



# Rapport Varroa Killer

---

Traitement par Co2

Projet Electronique 2022-2023

Par Maxime Frantzen

## Table des matières

1	Introduction .....	4
1.1	Varroa Destructor .....	4
1.1.1	Présentation et histoire .....	4
1.1.2	Reproduction.....	4
1.1.3	Impact sur la population des abeilles .....	5
1.1.4	Traitements actuels.....	5
1.1.5	Un nouvel espoir ? .....	5
1.2	Objectif et plan.....	6
1.3	Contraintes.....	6
1.4	Etat du projet initial .....	6
1.5	Architecture de la solution.....	6
2	Solution technique .....	7
2.1	Hardware.....	7
2.1.1	Circuit imprimé.....	7
2.1.2	Capteurs Co2 CCS811.....	7
2.1.3	Lecteur de carte SD .....	9
2.1.4	Commande d'alimentation des capteurs.....	9
2.2	Software .....	10
2.2.1	Préréglages Arduino.....	10
2.2.2	Objets et librairie d'intérêt .....	10
2.2.3	Mise en œuvre d'un capteur.....	10
2.2.4	Mise en œuvre de deux capteurs .....	10
2.2.5	Mise en œuvre des trois capteurs .....	11
2.2.6	Extraction des données de mesures .....	11
2.2.7	Structure du code.....	11
2.3	Erreurs et retards .....	13
2.3.1	Problème d'alimentation entre la carte et le port USB .....	13
2.3.2	Oublie du fonctionnement du circuit imprimé .....	13
2.3.3	Conditions de travail .....	13
3	Mesures.....	14
3.1	Première mesure dans le rucher.....	14
3.2	Seconde mesure dans le rucher.....	15
3.3	Mesure de vérification SODASTREAM .....	16
3.4	Mesure d'étalonnage .....	18
4	Conclusion .....	19

5	Sources .....	20
6	Annexes .....	21
6.1	TVOC Mesure n°1 .....	21
6.2	TVOC Mesure n°2 .....	21
6.3	TVOC Mesure SODASTREAM .....	22
6.4	Schéma de câblage.....	23

## Table des figures

Figure 1	Femelle Varroa Adulte .....	4
Figure 2	Illustration de la reproduction des varroas.....	4
Figure 3	Variation de la population d'abeilles et de varroa dans une colonie .....	5
Figure 4	Architecture de la solution.....	6
Figure 5	Schéma de routage de notre système de mesure .....	7
Figure 6	Extrait d'un plan de fabrication de cadre de rucher avec symbolisation du positionnement des capteurs .....	7
Figure 7	Câblage général d'un capteur de CO2.....	8
Figure 9	Câblage de lecteur de carte SD .....	9
Figure 10	Schéma de commande d'alimentation des capteurs.....	9
Figure 11	Graphique concentration de Co2 en fonction du temps mesure n°1 .....	14
Figure 12	Graphique concentration de Co2 en fonction du temps mesure n°2 .....	15
Figure 13	Banc d'essais de la mesure SODASTREAM.....	16
Figure 14	Graphique concentration de Co2 en fonction du temps mesure n°3 .....	17
Figure 15	Enregistrement d'essai du système mode 1s .....	18
Figure 16	Enregistrement d'essai du système mode 10s .....	18

# 1 Introduction

## 1.1 Varroa Destructor

### 1.1.1 Présentation et histoire

Le varroa (*Varroa Destructor* de la famille des *Varroidae*) est un parasite extrêmement dérangeant pour les apiculteurs. Originaire d'Asie, il vivait en symbiose avec les espèces d'abeilles asiatiques. Cependant, avec l'essor de la mondialisation, des essaims asiatiques ont été importés afin d'augmenter la production. Ainsi le parasite est entré en contact avec des abeilles européennes.



Figure 1 Femelle Varroa Adulte

### 1.1.2 Reproduction

Les varroas ont une méthode de reproduction particulière. Une femelle vient se loger dans une cellule d'un couvain avant sa fermeture. Une fois fermée, elle y pond ses œufs et vient y mourir. Sa progéniture va alors pouvoir se développer et se nourrir de la larve d'abeille en développement. Lors l'éclosion de sa cellule, l'abeille emporte avec elle au moins une femelle Varroa capable de se reproduire. Ci-après une illustration de la reproduction du varroa.



Figure 2 Illustration de la reproduction des varroas

### 1.1.3 Impact sur la population des abeilles

La reproduction des Varroa est exponentielle et suit le cycle de reproduction des abeilles. Lorsqu'une certaine population est atteinte, les jeunes abeilles naissent amorphes ou trop faibles pour les tâches d'ouvrières. De ce fait, la colonie perd en productivité et en population puis finit par s'éteindre si rien n'est fait.

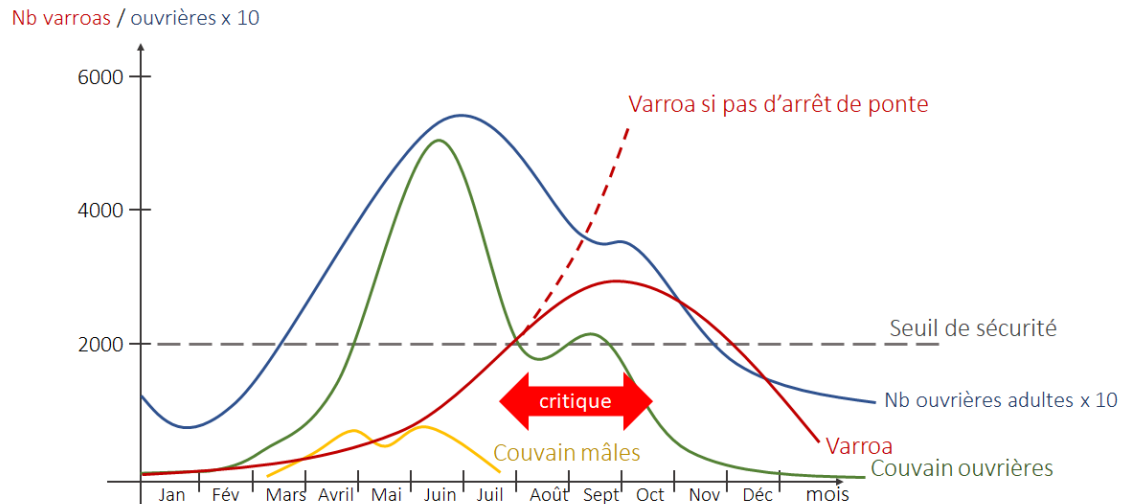


Figure 3 Variation de la population d'abeilles et de varroa dans une colonie

Une colonie d'abeille infectée et non traitée a de forte chance de ne pas survivre lors la prochaine saison. Le traitement de ce parasite est donc d'une importance capitale pour le maintien de la population des *Apis mellifera*. Dans les enjeux actuels de maintien de la production mondiale de nourriture, la sauvegarde des principaux insectes pollinisateurs doit être une priorité.

### 1.1.4 Traitements actuels

Les traitements actuels contre le *Varroa Destructor* sont principalement chimiques, ce qui empêche les apiculteurs de commercialiser leurs miels sous un label BIO. Cependant, il existe des méthodes alternatives, correspondant aux normes des labels biologiques, on peut citer les traitements :

- Thymol (molécule présente dans le Thym) ;
- Acide formique ;
- Acide oxalique ;
- Thermique ;
- Mécanique.

Nous ne nous étendrons pas sur les différentes méthodes évoquées ci-dessus, ce n'est pas le but du présent document.

### 1.1.5 Un nouvel espoir ?

Nous savons que les *Varroa Destructor* ne survivent pas à une exposition prolongée à la chaleur. Par analogie, ils ne doivent pas apprécier une exposition prolongée à un environnement saturé en Co2. Le traitement expérimental vise à saturer la ruche en Co2 à un taux et pendant un temps qui seront définis empiriquement. Pour finir, la solution doit être pratique pour l'apiculteur. Le transport d'une bouteille de gaz de 25kg pour traiter une ruche, par exemple, n'est pas envisageable.

## 1.2 Objectif et plan

L'objectif de ce projet est d'expérimenter une méthode de traitement par Co<sub>2</sub>. La validation de cette méthode se traduit par :

- Évaluer la faisabilité du maintien d'un taux constant de Co<sub>2</sub>, et ce, à tous les niveaux du rucher.
- Mesurer l'impact du Co<sub>2</sub> sur les Varroa et les abeilles (cette partie est confiée au groupe de Léo LECUIVRE et Nans COSTE—FAIG et ne sera donc pas traitée dans ce document).

Pour déterminer la viabilité du traitement il nous faut :

- Mettre en œuvre des capteurs Co<sub>2</sub> ;
- Récolter les données Co<sub>2</sub> ;
- Extraire les données pour analyse ;
- Mettre en place plusieurs test validant la méthode de traitement ;
- Proposer et produire un système de régulation du flux de Co<sub>2</sub> ;
- Mise en place d'une plus grande batterie de test sur plusieurs échantillons de cheptels afin de valider la méthode de traitement.

## 1.3 Contraintes

Les seuls composants imposés pour ce projet sont le microcontrôleur ESP32 et le capteur de Co<sub>2</sub> CCS811 de la marque SparkFun. J'ai choisi de programmer l'ensemble des codes du projet sur l'IDE Arduino.

## 1.4 Etat du projet initial

La carte électronique est produite et fonctionnel mais certains composant n'ont pas encore été intégrés comme :

- Les 3 capteurs CCS811 ;
- Le lecteur de carte SD ;
- Le capteur de son ;
- Le microphone ;
- La puce de traitement LORA ;
- Le bornier d'alimentation externe.

Dans les paragraphes suivants ne seront présentés que les composants utilisés et rajoutés pour réaliser l'objectif énoncé plus haut.

## 1.5 Architecture de la solution

Ci-dessous, j'ai représenté les 3 fonctions de la solution proposée et les composants qui les réalisent.

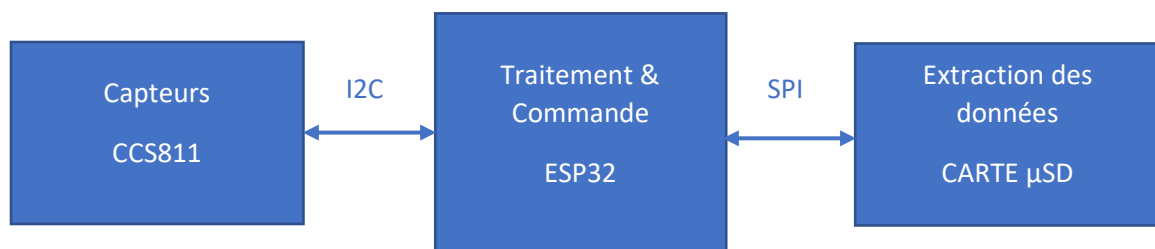


Figure 4 Architecture de la solution

## 2 Solution technique

### 2.1 Hardware

#### 2.1.1 Circuit imprimé

La partie hardware est composée d'une carte réalisée par M.PETER qui est conçue pour s'adapter à un cadre de rucher. Ci-dessous, le schéma de routage. Ce circuit imprimé est fourni avec une carte d'interface USB/ESP32. Le schéma électrique est en annexe (cf.6.4).

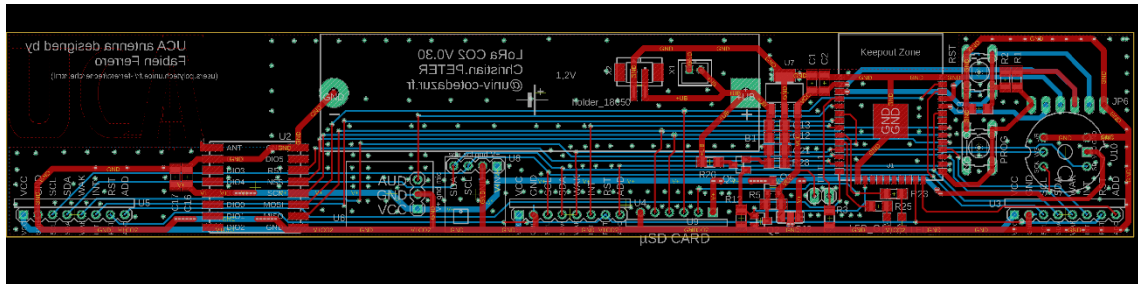


Figure 5 Schéma de routage de notre système de mesure

#### 2.1.2 Capteurs Co2 CCS811

Trois capteurs de Co2 sont imposés afin de capter les variations du taux de Co2 dans la ruche. En effet, le Co2 étant l'un des composants les plus lourds de l'air ambiant, il a tendance à s'amasser au niveau du sol. Les trois capteurs sont donc disposés sur trois niveaux (cf. Figure 6).

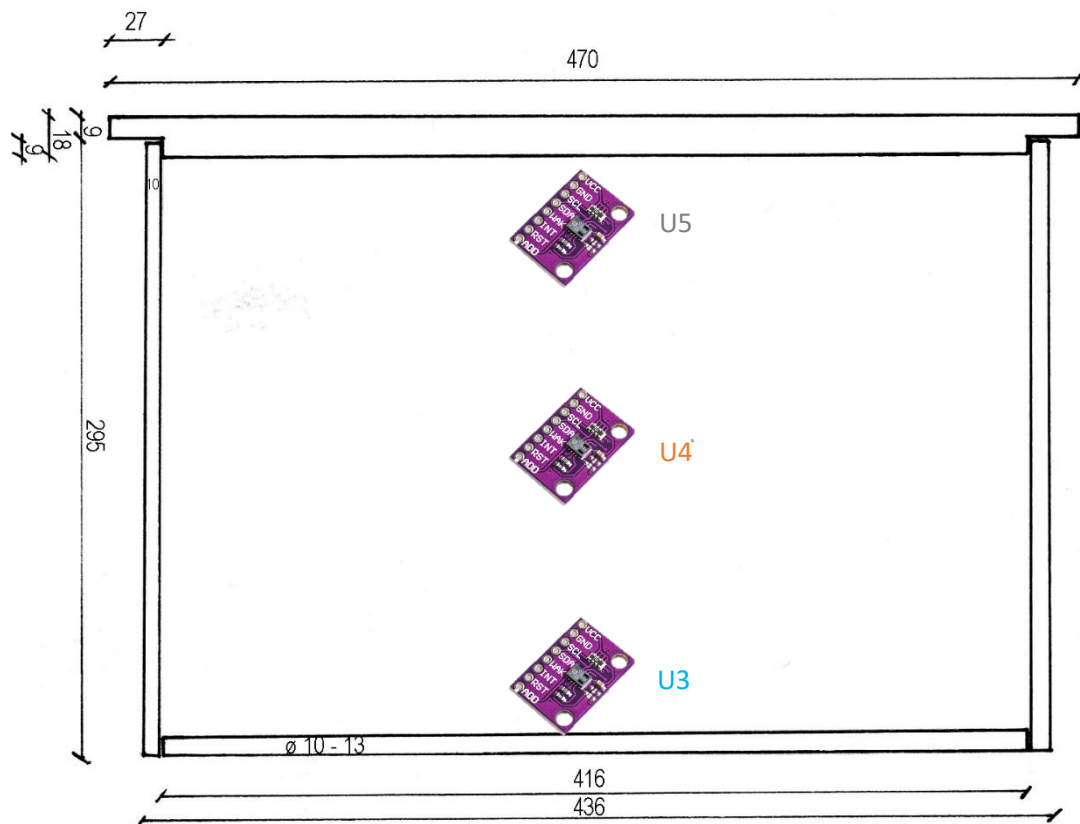


Figure 6 Extrait d'un plan de fabrication de cadre de rucher avec symbolisation du positionnement des capteurs

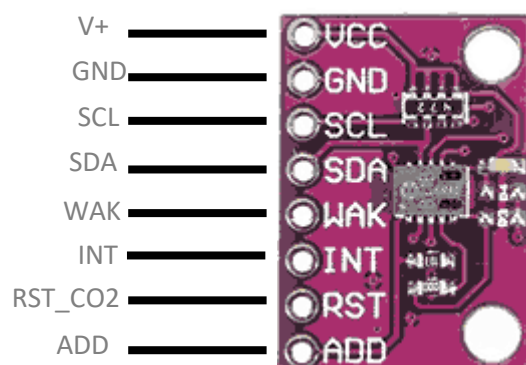
Les capteurs CCS811 sont capables de mesurer le taux de Co2 en ppm et le TVOC ou COVT (Composés Organiques Volatils Totaux) en ppb. Nous nous intéresserons à ces deux valeurs lors de nos différentes mesures.

Les capteurs de Co2 sont des CCS811 de la marque SparkFun. Ceux-ci sont fournis avec une librairie permettant une mise en œuvre rapide. Plusieurs modes de mesure sont disponibles, influençant le pas de mesure :

- Continue ;
- 250ms ;
- 1s ;
- 10s ;
- 60s.

Pour nos mesures, M.PETER a fixé le mode 10s. Une mesure plus fréquente n'aurait pas vraiment de sens. En effet, le but du traitement est de saturer le rucher sur un temps long (1 heure par exemple).

Ci-après le câblage d'un capteur CCS811 :



*Figure 7 Câblage général d'un capteur de CO2*

Les broches VCC & GND servent à l'alimentation du capteur. Les broches SCL et SDA sont les broches servant à la communication par le protocole I2C. La broche WAK permet de mettre en sommeil le capteur, en désactivant ses composants de mesure et d'analyse. La broche INT nous renvoie une valeur booléenne, qui passe vrai lorsque le capteur a attendu le pas de temps donné par le mode choisi (voir ci-dessus). La broche RST permet, comme son nom l'indique, de remettre à zéro les registres du capteur. La broche ADD permet de choisir entre les deux valeurs d'adresses proposé par le constructeur.



### 2.1.3 Lecteur de carte SD

Afin d'extraire les données de mesures de la carte, plusieurs solutions ont été envisagées. La solution de la carte SD a finalement été retenue. Simple et fiable, l'écriture sur la carte SD est assistée par beaucoup de librairie (cf. 2.2.2). Le lecteur de  $\mu$ SD fonctionne en SPI.

Ci-dessous le câblage du lecteur de carte SD.

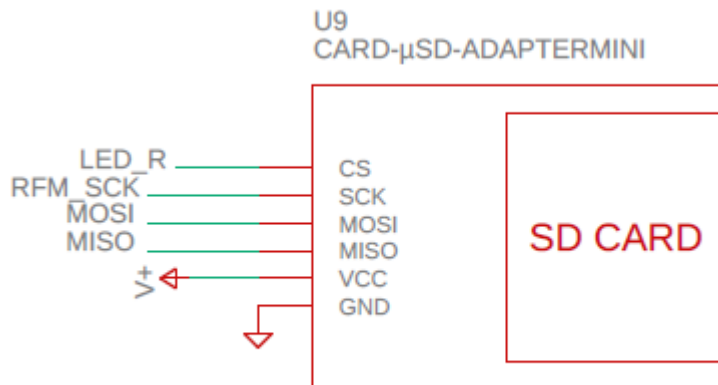


Figure 8 Câblage de lecteur de carte SD

### 2.1.4 Commande d'alimentation des capteurs

Un système important de la carte est la commande d'alimentation des capteurs. Celle-ci permet de mettre hors tension tous les capteurs de la carte dans l'optique d'économiser de l'énergie. Notre besoin ne nous demande pas de mesure en continue. En effet, les taux de  $\text{CO}_2$  qui nous intéressent sont présents seulement lors de la phase de traitement des *Varroa Destructor*.

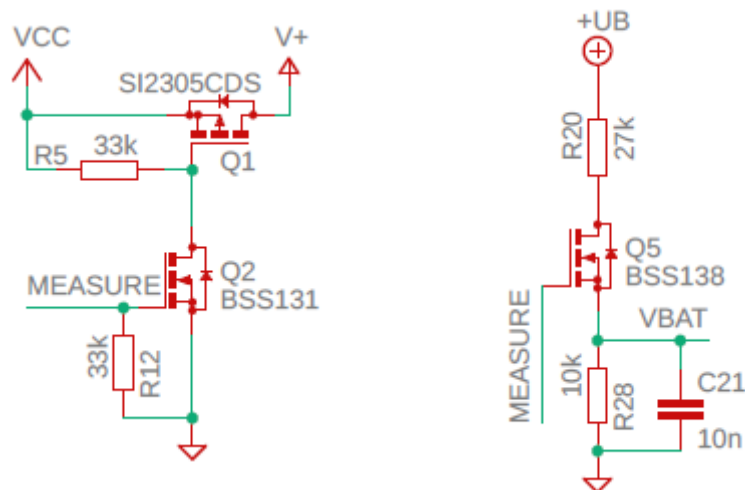


Figure 9 Schéma de commande d'alimentation des capteurs

Cette commande m'a causé quelques torts lors du développement du programme de récupération du taux de  $\text{CO}_2$ . Les causes sont plus détaillées dans la partie 2.3 Erreurs et retards.

## 2.2 Software

Le développement s'est fait avec une méthode de partitionnement des programmes. Celle-ci se base sur l'architecture de notre solution (cf. 1.5). On isole chaque fonction en rédigeant un code testant son fonctionnement. Par la suite, on vient intégrer toutes nos fonctions dans un programme principal. Ainsi, si celui-ci vient à dysfonctionner, on peut tester séparément toutes nos briques systèmes pour discriminer plus facilement le problème.

### 2.2.1 Préréglages Arduino

Nous utilisons le software Arduino, cependant celui-ci n'est pas livré avec les modules et librairies pour fonctionner avec un ESP32. Un ajout a donc été nécessaire.

De plus, mon ordinateur portable fonctionne sur KUbuntu 22.04 LTS. Cette particularité me permet une gestion plus fine de mes ports USB de sortie et de meilleures capacités de communication avec l'ESP32.

### 2.2.2 Objets et librairie d'intérêt

#### 2.2.2.1 Wire

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/wire/>

Nécessaire pour la communication I2C avec les capteurs CCS811.

#### 2.2.2.2 SparkFun CCS811

Comme son nom l'indique, cette librairie facilite grandement la récupération des données et la gestion de la mise en sommeil des capteurs.

[https://github.com/sparkfun/SparkFun\\_CCS811\\_Arduino\\_Library](https://github.com/sparkfun/SparkFun_CCS811_Arduino_Library)

#### 2.2.2.3 SD, FS, SPI

La librairie SD gère l'écriture et la communication avec la carte SD. Elle doit cependant être accompagnée de deux librairies essentielles à son bon fonctionnement. La librairie FS permet de construire une arborescence et un FileSystem. On peut ainsi ordonner nos mesures. De plus, on pourrait stocker un backup sur la mémoire de l'ESP32. Pour finir, la librairie SPI se doit d'être intégrée. En effet, l'ESP communique en SPI avec le lecteur de carte.

<https://github.com/arduino-libraries/SD>

<https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/cores/esp8266/FS.h>

<https://github.com/PaulStoffregen/SPI>

### 2.2.3 Mise en œuvre d'un capteur

Cette partie a été la plus compliquée à mes yeux. En effet, beaucoup de connaissances étaient nécessaires pour réaliser la première mise en œuvre. Une bonne connaissance du circuit imprimé, des capteurs et des librairies sont nécessaires. Tout cela demande du temps et de la pratique. Couplé avec les difficultés évoquées dans le paragraphe 2.3 Erreurs et retards, la mise en œuvre du premier capteur a pris plus de temps que je ne l'imaginais.

### 2.2.4 Mise en œuvre de deux capteurs

Lors du codage de cette partie, je me suis rendu compte que la librairie SparkFun CCS811. Une fois la librairie maîtrisée, le gain de temps et d'optimisation fut tout à fait notable. La mise en œuvre de deux capteurs ne m'a pas posé de difficulté particulière.

### 2.2.5 Mise en œuvre des trois capteurs

L'avancement de cette partie du projet a été entravé par quelques problèmes techniques inattendus. En effet, les registres d'écriture de la carte de l'ESP32 se sont saturés sans aucune raison apparentes. Dès lors, il m'était impossible de téléverser mes programmes et donc de progresser. À la suite de quelques recherches, j'ai trouvé une commande pouvant être exécutée sous Linux qui m'a débloquée. Celle-ci permet de remettre l'ESP à ses « paramètres d'usine » en vidant l'ensemble des registres. La commande est la suivante :

```
esptool --port write_flash_status --non-volatile 0
```

Je l'ai trouvé sur ce site : <https://community.m5stack.com/topic/838/a-fatal-error-occurred-md5-of-file-does-not-match-data-in-flash/5>

Une fois ceci fait, je me suis attelé à l'extraction des données.

### 2.2.6 Extraction des données de mesures

Dans un premier temps, la solution envisagée était une extraction sans fil. Le volume de données concordait bien avec la capacité de transfert du wifi offert par l'ESP32. Cependant, je n'ai pas réussi à utiliser les librairies nécessaires.

En effet, j'ai rencontré un problème de compatibilité de librairie. À la suite de longues recherches infructueuses, un camarade de classe m'a suggéré d'utiliser une carte µSD. En effet, le circuit imprimé étant équipé d'une empreinte pour un lecteur de carte µSD, l'intégration fut rapide.

Le second frein fut rencontré lors de la conversion des types de variables entre la sortie des fonctions de la librairie SparkFun et les entrées de fonction de la librairie SD pour l'écriture sur la carte.

De plus, afin de faciliter l'extraction des données, nous avons choisi d'isoler les mesures de chaque capteur dans 3 fichiers .CSV différents. Un fichier correspondant à un capteur. Il suffit ensuite de concaténer les différents fichiers de mesures sur Excel. Cela nous permet d'avoir le temps exact de la mesure de chaque capteur. L'extension csv a été choisi pour sa simplicité de mise en œuvre, une colonne étant symbolisée par un point-virgule et une ligne par un retour chariot.

### 2.2.7 Structure du code

Le code de test est nommé protocole TEST\_CO2 et est structuré de la manière suivante :

Déclaration des constantes, des objets et des variables globales.

Déclaration des fonctions d'écriture pour le fichier csv de mesure

Initialisation des broches essentielles au bon fonctionnement (pin MESURE), déclaration du bus SPI, de l'objet Wire et SD.

Initialisation des capteurs

Création des fichiers CSV avec leurs entêtes.

Boucle s'arrêtant suite à l'appui du bouton PROG sur la carte

La boucle ci-dessus est constituée de 3 if qui constituent toute la partie logique et le fonctionnement des capteurs, ci-après une schématisation du fonctionnement d'un if :

SI le pin INT est vrai alors :

Allumage du capteur par le pin WAK

Lecture des résultats dans les registres

Si MODE\_DEBUG : affichage des données dans le port série

Conversion des données et ajout dans le fichier en respectant le formalisme

Eteindre le capteur

J'ai mis en place le « MODE\_DEBUG » pour afficher toutes les données lues en brut par le capteur, c'est-à-dire avant conversion et ajout dans le fichier. Cela permet de valider les données en ayant une copie du port série. Un autre mode appelé « DEBUG\_FICHER » permet d'afficher les retours des fonctions d'écritures. Il doit être utilisé avec parcimonie car il masque totalement le retour des données dans le port série. Ces modes s'appuient sur des directives de préprocesseurs et permettent une plus grande fiabilité du code en minimisant le nombres de manipulation. En effet, pour activer ou désactiver l'entièreté des printf de retour de données, il suffit de commenter ou décommenter deux lignes (l.6 & 7 dans le programme).

Dans la partie d'initialisation des capteurs, il y a un délai entre chaque déclaration de capteur. Celui-ci permet d'espacer les mesures des capteurs du délai choisi, et de ce fait, l'ordre de mesure.

Le code est entièrement commenté et fait foi, cette partie n'est qu'une aide de compréhension à la structure générale. Vous le trouverez sur le GitHub du projet.

## 2.3 Erreurs et retards

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les erreurs qui ont entraîné des retards. Ce paragraphe aura pour objectif de les lister, les expliquer ainsi que proposer d'éventuelles solutions.

### 2.3.1 Problème d'alimentation entre la carte et le port USB

J'ai rencontré un problème d'alimentation de la carte pendant environ la moitié du projet. Ce problème, aléatoire et peu quantifiable, cause des déconnexions intempestives soit lors du téléversement d'un programme ou lors de l'exécution de celui-ci.

À la suite de différentes mesures, la tension d'alimentation à l'entrée de l'ESP32 variait entre 2.7V et 3.3V. Cependant, l'ESP32 a besoin d'une tension très stable de 3.3V en entrée. Celle-ci est censée être garantie par le régulateur de tension abaissant la tension de 5V fournie par le port USB de mon ordinateur.

Le problème a été réglé en ajoutant une interface d'alimentation. Celle-ci permet l'alimentation de la carte par une batterie en 3.3V continue, sans interruption. L'origine supposée de ces déconnexions était le fait de faux contacts dans les fils reliant la carte d'interface USB au circuit imprimé. Le problème ayant été résolu, je n'ai pas perdu plus de temps à en rechercher la cause exacte.

### 2.3.2 Oublie du fonctionnement du circuit imprimé

Le principal problème pour moi lors de ce projet fut l'oubli de quelques fonctionnements essentiels de la carte au cours du projet. Ces oublis et pertes de productivité sont survenus lors de longs écarts entre les séances (parfois 4 semaines ou plus).

Par exemple l'alimentation des capteurs est commandée par une broche appelée MESURE dans notre circuit imprimé (cf. 2.1.4). La méthode de codage utilisée m'a fait créer plusieurs petits programmes pour tester chaque capteur. Cependant, pour que ceux-ci fonctionnent correctement, il faut intégrer une phase de déclaration de fonctions essentielles. La broche MESURE en fait partie. Ainsi j'ai perdu parfois plusieurs heures à déboguer du code fonctionnel, où la seule erreur était l'oubli de la déclaration d'une fonction.

Un facteur est la tenue du journal de bord du projet. Celui-ci, sur GitHub n'était pas forcément tenu à jour. En effet, j'ai préféré prioriser l'avancée du projet plutôt que la rigoureuse tenue du journal. Avec le recul, c'est une erreur. Cela m'aurait permis d'éviter les événements cités ci-dessus.

### 2.3.3 Conditions de travail

La salle de travaux pratiques bien que très bien équipée en outils de mesure présente un désavantage. En effet, nous sommes tous regroupés dans cette salle avec 5 projets différents. Ainsi, les discussions sont parfois très fortes et ne permettent pas une concentration optimale. À la suite de l'introduction d'un casque ou d'un dispositif sonore dans mon équipement de travail, j'ai vu ma productivité drastiquement augmenter. De plus, ce projet m'a grandement aidé à travailler ma capacité de concentration.

### 3 Mesures

Plusieurs mesures ont été réalisées et n'avaient pas les mêmes buts. Je vais détailler, ici, les protocoles, les mesures et les conclusions.

#### 3.1 Première mesure dans le rucher

L'objectif de ce premier test est d'évaluer la quantité de gaz à injecter dans le rucher.

Une première mesure est réalisée dans le rucher. Le dispositif de mesure est accroché à un cadre par un fil de fer. Celui-ci est placé sous l'ouverture centrale d'une nourricière, couvert spécial de rucher servant, comme son nom l'indique, à nourrir une colonie. Un dispositif d'injection de  $\text{Co}_2$  est introduit dans l'ouverture. Trois capsules de 16g (répandues dans le commerce) de  $\text{Co}_2$  sont alors percutees et injectées à différents intervalles.

Ci-après les taux de  $\text{Co}_2$  récoltés par les capteurs sous forme de graphique.

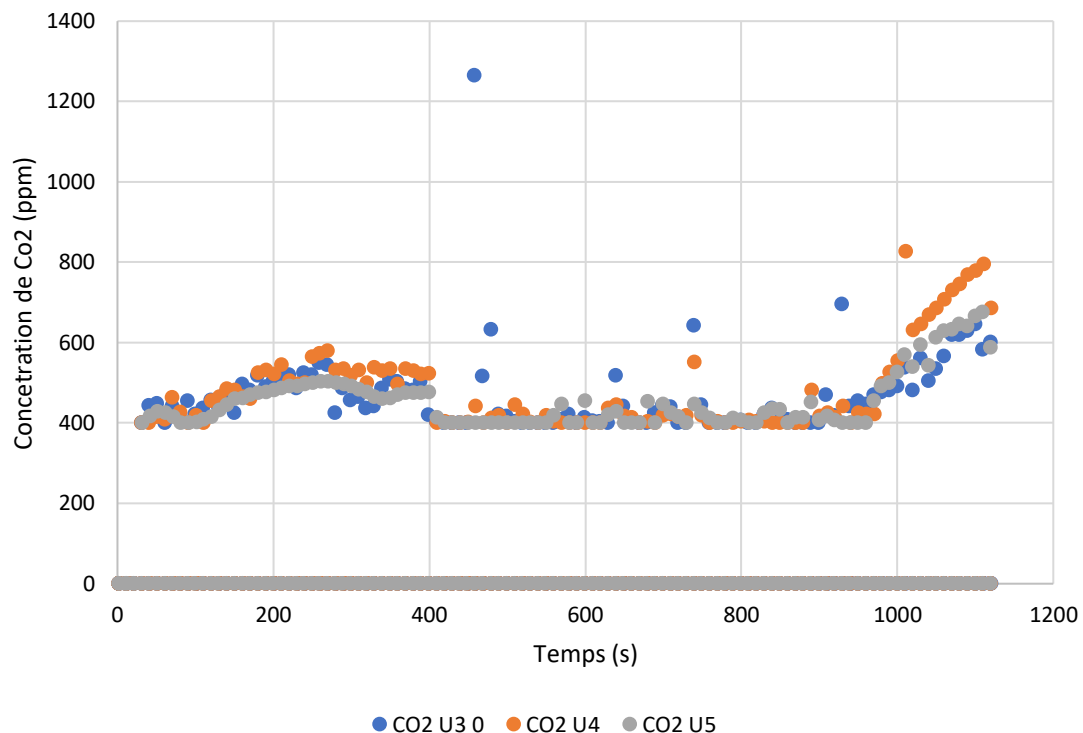


Figure 10 Graphique concentration de  $\text{Co}_2$  en fonction du temps mesure n°1

Les capteurs sont labélisés suivant leurs positionnements sur la carte (cf.2.1.2). Ceux-ci mesurent aussi le TVOC en ppb. La mesure est du même ordre de grandeur que le taux de  $\text{Co}_2$ . Vous trouverez la mesure en annexe (cf.6.1).

Nous pouvons observer quelques points remarquables lors des percussions des capsules de  $\text{Co}_2$  à  $t = 458\text{s}$ ,  $t = 650\text{s}$  et  $t = 750\text{s}$  ; cependant aucune variation durable n'apparaît lors de la mesure. L'augmentation à partir de  $t = 950\text{s}$  n'a aucun rapport avec l'injection des trois capsules de gaz.

Cette première mesure nous donne deux hypothèses :

- La quantité de gaz injecté est bien trop insuffisante par rapport au volume de la ruche.
- Le système de mesure est dysfonctionnel.

### 3.2 Seconde mesure dans le rucher

La seconde mesure a pour objectif de confirmer ou d'infirmer les hypothèses et d'affiner celles-ci.

Les conditions expérimentales sont exactement les mêmes que la première mesure décrite ci-dessous (cf. 3.1).

Ci-après les taux de  $\text{CO}_2$  récoltés par les capteurs sous forme de graphiques.

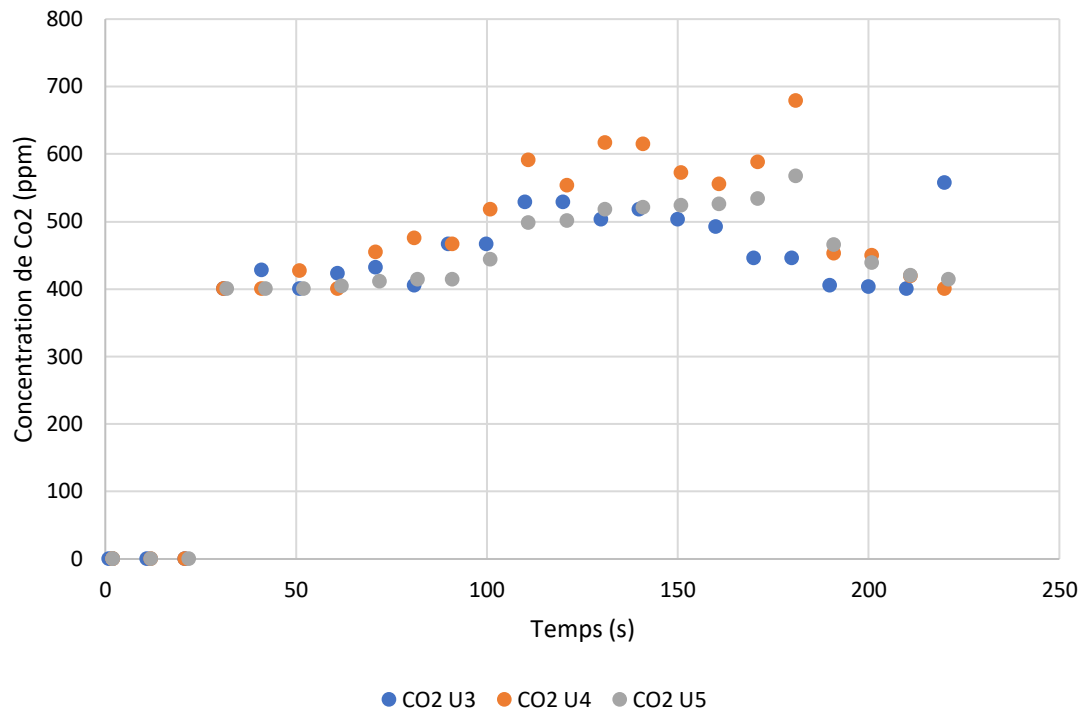


Figure 11 Graphique concentration de  $\text{CO}_2$  en fonction du temps mesure n°2

Les capteurs sont labélisés suivant leurs positionnements sur la carte (cf.2.1.2).

Nous pouvons observer que cette mesure est plus courte. Seulement deux capsules ont été percutées lors de cet essai. La première injection est à  $t = 50\text{s}$  et la seconde survient à  $t = 90\text{s}$ . On remarque une légère augmentation du taux de  $\text{CO}_2$  de tous les capteurs puis une légère chute. Ce phénomène est cohérent avec une « saturation » puis une évacuation du gaz par le bas du rucher. Le taux de  $\text{CO}_2$  le plus haut est observé par le capteur U4, qui se trouve au centre du dispositif de mesure. La logique voudrait que cela soit le capteur U3 qui mesure la valeur la plus élevée. L'augmentation visible à partir de  $t = 150\text{s}$  n'est pas dû à la percussion d'une capsule de gaz, mais à la fin de la mesure.

Comme pour la première mesure, le TVOC est du même ordre de grandeur que la Figure 12. Vous le trouverez en annexe (cf.6.2)

Pour conclure, nous ne supprimons aucune des hypothèses formulées précédemment. Une de plus vient s'ajouter : la sensibilité du capteur U4 est supérieure aux deux autres ou une inversion est faite entre le capteur U4 et U3. On remarque d'ailleurs que les mesures de TVOC peuvent être un angle d'analyse intéressant.

Une mesure de vérification de notre système s'impose.

### 3.3 Mesure de vérification SODASTREAM

Cette mesure a pour but de valider notre système de mesure.

Pour ce faire, le volume à saturer est drastiquement réduit. Une bouteille d'1,5L servira de contenant. On vient placer notre circuit imprimé à l'intérieur. Les capteurs sont placés comme dans les précédentes mesures (cf. Figure 13 Banc d'essais de la mesure SODASTREAM). De plus, le dispositif d'injection de Co2 est remplacé par une machine SODASTREAM. Celle-ci permet d'injecter en continu et sur une plus longue durée. Les capsules de Co2 utilisées ont une petite durée de vie.

Ci-dessous une photo du banc d'essai.

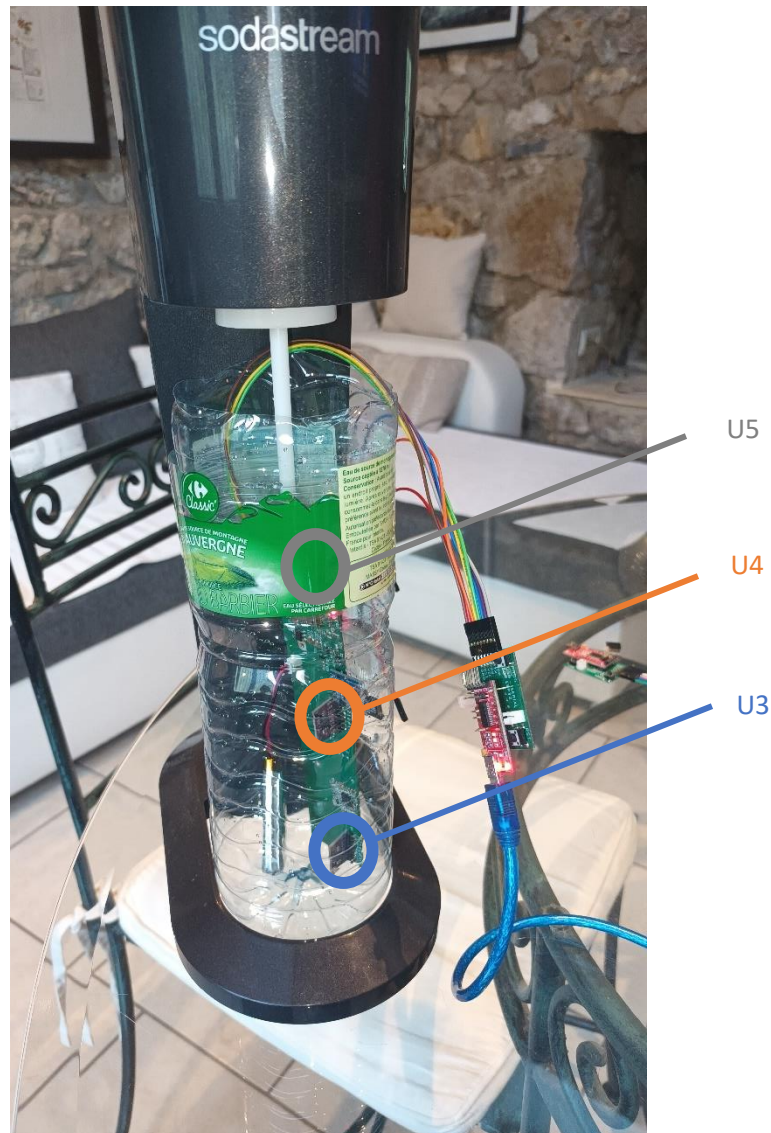


Figure 12 Banc d'essais de la mesure SODASTREAM



Ci-après les mesures de Co2 de la mesure.

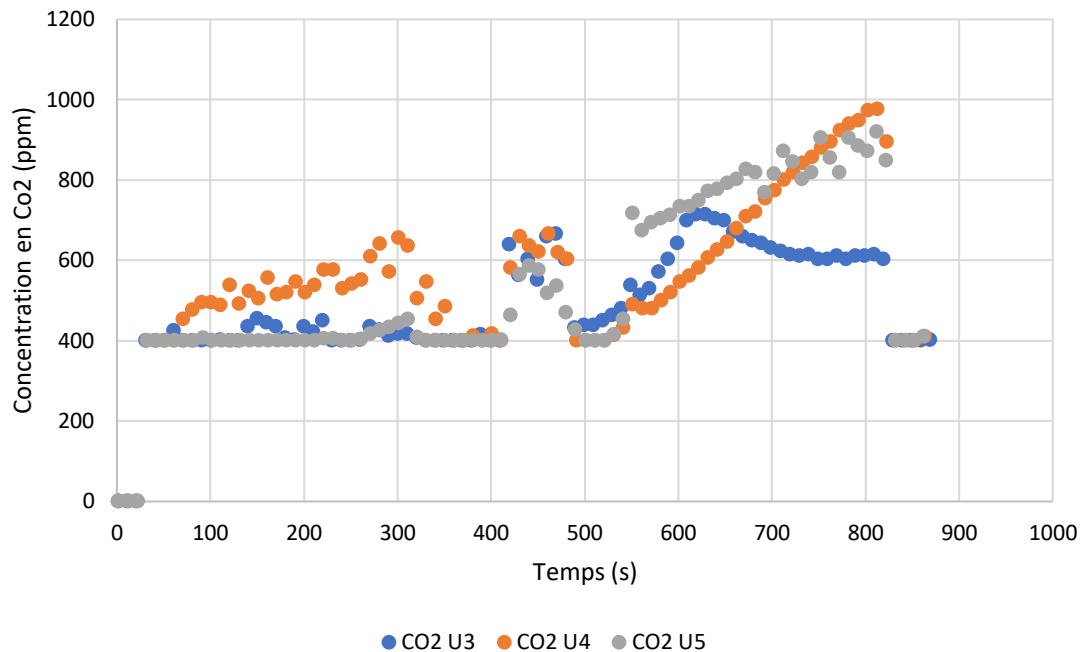


Figure 13 Graphique concentration de Co2 en fonction du temps mesure n°3

Les capteurs sont labélisés suivant leurs positionnements sur la carte (cf.2.1.2). Comme pour les mesures précédentes, le graphique de TVOC est en annexe (cf.6.3).

Le test s'est déroulé comme décrit ci-après. Le démarrage de la mesure s'est fait dans la position de la Figure 13. A  $t = 240s$ , les capteurs sont sortis de la bouteille afin de fixer leurs valeurs à 400ppm. A  $t = 300s$ , une fenêtre est ouverte pour aérer l'expérience, celle-ci le restera jusqu'à la fin. Lorsque les taux se stabilisent à 400ppm, le système est placé dans la bouteille à  $t = 411s$ . A  $t = 481s$  survient la première injection de Co2 pendant 5s, sans occlusion de la bouteille. A  $t = 540s$ , une nouvelle injection de Co2 pendant 5s est réalisée, cette fois-ci le haut de la bouteille étant fermé. A  $t = 600s$ , la bouteille est à nouveau ouverte. A  $t = 800s$  les capteurs sont sortis de la bouteille. La mesure est alors terminée.

On peut diviser la mesure en deux périodes remarquables. Du début du test à la moitié ( $t = 500s$ ), les mesures sont incohérentes. Dans la seconde partie cependant les mesures sont, à mon sens, plus cohérentes. On voit bien l'augmentation progressive de la concentration du taux de Co2 dans le fond de la bouteille, avec l'augmentation de U3 & U4. Mon hypothèse est que le gaz sort de la buse avec une grande vitesse initiale. Cela vient alors perturber « l'équilibre » des gaz se trouvant dans la bouteille avec une grande variation observée. Puis, dans un second temps, une stabilisation des gaz présents dans le volume serait remarquable. On remarque que U3 est cohérent avec cette théorie. Le capteur U4 est, quant à lui, cohérent dans les premiers temps, mais ne suit pas la tendance de U3 à partir de  $t = 650s$ . Pour finir, la mesure fournie par U5 ne me paraît pas vraiment logique.

Pour conclure, l'expérience n'apporte pas une réponse formelle. Un axe d'amélioration serait l'étude de la théorie cinétique des gaz dans un volume. Le principal problème est que nous ne connaissons pas la tendance réelle que doivent avoir les courbes. De surcroît, nous avons trois mesures qui ne présentent pas les mêmes tendances. Ainsi mes conclusions ne sont que pures spéculations, s'appuyant sur des principes de cinétiques des gaz peu développés.

### 3.4 Mesure d'étalonnage

Afin de conclure le corpus de mesures, ci-après voici deux enregistrements de mesures d'essais du système de mesure. Le protocole de test est très simple. Il consiste à souffler en continu sur chaque capteur à la suite pendant plusieurs secondes (définies en fonction du mode de mesure choisi cf.2.1.2). L'enregistrement s'est réalisé dans un espace ouvert.

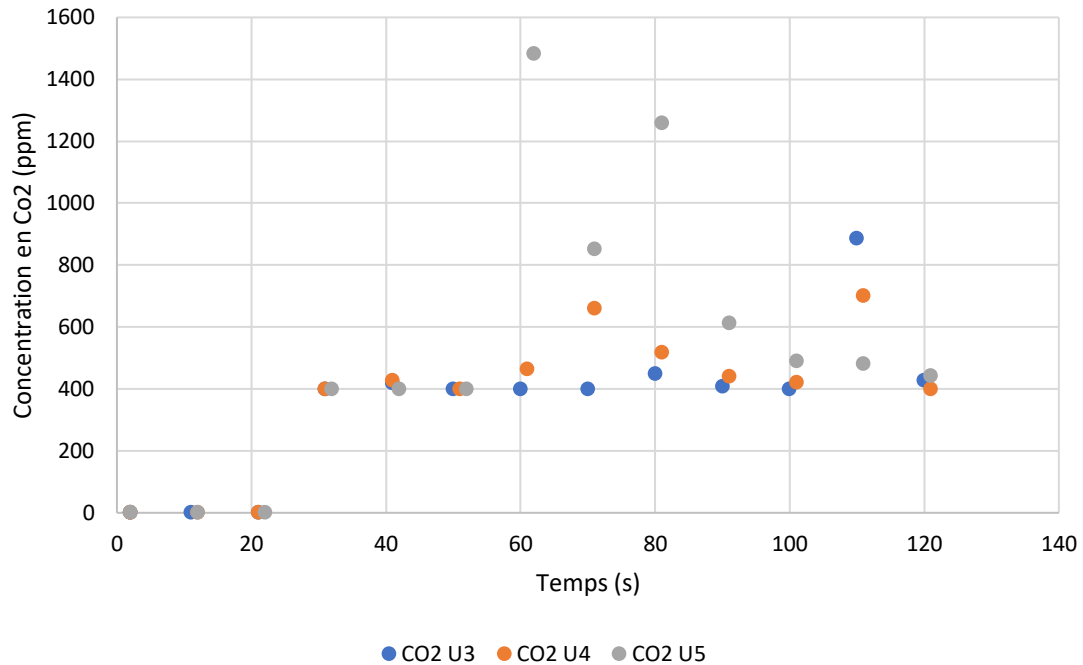


Figure 15 Enregistrement d'essai du système mode 10s

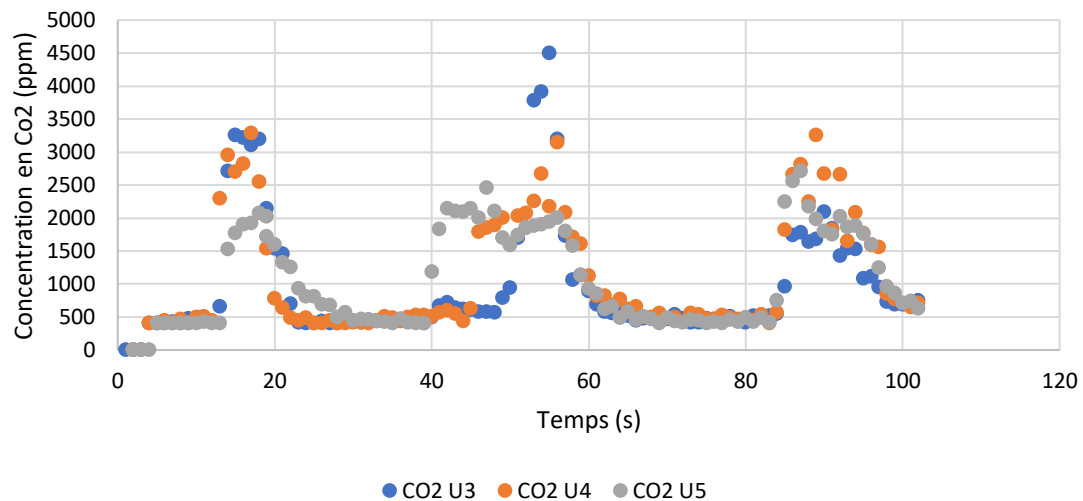


Figure 14 Enregistrement d'essai du système mode 1s

Nous pouvons remarquer que l'enregistrement de la Figure 15 Enregistrement d'essai du système mode 1s donne beaucoup plus d'information et a une bien meilleure réactivité. Un axe d'amélioration pour le projet serait de refaire une partie des mesures avec le mode 1s. En effet, un pas de mesure plus petit serait plus approprié à la durée de vie d'une capsule de gaz de 16g percutée (environ 5s). Cela nous permettrait de statuer explicitement sur la viabilité du projet. Pour l'instant, le mode 10s me paraît trop instable et les capteurs ne réagissent pas de la même manière. Le mode 1s, quant à lui, propose un fonctionnement stable et cohérent sur les trois capteurs.

## 4 Conclusion

Afin de conclure ce rapport, j'aimerais d'abord apporter mon ressenti. J'ai beaucoup aimé travailler sur ce projet. Le sujet est, en effet, très motivant et fait appel à des notions de physique qui m'ont intéressé. De plus, la recherche de nouvelles méthodes de traitement du *Varroa Destructor* dans un contexte de sauvegarde des abeilles est très motivante. Je regrette cependant ne pas avoir été assez rapide dans la mise en œuvre des capteurs, car j'aurais aimé consacrer plus de temps aux mesures et à leurs analyses.

Comme vous pouvez le voir, je me suis arrêté à la mise en place de tests évaluant la variation du Co2 en fonction de la quantité de gaz injecté. Au regard des données actuelles, je ne peux pas statuer sur la viabilité du projet. En effet, celui-ci dépend des quantités de gaz nécessaire pour maintenir une élévation du taux de Co2 pendant un temps long. Le but du projet est de trouver une méthode alternative et pratique de traitement des parasites. Transporter une bouteille de gaz de 25kg pour ne traiter qu'une seule ruche n'est donc pas souhaitable. Il est donc important de terminer cette évaluation avant de passer aux prochaines étapes.

Plusieurs pistes et axes d'améliorations sont développés tout au long du document. Cependant j'aimerais mettre en lumière une piste, qui me paraît simple à mettre en œuvre et donnerait des résultats concrets. Celle-ci serait une nouvelle itération des tests et mesures en changeant le pas de temps. Un pas de temps d'une seconde, au lieu de dix, me paraît plus approprié pour comprendre la cinétique des gaz dans les volumes d'intérêts. Cela permettrait de confirmer avec confiance la viabilité du projet.

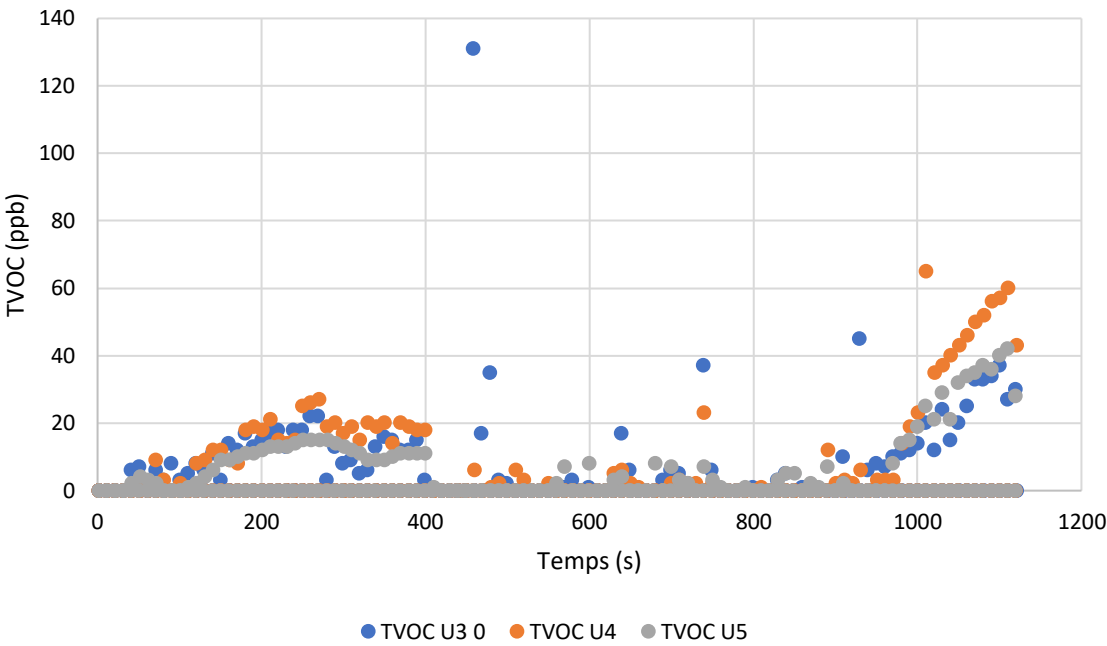
Dans le cas où celui-ci reste viable, il faudra sûrement travailler sur un pas de mesure plus long afin d'économiser de l'énergie. La compréhension des causes sur les écarts de mesures avec un pas de mesure de 10s sera donc essentielle. Par la suite, il faudra se concentrer sur la mise au point d'un système d'injection régulée du gaz. La gestion des gaz n'est pas une mince affaire, surtout lorsque le système doit être pratique et robuste. Ceci fait, il faudra mettre sur pied un traitement des parasites et évaluer son efficacité. Si le temps le permet, une batterie de tests sur plusieurs cheptels devra être réalisée.

## 5 Sources

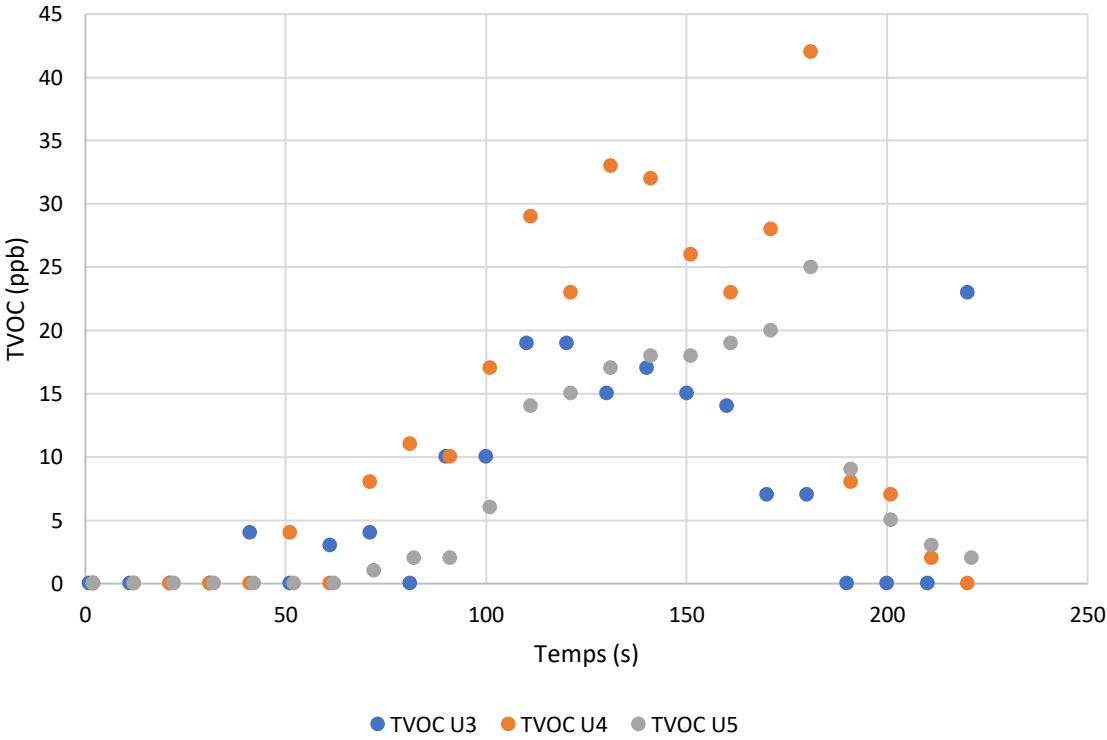
<https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/tucson-az/carl-hayden-bee-research-center/research/varroa/varroa-mite-life-cycle-and-reproduction/>

6 Annexes

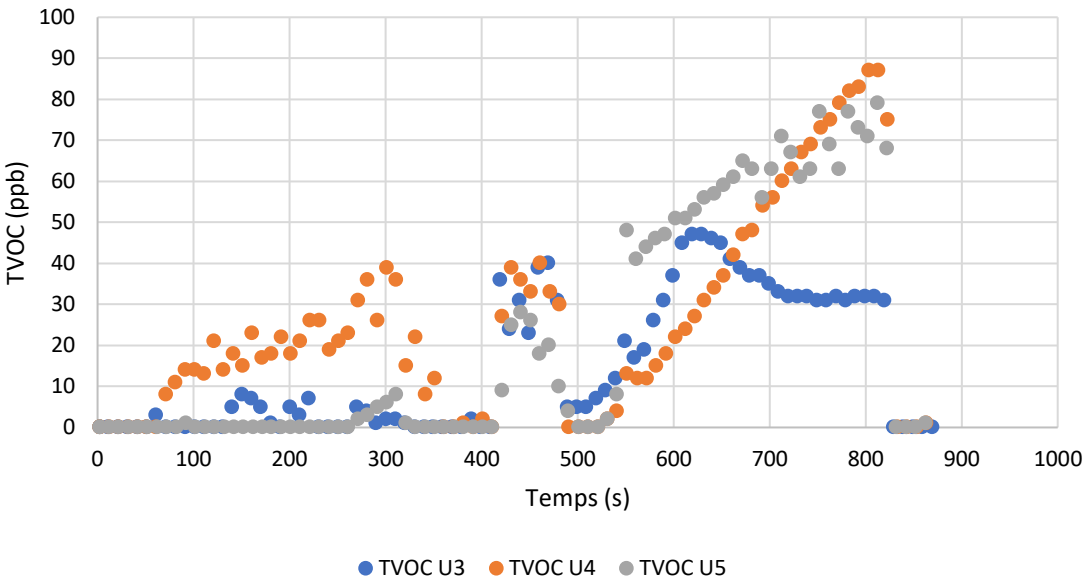
6.1 TVOC Mesure n°1



6.2 TVOC Mesure n°2



6.3 TVOC Mesure SODASTREAM



## 6.4 Schéma de câblage

