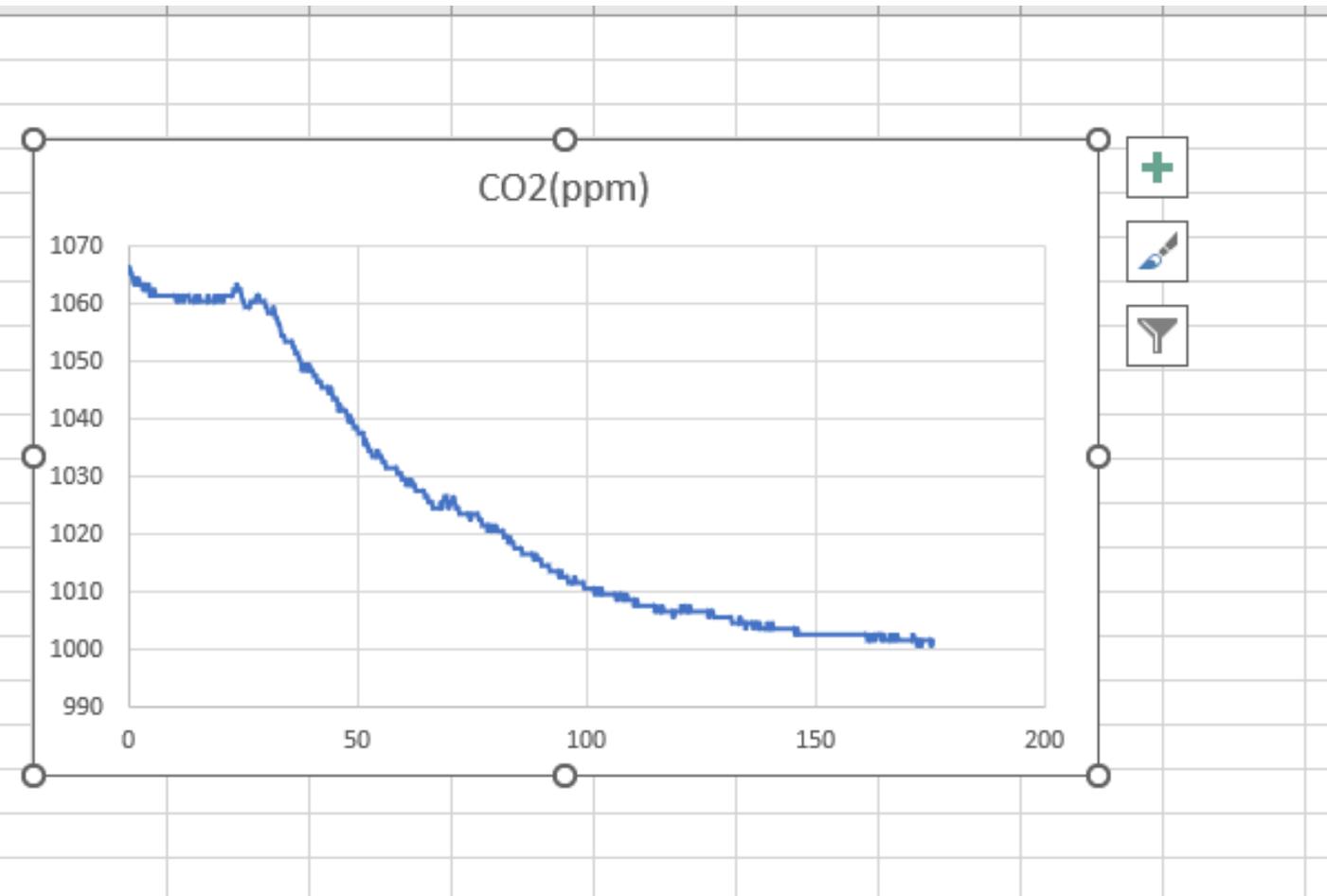
# Evolution de CO2 dans la salle vide

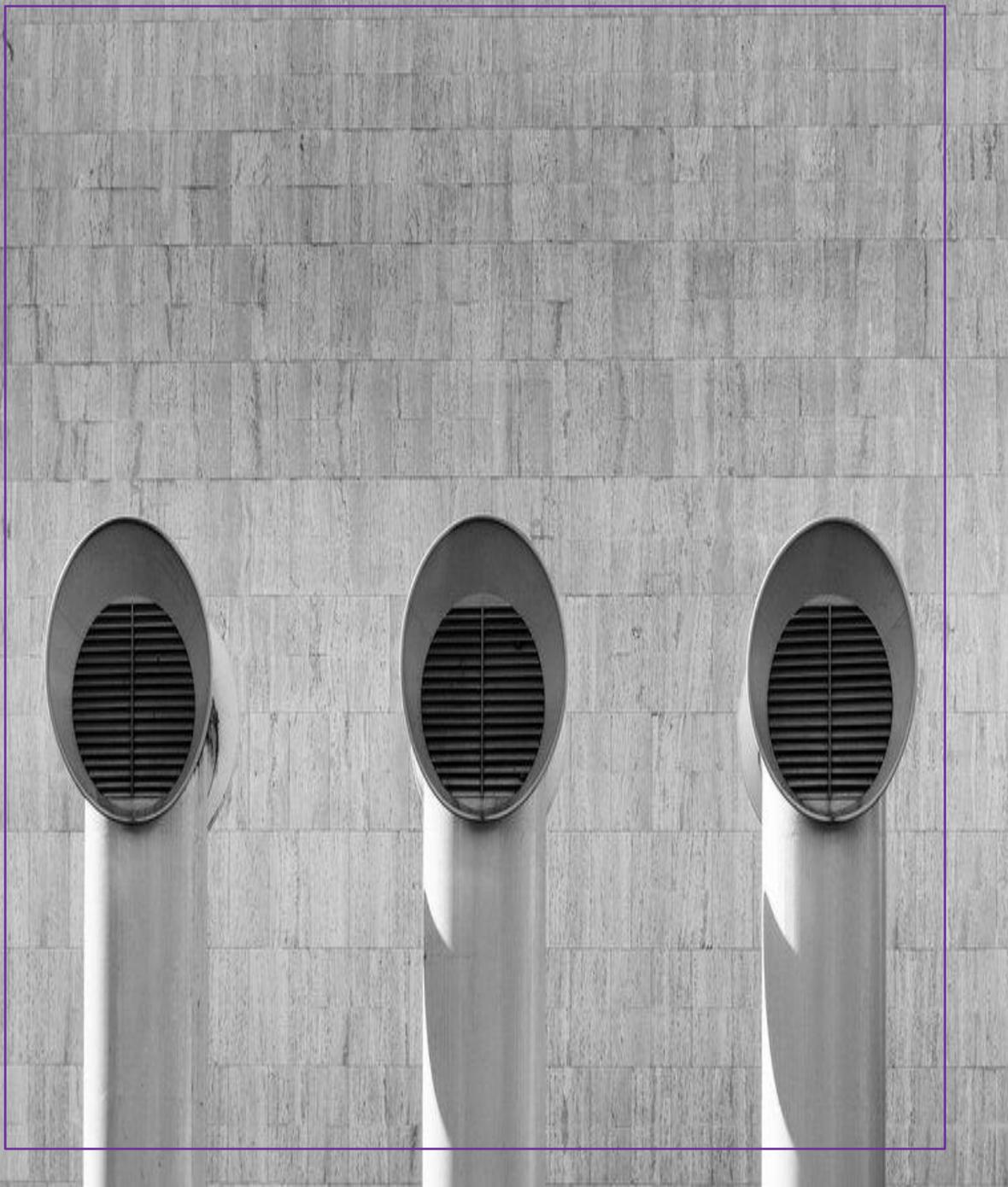
| t(ms) | AnalogValue | Rs           | RO | Rs/RO   | CO2(ppm)    |
|-------|-------------|--------------|----|---------|-------------|
| 0     | -250        | -101,9098294 | 36 | -1,8529 | 0           |
| 0,25  | -249        | -102,1903425 |    | -1,858  | 0           |
| 0,5   | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 0,75  | 364         | 36,20510539  |    | 0,65827 | 329,4319309 |
| 1     | 364         | 36,20510539  |    | 0,65827 | 329,4319309 |
| 1,25  | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 1,5   | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 1,75  | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 2     | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 2,25  | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 2,5   | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 2,75  | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 3     | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 3,25  | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 3,5   | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 3,75  | 365         | 36,07378505  |    | 0,65589 | 332,1875351 |
| 4     | 364         | 36,20510539  |    | 0,65827 | 329,4319309 |



## Evolution de CO2 lors de la ventilation

| temps (ms) | AnalogValue | Rs       | R0 | Rs/R0    | CO2(ppm) |
|------------|-------------|----------|----|----------|----------|
| 0          | 445         | 25,97621 | 36 | 0,288625 | 1065,65  |
| 0,25       | 446         | 25,8883  |    | 0,287648 | 1066,65  |
| 0,5        | 445         | 25,97621 |    | 0,288625 | 1065,65  |
| 0,75       | 445         | 25,97621 |    | 0,288625 | 1065,65  |
| 1          | 444         | 26,06445 |    | 0,289605 | 1064,65  |
| 1,25       | 443         | 26,15304 |    | 0,290589 | 1063,65  |
| 1,5        | 443         | 26,15304 |    | 0,290589 | 1063,65  |
| 1,75       | 444         | 26,06445 |    | 0,289605 | 1064,65  |
| 2          | 443         | 26,15304 |    | 0,290589 | 1063,65  |
| 2,25       | 444         | 26,06445 |    | 0,289605 | 1064,65  |
| 2,5        | 443         | 26,15304 |    | 0,290589 | 1063,65  |
| 2,75       | 443         | 26,15304 |    | 0,290589 | 1063,65  |
| 3          | 443         | 26,15304 |    | 0,290589 | 1063,65  |
| 3,25       | 442         | 26,24197 |    | 0,291577 | 1062,65  |
| 3,5        | 442         | 26,24197 |    | 0,291577 | 1062,65  |
| 3,75       | 443         | 26,15304 |    | 0,290589 | 1063,65  |
| 4          | 442         | 26,24197 |    | 0,291577 | 1062,65  |
| 4,25       | 442         | 26,24197 |    | 0,291577 | 1062,65  |
| 4,5        | 443         | 26,15304 |    | 0,290589 | 1063,65  |





## Objectif 3 :

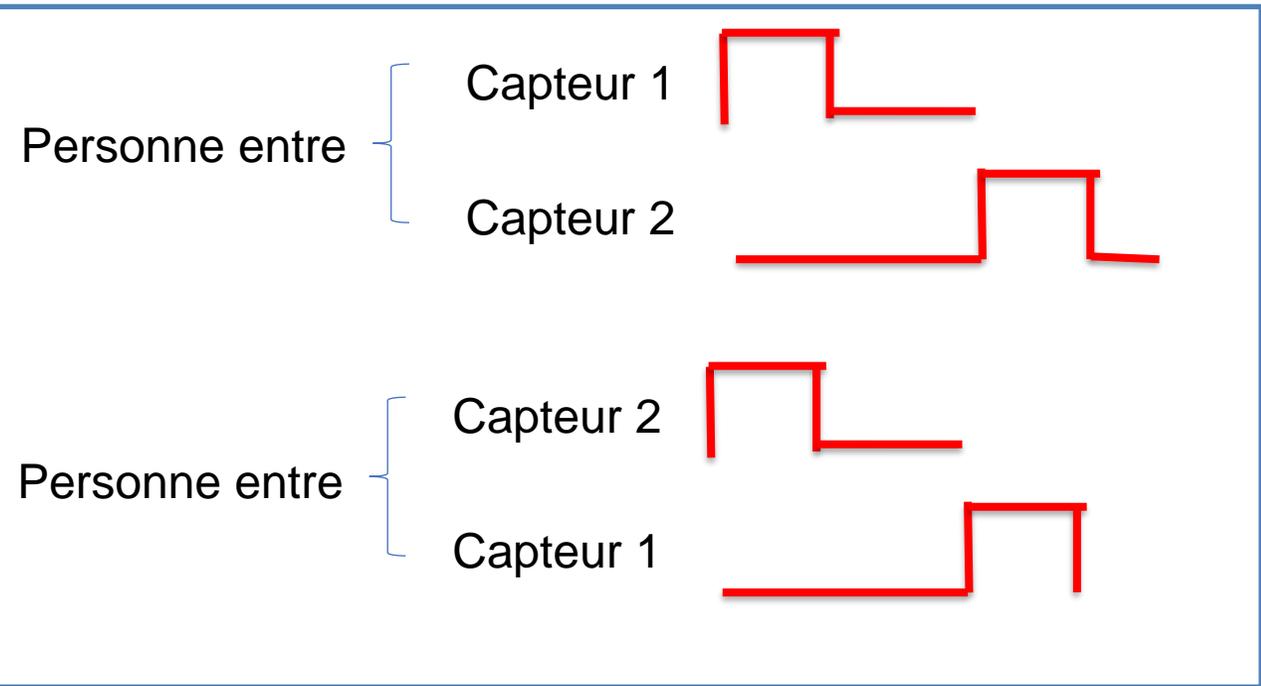
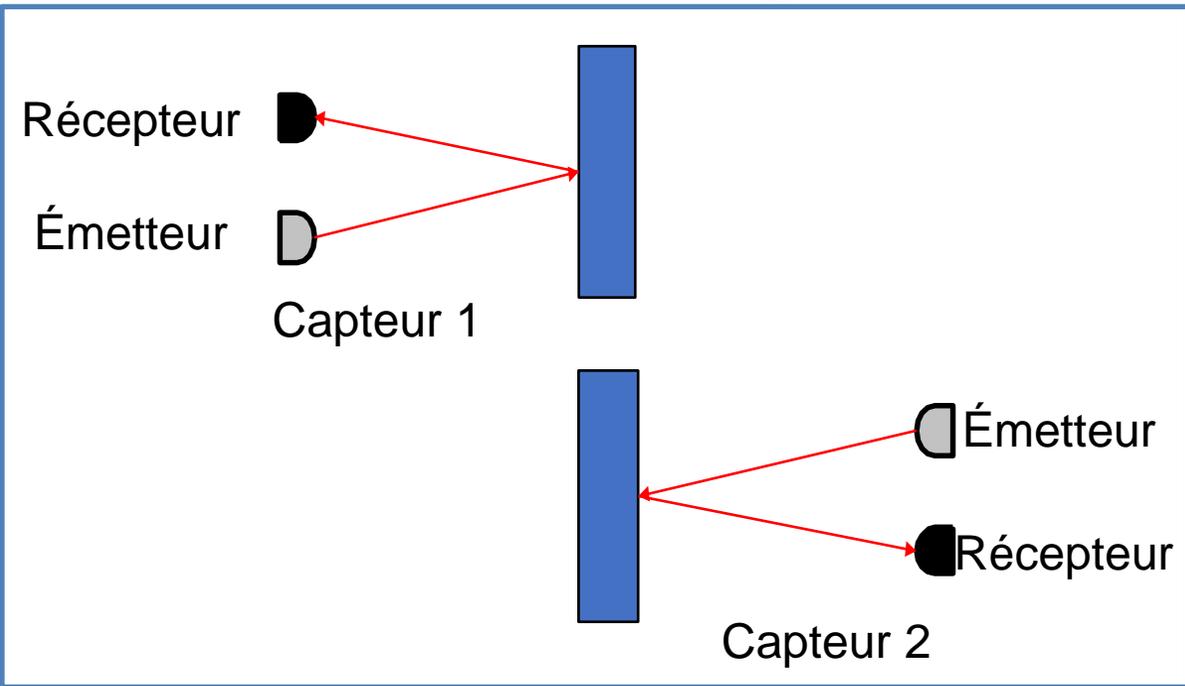
Mettre en place un système de ventilation efficace dans la salle de sport.

# Calcule de Nombre de personne



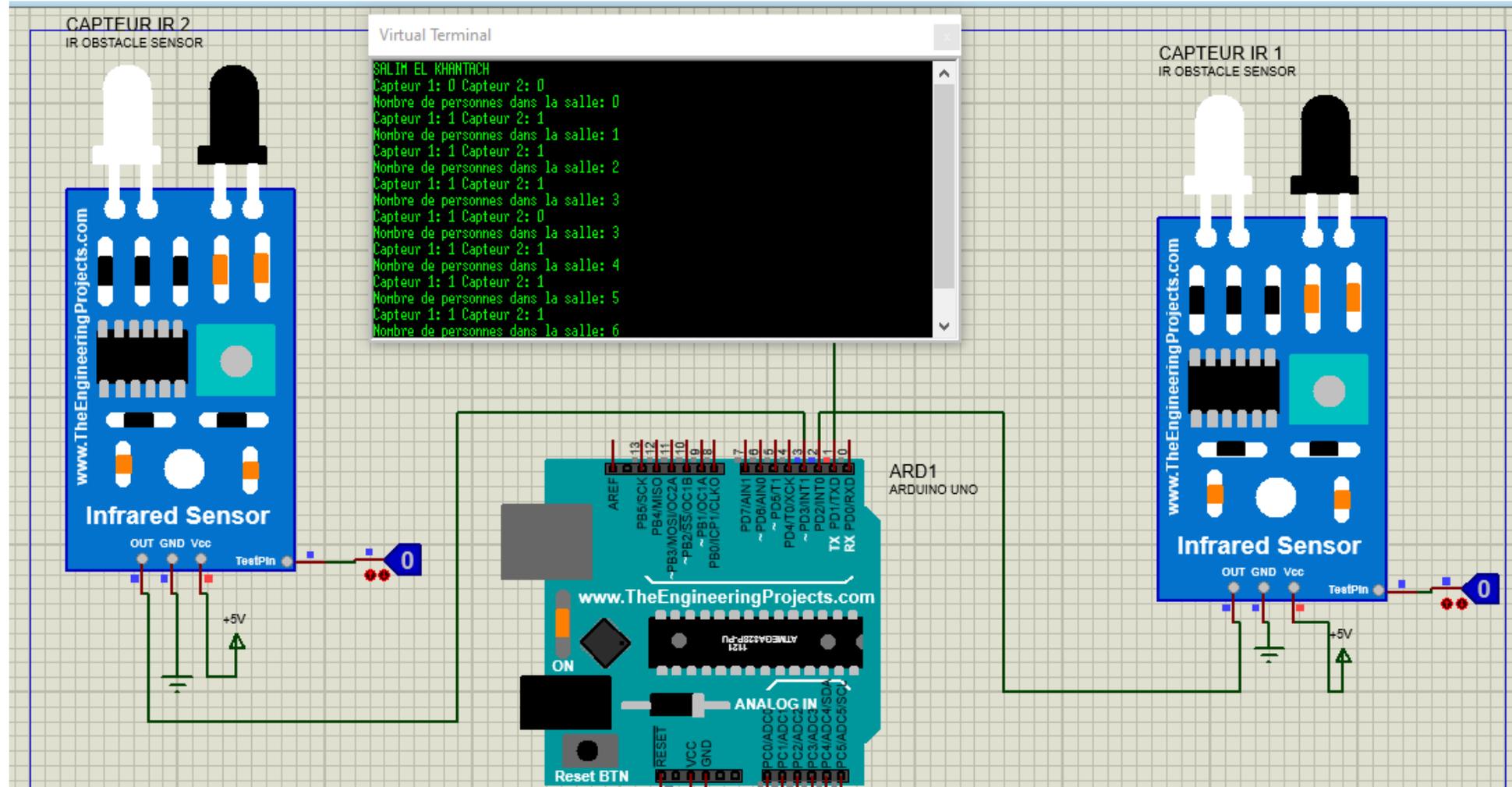
Capteur Infrarouge IR :

Logique de comptage :



Personne entre :  $N=N + 1$   
 Personne sortie:  $N=N-1$

# Simulation des Logique de comptage



# Les Types de ventilation

| Critère                                  | Ventilation Naturelle   | Ventilation Mécanique Simple Flux                                | Mécanique Contrôlée (VMC) Double Flux                                       | Dilution Modifiée (Recyclage et Traitement de l'Air)              |
|--|---|--|---|---|
| Principe                                 | Utilisation de l'air extérieur par des ouvertures (fenêtres, aérations) | Extraction mécanique de l'air vicié, air frais par infiltrations | Extraction de l'air vicié et apport d'air neuf avec récupération de chaleur | Recyclage de l'air intérieur, purification avant réintroduction   |
| Efficacité pour réduire le CO2           | Modérée à bonne, dépend de la différence de pression et de température  | Modérée, dépend des infiltrations d'air frais                    | Excellente, apport constant d'air frais extérieur                           | Faible sans technologies spécifiques pour capturer le CO2         |
| Contrôle des Polluants (COV, Particules) | Faible, dépend de la qualité de l'air extérieur                         | Modéré, certaines particules peuvent être évacuées               | Excellente, filtres intégrés pour particules et polluants                   | Bonne pour particules et COV avec filtres HEPA et à charbon actif |

Figure 20 : Images d'expérience

## Comparaison et choix du ventilateur

| Critère                        | Ventilateur Centrifuge                                  | Ventilateur Hélicoïdal                     |
|--------------------------------|---|--|
| Débit d'Air                    | Plus faible mais à haute pression                       | Plus élevé mais à basse pression           |
| Prix                           | Plus cher en raison de la complexité                    | Moins cher                                 |
| Bruit                          | Généralement plus silencieux                            | Peut être plus bruyant à haute vitesse     |
| Consommation d'Énergie         | Peut être plus élevé en raison de la résistance interne | Généralement plus faible                   |
| Adaptabilité avec les Conduits | Très bien adapté pour les systèmes de conduits          | Moins adapté pour les systèmes de conduits |
| Adaptabilité avec les Filtres  | Très compatible avec divers types de filtres            | Moins compatible avec les filtres          |

# Dimensionnement de Ventilateur Centrifuge

- MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DU TRANSPORT, DE LA LOGISTIQUE ET DE L'EAU: (ANNEXE)  
Débit d'air neuf par personne (m<sup>3</sup> /h) :> 54 m<sup>3</sup> /h/personne .

- Exemple d'une salle de sport occupé au maximum 67 personnes:

1. Débit d'air maximale:

$$Q = 55 \text{ (m}^3\text{/h)personne} \times 67 \text{ personnes} = 3685 \text{ m}^3\text{/heure} \approx 1.024 \text{ m}^3\text{/s}$$

2. la vitesse moyenne de l'air dans les conduits ne doit pas dépasser 6 m/s:

section du conduite extrême:  $S > \frac{Q}{V_{MAX}} = \frac{1,024}{6} \approx 0.171 \text{ m}^2$

le diamètre du conduite circulaire:  $d = \sqrt{4 \times S \div \pi} \approx 0.466 \text{ m}$

3. Vérification de la vitesse d'air dans la gaine de ventilation afin de ne pas dépasser 6 m/s:

On choisie diamètre de la gaine :d=500 mm(annexe)

Section de la gaine:  $S = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2$

$$V = \frac{Q}{S} = 5.215 \text{ m/s}$$

## Calcul de perte de charge singulière

$$\Delta P_{sing} = \sum K \times \frac{\rho \times v^2}{2}$$

Où:

- $\Delta P_{sing}$  est la perte de charge singulière (en Pa)
- K est le coefficient de perte de charge singulière
- $\rho$  est la densité du fluide en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- v est la vitesse du fluide (en m/s)

Supposons qu'on a 2 coude et 4 grille de diffusion d'air:

- $K_{coude}=0.3$
- $K_{grille}=1$
- A.N:

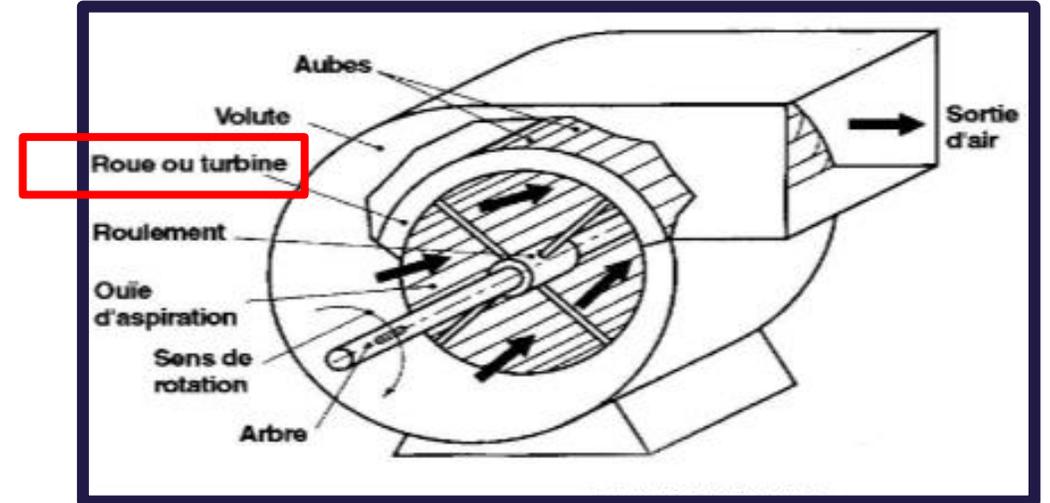
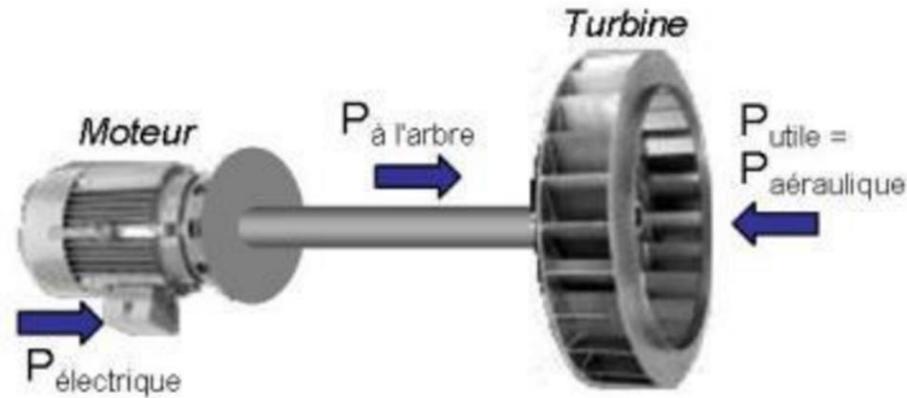
$$\Delta P_{sing} = (2 \times 0.3 + 4 \times 1) \times \frac{1.2 \times 5.215^2}{2} = 75.06$$

## Calcul de perte de charge régulière

- Détermination de coefficient de perte de charge d'après annexe:  
 $J=0,6 \text{ Pa/m}$
- Perte de charge régulière :  $\Delta P_{\text{rég}} = j \times L$  avec  $L$ : longueur de conduite en m
- ❖ Pour une longueur optimale  $L=15 \text{ m}$ :  $\Delta P_{\text{régulière}}=9\text{Pa}$

$$\Delta P_{\text{tot}} = \Delta P_{\text{sing}} + \Delta P_{\text{rég}} = 75.06 + 9 = 84.06 \text{ Pa}$$

# Puissance de Ventilateur



$$P_{aero} = \frac{Q \times \Delta P_{tot}}{\eta_f} = \frac{1.024 \times 84.06}{0.7} = 123.48 \text{ W}$$

- $\eta_f$  rendement du ventilateur varie entre 0.6 et 0.8

$$P_{elec} = \frac{P_{aero}}{\eta_m} = \frac{123.48}{0.9} = 137.2 \text{ W}$$

- $\eta_m$  rendement du moteur associé au ventilateur

# Choix du Ventilateur

## Caractéristiques techniques

| Modèle             | Vitesse<br>(T/min) | Intensité maximale admissible<br>(A) |             |             | Puissance<br>installée<br>(kW) | Débit<br>maximum<br>(m³/h) | Poids<br>approx.<br>(kg) |
|--------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
|                    |                    | 230 V                                | 400 V       | 690 V       |                                |                            |                          |
| CSXRT CJSXR        | 315-0,75           | 1880                                 | 2,92        | 1,69        | 0,55                           | 3075                       | 32                       |
| CSXRT CJSXR        | 315-1              | 2095                                 | 3,10        | 1,79        | 0,75                           | 3430                       | 34                       |
| CSXRT CJSXR        | 315-1,5            | 2375                                 | 4,03        | 2,32        | 1,10                           | 3885                       | 36                       |
| <b>CSXRT CJSXR</b> | <b>355-0,75</b>    | <b>1580</b>                          | <b>2,92</b> | <b>1,69</b> | <b>0,55</b>                    | <b>3685</b>                | <b>41</b>                |
| CSXRT CJSXR        | 355-1              | 1765                                 | 3,10        | 1,79        | 0,75                           | 4120                       | 44                       |
| CSXRT CJSXR        | 355-1,5            | 2010                                 | 4,03        | 2,32        | 1,10                           | 4690                       | 46                       |

## CSXR CSXRT CJSXR

CSXR : Ventilateurs centrifuges à simple aspiration à transmission, avec sortie d'axe des deux côtés et turbine à aubes inclinées vers l'arrière



CSXRT : Ventilateurs centrifuges à simple aspiration à transmission, équipés d'un moteur électrique, d'un ensemble de poulies, de courroies, de protecteurs et d'une turbine à aubes inclinées vers l'arrière

CJSXR : Appareils de ventilation avec turbine à aubes inclinées vers l'arrière avec isolation acoustique, équipés de ventilateurs de la série CSXR, sur amortisseurs en caoutchouc

### Ventilateur :

- Gaine en tôle d'acier galvanisé
- Turbine à aubes inclinées vers l'arrière, en tôle d'acier galvanisé
- Structure en tôle acier galvanisé avec isolation thermique et acoustique (CJSXR)
- Presse-étoupe pour l'entrée des câbles (CJSXR)

### Moteur :

- Moteurs rendement IE-2, sauf puissances inférieures à 0,75 kW monophasé et 2 vitesses
- Moteurs classe F, avec roulements à billes, protection IP55
- Triphasés 230/400 V - 50 Hz (jusqu'à 5,5 CV) et 400/690 V - 50 Hz (puissances supérieures à 5,5 CV)
- Température maximum de l'air à transporter :  
CSXR et CSXRT : -20°C +85°C  
CJSXR : -20°C +60°C

### Finition :

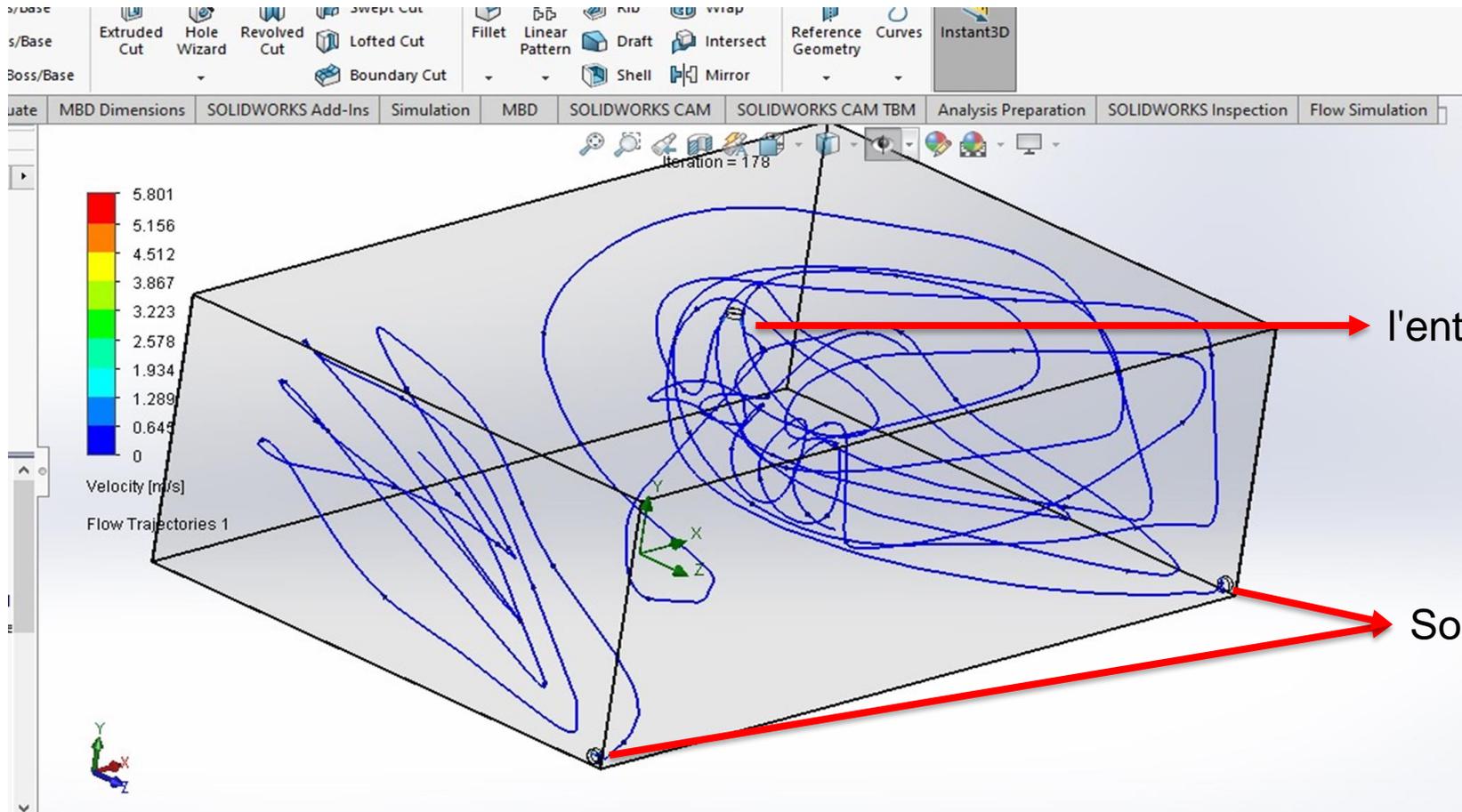
- Anticorrosion en tôle d'acier galvanisé

### Sur demande :

- Différentes positions de bouche de refoulement
- Bobinages spéciaux pour différentes tensions
- Avec moteurs à 2 vitesses

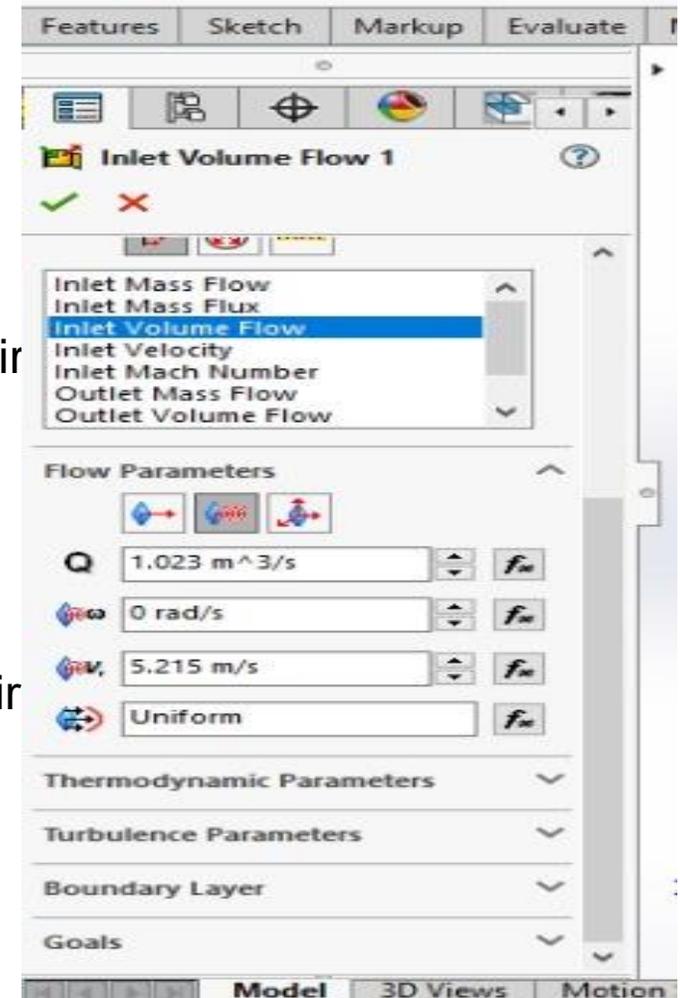


# Simulation dans SolidWorks



l'entrée d'air

Sortie d'air



Dimension de la salle:30m\*20m\*10m  
Diamètre de chaque trou:500mm

# Simulation dans SolidWorks

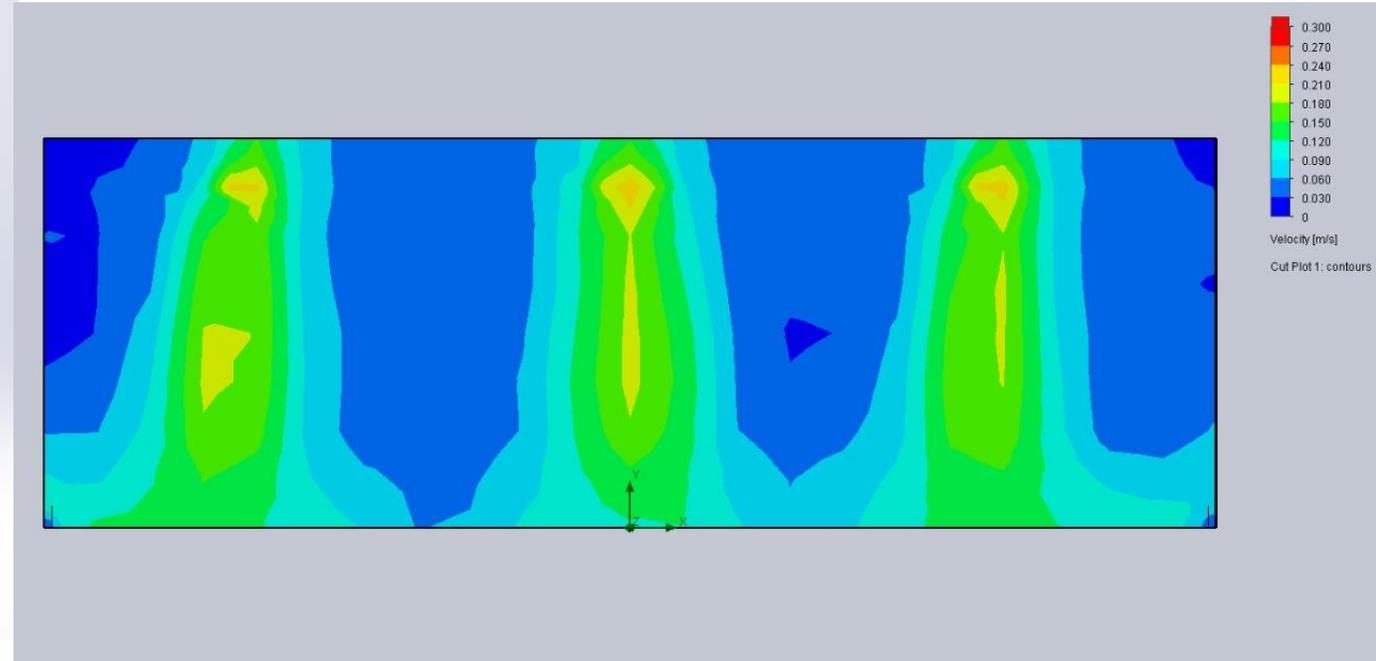
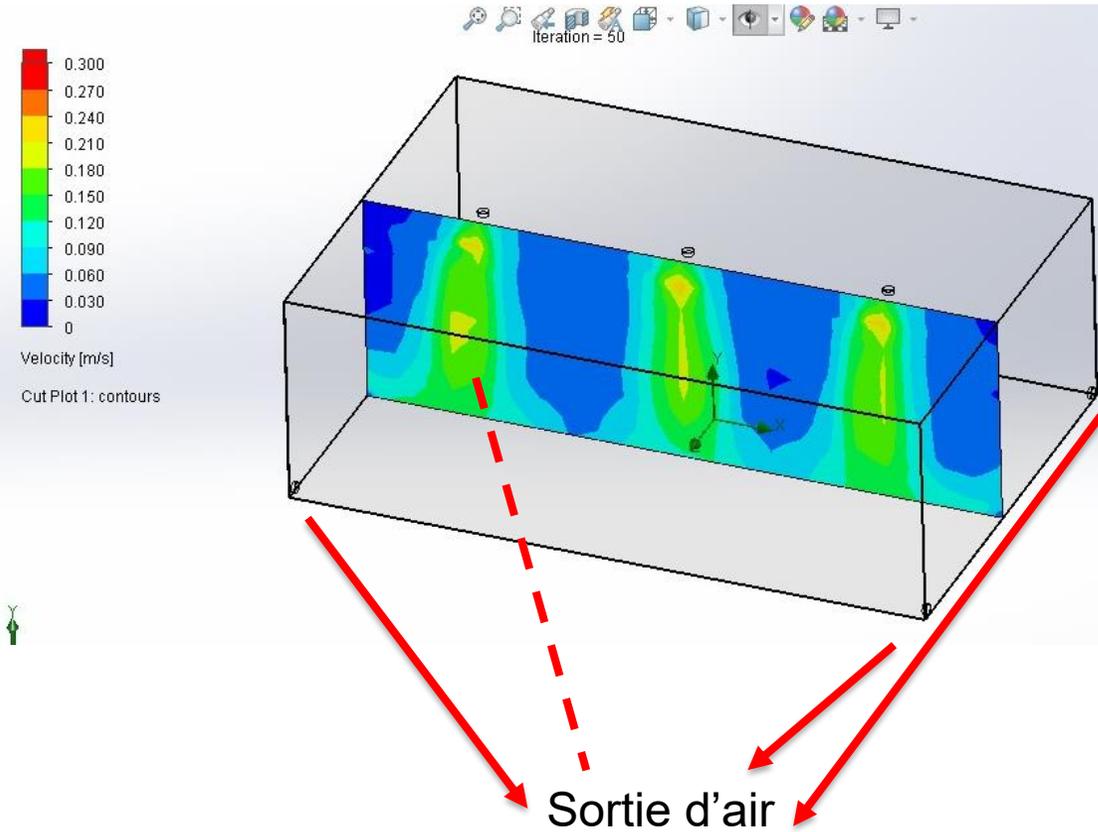
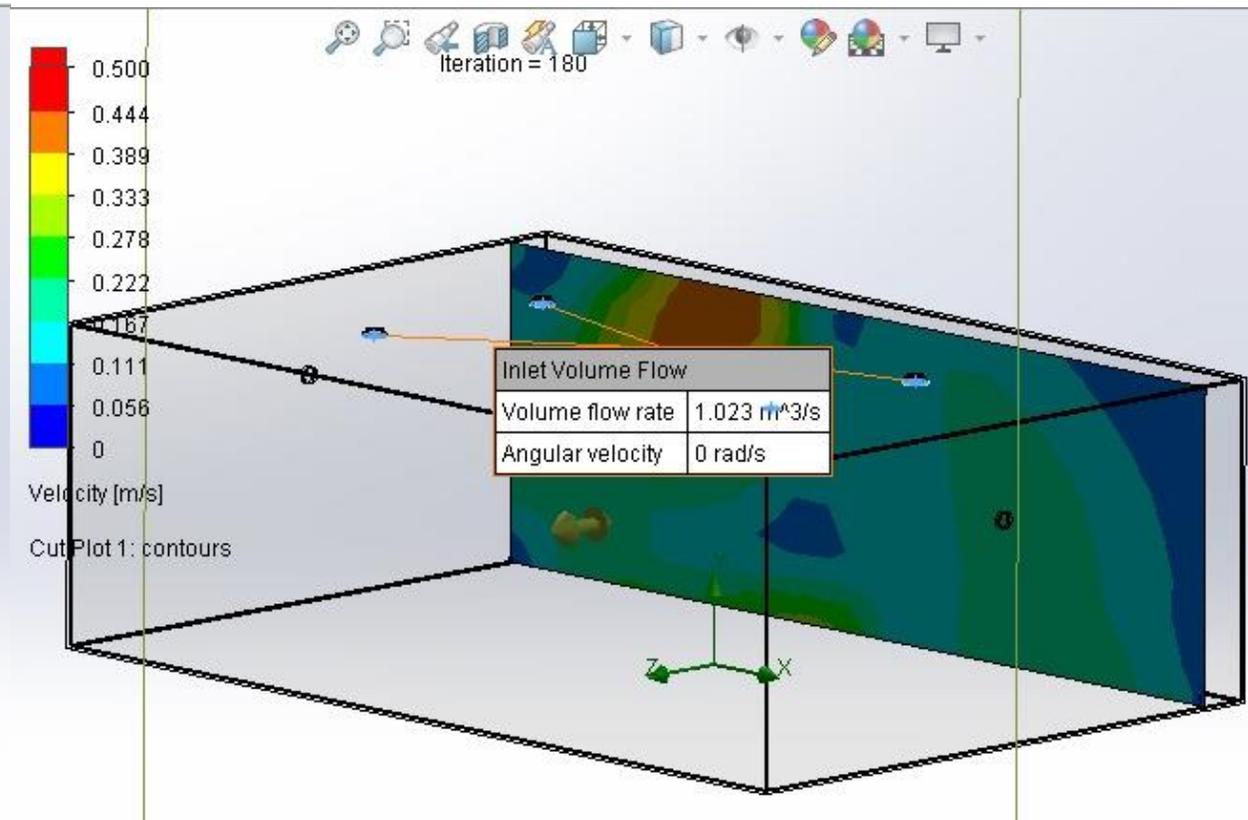
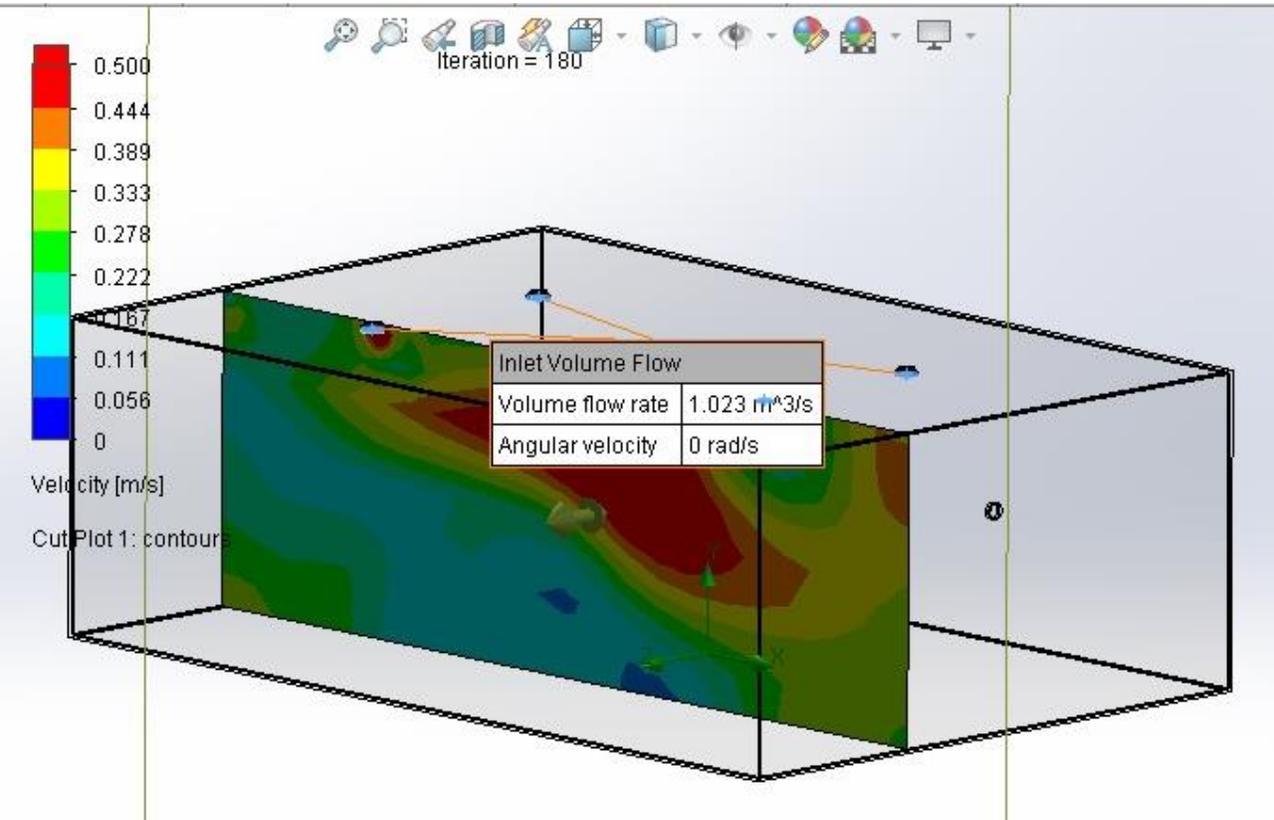


Figure 6 : Soufflage plafond par trois trou en série



# Simulation dans Solidwork





## AIR QUALITY



GOOD



MODERATE



UNHEALTHY  
FOR SENSITIVE  
GROUPS



UNHEALTHY



VERY  
UNHEALTHY



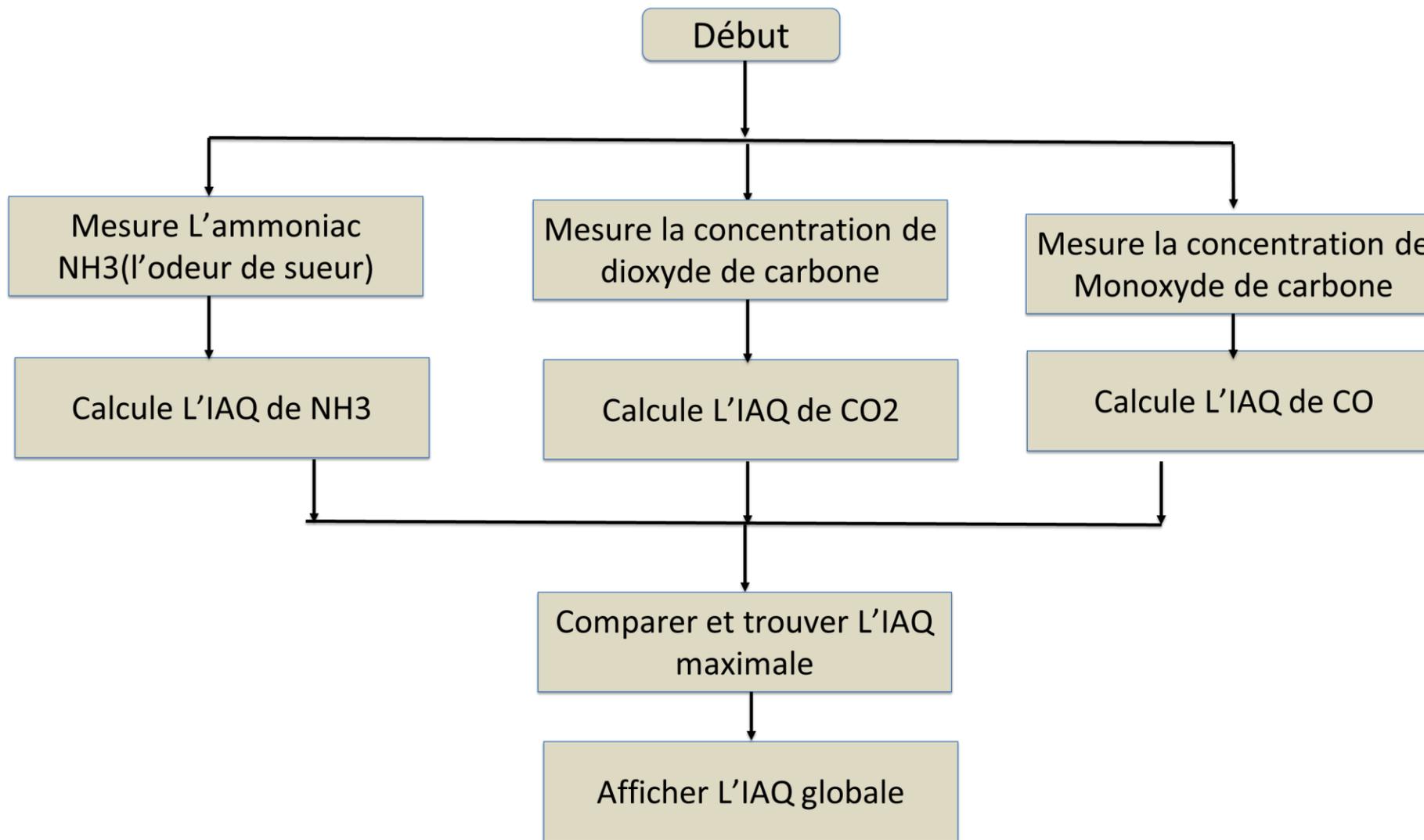
HAZARDOUS



Objectif 4 :

Calcul et affichage de l'IAQ

# Algorithmme intelligente



# Algorithme intelligente

```

1  const float R0 = 10.0;
2  const float RL = 10.0;
3  const float ACO_VALUE = -1.94;
4  const float ACO2_VALUE = -0.66;
5  const float ANH4_VALUE = -1.6;
6  const float BCO_VALUE = 5.1;
7  const float BCO2_VALUE = 2.32;
8  const float BNH4_VALUE = 4.2;
9  void setup() {
10     Serial.begin(9600); // Start serial communication
11     Serial.println("SALIM EL KHANTACH:");
12 }
13 float calculerIAQ(float ppm, float seuils[], float scores[], int size) {
14     for (int i = 0; i < size; i++) {
15         if (ppm <= seuils[i]) {
16             return map(ppm, i == 0 ? 0 : seuils[i-1], seuils[i], i == 0 ? 0 : scores[i-1], scores[i]);
17         }
18     }
19     return scores[size];
20 }

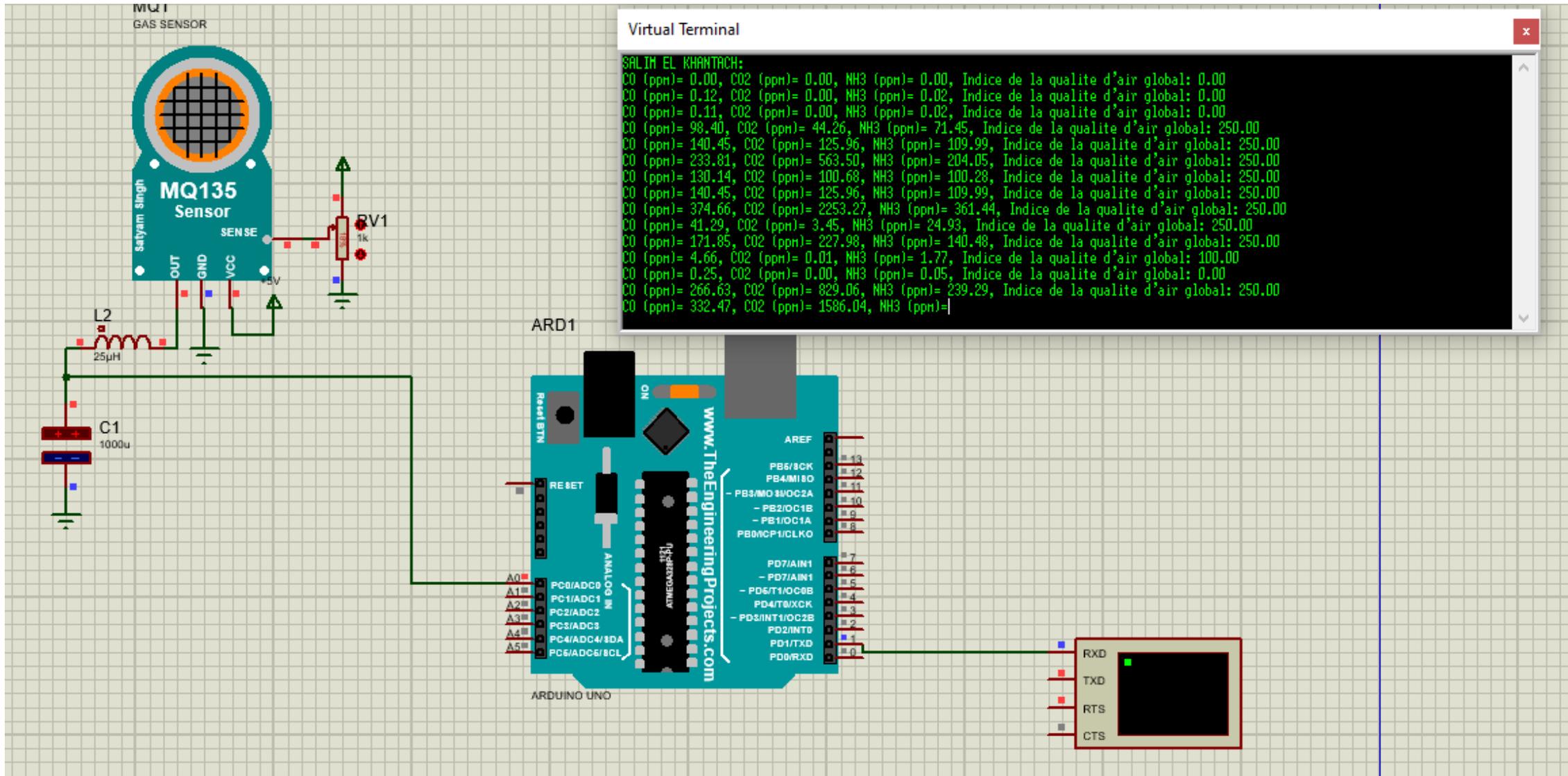
```

```

21 void loop() {
22     int analogValue = analogRead(A0);
23     float Rs = (1023.0 / analogValue - 1.0) * RL;
24     float ratio = Rs / R0;
25     float CO = pow(10, (ratio - BCO_VALUE) / ACO_VALUE);
26     float CO2 = pow(10, (ratio - BCO2_VALUE) / ACO2_VALUE);
27     float NH3 = pow(10, (ratio - BNH4_VALUE) / ANH4_VALUE);
28
29     float CO2_seuils[] = {600, 1000, 1500, 2000};
30     float CO2_scores[] = {50, 100, 150, 200, 250};
31     float IAQ_CO2 = calculerIAQ(CO2, CO2_seuils, CO2_scores, 4);
32
33     float CO_seuils[] = {4.4, 9.4, 12.4, 15.4};
34     float CO_scores[] = {50, 100, 150, 200, 250};
35     float IAQ_CO = calculerIAQ(CO, CO_seuils, CO_scores, 4);
36
37     float NH3_seuils[] = {0.5, 1, 3, 10};
38     float NH3_scores[] = {50, 100, 150, 200, 250};
39     float IAQ_NH3 = calculerIAQ(NH3, NH3_seuils, NH3_scores, 4);
40
41     float IAQ_global = max(IAQ_CO2, max(IAQ_CO, IAQ_NH3));
42     Serial.print("CO (ppm)= ");
43     Serial.print(CO, 2);
44     Serial.print(", CO2 (ppm)= ");
45     Serial.print(CO2, 2);
46     Serial.print(", NH3 (ppm)= ");
47     Serial.print(NH3, 2);
48     Serial.print(", Indice de la qualite d'air global: ");
49     Serial.println(IAQ_global);
50     delay(100);
51 }

```

# Simulation avec Proteus



# Conclusion



**Merci pour votre  
attention**

# ANNEXES

## 1.5.1 Ventilation des espaces destinés à l'occupation humaine :

Ce sont des espaces prévus pour laisser séjourner des personnes pendant un temps plus long.

### • Taux d'air neuf par personne

| Classe : INT (qualité de l'air intérieur)    | Débit d'air neuf par personne locaux non-fumeurs (m <sup>3</sup> /h) | Débit d'air neuf par personne locaux fumeurs (m <sup>3</sup> /h) |
|--|--|--|
| INT1 (qualité de l'air intérieur excellente) | > 54 m <sup>3</sup> /h/personne                                      | > 108 m <sup>3</sup> /h/personne                                 |
| INT2 (qualité de l'air intérieur moyenne)    | 36-54 m <sup>3</sup> /h/personne                                     | 72-108 m <sup>3</sup> /h/personne                                |
| INT3 (qualité de l'air intérieur modérée)    | 22-36 m <sup>3</sup> /h/personne                                     | 43-72 m <sup>3</sup> /h/personne                                 |
| INT4 (qualité de l'air intérieur basse)      | < 22 m <sup>3</sup> /h/personne                                      | < 43 m <sup>3</sup> /h/personne                                  |

## 2.1.2 Normalisation des sections des conduits

Les normes marocaines NM 10.5.003 (NM EN 1505), NM 10.5.004 (NM EN 1506), NM 10.5.005 (NM EN 1507), fixent la section des conduits de ventilation à des valeurs standards :

### a. Conduits circulaires

| Série des diamètres intérieurs (mm) |     |     |     |     |       |       |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| 63                                  | 80  | 100 | 125 | 160 | 200   | 250   |
| 315                                 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1 000 | 1 250 |

Figure 8 : Les Normes Marocaines

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
V=500 #volume de la salle en m³
N=67 #nombre de personne
QC02=1e-3 #débit standard pour une adulte en repos en m³/min
Q=61.44 #débit d'air de ventilateur Q=3686 m³/h en m³/min
temps=np.linspace(0,60,60) # en m³/min
C0=1800 #concentration de CO2 initiale
def c(temps):
    return (QC02/Q)*N + (C0-N*(QC02/Q))*np.exp(-(Q*temps)/V)
C=[c(t) for t in temps]
plt.plot(temps, C, label='Concentration de CO2')
plt.axhline(y=1000, color='r', linestyle='--', label='Seuil de 1000 ppm')
plt.xlabel('Temps (min)')
plt.ylabel('Concentration (ppm)')
plt.title('Evolution de concentration de CO2 dans la salle de sport')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

Figure 9 : Code python de l'équation de CO2

# ANNEXES

```
1  const int IR_SENSOR_PIN1 = 2;
2  const int IR_SENSOR_PIN2 = 3;
3  int personne_count = 0;
4  int dernieretatcapteur1 = LOW;
5  int dernieretatcapteur2 = LOW;
6  void setup() {
7      Serial.println("SALIM EL KHANTACH");
8      pinMode(IR_SENSOR_PIN1, INPUT);
9      pinMode(IR_SENSOR_PIN2, INPUT);
10     Serial.begin(9600);
11 }
12 void loop() {
13     int etatcapteur1 = digitalRead(IR_SENSOR_PIN1);
14     int etatcapteur2 = digitalRead(IR_SENSOR_PIN2);
15     Serial.print("Capteur 1: ");
16     Serial.print(etatcapteur1);
17     Serial.print(" Capteur 2: ");
18     Serial.println(etatcapteur2);
19     if (etatcapteur1 == HIGH && dernieretatcapteur1 == LOW) {
20         delay(50);
21         if (etatcapteur2 == HIGH) {
22             personne_count++;
23             delay(500);
24         }
25     } else if (etatcapteur2 == HIGH && dernieretatcapteur2 == LOW) {
26         delay(50);
27         if (etatcapteur1 == HIGH) {
28             personne_count--;
29             delay(500);
30         }
31     }
32     Serial.print("Nombre de personnes dans la salle: ");
33     Serial.println(personne_count);
34     dernieretatcapteur1 = etatcapteur1;
35     dernieretatcapteur2 = etatcapteur2;
36     delay(1000);
37 }
38
```

Figure 10 :Code de Simulation de Capteur IR

# ANNEXES

```
1  const float R0 = 10.0;
2  const float RL = 10.0;
3  const float ACO_VALUE = -1.94;
4  const float ACO2_VALUE = -0.66;
5  const float ANH4_VALUE = -1.6;
6  const float BCO_VALUE = 5.1;
7  const float BCO2_VALUE = 2.32;
8  const float BNH4_VALUE = 4.2;
9  void setup() {
10     Serial.begin(9600);
11     Serial.println("SALIM EL KHANTACH:");
12 }
13 void loop() {
14     int analogValue = analogRead(A0);
15     float Rs = (1023.0 / analogValue - 1.0) * RL;
16     float ratio = Rs / R0;
17     float CO = pow(10, (ratio - BCO_VALUE) / ACO_VALUE);
18     float CO2 = pow(10, (ratio - BCO2_VALUE) / ACO2_VALUE);
19     float NH4 = pow(10, (ratio - BNH4_VALUE) / ANH4_VALUE);
20     Serial.print("analogValue= ");
21     Serial.print(analogValue);
22     Serial.print(", Rs/R0= ");
23     Serial.print(ratio,4);
24     Serial.print(", CO (ppm)= ");
25     Serial.print(CO, 2);
26     Serial.print(", CO2 (ppm)= ");
27     Serial.print(CO2, 2);
28     Serial.print(", NH4 (ppm)= ");
29     Serial.println(NH4, 2);
30     delay(250);
31 }
```

Figure 11 :Code de Simulation de MQ135

# ANNEXES

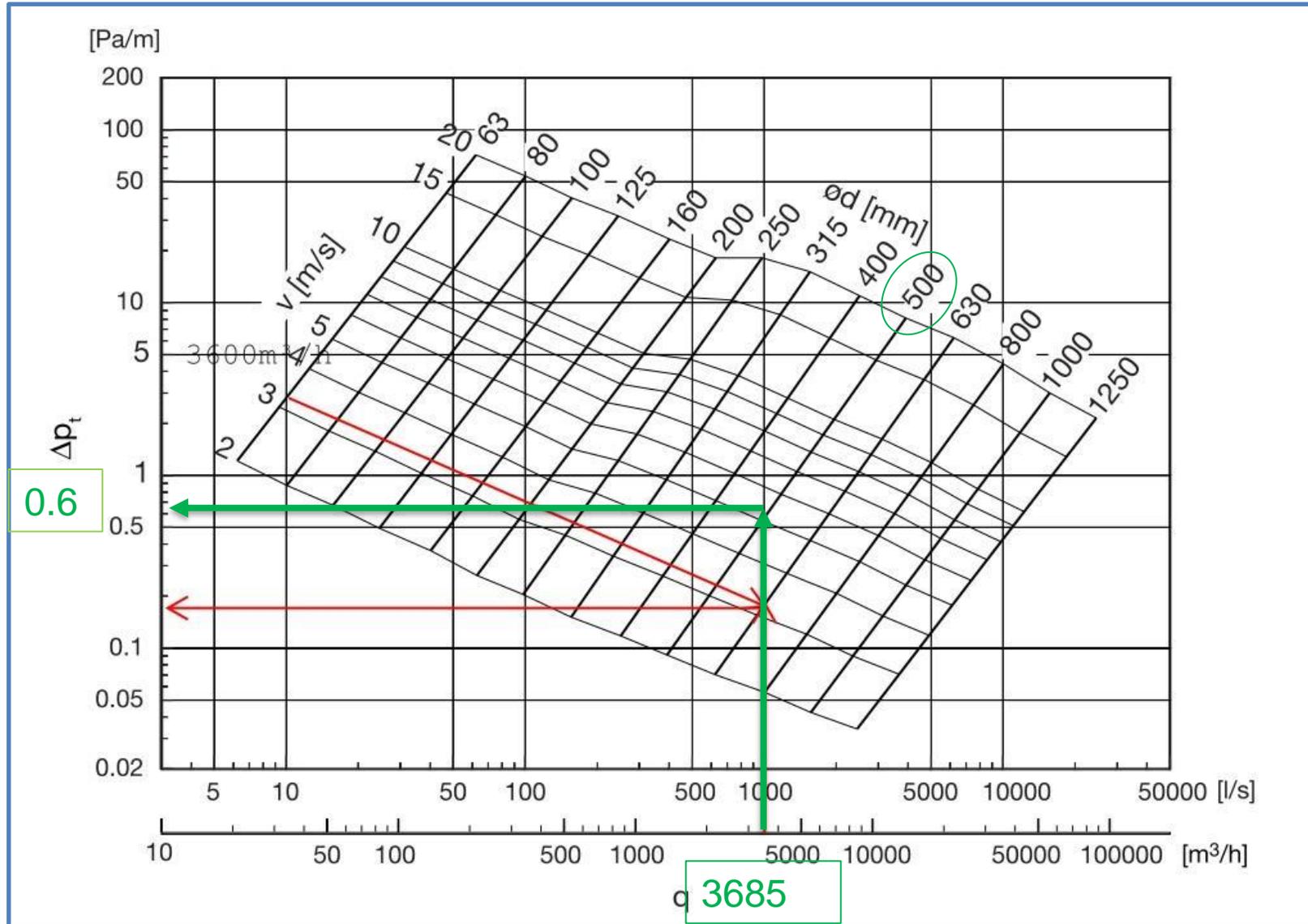


Figure 12 :Abaque d'un conduit circulaire illustrant le calcul de la perte de charge linéaire .

# ANNEXES

## ANNEXE 3 : Pertes de charges singulières (coefficient k)

### Conduites cylindriques – valeurs indicatives des coefficients K - coudes

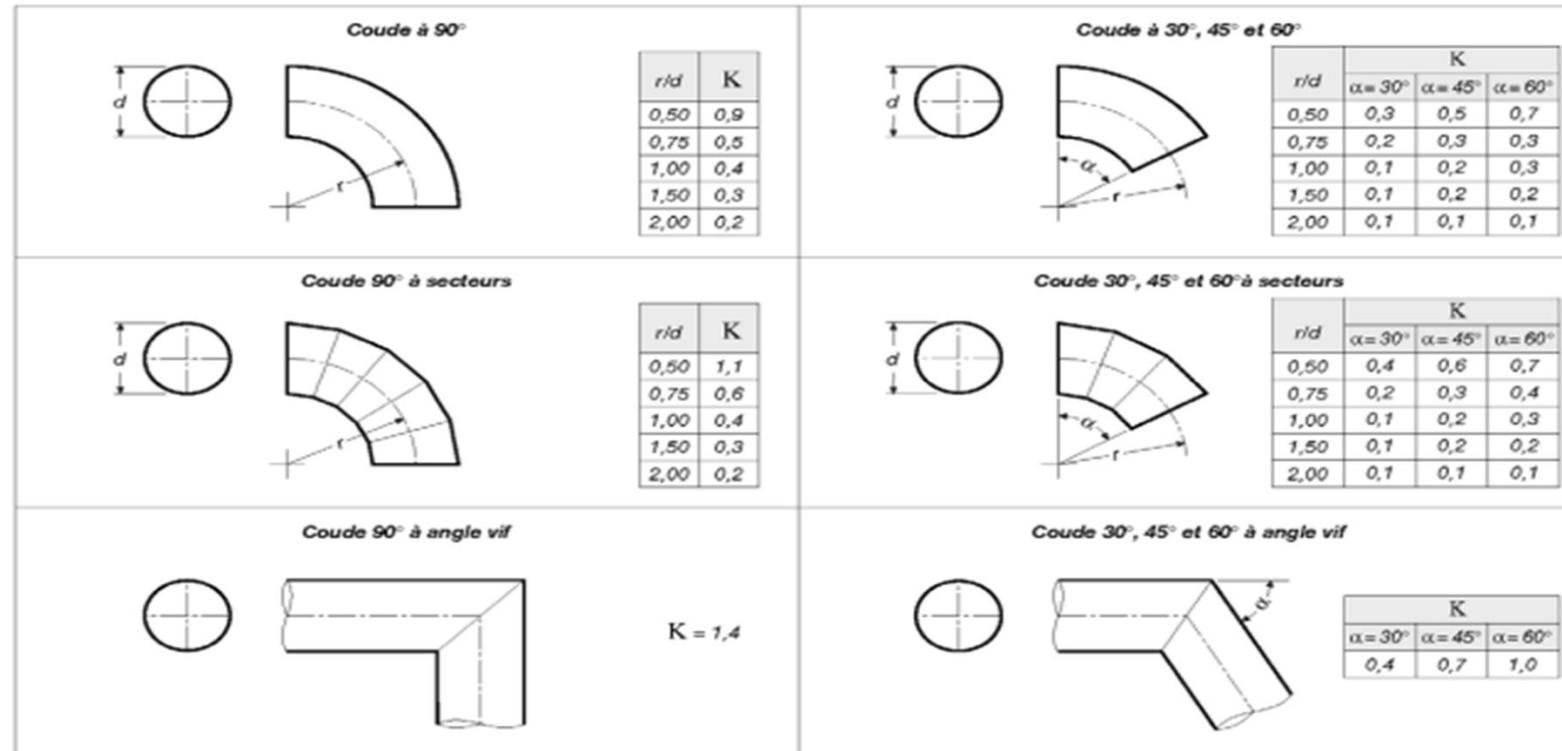


Figure 13: Coefficient de perte de charge K

# ANNEXES

## ANNEXE 1 : LES CRITÈRES CONCEPTUELS DE L'EFFICACITÉ DE LA VENTILATION

La meilleure solution est d'opter pour une installation de ventilation mécanique double flux où la disposition des bouches entraîne un brassage d'air suffisant, sans provoquer des zones "mortes" (voir schémas ci-dessous).

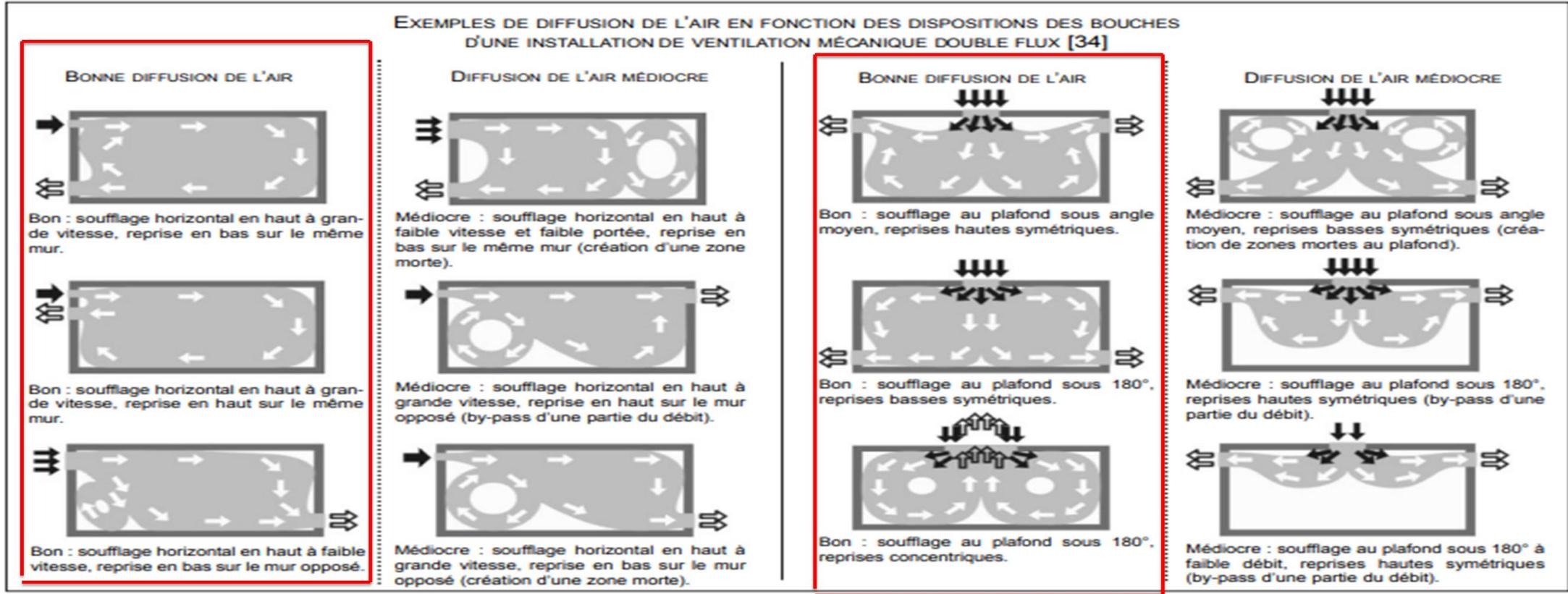


Figure 14: Critère de distribution d'air

# ANNEXES

## Monoxyde de Carbone (CO)

- 0 - 4.4 ppm : Bon
- 4.5 - 9.4 ppm : Modéré
- 9.5 - 12.4 ppm : Mauvais pour les groupes sensibles
- 12.5 - 15.4 ppm : Mauvais

## Dioxyde de Carbone (CO<sub>2</sub>)

- 0 - 600 ppm : Excellent
- 600 - 1000 ppm : Bon
- 1000 - 1500 ppm : Acceptable
- 1500 - 2000 ppm : Mauvais
- >2000 ppm : Très mauvais

## Composés Organiques Volatils (COV)

- 0 - 0.5 ppm : Bon
- 0.5 - 1.0 ppm : Modéré
- 1.0 - 3.0 ppm : Mauvais pour les groupes sensibles
- 3.0 - 10.0 ppm : Mauvais
- >10.0 ppm : Très Mauvais

Figure 15 : Les seuils d'après les organisations de santé mondiale