

## **RAPPORT P2M**



# **Conception d'une chambre Dynamique pour la Caractérisation et la mesure Des émissions de CO<sub>2</sub> Dans l'atmosphère et le sol**

**Elabore par :**  
**Ali Njoumi**

**Encadrée par :**  
**M. Mohamed Ayadi**

Année Universitaire : 2021-2022

## **Avant-propos :**

Avant tout développement sur cette expérience académique, Il apparaît opportun de

Commencer ce rapport par des remerciements.

Nous remercions Mr Mohammed Ayadi notre encadrant qui nous accompagnés tout au long de cette expérience académique avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Nous remercions aussi, tous les membres du jury pour avoir accepté de juger ce modeste travail.

Sommaire :

- I. Problématique ..... 5
- II. Description de la solution proposée..... 5
  - A. Architecture..... 5
    - 1. Architecture 5 capteurs..... 6
    - 2. Architecture LoRaWAN ..... 6
  - B. Matériels et étude de cout..... 7
    - 1. Matériels ..... 7
    - 2. Analyse des coûts..... 10
  - C. Technologies Utilisées (Software) ..... 10
  - D. Plateforme IoT ..... 11
- III. Solution ..... 11
  - A. Câblage ..... 11
  - A. Exécution (Moniteur Série)..... 12
    - 1. Capteur Humidité du Sol..... 13
    - 2. Capteur Multi gaz ..... 13
  - B. Ubidots ..... 13
    - 1. Envoi sur Ubidots ..... 13
    - 2. Evénements et information de l'utilisateur ..... 15
    - 3. Evénements faits ..... 17
    - 4. Dashboard..... 17
- IV. Conclusion ..... 18

## Liste des figures :

Figure 1 Architecture de la chambre de détection et caractérisation de CO2.....	5
Figure 2 Architecture 5 capteurs.....	6
Figure 3 Architecture LoRaWAN.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 4 Pins de l'ESP_8266.....	7
Figure 5 Caractéristiques de l'ESP8266 .....	7
Figure 6 caractéristiques de MQ135.....	8
Figure 7 kit LoRa/ LoRaWAN .....	8
Figure 8 Capteur Humidité du sol .....	9
Figure 9 Carte Raspberry .....	9
Figure 10 Câblage du circuit.....	12
Figure 11 Architecture de circuit .....	12
Figure 12 Moniteur série.....	12
Figure 13 Device Interface.....	14
Figure 14 Courbe des valeurs d'humidité.....	14
Figure 15 Gauge des valeurs de CO2 .....	14
Figure 16 Création de l'évènement.....	15
Figure 17 Création d'une action.....	16
Figure 18 Actions crée.....	16
Figure 19 Evènements .....	17
Figure 20 Dashboard.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

# I. Problématique

Il importerait de signaler que certains facteurs agraires et paramètres biochimiques doivent être bien contrôlés par les agriculteurs. En fait, leur présence en quantité optimale permet l'obtention d'une meilleure caractérisation des sols et par la suite une excellente productibilité. Pour cette raison, les agriculteurs ne cessent jamais de les moduler visant un milieu de culture adéquat.

Parmi ces paramètres, on met l'accent sur la valeur du dégagement du CO<sub>2</sub> ou du gaz de méthane mesuré permettant de prendre une décision importante s'il faut ajouter du bio charbon ou non. En effet, l'ajout du bio charbon, quand il est nécessaire, permet une augmentation de 15% à 20% du rendement des produits agricoles et une humidité optimale pour le milieu de culture.

Mais, la contrainte entravant la réussite de cette procédure correspond à une mesure imprécise voire erroné de la quantité du gaz dégagé conduisant, malheureusement, à l'ajout des doses non adéquates du bio charbon (au lieu d'améliorer la productibilité, elle va, au contraire, contribuer à sa régression). Ainsi, cette mesure nécessite plus du temps vue les vastes champs agricoles qu'il faut les traiter et plus d'énergie pour pouvoir se déplacer, outre le nombre important d'ouvriers pour accomplir cette mission.

Comme la technologie n'a jamais cessé de montrer son efficacité dans certains domaines, il serait désavantageux si on ne l'exploite pas dans l'agriculture. En effet, les ingénieurs agricoles ont réussi à développer un système informatique permettant une mesure précise des paramètres essentiels facilitant la tâche de l'agriculteur.

Par ailleurs, le fermier ne se trouve pas obligé de se déplacer tout au long des pâturages. Il suffit de fixer cette automate au sein du champ et de noter les mesures à distance sans aucune nécessité à la présence de plusieurs ouvriers.

## II. Description de la solution proposée

### A. Architecture

Les données collectées par les différents capteurs au niveau de la carte Arduino sont envoyées avec le Wifi au cloud / base de données en ligne. Elles sont finalement affichées sur un Dashboard coté utilisateur : une application Web par exemple. La figure 1 illustre cette architecture.

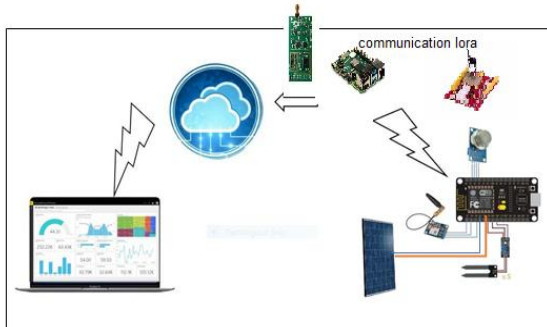


Figure 1 Architecture de la chambre de détection et caractérisation de CO<sub>2</sub>

## 1. Architecture 5 capteurs

On a été demandé de mesurer l'humidité du sol dans 5 niveaux différents du sol selon le cahier de charge. L'humidité du sol varie avec la profondeur et est impactée par l'existence de certaines substances et/ou conditions.

Dans notre architecture, on a planifié de concevoir une barre de matériau non irritante par l'eau/l'humidité/substances naturelles pour contenir les 5 capteurs chacun à une profondeur différente (20cm, 40 cm, 60cm, 80cm, 100cm) pour satisfaire le besoin.

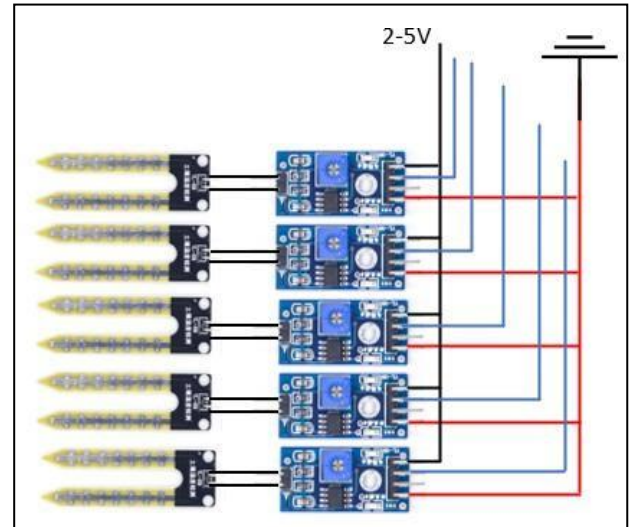


Figure 2 Architecture 5 capteurs

## 2. Architecture LoRaWAN

Un réseau LoRaWAN est constitué d'équipements sans fils qui communiquent avec des serveurs applicatifs à travers des passerelles. La technique de modulation utilisée pour la communication entre équipements et passerelles est LoRa. Les passerelles communiquent avec les serveurs en utilisant le protocole IP.

Ils sont composés des éléments suivants :

- équipements terminaux : des capteurs ou des actionneurs envoyant ou recevant des messages modulés avec LoRa et échangés avec les passerelles
- des passerelles : recevant les messages des équipements terminaux pour les renvoyer au Network Server
- Network Server : un serveur qui contrôle l'intégralité du réseau. Il est responsable de l'implémentation du mécanisme ADR qui assure principalement le choix du data rate et de la puissance de transmission
- Application Server : Serveur responsable du traitement sécurisé de l'information des applications
- Join Server : Un serveur qui traite les messages join-request envoyés par les équipements terminaux

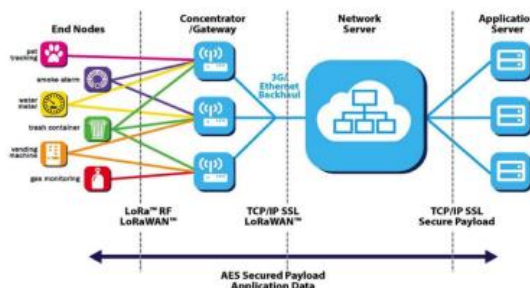


Figure 3 Architecture LoRaWAN

B. Matériels et étude de cout

1. Matériels

a) Carte Node MCU ESP8266

L'ESP8266 est un microcontrôleur contenant un module Wifi intégré (utilisant la norme 802.11 b/g/n), produit par les fabricants Expressif et Ai-Thinker. Ce modèle est orienté IoT, avec sa taille très réduite et son prix convenable il se présente comme la meilleure solution pour notre cas d'étude.

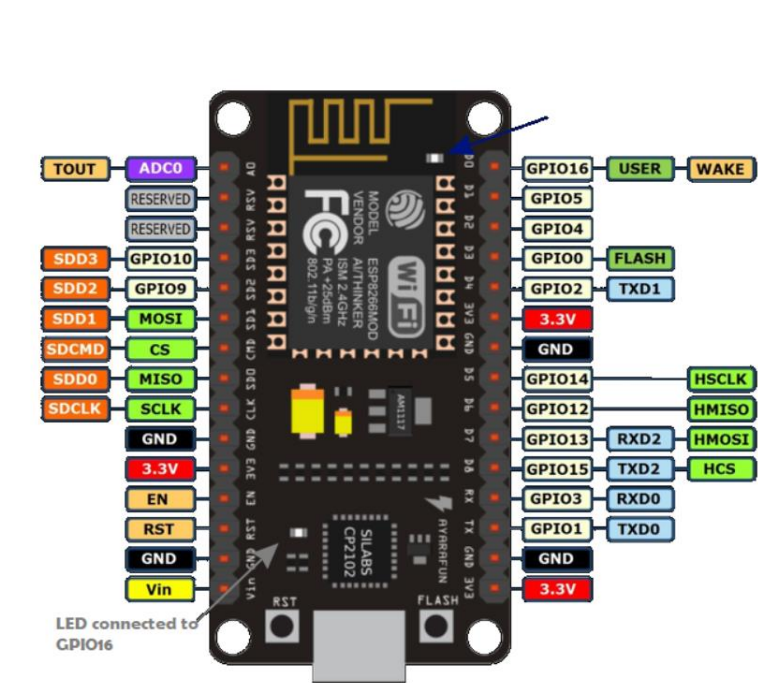


Figure 4 Pins de l'ESP\_8266

	ESP8266
MCU	Xtensa Single-core 32-bit L106
802.11 b/g/n Wi-Fi	HT20
Bluetooth	X
Typical Frequency	80 MHz
SRAM	X
Flash	X
GPIO	17
Hardware /Software PWM	None / 8 channels
SPI/I2C/I2S/UART	2/1/2/2
ADC	10-bit
CAN	X
Ethernet MAC Interface	X
Temperature Sensor	X
Hall effect sensor	X
Working Temperature	-40°C to 125°C

Figure 5 Caractéristiques de l'ESP8266



## b) Capteur Multi gaz MQ135

Le capteur MQ135 est capteur permettant de qualifier la quantité d'air. Un tel capteur est sensible à pas mal de gaz polluants présents dans l'air avec une faible quantité supposée inférieure à 1% dans le cas normal. Citons le Benzène, l'oxyde d'azote (NOx), l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et surtout le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ; le gaz qu'on cherche à caractériser dans l'air ainsi que dans le sol dans notre cas. Ce capteur donne une valeur en ppm ; unité par millier. Autrement, la concentration d'air (en Kg) en CO<sub>2</sub> (en mg) – la figure 6 illustre les caractéristiques de sensibilité du capteur MQ135 pour certains gaz.

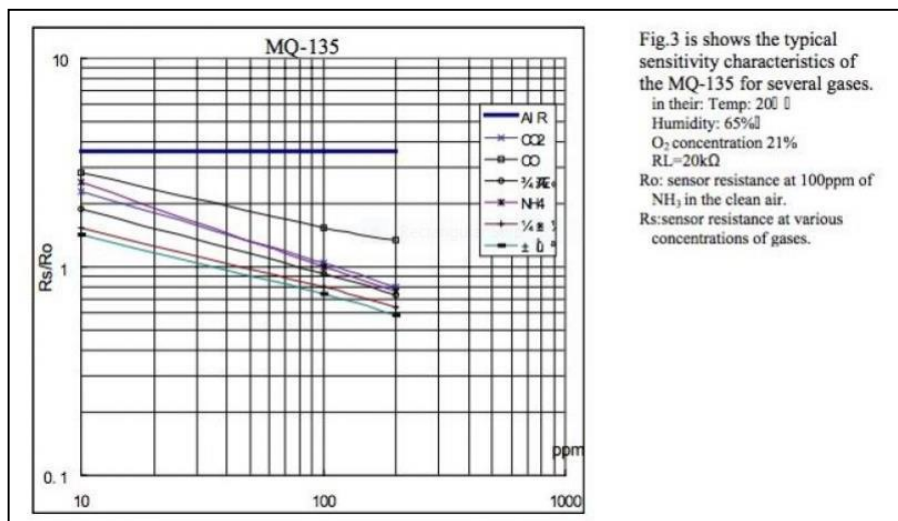


Figure 6 caractéristiques de MQ135

## c) Kit Lora/lorawan

Pour l'implémentation, on a utilisé le kit "LoRa/LoRaWAN gateway – 868MHz Kit avec Raspberry Pi 3". Le kit est composé de :

- 1- Raspberry Pi 3 : utilisée en tant que machine hôte pour la passerelle ou le Gateway module RHF0M301-868 via une interface SPI. Elle permet l'exécution du programme packet forwarder qui reçoit les données du concentrateur et émet ces données au serveur via un lien IP/UDP.
- 2- Gateway module RHF0M301-868
- 3- PRI 2 Bridge RHF4T002
- 4- Seeeduino LoRaWAN with GPS (RHF76-052AM) utilisé en tant qu'équipement terminal
- 5- USB to UART adapter
- 6- upgrade to 16GB Micro SD Card – Class 10
- 7- 0dBi Rubber Duck Antenna

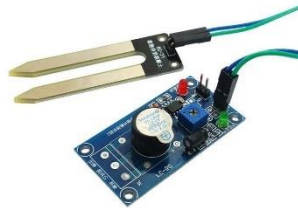


Figure 7 kit LoRa/ LoRaWAN



### a) Capteur d'humidité de sol

La mesure de l'humidité du sol est une composante agronomique indispensable au suivi de la croissance des cultures, très utilisée en agriculture de précision. Elle détermine de façon essentielle la variation des caractéristiques de différents matériaux ou sols. Le taux d'humidité d'un sol en particulier va déterminer les caractéristiques de diffusion ou de stockage de l'eau dans ce sol. Le capteur d'humidité du sol de haute qualité a une surface de nickelage et une zone d'induction élargie. Il peut améliorer les performances conductrices et éviter les problèmes de rouille au contact du sol pour prolonger la durée de vie. Il a une fonction de temporisation, délai de 3-5 secondes, lorsque l'humidité est détectée dans l'état de seuil, le relais ne scintille pas.



*Figure 8 Capteur Humidité du sol*

### a) Raspberry

Les données vont être stockées dans un serveur localisé dans la carte Raspberry pi où est reliée la base de données.

Le Raspberry Pi 3 Model B + est un produit de la gamme Raspberry Pi 3, doté d'un processeur quadricœur 64 bits mis à jour fonctionnant à 1,4 GHz avec dissipateur thermique métallique intégré, LAN sans fil double bande 2,4 GHz et 5 GHz, plus rapide (300 mbps) Ethernet et capacité PoE (Power over Ethernet) via un HAT PoE séparé.



*Figure 9 Carte Raspberry*

## 2. Analyse des coûts

Pour réaliser notre projet on est besoin de matériels suivant :

Kit Lora/LoraWAN	190.000
Raspberry	145.000
Panneau solaire	130.000
Plaques d'essai	12.000
Lot de fils de connexion	15.000
Carte Node MCUESP8266	29.000
Capteur Multi Gaz MQ135	26.000
5 Capteurs d'humidité de sol	55.000

Table 1 Analyse des couts

## C. Technologies Utilisées (Software)

**Arduino** IDE : utilisé pour programmer le code c++ et ensuite le téléverser sur le node MCU8266 et utilisé aussi pour la compilation et le débogage.



**Ubidots** : Pour le stockage et la manipulation des données sur Internet on peut utiliser Ubidots qui va nous fournir une interface interactive pour qu'on puisse visualiser et contrôler les valeurs reçues.



**Wifi** : Pour assurer la communication entre le nœud IoT et le client Ubidots.



## D. Plateforme IoT

La plateforme IoT rassemble un ensemble de services qui permettent de collecter, stocker, corrélérer, analyser et exploiter des données. Elle fait ainsi référence au logiciel de support qui connecte l'ensemble du système IoT, en facilitant la communication, le flux de données, la gestion des périphériques et la fonctionnalité des applications. La plateforme connecte les appareils à un cloud grâce à des options de connectivité flexibles. Pour les développeurs, une plateforme IoT fournit un ensemble de fonctionnalités prêtes à l'emploi qui accélère le développement d'applications pour les périphériques connectés, tout en prenant en charge l'évolutivité et la compatibilité entre périphériques. Elle peut également servir de middleware lorsqu'elle connecte les périphériques distants aux applications utilisateurs (ou autres périphériques) tout en gérant les interactions entre le matériel et les couches des applications. Le marché des plateformes IoT évolue à un taux de croissance annuel composé (CAGR) de 39 %. Ce marché devrait dépasser 22 milliards de dollars d'ici à 2023.

## III. Solution

### A. Câblage

Pour le câblage, illustré dans la figure 10, on a travaillé avec deux Capteurs d'humidité du sol branché comme suit (A0 -> A0 ; D1/D2->D0 ; GND -> GND ; VCC -> 3V3) et un capteur multi gaz MQ135 branché comme suit (Aout -> A0 ; GND -> GND ; VCC -> 3V3). Cette Architecture est illustre par la figure 11.

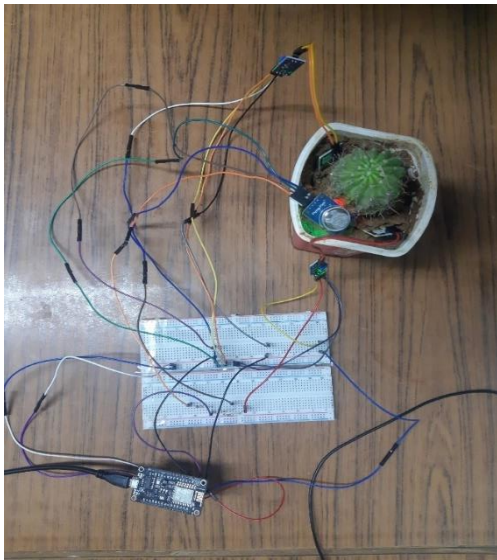


Figure 11 Câblage du circuit

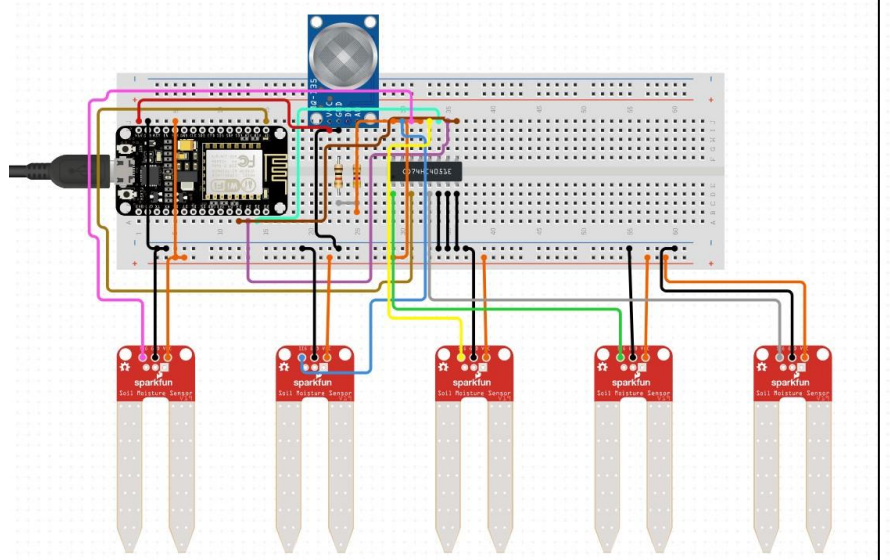


Figure 10 Architecture de circuit

## A. Exécution (Moniteur Série)

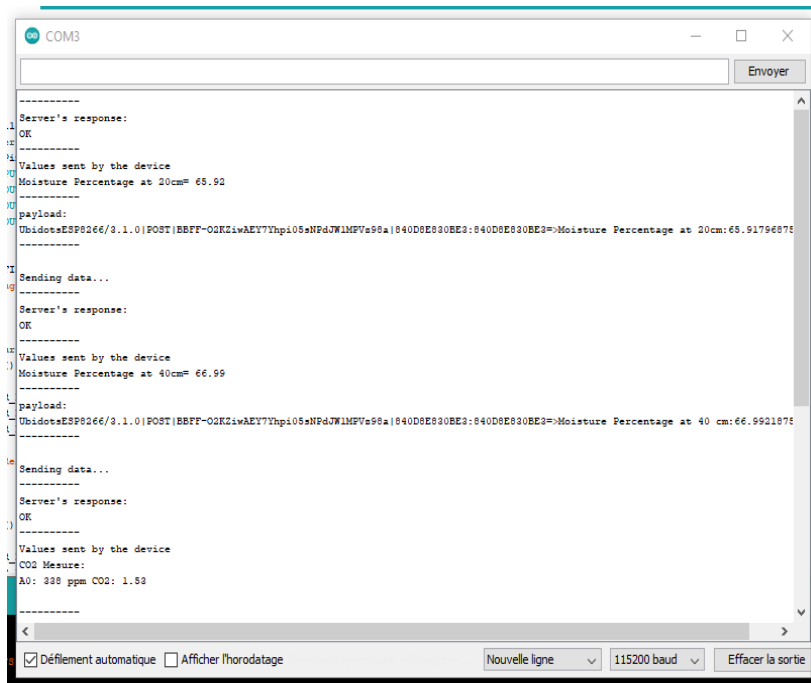


Figure 12 Moniteur série

La figure 13 est une capture écran du Moniteur Série qui lit du port COM3 et affiche toute valeur lue, écrite ou échangée à travers ce port vers notre carte Arduino « ESP8266 ». Cette lecture se fait à une vitesse 115200 bps. Les trois capteurs étant branchés et lus de leurs sorties analogiques.

## 1. Capteur Humidité du Sol

L'humidité du Sol se mesure en g/m<sup>3</sup> et selon l'INRA les valeurs doivent être entre 0.01 et 0.03. Chose qu'on a pu obtenir parfaitement mais pour des raisons d'affichage et pour plus de précision on a choisi de manipuler des valeurs multipliées \*1000.

## 2. Capteur Multi gaz

L'air contient aujourd'hui environ 0,04 % de CO<sub>2</sub>. À partir d'une certaine concentration dans l'air, ce gaz s'avère dangereux voire mortel. La valeur limite d'exposition est de 3 % sur une durée de 15 minutes. Cette valeur ne doit jamais être dépassée. Pour notre cas on a trouvé des valeurs de 0.01 allant jusqu'à 0.03 des fois mais pour des raisons d'affichage et pour plus de précision on a choisi de manipuler des valeurs multipliées \*1000.

## B. Ubidots

### 1. Envoi sur Ubidots

On a choisi la plateforme IoT « Ubidots » pour ces différentes caractéristiques encourageantes (Communication facile entre plateforme et carte / affichage clair et facile à manipuler / possibilité de créer des événements sans avoir à écrire du code) et pour l'envoi sur la plateforme on a utilisé le Wifi (notre carte ESP8266 a un module Wifi intégré et donc c'est plus pratique de l'utiliser que d'introduire une nouvelle composante pour faire l'affaire).

On a créé un device « humidité+CO<sub>2</sub> » se spécifiant par un TOKEN sur la plateforme contenant exactement 2 variables « humidité » et « ppm CO<sub>2</sub> » ayant chacune un IDENTIFIANT. En intégrant les librairies nécessaires dans le code on a obtenu le résultat suivant :

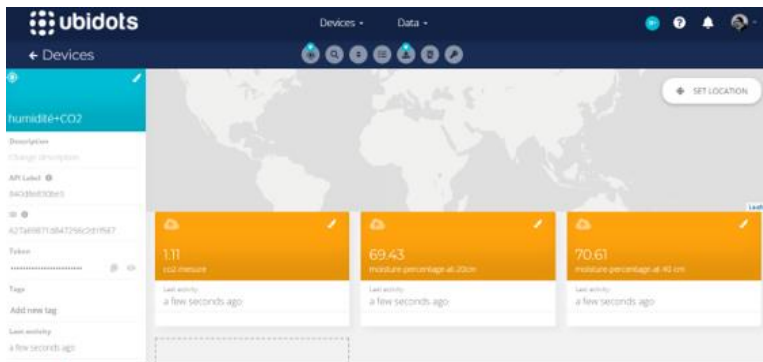


Figure 13 Device Interface

Sur la figure, on voit bien le device « humidité+CO2 » spécifié avec un API label, un id et un token. Sous lequel, on trouve les deux variables avec les valeurs les plus récentes qui ont été enregistrées et la date d'enregistrement de ces valeurs.

### a) Capteur d'humidité du sol

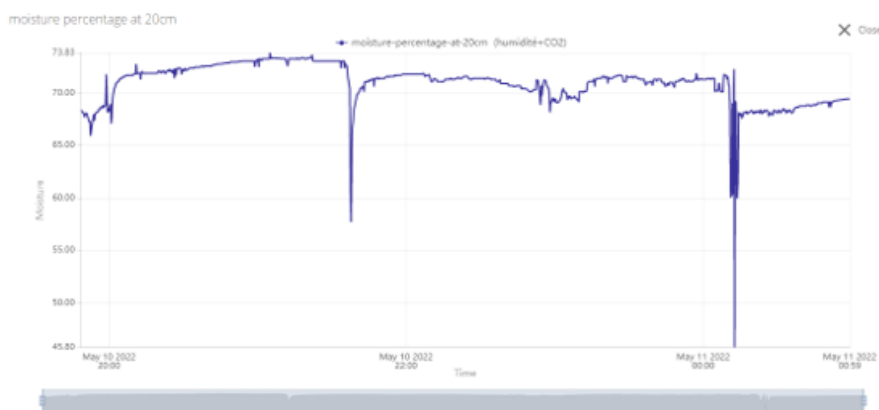
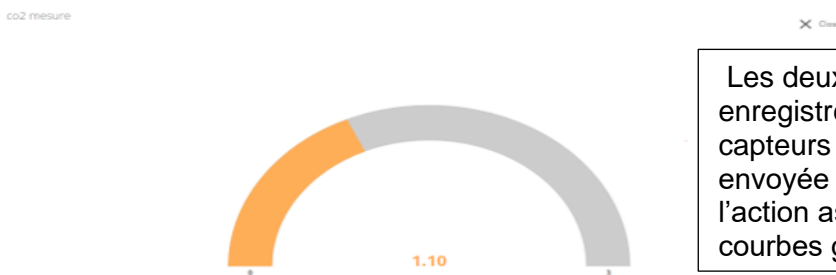


Figure 14 Courbe des valeurs d'humidité

### a) Capteur MQ135



Les deux figures montrent la variation des valeurs enregistrées en cours du temps pour chacun des capteurs et des tableaux regroupant toute valeur envoyée avec sa date d'envoi, son contexte s'il existe et l'action associée. On a pu afficher ces valeurs et ces courbes grâce aux fonctionnalités d'Ubidots.

Figure 15 Gauge des valeurs de CO2

## 2. Événements et information de l'utilisateur

Sur la plateforme Ubidots, on a la possibilité de programmer des événements tel que « L'envoi des emails » lorsque la variable a atteint une telle valeur où « L'envoi d'un SMS » lorsqu'une autre variable a dépassé une limite. La figure ci-après résume les types d'événements qu'on peut créer sur Ubidots.

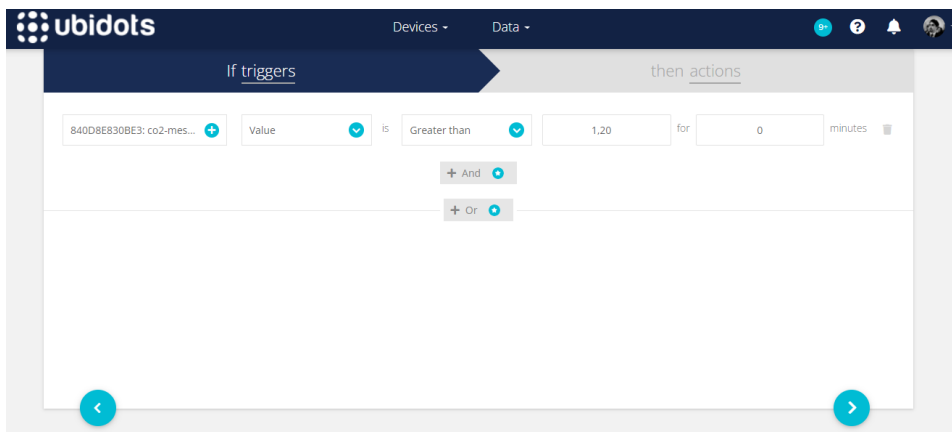


Figure 16 Création de l'évènement

### a) Création de l'évènement

Les étapes de création d'un événement sont illustrées par les captures suivantes :

#### 1. Création du trigger :

On a au début un « If Trigger » pour définir quand et dans quelle condition aura-t-on cet événement et on peut jouer sur la valeur, la position ou le fait que le capteur a resté inactif.

On peut créer l'événement en se basant sur des comparaisons et en modifiant la période pour laquelle la comparaison est vraie.



## 2. Création de l'action :

Puis on a « then actions » dans laquelle on définit le type d'action qu'on voulait Faire, envoyer un email, un SMS, etc. on peut spécifier le ou les destinataires, l'objet et le corps de l'email et le nombre de fois d'envoi (chaque jour, chaque heure ...)

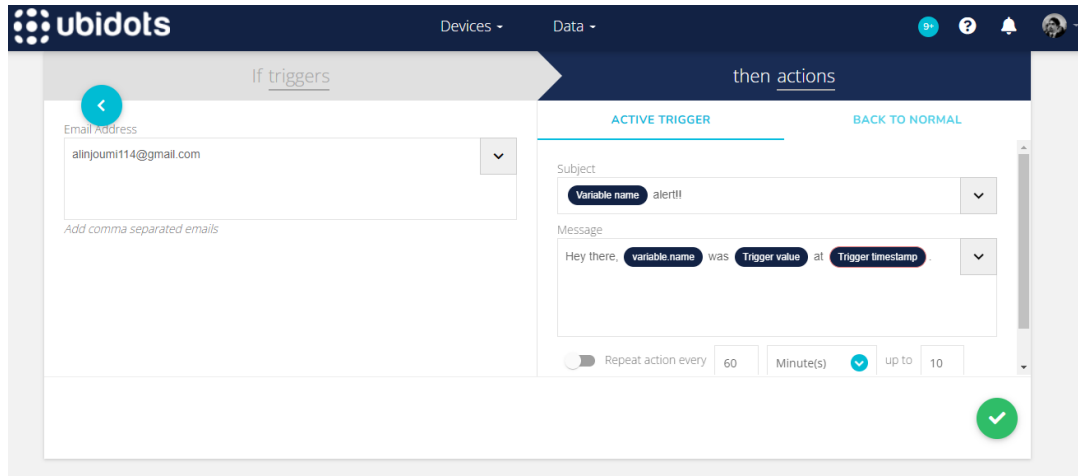


Figure 17 Création d'une action

Donc on choisit les deux actions suivantes :

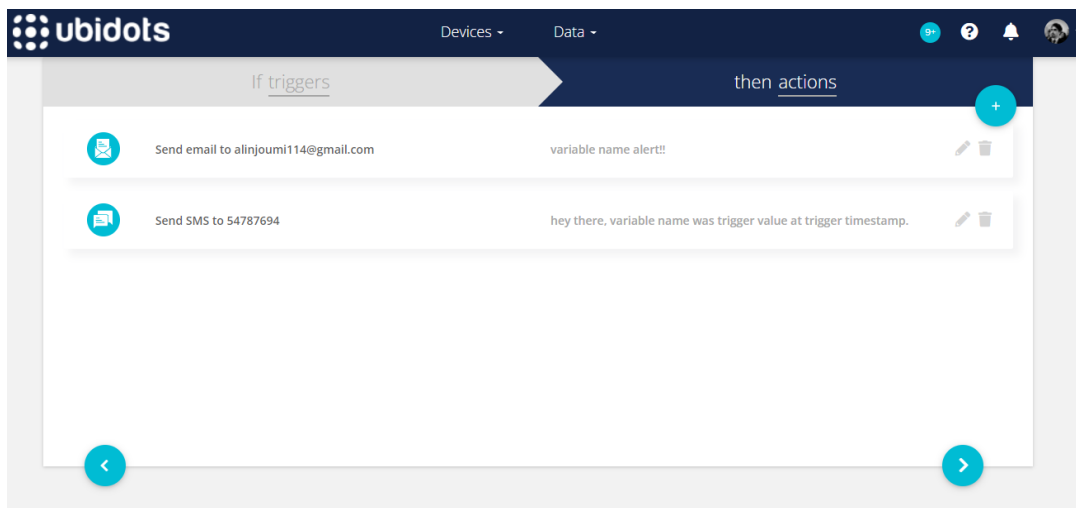


Figure 18 Actions créées

### 3. Evénements faits

On a choisi un envoi de façon régulière chaque 6h == 360 min par email des 2 valeurs mesurées dans des conditions normales et un envoi exceptionnel par SMS chaque 2h == 120 min lors de la persistance d'une pique de valeur anormale et un appel téléphonique chaque 1/2h == 30min lors de la détection d'une valeur signifiant un danger.

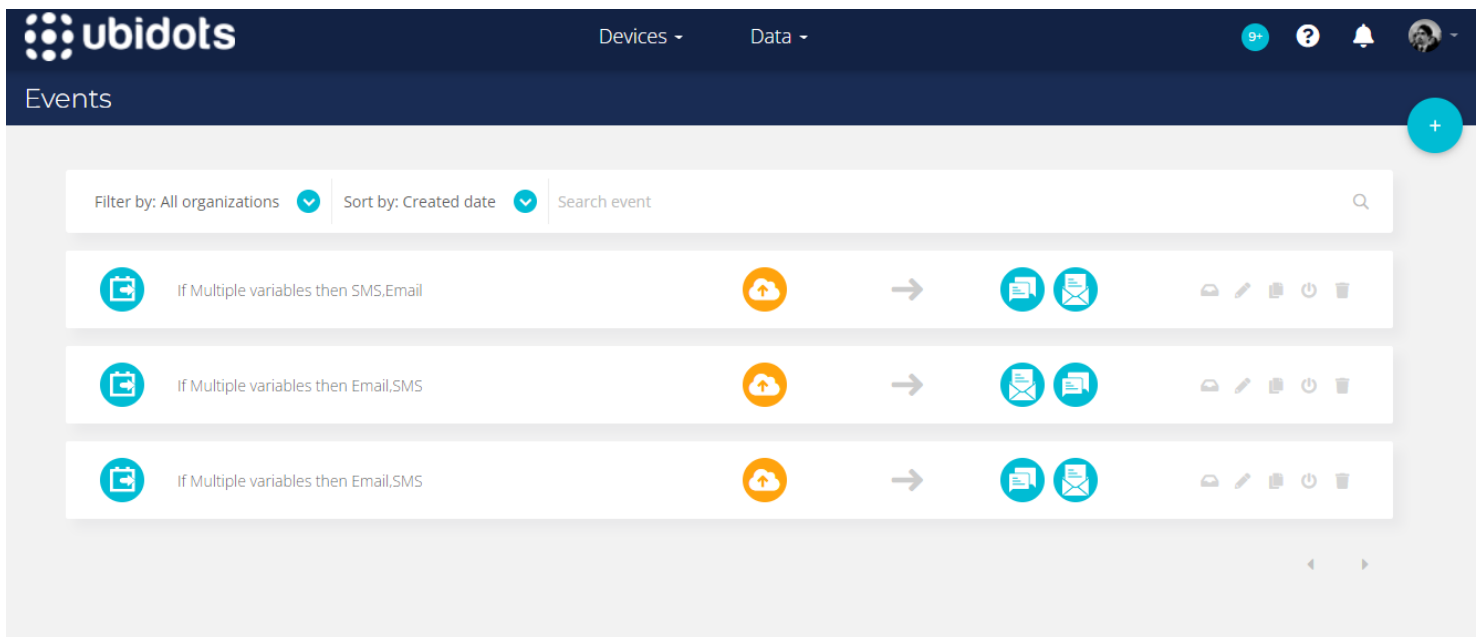


Figure 19 Evènements

### 4. Dashboard



Figure 20 Dashboard

Sur Ubidots, on peut créer, désigner et caractériser notre Dashboard, chose qu'on a pu faire. Ce Dashboard contient des éléments mettant en valeur chaque capteur tout seul et des éléments de synthèse, de comparaison de disposition des valeurs des deux capteurs à la fois et ce pour des raisons de visionnage et d'avoir une idée globaliste sur le device comme une entité. Parmi ces widgets on trouve le « HTML Canvas » qu'on a pu l'extraire seul pour faire un site web vitrine.

## IV. Conclusion

Une telle solution IoT donne à l'agricole la possibilité de bien savoir des informations comme l'humidité du sol et les émissions de CO2 sur son terrain agricole dans le but d'améliorer la fertilité du sol et augmenter la production.

Pour que le projet fonctionne d'une manière plus efficace, on doit échanger la carte ESP 8266 par une carte arduino Yun car la collecte des données du capteur devient plus précise. Pour la consommation de l'énergie, les panneaux solaires seront une solution préférable si votre utilisation était pour une longue durée sinon une batterie rechargeable suffirait pour une utilisation de courte durée.

Pour la partie de communication entre devises et gateway, la meilleure solution sera l'utilisation de Lora à raison de sa basse consommation de l'énergie et sa longue portée.

Malgré toutes les difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre du projet, j'ai réussi à réaliser la totalité de notre application.

Ce projet a été une expérience utile et riche qui a amélioré notre expérience technique et commerciale compétences.

# Bibliographie

- [1] : [Ad fruit Capteur de Sol Stemma - Capteur capacitif d'humidité I2C : Amazon.fr: Jardin](#)
- [2] : [ESP8266 pinout reference and how to use GPIO pins \(microcontrollerslab.com\)](#)
- [3] : [https://2betrading.com/accueil/584-raspberry-pi-3.html](#)
- [4] : [https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/%20architecture/](#)
- [5] : [https://www.amazon.fr/AZDelivery-MQ-135-Sensor-Modul-Parent/dp/B07CNR9K8P?th=1](#)
- [6] : [https://www.thethingsindustries.com/docs/integrations/cloud-integrations/ubidots/](#)