



IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille

PROJET OUVERT : CONSTRUCTION D'UN CAPTEUR MESURANT LA QUALITÉ DE L'AIR

IMT Nord-Europe

FISE 2025



DOU'AIR SENSOR

IMT NORD EUROPE
X
FESTIPLANÈTE

Marin Cardo, Tachafin Ait Abaid, Ludivine Dubourg, Hugo Deroo, Inès Poulain

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	3
I. Présentation du projet.....	4
II. Travaux effectués.....	8
III. Résultats obtenus.....	22
IV. AVENIR DU PROJET	34
V. FICHE D'AUTO-ÉVALUATION	35
VI. COMMUNIQUÉ DE PRESSE	36
VII. ANNEXES	37

INTRODUCTION

Le projet construction d'un capteur qualité de l'air est un projet en création demandé par l'association Festiplanète. En effet, cette association du Douaisis tournée vers la sensibilisation aux enjeux environnementaux a demandé à des élèves de l'école IMT Nord-Europe de construire un capteur effectuant des mesures de qualité de l'air dans le cadre d'un projet ouvert, le tout dans un budget limité.

De plus, il faut que la conception du capteur soit accessible à tout le monde, de même que la compréhension des données recueillies. Ainsi, la construction doit être relativement simple et le coût limité.

L'environnement est un enjeu majeur aux problématiques complexes. Sensibiliser le public dès le plus jeune âge permet de les former, de leur transmettre des connaissances afin qu'ils comprennent et prennent conscience des enjeux qui les entourent. La qualité de l'air peut être évaluée grâce aux mesures de différents composants comme les particules fines ou des gaz tels que le CO_2 ou le NO_3 . C'est un indicateur primordial de l'état de l'environnement, c'est pourquoi FestiPlanète était si intéressée par ce thème.

Notre projet comprend donc une forte dimension scientifique (étude des particules à filtrer, analyse des données, construction du capteur). La science est un domaine essentiel dans l'éducation et c'est également pour cela que nous souhaitons ajouter un penchant pédagogique et communiquer, sensibiliser les jeunes sur l'importance qu'il faut prêter à l'attention de la qualité de l'air. Il est important d'agir maintenant, car sensibiliser ces jeunes générations permettra de promouvoir un futur meilleur.

I. PRESENTATION DU PROJET

A) CONSTITUTION DU GROUPE

MARIN CARDO, CHEF PROJET



De nombreuses motivations m'ont poussé à choisir ce projet ouvert : la pluralité des aspects comme la technique dans la conception et la pédagogie dans la présentation à des élèves de collège ou encore l'enjeu de sensibilisation au climat et à l'écologie qui me touche particulièrement. De plus, mon expérience en travail d'équipe ainsi que ma capacité d'organisation à moyen-long terme sauront m'aider au cours de ce projet.

HUGO DEROO, TRESORIER



J'ai choisi ce sujet car c'est un enjeu actuel et critique, et qu'il est important de sensibiliser la population, particulièrement les plus jeunes à ce sujet. Ce qu'il m'a également fortement intéressé est que le projet est complet, point de vue technique, recherche et développement et mise en pratique. Ce que je peux apporter dans ce projet c'est ma motivation, ma rigueur et le fait que j'aime travailler en équipe.

LUDIVINE DUBOURG, SECRETAIRE



Le projet "conception d'un capteur de qualité de l'air" m'a intéressé car il mêle des compétences techniques et pédagogiques. J'avais envie de créer un objet utile pour la communauté, qui s'inscrit dans une dimension environnementale. Par ailleurs, j'ai de grandes capacités de travail et d'organisation, provenant de classe préparatoire, qui seront bénéfiques pour le travail en groupe.

TACHAFIN AIT ABAID, COMMERCIAL



Ce projet m'a beaucoup intéressé car il s'inscrit parfaitement dans les enjeux écologiques et environnementaux actuels. De plus, ce projet regroupe plusieurs aspects techniques et pédagogiques très intéressants. Enfin le rôle de sensibilisation auprès d'une population jeune est une tâche qui me tient très à cœur.

INÈS POULAIN, COMMERCIALE



Mon choix de projet s'est rapidement orienté vers celui-ci étant donné qu'il est en lien direct avec l'environnement. De plus, la qualité de l'air est un indicateur important des conditions environnementales et il est primordial pour moi de sensibiliser les élèves de collège à l'influence de la pollution sur l'air environnant et par conséquent sur notre santé.

B) TUTEURS

TUTRICE INTERNE : NATHALIE REDON



Enseignante-chercheuse au CERI Énergies et Environnement
Experte en capteur qualité de l'air

TUTEUR EXTERNE (CLIENT) : ALAIN THELLIER, FESTIPLANÈTE



 **FestiPlanète**
Agir local, penser global Secrétaire de Festiplanète

Association du Douaisis ayant pour but de sensibiliser la population aux problèmes liés à l'environnement

C) OBJECTIFS VALIDÉS ET INDICATEURS DE RÉUSSITE

Nous avons de nombreux objectifs concernant ce projet qui comporte à la fois un côté pédagogique et un côté scientifique. En effet, nous pouvons décomposer le projet en trois parties correspondant à nos trois objectifs :

- Conception du capteur et du boîtier
- Présentation à des élèves de quatrième et sensibilisation aux enjeux de l'environnement
- Vidéo de montage du capteur à délivrer à Festiplanète

Ces trois objectifs viennent avec certaines difficultés comme cela vous sera expliqué ultérieurement.

Nos indicateurs de réussite ci-dessous se partagent sur ces deux notions :

- **Coût** : respecter le rapport qualité/prix imposé par FestiPlanète (30 euros plus ou moins) tout en utilisant des bons composants
- **Atelier** : investissements et divertissements des élèves lors des interventions en classe par le biais des retours à la fin
- **Capteur** : bon fonctionnement du capteur après assemblage, maîtrise de l'assemblage du capteur par au moins 2 personnes du groupe, cohérence des valeurs obtenus par les différents capteurs produits.
- **Communication** : reproduction de l'assemblage et compréhension des enjeux du projet par un individu quelconque extérieur aux projets.

D) ÉLÉMENTS D'ORIGINALITÉ DU PRODUIT

Ce projet est une création suite à la demande du groupe Festiplanète. Bien que cette organisation soit connue auprès de l'école, c'est la première fois que ce projet est proposé et donc que des étudiants de l'IMT travaillent dessus. De plus, la construction d'un appareil mesurant la qualité de l'air permet de mettre en avant un indicateur des conditions environnementales qui est indispensable lorsque l'on aborde le thème de la santé liée à l'environnement.

Ainsi, via ce projet, nous allons pour la première fois sensibiliser les élèves de primaire/collège à l'influence de la qualité de l'air sur leur santé et aux risques liés à un taux de particules fines ou de CO2 trop élevés.

Le caractère innovant de ce projet réside tant dans la confection du capteur qui est une entreprise peu commune pour des étudiants de L3 que dans la sensibilisation auprès des jeunes de Douai qui n'ont pas forcément l'habitude d'entendre parler de qualité de l'air et des conséquences sur la santé.

II. TRAVAUX EFFECTUES

A) DÉMARCHE SUIVIE POUR ATTEINDRE LES OBJECTIFS

Afin de réaliser ces objectifs, il a fallu décomposer chaque étape et se distribuer le travail. En effet, il y avait tellement de tâches différentes à réaliser que pour les mener toutes à bien nous nous sommes divisées le travail comme expliqué ci-dessous. Cependant, cela ne fait pas tout. Il faut évidemment maintenir informé la totalité du groupe de son avancée afin que tout le monde puisse savoir ce qu'il reste à faire et si nous avons du retard par rapport à nos dates fixées en début de projet. Il faut également avancer avec les tuteurs afin de s'assurer que ce que nous faisons soit bien en accord avec ce que le client demande ou si le projet reste faisable scientifiquement parlant. Ainsi, c'est un travail constant de communication et d'entraide qui ont permis à ce projet de prendre forme et donc d'atteindre les objectifs fixés.

B) ORGANISATION DU TRAVAIL

Au début de ce projet, le grand défi était de trouver des composants pas chers qui permettent de donner une idée de la qualité de l'air, le tout en rendant la construction du capteur simple pour des personnes extérieures. À ce moment du projet, nous avons en même temps les différents documents comme le wiki ou le pecha kucha à rendre. Nous nous sommes donc répartis la tâche en s'assurant que chacun touche à tout. Nous étions donc répartis à 3 sur la recherche de composants et 2 sur la rédaction des documents. Les groupes tournaient chaque semaine en fonction des envies ou des disponibilités de chacun, ce qui fait que nous avons tous participé à chaque partie du lancement du projet.

Une fois les pièces choisies et commandées, nous y reviendrons dans la section Difficultés rencontrées, est venu le moment du premier audit pour lequel la présentation a été assez simple à préparer étant donné que nous avons fait le wiki et le pecha kucha sérieusement. Nous nous sommes répartis simplement les 6 thématiques à présenter entre les 5 membres du groupe.

La partie la plus compliquée a évidemment été de développer le capteur avec les pièces commandées. Nous avons alors eu 3 principaux axes de travail :

La création d'un boîtier pour contenir le capteur en utilisant le logiciel SolidWorks. Cette partie a été gérée par Ludivine et Tachafin en collaboration avec le FabLab.

L'organisation du branchement des capteurs afin d'optimiser la place prise par les composants et l'utilisation des capteurs. Par exemple il a fallu revoir la disposition de tout le système capteur pour pouvoir faire passer les câbles à travers les trous prévus dans le boîtier et pour placer les deux capteurs au plus près des entrées d'air. Hugo et Inès ont été principalement à l'œuvre sur ce sujet.

Le codage de la carte Arduino pour mettre en relation les différents éléments assemblés par Hugo et Inès : récupérer les données des capteurs et les afficher à l'écran. Cette partie a été prise en charge par Marin et Hugo.

Courant mars, la date de rendu du rapport approchant et le système ayant pris forme, Inès s'est penchée sur la rédaction du rapport. Dans le même temps le boîtier a été finalisé, permettant à Ludivine de se concentrer sur le tutoriel du montage du capteur afin de le rendre reproductible et à Tachafin de se joindre à Hugo dans les finitions du système capteur.

Notre intervention dans le collège devant se dérouler le jeudi 16 avril nous avons tout de suite dû préparer l'intervention puisqu'il ne s'agissait pas simplement de présenter le capteur mais aussi de sensibiliser les élèves aux enjeux de la pollution atmosphérique. Ainsi Ludivine s'est chargée de faire la présentation Powerpoint et de développer les idées de scripts mises en place par l'équipe. Hugo s'est quant à lui occupé de créer des Kahoot ! pour stimuler l'attention des élèves et les interroger sur leur appréciation de notre intervention.

Lors de la présentation, les parties de la présentation étaient également distribuées entre les membres du groupe. À la suite de la présentation, nous nous sommes séparés sur 3 ateliers pratiques ou explicatifs pour faire comprendre le fonctionnement des capteurs aux élèves.

Une fois l'intervention terminée, le capteur étant fini nous avons pu nous concentrer tous sur la rédaction de ce rapport et la préparation de notre soutenance.

C) TRAVAUX RÉALISÉS

1. Conception du capteur et du boîtier

Afin d'obtenir un capteur à la fois efficace, simple de construction et ayant une limite budgétaire de 30€ par capteur, nous devons tout d'abord choisir ce que nous voulions mesurer.

En effet, il existe de nombreux indicateurs de la qualité de l'air (PM2.5, PM10, N₂, CO₂, O₃, SO₂ ...). Nous devons donc nous concentrer sur ce que nous pensions le plus représentatif. En suivant la requête de notre client et les conseils de notre tutrice interne, notre choix c'est donc tourné vers les particules fines PM2.5 et le CO₂.

Suite à cela, nous avons effectué de nombreuses recherches afin de trouver des capteurs à un prix raisonnable et étant compatibles avec une carte Arduino. Nous avons utilisé un capteur particules fines SEN GP2Y1014AU qui est un capteur de poussière et pour mesurer le CO₂, nous avons un capteur MQ-135.



capteur SEN GP2Y1014AU



capteur MQ-135

Ce dernier permet de mesurer à la fois CO₂, CO, SO₂ et NO₃. En effet, les capteurs uniquement CO₂ que nous avons trouvé ne rentraient pas dans notre limite de budget. Nous avons donc décidé de faire les mesures avec ce capteur qui donne une valeur plus indicative des changements dans l'air et donc une valeur moins précise. Pour afficher les différentes valeurs mesurées par les capteurs, nous avons utilisé un écran que nous avons relié à la carte Arduino également.

Notre système capteur est donc composé de 2 capteurs : le MQ135, qui mesure les concentration de dioxyde de soufre (SO₂), monoxyde de carbone (CO), d'ammoniac (NH₃) et de benzène (C₆H₆), ainsi que le SEN GP2Y1014AU, sensible aux particules de diamètre supérieure à 0,8 micron. Pour récupérer les données mesurées par ces deux capteurs nous l'avons connecté à une carte Arduino Uno, qui nous permet de recevoir

et de traiter les données avant de les envoyer sur l'écran. Afin de commander les actions de cette carte nous avons développé un code via « Arduino IDE » qui se décompose en 5 étapes :

L'initialisation :

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include<string.h>
int rs = 12;
int en = 11;
int d4 = 7;
int d5 = 6;
int d6 = 5;
int d7 = 4;
// Crée un objet LCD. Paramètres : (RS, E, D4, D5, D6, D7):
LiquidCrystal lcd = LiquidCrystal(rs,en,d4,d5,d6,d7);
int dustPin=1;
float dustVal=0;
float absDustVal=0;
int ledPower=2;
int delayTime=280;
int delayTime2=40;
float offTime=9680;const int mq135 = A0; // on déclare le detecteur sur l'entrée analogique A0
int capteur = 0;
int tours=0;
byte buff[2];
```

Il est primordial comme dans tout code de définir les constantes communes à tout le code et d'importer les bibliothèques nécessaires afin d'assurer de bonnes bases pour la suite du code. Pour afficher des informations sur l'écran nous avons utilisé 2 bibliothèques : LiquidCrystal et string.h. Nous avons par la suite défini les ports de la carte Arduino Uno sur lesquels les câbles de l'écran et des capteurs sont reliés. Définir ces ports nous a posé plusieurs fois des problèmes puisque cela nécessite soit de garder exactement la même organisation à chaque branchement-débranchement des composants, soit de mettre à jour le code à chaque fois. Beaucoup d'erreurs dans le fonctionnement de notre système étaient dues à un non-respect de l'un de ces 2 principes. Cela nous a poussé par la suite à mieux communiquer lorsque des personnes différentes démontent le système puis le rebranchent.

La boucle « setup » :

```
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2);
  pinMode(ledPower,OUTPUT);
  pinMode(dustPin, INPUT);
}
```

Cette boucle ne fait que quelques lignes. Elle est exécutée une seule fois lorsqu'on fait tourner le code et sert à définir le mode de fonctionnement des ports de la carte. C'est notamment ici que nous définissons la taille de l'écran et la quantité de bits échangés par seconde entre la carte et les composants.

La boucle « loop » : comme son nom l'indique, contrairement à la boucle « setup » cette boucle tourne en permanence à l'exécution du code. C'est donc ici que tous les traitements des données se font ainsi que l'affichage. Celle-ci se décompose en 3 sous-parties :

Une condition « if » permettant de permuter l'affichage entre les données du capteur de poussière et le capteur de gaz.

```
void loop(){
  //-----FONCTIONNEMENT ET AFFICHAGE MQ135
  if (tours>20){
    if(capteur==0){
      capteur=1;
    }
    else if (capteur!=0){
      capteur=0;
    }
    lcd.clear();
    tours=0;
  }
}
```


Elle est tout ce qu'il y a de plus basique : on crée dans l'initialisation une variable « capteur » initialisée à 0. On associe ensuite arbitrairement le capteur 0 au MQ135, capteur de gaz, et le 1 au GP2Y1014AU, capteur de particules fines. On crée aussi dans l'initialisation une variable « tours » initialisée à 0. À la fin de chaque passage dans la boucle « loop » cette variable est incrémentée, et lorsqu'elle atteint un certain seuil, nous avons mis ce seuil à 20 lors de l'intervention avec les élèves, le numéro de capteur change, on passe ainsi aux données de l'autre capteur et on remet la variable « tours » à 0. Avec un seuil à 20 cela assure une rotation toutes les 20 secondes.

On a ensuite une condition « if » vérifiant si le numéro du capteur est égal à 0.

```

if(capteur==0){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("MQ135:");
  lcd.print(analogRead(mq135));
  lcd.setCursor(0,1);
  if (100>analogRead(mq135) & analogRead(mq135)>70){
    lcd.print(" Taux moyen");
    delay(1000);
  }
  else if (analogRead(mq135)<70){
    lcd.print(" Air propre");
    delay(1000);
  }
  else if (analogRead(mq135)>9100){
    lcd.print(" Taux eleve");
    delay(1000);
  }
}

```

Dans ce cas nous affichons que les données sont relatives au MQ135. Nous affichons aussi la valeur renvoyée par celui-ci et sur la deuxième ligne de notre écran nous affichons un commentaire sur la qualité de l'air selon les valeurs affichées : « Air propre », « Taux moyen » ou « Taux élevé ». Les différents seuils ont été déterminés par l'expérience et conformément aux seuils fixés par les organisations européennes.  Nous avons testé le comportement du capteur dans différents environnements et avons pu en déduire des seuils en se référant aux concentrations moyennes des gaz dans l'environnement.

Une troisième condition « if » vérifiant si le numéro de capteur est égal à 1, auquel cas les données affichées seront celles du capteur de particules fines.

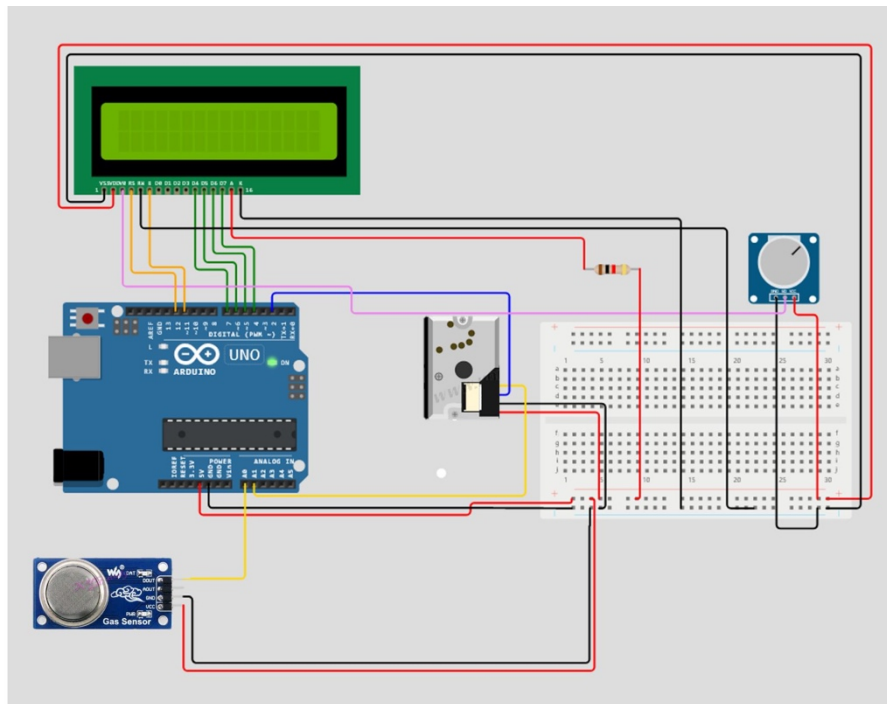
```

//-----FONCTIONNEMENT ET AFFICHAGE DONNEES POUSSIERES
else if (capteur==1){
  lcd.setCursor(0,1);
  digitalWrite(ledPower,LOW);
  delayMicroseconds(delayTime);
  dustVal=analogRead(dustPin);
  absDustVal = dustVal/7.42;
  delayMicroseconds(delayTime2);
  digitalWrite(ledPower,HIGH);
  delayMicroseconds(offTime);
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(absDustVal);
  lcd.print("% ");
  lcd.setCursor(0,1);
  if (absDustVal<30){
    lcd.print("Taux correct");
  }
  else if (absDustVal>=30 & absDustVal<60){
    lcd.print("Taux eleve");
  }
  else if (absDustVal>=60){
    lcd.print("Taux critique !!");
  }
}
tours+=1;
}

```

Nous avons ici aussi des commentaires sur les valeurs affichées, mais celles-ci sont de nature différente : ce sont des pourcentages. Pour les construire nous avons mesuré une valeur de particules fines pour laquelle le capteur est saturé grâce à de l'encens. Les valeurs sorties par le capteur sont donc divisées par cette valeur puis multipliées par 100 pour donner des pourcentages.

Nous disposons maintenant de tous les éléments nécessaires à la réalisation de notre capteur, il faut donc l'assembler. Voici un schéma de l'assemblage du capteur qui permet d'identifier chaque connectique :



Vint ensuite la conception du boîtier. En effet, il fallait un boîtier capable de contenir notre capteur, ayant des interstices pour laisser passer l'air et avec un matériau contenant le moins de substances possibles pouvant altérer les valeurs des différents capteurs. De ce fait, il fallait préférer un boîtier composé de plusieurs faces capables de s'emboîter.

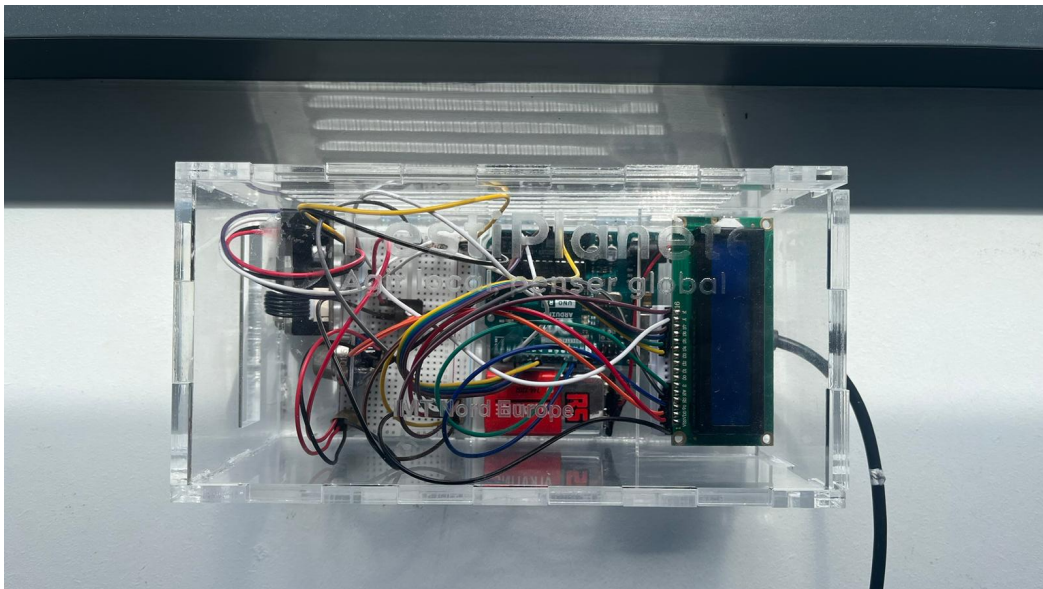
Ainsi, grâce au logiciel SolidWorks ainsi qu'aux ressources du Fablab, nous avons réalisé toutes les faces que nous avons ensuite découpées dans du plexi glace pour pouvoir les assembler.

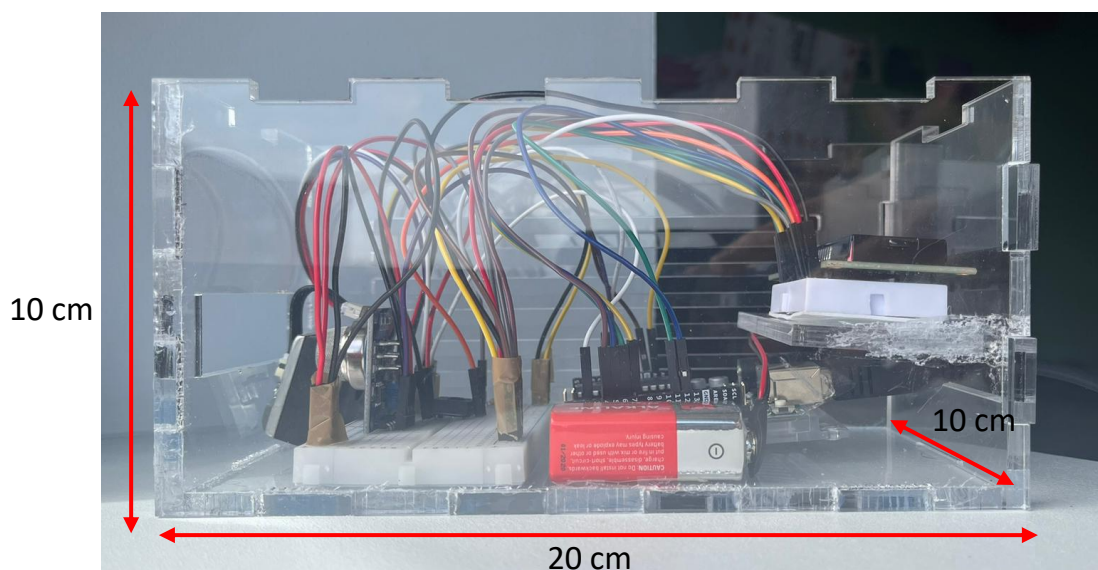
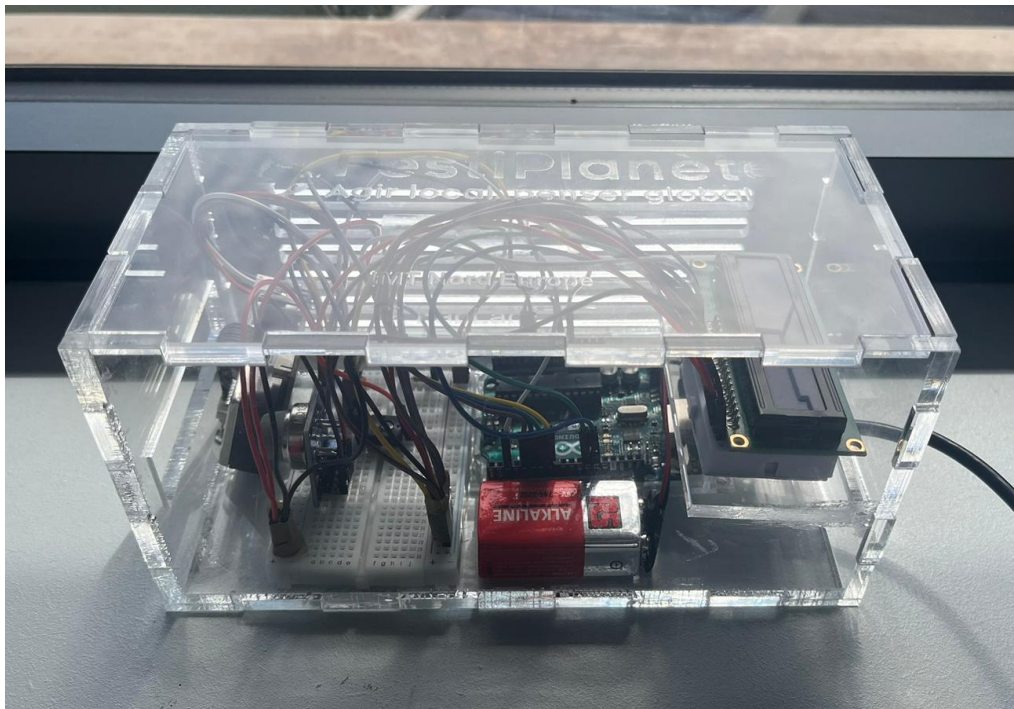
Pour plus d'esthétisme, nous avons fait graver sur le dessus de la boîte le nom Festiplanète avec leur logo ainsi que le logo de l'IMT.





Nous avons maintenant fini la construction de notre capteur dans sa totalité :





2. Sensibilisation aux élèves de collège

Le deuxième objectif de notre client était la sensibilisation. En effet, Festiplanète est une association dont le but est de sensibiliser la population à l'environnement. De ce fait, notre projet devait s'orienter dans ce sens et nous avons donc réalisé une matinée au collège André Streinger afin d'expliquer à une classe de quatrième les enjeux de la qualité de l'air.

Le but de notre intervention au sein de cette classe était dans un premier temps de sensibiliser les jeunes élèves à la cause de l'environnement, plus précisément à la qualité de l'air. Nous voulions également leur faire prendre conscience des effets sur leur santé et des risques liés à un taux de particules ou de gaz nocifs trop élevés. En dernier lieu, cette intervention nous a permis de leur faire découvrir les études d'ingénieur en leur présentant respectivement nos parcours scolaires qui sont plutôt différents (classe préparatoire, classe préparatoire intégré, etc...) ainsi que nos futures orientations, ce qui a pu attiser la curiosité de quelques élèves.

Notre intervention s'est déroulée en 3 grandes étapes. En effet, dans un premier temps, nous avons effectué une présentation de notre groupe projet ouvert, portant sur le sujet, les membres du groupe, l'association Festiplanète ainsi que notre objectif c'est-à-dire la réalisation d'un capteur de qualité de l'air pour l'association. Ensuite, nous avons réalisé une présentation du sujet afin de leur donner quelques notions utilisées en qualité de l'air tels que le nom des différentes particules fines (pm10, pm2.5, ...), la composition de l'air, les effets sur la santé. Nous avons donc commencé par des questions simples telles que "De quoi l'air est-il composé ?" ou encore "Quelles sont les particules dangereuses pour la santé ?" pour après se concentrer sur les particules fines et les dangers de celles-ci sur notre santé. Le but était de leur apporter des connaissances générales sur la qualité de l'air et également de voir quelles étaient leurs connaissances personnelles.

A la fin de cette présentation, nous avons projeté une vidéo de vulgarisation afin de récapituler de manière brève et simplifiée notre présentation.

Dans un second temps, qui représente la partie la plus ludique de notre intervention, se sont déroulés les différents ateliers dans lesquels nous avons pu réaliser des expériences avec nos capteurs, échanger avec les élèves en petit groupe de quatre, et expliquer la réalisation de notre capteur. Le premier atelier a été celui de Marin et Hugo qui consistait à expliquer en détails les différents composants utilisés pour notre capteur, comment ils ont été assemblés. Les élèves ont même pu effectuer des manipulations d'assemblage. Le second atelier est celui animé par Tachafin, qui consistait à montrer la sensibilité de notre capteur affichant des taux élevés lorsque les élèves allument un encens à proximité du capteur. Le dernier atelier a quant à lui été animé par Ludivine et Inès. Il consistait à utiliser un capteur professionnel du laboratoire de recherche de l'IMT prêté par notre tutrice interne pour constater l'augmentation du taux de CO₂ dans la pièce quand le capteur est à proximité d'une source de CO₂ ici une bougie placée sous une cloche avec le capteur. Cet atelier a

permis aux élèves de voir ce dont le monde de la recherche été capable en termes de conception de capteur et faire un comparatif avec notre capteur.

Lors de ces différents ateliers, les élèves ont pu nous questionner sur de nombreux points tels que la réalisation du capteur, la difficulté de réalisation, le prix mais également sur nos études. Ces derniers ont pu constater les différentes étapes de réalisation de notre capteur, manipuler un capteur professionnel ainsi que réaliser des expériences.

Enfin la dernière étape de notre intervention a été la plus interactive, mais également celle qui a le plus stimulé les élèves : le Kahoot. Ce quizz a permis de réaliser une synthèse de tout ce que l'on a pu expliquer lors de la séance et vérifier si les élèves ont bien assimilé les différents éléments de la présentation. Cela nous a également permis d'avoir un retour de leur part qui a été plutôt positif pour la majorité des élèves.

D) DIFFICULTÉES RENCONTRÉES

Trouver des composants adaptés à petit prix pour respecter notre budget :

La gestion du budget alloué par notre client, qui était fixé à 30 euros, s'est avérée être l'un des défis majeurs de notre projet de capteur de qualité de l'air. En effet, les capteurs de qualité de l'air sont composés de plusieurs éléments, tels que les capteurs de particules, les capteurs de gaz et les circuits électroniques, qui peuvent représenter des coûts significatifs. Lors de nos recherches pour trouver les composants nécessaires, nous avons rapidement constaté que les prix étaient très élevés sur des sites tels que Farnell Electronics ou Gotronic. En effet, un seul capteur pouvait coûter la moitié de notre budget, ce qui était clairement hors de portée pour nous.

Face à cette situation, nous avons dû chercher des alternatives pour respecter notre budget limité. Nous avons ainsi décidé de nous tourner vers des sites de grandes distributions en ligne, tels que Ali Express, où nous avons pu trouver des composants à des prix plus abordables. Cependant, cela impliquait des délais d'envoi beaucoup plus longs, allant de 1 à 2 mois, ce qui pouvait compromettre notre calendrier de projet.

Malheureusement, nous avons également rencontré un problème avec notre boîte aux lettres, ce qui nous a contraints à passer une deuxième commande pour recevoir les composants nécessaires à la réalisation de notre capteur. Cette deuxième

commande est finalement arrivée début mars, soit seulement un mois et demi avant notre date de présentation au collège. De plus, nous avons constaté que certains des composants reçus étaient ~~seulement~~ partiellement fonctionnels, ce qui a nécessité des ajustements supplémentaires pour les rendre opérationnels.

En parallèle de cette démarche pour trouver des composants abordables, nous avons également passé une commande interne avec l'aide de notre tutrice Nathalie Redon, ce qui nous a permis de commencer le montage du capteur fin février. Cependant, ces délais serrés et les problèmes rencontrés avec les composants ont ajouté une pression supplémentaire à notre projet et ont nécessité une gestion minutieuse des ressources pour respecter notre calendrier et nos objectifs.

Conséquences sur la qualité et la précision des capteurs :

Le coût faible des capteurs de qualité de l'air peut entraîner des conséquences directes sur la qualité et la précision des données collectées. Généralement, les capteurs moins chers ont tendance à être moins précis et moins fiables que les capteurs de qualité supérieure. Ils peuvent notamment être plus sensibles aux interférences et aux variations environnementales, d'où des mesures erronées ou biaisées. De plus, les capteurs de bas coût peuvent avoir une durée de vie plus courte et nécessiter un calibrage fréquent pour maintenir leur précision.

Avec un budget limité, il nous a été difficile de trouver des capteurs de qualité de l'air avec des fonctionnalités avancées telles que la mesure d'un gaz précis, une bonne résolution, une large plage de mesure et un temps de réponse rapide. En effet, notre capteur de gaz MQ 135 détecte différents gaz notamment le CO₂ et les Nox, grâce à une seule résistance. Cependant, cette conception simplifiée entraîne une limitation dans la précision des mesures, car le capteur ne peut pas différencier les gaz détectés et renvoie une donnée globale sans indiquer lequel des gaz est présent.

Conception de la boîte :

Lors de la conception de la boîte pour notre capteur de qualité de l'air, s'est posée la question du matériau et de comment assembler les différentes pièces pour obtenir la boîte. La présence de colles et de leurs particules fines, dans l'appareil de mesure, peut avoir un impact sur la précision des résultats obtenus par le capteur. Les particules fines issues des colles et d'autres matériaux de construction se mélangent à l'air ambiant et entraînent une fausse détection ou une surestimation des niveaux de

pollution. Nous avons dû recalibrer notre capteur et créer un circuit de circulation de l'air à l'intérieur.

Intervention :

La difficulté rencontrée lors de cette étape était de trouver des écoles où pouvait avoir lieu l'intervention. En effet, bien que notre client Alain Thellier possède le contact d'un bon nombre d'écoles sur Douai, peu d'entre elles nous ont répondu. Après avoir relancer les écoles, nous avons obtenu une unique réponse, celle du collège André Streinger qui était bien heureusement positive.

III. RÉSULTATS OBTENUS

A) PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

La qualité de notre travail a pu être évalué au cours de l'intervention auprès des élèves par le professeur de physique ainsi que par le client. En effet, nous leur avons fourni une fiche d'évaluation afin que nous puissions avoir un retour direct de leurs impressions et une trace écrite de celles-ci. Voici donc les fiches d'évaluation :

FICHE D'ÉVALUATION

Nom évaluateur :	Parfait	Peut améliorer	A revoir
N. DELCOUR			
Qualité générale de la présentation			
Qualité du contenu (adapté pour des élèves de quatrième, compréhensible et cohérent)			
Apport scientifique aux élèves (vérité des propos)			
Côté pédagogique			
Aisance à l'oral			
Temps de parole			
Activités			
1			
2			
3			

Des remarques/conseils :

- Simple fier quelques mots de vocabulaire (peut-être le stress en début de séance)
 - Points positifs : * Pas de temps morts.
 * Interaction avec les élèves.
 * Bonne attitude dans le groupe étudiant (plaisance)
 * Gestion des éventuels bugs.

Date : 13/04/2023 Signature :

FICHE D'ÉVALUATION

Nom évaluateur :	Parfait	Peut améliorer	A revoir
Alexis THELIER			
Qualité générale de la présentation			
Qualité du contenu (adapté pour des élèves de quatrième, compréhensible et cohérent)			
Apport scientifique aux élèves (vérité des propos)			
Côté pédagogique			
Aisance à l'oral			
Temps de parole			
Activités			
1			
2			
3			

Des remarques/conseils :

Date : Signature :

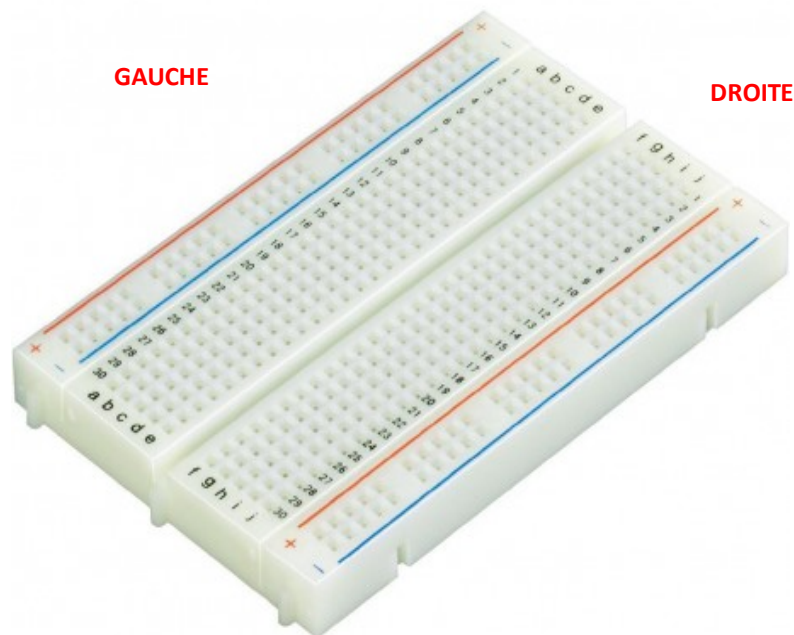
Grâce à ces fiches ainsi qu'au retour direct du professeur de physique, nous avons pu nous rendre compte que notre travail avait été apprécié à la fois par le professeur lui-même mais également par les élèves. Notre intervention a permis pour la plupart d'entre eux de les éveiller aux causes environnementales mais également au monde scientifique.

Un autre témoin de notre travail terminé et des résultats de celui-ci est notre tutoriel, demandé par Festiplanète.

Notre capteur est composé :

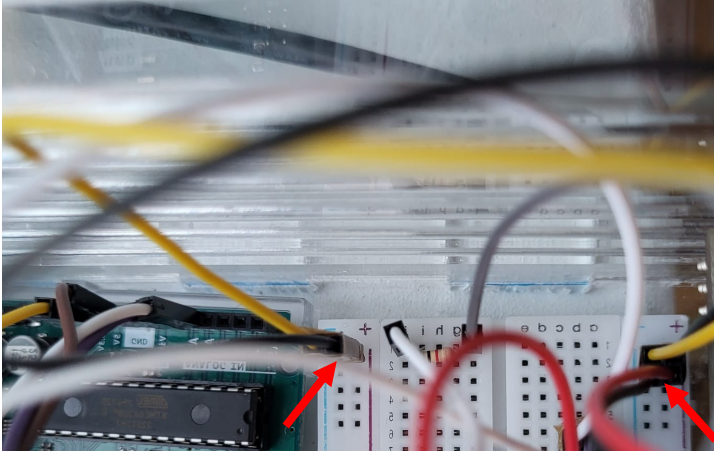
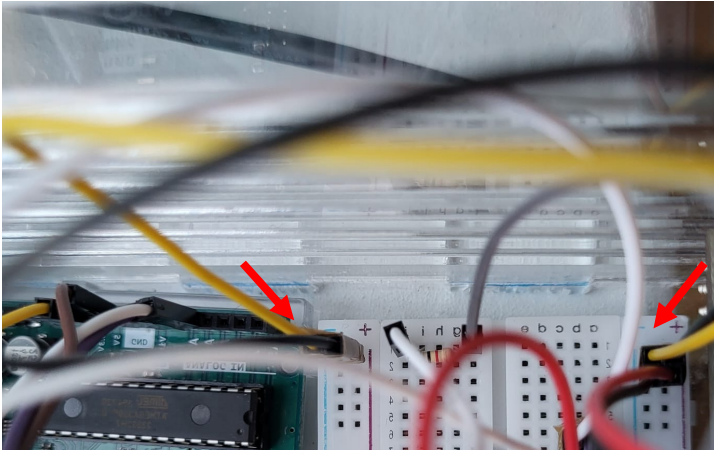

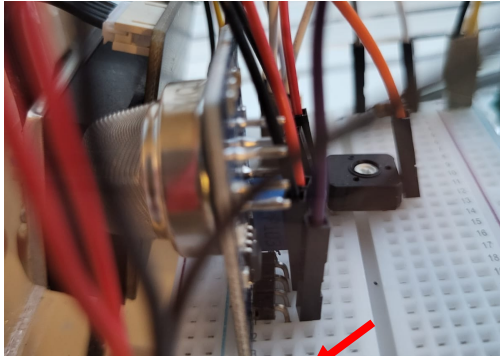
- D'une carte de développement
- D'une carte Arduino
- D'un capteur MQ 135
- D'un capteur PM 2.5
- D'une résistance 10Ω
- D'un potentiomètre
- D'une pile Alkaline 9V

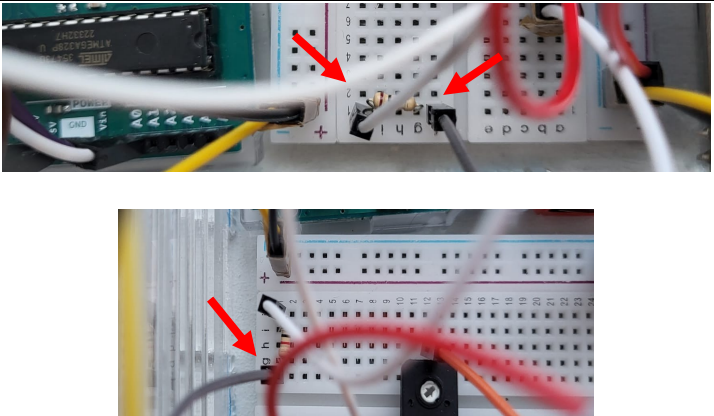
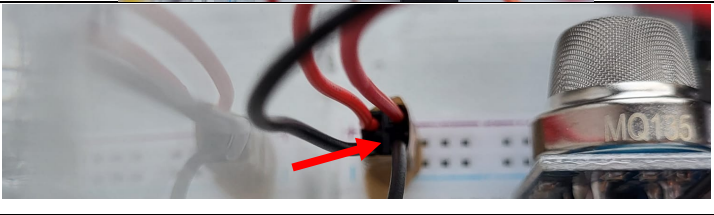
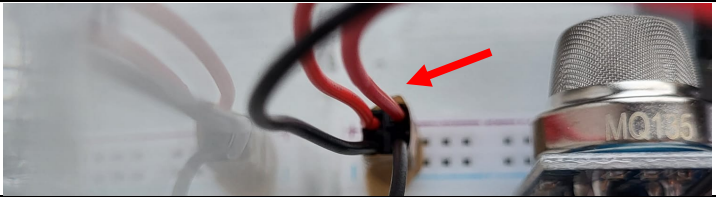
La carte de développement est composée de plusieurs trous répertoriés grâce à des chiffres et des lettres. Dans le texte suivant, nous nous référerons au schéma suivant.



1^{ère} étape : Branchements de base

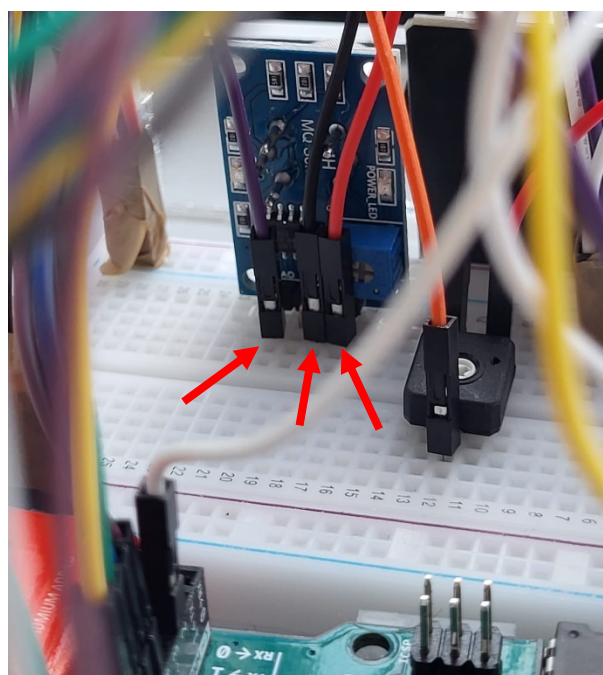
Nous allons d'abord brancher le MQ 135, le potentiomètre et la résistance sur la carte de développement et faire des branchements de base.

Type d'électronique	Branchement d'entrée	Photos
Borne +	Relier en bas de la carte par un câble noir la borne +1 GAUCHE à la borne +1 DROITE	
Borne -	Relier en bas de la carte par un câble jaune la borne -1 GAUCHE à la borne -1 DROITE	
Potentiomètre	Placer la résistance sur E11 et F11	
MQ 135	Brancher le MQ 135 sur B18 à B20	

Résistance	<p>Brancher la résistance G1 et I1</p> <p>Brancher une broche grise entre F1 et +25</p>	
Ajustement	Relier les bornes -29 et D13 avec une broche noire	
Ajustement	Relier les bornes +29 et D11 avec une broche rouge	

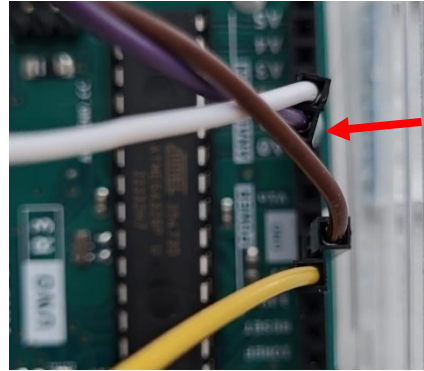
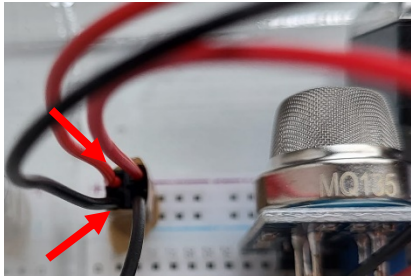
2^{ème} étape : Branchement du MQ 135

Le branchement du capteur MQ 135 nécessite 3 broches : violette, noire et rouge. Nous allons les brancher respectivement sur les ports C21, C19 et C18, juste en face du capteur.



Nous les branchons ensuite sur les ports :

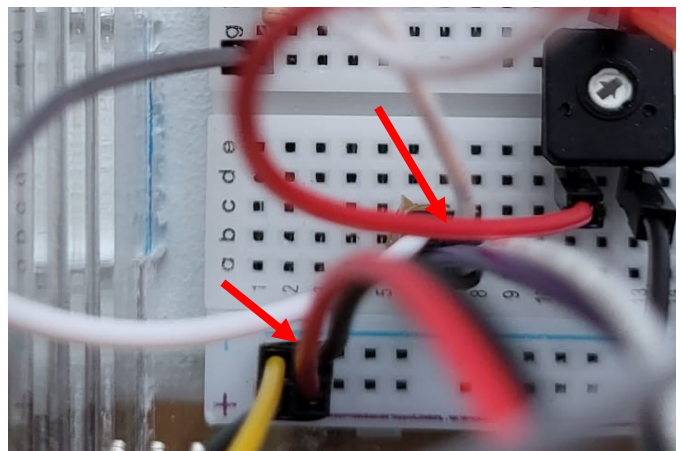
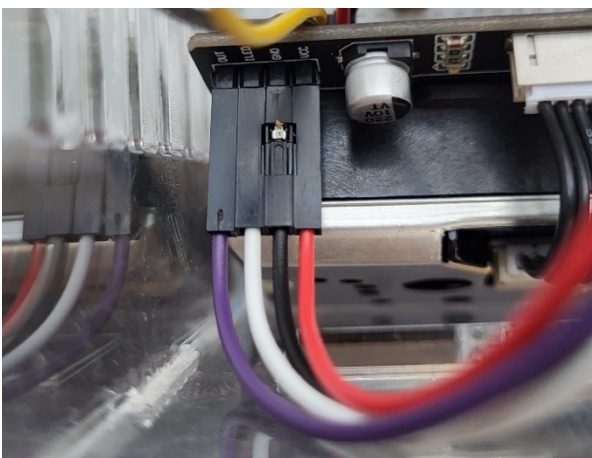
- Violette : A0 (Arduino)
- Noire : -30 (carte développement)
- Rouge : +30 (carte de développement)



3^{ème} étape : Branchement du capteur PM 2.5

Le capteur PM 2.5 nécessite de 5 broches : une violette, une noire, une rouge et deux blanches. Nous branchons les broches suivantes sur la carte de développement :

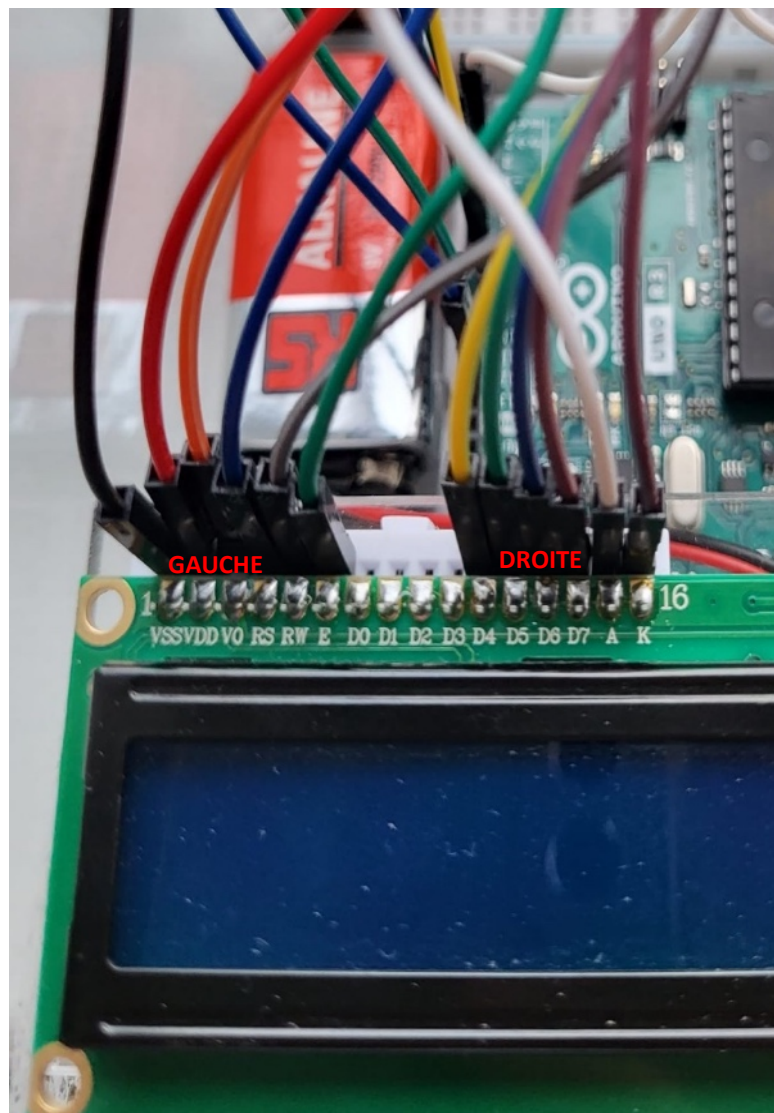
- Violette : entre **OUT** et **A6**
- Blanche : entre **LED** et **A7**
- Noire : entre **GND** et **-3**
- Rouge : entre **VCC** et **+3**



La dernière broche blanche se branche entre **A1** et **C6**. Elle permet de connecter la carte Arduino et le capteur.

Dernier branchement : l'écran

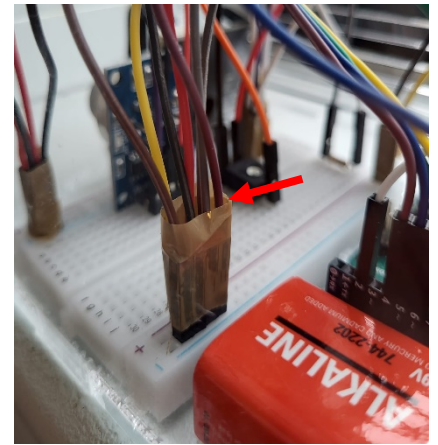
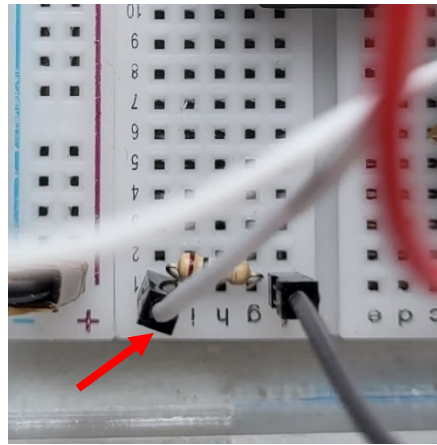
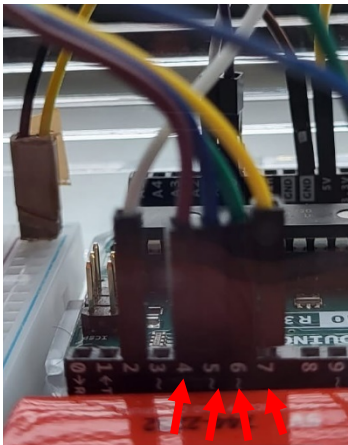
Pour l'écran, on distingue 2 parties comme sur le montage suivant.



Ecran de droite : on utilise 6 broches, jaune, verte, bleue, blanche et 2 violettes.

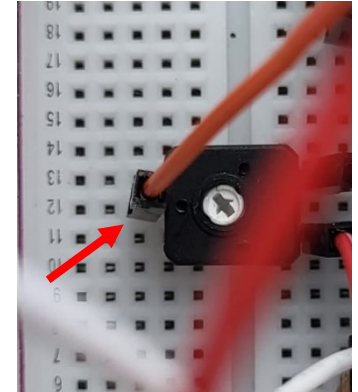
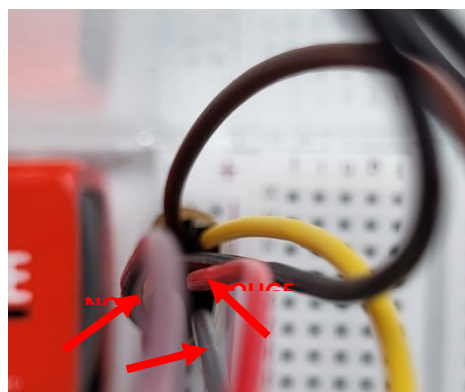
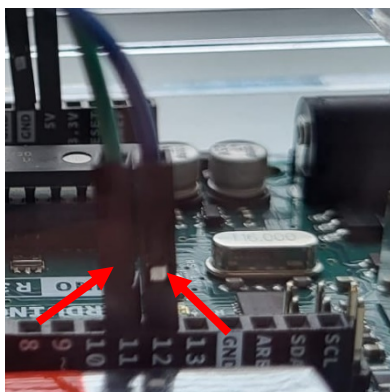
On réalise les branchements suivants comme sur la photo :

- Jaune : entre **D4** et **7** (sur Arduino)
- Vert : entre **D5** et **6** (sur Arduino)
- Bleu : entre **D6** et **5** (sur Arduino)
- Violette : entre **D7** et **4** (sur Arduino)
- Blanche : entre **A** sur **J1**
- Violette : entre **K** sur **-25**



Ecran de gauche : il nous faut 6 broches également, noire, rouge, orange, bleue, grise et verte.

- Noire : entre **VSS** et **-27**
- Rouge : entre **VDD** et **+27**
- Orange : entre **VO** et **H12**
- Bleue : entre **RS** et **12**
- Gris : entre **RW** et **-26**
- Vert : entre **E** et **11**



B) ANALYSE RÉSULTATS-OBJECTIFS

Le livrable de ce projet est un capteur de qualité de l'air reproductible simplement et pour pas cher. Après avoir hésité au début du projet, notre client Festiplanète a finalement choisi d'orienter le capteur sur la qualité de l'air extérieur. Dans un souci de budget, notre capteur devant être réalisé pour environ 30 €, ce capteur n'a pas pour but d'effectuer des mesures précises et de donner des valeurs exactes de concentration en gaz ou en particules fines. Cela aurait nécessité un budget beaucoup plus élevé. Par exemple Nathalie Redon nous a prêté des capteurs professionnels pour l'intervention au collège, qui eux donnent des valeurs précises et exactes de concentration mais coûtent plus de 500 €.

Nous avons donc revu nos objectifs : plutôt que de donner des valeurs exactes, notre capteur a pour but de montrer une évolution des concentrations en gaz et en particules. Il est efficace pour comparer des valeurs dans un environnement « normal » et dans un environnement pollué, afin de sensibiliser les personnes présentes lors des interventions à l'impact sur la qualité de l'air de certaines actions, comme brûler de l'encens dans une pièce.

Le résultat de notre projet est un capteur affichant des valeurs relatives ou des pourcentages de concentrations de gaz et de particules fines, auxquelles nous avons ajouté des commentaires sur la qualité de l'air : « Air propre », « Taux moyen » ou « Taux élevé ». Ces commentaires répondent à deux objectifs : permettre des comparaisons entre deux situations différentes et surtout simplifier la compréhension des valeurs pour chacun. En effet les membres de l'association ou les personnes qui assistent aux interventions n'ont pas tous un bagage scientifique poussé en qualité de l'air.

L'accessibilité du capteur est un objectif primordial de notre projet puisqu'une fois développé, il doit pouvoir être construit et utilisé par les personnes de l'association Festiplanète ou toute personne souhaitant le fabriquer. C'est d'ailleurs pour cela que nous avons rédigé un tutoriel et une vidéo montrant étape par étape le montage de notre système. Lors de l'intervention au collège André Streinger, nous avons réussi à faire brancher les deux capteurs, gaz et particules fines, par les élèves avec nos instructions. Il semble donc que nous ayons bien répondu à cet objectif.

En termes de budget, notre capteur respecte les contraintes qui ont été remaniées par rapport au début du projet. L'objectif de départ était de réaliser un capteur pour maximum 20 euros. Mais devant l'impossibilité de trouver les composants de base

d'un capteur en dessous de ce prix, et lors d'une réunion avec notre client et notre tutrice interne, le budget a été renégocié à 30 euros par capteur. Cela nous a permis un petit plus de marge de manœuvre. Nous avons ainsi pu répondre à la deuxième contrainte du projet en proposant un capteur dont les composants coûtent au total 23,59€ au moment où nous rédigeons ce rapport. Il est cependant possible que le prix fluctue un petit peu à cause de la disponibilité des composants électroniques mais aux vues de la situation des semi-conducteurs actuellement, le prix a de fortes chances de baisser plutôt que d'augmenter.

Nous avons donc répondu aux objectifs principaux du projet. Évidemment le capteur n'est pas parfait et certains éléments pourraient être améliorés. Par exemple la boîte que nous avons fait est en plexiglass afin de rendre l'intérieur visible lors des interventions. Peut-être qu'un autre matériau pourrait être utilisé ou que les aérations peuvent être modifiées pour améliorer le flux d'air qui circule.

C) AUTO-ÉVALUATION

Apprendre à apprendre :

Traitement de l'information : Pour la partie informatique de notre capteur (codage de la partie Arduino, afin de récolter les données mesurées par nos deux capteurs respectifs et les afficher sur l'écran) nous nous sommes beaucoup documentés sur Internet notamment grâce à des vidéos explicatives ou encore aux fiches techniques des différents composants.

Résolution de problèmes : Nous avons rencontrés de nombreux problèmes lors de la réalisation de notre capteur, dans un premier temps d'ordre matérielle, certains capteurs reçus ou encore l'écran lcd montraient des dysfonctionnements ce qui nous a ralenti durant notre projet. Puis dans un second temps, les problèmes d'ordre technique notamment la partie codage ainsi que l'assemblage des différents composants a pu être résolu en équipe ou grâce à l'aide de notre tutrice interne.

Innovation/ Ingéniosité : Le budget accordé à notre capteur étant très réduit, nous avons dû faire preuve d'initiative et d'ingéniosité afin de réduire le coût de notre produit et respecter le cahier des charges. (exemples : alterner les affichages des


valeurs sur l'écran toutes les 30 secondes au lieu d'acheter 2 écrans différents, faire un sacrifice sur la précision des capteurs utilisés en utilisant des capteurs d'entrée de gamme)

Organisation : A chaque réunion projet ouvert, le chef de projet fixe des objectifs à atteindre pour la fin de la séance, chaque membre sait sur quoi il doit travailler. Parfois on se retrouvait à plusieurs sur la même tâche quand la difficulté est plutôt complexe afin de pouvoir s'aider et avancer de manière efficace.

Agilité : C'est un projet où tous les membres ont dû faire preuve d'adaptabilité et de flexibilité notamment à cause des nombreux problèmes d'ordre techniques et matérielles rencontrés, on travaillait parfois sur plusieurs tâches à la fois.

Interaction et communication : La communication entre les membres du projet ouvert était excellente, à chaque début de séance les objectifs et les problèmes étaient clairement identifiés et un débriefing était réalisé systématiquement. Pour la partie communication notamment avec nos tuteurs, avec notre tutrice interne se faisait directement lors de nos séances, lorsqu'on rencontrait un problème nous allions la voir afin de trouver des solutions. Avec notre tuteur interne, l'avancée de notre projet se faisait lors des réunions ou par mail. Ce dernier était également convié à nos réunions avec le professeur du collège André Streinger afin d'être au courant sur la préparation et le contenu de nos interventions de sensibilisation. Lors de l'intervention auprès des élèves de 4^{ème} nous avons utilisé des termes simplifiés, évités les termes techniques et concernant les ateliers nous avons essayé de les aborder de manière pédagogique et ludique pour favoriser l'assimilation des différentes notions et sensibiliser les élèves (manipulation, présentation en détail, quizz interactif...)

Sens Relationnel :

Gestion de Stress : La plus grosse source de stress rencontrée lors de notre projet ouvert a été  un problème d'ordre technique et notamment la livraison des différents composants qui tardait. Cette situation nous a forcé à avancer sur d'autres points de notre projet notamment l'intervention ou encore la réalisation de la boîte du capteur. Le stress a globalement été bien géré par chacun des membres du projet ouvert.

Leadership : Le chef du projet ouvert : Marin CARDO a su faire preuve de leadership, notamment répartir les différentes tâches, motiver les différents membres lorsqu'on rencontrait des problèmes qui nous empêchaient d'avancer. Chaque membre a pu à un moment donné partager sa propre vision auprès des autres membres du projet, afin

de trouver une solution ou encore encourager la prise d'incitatives des autres membres.

D) APPORTS DU PROJET

Comme dit précédemment, notre projet comporte à la fois un côté environnemental, scientifique et un pédagogique. Nous pouvons donc compter des apports dans ces trois catégories.

De plus, ce projet nous a permis de nous pencher sur une problématique environnementale importante : la qualité de l'air. En effet, grâce à l'association Festiplanète ainsi qu'à nos recherches, nous avons pu enrichir nos connaissances sur les dangers des particules fines ou des gaz qu'ils aient une origine naturelle ou industrielle.

Concernant la partie scientifique, nous pouvons relever que ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances en capteur que nous étudions lors du module "du capteur à l'instrument". Effectivement, durant ce cours nous avons commencé à voir les bases de la recherche en capteur, des bases que nous avons bien développées grâce à ce projet. Que cela soit concernant les différents composants en qualité de l'air, la conception du capteur, la partie électrique ou encore informatique, il est évident que nos connaissances se sont conséquemment développées. De plus, travailler avec Nathalie Redon nous a permis de mettre un pied dans le monde de la recherche scientifique et spécifiquement en recherche qualité de l'air. En tant qu'étudiants ingénieurs, pouvoir travailler en laboratoire à côté de chercheurs accomplis nous permet de visualiser ce que représente le métier de chercheur.

Le côté pédagogique de ce projet n'était présent qu'à la fin. Cependant, c'est ce qui nous a permis de clôturer notre projet et de nous rendre compte de tout l'avancement accompli depuis le début de l'année. Communiquer avec un public plus jeune n'est pas aisé. Il faut en effet utiliser des mots qu'ils sont capables de comprendre tout en restant le plus scientifiquement vrai possible. De ce fait, cela nous a permis de travailler nos outils de communication et d'adaptation. De plus, nous avons eu l'opportunité en échangeant avec les élèves de leur apporter des connaissances scientifique et de leur partager notre vision de la science en tant qu'étudiants, ce qui apporte une certaine fierté.

E) BILAN FINANCIER

Comme vu précédemment notre bilan financier n'est pas très important étant donné les fortes contraintes budgétaires qui nous ont été imposées. Nous avons au cas où fait une demande de financement à la mairie au début de notre projet mais celle-ci a été refusée donc notre budget était celui de base pour chaque projet ouvert : 180€.

Nous finissons ainsi ce projet avec simplement des dépenses de commandes de capteurs. En tout, les dépenses de capteurs via Ali Express s'élevaient à 35,65€.

Cependant, certaines pièces de nos commandes n'ont pas été livrées en temps et en heure et le capteur de poussière qui nous a été envoyé ne fonctionnait pas. Nous avons donc décidé de changer de fournisseur pour le capteur de poussière et de se tourner vers gotronic.fr, un site français de vente de pièces électroniques, plus fiable que Ali Express. Cela multiplie néanmoins le prix de livraison par deux.

Voici un tableau récapitulatif des prix des pièces :

Composant	Capteur de gaz	Capteur de particules fines	Carte Arduino Uno	Écran	Fils supplémentaires
Prix	1,28€	14,50€	2,19€	1,51€	1,84€

Ainsi on voit bien que le capteur de particules fines représente la très grande majorité du budget. Mais avec l'échéance de l'intervention dans le collège André Streinger le 13 avril, le délai pour recommander des pièces chez Ali Express était trop court puisqu'ils prévoient une livraison début avril. Nous avons donc décidé de ne pas prendre le risque d'avoir un retard de livraison ou même pas de livraison comme cela venait de nous arriver. Malgré ce surplus dû au nouveau capteur de particules nous restons en dessous de la limite budgétaire de 30€.


IV. AVENIR DU PROJET

Malgré les nombreuses difficultés rencontrées, nous avons réussi à mener à bien notre projet et réaliser les différentes missions de notre tuteur. Le projet va servir dans un premier temps à l'association FestiPlanète afin de pouvoir réaliser des interventions dans d'autres collèges et lycées. Nous leur avons fourni notre diaporama de présentation, notre Kahoot ainsi que notre capteur permettant de réaliser les différentes activités.

Notre tuto vidéo pour la création d'un capteur de qualité de l'air pour un budget limité sera également mis en ligne sur le site de l'association FestiPlanète. Il permet de reconstruire facilement le capteur chez soi. Cela pourrait permettre par la suite la création d'une base de données amateur de qualité de l'air.

Finalement, nous pensons qu'il serait intéressant de reconduire ce projet afin de l'améliorer. Les pistes sont multiples, autant pour nous que pour le collège Streinger qui souhaite continuer de travailler sur ce projet. En effet l'écran était assez petit et peut-être pas forcément optimal pour les présentations lorsque celui-ci doit être visible pour toute une classe. Néanmoins, devant répondre à une restriction de coût pour notre client, nous ne pouvions le faire. Il pourrait être intéressant de reconduire ce projet en développant le capteur afin qu'il recueille des données supplémentaires sur les gaz présents, améliorer la précision serait également intéressant. Cela conduirait donc à ne plus avoir forcément de limite de budget ou une enveloppe plus grande. La mise en place d'un site récupérant les données du capteur pourrait être la bienvenue afin de pouvoir par la suite créer un ensemble de capteurs disposés à divers endroits. Cela permettrait d'effectuer des analyses globales sur la qualité de l'air à différents endroits. Après discussion avec le professeur de physique Monsieur Delcour, celui-ci serait intéressé pour reconduire ce projet et le faire évoluer comme évoqué ci-dessus. En effet, le collège aurait aimé garder un capteur afin de pouvoir le laisser dans la classe pour qu'il soit visible et que les élèves aient en permanences des valeurs affichées.

V. FICHE D'AUTO-ÉVALUATION

 IMT Nord Europe École Mines-Télécom IMT-Université de Lille						
		Niveau estimé par le chef de projet : Marin Cardo	Niveau estimé par l'élève 2 : Inès Poulain	Niveau estimé par l'élève 3 : Ludivine Dubourg	Niveau estimé par l'élève 4 : Hugo Deroo	Niveau estimé par l'élève 5 : Tachafin Ait Abaid
Maîtriser et mobiliser les ressources d'un large champ de sciences fondamentales et des sciences de l'ingénieur en faisant preuve de capacité de réflexion, d'analyse et de synthèse en ayant le sens de l'innovation.	Apprendre à apprendre : abstraction, apprentissages	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 2
	Traitement (numérique) de l'information : intégration des données, jugement critique	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 2
	Résolution de problèmes	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 2	Niveau 4	Niveau 4
	Innovation/Ingéniosité : créativité, initiative, esprit d'entreprise	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3
Maîtriser les finalités, les contraintes, l'environnement et le contexte mondialisé de l'entreprise :	Organisation : rigueur, performance	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3
	Agilité : adaptabilité, flexibilité	Niveau 2	Niveau 4	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 2
	Interaction et Communication : capacité d'interaction	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 4	Niveau 3
	Gestion de projet : travail en équipe, en réseau, animation	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 2
Intégrer une dimension managériale et relationnelle dans une perspective de dynamique de changement.	Sens Relationnel : capacité de mobilisation, conviction	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 2	Niveau 2
	Gestion du stress	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 2
	Leadership : influence	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 2
	Prise de décisions / Prise de risques	Niveau 3	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3

VI. COMMUNIQUÉ DE PRESSE

Douai, le 14 avril 2023 - Le projet Construction d'un capteur de qualité de l'air a pour objectif de créer un capteur de qualité de l'air abordable, avec un budget de seulement 30 euros afin qu'un large public puisse le reproduire. En parallèle, le projet vise à sensibiliser le public, tant les adultes que les enfants, aux questions environnementales liées à la qualité de l'air à travers des portes ouvertes et des ateliers ludiques organisés dans des collèges.

Notre appareil de mesure est donc composé de 2 types de capteurs : le capteur de poussières PM 2.5 et le capteur de gaz MQ135. Placés à l'extrémité du boîtier, ces composants sont en contact direct avec l'environnement extérieur. A la demande de notre client, nous avons donc créé un appareil de mesure utilisable en intérieur mais aussi à l'extérieur ce que nous avons pu démontrer lors de différentes expériences.

Ce projet, soutenu par l'association Festiplanète, est porté par une équipe engagée de 5 futurs ingénieurs déterminés à sensibiliser la communauté locale. « Il était essentiel pour nous de choisir un projet étroitement en lien avec l'environnement qui est une des problématiques majeures du XXIe siècle. », Marin Cardo, chef du projet.

Lors de notre intervention au collège Steiner le 13 avril dernier, nous avons organisé plusieurs ateliers interactifs qui ont permis aux élèves de participer activement à l'assemblage de notre capteur de qualité de l'air et de comprendre son fonctionnement grâce à des expériences pratiques.

Nous avons également présenté les capteurs de qualité de l'air plus avancés du laboratoire de recherche de notre école, le CERI, qui sont capables de collecter des données sur plusieurs années pour suivre l'évolution de la pollution.

VII. ANNEXES

CODE COMPLET :

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include<string.h>
int rs = 12;
int en = 11;
int d4 = 7;
int d5 = 6;
int d6 = 5;
int d7 = 4;
// Create an LCD object. Parameters: (RS, E, D4, D5, D6, D7):
LiquidCrystal lcd = LiquidCrystal(rs,en,d4,d5,d6,d7);
int dustPin=1;
float dustVal=0;
float absDustVal=0;
int ledPower=2;
int delayTime=280;
int delayTime2=40;
float offTime=9680;const int mq135 = A0; // on déclare le detecteur sur
l'entrée analogique A0
int capteur = 1;
int tours=0;
byte buff[2];

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2);
  pinMode(ledPower,OUTPUT);
  pinMode(dustPin, INPUT);
}
void loop(){
  //lcd.println("Hello world");
  //-----FONCTIONNEMENT ET AFFICHAGE MQ135
  if (tours>10){
    if(capteur==0){
      capteur=1;
    }
    else if (capteur!=0){
      capteur=0;
    }
    lcd.clear();
    tours=0;
  }
  if(capteur==0){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("MQ135:");
    lcd.print(analogRead(mq135));
    lcd.setCursor(0,1);
    if (70>analogRead(mq135) & analogRead(mq135)>30){
      lcd.print(" Taux moyen");
      delay(1000);
    }
    else if (analogRead(mq135)<30){
      lcd.print(" Air propre");
    }
  }
}
```

```

        delay(1000);
    }
    else if (analogRead(mq135)>70){
        lcd.print(" Taux eleve");
        delay(1000);
    }
}
//-----FONCTIONNEMENT ET AFFICHAGE DONNEES POUSSIERES
else if (capteur==1){
    lcd.setCursor(0,1);
    digitalWrite(ledPower,LOW);
    delayMicroseconds(delayTime);
    dustVal=analogRead(dustPin);
    absDustVal = dustVal/7.42;
    delayMicroseconds(delayTime2);
    digitalWrite(ledPower,HIGH);
    delayMicroseconds(offTime);
    delay(1000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(absDustVal);
    lcd.print("% ");
    //lcd.print(dustVal*0.997517);
    //lcd.print("microg/m3");
    lcd.setCursor(0,1);
    if (absDustVal<30){
        lcd.print("Taux correct");
    }
    else if (absDustVal>=30 & absDustVal<60){
        lcd.print("Taux Ã©levÃ©");
    }
    else if (absDustVal>=60){
        lcd.print("Taux critique !!");
    }
    //if (dustVal>36.455){
        //lcd.println((float(dustVal/1024)-0.0356)*120000*0.035);
    //}
}
tours+=1;
}

```