



Université de Bretagne Occidentale



FACULTÉ
DES SCIENCES
& TECHNIQUES

RAPPORT DE STAGE LICENCE

Développement d'une interface Web de monitoring capteurs CO₂

Organisme d'accueil : Université de Bretagne Occidentale

Gloire BAYOUNDOULA

Etudiante en 3^e année de Licence Informatique Fondements et Applications

Année académique : 2021-2022

Période de stage : Du 27/04/2022 au 24/06/2022

Tuteur de stage : Monsieur Pascal BALLET

Enseignant référent UBO & Responsable académique de formation :

Monsieur Mounir LALLALI

REMERCIEMENTS

Au seuil de ce travail qui sanctionne la fin de mes études de Licence en Informatique, Fondements et Applications, il m'est un devoir de remercier tous ceux et toutes celles qui, de près ou de loin, ont contribué à son élaboration et à ma formation.

Je voudrais remercier tous mes professeurs de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Bretagne Occidentale qui s'adonnent avec compétence et abnégation à ma formation. Je loue leur dévouement dans la transmission des connaissances aux étudiants que nous sommes.

Mon attention se focalise particulièrement sur Monsieur Pascal BALLET, mon tuteur de stage. Un stage très intéressant et instructif à plusieurs titres pour moi qui n'avais jamais réalisé de programmation en Arduino. Sa discrétion, sa disponibilité, sa sympathie, ses orientations techniques et ses encouragements m'ont grandement édifiée et m'ont beaucoup aidée dans la réalisation de ce stage.

J'exprime aussi mes sentiments de profonde gratitude à Monsieur Mounir LALLALI, enseignant référent de l'Université Bretagne Occidentale pour mon stage et responsable pédagogique de ma formation. Sa patience, son écoute, ses conseils ont su m'orienter, sans oublier l'accueil qu'il nous a réservé en dépit de ses nombreuses charges.

Je suis tout autant reconnaissante envers Monsieur Louis CASSET, pour son amabilité, sa franche collaboration qui a abouti à un excellent binôme de travail. Durant ces huit semaines de travail, nous avons mis au point ce stage en bons communicants. Nonobstant les bugs et « *code error* », la bonne humeur n'a pas manqué au rendez-vous, tout comme la rigueur dans le travail qui nous a menés au résultat présenté au terme de ce document.

Je reconnais par ailleurs l'empressement de Madame Dominique BELLEAU. Sa gentillesse, son aide, ses conseils et ses directives m'ont vraiment édifiée.

Qu'il me soit permis d'exprimer enfin mes remerciements à NZAMBI et à toute ma famille ; pour leur amitié et sollicitude, pour leur affection et amour inconditionné. Qu'ils sachent que je les porte tous et constamment dans mon cœur.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION	3
I. ORGANISME D'ACCUEIL	4
1. HISTORIQUE.....	4
2. ORGANIGRAMME.....	4
II. PRESENTATION DU SUJET.....	5
1. MESURE DU CO ₂ : QUEL EST L'INTERET ?	5
a. Pourquoi aérer l'intérieur ?	5
b. La mesure du CO ₂	5
c. Les intérêts de ce stage	6
d. Organisation du travail	7
2. LES CHOIX DE CONCEPTION	7
a. Cahier de charges	7
b. Conception matérielle	7
c. Conception logicielle	8
III. TRAVAIL REALISE	10
1. ETAPE 1 : PARTIE ELECTRONIQUE AVEC ARDUINO	10
a. Matériel.....	10
b. Codage	10
c. La mise en situation réelle.....	11
2. ÉTAPE 2 : ÉTABLISSEMENT DE LA CONNEXION WI-FI.....	13
3. ÉTAPE 3 : CONNEXION A FIREBASE	13
a. Intégration de Firebase : Base de données Realtime	13
b. Le modèle de données.....	15
4. ETAPE 4 : PROGRAMMATION DE L'INTERFACE WEB.....	16
a. Traçage des courbes	17
b. Modes d'affichage	19
5. ETAPE 5 : CONNEXION ENTRE LA PAGE WEB ET FIREBASE	20
IV. BILAN DU PROJET	24
1. APPORT TECHNIQUE.....	24
2. PERSPECTIVES PROFESSIONNELLES ET PERSONNELLES	24
3. TRAVAIL PLANIFIE.....	25
CONCLUSION	27
ANNEXE 1 : TABLES DES ILLUSTRATIONS.....	28
ANNEXE 2 : REFERENCES (WEBOGRAPHIE / BIBLIOGRAPHIE).....	29

INTRODUCTION

Étudiants, enseignants, personnels administratifs et auxiliaires passent près de huit heures d'affilé par jour dans les bâtiments de l'Université. Par conséquent, il est primordial d'offrir un environnement aéré le plus sain possible à toutes ces personnes.

C'est dans cette optique que s'inscrit ce stage, réalisé en binôme avec Monsieur Louis CASSET et sous la responsabilité de notre tuteur de stage Monsieur Pascal BALLET. En effet, la réalisation d'une application mesurant le taux de CO₂¹ dans les salles, constitue un dispositif qui y détectera la quantité de dioxyde de carbone afin de déterminer s'il est nécessaire de procéder davantage à leur aération ou pas.

En sus, ce stage survient dans un moment opportun compte tenu du contexte sanitaire dans lequel nous nous trouvons à savoir : plus de 2 ans de pandémie de Covid-19. Cela paraît même être du bon sens. Car « aérer nos pièces dix minutes par heure tous les jours », est déjà un conseil de Santé Publique France² pour lutter contre la pollution de l'air intérieur. En effet dans nos pièces intérieures, de nombreux composés organiques volatils s'évaporent de nos peintures, de nos produits ménagers, de nos meubles et sont insalubres pour nos organismes. Brasser l'air pour disperser les polluants est déjà fortement recommandé.

De plus, ce stage, bien qu'informatique, a su susciter mon intérêt parce que la pollution de l'air et plus particulièrement l'aération des salles en milieu universitaire, apparaît au cœur d'une problématique majeure : la santé de tous.

Par suite, le plan de mon rapport est sous-tendu par des interrogations. Nous nous bornerons à savoir : quel est l'organisme à l'origine de ce stage ? Pourquoi ce stage était-il nécessaire ? Quelles sont les motivations du choix de matériel ? Quelles sont les étapes de conception et de développement du travail ? Toutes les questions auxquelles je répondrai avant de présenter mon bilan personnel.

¹ CO₂ : Dioxyde de carbone, polluant rejeté en partie par la respiration humaine

² Santé publique France : Agence nationale de santé publique qui exerce une fonction d'expertise, de conseil, d'éducation pour la santé et la promotion de la santé. *Site officiel Santé Publique France* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.santepubliquefrance.fr/>

I. ORGANISME D'ACCUEIL

1. HISTORIQUE

Anciennement appelée Université de Brest, l'Université de Bretagne Occidentale, UBO, représente la principale université du Département finistérien en FRANCE. Mise en place par arrêté ministériel le 27 mars 1969, il a fallu attendre le 7 décembre 1970 pour que l'Université de Bretagne Occidentale soit érigée en établissement public à caractère scientifique et culturel.



Université de Bretagne Occidentale

Figure 1 : Logo de l'Université

2. ORGANIGRAMME

Liste des présidents successifs	
Période	Identité
2007-2016	<u>Pascal Olivard</u>
2002-2007	<u>Jean-Claude Bodéré</u>
1997-2002	<u>Pierre Appriou</u>
1992-1997	<u>Jean-Claude Bodéré</u>
1987-1992	<u>Firmin Tuffin</u>
1982-1987	<u>Claude Babin</u>
1977-1982	<u>Michel Quesnel</u>
1972-1977	<u>Julien Quéré</u>
1971-1972	<u>Raymond-François Le Bris</u>

- L'organisme d'accueil : UBO

Depuis 2016, Monsieur Matthieu GALLOU se positionne comme Président de l'UBO, secondé par Madame Brigitte BONIN, Directrice Générale des Services.

Figure 2 : Liste des présidents de l'UBO jusqu'en 2016

Dans la hiérarchie, s'en suivent 12 Vice-Présidents de l'UBO et les 3 étudiants Vice-Présidents. Par la suite les Directeurs de Faculté sont nommés.

- Le service de stage : Département Informatique de l'UFR Sciences et Techniques de l'UBO

D'autre part, le Département Informatique de la Faculté de Sciences de l'UBO, service dans lequel nous avons effectué le stage, est dirigé par Madame Laurence DUVAL avec son adjoint Monsieur Mickaël KERBOEUF.

II. PRESENTATION DU SUJET

1. MESURE DU CO₂ : QUEL EST L'INTERET ?

a. Pourquoi aérer l'intérieur ?

Le dioxyde de carbone est un indicateur du renouvellement de l'air dans les environnements clos, comme les salles de classe. En effet, des concentrations élevées de CO₂ indiquent un renouvellement d'air insuffisant, qui peut être causé par des systèmes de ventilation défectueux ou une ventilation manuelle insuffisante ; entraînant l'accumulation des polluants respiratoires dans les pièces.

C'est pourquoi, la ventilation de la pièce, que ce soit par un système de ventilation mécanisée ou manuelle en ouvrant les fenêtres, renouvelle l'air et élimine le gaz carbonique et les polluants emmagasinés.

b. La mesure du CO₂

La qualité de l'air intérieur se révèle vitale pour notre santé. Moins d'air frais n'obvie pas à notre exposition à divers polluants de l'air intérieur tels que : les COV ³(composés organiques volatils), le dioxyde de carbone ou les particules en suspension.

Le dioxyde de carbone, également appelé CO₂, est un gaz naturellement émis par la respiration humaine. Bien qu'il ne soit pas très toxique, le dioxyde de carbone peut provoquer des maux de tête et une altération de la concentration chez l'homme, en cas de quantités élevées.

C'est pourquoi, afin de conserver une qualité de l'air intérieur optimale, les recommandations sanitaires invitent à ne pas dépasser 1000 ppm ⁴ de CO₂. Les effets d'inconforts de ce gaz commencent à se faire ressentir au-delà de cette valeur.

Un lien étroit existe entre la qualité de l'air d'une pièce et la concentration en CO₂, donné par les valeurs caractéristiques suivantes :

- **< 800 ppm** : une qualité d'air excellente, recommandation de Santé publique.
- **Entre 800 et 1000 ppm** : une qualité d'air modérée
- **Entre 1000 et 1500 ppm** : une qualité d'air à risque. Cela correspond à des valeurs trop élevées en contexte Covid-19.

³Site ScienceDirect, *Les composés organiques volatils (COV) : définition, classification et propriétés* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0761842508715134>

⁴ ppm : partie pour million. Nombre de molécules d'un gaz à effet de serre considéré par million de molécules d'air

- **> 1500 ppm** : une qualité d'air néfaste pour la santé. Cela entraîne des évanouissements.

Ainsi, pour maintenir le niveau de concentration de CO₂ recommandé, soit moins de 1 000 ppm à l'intérieur des bâtiments, il est important de le contrôler. Pour ce faire, il faut aérer les salles.

c. Les intérêts de ce stage

Intitulé « *le développement d'une interface Web de monitoring de capteurs CO₂* », ce stage suscite deux grands intérêts, à savoir l'intérêt pédagogique et l'intérêt sanitaire.

- **Intérêt pédagogique**

Notre stage corrobore la volonté d'innovation de l'UBO. En effet, des dispositifs de mesure dotés des capteurs de CO₂ sont disponibles en vente. Cependant, la réalisation de ce travail par des étudiants de l'UBO met en exergue la crédibilité des formations de l'Université. Cela constitue, en plus, la preuve que l'UBO prépare des diplômés capables de répondre aux besoins des entreprises, et ce, dans tous les domaines de formations.

De plus, nous avons réalisé un tutoriel représentant le déroulé de notre stage ; toutes ses phases clés détaillées. Ce document bénéficiera aux futurs étudiants de Master Informatique, parcours LSE (Logiciels pour les Systèmes Embarqués), comme sujet de TP. De là, ils s'initieront au montage électronique ainsi qu'à toutes les technologies recourues durant ce stage.

- **Intérêt sanitaire**

Aujourd'hui, vivant dans un monde de plus en plus pollué à cause de l'augmentation des gaz à effet de serre, il est primordial pour l'homme de bénéficier d'un air intérieur frais et sain. C'est pourquoi, le Département Informatique de l'UBO a décidé d'initier ce projet subventionné à hauteur de 2000 € par l'UBO. Ce-dernier dont le dessein est d'équiper toutes les salles de TP de capteurs de CO₂ pour y mesurer les concentrations dudit gaz.

Par ailleurs, nous amorçons présentement la troisième année de pandémie de Covid-19. Les chercheurs ont démontré que la concentration en aérosols porteurs du SARS-COV-2, virus de Covid-19, est corrélée à la concentration en CO₂. Par conséquent, contrôler cette donnée en temps réel est nécessaire et occasionne en outre, la diminution du risque de transmission aéroportée du virus. D'autant plus que cette initiative amènera à éviter les effets néfastes avérés pour la santé, liés à l'excès de CO₂ dans l'air, tels que : les maux de tête ou la dégradation des compétences cognitives de haut niveau qui sont nécessaires aux apprentissages universitaires.

En outre, à titre préventif, ce projet permettra de réduire la propagation d'autres maladies respiratoires transmissibles dans l'air telles que : la grippe, le rhume, etc. Les capteurs de CO₂ sont donc des outils essentiels pour prendre de bonnes habitudes et renouveler l'air des salles de classe quand ceci est nécessaire afin de limiter les contaminations virales.

d. Organisation du travail

Le stage s'est déroulé en présentiel au sein des locaux du Département Informatique de l'UBO. Outre les technologies logicielles afférentes au stage, nous avons utilisé Google Drive comme outil de travail collaboratif. De plus, à raison d'au moins trois fois par semaine, Monsieur Pascal BALLEET venait constater le déroulé du travail. En jugeant son avancement en conformité au cahier des charges, et en nous donnant par moment des pistes de réflexion face à certaines difficultés.

2. LES CHOIX DE CONCEPTION

a. Cahier de charges

Le but principal de notre travail constitue en l'affichage dynamique en temps réel des courbes de concentration en CO₂ des salles de TP du Département Informatique. Un affichage rendu possible grâce à un capteur de CO₂ qui récupère les concentrations dudit gaz. Par la suite, ces valeurs sont stockées au sein d'une base de données Firebase. Pour enfin, permettre l'affichage des courbes équivalentes sur un écran.

A présent, nous justifions le choix de ces outils constituant les spécifications du cahier des charges.

b. Conception matérielle

- **Le capteur de CO₂**

Gravity Infrared CO₂ Sensor V2.0 est le dernier capteur analogique infrarouge de CO₂ de haute précision inventé par DFRobot⁵. Ce capteur est basé sur la technologie infrarouge non-dispersive (NDIR). Il présente une bonne sélectivité et une dépendance sans oxygène. Avec une plage de mesure efficace de 0 à 5000ppm, ce capteur offre une précision de 50ppm + 3%.

⁵ DFRRobot : Entreprise américaine spécialisée dans la création de robots et le matériel électronique. *Site officiel DFRRobot* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.dfrobot.com>



Figure 3 : Capteur Gravity Infrared CO₂ Sensor V2.0

- La carte microcontrôleur ESP32

Par ailleurs, pour la carte microcontrôleur, une carte ESP32 a été désignée. Factuellement, celle-ci est compatible au réseau Wi-Fi. Ce qui facilitera la lecture et le transfert des données (les concentrations de CO₂) récupérées par le capteur.

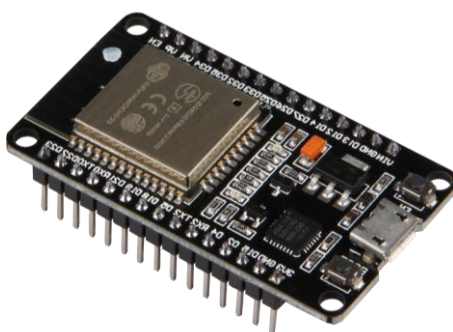


Figure 4 : Carte Microcontrôleur ESP32

c. Conception logicielle

- Arduino

Environnement de développement de microcontrôleurs le plus populaire, Arduino permet de programmer ses propres composants électroniques, soit via ses cartes vendues (type Arduino), soit via les milliers de cartes compatibles avec l'IDE⁶ Arduino, comme la carte ESP32 utilisée dans ce projet.

⁶ IDE : Integrated Development Environment (en anglais). Environnement de développement (en français).



Figure 5 : Logo d'Arduino

De plus, l'IDE Arduino est conçu pour que la programmation des cartes microcontrôleurs soit visuelle, simple et complète à la fois.

- **Firebase**

La plateforme mobile de Google se nomme Firebase. Elle aide à la création de backends évolutifs et efficaces. En d'autres termes, il s'agit d'une plateforme qui procure un développement rapide d'applications mobiles et Web. Nous pouvons ainsi développer des applications Firebase dans des conditions optimales ; d'autant plus que la plateforme offre une solution complète, évolutive et boostée par Google.



Figure 6 : Logo de la plateforme Firebase

Par conséquent, c'est naturellement que le choix s'est porté sur Firebase. Factuellement, la plateforme nous permet non seulement de gérer nos données de CO₂, mais aussi d'héberger notre site internet. Grâce à deux de ses fonctionnalités gratuites, respectivement : Realtime Database et Storage. Storage représente le serveur sécurisé de Firebase géré par Google, au sein duquel notre page Web est hébergée ; entraînant pour les utilisateurs : l'absence de maintenance de serveur ; une garantie de sécurité.

III. TRAVAIL REALISE

1. ETAPE 1 : PARTIE ELECTRONIQUE AVEC ARDUINO

a. Matériel

La première étape du projet a été le montage du matériel électronique comprenant :

- Un capteur CO₂ Gravity Infrared CO₂ Server 1.2
- Une carte électronique ESP32
- Une plaque d'essai
- 10 fils de liaison (de type Dupont)
- 3 résistances
- Des LED (verte, rouge et jaune)
- Un câble micro USB pour l'alimentation électrique

Une fois monté, le dispositif entier est comme suit (image suivante) :

- Le capteur à droite
- La plaque d'essai sur laquelle est insérée la carte ESP32 à gauche
- Le câblage (les LED, les fils de type Dupont et les résistances)

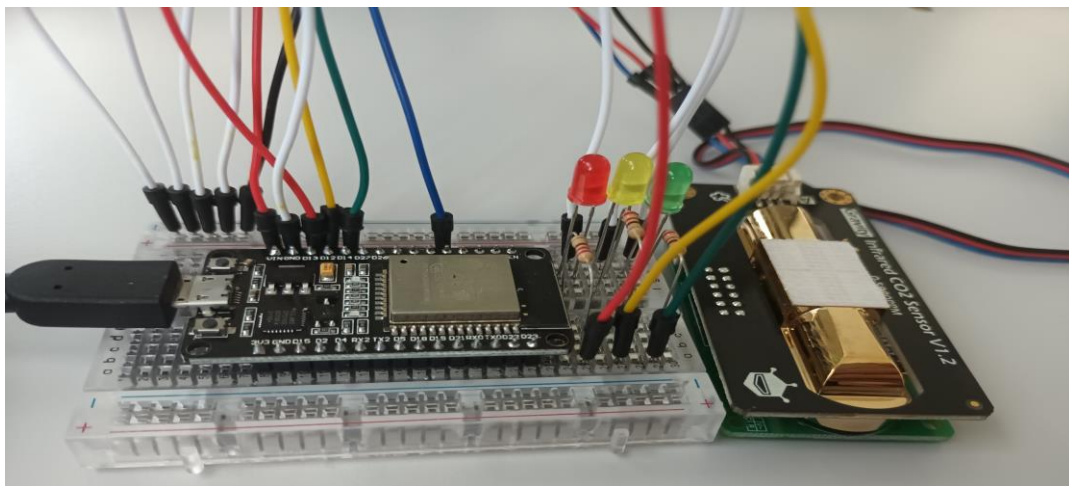


Figure 7 : Le montage électronique terminé

b. Codage

Le montage étant terminé, nous avons codé en langage Arduino le programme permettant de faire fonctionner le capteur. En effet, dans ce code il est question de récupérer la quantité de CO₂ et de tester la valeur. Ainsi, si elle est :

- **< 600 ppm**, la LED verte s'allume. Cela indique que la salle est bien aérée.
- **Entre 600 et 800 ppm**, la LED jaune s'allume.

Le CO₂ commence à s'accumuler dans la salle.

- **> 800 ppm**, la LED rouge s'allume. L'aération devient obligatoire.

```
// Si la concentration est inférieure à 600 => LED verte, tout va bien
if (concentration < 600){
    digitalWrite(ledV,HIGH);
    digitalWrite(ledO,LOW);
    digitalWrite(ledR,LOW);
}
// Si la concentration est inférieure à 800 et supérieure ou égale à 600 => LED jaune, il faut penser à aérer
else if (concentration >= 600 && concentration < 800){
    digitalWrite(ledO,HIGH);
    digitalWrite(ledV,LOW);
    digitalWrite(ledR,LOW);
}
// Si la concentration est supérieure ou égale à 800 => LED rouge, il faut vraiment aérer
else if (concentration >= 800){
    digitalWrite(ledR,HIGH);
    digitalWrite(ledO,LOW);
    digitalWrite(ledV,LOW);
}
```

Figure 8 : Extrait du code en langage Arduino, montrant les conditions de test du CO₂ énoncées en amont

Vous remarquerez que les valeurs à comparer sont différentes, voire inférieures de celles énumérées au point III [ci-dessus](#). Cela résulte de la volonté de prévenir. Nous pensons que des alertes anticipées permettront de ne pas atteindre des quantités de CO₂ trop élevées dans les salles.

c. La mise en situation réelle

Nous avons exécuté le programme et testé notre dispositif dans des situations réelles.

- **Première mise en situation : salle avec 7 personnes**

Analyse de la courbe *Figure 7* :

Sur le graphe suivant, la courbe correspond à la concentration en CO₂ d'une salle avec 7 personnes présentes. En effet, on observe que la quantité de CO₂ oscille entre 400 et 500ppm. Ce qui équivaut à une circulation d'air adéquate. Ensuite, nous constatons une soudaine variation ascendante (zone entourée en rouge) qui équivaut à une forte expiration humaine volontaire à la surface même du capteur. Ceci est orchestré pour attester de l'efficacité du

capteur. Enfin, après quelques millisecondes, la quantité de CO₂ décroît pour retrouver une moyenne entre 400 et 500ppm.

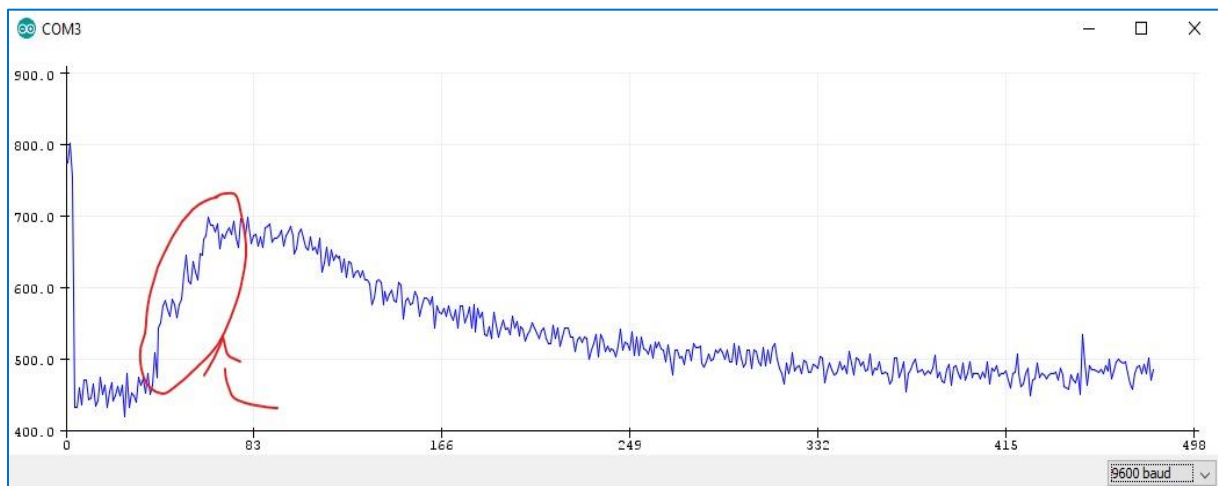


Figure 9 : Premier test réalisé (salle de 7 personnes). En abscisse, le temps en millisecondes et en ordonnée, la concentration de CO₂

- Deuxième mise en situation : salle pleine

Dans une salle de 25 personnes, fenêtres et portes fermées, nous constatons que la quantité de CO₂ oscille entre 1000 et 1250 ppm. Dès lors que la salle a été aérée, la concentration de CO₂ dans la salle baisse, jusqu'à décroître considérablement. Pour enfin revenir à une moyenne de 500 ppm.

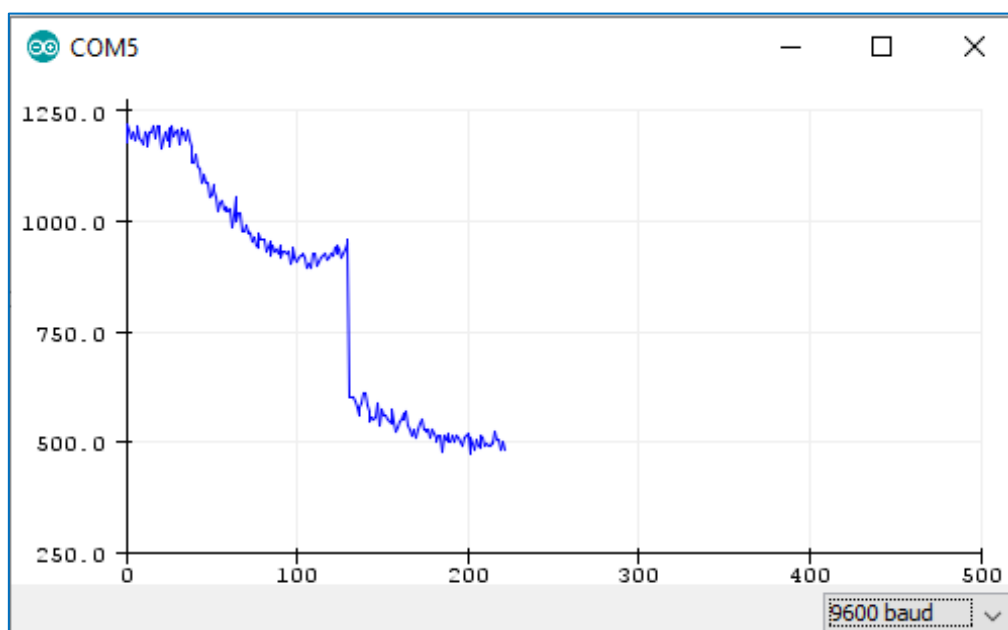


Figure 10 : Deuxième test réalisé (salle de 25 personnes). En abscisse, le temps en millisecondes et en ordonnées la concentration de CO₂

En conclusion, grâce à ce programme Arduino, nous quantifions le taux de CO₂ d'une salle récupéré par le capteur. Par conséquent, on dénote la nécessité d'aérer les pièces compte tenu de la quantité de CO₂ à l'intérieur.

Une fois, les quantités de concentration en CO₂ obtenues, elles doivent pouvoir être transmises. Et ce, grâce au réseau Wi-Fi.

2. ÉTAPE 2 : ÉTABLISSEMENT DE LA CONNEXION WI-FI

Une des particularités de la carte ESP32 réside dans le fait qu'elle est connectable ⁷ au réseau Wi-Fi. L'ESP32 possède 2 modes Wi-Fi possibles : le mode AP (Access Point) et le mode STATION. Avec le deuxième mode, utilisé ici, le module ESP32 se connecte à un point Wi-Fi. L'ESP32 se comporte comme un ordinateur qui serait connecté à une box. Il peut, donc, accéder à Internet.

```
// Wifi infos
const char* ssid = "DEPINFOWIFI2";
const char* password = "depinfowifi2021!";
```

Figure 11 : Extrait de code Arduino - Connexion de la carte ESP32 au répéteur du réseau Wi-Fi de l'UBO

La carte ESP32, connectée au Wi-Fi, transfère désormais les données récupérées qui seront stockées dans la base de données de Firebase.

3. ÉTAPE 3 : CONNEXION A FIREBASE

a. Intégration de Firebase : Base de données Realtime

Premièrement, « Firebase Realtime Database » constitue une base de données NoSQL hébergée dans le cloud de Firebase permettant de stocker et de synchroniser les données entre utilisateurs en temps réel. Factuellement, notre choix de base de données porte sur

⁷ *Librairie Arduino <WiFi.h>* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/wifi/> . Avec cette bibliothèque, vous pouvez instancier Serveurs, Clients et envoyer/recevoir des paquets UDP via Wi-Fi. La carte ESP32 peut se connecter à des réseaux ouverts ou cryptés (WEP, WPA). La bibliothèque peut également gérer le DNS (Systèmes de noms de domaine – en français).

cette dernière car les concentrations de CO₂, obtenues via le capteur, seront stockées continuellement en temps réel au cours d'une journée.

Dès lors, à la suite de la création de notre base de données avec l'outil « Firebase Realtime Database », nous avons établi sa connexion avec la carte ESP32 via son programme Arduino développé en amont. Voici, en aval, quelques extraits phares du code Arduino :

```
//Infos Firebase
#define API_KEY "La_clé_API_WEB"
#define USER_EMAIL "Le_mail_du_propriétaire_du_projet"
#define USER_PASSWORD "Le_mot_de_passe_de_connexion_du_projet_Firebase"
#define DATABASE_URL "Le_lien_d'accès_à_la_base_de_données_créée"
```

Figure 12 : Extrait du code Arduino - Définition des paramètres de connexion à la base de données Firebase

```
// Déclaration des variables Firebase
FirebaseData fbdo;
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;
//Initialisation des variables Firebase
config.api_key = API_KEY;
config.database_url = DATABASE_URL;
auth.user.email = USER_EMAIL;
auth.user.password = USER_PASSWORD;

/*-----*/
Firebase.reconnectWiFi(true);
```

Figure 13 : Extrait du code Arduino - Déclaration et initialisation des variables avec les données de connexion de Firebase

```
/*Début de la connexion*/
Firebase.begin(&config, &auth);
/*Attente de l'établissement effectif de la connexion--*/
Serial.println("Getting User UID");
while ((auth.token.uid) == "") {
    Serial.print('.');
    delay(1000);
}
```

Figure 14 : Extrait du code Arduino - Etablissement de la connexion à la base de données Firebase

En ce qui concerne la récupération de la concentration de CO₂, nous avons procédé comme suit. Pour une « mesure » horaire, le calcul de la moyenne des concentrations de CO₂ est effectué. En effet, toutes les dix minutes, une concentration de CO₂ est relevée. Ainsi, au terme d'une heure, la concentration affichée équivaut à la moyenne des six valeurs récupérées durant l'heure :

Voici l'échelle utilisée « 1 mesure toutes les 10 minutes » représente « 6 mesures par heure ». La somme des 6 mesures est divisée par 6 pour obtenir la moyenne horaire de concentration en CO₂.

b. Le modèle de données

La base de données « Firebase Realtime Database » est une base de données NoSQL de type clé / valeur. Le schéma, à venir, modélise la base de données créée durant le stage. Factuellement, nous avons instancié premièrement 12 clés représentant les salles de classe (« Salle 1.1-A », « Salle 1.1-B », « Salle 1.2 » ...). Ensuite, chacune des salles dispose de 24 mesures horaires de CO₂ (« Mesure 00 », « Mesure 01 », ..., « Mesure 23 »). Pour terminer, pour chaque mesure, nous récupérons les numéros du jour calendaire et du mois, et naturellement l'heure et la concentration de CO₂ relative.

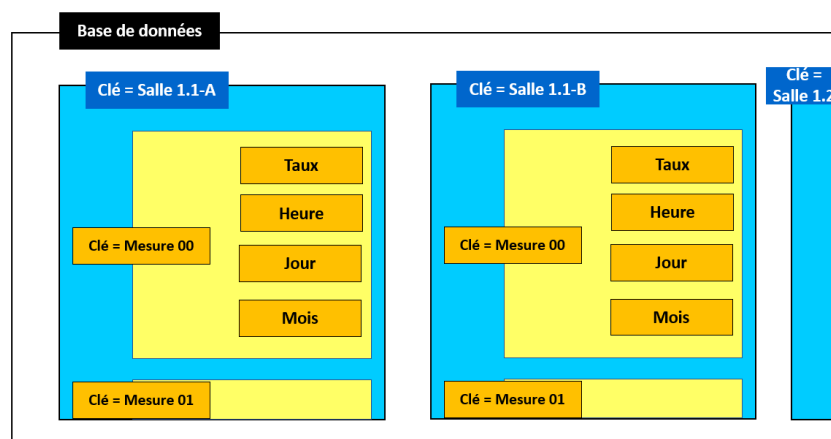


Figure 15 : Modèle de données de la base de données Realtime de Firebase

En outre, l'image ci-après illustre l'interface de la base de données sur Firebase. Nous remarquons qu'il s'agit de la branche correspondant à la salle « Micro 1.1-A » du Département Informatique. Comme sous-branches, nous retrouvons les 24 mesures horaires (les 2 premières figurant uniquement sur l'image). Et chacune des mesures contient ses 4 champs : le jour, le mois, le taux de CO₂ et l'heure (nommée ici time).



Figure 16: Les 2 premières mesures de la salle Micro 1.1-A

Par la suite, une fois les concentrations journalières de CO₂ stockées dans la base de données, elles doivent être affichées sous forme de courbe au travers d’une interface Web.

4. ETAPE 4 : PROGRAMMATION DE L’INTERFACE WEB

Chronologiquement, à ce stade du stage, la réalisation d’une interface Web était de mise. La figure suivante exemplifie la page d’accueil de ladite interface Web⁸.

⁸ Lien d’accès de notre interface Web hébergée sur Firebase (mis à jour à la moindre modification du site) : <https://firebasestorage.googleapis.com/v0/b/stagel3.appspot.com/o/index.html?alt=media&token=b12cdfe3-319d-4f5d-bd7f-8e6404042d15>



Figure 17 : Interface d'accueil du site web pour la visualisation des courbes journalières de CO₂

a. Traçage des courbes

Par ailleurs, la programmation de cette interface a requis l'emploi de 3 langages Web à savoir : HTML5, CSS3, JavaScript8. L'interface servira à observer sous forme de courbes : les quantités de CO₂ de chacune de 12 salles de TP du Département Informatique.

De plus, le traçage des courbes est réalisé avec la balise HTML <canvas>.

```
<canvas id="myChart" width="300" height="100" class="w3-pale-yellow"></canvas>
```

Figure 18 : Extrait de code Web : Déclaration de la balise HTML « Canvas »

Cette balise requiert un code en JavaScript, afin de remplir les valeurs d'abscisses et d'ordonnées. Pour l'axe des abscisses, il était demandé l'affichage des 24 dernières heures à partir de l'heure courante en temps réel.

Pour obtenir cet affichage précis, nous avons procédé comme suit :

```
var int_hours = [-24, -23, -22, -21, -20, -19, -18, -17, -16, -15, -14, -13,
-12, -11, -10, -9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0];
```

Figure 19 : Extrait du code Web : Initialisation de tableau « int_hours »

Le tableau « int_hours » permet d'obtenir les heures. L'heure correspond à un indice du tableau.

```
const labels = [];
```

Figure 20 : Extrait du code Web : Déclaration du tableau « labels »

Le tableau « labels » correspond au tableau stockant les abscisses de la courbe équivalentes aux dernières 24h.

```
var heure = new Date().getHours();
var dif_heure = 24-heure;
```

Figure 21 : Extrait du code web : Déclaration des variables « heure » et « dif_heure »

La variable « dif_heure » représente la différence d'heure entre l'heure courante (récupérée dans la variable « heure ») et minuit. Par exemple, s'il est 11h du matin, on a $\text{dif_heure} = 24 - 11 = 13$.

Cette variable permettra de remplir ainsi, efficacement, le tableau des abscisses.

Dans la première structure de contrôle *for*, la variable « dif_heure » permet de remplir le tableau « labels » avec toutes les valeurs horaires antérieures à minuit (minuit y compris).

```
//variable j : compteur décrémente permettant de parcourir le tableau i
let j=23;
for (let i = 0; i < dif_heure; i++) {
  if(int_hours.indexOf(new Date().getHours()-j)==24){
    labels[i]=0;
  }
  else{
    labels[i]= int_hours.indexOf(new Date().getHours()-j);
  }
  j--;
}
```

Figure 22 : Extrait du code web : 1ère boucle de remplissage du tableau « labels »

Par exemple, s'il est actuellement 10h du matin, le tableau « labels » sera instancié des valeurs allant de 11h du matin (d'hier) à 00h, comme suit :



Figure 23 : Exemple de l'axe des abscisses d'une courbe. La zone rouge correspond au remplissage de la 1ère boucle for

```
//Dans la deuxième boucle for, on continue de remplir le tableau à partir de l'indice = dif_heure jusqu'à 24.
for (let i = dif_heure; i < 24; i++) {

  labels[i]= new Date().getHours()-j;
  j--;
}
```

Figure 24 : Extrait du code web : 2e boucle de remplissage du tableau « labels »

Dans cette deuxième structure de contrôle *for* (Figure 24) on termine le remplissage du tableau « labels » avec les valeurs restantes de l'heure « *dif_heure* » à l'heure courante.

Pour chacune des courbes, nous avons : avec en abscisses les 24 dernières heures et en ordonnées, les taux de CO₂.

b. Modes d'affichage

D'autre part, il est observable dans la Figure 17 précédente, l'affichage des courbes constituant une des spécifications du cahier des charges. Cet affichage est instauré par des boutons en 3 modes distincts classés en colonne : l'affichage en grille, l'affichage « un à un » de chaque courbe, ainsi que l'affichage dynamique. A la pression du bouton d'un mode donné, la(les) courbe(s) correspondante(s) apparaît(apparaissent) et au même moment les boutons relatifs aux deux autres modes d'affichage disparaissent. A l'inverse, à la dépression d'un bouton, la(les) courbe(s) correspondante(s) disparaît(disparaissent) et les boutons relatifs aux autres modes réapparaissent.

• Affichage en grille

Premièrement, on retrouve l'affichage en grille des 12 courbes de salles de TP en cliquant sur le bouton « Mosaïque ». Par souci de clarté, nous observons uniquement les 9 premières courbes sur l'image suivante. Les 3 dernières apparaissent avec le glissement descendant de la barre de défilement.

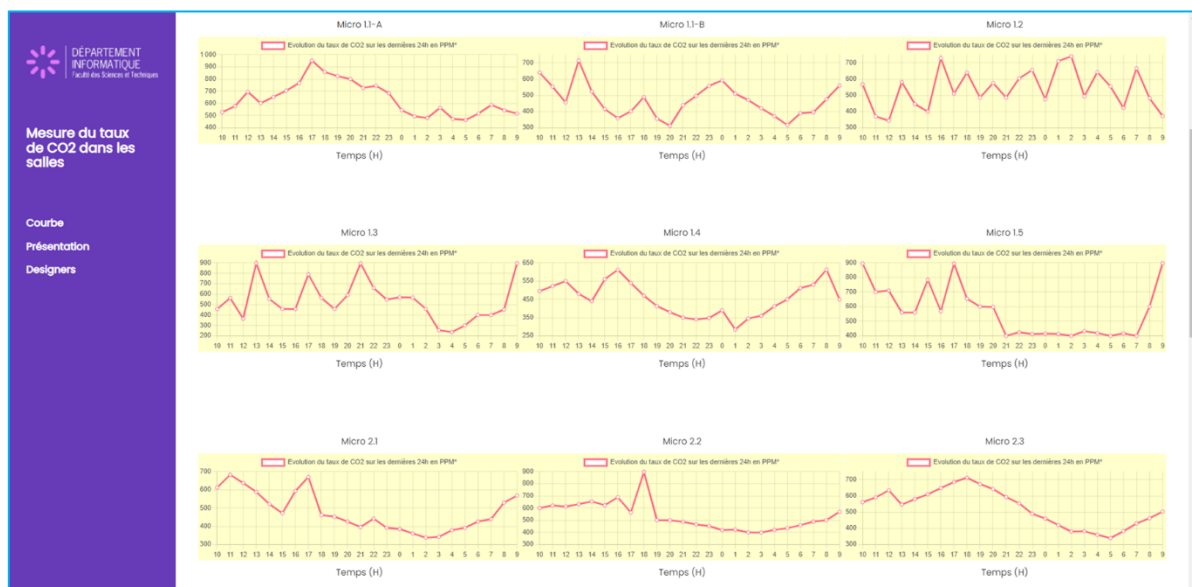


Figure 25 : Affichage de toutes les courbes de concentration de CO₂ des 12 salles de TP sous forme de grille

Cette mosaïque des 12 courbes constitue un aperçu global de la concentration en CO₂ de toutes les salles de TP.

- **Affichage un à un**

En outre, nous avons les 12 boutons (Cf *Figure 17*), un pour chacune des salles de TP. Par exemple sur l'image en aval, nous observons la courbe de la salle Micro 1.1-A, après le clic sur le bouton de ladite salle.

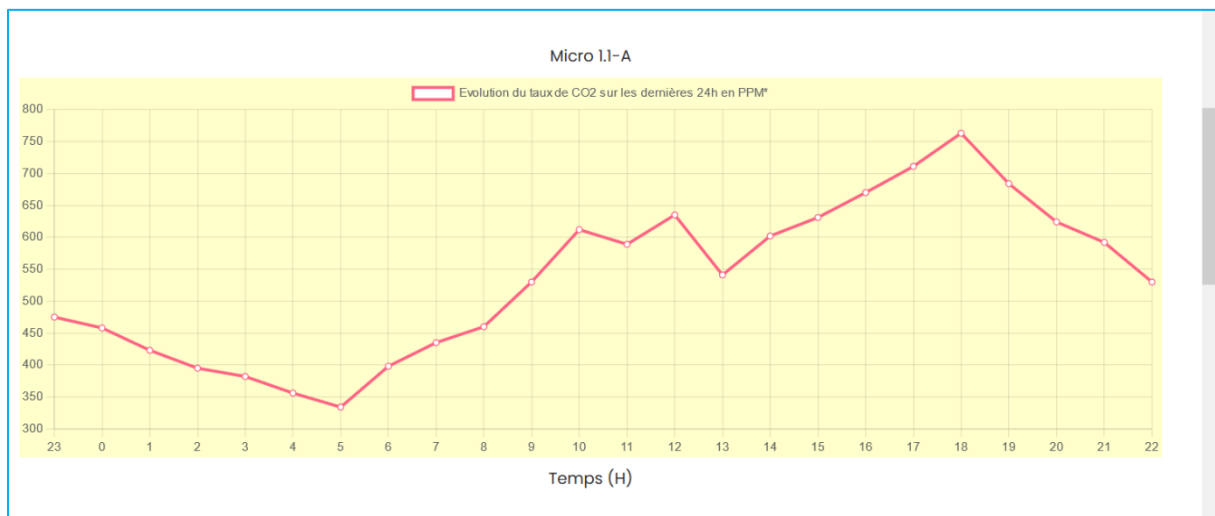


Figure 26 : Affichage de la courbe de la salle Micro 1.1-A

- **Affichage dynamique**

Pour finir, nous retrouvons l'affichage dynamique. Factuellement, après un clic sur le bouton « Affichage dynamique », les 12 courbes s'affichent continuellement. En d'autres termes, les 6 premières courbes apparaissent. Puis 10 secondes plus tard, elles sont remplacées par les 6 autres ; ainsi de suite. Ce dernier mode sera utilisé pour l'affichage des courbes sur écran dans la salle « libre-accès » du Département Informatique.

NB : Les valeurs de CO₂, sur l'axe des ordonnées des courbes sont factices. En effet, après les mises en situation réelle ([ci-dessus](#)) confirmant l'efficacité du dispositif, nous avons saisi des valeurs aléatoires pour pouvoir observer l'affichage des courbes. Tout cela est fait parce que notre stage s'est déroulé en période de partiels et de congés pour la plupart des étudiants du Département Informatique.

Afin de tracer les courbes dans la page Web, l'obtention des concentrations de CO₂ est nécessaire. Cela, par le biais de l'établissement de la connexion entre la page Web et Firebase.

5. ETAPE 5 : CONNEXION ENTRE LA PAGE WEB ET FIREBASE

Dès lors que la page Web est conçue, la connexion entre la page Web et la base de données Firebase est, ensuite, établie. Factuellement, sur le site Firebase se trouve le serveur « Storage » au sein duquel, nous avons stocké notre fichier de code Web.

En effet, l'extrait de code ci-après, en JavaScript, présente l'établissement de cette connexion en 3 parties distinctes :

- Les intégrations « Import » des fonctions et mots clés de la bibliothèque Firebase ; en les extrayant des différents fichiers codés en JavaScript issues de la librairie officielle de Firebase. Celles-ci sont sous la forme :

Import { fonction ou mot-clé } from « fichier JavaScript de la librairie Firebase »

- La Fonction « *FirebaseConfig* », pour configurer la base de données de Firebase dans la page Web avant l'établissement de la connexion
- L'initialisation des variables locales pour le traitement des données

```
<script type="module">

import { initializeApp } from "https://www.gstatic.com/firebasejs/9.7.0/firebase-app.js";
import { getAnalytics } from "https://www.gstatic.com/firebasejs/9.7.0/firebase-analytics.js";
// Import des fonctions du SDK de Firebase utiles
import { getDatabase, ref, onValue, get, child } from "https://www.gstatic.com/firebasejs/9.7.0/firebase-database.js";

const firebaseConfig = {
  apiKey: "AIzaSyCjawaNIIcSvtjdffv0p_iAiS-CdSEhMdQ",
  authDomain: "stagel3.firebaseio.com",
  databaseURL: "https://stagel3-default-rtdb.firebaseio.com",
  projectId: "stagel3",
  storageBucket: "stagel3.appspot.com",
  messagingSenderId: "951938077180",
  appId: "1:951938077180:web:bc572da609915579516279",
  measurementId: "G-410NZWN2MD"
};

// Initialisation de Firebase
const app = initializeApp(firebaseConfig);
const analytics = getAnalytics(app);

const db = getDatabase();
```

Figure 27 : Extrait de code de l'interface Web montrant l'établissement de la connexion entre la base de données Firebase et la page web

Grâce au travail réalisé, les données de la base de données de Firebase ont été extraites. Elles correspondent aux valeurs des concentration de CO₂ stockées. Ces dernières sont ensuite sauvegardées en JavaScript dans un tableau d'entiers. Ces valeurs entières seront utilisées comme les ordonnées des courbes.

```
var tab = [];
var act_time = new Date().getHours();
get((child(ref(db), 'salle 11A'))).then((snapshot) => {
  snapshot.forEach(function(childSnapshot) {
    for(j=0;j<=act_time;j++){ //première boucle
      if (childSnapshot.val().time == j){
        tab[(23-act_time)+j] = childSnapshot.val().taux_co2_moyen;
      }
    }
    for(j=0;j<=23;j++){ //deuxième boucle
      tab[childSnapshot.val().time-act_time-1] = childSnapshot.val().taux_co2_moyen;
    }
  }
})
```

Figure 28 : Code de remplissage du tableau « tab » avec les résultats récupérés de la base de données de Firebase

Voici l'explication du code précédent :

La fonction **get** permet de récupérer les informations des sous-branches **child** de la référence **ref** à notre base de données **db**, et précisément celle de la **salle 11A**. Ces informations sont stockées dans le paramètre **snapshot**. Ainsi, le parcours de la base est réalisé grâce à la fonction **snapshot.forEach**. La première structure de contrôle **for** représente le remplissage du tableau **tab** avec des valeurs de CO₂ des heures allant de minuit (0h) à l'heure courante **act_time**. Ensuite, la seconde structure de contrôle **for** permet de parcourir le reste des valeurs. Autrement dit, toutes celles antérieures à minuit ; allant de « l'heure courante de la veille » à 23h. De là, les 24 mesures de concentration de CO₂ issues de la base de données Firebase, précisément pour la salle Micro 1.1-A, correspondent aux 24 valeurs de concentration horaires de CO₂ utilisées dans le graphe de la courbe de cette même salle.

- Architecture récapitulative :

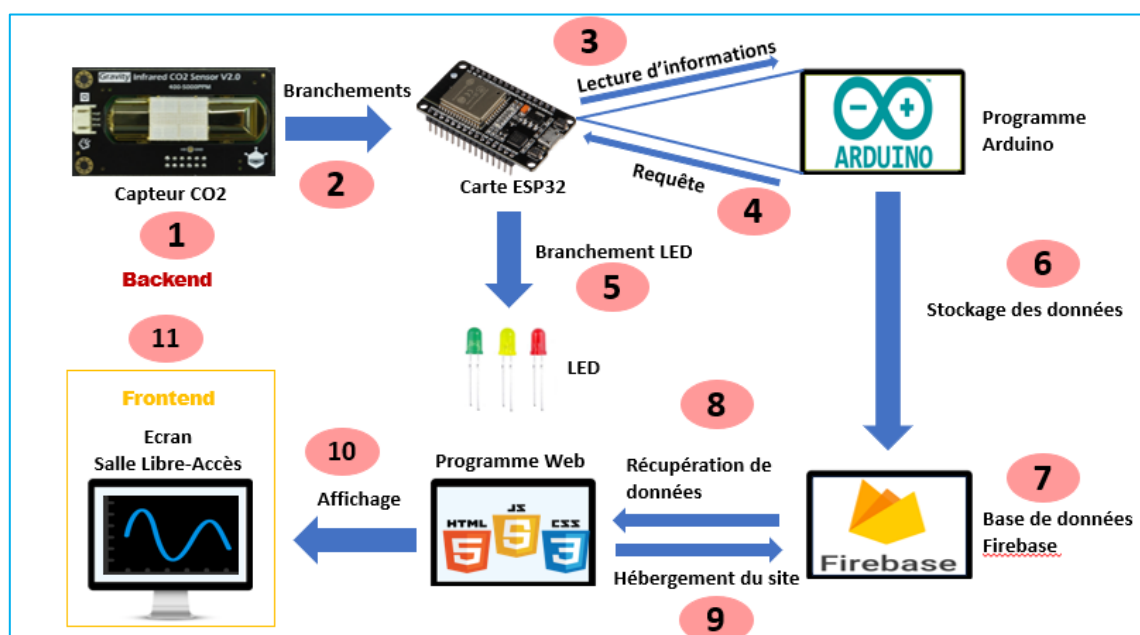


Figure 29 : Architecture de travail du stage

Légende de l'architecture (détail de chaque numéro) :

1. Le capteur de CO₂ récupère la concentration du gaz
2. Grâce au branchement, il envoie les valeurs de CO₂ à la carte ESP32
3. Les valeurs reçues par la carte ESP32 sont lues par le biais du programme Arduino saisi dans la carte ESP32

4. Par rapport à la valeur lue, le programme Arduino renvoie une requête à la carte ESP32 pour allumer la LED correspondante
5. La carte ESP32 allume la LED appropriée
6. Le programme Arduino est connecté à la plateforme Firebase pour stocker les données
7. Les données sont stockées dans la base de données Realtime Database créée
8. L'interface Web conçue est connectée à la plateforme Firebase pour récupérer les concentrations de CO₂ nécessaires au traçage des courbes
9. La page Web est hébergée sur le serveur Storage de Firebase
10. La page Web complétée des courbes peut être affichée
11. Cet affichage est réalisé sur un écran installé dans la salle Libre-Accès du Département Informatique

Au terme du stage, découvrons les apports du stage sur les plans technique, professionnel et personnel.

IV. BILAN DU PROJET

1. APPORT TECHNIQUE

Ce stage a été une réelle aubaine plurielle. Car j'ai réellement baigné au cœur du métier de développeur. En composant avec du Web, de la gestion de bases de données type NoSQL et aussi de la programmation Arduino : plusieurs technologies disparates, mais conjointement liées pour la même finalité.

D'autre part, les technologies matérielles et logicielles employées étaient impraticables pour moi jusqu'alors, sauf les technologies Web. Ces dernières, par le biais du module « Ingénierie des Systèmes d'informations » du semestre 5 de la troisième année de Licence, j'en ai acquis la maîtrise. Ainsi, nous avons conçu l'interface Web sans réelle difficulté.

De plus, je dénote le développement de compétences transversales telle que la mise en pratique de la programmation Arduino que je ne connaissais pas. Quant au montage électronique de la carte ESP32 et des autres composants matériels, ils ont constitué une découverte enrichissante puisque l'électronique demeure non incluse dans le programme classique des enseignements de Licence Informatique. Sans ce stage, je n'aurais certainement pas eu l'occasion d'apprendre sur cette technologie. Par ailleurs, notons également Firebase. Cette plateforme, riche de fonctions de développement, représente pour les programmeurs un outil gratuit et puissant pour le développement Web et mobile. Elle regorge de fonctionnalités utiles et fiables dont son serveur « Storage » et la base de données « Realtime Database » recourus durant le stage.

C'est pourquoi, j'atteste d'ores et déjà avoir gagné en connaissances techniques informatiques. Non seulement dans la mise en pratique de mes connaissances (comme le Web) apprises cette année, mais aussi dans l'adaptation aux nouvelles technologies.

2. PERSPECTIVES PROFESSIONNELLES ET PERSONNELLES

Ces semaines de travail ont conforté mon souhait de poursuite d'études, et plus précisément ma volonté de me spécialiser dans l'ingénierie du développement logiciel. Factuellement, le métier de développeur sous-tend entre autres : la polyvalence technique due à la transversalité des domaines et la capacité d'adaptation. Des aptitudes que j'ai acquises durant ce stage :

- Pour la polyvalence, nous travaillions avec différents langages et technologies simultanément
- Pour l'adaptation, nous employions des technologies auparavant inconnues, qui figuraient comme spécifications du cahier de charges fourni par notre responsable.

D'autre part, j'en ressors avec l'envie de cultiver un caractère autodidacte dans l'innovation informatique, de challenger ma curiosité technique en approfondissant la découverte de la littérature numérique. Par ailleurs, l'informatique étant un domaine en constante évolution, il est primordial de se former au-delà de l'apport académique. Instancier une veille technologique personnelle me conduira assurément à renforcer mes capacités pour ma future profession.

3. TRAVAIL PLANIFIE

Les tâches restantes sont les suivantes :

- La réalisation des 10 montages restants (2 montages sur 12 salles de TP ont été réalisés)
- Le déploiement du code Arduino, en développant tous les programmes Arduino correspondant aux montages restants
- La mise à jour de Firebase avec des nouveaux champs dans la base pour stocker les nouvelles valeurs récupérées
- La mise à jour de l'interface Web pour permettre l'extraction et le stockage des données, afin de tracer les courbes de concentration correspondantes de chaque salle.
- La mise en service de l'écran d'affichage dans la salle libre-service
- L'installation des boîtiers de protection pour les montages réalisés

Par ailleurs, les boîtiers de protection des montages doivent être placés à des endroits stratégiques. En effet, la densité⁹ du CO₂ excède celle l'air. Elle influe, par conséquent, sur le positionnement des boîtiers. Ces derniers ne doivent pas être fixés en hauteur (comme sur le plafond par exemple) ; le dispositif serait inefficace. Car la réelle concentration ne pourra être correctement décelée par le capteur. Cependant, un emplacement à mi-hauteur, sur une table par exemple, facilitera la détection du CO₂. Puisque le capteur analysera plus rapidement les quantités de CO₂ qui seront expirées par les occupants des salles.

De plus, le capteur doit être placé horizontalement, comme suit :

⁹ Densité du CO₂ supérieure à celle de l'air [en ligne]. Disponible sur : <https://www.lenntech.fr/dioxyde-carbone.htm>

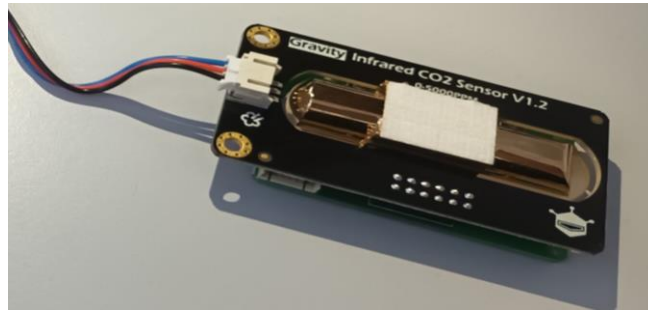


Figure 30 : Position adéquate du capteur dans son boîtier de protection : A l'horizontal, le rectangle blanc vers le haut

Factuellement, les molécules du CO_2 , étant plus denses que l'air, redescendent vers le sol une fois émises. Ainsi, elles retomberont à la surface du capteur, sur le rectangle blanc (sur l'image) qui protège l'émetteur d'infrarouge, détecteur de la concentration de CO_2 . De ce fait, l'emplacement idéal des capteurs dans les boîtiers sera à l'horizontal, le rectangle blanc fixé vers le haut et positionné au niveau de l'ouverture du boîtier, qui occasionne l'entrée du CO_2 .

CONCLUSION

In fine, dans l'objectif de maîtriser le renouvellement de l'air dans les salles, le Département Informatique de l'Université de Bretagne Occidentale a opté de s'équiper de capteurs de CO₂. Des capteurs inclus dans un dispositif permettant l'examen des concentrations en dioxyde de carbone de chaque salle. Si cette concentration dépasse les 800 ppm, la LED rouge s'allumera en guise de signal. Il ne restera plus qu'à aérer la pièce pour retrouver un taux normal. Tel a été le leitmotiv de mon stage.

Par ailleurs, à l'issue de ces 8 semaines de travail, nous avons pu réaliser toutes les missions demandées initialement. Monsieur Pascal BALLET les présentant progressivement.

D'autre part, j'aimerais que le projet soit déployé à l'échelle de l'université : dans les amphithéâtres et les salles de classe de toutes les facultés de l'UBO. Afin d'être bénéfique au plus grand nombre. Cependant, pour un souci de maintenance, ce sera impossible parce qu'elle sera effectuée par les professeurs mêmes du Département Informatique.

Sur le plan humain, j'ai développé mon esprit d'équipe. Avec Louis, nous avons su trouver une harmonie de travail. Une écoute active et une bonne communication ont été les clés pour parvenir à la parfaite compréhension de nos missions et à la qualité du travail rendu. En sus, rester efficace en autonomie était de rigueur pour chacun d'entre nous. Afin d'apporter un regard objectivement critique sur le travail que pouvait proposer notre binôme. D'autant plus qu'il a été blessé durant quelques jours, il m'a fallu continuer de réaliser certaines tâches et lui faire un retour à son rétablissement. Autant de qualités accrues en capacité durant ces huit semaines de travail.

A ceci s'adjoint l'obligation de respecter le cahier de charges. A l'instar de Firebase, nous aurions pu utiliser un autre langage pour le stockage des données tel que SQL, amplement appris durant la Licence Informatique. Cependant, Firebase était une spécifications du cahier de charges à laquelle nous étions contraints. Cela a favorisé l'élargissement de notre culture informatique. A 11 jours de la fin définitive, il nous reste à réaliser au maximum les tâches restantes exposées en amont.

Pour terminer, au travers de ce stage, ma volonté de devenir ingénieure en développement logiciel a été confortée. La polyvalence, le travail d'équipe, la veille technologique, le respect des contraintes (les besoins client du cahier de charges), l'adaptation à une nouvelle technologie, la curiosité d'apprentissage : toutes des qualités acquises ces deux derniers mois. Des qualités qui seront nécessaires, assurément, dans l'exercice de ma future profession. Sans oublier que je mesure grandement, aujourd'hui, l'utilité liée à l'aération de nos espaces intérieurs : notre santé en dépend.

ANNEXE 1 : TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Logo de l'Université -----	4
Figure 2 : Liste des présidents de l'UBO jusqu'en 2016 -----	4
Figure 3 : Capteur Gravity Infrared CO ₂ Sensor V2.0-----	8
Figure 4 : Carte Microcontrôleur ESP32-----	8
Figure 5 : Logo d'Arduino -----	9
Figure 6 : Logo de la plateforme Firebase -----	9
Figure 7 : Le montage électronique terminé-----	10
Figure 8 : Extrait du code en langage Arduino, montrant les conditions de test du CO ₂ énoncées en amont-----	11
Figure 9 : Premier test réalisé (salle de 7 personnes). En abscisse, le temps en millisecondes et en ordonnée, la concentration de CO ₂ -----	12
Figure 10 : Deuxième test réalisé (salle de 25 personnes). En abscisse, le temps en millisecondes et en ordonnées la concentration de CO ₂ -----	12
Figure 11 : Extrait de code Arduino - Connexion de la carte ESP32 au répéteur du réseau Wi-Fi de l'UBO-----	13
Figure 12 : Extrait du code Arduino - Définition des paramètres de connexion à la base de données Firebase -----	14
Figure 13 : Extrait du code Arduino - Déclaration et initialisation des variables avec les données de connexion de Firebase-----	14
Figure 14 : Extrait du code Arduino - Etablissement de la connexion à la base de données Firebase- 14	14
Figure 15 : Modèle de données de la base de données Realtime de Firebase -----	15
Figure 16: Les 2 premières mesures de la salle Micro 1.1-A-----	16
Figure 17 : Interface d'accueil du site web pour la visualisation des courbes journalières de CO ₂ ----	17
Figure 18 : Extrait de code Web : Déclaration de la balise HTML « Canvas » -----	17
Figure 19 : Extrait du code Web : Initialisation de tableau « int_hours »-----	17
Figure 20 : Extrait du code Web : Déclaration du tableau « labels »-----	18
Figure 21 : Extrait du code web : Déclaration des variables « heure » et « dif_heure » -----	18
Figure 22 : Extrait du code web : 1ère boucle de remplissage du tableau « labels » -----	18
Figure 23 : Exemple de l'axe des abscisses d'une courbe. La zone rouge correspond au remplissage de la 1ère boucle for -----	18
Figure 24 : Extrait du code web : 2e boucle de remplissage du tableau « labels » -----	18
Figure 25 : Affichage de toutes les courbes de concentration de CO ₂ des 12 salles de TP sous forme de grille-----	19
Figure 26 : Affichage de la courbe de la salle Micro 1.1-A-----	20
Figure 27 : Extrait de code de l'interface Web montrant l'établissement de la connexion entre la base de données Firebase et la page web-----	21
Figure 28 : Code de remplissage du tableau « tab » avec les résultats récupérés de la base de données de Firebase -----	22
Figure 29 : Architecture de travail du stage -----	22
Figure 30 : Position adéquate du capteur dans son boîtier de protection : A l'horizontal, le rectangle blanc vers le haut -----	26

ANNEXE 2 : REFERENCES (WEBOGRAPHIE / BIBLIOGRAPHIE)

(Dans l'ordre d'apparition dans le document)

Santé publique France, *Santé publique France, qui sommes-nous ?* [en ligne][publié le 21 juin 2019]. Disponible sur : <https://www.santepubliquefrance.fr/a-propos/sante-publique-france-qui-sommes-nous>

UBO, *Tous Les logos* [en ligne]. Disponible sur : [Logos \(univ-brest.fr\)](https://www.univ-brest.fr/logos)

UBO, *La charte graphique* [en ligne] [publiée en 2019]. Disponible sur : [78911 CHARTE-UBO-2019.pdf \(univ-brest.fr\)](https://www.univ-brest.fr/78911-CHARTE-UBO-2019.pdf)

UBO, *L'équipe de l'UBO* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.univ-brest.fr/menu/universite/Fonctionnement/La+pr%C3%A9sidence+et+son+%C3%A9quipe/>

Wikipédia, *Université de Bretagne-Occidentale* [modifié le 29 septembre 2020]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Universit%C3%A9_de_Bretagne-Occidentale

Arduino, *Documentation officielle du langage* [en ligne]. Disponible sur : <https://docs.arduino.cc/>

Randomnertutorials, *Installing the ESP32 Board in Arduino IDE* [en ligne]. Disponible sur : <https://randomnertutorials.com/installing-the-esp32-board-in-arduino-ide-windows-instructions/>

Site Sciences du numérique, *Branchement LED clignotante* [en ligne]. Disponible sur : <https://sciences-du-numerique.fr/projet-arduino-pour-la-specialite-isn/led-clignotante/7>

Sigmaelectronica, *Gravity : Analog Infrared CO₂ Sensor For Arduino SKU* [en ligne][publié le 14 février 2018]. Disponible sur : https://www.sigmaelectronica.net/wp-content/uploads/2018/05/SEN0219_sensor-CO2.pdf

Site Firebase[en ligne]. Disponible sur : <https://console.firebase.google.com/>

Junto, *A quoi sert Firebase, la plateforme mobile de Google?* [en ligne][mis à jour le 28/04/2020]. Disponible sur : <https://junto.fr/blog/firebase/>

Firebase , *Documentation officielle* [en ligne]. Disponible sur : <https://firebase.google.com/docs>

Blog Arduino Blaise Pascal, *Gestion du temps Serveur NTP*[en ligne]. Disponible sur : <https://arduino.blaisepascal.fr/gestion-du-temps/>

W3School, *W3.CSS Colors* [en ligne]. Disponible sur : https://www.w3schools.com/w3css/w3css_colors.asp

Firebase, *Référence de l'interface de ligne de commande de Firebase* [en ligne]. Disponible sur : <https://firebase.google.com/docs/cli#windows-standalone-binary>

Geeksforgeeks, *Create a website using HTML, CSS, JavaScript* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.geeksforgeeks.org/create-a-website-using-html-css-and-javascript-that-stores-data-in-firebase/>

Lien YouTube de la vidéo récapitulative de tout notre travail [en ligne]. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=nMzxpheF2LE>

<p align="center">« LE DÉVELOPPEMENT D’UNE INTERFACE WEB DE MONITORING DE CAPTEURS CO₂ »</p>
<p>Par Gloire BAYOUNDOULA</p> <p>Sous la Direction de Pascal BALLE</p>
<p>RÉSUMÉ : Basé sur l’importance de l’aération de l’intérieur des salles de TP, ce stage met en exergue une question d’urgence sanitaire. Car il occasionnera le contrôle de la qualité de l’air donc, un problème de santé publique. Ce rapport évoque le déroulement du stage, et plus précisément les phases clés détaillées. Ainsi, vous découvrirez tous les outils logiciels, le matériel et leur usage bénéfique durant ce stage. C’est une initiative du Département Informatique de l’Université de Bretagne Occidentale d’équiper ses salles de TP de capteurs de CO₂, dans l’optique de contrôler la concentration du dioxyde de carbone, impliquant aussi celles des autres gaz et virus présents dans l’air, nocifs pour la santé.</p>
<p>MOTS CLÉS : capteurs de dioxyde de carbone (CO₂), Département Informatique (UBO), Arduino, Firebase, langages de programmation Web</p>
<p>SUMMARY: Based on the importance of ventilation of the interior of the PT rooms, this internship highlights a health emergency issue. Because it will spark the control of the air quality therefore, a public health problem. This report introduces the conduct of the course, and more specifically the key detailed phases. Thus, you will discover all the software tools, hardware, and their beneficial use during this internship. It is an initiative of the Computer Department of the University of Western Brittany to equip its TP rooms with CO₂ sensors, to control the concentration of carbon dioxide, also involving those of other gases and viruses in the air, harmful to health.</p>
<p>KEY WORDS: carbon dioxide sensor, Computer Department, Arduino, Firebase, web programming languages</p>