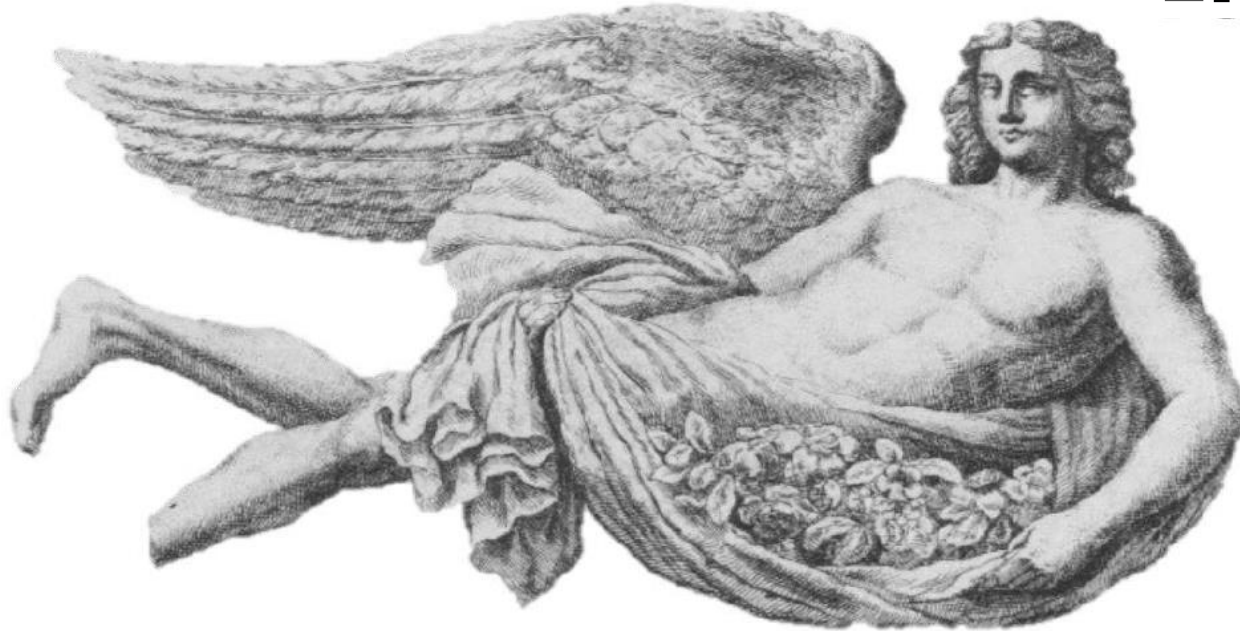


# Projet Zéphyr

**LYCÉE RICHELIEU**  
*Rueil Malmaison*



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

*Elèves de Première Spécialité Sciences de l'ingénieur*

# Contexte sanitaire et social

"Nous encourageons les collectivités" à installer des capteurs de CO<sub>2</sub> et des purificateurs d'air "à chaque fois que cela est pertinent", assurait-il aux côtés de Jean Castex et d'Olivier Véran.



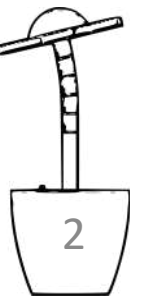
**anses**  
agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



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

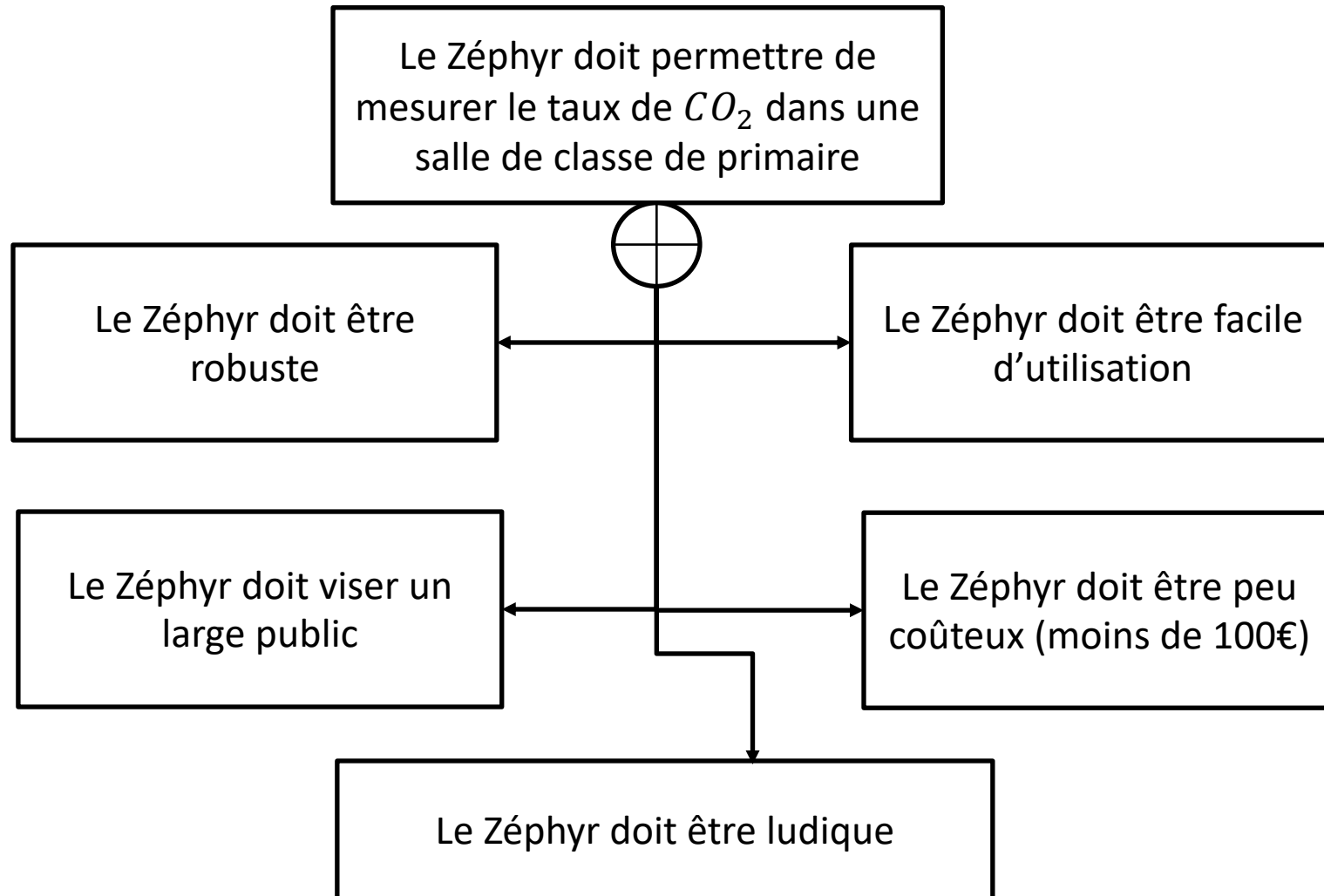
- Importance de l'aération intérieure :
  - entre 0 et 600ppm – Correct
  - entre 600 et 1200ppm – Moyen
  - à partir de 1200ppm – Dangereux

**EN SITUATION DE COVID-19, COMMENT UN CAPTEUR DE  
CO<sub>2</sub> PEUT-IL DEVENIR UN BON MOYEN DE PENSER À  
AÉRER DE FAÇON RÉGULIÈRE ?**

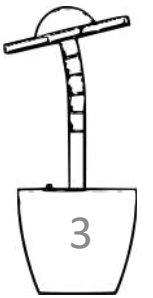


# Cahier des charges fonctionnel

## req Cahier des charges Projet Zéphyr



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 €)



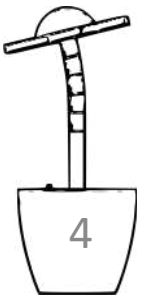
**ARANET4 PRO**  
(PRIX SELON CONFIGURATION)



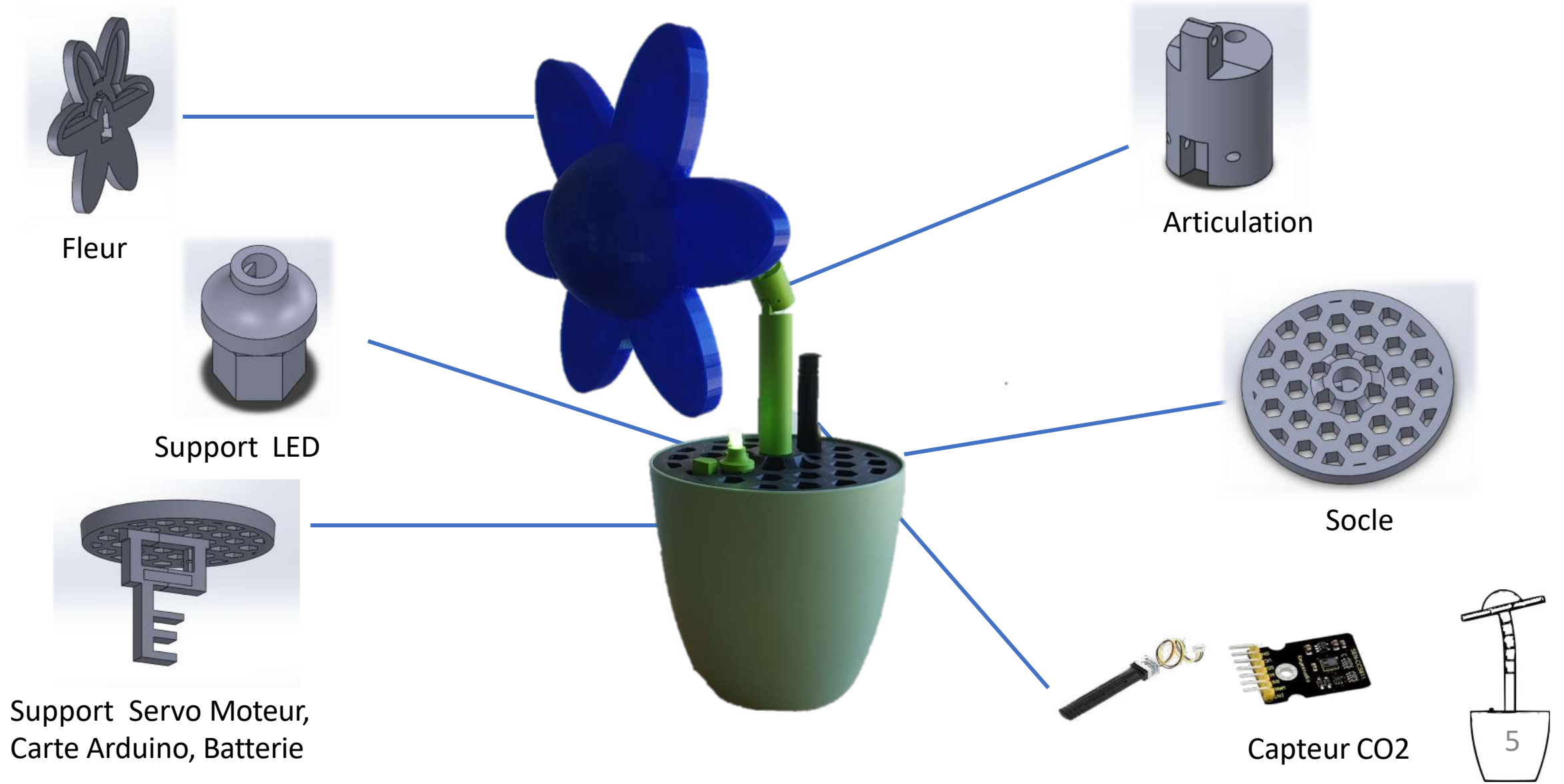
**PRODUIT AMAZON**  
(~ 100 €)



- Coût important
- Peu ludique



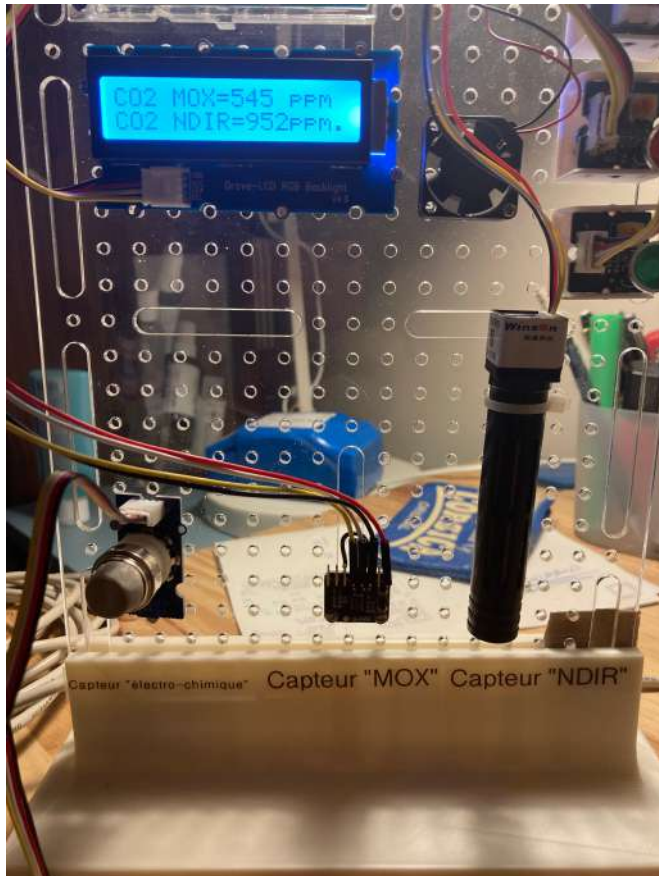
# Notre projet Zéphyr





# Fonction Acquérir

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



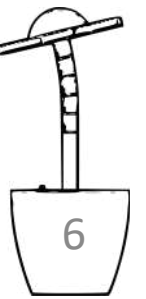
Banc d'essai

- 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

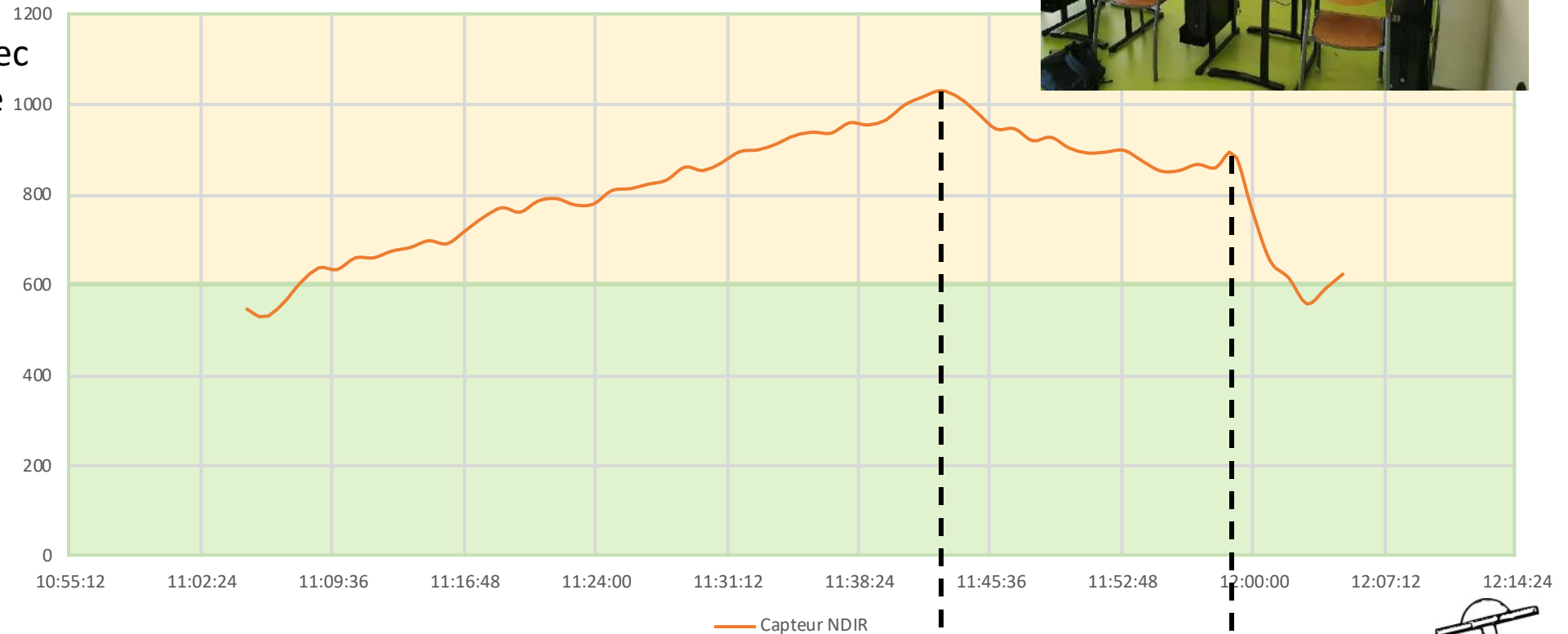


Réalisation d'un protocole avec  
notre enseignant de Physique

Période classique  
⇒ Augmentation du taux

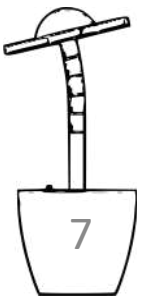
Ouverture des fenêtres  
⇒ Baisse du taux

Ouverture des portes  
⇒ Baisse plus significative



ouverture fenêtrés

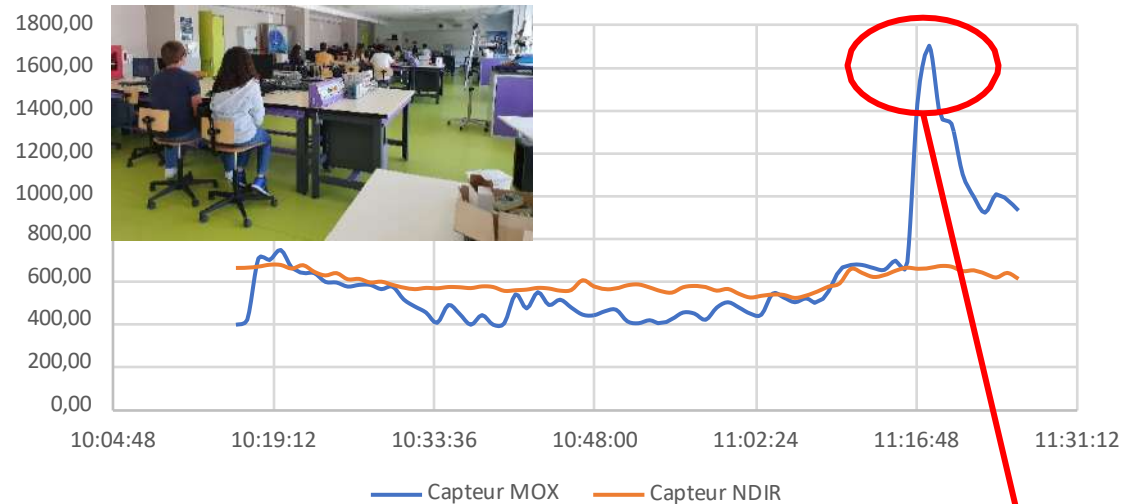
ouverture portes



# Fonction Acquérir

## Résultats des essais

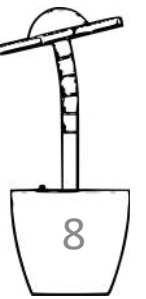
Le 16 Mars 2021 - Labo SI C210 - 15 élèves - fenêtres et portes ouvertes



Le 19 Mars 2021 - Salle C116 - 15 élèves



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





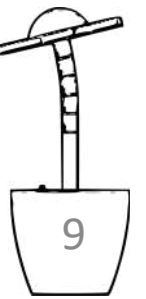
# Fonction Acquérir

## Conclusion

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

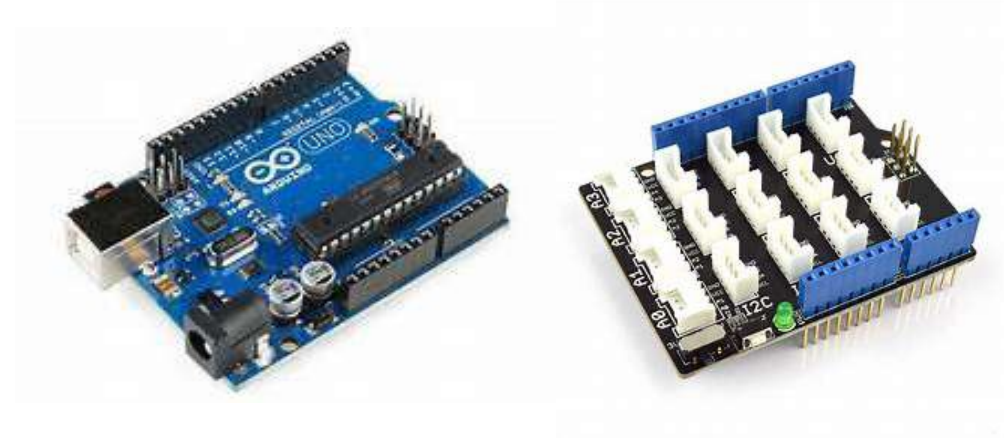
- Un capteur MOX ne mesure pas directement le taux de CO<sub>2</sub> (mais un « eCO<sub>2</sub> », une estimation du CO<sub>2</sub>)
- Très sensible aux composés volatiles « parasites », comme les parfums

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)
```

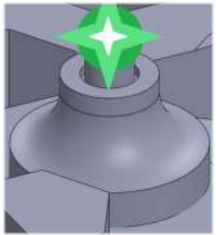
```
void attendreTemps(int const& mlls)
```

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

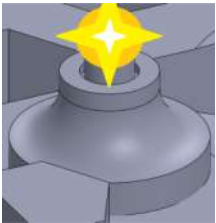


# Fonction Communiquer

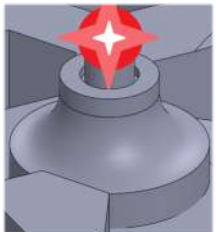
- Communication lumineuse



Vert – 0 à 600ppm – Correct



Jaune – 600 à 1200ppm – Moyen



Rouge – Plus de 1200ppm – Dangereux

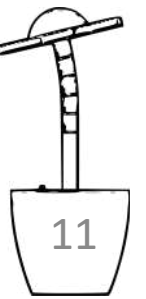
- Communication via l'orientation



Plus de 1200ppm



En dessous de 600 ppm



# Fonction Communiquer



Taux de CO2  
entre  
0-600 ppm

Taux de CO2  
entre  
600-1200 ppm

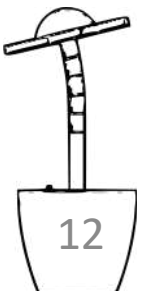
Taux de CO2  
de plus de  
1200 ppm

Parfait !

Ouvrir une ou  
plusieurs fenêtres

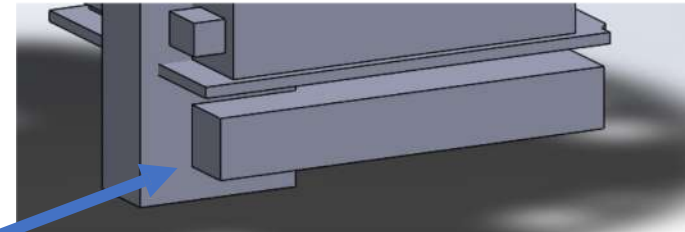
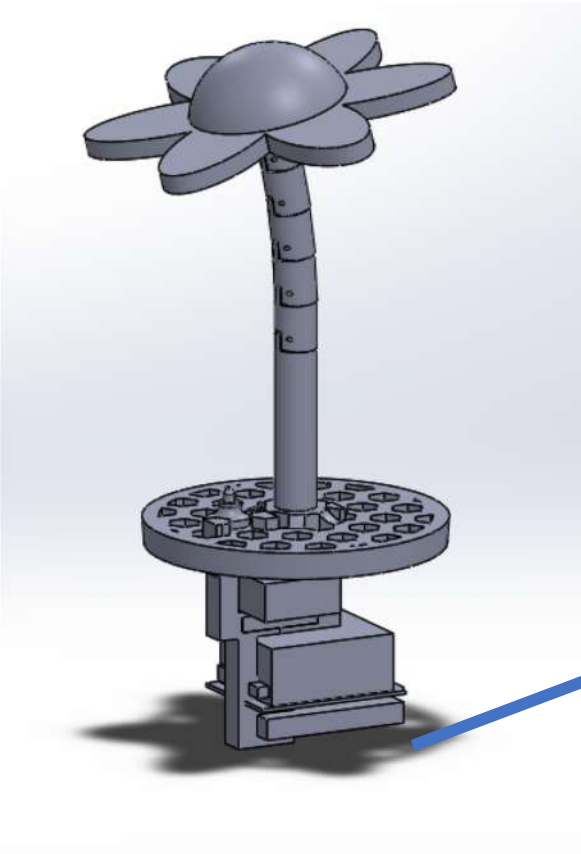
Créer un courant  
d'air

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



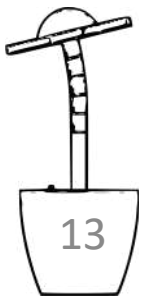
# Fonction Alimenter

- 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

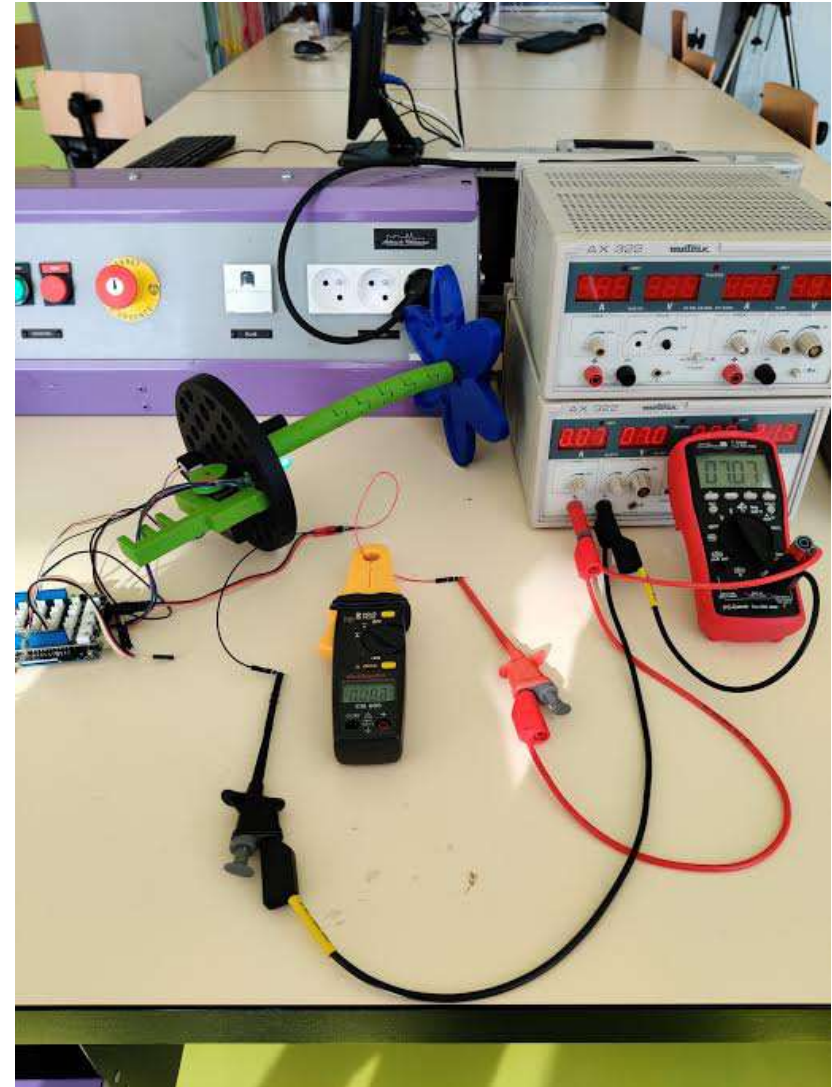
## Mesures :

### ➤ 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 :

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

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

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

- Autonomie:

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

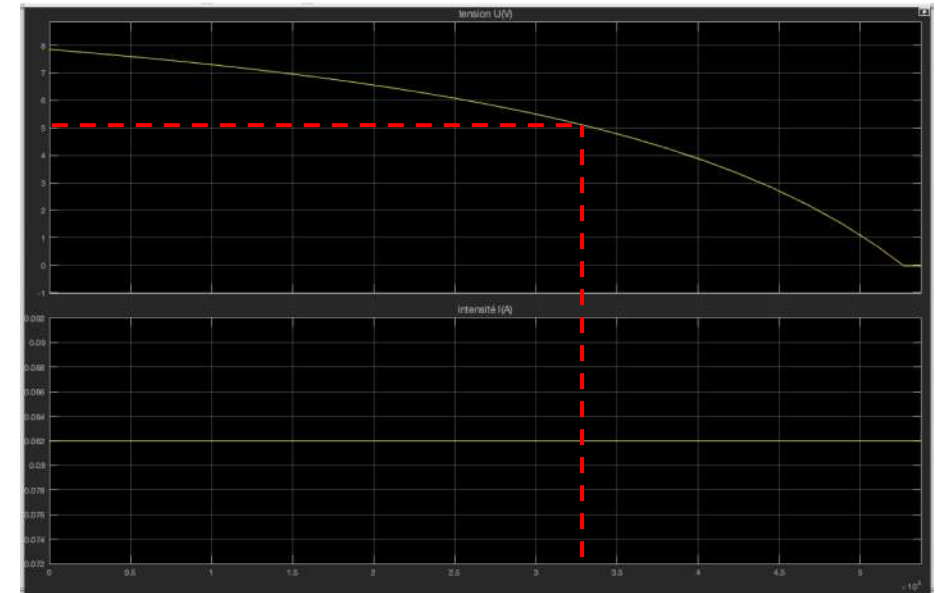
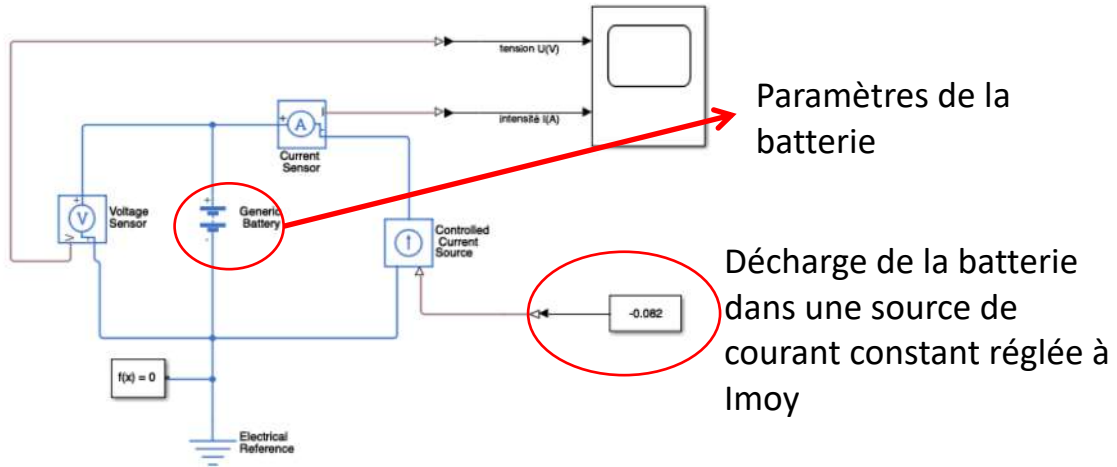
$$t = 1000 / 80,1$$

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



Beaucoup d'approximation, souhait de vérifier par modèle multiphysique

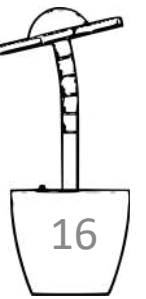
# Fonction Alimenter



## Résultats de la simulation :

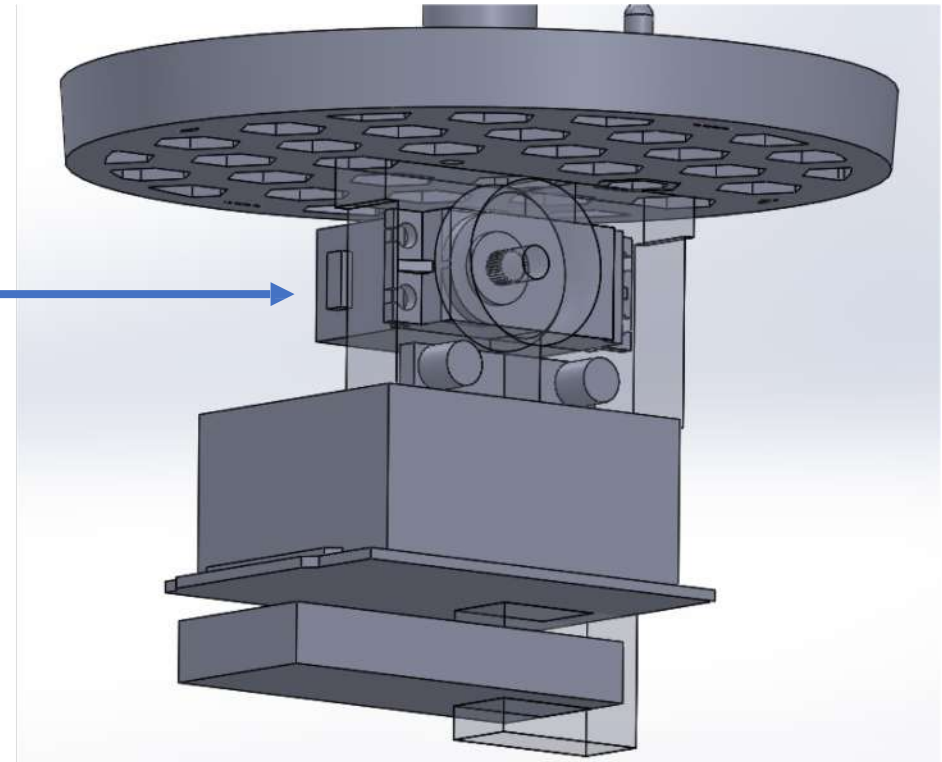
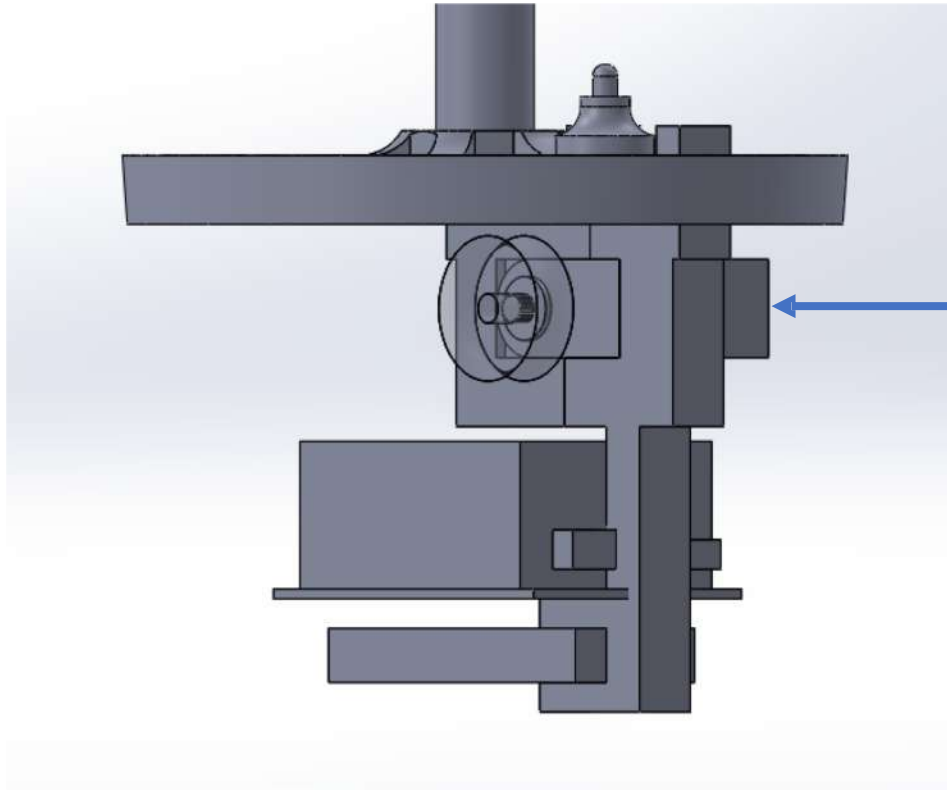
Pour  $U_{min} = 5.2 V$  on a,  $t = 3.3 \times 10^4 s$

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



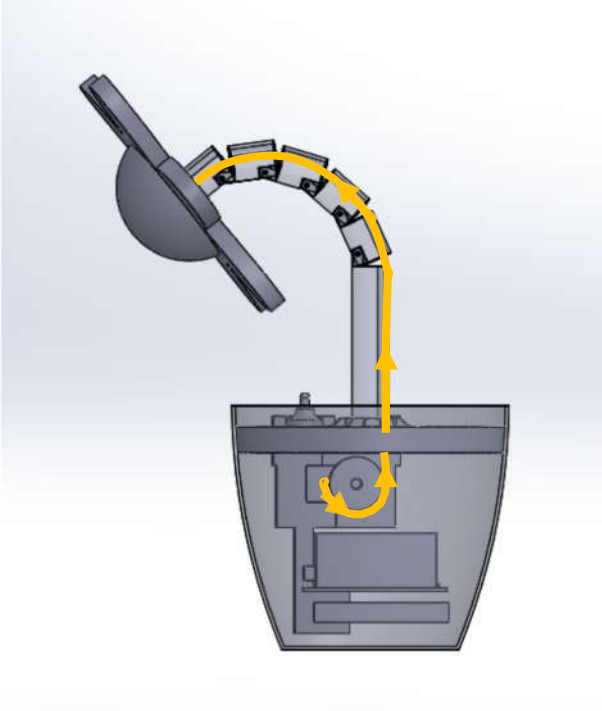
# Fonction Convertir

- Servomoteur Grove



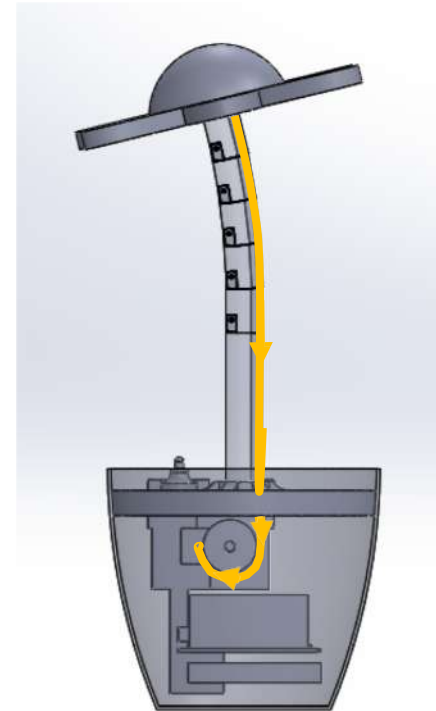
# Fonction Transmettre

- Système poulie et câble :



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

👉 la fleur s'incline



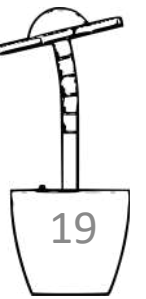
Lors de la rotation (sens2) du moteur,  
la poulie "enroule" du câble :

👉 la fleur se redresse



# Coût

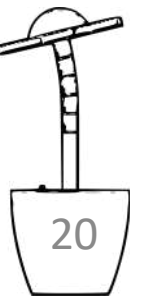
Inducteurs de coût	Coût
Composants électroniques	$1+2+10+80 = 93 \text{ €}$
Matière première plastique	$14*0.6 = 8.4 \text{ €}$
Frais d'études	
Amortir l'imprimante 3D (sur 1000 produits)	$600/1000 = 0.6 \text{ €}$
Amortir les licences Solidworks et Mathworks (sur 1000 produits)	$(8000+2000)/1000 = 10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



# Bilan du projet

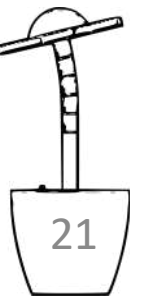


- ❖ Robuste
- ❖ Personnalisable :
  - ❖ Pot interchangeable
  - ❖ Nombre de niveaux intermédiaires choisissable
- ❖ Communication par mouvement
- ❖ Autonomie de plus de 9h
- ❖ Prix d'environ 100 €
- ❖ Mesure fiable du taux de CO2



# 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

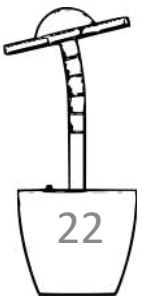


CDI

## ❖ 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>



# 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) {
```

