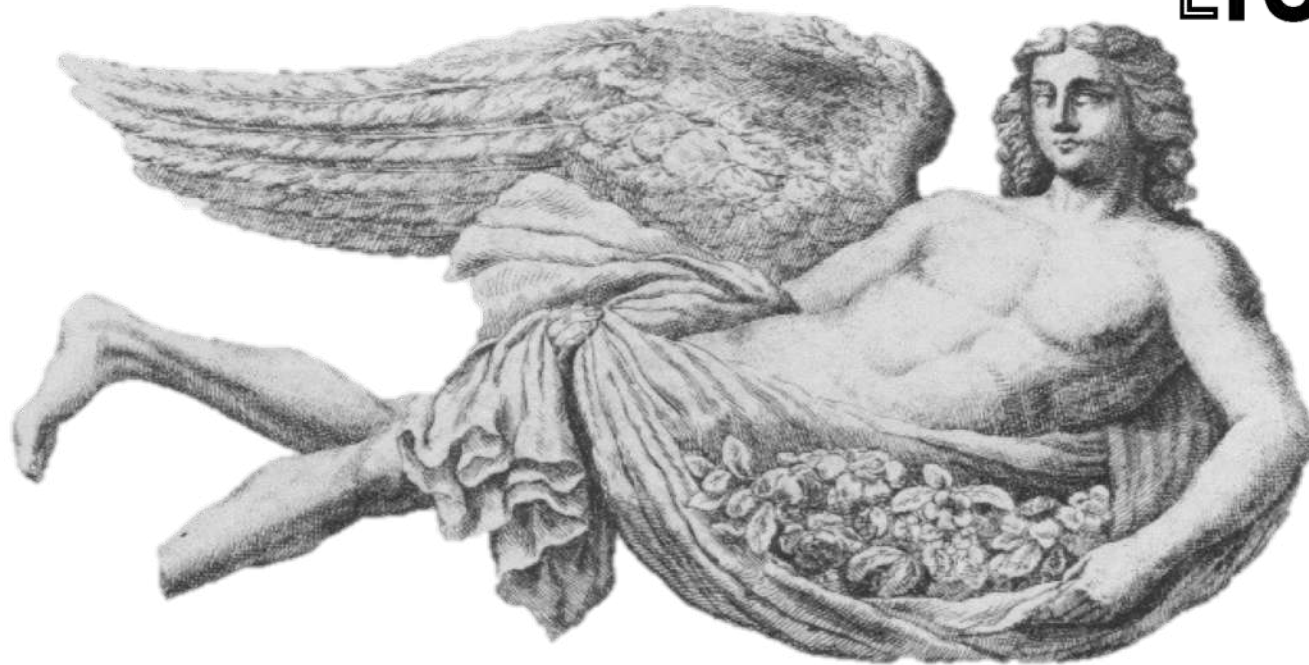


# Projet Zéphyr

**LYCÉE RICHELIEU**  
*Rueil Malmaison*



Le dieu grec Zéphyr,  
personification du vent de l'Ouest ou du Nord-Ouest.

Alexis Lapeyre

Ruben Damti

Mathieu Hugo

*Elèves de Première Spécialité Sciences de l'ingénieur*

# Contexte sanitaire et social

"Nous encourageons les collectivités" à installer des capteurs de CO2 et des purificateurs d'air "à chaque fois que cela est pertinent", assurait-il aux côtés de Jean Castex et d'Olivier Véran.



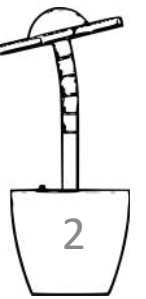
**anses**  
agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



Classement de la qualité de l'air  
intérieur selon la norme  
NF EN 13779

- Importance de l'aération intérieure :
  - entre 0 et 600ppm – Correct
  - entre 600 et 1200ppm – Moyen
  - à partir de 1200ppm – Dangereux

**EN SITUATION DE COVID-19, COMMENT UN CAPTEUR DE CO2 PEUT-IL DEVENIR UN BON MOYEN DE PENSER À AÉRER DE FAÇON RÉGULIÈRE ?**



# Cahier des charges fonctionnel

req Cahier des charges Projet Zéphyr

Le Zéphyr doit permettre de mesurer le taux de  $CO_2$  dans une salle de classe de primaire

Le Zéphyr doit être robuste

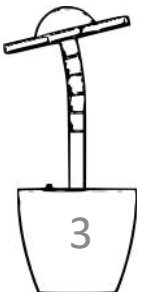
Le Zéphyr doit être facile d'utilisation

Le Zéphyr doit viser un large public

Le Zéphyr doit être peu coûteux (moins de 100€)

Le Zéphyr doit être ludique

AIR école



# État de l'art

## Des produits « maker »



**NEKO PLUS PLUS**

Dossier de fabrication mis à jour le 26/04/21  
Niveau de difficulté : ★★★  
Téléchargé 107 fois depuis le 01/02/2021



**KANARIA 7**

Dossier de fabrication disponible mis à jour le 26/04/21  
Niveau de difficulté : ★★★★  
Téléchargé 395 fois depuis le 01/02/2021



**FUKURO**

Dossier de fabrication disponible  
Niveau de difficulté : ★★  
Téléchargé 72 fois depuis le 01/03/2021



**KUJIRA**

Dossier de fabrication disponible  
Niveau de difficulté : ★★★  
Téléchargé 50 fois depuis le 01/02/2021



**SØREN**

Dossier de fabrication disponible  
Niveau de difficulté : ★  
Publié le 24/05/2021



**JASPER**

En cours d'étude - Boîtier mécanique disponible  
Niveau de difficulté : ★★★★  
Publié le 27/05/2021

Caractère ludique peu prononcé

## Des produits grand public

**TESTO 160 IAQ**  
(~ 600 €)



**ARANET4 HOME**  
(~ 200 €)



**CLASS'AIR**  
(À PARTIR DE 300 €)



**UNIT-T A37**  
(~120 €)



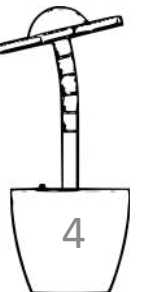
**ARANET4 PRO**  
(PRIX SELON CONFIGURATION)



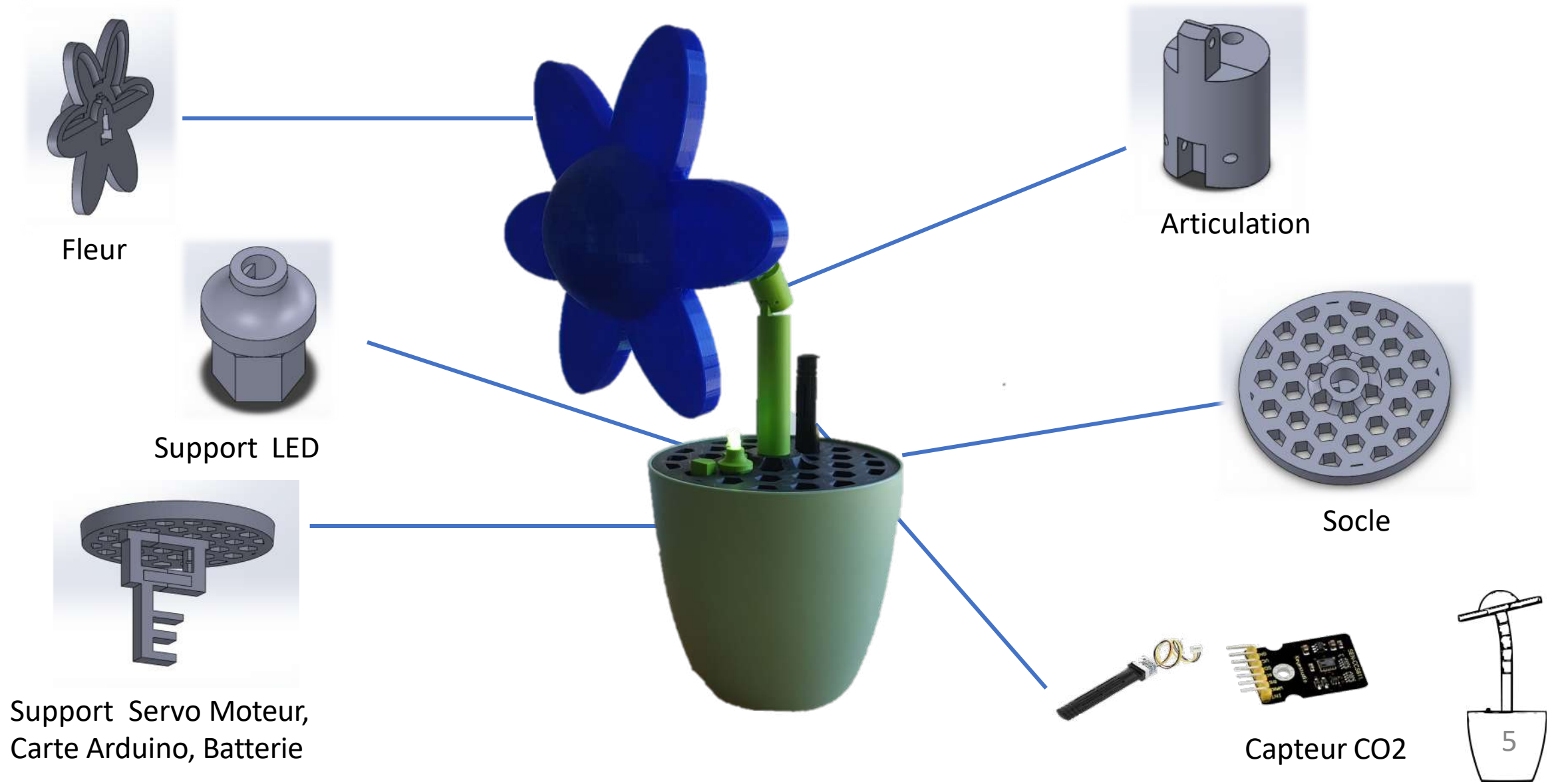
**PRODUIT AMAZON**  
(~ 100 €)



- Coût important
- Peu ludique



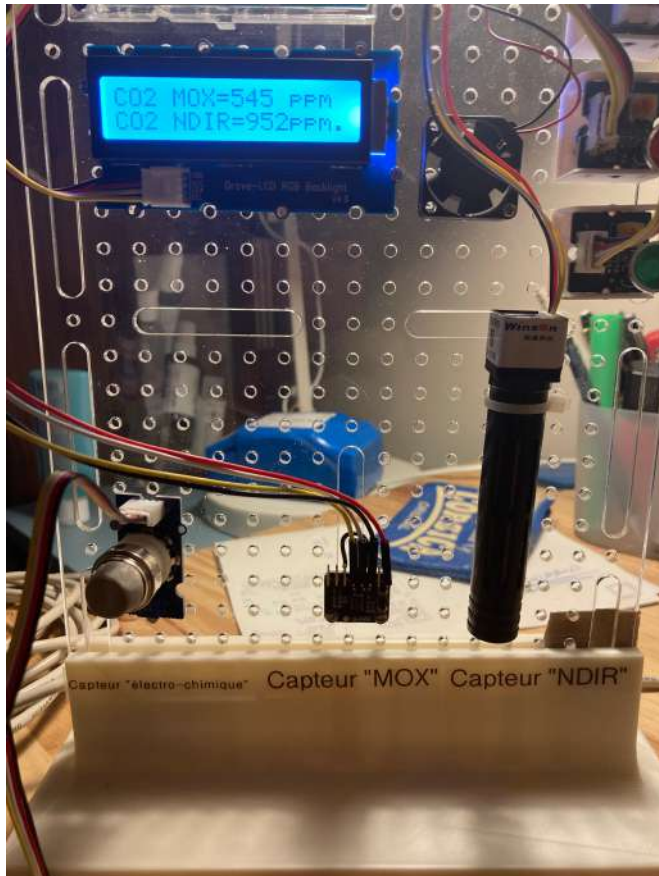
# Notre projet Zéphyr





# Fonction Acquérir

## Comment choisir un détecteur de CO2 ? Un critère déterminant, la technologie du capteur.



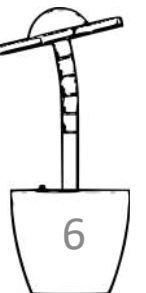
Banc d'essai

- Capteur électrochimique trop délicat à calibrer.



➤ Les essais ont été réalisés avec deux capteurs : **MOX** et **NDIR**

- Capteur NDIR certifié (a été comparé avec un capteur CO2 certifié étalonné)



# Fonction Acquérir



## Validation

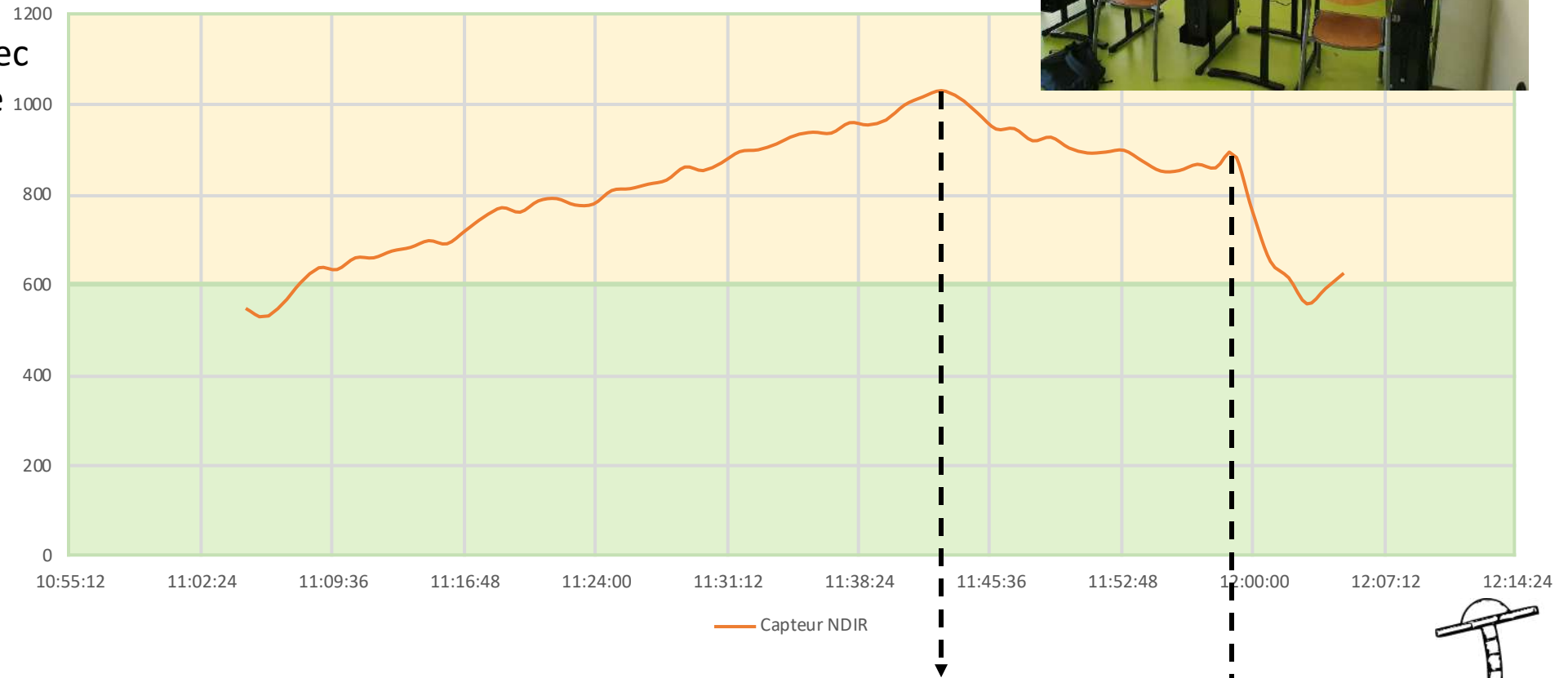
Le 19 Mars 2021 - Salle C116 - 15 élèves

Réalisation d'un protocole avec  
notre enseignant de Physique

Période classique  
⇒ Augmentation du taux

Ouverture des fenêtres  
⇒ Baisse du taux

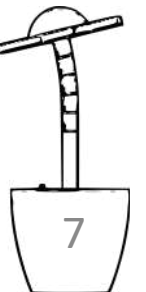
Ouverture des portes  
⇒ Baisse plus significative



— Capteur NDIR

ouverture fenêtrés

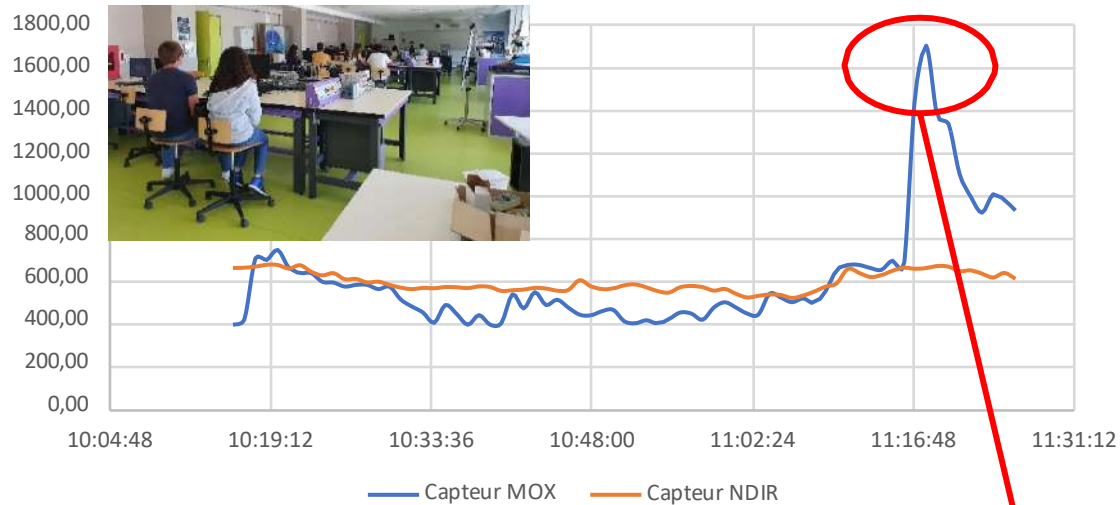
ouverture portes



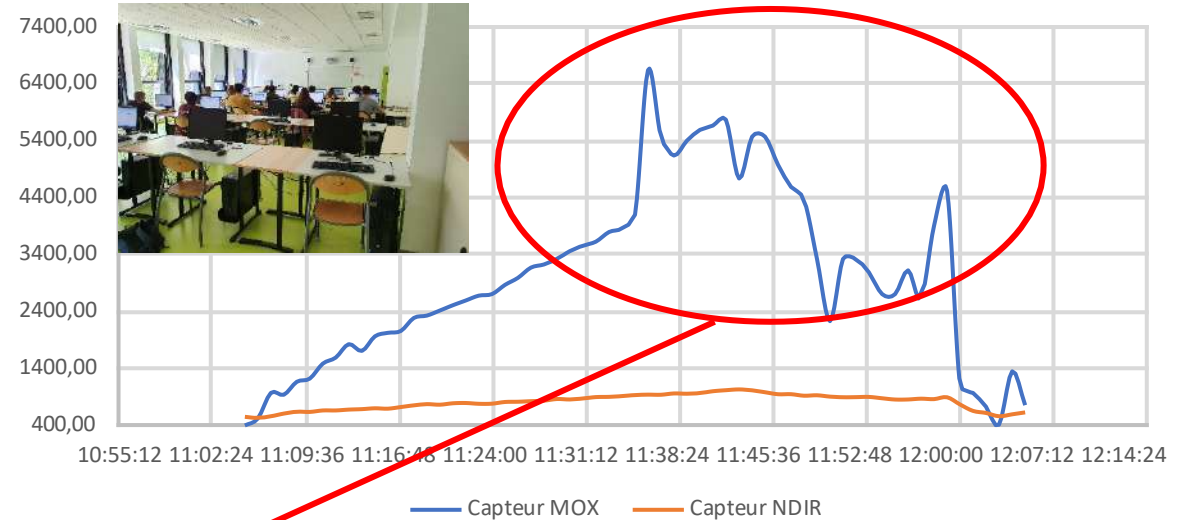
# Fonction Acquérir

## Résultats des essais

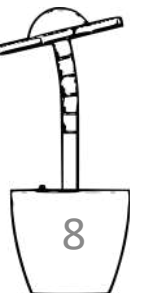
Le 16 Mars 2021 - Labo SI C210 - 15 élèves - fenêtres et portes ouvertes



Le 19 Mars 2021 - Salle C116 - 15 élèves



*Zones de saturation et mesures aberrantes du capteur MOX  
Données pertinentes pour le capteur NDIR*





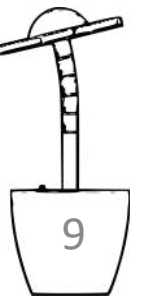
# Fonction Acquérir

## Conclusion

### **Les capteurs MOX sont à éviter !**

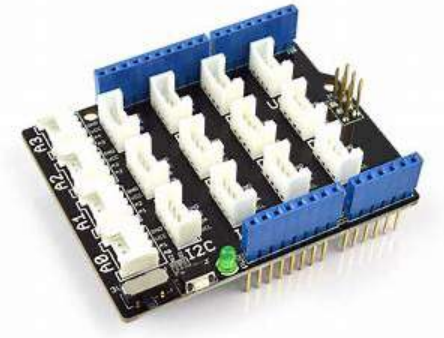
- Un capteur MOX ne mesure pas directement le taux de CO<sub>2</sub> (mais un « eCO<sub>2</sub> », une estimation du CO<sub>2</sub>)
- Très sensible aux composés volatiles « parasites », comme les parfums

Les capteurs NDIR (Non-Dispersive Infra Red) sont requis pour une mesure exacte et fiable. De plus, ils sont très robustes.



# Fonction Traiter

- Carte Arduino UNO (microcontrôleur ATmega328 + Shield Grove)



- Code Arduino, découpé en fonctions

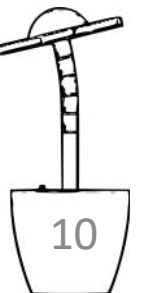
```
bool initialisationCCS (Adafruit_CCS811 &ccs)
```

```
void initialisationRGB (int const& brocheR, int const& brocheG, int const& brocheB)
```

```
void eclairageRGB(int const& brocheR, int const& brocheG, int const& brocheB,  
int const& r, int const& g, int const& b)
```

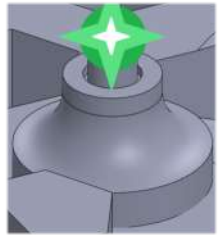
```
void attendreTemps(int const& mlls)
```

```
float valeurTVOC (Adafruit_CCS811 &ccs)
```

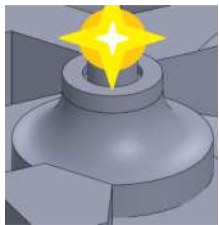


# Fonction Communiquer

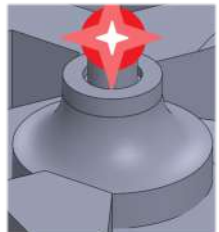
- Communication lumineuse



Vert – 0 à 600ppm – Correct

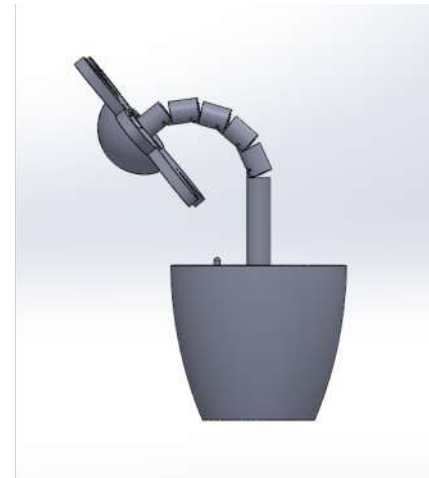


Jaune – 600 à 1200ppm – Moyen



Rouge – Plus de 1200ppm – Dangereux

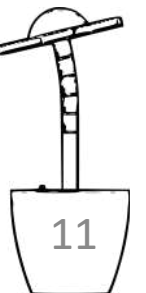
- Communication via l'orientation



Plus de 1200ppm



En dessous de 600 ppm



# Fonction Communiquer



Taux de CO2  
entre  
0-600 ppm

Taux de CO2  
entre  
600-1200 ppm

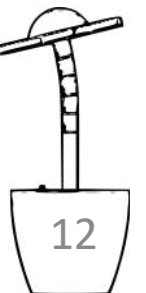
Taux de CO2  
de plus de  
1200 ppm

Parfait !

Ouvrir une ou  
plusieurs fenêtres

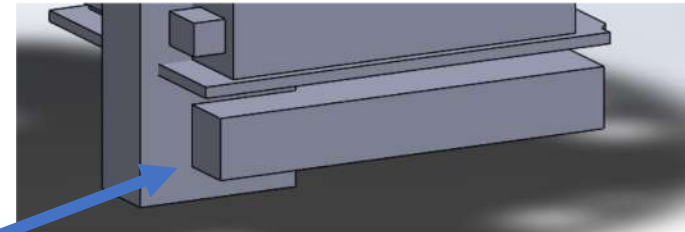
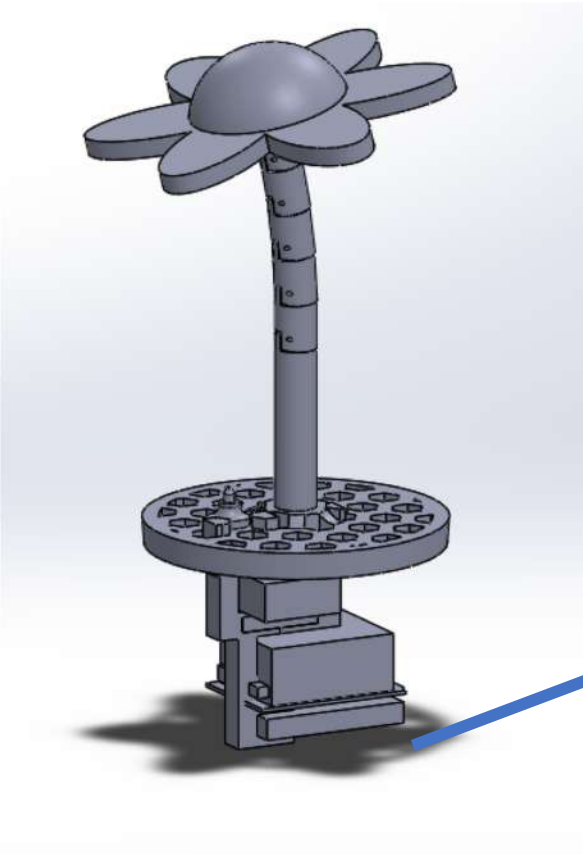
Créer un courant  
d'air

<https://www.youtube.com/watch?v=lbtuWfUY2Ug>



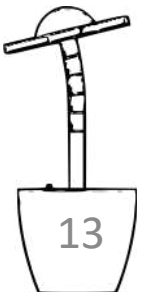
# Fonction Alimenter

- Batterie LiPO 7.4 V – 1000 mAh
  - Disponible dans notre laboratoire
  - Modèle classique d'aéromodélisme



Facile d'accès

Est-ce que cette batterie tient une journée d'école ?





# Fonction Alimenter

## 2 hypothèses :

- Alimenté 2 fois en 1h selon le graphique pendant 2 secondes
- Le couple du moteur suffit pour le maintien de la fleur

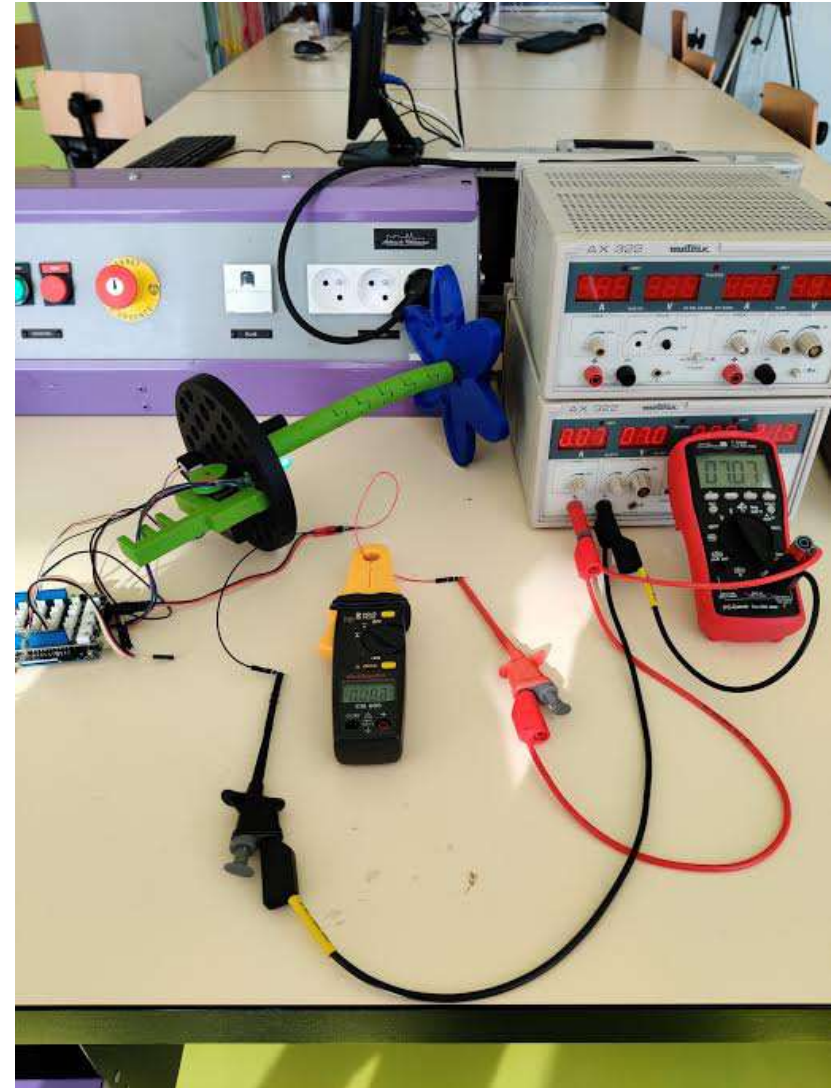
## Mesures :

### ➤ Courant absorbé par la carte :

- moteur non alimenté :  $I_1 = 80 \text{ mA}$
- moteur alimenté :  $I_2 = 170 \text{ mA}$

### ➤ Tension mini de fonctionnement de la carte :

- $U_{min} = 5,2 \text{ V}$



# Fonction Alimenter

## Calculs :

- Courant moyen absorbé par la carte sur 1h :

$$- I_{moy} = \frac{1}{T} \sum I_i \cdot t_i$$

$$- I_{moy} = \frac{170 * 2 * 2 + (80 * (3600 - 2 * 2))}{3600}$$

$$- I_{moy} = 80,1 \text{ mA}$$

- Autonomie:

$$t = \frac{q}{I_{moy}}$$

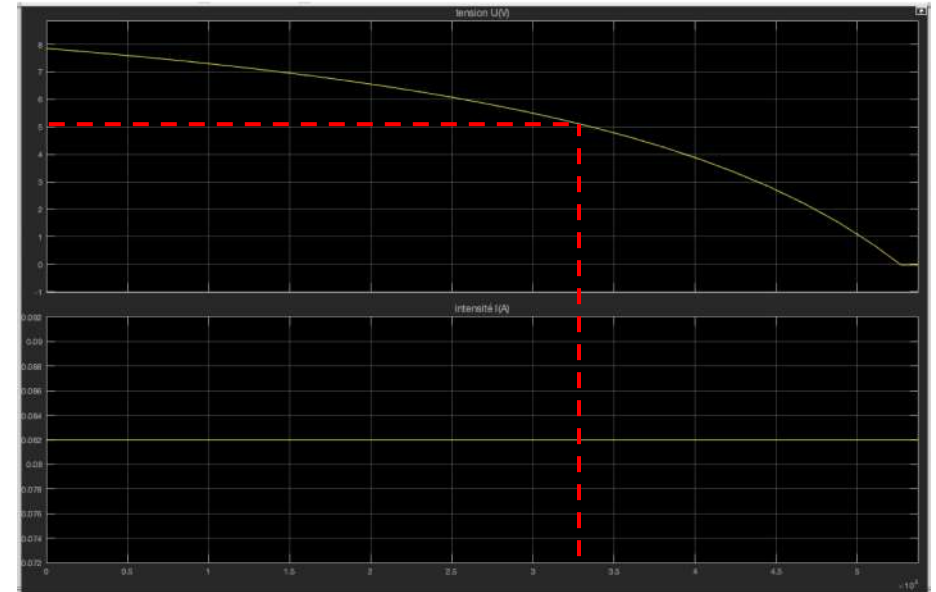
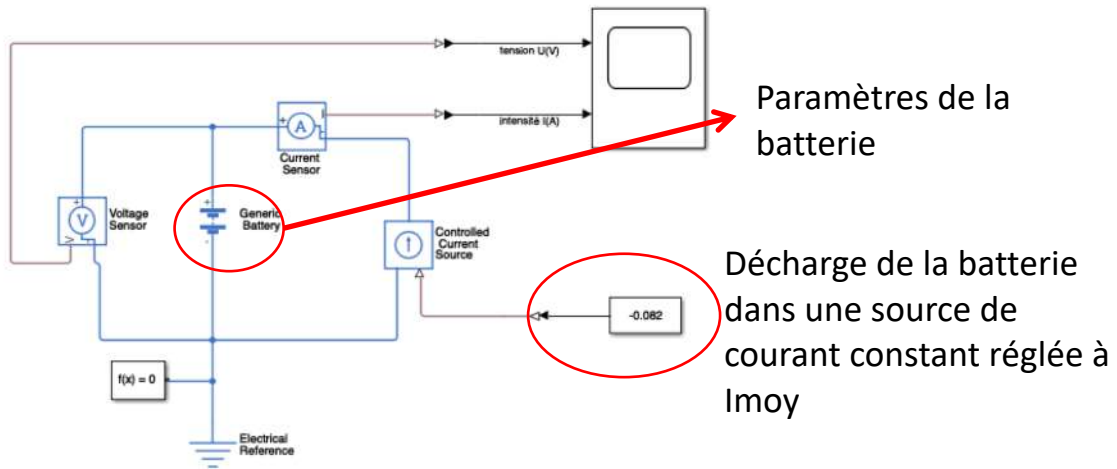
$$t = 1000 / 80,1$$

$$t = 12,48 \text{ h} = 12\text{h } 28 \text{ min}$$



Beaucoup d'approximation, souhait de vérifier par modèle multiphysique

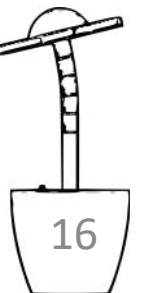
# Fonction Alimenter



## Résultats de la simulation :

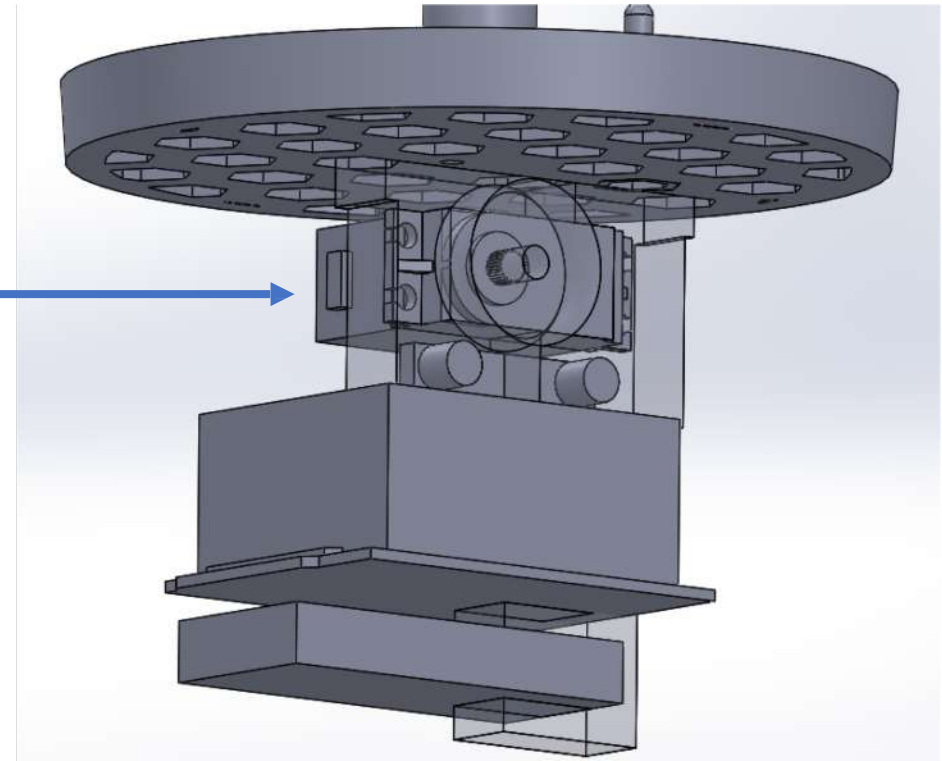
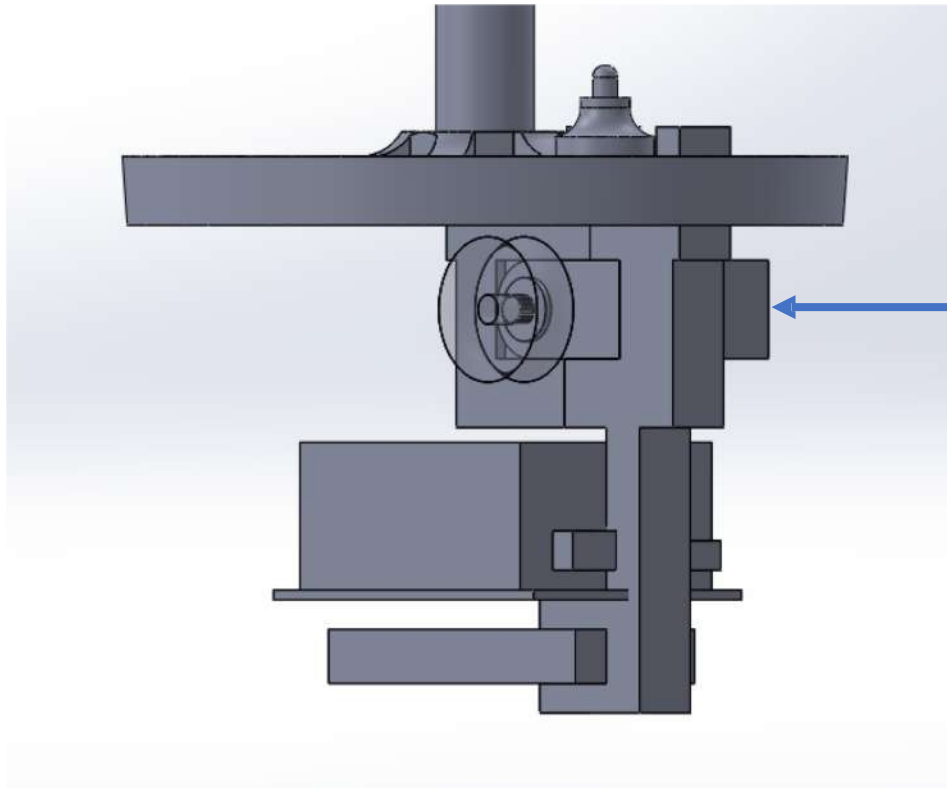
Pour  $U_{min} = 5.2 V$  on a,  $t = 3.3 \times 10^4 s$

Soit une autonomie de :  $3.3 \times 10^4 / 3600 = 9,17h = 9h 10 min$



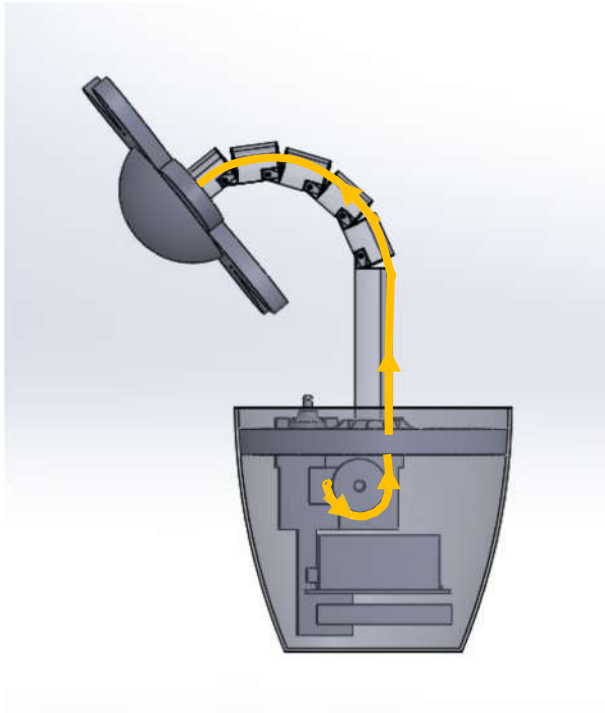
# Fonction Convertir

- Servomoteur Grove



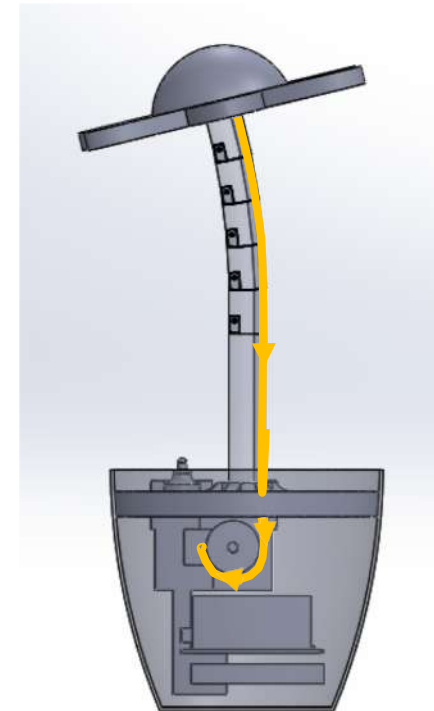
# Fonction Transmettre

- Système poulie et câble :



Lors de la rotation (sens1) du moteur,  
la poulie "déroule" du câble :

☞ la fleur s'incline



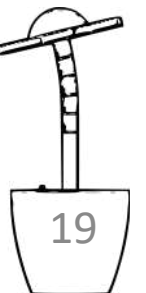
Lors de la rotation (sens2) du moteur,  
la poulie "enroule" du câble :

☞ la fleur se redresse



# Coût

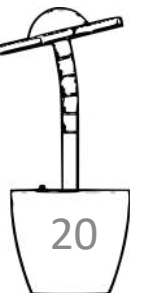
Inducteurs de coût	Coût
Composants électroniques	$1+2+10+80 = 93 \text{ €}$
Matière première plastique	$14*0.6 = 8.4 \text{ €}$
Frais d'études	
Amortir l'imprimante 3D (sur 1000 produits)	$600/1000 = 0.6 \text{ €}$
Amortir les licences Solidworks et Mathworks (sur 1000 produits)	$(8000+2000)/1000 = 10 \text{ €}$
<b>TOTAL</b>	<b>112 €</b>



# Bilan du projet

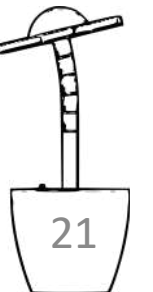


- ❖ Robuste
- ❖ Personnalisable :
  - ❖ Pot interchangeable
  - ❖ Nombre de niveaux intermédiaires choisissable
- ❖ Communication par mouvement
- ❖ Autonomie de plus de 9h
- ❖ Prix d'environ 100 €
- ❖ Mesure fiable du taux de CO<sub>2</sub>



# Bilan personnel

- ❖ Mettre en place un protocole expérimental afin de valider les performances d'un capteur et d'une batterie
- ❖ Apprendre à structurer son code
- ❖ Apprendre à trouver un compromis entre esthétique et solutions techniques
- ❖ Apprendre à travailler en groupe



# Notre projet dans son contexte

## ❖ Utilisation dans les locaux du lycée



DDFPT



Proviseur Adjoint



Salle de classe

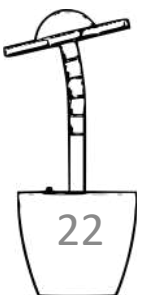


CDI

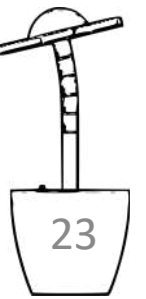
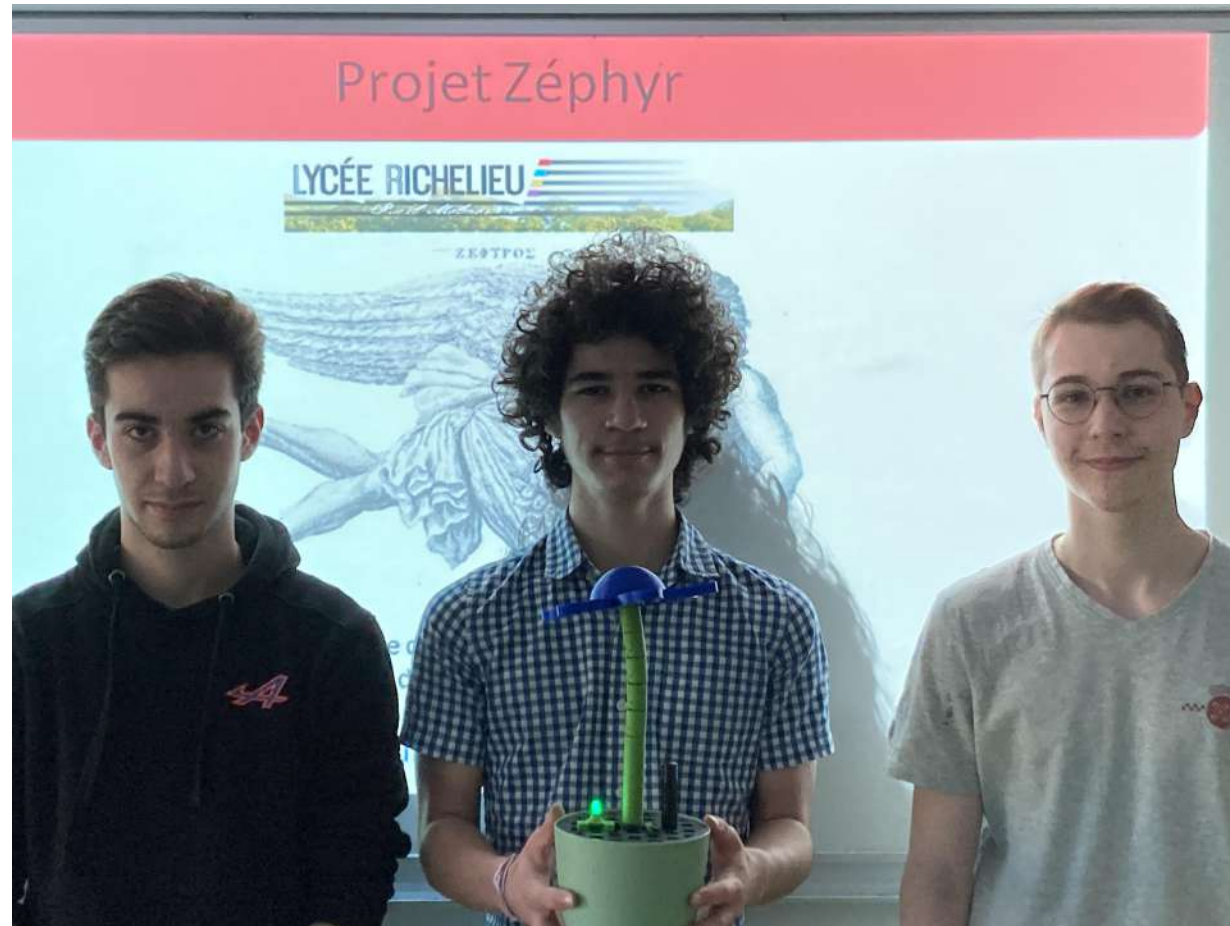
## ❖ Avis d'un professeur des Sciences de la Vie et de la Terre

## ❖ Point de vue d'une élève de primaire :

<https://www.youtube.com/watch?v=SOBP1xcM8SM>



# Merci pour nous avoir écouté





# Annexe Code Arduino

```
#include "Adafruit_CCS811.h"

#include <NDIR_I2C.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <NDIR_SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>

#include <Servo.h>

//MOX
//initialiser CCS
bool initialisationCCS (Adafruit_CCS811
&ccs)
{
  if (!ccs.begin())
  {
    return false;
  }
  while(!ccs.available());
  float temp =
ccs.calculateTemperature();
  ccs.setTempOffset(temp, 25.0);

  for (int
o(0);o<abs(i*(180*180/anglesReelsDemi
Tour))/(nombreDePositions-1)-
angleServo)+1;o++)
  {
    monServomoteur.write(angleServo+pasI
ncrementation*o);

    attendreTemps(vitesseServoTemps);
  }
  monServomoteur.detach();

  angleServo=i*(180*180/anglesReelsDem
iTour))/(nombreDePositions-1);
  //LED
  if (angleServo<60){

    eclairageRGB(brocheR,brocheG,brocheB,
0,255,0);
  }else if (120<angleServo) {
```

