

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DETIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Mathématiques et Informatique

Filière : Informatique

Spécialité : **Réseaux, Mobilités et Systèmes Embarqués**

Présenté par

LAMZAOUI Melissa

Thème

Contrôle à distance et automatisation d'une serre agricole

Mémoire soutenu publiquement le 08/09/2019 devant le jury composé de :

Président : Mr Daoui M

Examineur : Mme Belkadi M

Encadreur : Mme Aoudjit R

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents, dont le soutien m'a été très précieux, ainsi qu'à mes deux frères Amar et Lounes.

A tous mes amis (es) et camarades.

Ainsi qu'à ma promotrice Mme Aoudjit, dont le professionnalisme n'a d'égal.

-Melissa-

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier ma mère, qui a été d'un grand soutien moral, qui m'a aidé à tenir, et surmonter les nombreux obstacles que j'ai rencontrés, durant cette année . Puis, bien évidemment, mon père, mon binôme, qui a mis la main à la pâte, et qui m'a énormément aidé dans l'aboutissement de ce travail .

Je remercie aussi et surtout mes deux frères Amar et Lounes .

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice Mme Aoudjit, pour la confiance qu'elle m'a accordée .

Enfin, je remercie tous mes amis, et camarades, et tout ceux qui ont pu m'aider de près ou de loin.

LISTE DES FIGURES :

Figure 1: Objets connectés en moyenne par personne	3
Figure 2 : Les acteurs de l'IOT.....	6
Figure 3: Collecte de données	7
Figure 4 : Architecture de l'IOT	8
Figure 5: Architecture d'un réseau LPWAN	10
Figure 6: IOT vs M2M	15
Figure 7: Fonctionnement du protocole HTTP	16
Figure 8 : Domaines d'exploitation de l'IOT.....	18
Figure 9: AIRINOV, le drone pour optimiser les engrais	21
Figure 10 : Ecorobotix	21
Figure 11: Serre	24
Figure 12: Serre tunnel	28
Figure 13: Serre chapelle	28
Figure 14: Brasseur d'air dans une serre	30
Figure 15: Architecture du projet	34
Figure 16: Arduino UNO	36
Figure 17: Raspberry PI	37
Figure 18 : Broches de la Raspberry PI	38
Figure 19: ESP 32	38
Figure 20: GPIOs de l'ESP32	40
Figure 21: DHT22.....	41
Figure 22: MQ135	41
Figure 23 :Ppm et qualité de l'air	42
Figure 24: Capteur d'humidité du sol	43
Figure 25: Valeurs relevées sur sol sec	44
Figure 26: Valeurs relevées sur sol humide	44
Figure 27: Capteur de niveau d'eau	45
Figure 28: Schéma de câblage d'un capteur de niveau d'eau	45
Figure 29 : Immersion du capteur dans l'eau	46
Figure 30: Exemple de valeurs relevées par la photorésistance	48
Figure 31 : Schéma de câblage de l'écran LCD	49
Figure 32: Brochage du L293D	52

Figure 33: Schéma de câblage L293D	55
Figure 34 : YwRobot Power Supply	55
Figure 35: Brochage ULN2003A	56
Figure 36: Schéma de câblage ULN2003A et moteur à courant continu	57
Figure 37: Relais	58
Figure 38: ESP32 et relais	59
Figure 39 : Relais et lampe	59
Figure 40: L298N	61
Figure 41 : Schéma de câblage L298N et moteur pas à pas	63
Figure 42: InfluxDB	64
Figure 43: Principe du MQTT	67
Figure 44: Envoyer une commande pour contrôler une sortie	68
Figure 45: Lire les données d'un capteur	68
Figure 46: Principe de Publish/Subscribe	68
Figure 47: Topic	69
Figure 48: Exemple de fonctionnement du topic	70
Figure 49: Mqtt Broker	70
Figure 50: OpenWeatherMap	71
Figure 51 : Brochage	72
Figure 52: Mode de fonctionnement d'un module Xbee	73
Figure 53: IFTT	74
Figure 54 : HighCharts	76
Figure 55: Exemples de graphes créés à partir de HighCharts	76
Figure 56 : Paramètres de l'application.....	77
Figure 57 : Email d'alerte	77
Figure 58 : Graphe	78
Figure 59 : Contrôle manuel de l'éclairage, arrosage, et fenêtre	79

Liste des tableaux :

Tableau 1 : ESP32 vs ESP8266	34
Tableau 2: Interprétation des valeurs données par une photorésistance	40
Tableau 3: Classement des TSDB	44

INTRODUCTION GENERALE:

L'agriculture d'aujourd'hui doit faire face à plusieurs enjeux : un monde de plus en plus chaud dû, au dérèglements climatiques, l'explosion démographique, des cultures de plus en plus intensives, l'épuisement des ressources fossiles, les enjeux environnementaux (protection de la biodiversité, lutte contre les pollutions,), et sanitaires, qui imposent un besoin immédiat d'adaptation , et un changement de modèle pour tendre vers plus de durabilité.

La culture sous serre, permet de lutter contre, ces différents obstacles, car, les serres permettent : une diversité des cultures, la prolongation des saisons, la protection des plantes contre les maladies, et un meilleur rendement.

Cependant, elle doivent faire face, à un marché de plus en plus concurrentiel et conditionné par des normes de qualité sévères. Les systèmes de production des serre agricoles deviennent considérablement sophistiqués et donc incroyablement coûteux. C'est pourquoi, il est primordial d'optimiser les investissements des serristes, par une plus grande maîtrise des conditions de production.

Dans ce cadre, ce projet de fin d'études, a pour finalité, la réalisation d'un contrôle à distance, d'une serre agricole .

Le mémoire se divise en trois parties. Dans un premier temps, nous verrons les concepts généraux, de l'IOT (Internet of Things), puis nous verrons un peu plus en détail, l'agriculture intelligente et les différents paramètres, à prendre en compte, dans une serre agricole, et enfin, dans un dernier temps, nous passerons à la conception et réalisation de ce système de contrôle.

CHAPITRE 1: L'IOT

De nos jours, L'IOT (Internet of Things, ou Internet des objets) constitue l'une des plus grandes révolutions de la technologie de l'information. En effet, elle est considérée comme l'extension du réseau internet et devient vraiment, très répandue dans le monde, ce qui a donné naissance, à un nouvel aspect d'exploitation des ressources de l'internet, et qui a permis d'étendre ce réseau virtuel vers un usage plus complexe, celui de faire communiquer tous les objets qui nous entourent.

En outre, l'IOT n'est plus un phénomène éphémère, mais bien réel, étant donné, que les statistiques, prédisent qu'il y aura 50 milliards d'objets ,liés à l'ensemble du monde , d'ici la fin de l'année 2020. Ainsi, tous les périphériques du monde seront connectés, y compris les êtres humains.



Figure 1: Objets connectés en moyenne par personne

I- Définition:

L'Internet des objets est un concept et non pas une technologie pour des appareils spécifiques, c'est la volonté d'étendre le réseau internet et les échanges de données, aux objets du monde physique : voiture, lunette, montre, etc ...

Jusqu'à présent, les ordinateurs et l'Internet ont toujours eu, besoin de l'homme pour les alimenter en données. Désormais, l'IOT construit une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel.

L'IOT donc désigne l'ensemble des objets connectés, et équipements connectés à Internet, ainsi que toutes les technologies qui s'y rapportent. En d'autres termes, l'IOT, regroupe tout ce qui peut être connecté à Internet, pour recevoir/et ou émettre des données, à l'aide de capteurs. [1]

II- Avantages et inconvénients de l'IOT:

- Avantages : [2]

L'IOT est une infrastructure nouvelle, qui ne cessent de donner des avantages, quotidiens . C'est un concept ayant des répercussions monstres, sur les technologies et la société dans divers secteurs : des secteurs privés, étatique et industrielle 4.0 . Cependant, au-delà de l'innovation que présente le vaste monde de l'Internet des objets, il est bel et bel question de performance. En effet, en entreprise, l'IoT peut être utilisé pour automatiser et superviser des tâches manuelles répétitives (éclairage, climatisation, température de l'eau, etc.), et les usages sont loins de s'arrêter là. L'IoT constitue un levier puissant pour :

- réduire ses coûts de maintenance (en équipant ses TGV de milliers de capteurs, la SNCF table sur 10 à 30% de gain) ;
- réduire ses stocks pour « coller » strictement à la demande (BMW imprime en 3D certaines pièces de la BMW i3 au moment du montage) ;
- augmenter ses ventes (+ 12% pour Coca-Cola Amatil avec l'implantation de 50 vitrines réfrigérées interactives et connectées) ;
- mieux connaître ses clients (le bracelet d'Affect-Tag renseigne sur les émotions d'un client lors du test d'un produit) ;
- fidéliser ses clients (Nespresso facilite par exemple le rachat de ses capsules via des notifications sur smartphone avec la machine connectée Prodigio).

Si l'IoT permet d'enregistrer des gains à court terme, il permet aussi de créer de nouveaux liens avec le client, en lui proposant de nouveaux services, en répondant mieux à ses besoins et à ses envies grâce à des bases de données enrichies. On comprend donc pourquoi, selon une étude Forrester de novembre 2016 réalisée auprès de 3 600 décideurs, une entreprise sur cinq exploite déjà le potentiel de l'IoT quand 28% de celles qui ne le font pas prévoient de s'y mettre prochainement.

- Inconvénients :

L'IOT gère nos données personnelles, les objets connectés produisent de grandes quantités d'information et le traitement de cette masse de données implique de nouvelle préoccupation notamment autour de la confidentialité et de la sécurité, notamment : [3]

- Les fréquences exploitées sont également utilisées pour d'autres usages. Wifi, Micro-onde, objets télécommandés.. et peuvent perturber le fonctionnement des IOT.
- L'analyse des données s'effectuent en dehors de la bulle privée, possible fuite des données.
- La consommation électrique: [4]

Les objets connectés consomment beaucoup d'énergie. Comment ferons-nous face aux besoins énergétiques des 20 milliards d'objets connectés en circulation d'ici à 2050 ?

- La gestion des capteurs:

Selon une équipe de l'ETH de Zurich, du fait des smartphones puis du nombre croissant d'objets connectés, en dix ans (2015-2025), 150 milliards d'objets devraient se connecter entre eux, avec l'Internet et avec

plusieurs milliards de personnes. La gestion des capteurs, deviendra donc problématique. [5]

- L'uniformisation des standards techniques:

L'IoT est un vaste marché, qui ne désigne pas une seule technologie mais des dizaines de standards, qui fonctionnent tous différemment. Il est donc impératif, d'uniformiser, ces standards.

- La gestion des données:

L'IoT tend à créer un océan de data gérable uniquement grâce à l'Intelligence Artificielle. Par exemple, sur un avion de ligne, il y a plus 20 000 capteurs et une simple turbine d'A380 fournit 10G de données à chaque vol, comment gérer toutes ces données?

III- Les 5 composants de L'IOT: [6]



Figure 2 : Les acteurs de l'IOT

- Les objets (capteur)
- Le réseau
- Les données
- L'information
- Les applications d'exploitation

1.a. Les objets : [7]

Ce sont des dispositifs permettant de collecter, stocker, transmettre et traiter des données issues du monde physique. Identifiés et Identifiables de façon unique et ayant un lien direct ou indirect via un concentrateur « Gateway » avec Internet.

Il existe deux types d'objets:

- **Les objets passifs** : ils utilisent généralement un tag (puce RFID, code barre 2D). Ils embarquent une faible capacité de stockage (de l'ordre du kilo-octet) leur permettant d'assurer un rôle d'identification.
- **Les objets actifs** : ils peuvent être équipés de plusieurs capteurs, d'une plus grande capacité de stockage, être doté d'une capacité de traitement ou encore être en mesure de communiquer sur un réseau.

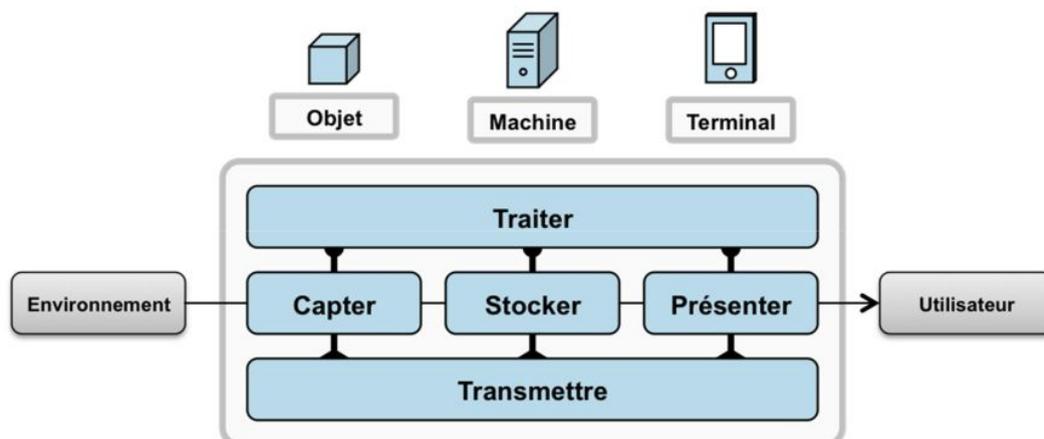


Figure 3: Collecte de données

La finalité des objets connectés est de s'adapter non seulement aux besoins, mais aussi à l'environnement : chaque objet connecté est équipé de capteur qui récupère les informations sous forme numérique, normalisée comme une adresse IP puis les communiquer via un système de communication (câble USB, puce RFID, Bluetooth, Wifi...).

1.b Le réseau:

Il doit s'adapter à une contrainte de taille, la source d'énergie des objets qui y sont connectés, qui est relativement faible, mais également répondre aux besoins du projet, à savoir, quelle couverture de la zone d'usage des objets à couvrir (au sein d'un campus, une ville, à l'échelle de la planète ?) , ce qui déterminera, l'architecture du réseau, et le cycle de vie de la solution.

- **Architecture de l'IOT:**

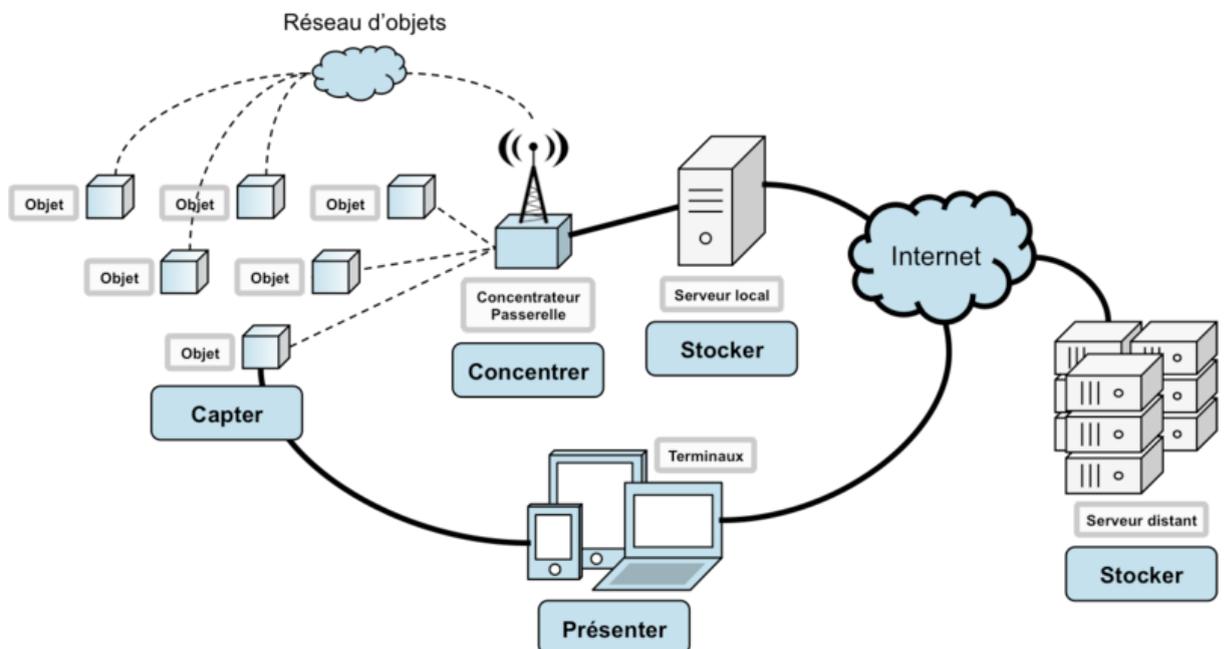


Figure 4: Architecture de l'IOT

Rôle des processus présentés sur le schéma:

Capter : désigne l'action de transformer une grandeur physique analogique en un signal numérique.

Concentrer : permet d'interfacer un réseau spécialisé d'objet à un réseau IP standard (ex. Wifi) ou des dispositifs large public.

Stocker : qualifie le fait d'agréger des données brutes, produites en temps réel, méta taguées, arrivant de façon non prédictible.

Présenter : indique la capacité de restituer les informations de façon compréhensible par l'Homme, tout en lui offrant un moyen d'agir et/ou d'interagir.

Traitement des données : Intervient à tous les niveaux de la chaîne, depuis la capture de l'information à sa restitution. Consiste à stocker l'information dans sa forme intégrale, collecte de manière exhaustive « Big Data », sans préjuger des traitements qu'on fera subir aux données.

1.c. a. Les réseaux de longue portée:

Comme Sigfox, LoRa ou encore les technologies cellulaires (GSM, 2G, 3G...), ce sont des réseaux capables de faire transiter des données d'un appareil à l'autre sur de vastes distances, ils sont utilisés par les entreprises pour interconnecter des kilomètres d'infrastructures à Internet.

1.c.b. Les réseaux LPWAN (Low Power Wide Area Network):

Ce sont des réseaux longue portée (de l'ordre de plusieurs kilomètres 5 à 40 km) et à faible consommation énergétique. À l'image des réseaux Sigfox et LoRa, ces réseaux se chargent d'émettre ou de recevoir des paquets vers les différents équipements IoT se trouvant à proximité et à faible coût.

La typologie réseau LPWAN est constituée d'antennes Gateway qui permettent de faire la correspondance entre le monde Hertzien et le monde d'Internet.

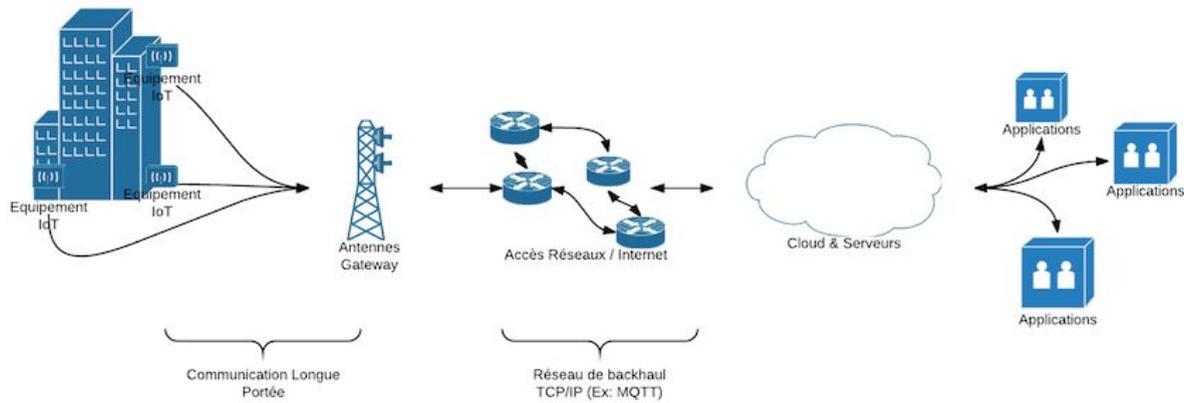


Figure 5: Architecture d'un réseau LPWAN

Sigfox et LORAWAN:

Ce sont deux technologies, de même catégorie, qui sont utilisés dans les LPWAN (Low Power Wide Area Network), qui permet de réaliser des réseaux à longue distance, faible consommation d'énergie, et faible débit.

Il s'agit de réseaux permettant d'envoyer des messages de petite taille de l'ordre de l'Octet (12 pour Sigfox et 24 pour LoRa).

1.c.c.Les réseaux cellulaires (GSM, 2G, 3G, 4G) : Fournis par les opérateurs télécoms traditionnels, ils permettent de transférer d'importantes quantités de données (pour faire transiter 83 mégabits, il faut 22 secondes en 3G et 1 seconde en 4G, selon l'opérateur, très gourmands en énergie ces réseaux sont à réserver à des appareils branchés au secteur. Le prix des abonnements est nettement plus élevé que ceux de Sigfox et LoRa. Par ailleurs, il faut prévoir un espace sur l'objet connecté pour insérer une carte SIM.

1.c.d.Les réseaux propriétaires : Installer un réseau type LoRa ou Sigfox ne coûte pas très cher, comparé à un réseau cellulaire, car le nombre d'antennes à installer est plus faible pour installer un réseau privé. Ces firmes peuvent ensuite louer un droit de passage sur leurs antennes à des sociétés tierces.

I.II.4.2. Réseaux à courte portée :

Comme le Wifi, le Z-Wave, le ZigBee, ou encore le Bluetooth LowEnergy, permettent de transférer des données sur de faible distance. Ils sont beaucoup

utilisés dans la domotique ou sur le marché des wearables grand public, Un bracelet connecté n'est jamais très loin du téléphone auquel il transfère ses data.

Le Bluetooth

Technologie radio, très connue, et très utilisée, de moyenne portée (environ 10m) qui permet d'envoyer des messages de grande taille et en grande quantité. Cependant, cette dernière, ne se suffit pas à elle-même, car elle nécessite une tierce technologie pour transférer et stocker les données. De plus, il s'agit d'un moyen de communication disposant d'un grand débit, puisqu'il repose sur la bande de fréquence 2,4 GHz tout comme le Wifi.

Le Wifi :

Universel, le Wifi permet de transférer un grand nombre de données rapidement, jusqu'à 600mbps, Il est bidirectionnel, ce qui permet de mettre facilement à jour les appareils, il est très énergivore et ne peut être utilisé que pour des appareils branchés au secteur, dans la maison par exemple.

Le Z-Wave : C'est un protocole de communication dédié à la domotique. Sans fil, il est facile à installer dans la maison. Il a à la base une portée de 30 mètres. C'est un réseau maillé, c'est-à-dire que chaque appareil connecté au système est émetteur de données mais peut aussi relayer celles qui sont émises par ses voisins, Cela permet d'élargir sa portée.

Zigbee: [8]

Zigbee est un protocole de communication radio développé spécifiquement pour les applications de domotique. D'une portée moyenne de 10 mètres, il utilise

une faible bande passante et est idéal pour le transfert de données en faible volume. Peu énergivore et conçu pour des échanges de données à bas débit, le dispositif Zigbee convient aux appareils alimentés par une pile ou une batterie, et en particulier aux capteurs. Il est conçu pour fonctionner en réseau maillé : chaque nœud reçoit, envoie et relaie des données. Il est par exemple utilisé par certains détecteurs de fumée.

Le RFID:(radio frequency identification)

La radio-identification, est une méthode pour mémoriser et récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés « radio-étiquettes », petits objets, qui peuvent être collés ou incorporés dans des objets ou produits et même implantés dans des organismes vivants (animaux, corps humain). Ils comprennent une antenne, qui leur permet de recevoir et de répondre aux requêtes radio émises depuis l'émetteur-récepteur, associée, à une puce électronique, qui contient un identifiant et éventuellement des données complémentaires . [9]

Cette technologie peut être utilisée pour identifier les objets (même système que pour les codes barres), les personnes (passeports, carte de paiement, ...), et également les animaux domestiques, ou les animaux d'élevage.

2.c. Les données:

Il s'agit des divers éléments bruts, récoltés, par les objets (capteurs d'humidité, température, ...).

Afin que ces données aient de la valeur, il est nécessaire de les stocker et de les sauvegarder, dans des bases de données.

2.a. Les informations:

L'information est le résultat, des données traitées, corrélées et analysées.

Celle-ci, doit être stockée, archivée et sauvegardée dans des bases de données.

Prenons un exemple:

1-Le capteur d'une porte d'entrée donne une donnée : PORTE OUVERTE OU FERMÉE

2- On dispose d'une donnée universelle : L'HEURE

L'information sera d'alerter l'utilisateur, si la porte d'entrée est ouverte à une heure, qui n'est pas "normale". Il y'a eu corrélation entre deux données, l'heure et la donnée du capteur, pour générer une information.

2.c- Applications d'exploitation:

Ce sont des interfaces Homme-Machine, dans lesquelles l'utilisateur, peut visualiser, toutes les données, sous forme de tableaux, ou de graphes. Ces interfaces, possèdent des mécanismes complémentaires tels que l'alerting (envoi d'un mail ou d'un SMS, afin d'intervenir sur des incidents, ou pour des dépassements de seuil).

IV. Les protocoles M2M:

M2M (Machine to Machine, communication de machine à machine, communication inter-machines...) est utilisé pour parler de l'ensemble des outils TIC (technologies de l'information et de la communication), déployés pour permettre à des machines de communiquer entre elles sans qu'il n'y ait une intervention humaine. Elle repose sur une communication point à point.

La différence entre IOT et M2M:

Le M2M et l'IoT sont des solutions qui proposent des accès à distance, à des objets ou des capteurs.

Le M2M se définit traditionnellement par un réseau de télécommunication point à point utilisant un module cellulaire ou Wifi intégré, pour connecter des machines ou des objets à un réseau. L'intervention humaine n'est pas

nécessaires, les informations circulent d'un endroit à un autre et peuvent être relayées via un serveur vers un logiciel.

L'IoT est considéré comme un système de système où chaque objet est identifié et communique avec une plateforme Cloud. Il induit une standardisation, des normes communes dans son fonctionnement. La plupart des objets connectés sont par exemple identifiés par une adresse IP, à l'instar d'un ordinateur raccordé à Internet. Le but est de récupérer, traiter, analyser les informations, les données et de les stocker.

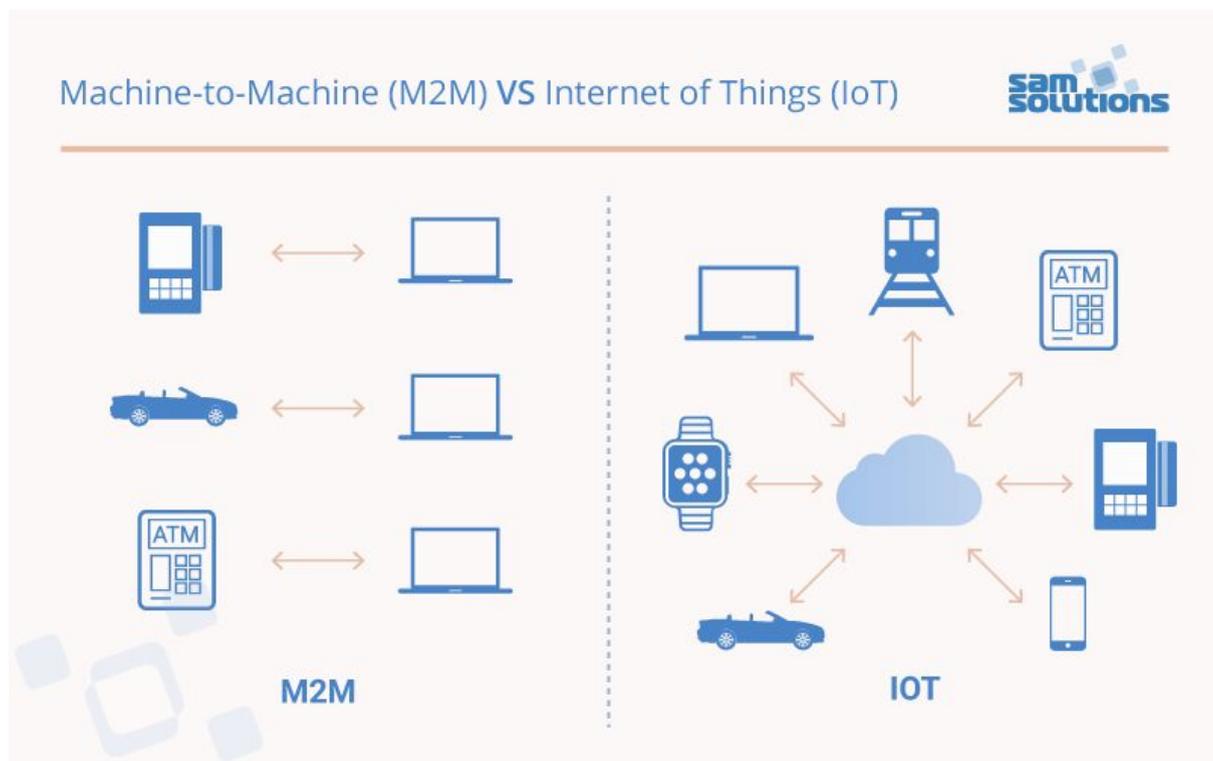


Figure 6: IOT vs M2M

7.Les protocoles utilisés dans l'IOT:

7.1.MQTT: [10]

MQTT est un protocole de transfert de données, de type Machine-to-Machine (M2M), désignés pour les appareils, à faible capacité, donc parfait pour les

objets connectés, qui ont différentes contraintes, d'énergie, et de stockage. Il est, considéré, comme l'un des plus importants, protocole de messagerie, et le plus utilisé dans l'IOT.

7.2. Le protocole HTTP: [11]

L'**Hypertext Transfer Protocol (HTTP)**, littéralement « protocole de transfert hypertexte ») est un protocole de communication client-serveur développé pour le World Wide Web. HTTPS (avec S pour secured, soit « sécurisé ») est la variante du HTTP sécurisée par l'usage des protocoles SSL ou TLS.

HTTP est un protocole de la couche application. Il peut fonctionner sur n'importe quelle connexion fiable, dans les faits on utilise le protocole TCP comme couche de transport. Un serveur HTTP utilise alors par défaut le port 80 (443 pour HTTPS).

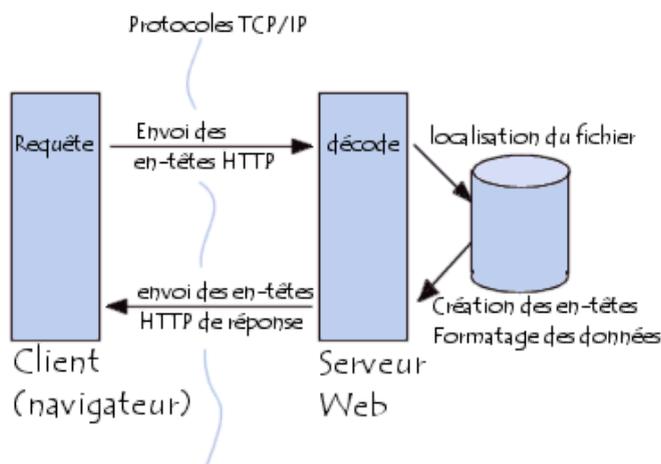


Figure 7: Fonctionnement du protocole HTTP

7.3. Les Websockets:[12]

WebSocket est un standard du Web désignant un protocole réseau de la couche application et une interface de programmation du World Wide Web visant à créer des canaux de communication full-duplex par-dessus une connexion TCP pour les navigateurs web.

8.La sécurité dans l'IoT :

- **Authentification** : L'authentification peut être définie comme le processus de prouver une identité revendiquée. Lorsqu'il existe une seule preuve de l'identité (mot de passe) on parle d'authentification simple lorsque cette dernière nécessite plusieurs facteurs on parle alors d'authentification forte.
- **Confidentialité** : La confidentialité est le fait de s'assurer que l'information n'est accessible qu'à ceux dont l'accès est autorisé, permet de garder la communication des données privée entre un émetteur et un destinataire. Le chiffrement des données est la seule solution pour assurer la confidentialité des données. Ceux dont l'accès est autorisé, permet de garder la communication des données privée entre un émetteur et un destinataire. Le chiffrement des données est la seule solution pour assurer la confidentialité des données.
- **Intégrité** : L'intégrité permet de garantir que les données sont bien celles que l'on croit être, donc permet de garantir la protection des données contre les modifications et les altérations non autorisées.
- **Disponibilité** : La disponibilité est un service réseau qui permet de donner une assurance aux entités autorisées d'accéder aux ressources réseaux. L'objectif est d'éviter les attaques de type Déni de service.
- **Non-répudiation** : Non-répudiation permet de garantir qu'une transaction ne peut être niée et qu'un message a bien été envoyé par un émetteur et reçu par un destinataire aucun des deux ne pourra nier l'envoi ou la réception du message

9-Domains d'applications de L'IOT:

L'Internet des Objets, est utilisé, partout, dans tous les domaines possibles, et tout secteur d'activité, en passant par le frigo d'une ménagère, à de grands secteurs industriels, mais également, le transport, les villes intelligentes, l'agriculture intelligente, et bien d'autres...

On peut donc citer, quelques exemples :

Smart Cities : congestion du trafic et surveillance des véhicules pour optimiser les itinéraires de conduite et de marche.

Eau intelligente : surveillance de l'eau potable; surveiller la qualité de l'eau du robinet dans les villes. Détection de fuite chimique dans les rivières.

Les compteurs intelligents : niveau du réservoir; surveillance des niveaux d'eau, d'huile et de gaz dans les réservoirs de stockage et les citernes.

Logistique : localisation de l'objet : recherche d'objets individuels dans de grandes surfaces, comme les entrepôts ou dans les ports.

Contrôle industriel : autodiagnostic de la machine et contrôle des actifs ; surveillance de la température Contrôle de la température à l'intérieur des frigos industriels et médicaux avec des marchandises sensibles.

Agriculture intelligente : amélioration de la qualité du vin ; surveiller l'humidité du sol et le diamètre du tronc dans les vignobles pour contrôler la quantité de sucre contenu dans les raisins de la vigne.

Domotique : énergie et utilisation de l'eau : surveillance de la consommation d'énergie et d'approvisionnement en eau pour obtenir des conseils, sur la façon d'économiser les coûts et les ressources.

Cyber santé : aide à la détection des chutes pour personnes âgées ou handicapées vivant indépendamment.

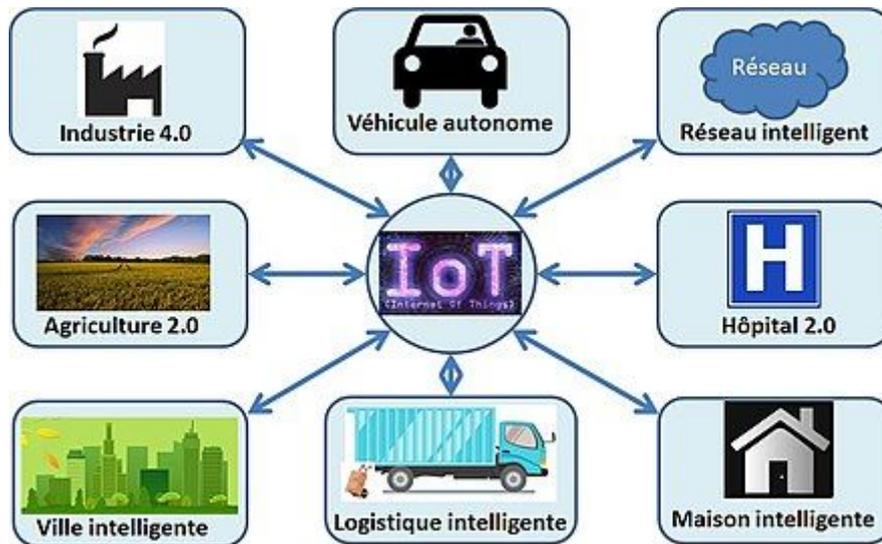


Figure 8 : Domaines d'exploitation de l'IOT

Conclusion :

L'Internet des objets, est un concept, qui permet d'établir une passerelle entre monde physique et monde virtuelle, et ainsi de pouvoir, contrôler toutes sortes d'objets, d'un four à une ville entière.

Ce chapitre, nous a permis, de comprendre, les concepts généraux de l'IOT, et d'en avoir une vision globale.

CHAPITRE 2: L'AGRICULTURE INTELLIGENTE

I- Agriculture intelligente:

La croissance démographique mondiale, ne cesse d'augmenter, d'années en années. Nous sommes déjà plus de 7,7 milliards d'habitants sur Terre, ce qui entraîne un risque imminent, dans futur proche de pénurie alimentaire. C'est ici que rentre en jeu, le Smart Farming, ou Agriculture Intelligente.

1-Principe:[13]

Le principe de l'agriculture de précision, c'est d'augmenter les rendements d'une parcelle tout en diminuant la consommation d'énergie, c-à-d, « produire

plus avec moins ». Ce type d'agriculture, utilise des moyens d'observation (satellites, drones, capteurs connectés) associés à des outils d'aide à la décision (accessibles sous forme d'applications Web et Mobile).

2-Enjeux :[14]

Optimiser la gestion des parcelles:

a) Agronomique:

visé à améliorer l'efficacité rendements, y compris par le choix de souches et variétés plus adaptées.

b) Environnementale:

Ils permettent d'intervenir uniquement lorsque c'est nécessaire. Par exemple, on peut ainsi adapter l'utilisation de produits phytosanitaires en fonction des stricts besoins des cultures, et de traiter les parcelles au mètre carré près.

c) économique: augmentation de la compétitivité par une meilleure efficacité des pratiques.

En outre, l'agriculture de précision met à la disposition de l'agriculteur de nombreuses informations qui peuvent :

- constituer une véritable mémoire de l'exploitation ;
- aider la prise de décision ;
- aller dans le sens des besoins de traçabilité ;
- améliorer la qualité des produits agricoles (exemple : taux de protéines pour les blés panifiables) ;
- améliorer les rendements des différentes parcelles.

3-Technologies utilisées dans le Smart Farming:

Toutes les technologies sont utilisés à ce niveau là, en passant des drones, qui survole les passerelles, aux robots désherbeurs.

Voici, quelques exemples:

- Fondée en 2010, Airinov [15] est aujourd'hui un des leaders du marché français, avec 10.000 utilisateurs et 150.000 hectares couverts. Les associés ont mis au point des drones capables de calculer le poids du colza ou le taux de chlorophylle du blé grâce aux longueurs d'onde émises par la plante. Airinov détermine ensuite les besoins en azote de chaque mètre carré de parcelle.



Figure 9: AIRINOV, le drone pour optimiser les engrais

- Ecorobotix: robot autonome désherbant, Il se déplace seul en s'orientant et se positionnant grâce à son GPS RTK, sa caméra et ses capteurs. Son système de vision lui permet de suivre les lignes de culture et de détecter la présence et position des mauvaises herbes.



Figure 10 : Ecorobotix

On peut déclarer ,en générale, que l’agriculture de précision peut se décomposer en 2 aspects :[16]

- Le premier est l’analyse des parcelles. On regroupe dans cette partie la prise d’informations sur les cultures grâce aux capteurs des satellites, drones ou avions. Elles permettent de dresser des cartes précises des variabilités intra-parcellaires, mais également les différents moyens existant de modulation des apports aux cultures et l’étude des caractéristiques des sols de la parcelle.
- Le second est le guidage assisté. Il se définit comme une correction de la trajectoire du tracteur lorsqu’il parcourt une parcelle pour éviter les sous ou sur-dosages dus à une absence de passage du tracteur sur une zone ou au contraire, à un double passage. Deux moyens sont actuellement utilisés dans cette fonction : le dGPS et le RTK.

Le Smart Farming, est très utilisé, pour le contrôle des serres.

II-Les serres:

a-Définition: [17]

Une serre est une structure close ou semi-ouverte translucide, en verre ou en plastique, soutenue par une structure métallique ou en bois, destinée en général à la production agricole. Elle vise à protéger les cultures vivrières ou de loisir des éléments climatiques, afin d'améliorer la production des plantes, d'en accélérer la croissance et de les produire indépendamment des saisons grâce à un gain de température par effet de serre sous la structure.



Figure 11: Serre

b-Importance de la serre: [18]

La serre de culture offre la possibilité de s'affranchir des contraintes climatiques extérieures (pluie, vent, froid). Elle est conçue pour recréer un environnement donné (microclimat). Elle permet le chauffage de l'air et des racines, le contrôle de l'irrigation et de la fertilisation, l'enrichissement en CO₂ et le contrôle de l'humidité. Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en hors saison. La serre permet ainsi d'obtenir une production végétale

dans des conditions meilleures que celles existantes naturellement et ce par une meilleure qualité du produit. Pour aboutir à ces résultats, il faut répondre minutieusement aux exigences de la culture pour les différents facteurs intervenant dans sa croissance et son développement, ceci suppose la connaissance des interactions entre ces divers paramètres

c- Avantages d'une production sous serre: [19]

La production sous serre permet de pallier les problèmes rencontrés de la culture en plein air :

- Les besoins des cultures sont limités dans le climat local.
- Les conditions climatiques externes entravent la production sous serre.
- La serre permet de gérer aisément les facteurs climatiques qui ne sont pas le cas pour une culture en plein air.

Parmi les avantages majeurs d'une production sous serre, nous citons :

- Production plus élevée grâce à la possibilité de contrôler les conditions climatiques de la culture et de favoriser la production à toutes les saisons.
- Augmentation du rendement et de la qualité de la récolte.
- Précocité de la production.
- Réduction de la consommation de fongicides et insecticides. La serre agricole contribue largement à la modernisation du secteur agricole par l'implémentation de nouvelles technologies.

d- Paramètres d'une culture sous serre:

La culture sous serre, requiert, le respect de différents critères et conditions:

1)La gestion du climat:

Le climat, est un critère indispensable, pour la création d'un environnement idéal, pour la croissance des différents plants.

2) La gestion de la lumière:

La lumière peut être artificielle. Elle sert notamment à favoriser l'induction florale(phénomène botanique qui fait qu'un bourgeon à feuille évolue en bouton à fleur.) de certaines espèces de plantes de jour long en rallongeant la durée du jour. L'horticulteur, peut choisir, la durée, de l'éclairage, qu'il juge nécessaire au bien être des plantes .

3)La gestion de la température:

La gestion de la température des serres est contrôlée par la ventilation en cas d'excès. Si les températures baissent à un niveau inférieur à celui accepté par les cultures, on utilise de puissantes chaudières au gaz naturel ou à fioul ou autre moyen de chauffage pour élever la température.

4) La gestion de l'air:

Air et température, sont deux facteurs qui sont liés: plus l'air circule, plus la température de la serre va être proche de celle de l'extérieur. Les plantes convertissent le dioxyde de carbone en dioxygène durant la période diurne de la journée grâce à la photosynthèse. Pour augmenter la productivité de certaines cultures, il arrive que l'on fasse brûler du gaz propane dans les serres pour y augmenter le taux de dioxyde de carbone (CO₂).

5) La gestion de l'eau:

L'eau dans la serre est à l'image de la sève dans la plante: indispensable et source de vie. Une gestion rigoureuse de la qualité et de la quantité est le garant d'une production contrôlée et maîtrisée.

c- Les types de serres:

Il existe plusieurs types de serres, la classification se fait en général, selon les formes données par les cadres porteurs qui constituent l'assemblage, on distingue ainsi, deux principaux types appartenant à deux grandes familles de serres : les serres tunnels et les serres chapelles.

a- Les serres tunnels:

Une serre tunnel est formée de plusieurs grands arceaux métalliques, recouverts d'un film souple en plastique transparent, qui lui donne la forme d'un tunnel. Les dimensions de la serre dépendent des besoins du jardinier.



Figure 12: Serre tunnel



Figure 13: Serre chapelle

b- Quelques équipements utilisés dans une serre:[20]

1-Cooling (système de réfrigération):

Ce système de réfrigération par évaporation d'eau est composé d'extracteurs et de panneaux de refroidissement placés sur les parois opposées de la serre pour créer une zone de pression négative dans la serre. Cela permet que l'air extérieur qui traverse les panneaux humides en se chargeant avec des molécules d'eau, afin de se refroidir et de réduire ainsi la température à l'intérieur de la serre.

2-Brasseur d'air:

Les brasseurs d'air ou ventilateurs permettent d'obtenir un mouvement de l'air pour aider à maintenir un climat intérieur homogène, de façon à éviter l'accumulation d'air chaud dans la partie supérieure de la serre, ce qui réduit considérablement l'effet de condensation de l'eau et favorise la transpiration et l'absorption de CO₂ par les cultures.

Ils peuvent aussi être employés comme soutien des extracteurs ou bien comme systèmes d'humidification ou d'application de traitements.



Figure 14: Brasseur d'air dans une serre

3-Extracteur:

Les ventilateurs extracteurs permettent de forcer l'aération dans la serre lorsque la ventilation naturelle à travers les ouvrants du toit et/ou du périmètre ne permet pas d'atteindre le taux de renouvellement d'air désiré. Il s'agit d'un besoin essentiel dans la production de cultures et dans les fermes d'élevage.

Ils sont indispensables pour un système cooling avec des panneaux évaporateurs et souvent aussi avec des systèmes de brumisation d'eau afin d'obtenir un certain niveau de réfrigération adéquat.

Conclusion:

Ce chapitre nous a permis de connaître les paramètres essentiels à prendre en compte, lors de la réalisation de notre système de contrôle.

CHAPITRE 3: CONCEPTION, ET RÉALISATION

Dans ce chapitre, nous verrons dans un premier temps, l'objectif de notre application, puis les outils qui seront utilisés pour arriver à cette finalité, et enfin nous verrons comment cette application fonctionne dans sa globalité.

I- Objectifs et description du système à réaliser:

L'objectif est de réaliser un système, d'automatisation d'une serre agricole. Pour se faire, il est primordial, de tenir en compte, des paramètres, cités dans le chapitre précédent à savoir : la température de l'air, l'humidité de l'air, l'humidité du sol, et la température, l'arrosage (la quantité d'eau requise à telle ou telle plante), la mesure de la qualité de l'air, (le taux de CO₂), la lumière et la ventilation de l'air.

Notre système, contrôlera tous ces paramètres automatiquement, et pourra déclencher, les actions nécessaires. Les différents seuils des différents paramètres, à ne pas dépasser, seront donnés par l'utilisateur, via une interface web, et le système développé les prendra en compte. De plus, l'utilisateur, pourra visualiser, l'évolution de ces paramètres au cours du temps, grâce à des graphes, qui seront établis par l'application Web.

Dans le cadre de ce projet, les paramètres qui seront mesurés sont :

- La qualité de l'air
- La température de l'air
- L'humidité de l'air
- L'humidité du sol
- La ventilation

- L'arrosage
- La lumière

Les actions qui seront déclenchés en conséquence sont :

- Si la température dépasse un certain seuil, la ventilation s'enclenche, et la fenêtre s'ouvre
- Si le taux de lumière n'est pas assez fort, l'éclairage s'enclenche
- Si l'humidité du sol, est trop basse, alors l'arrosage se déclenche
- Dans le cas, où il n'y a plus d'eau, dans le réservoir, une notification sous forme d'email, sera envoyé, à l'utilisateur.

II-Outils utilisés:

a) Cartes:

- Arduino Uno
- Raspberry Pi
- Esp32

b) Capteurs:

- DHT 22 : capteur d'humidité et de température
- MQ-135: capteur de CO2
- Capteur de niveau d'eau
- Capteur d'humidité du sol
- Photorésistance

c) Autres matériels:

- 2 modules Xbee
- Afficheur LCD
- Un relais
- 2 Pompes à eau

- Une lampe
- Un ventilateur 12v
- L293D
- L298N
- Potentiomètre
- Moteur pas à pas

d- Outils de développement utilisés:

- Base de donnée: InfluxDB

e) Protocoles utilisés:

- MQTT
- HTTP
- Zigbee

f) Services utilisés:

- IFTT

III- Démarche suivie:

Le but du projet est de réaliser, un système, évolutif, ergonomique, à moindre coût et utilisable par tous (communauté non informaticienne).

1) Architecture du projet:

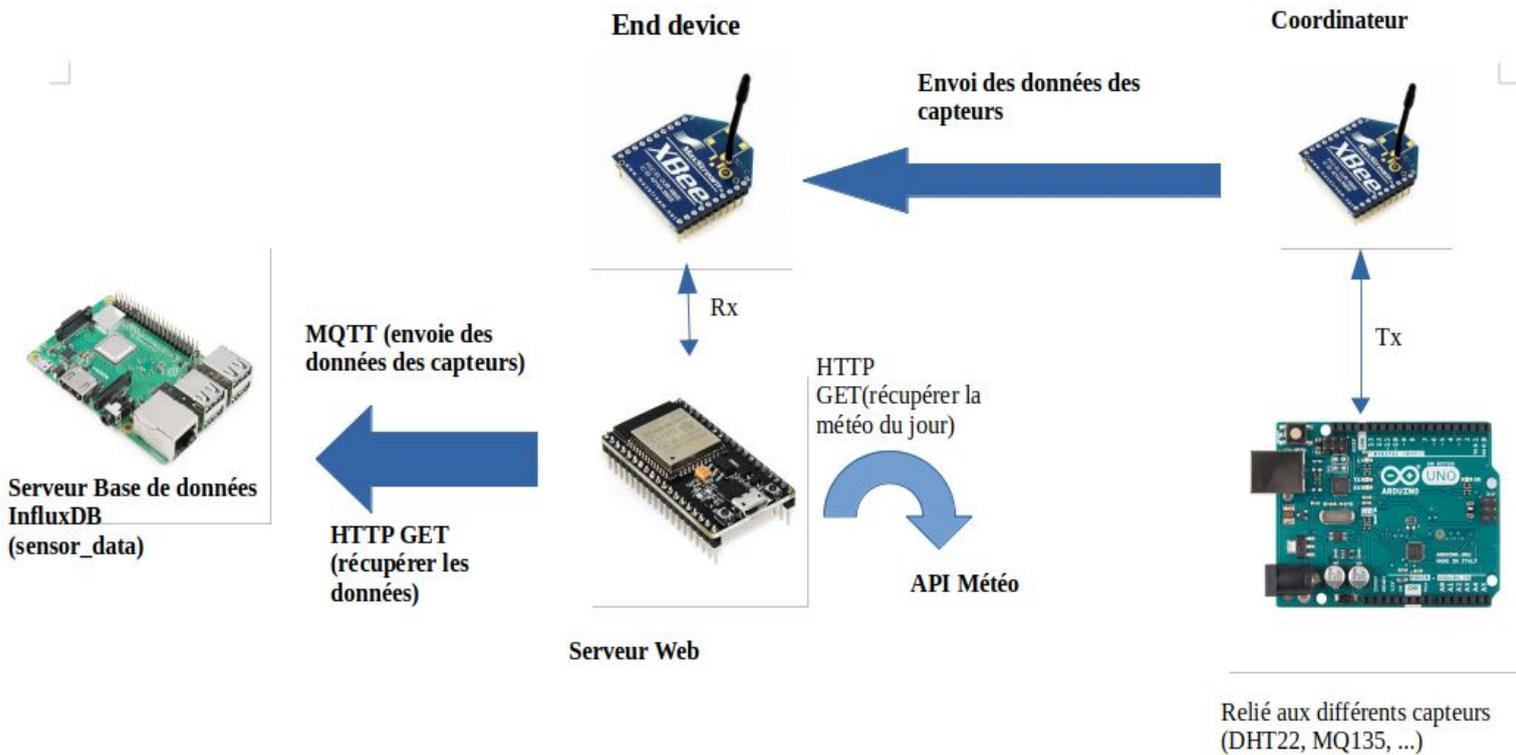


Figure 15: Architecture du projet

Interprétation du schéma:

- En premier lieu, l'utilisateur, va entrer tous les seuils des différents paramètres à prendre en compte, comme par exemple, la température, qui ne doit pas dépasser les 20 degrés, C'est l'ESP32, le serveur web, mais également l'élément, qui peut décider, de réaliser telle ou telle action, car c'est à ce niveau, que la ventilation, l'éclairage, ainsi que le système de ventilation, seront contrôlés. Elle tient, aussi d'autres facteurs, comme la météo, qui sera d'une importance capitale, par exemple, s'il pleut, l'arrosage sera très peu déclenché, mais par contre la fenêtre sera ouverte, pour permettre à l'eau de pénétrer dans la serre.

- L'Arduino est relié à des capteurs, et à un écran LCD, qui affiche, les valeurs des données captées. Ces dernières, sont envoyées, grâce au module Xbee, vers l'ESP32.
- Celle-ci, reçoit les données, et les envoie, par MQTT, en les publiant, au niveau du topic "esp/test".
- La Raspberry, qui est souscrite, à ce topic, va enregistrer toutes les données, dans la base de données "sensor_data".

- Après cette étape, l'application web, sera en mesure d'établir les différents graphes, nécessaires à une bonne visualisation, des différents paramètres.

2) Description de tous les outils utilisés:

A- Partie Électronique:

1- Cartes:

Il existe plusieurs cartes Arduino. Dans ce projet, nous avons décidé, d'utiliser une Arduino UNO, et une Raspberry PI 3 B+.

a- Arduino UNO: [21]

L'arduino UNO est un module/carte de développement (dev board) avec un microcontrôleur Atmel ATMEGA328P, grand public, peu onéreux, qui connaît un grand succès.



Figure 16: Arduino UNO

Caractéristiques:

- version: Rev. 3
- alimentation:
 - via port USB ou
 - 7 à 12 V sur connecteur alim 5,5 x 2,1 mm
- microprocesseur: ATmega328
- mémoire flash: 32 kB
- mémoire SRAM: 2 kB
- mémoire EEPROM: 1 kB
- 14 broches d'E/S dont 6 PWM
- 6 entrées analogiques 10 bits
- intensité par E/S: 40 mA
- cadencement: 16 MHz
- bus série, I2C et SPI
- gestion des interruptions
- fiche USB B
- dimensions: 74 x 53 x 15 mm

Le microcontrôleur de cette carte, sera en mesure, de capter les valeurs, des différents capteurs, puis les

b- La Raspberry PI 3 B+:

Raspberry est une carte mère d'un mini-ordinateur qui peut être branchée à n'importe quel périphérique (souris, clavier...). Cette carte est fabriquée pour aider à étudier les ordinateurs et pour représenter un moyen d'apprentissage de la programmation informatique en plusieurs langages (python, scratch...). Elle est aussi capable de lire les vidéos à haute définition et même à installer des jeux vidéo. L'intérêt d'utiliser le Raspberry Pi est sa capacité d'interaction avec le monde extérieur et d'exécuter plusieurs variantes du système d'exploitation libre (GNU/Linux, Raspbian Debian ...) et des autres logiciels compatibles. Pour ce projet, nous avons opté pour Raspberry Pi B3+ pour beaucoup de raisons notamment sa puissance et sa rapidité par rapport au Raspberry Pi Type B. Raspberry Pi Type B3+ est la carte mère idéale pour un système d'architecture ARM.

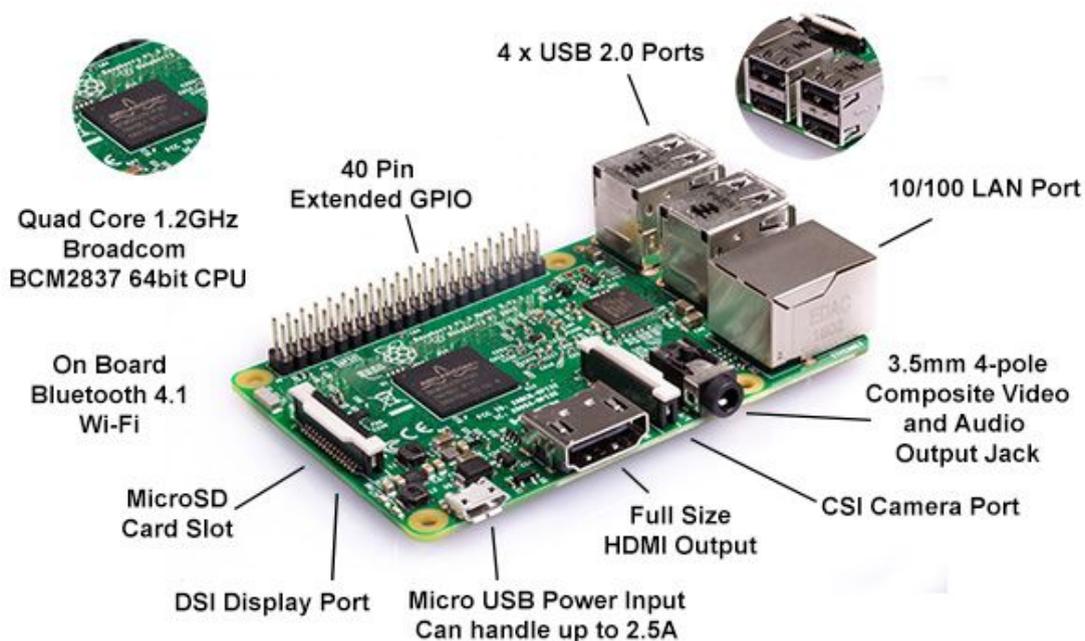


Figure 17: Raspberry PI

Une des caractéristique de la Raspberry PI, est le nombre de ses GPIOs, qui peuvent être entrées/sorties.

Il y'a 40 broches, disposés tout au long, du bord supérieur, de la carte.

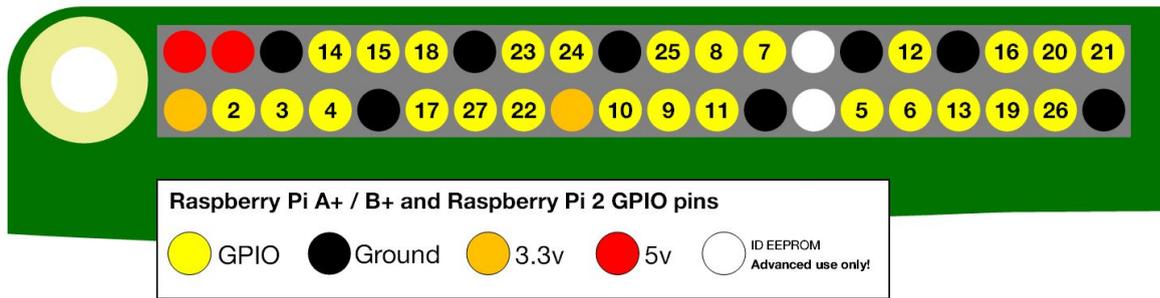


Figure 18 : Broches de la Raspberry PI

Cette carte, aura pour rôle, d'être le serveur Base de données, toutes les données lui seront envoyées, et seront stockées à ce niveau.

c) ESP 32:



Figure 19: ESP 32

Dans ce projet, il est nécessaire, d'avoir un moyen d'envoyer les données captées, vers la Raspberry, et surtout, en employant une méthode sans fil, donc d'envoyer toutes nos données par Internet. L'Arduino seul ne peut pas le faire, il existe plusieurs moyens de permettre cela, dont connecter l'Arduino à :

- ESP8266
- ESP32
- Utiliser un Shield pour le Wifi

Nous avons décidé d'utiliser l'ESP32, pour différentes raisons.

ESP32 vs ESP8266: Les deux types d'ESP présentent plusieurs similarités, mais différence réside dans les performances, et les capacités offertes par chacune:

	ESP8266	ESP32
MCU	Xtensa Single-core 32-bit L106	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 with 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wi-Fi	HT20	HT40
Bluetooth	No	Bluetooth 4.2 and BLE
Typical Frequency	80 MHz	160 MHz
SRAM	No	Yes
Flash	No	Yes
GPIO	17	36
Hardware /Software PWM	None / 8 channels	None / 16 channels
SPI/I2C/I2S/UART	2/1/2/2	4/2/2/2
ADC	10-bit	12-bit
CAN	No	Yes
Ethernet MAC Interface	No	Yes
Touch Sensor	No	Yes
Temperature Sensor	No	Yes
Hall effect sensor	No	Yes
Working Temperature	-40°C to 125°C	-40°C to 125°C

Tableau 1 : ESP32 vs ESP8266

Le choix, au courant de ce projet, a beaucoup varié, mais s'est penché, vers la décision d'utiliser une ESP32, notamment vu le nombre de GPIOs, qu'elle possède, et le fait qu'elle a la capacité de se connecter directement à Internet.

ESP32 DEVKIT V1 – DOIT

version with 36 GPIOs

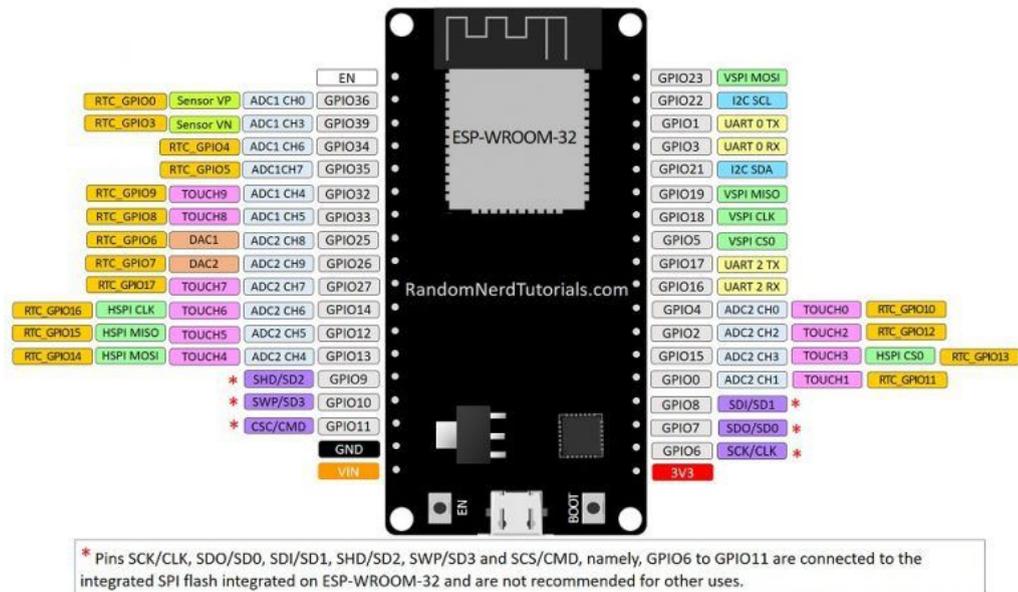


Figure 20: GPIOs de l'ESP32

Cette carte, a pour but principal, l'envoi de données, captés par l'Arduino, est envoyés vers elle, par le biais d'un module Xbee, vers la Raspberry PI, par MQTT, pour que cette dernière les stocke, dans la base de données.

2)Capteurs:

a- DHT 22: [22]

C'est un capteur de température et d'humidité de l'air. Il a une bonne précision, l'intervalle, se trouve entre -40 et +125 degrés, avec une précision, de -0.5C. Pour ce qui est de l'humidité, la valeur est donnée en pourcentage, qui se situe dans l'intervalle, de 0 à 100%, avec une précision de 2-5% .

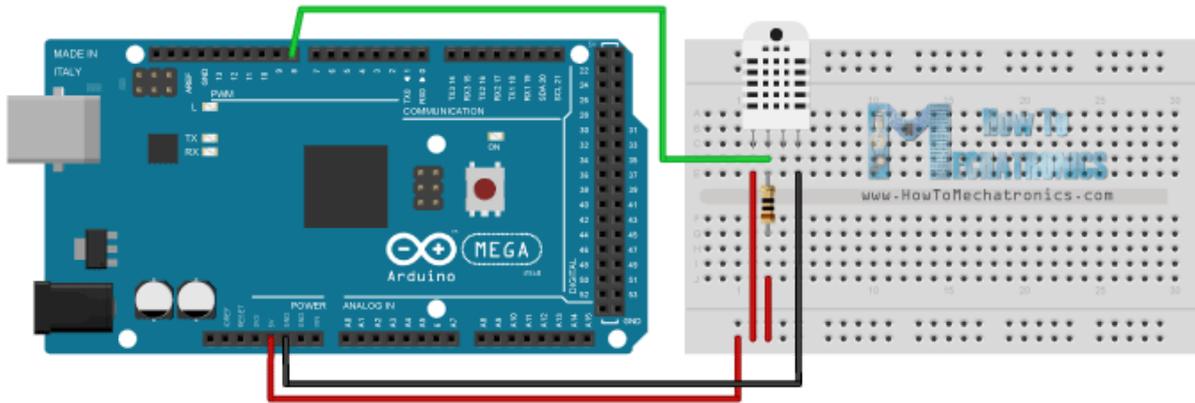


Figure 21: DHT22

b-Le MQ135: [23]

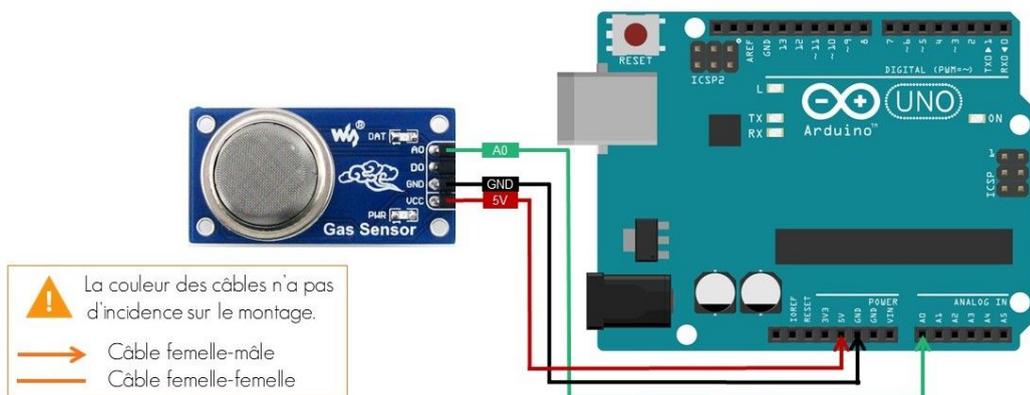


Figure 22: MQ135

Le MQ135 est un capteur qui permet de mesurer la qualité de l'air. Le MQ135 est sensible à aux principaux polluants présents dans l'atmosphère de la maison. Ce capteur est sensible au CO₂, à l'alcool, au Benzène, à l'oxyde d'azote (NO_x) et à l'ammoniac (NH₃).

Les mesures réalisées sont affichées en ppm

- Acronyme PPM: [31]

L'acronyme « ppm » signifie « partie par million ». Il s'agit d'une unité de mesure communément utilisée par les scientifiques, notamment pour calculer le taux de pollution dans l'air et plus globalement dans l'environnement. Comme son nom l'indique, le ppm permet de savoir combien de molécules de polluant on trouve sur un million de molécules d'air. Il permet donc de rendre compte de manière assez simple de la quantité de pollution dans une masse d'air donnée et de l'impact nocif de ces polluants sur l'atmosphère.

Exemple : Une atmosphère à 400 ppm signifie qu'il y a 400 molécules polluées sur 1 million de molécules d'air. Même pendant la révolution industrielle du XIXe siècle et la combustion massive des énergies fossiles, le taux de ppm n'avait jamais excédé les 300. Les prévisions estiment que d'ici 2030, le taux de ppm moyen dans l'atmosphère atteindra les 450.



Figure 23 : Ppm et qualité de l'air

Interprétation de la figure : [32]

- 350 ppm : Taux de pollution normal
- 450 ppm : Niveau acceptable
- 600 ppm : Odeurs désagréables
- 1000 ppm : Etourdissements

2500 ppm : Mauvais effets sur la santé
5000 ppm : Ne pas s'exposer plus de 8 heures

Interprétation des données en valeurs Analogiques: [34]

- Qualité d'air normal : 100-150
- Alcool : 700
- Gaz plus léger : 750

c) Capteur d'humidité du sol:

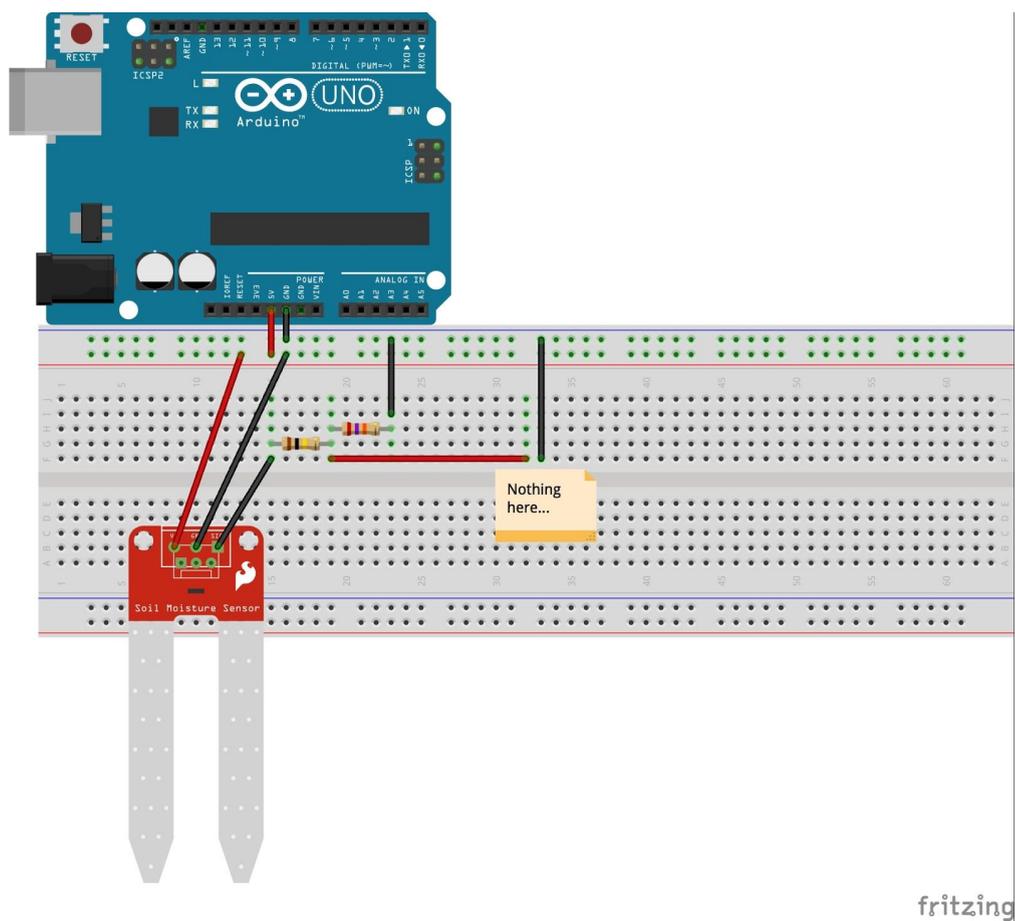


Figure 24: Capteur d'humidité du sol

Ce capteur se place au niveau du sol, permet de détecter des changements d'humidité, en donnant une valeur analogique. Plus celle-ci est élevée, plus le sol est humide.

```
530
528
528
528
529
530
530
531
531
529
531
531
530
531
```

Figure 25: Valeurs relevées sur sol sec

```
719
716
714
708
710
709
708
708
708
706
706
706
704
```

Figure 26: Valeurs relevées sur sol humide

d) Capteur de niveau d'eau: [35]

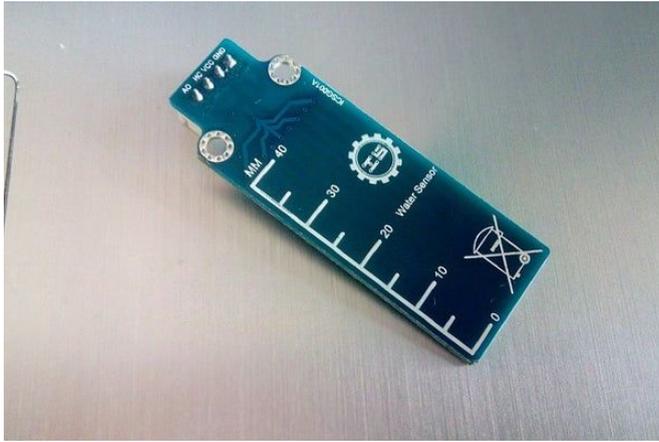


Figure 27: Capteur de niveau d'eau

Il mesure 4 cm, capteur à plonger dans le liquide que l'on veut mesurer. Il donne le niveau d'eau, correspondant.

Par exemple, si le capteur est plongé, dans un support, où l'eau ne doit pas dépasser 20 cm, si le capteur donne comme valeur, 1 cm, le volume d'eau sera donc de 19 cm.

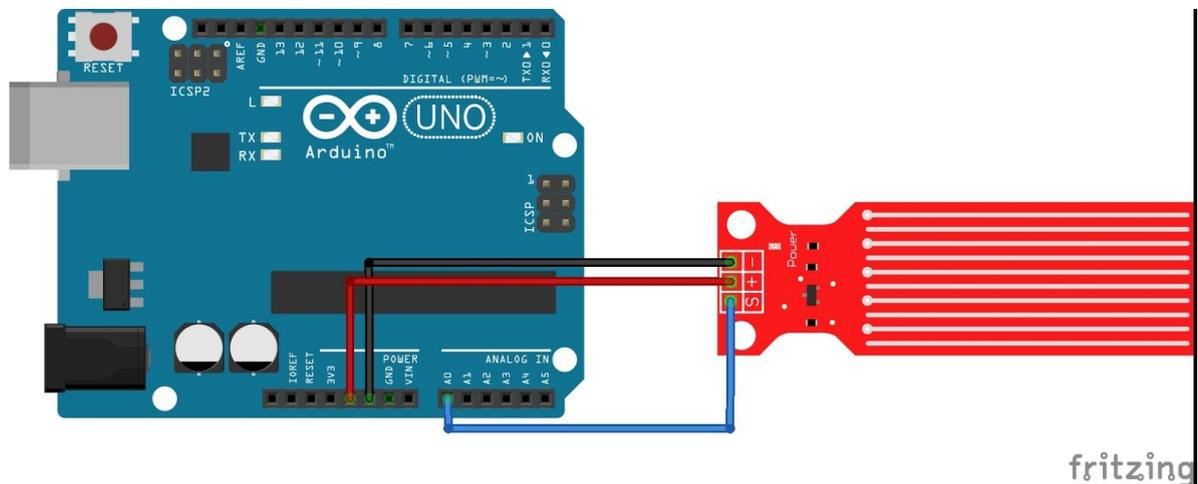


Figure 28: Schéma de câblage d'un capteur de niveau d'eau

Pour interpréter les données du capteurs, il est nécessaire de relever les valeurs analogiques correspondantes à chaque niveau d'eau du capteur. Pour ce faire, il

faut plonger le capteur dans un verre d'eau, puis le jauger, et relever les différentes valeurs.

Le capteur fait 4 cm, il est nécessaire de mesurer les valeurs, données, lorsque le capteur est n'est pas immergé, dans l'eau, puis lorsqu'il l'ait à 5 mm, 10 mm, etc.... jusqu'à arriver à 40 mm.



Figure 29 : Immersion du capteur dans l'eau

Voici, un récapitulatif, de toutes les données relevées:

- 0mm - 480
- 5mm - 530
- 10mm - 615
- 15mm - 660
- 20mm - 680
- 25mm - 690

- 30mm - 700
- 35mm - 705
- 40mm - 710

A partir, de ce récapitulatif, nous pouvons procéder, à la suite, et interpréter correctement les données relevées.

e) Photorésistance: [33]

C'est une résistance dont la valeur change en fonction de la lumière qu'elle reçoit.

Il existe différents types de photorésistances, chacune ayant des valeurs de résistance différentes en fonction de la luminosité ambiante. Le type le plus classique de photorésistances est de 1M ohms (obscurité) / 12K ohms (pleine lumière).

Voici quelques exemples d'utilisations très classiques pour une photorésistance :

- Détection jour / nuit,
- Mesure de luminosité ambiante (pour ajuster un éclairage par exemple),
- Suiveur de lumière (pour panneaux solaires, robots, etc),

L'unité de mesure est le lux.



Figure 30: Exemple de valeurs relevées par la photorésistance

b - L'arrosage:

L'arrosage se fera, par l'actionnement de deux pompes à eau, qui ont le même fonctionnement que des moteurs à courant continu. Pour faciliter leur contrôle, nous avons utiliser un L293D:

- L293D:

Définition: [36]

Pont-H de puissance moyenne (600mA) pouvant être utilisé à partir d'un Arduino.

Le pont H est un assemblage de 4 transistors (2 PNP et 2 NPN) monté de telle façon que le courant puisse passer soit dans un sens, soit dans l'autre au travers de la charge (un moteur continu par exemple). En inversant le sens du courant d'un moteur, ce dernier changera de sens de rotation.

Caractéristiques:

Caractéristiques

Caractéristique	Valeur
Nbre de pont-H	2
Courant Max Régime continu	600mA (x2)
Courant de pointeMax < 2ms	1200mA

VS Max Alim moteur	36v
VSS Max Alim logique	7v
Nbre de Broche	16 DIP
Perte de tension	1.3 à 1.4v (typical)

Tableau 4: Caractéristiques du L293D

Sources d'alimentation :

Un pont-H dispose donc de deux source d'alimentations:

1. Une source d'alimentation pour la logique du circuit. Elle est nommée VSS et nécessite généralement 5 Volts.
2. Une source d'alimentation pour les moteurs. Elle est nommée VS et tolère des tensions nettement plus élevée que VSS (logique de commande).

Le L293D est un double pont-H, ce qui signifie qu'il est possible de l'utiliser pour commander quatre moteurs distincts (dans un seul sens) grâce à ses 4 canaux.

Brochage:

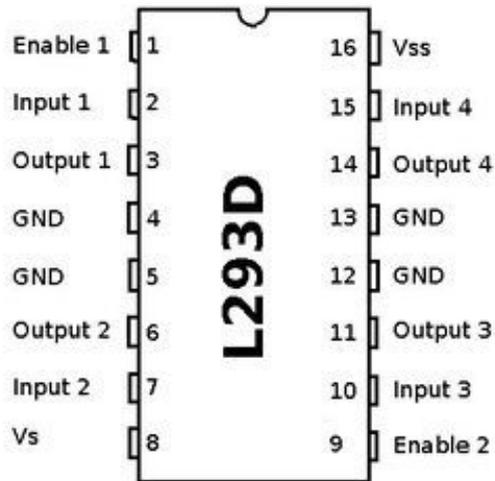


Figure 32: Brochage du L293D

Descriptions des différentes broches:

Broches	Nom	Description
1	Enable 1	<p>permet d'envoyer (ou pas) la tension sur les sorties du moteur via OUTPUT1 & OUTPUT2.</p> <p>ENABLE1 commande l'activation/désactivation du premier Pont-H.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si ENABLE1 = GND, le pont-H est déconnecté et le moteur ne fonctionne pas. • Si ENABLE1 = VSS, le pont-H est connecté aux sorties et le moteur fonctionne dans un sens ou l'autre ou pas en fonction des tensions appliquée sur INPUT1 & INPUT2.
2	Input 1	<p>Avec Input 2, sont les broches de commande du Pont-H Output1/Output2.</p> <p>Se raccorde a Arduino, permet de commander le sens du courant entre Output 1 et Output 2.</p>

3	Output 1	Avec Output 2, seront les broches à raccorder à la charge (le moteur).
4	GND	Doit être raccorder à la masse (GND) de la source d'alimentation de puissance VS (ex: la borne négative de l'accumulateur +9.2v) et à la masse de la source d'alimentation de la logique "VSS" (donc GND Arduino). Si vous n'avez qu'une source d'alimentation pour le tout, c'est forcément plus simple.
5	GND	
6	Output 2	Avec Output 1, seront les broches à raccorder à la charge (le moteur).
7	Input 2	Avec Input 1, sont les broches de commande du Pont-H Output1/Output2. Se raccorde a Arduino, permet de commander le sens du courant entre Output 1 et Output 2.
8	VS	Alimentation de puissance des moteurs. Par exemple, s'il s'agit d'une ancien véhicule téléguidé transformé, il s'agira de la borne positive de l'accumulateur (souvent +9.2v).
9	Enable 2	Commande l'activation du second pont-H constitué de Output3/Output4

10	Input 3	A utiliser conjointement avec Input 4 pour commander le pont-H Output3/Output4.
11	Output 3	Constitue une des deux sorties du second pont-H (Output3/Output4)
12	GND	
13	GND	
14	Output 4	Constitue une des deux sorties du second pont-H (Output3/Output4)
15	Input 4	A utiliser conjointement avec Input 3 pour commander le pont-H Output3/Output4.
16	VSS	Alimentation de la logique de commande (5V). A raccorder à la borne +5V d'Arduino (donc sur le régulateur d'Arduino).

Tableau 4: Broches du L293D et leurs descriptions

C'est grâce à ce tableau, que l'on peut établir, d'une manière claire, un schéma de câblage, sans risque de destructions du matériel.

Dans le cadre de ce projet, le L293D, permettra de contrôler, le ventilateur mais également les deux pompes à eau.

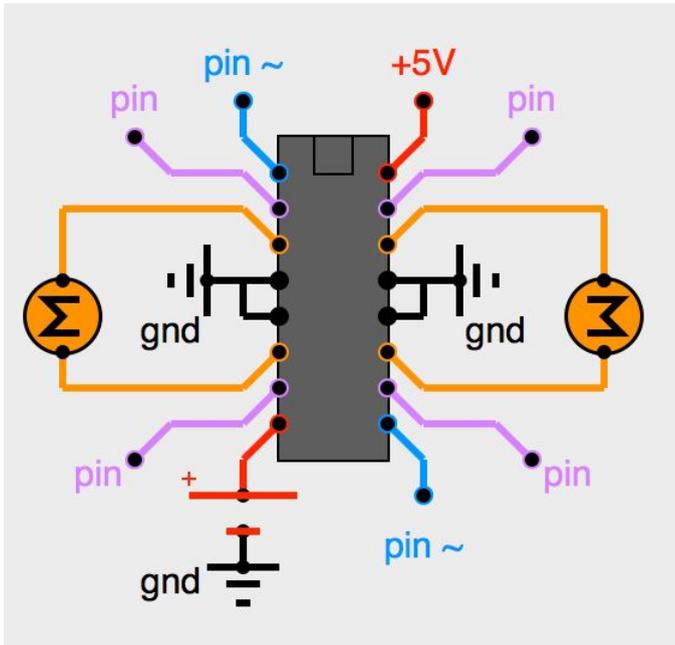


Figure 33: Schéma de câblage L293D

Les deux alimentations VS et VSS, seront à 5v, et seront fournis, par un bloc d'alimentation, YwRobot Power Supply, qui permet, de fournir une alimentation, de 3.3 v ou 5v, selon les besoins.

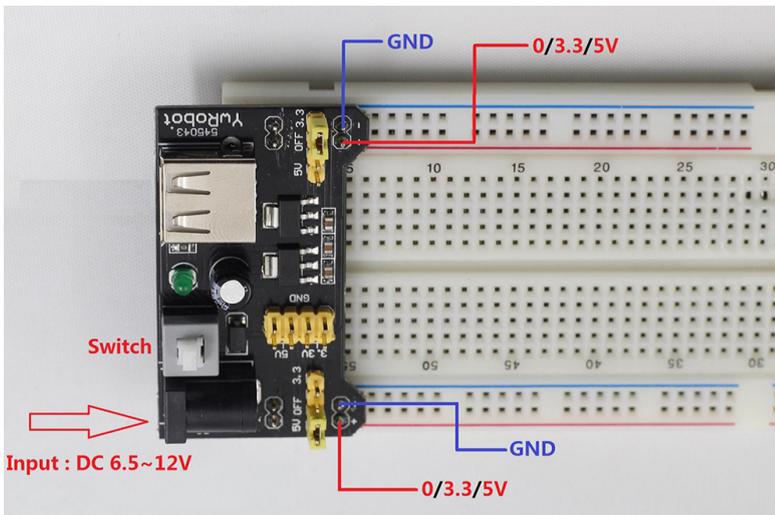


Figure 34 : YwRobot Power Supply



Figure 37: Relais

- NO: (Normally open) 120-240V terminal :

Dans cette configuration, lorsque le relais, reçoit un signal HIGH, l'interrupteur se ferme et laisse passer le courant, qui parcourt du relais, du C (pin commun), vers NO. Si l'on utilise cela, le relais, initialement, sera ouvert, et ne laissera donc pas laisser passer le courant.

- NC: (Normally closed) 120-240V terminal :

C'est la configuration opposée, à la précédente. Dans ce cas, le relais, sera fermé, et laissera passer le courant, par défaut.

- C: Common terminal
- Ground: GND de la carte
- 5V Vcc: 5V de la carte
- Signal: GPIO de l'ESP32, pour l'envoi du signal

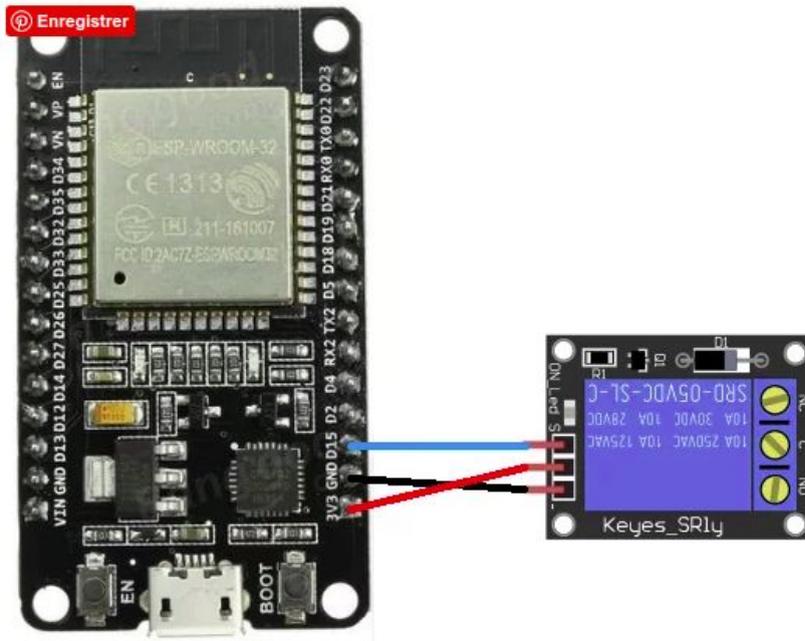


Figure 38: ESP32 et relais

Pour le branchement, relais et lampe, voici le schéma qui a aidé, à cet aboutissement :

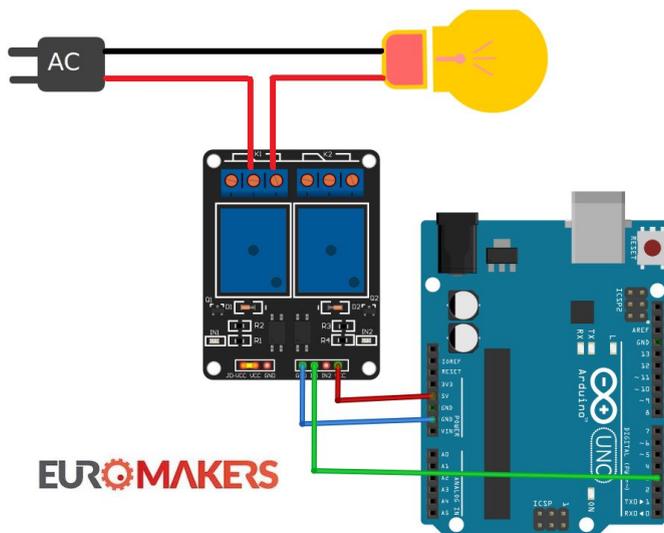


Figure 39 : Relais et lampe

C'est le même branchement, qui a été utilisé pour brancher, le relais et la lampe.

- **La Fenêtre:**

Ce système est réalisé, avec un moteur pas à pas, commandé par un L298N:

L298N: [37]

Définition:

Ce circuit, très populaire, est un double pont-h, monté de telle façon que le courant puisse passer soit dans un sens, soit dans l'autre au travers de la charge (un moteur continu par exemple) offre un bon moyen de piloter jusqu'à deux moteurs à courant continu, ou bien un moteur pas à pas().

Caractéristiques :

- Léger, petit
- Des capacités hors-pair pour contrôle moteur
- Diodes de protections
- Un dissipateur (pour dissiper la chaleur en cas de forte charge)
- Un sélecteur pour sélectionner la source d'alimentation
- 4 Sélecteurs pour les résistances pull up
- Sortie pour 2 moteurs continu/ 1 moteur pas-à-pas (4 bobines, deux phases)
- Indicateur LED pour sens de rotation moteur
- Indicateur LED pour alimentation 5V
- 4 trous de fixation standard

Spécifications :

- Composant de contrôle en puissance: L298N
- Alimentation de la charge: de +6V à +35V
- Courant Max (en pointe): 2A
- Tension de commande logique Vss: de +5 à +7V (alimentation interne de +5V)
- Courant de commande logique: de 0 à 36mA
- Tensions pour contrôle du sens: Low -0.3V~1.5V, high: 2.3V~Vss
- Tensions pour contrôle "Enable": Low -0.3V~1.5V, high: 2.3V~Vss
- Puissance Max: 25W (Température 75 °C)
- Température de fonctionnement: de -25°C à +130°C
- Dimensions: 60mm x 54mm
- Poids: ~48g

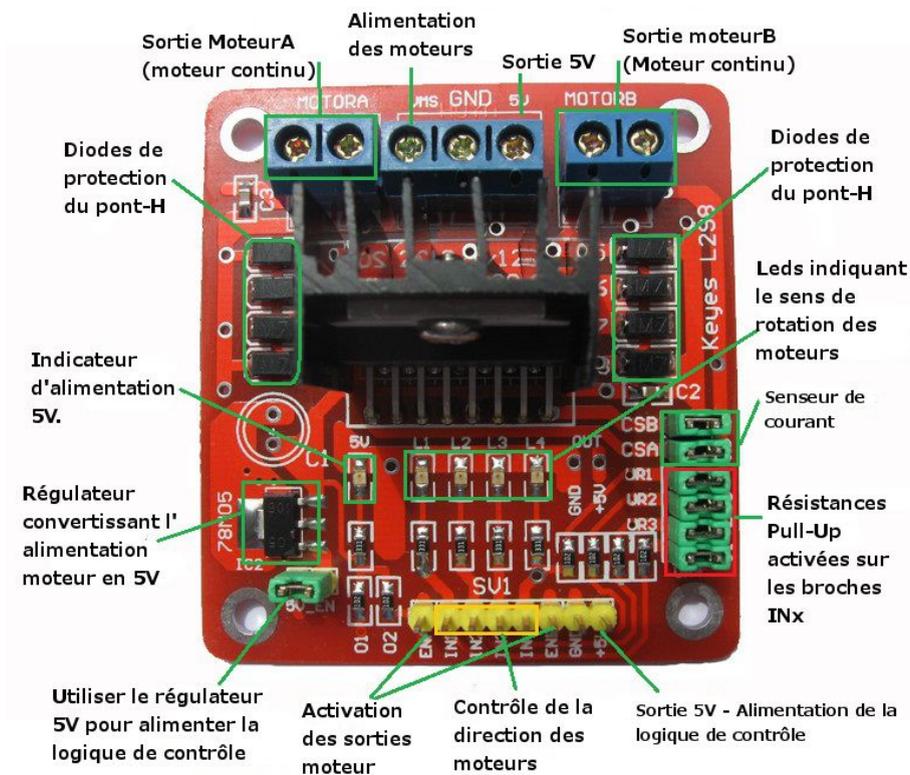


Figure 40: L298N

Description des différents éléments de L298N:

Nom du connecteur	Direction	Description	Utilisation
VMS GND	/	Connecté à l'alimentation externe(6V~35V)	ENA(ENB) raccordés à un niveau haut (HIGH) activera MOTORA(MOTOR B). IN1(IN3) raccordés à 5V et IN2(IN4) a GND MOTORA(MOTOR B) tournera dans le sens horlogique. IN1(IN3) raccordés à GND et IN2(IN4) à 5V MOTORA(MOTOR B) tournera dans le sens Anti-horlogique. Si vous voulez contrôler la vitesse, vous pouvez connecter ENA(ENB) sur une sortie PWM.
ENA	Entrée	Compatible TTL, peut donc être utilisé directement avec Arduino. Entrée "Enable": un niveau bas LOW désactive le Pont A	
IN1	Entrée	Compatible TTL. Entrée de commande de sens du pont A.	
IN2	Entrée	Compatible TTL. Entrée de commande de sens du pont A.	
ENB	Entrée	Compatible TTL. Entrée "Enable": un niveau bas LOW désactive le Pont B	
IN3	Entrée	Compatible TTL. Entrée de commande de sens du pont B.	
IN4	Entrée	Compatible TTL. Entrée de commande de sens du pont B.	
MOTORA	Sortie	Sortie du pont A. Commande en puissance du Moteur A	
MOTORB	SORTIE	Sortie du pont A. Commande en puissance du Moteur B	
CSA(CSB)	/	Broches "Current Sensor" pour le Pont A et B. Est utilisé pour tester le courant électrique qui traverse le pont A (pont B)	
UR1 UR2 UR3 UR4	/	Résistance pull-up	
5V +5V	/	Sortie 5V	

Jumper activant le régulateur 5V	/	5V Chip Enable Jumper. Le régulateur 5 volts est activé sur le jumper est connecté.	
---	---	---	--

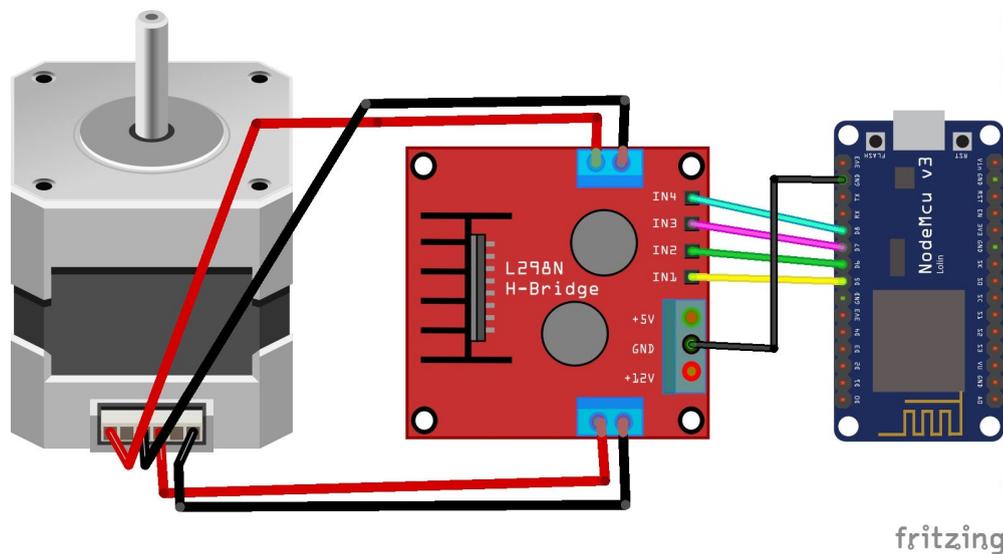


Figure 41 : Schéma de câblage L298N et moteur pas à pas

L'axe du moteur, est relié, à celui de la fenêtre, ce qui permet de contrôler son ouverture et sa fermeture.

4) Outils de développement :

1) InfluxDB:



Figure 42: InfluxDB

a-Définition:

InfluxDB [24] est un système de gestion de base de données orientée séries chronologiques hautes performances (TSDB), écrit avec le langage de programmation Go et distribué sous licence MIT, dont les principaux avantages sont les performances, la durée de rétention importante et la scalabilité.

- Time Series Data: [25]

Il s'agit d'une séquence de points de données collectés à intervalles réguliers sur une période de temps; il est question de n'importe quelle donnée horodatée. On peut par exemple citer les données générées par les objets connectés, les informations de santé, les données de réseaux, les clics, les transactions sur un marché, ou encore les performances d'une application. La différence majeure entre ces données et les données classiques est que l'utilisateur se pose des questions sur ces données au fil du temps.

- Time Series Data Base:

Une Time Series Database (TSDB) est une base de données optimisée pour les données horodatées ou time series data. Elle est spécialement conçue pour prendre en charge les mesures et les événements horodatés (time-stamped).

Ce type de base de données mesure les changements au fil du temps. Elle propose des fonctionnalités de gestion du cycle de vies des données, d'agrégation (summarization), et permet de scanner de larges rangées d'enregistrements.

b- Avantages d'une base de donnée TSDB:

Une Time Series Database présente plusieurs avantages. Elle permet tout d'abord une scalabilité massive et des performances élevées, indispensables pour prendre en charge les données générées par des millions d'appareils IoT ou un flux continu de points de données et effectuer des analyses en temps réel.

Ces bases de données permettent aussi de réduire les downtimes: même en cas de panne matérielle ou de partition réseau, les données restent disponibles. En outre, les TSDB permettent de diminuer les coûts. Pour cause, la haute résilience aux pannes permet de réduire la quantité de ressources nécessaires pour gérer les pannes, et la scalabilité réduit les coûts d'exploitation et de matériel nécessaire à l'échelonnage.

Enfin, les Time Series Databases permettent de prendre de meilleures décisions, en permettant aux entreprises d'analyser les données en temps réel. Les organisations sont ainsi capables de prendre des mesures plus rapides et plus précises pour ajuster la consommation d'énergie, la maintenance des appareils, les changements d'infrastructures, ou autres décisions importantes pouvant impacter l'activité.

Un autre avantage, que présente InfluxDB, est le fait de pouvoir, récupérer les données, par HTTP.

c- InfluxDB la plus populaire?

InfluxDB est une TSDB la plus populaire, en ce moment, du marché. Elle est classée, d'après le site web DB-Engines, qui classe les bases de données Time Series en fonction de leur popularité. Pour déterminer la popularité d'une base de données, ce site se base sur plusieurs critères : volume de recherches sur le web, nombre de mentions sur les réseaux sociaux, offres d'emploi relatives à la base de données en question, ou encore la quantité de discussions techniques à son sujet.

RANK	DBMS	SCORE	
		MAY 2018	24 MOS ▲
1	InfluxDB	11.00	+6.82
2	Kdb+	3.07	+1.85
3	RRDtool	2.68	+0.10
4	Graphite	2.26	+0.62
5	OpenTSDB	1.62	+0.19
6	Prometheus	1.12	+0.98
7	Druid	1.01	+0.74
8	KairosDB	0.43	+0.20
9	eXtremeDB	0.31	+0.11
10	Riak TS	0.27	+0.17

Source: DB-Engines

23 Systems in Ranking, May 2018

Tableau 3: Classement des TSDB

Dans ce projet, InfluxDB sera installé au niveau de la RaspberryPi, qui sera un serveur Base de données.

4) Protocoles utilisés dans le projet :

1- MQTT:

a) Principe de fonctionnement:

Contrairement au principe du client/serveur utilisé sur le Web, MQTT utilise celui de la publication/souscription : plusieurs clients se connectent à un serveur unique (appelé broker), pour soit publier des informations, soit souscrire à leur réception.

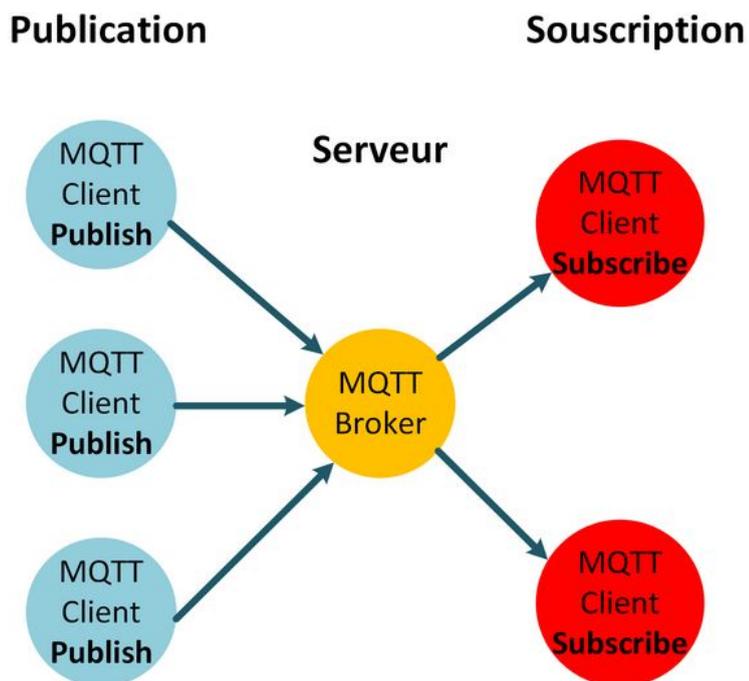


Figure 43: Principe du MQTT

MQTT permet d'envoyer des commandes pour contrôler, des sorties, mais aussi, de lire les données des capteurs. Il permet d'établir, de multiples communications, assez facilement.



Figure 44: Envoyer une commande pour contrôler une sortie

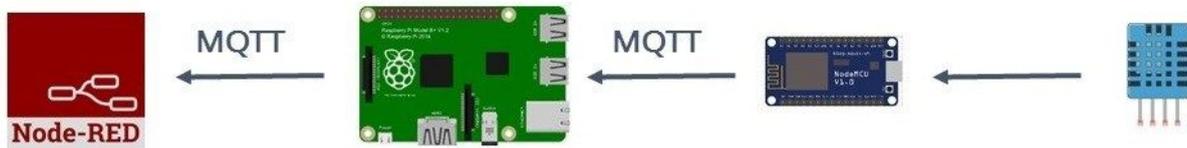


Figure 45: Lire les données d'un capteur

b- Concepts de base:

- Publish/Subscribe
- Messages
- Topics
- Broker

c)MQTT – Publish/Subscribe:

Un appareil peut soit publier, un message sur un ‘topic’, ou s’inscrire, à un différent ‘topic’, pour pouvoir recevoir des messages.



Figure 46: Principe de Publish/Subscribe

- Par exemple, Device 1 publie sur un ‘topic’
- Device2 est inscrit à ce même topic, où Device 1 est en train de publier
- Alors, Device2 peut recevoir les messages que Device1 à publier.

d.Messages:

Les messages sont toutes les données échangées, entre les appareils, qui peut être soit une commande, soit une donnée.

e. Les topics:

Sont une manière de spécifier, où on veut publier les messages. Ils sont représentés par, des chaînes de caractères, séparés, par des slashes('/'). Chaque slash, indique un niveau du 'topic'.

Exemple 1:

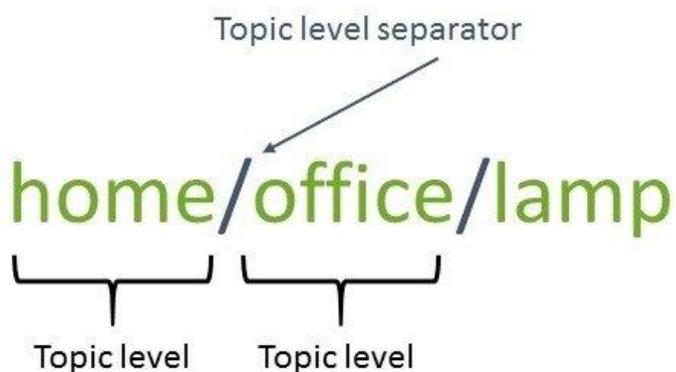


Figure 47: Topic

Exemple 2: Eteindre une lampe

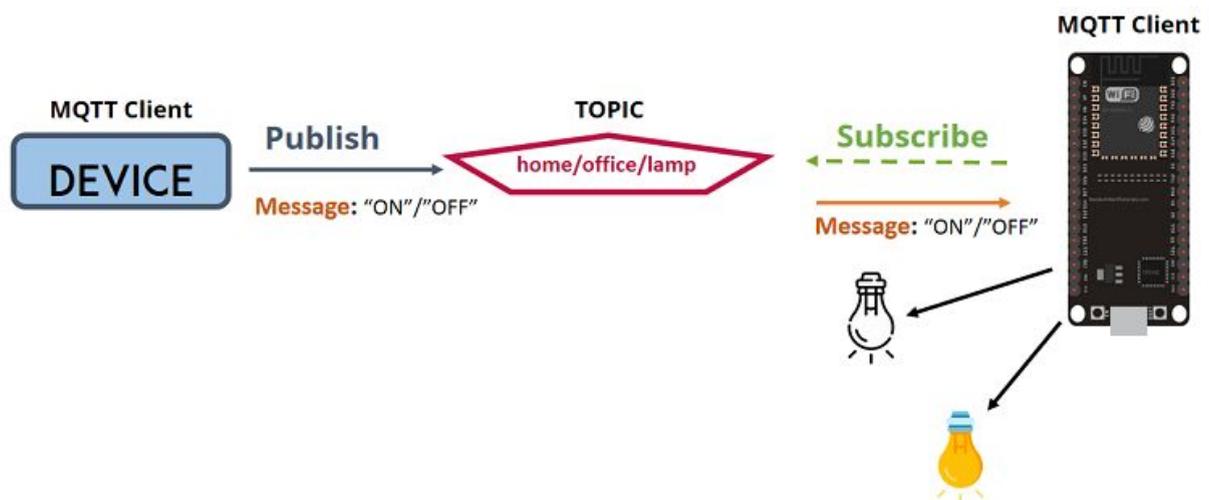


Figure 48: Exemple de fonctionnement du topic

- Device publie dans le topic 'home/office/lamp'
- L'esp32 est souscrite à ce même topic, donc elle peut recevoir les commande 'ON/OFF', pour éteindre, ou allumer la lampe

f-MQTT – Broker:

Le broker, est responsable, principalement, de recevoir, tous les messages, de les filtrer, et de les publier, à tout client souscrit, aux mêmes topic.

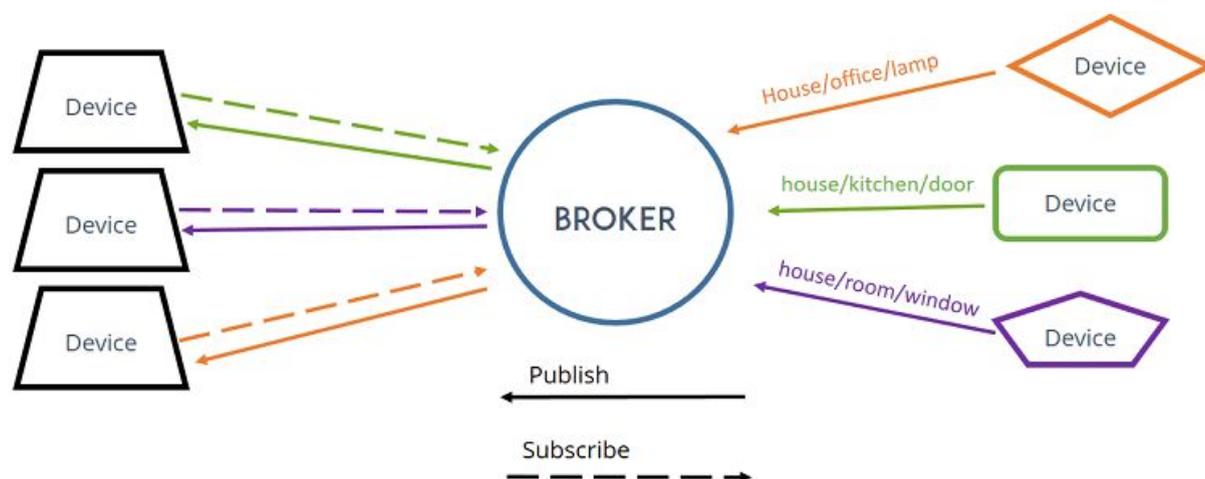


Figure 49: Mqtt Broker

Au niveau du système crée, c'est l'ESP32, qui envoie les données, reçues, par Xbee, qui les envoie à son tour, à la Raspberry PI, par MQTT, tout ce processus, sera détaillé, dans les sections suivantes.

2) HTTP API:

a- Définition API:[26]

API (Application Programming Interface) est un logiciel intermédiaire, qui permet à deux applications de communiquer entre elles: c'est un messenger, qui délivre la requête émise, par l'émetteur à l'application, et qui envoie la réponse de l'application, à l'émetteur.

b- Fonctionnement: [27]

Une API, interroge un serveur tiers en utilisant les mêmes méthodes que ce que propose l'affichage de page web ou des formulaires inclus dans ces mêmes

pages web. Ainsi on va interroger ce serveur à partir d'une URL communiquée par l'éditeur de l'API.

Cette interrogation va se faire suivant différentes méthodes : GET (obtenir), POST (poster donc envoyer), PUT et DELETE.

Au niveau de notre application, les APIs utilisés, sont celles, qui nous permettent, d'obtenir, des informations de la base de données, InfluxDB, et d'obtenir des informations, qui sont en ligne, comme la météo, (OpenWeatherMap API).

c.OpenWeatherMap API:



Figure 50: OpenWeatherMap

OpenWeatherMap est un service en ligne, qui permet de fournir, des données météo, en incluant, les prévisions du jour, et les historiques de données prévisionnels. Ce service, inclut une API, qui renvoie des données, exploitable sous forme JSON.

3) Zigbee:

Pratique et fiable, Zigbee est utilisée dans la conception de divers systèmes embarqués, dont les contrôles industriels et les télécommandes à usage quotidien. Pour interconnecter de petites radios, cette technologie utilise de l'énergie de façon optimale.

a- Les produits Xbee: [28]

Les produits XBee sont des modules de communication sans fil certifiés par

la communauté industrielle ZigBee Alliance. La certification Zigbee se base sur le standard IEEE 802.15.4 qui définit les fonctionnalités et spécifications des réseaux sans fil à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPANs).

b- Caractéristiques:

- fréquence porteuse : 2.4Ghz
- portées variées : assez faible pour les XBee 1 et 2 (10 - 100m), grande pour le XBee Pro (1000m)
- faible débit : 250kbps
- faible consommation : 3.3V @ 50mA (inférieure à 10 μ A en mode "sleep").
- entrées/sorties : 6 10-bit ADC input pins, 8 digital IO pins
- sécurité : communication fiable avec une clé de chiffrement de 128-bits
- faible coût : ~ 25€
- simplicité d'utilisation : communication via le port série
- ensemble de commandes AT et API
- flexibilité du réseau : sa capacité à faire face à un nœud hors service ou à intégrer de nouveaux nœuds rapidement
- grand nombre de nœuds dans le réseau : 65000
- topologies de réseaux variées : maillé, point à point, point à multipoint

c- Brochage: [29]

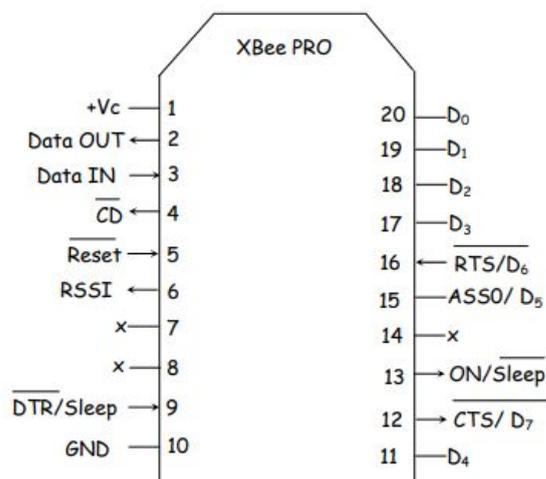


Figure 51 : Brochage

d- Mode de fonctionnement:

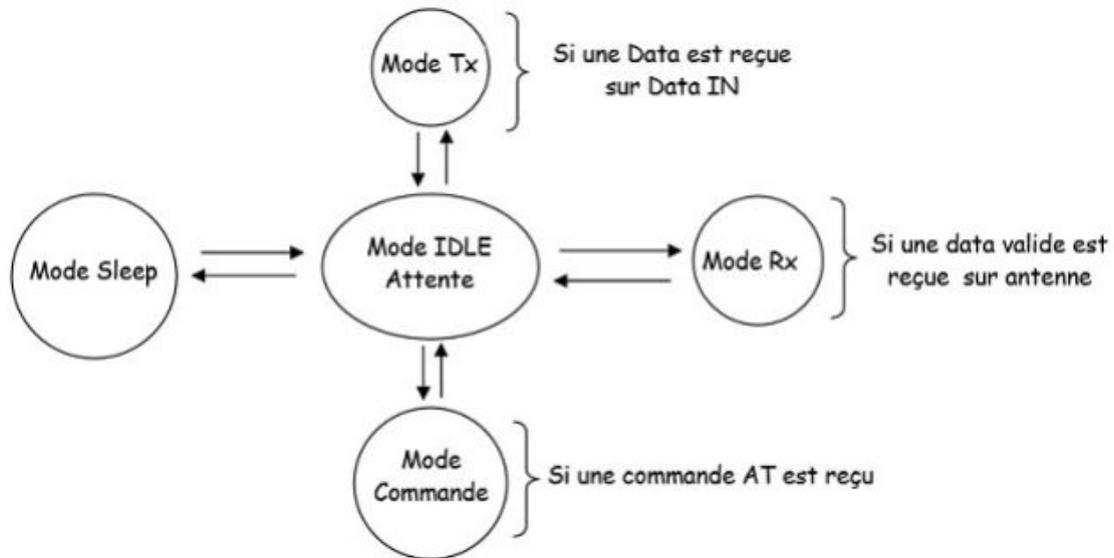


Figure 52: Mode de fonctionnement d'un module Xbee

Dans ce projet, ce sont l'Arduino et l'ESP32, qui communiquent avec ce protocole, en mode TX et RX, respectivement.

Les capteurs sont reliés, vers l'Arduino, qui est connecté, à un module Xbee, et envoie, les données des capteurs, vers l'ESP32.

5) Les Services utilisés:

Au niveau de cette application, les notifications vers l'email de l'utilisateur (GMAIL), est primordial, d'où l'utilité de IFTT.

a) IFTT:



Figure 53: IFTT

Définition: [30]

IFTTT est un service web gratuit permettant à ses utilisateurs de créer des chaînes d'instruction simples appelées applets. Une applet est déclenchée par des changements qui interviennent au sein de services web tels que Gmail, Facebook, Instagram ou Pinterest. Par exemple une applet peut envoyer un e-mail si l'utilisateur tweete avec un hashtag donné, ou encore sauvegarder les photos publiées sur Facebook dans un service de stockage comme Dropbox, ou bien s'envoyer un mail s'il pleut demain. IFTTT est un sigle pour « IF This Then That » (« Si ceci alors cela »).

Concepts :

- Les Services (anciennement connu en tant que canaux) sont les « blocs de construction de base de IFTTT ». Ils décrivent principalement une série de données provenant d'un certain service web comme YouTube ou eBay. Les Services peuvent également décrire des actions contrôlées avec certaines Api, comme les SMS. Parfois, il peut s'agir d'informations sur des conditions météorologiques ou des cours boursiers. Chaque service dispose d'un ensemble particulier de déclencheurs et d'actions.

- Les Déclencheurs sont les parties This d'une applet. Ce sont les éléments qui déclenchent l'action. Par exemple, à partir d'un flux RSS, vous pouvez recevoir une notification basée sur un mot clé ou une phrase.
- Les Actions sont les parties That d'une applet. Ils sont le résultat du déclenchement du trigger.
- Les Applets (anciennement appelées recettes) sont les prédicats faits à partir de Déclencheurs et d'Actions. Par exemple, si vous aimez une image Instagram (déclencheur), une application IFTTT peut envoyer la photo sur votre compte Dropbox (action).
- Les Ingrédients sont des données de base disponibles à partir d'un déclencheur - par exemple pour un déclencheur de courrier électronique: sujet, corps, pièce jointe, date de réception et adresse de l'expéditeur.

Les notifications seront envoyées, vers l'adresse email de l'utilisateur, en cas d'alerte, majeure, comme le manque d'eau, au sein du réservoir.

B-Partie WEB:

L'ESP32 est au sein de ce projet, un serveur Web, tout le code source de l'application, est stocké à ce niveau.

Pour éviter de mélanger, code ESP32 sur IDE Arduino, et code Web (HTML, CSS, JS), la solution est d'utiliser un système de gestion de fichiers fait spécialement pour systèmes embarqués, SPIFFS (SPI : **F**lash **F**ile **S**ystem).

- **Highcharts:**



Figure 54 : HighCharts

C'est une librairie gratuite, écrite en Javascript, spécialement conçue pour créer des toutes sortes de graphes, histogrammes,



Figure 55: Exemples de graphes créés à partir de HighCharts

IV- Fonctionnement de l'application :

En premier lieu, l'utilisateur se connecte à l'application, puis entre tous les seuils d'alerte, par exemple, température ne doit pas dépasser les 30 degrés, ...



Paramètres	
CO2	<input type="text" value="CO2"/>
Humidite_Air:	<input type="text" value="Humidite_Air"/>
Temperare_Air :	<input type="text" value="Temperature Air"/>
Eclairage :	<input type="text" value="Eclairage"/>
Humidite_Sol :	<input type="text" value="Humidite_Sol"/>

Figure 56 : Paramètres de l'application

Les données sont lus par l'esp32, qui peut en conséquence envoyer les différentes notifications , les emails d'alertes, si un seuil est dépassé.

Dans notre cas, il n'y a que le manque d'eau dans le réservoir, qui provoque le déclenchement d'une alerte. Un email, est envoyé à l'utilisateur.

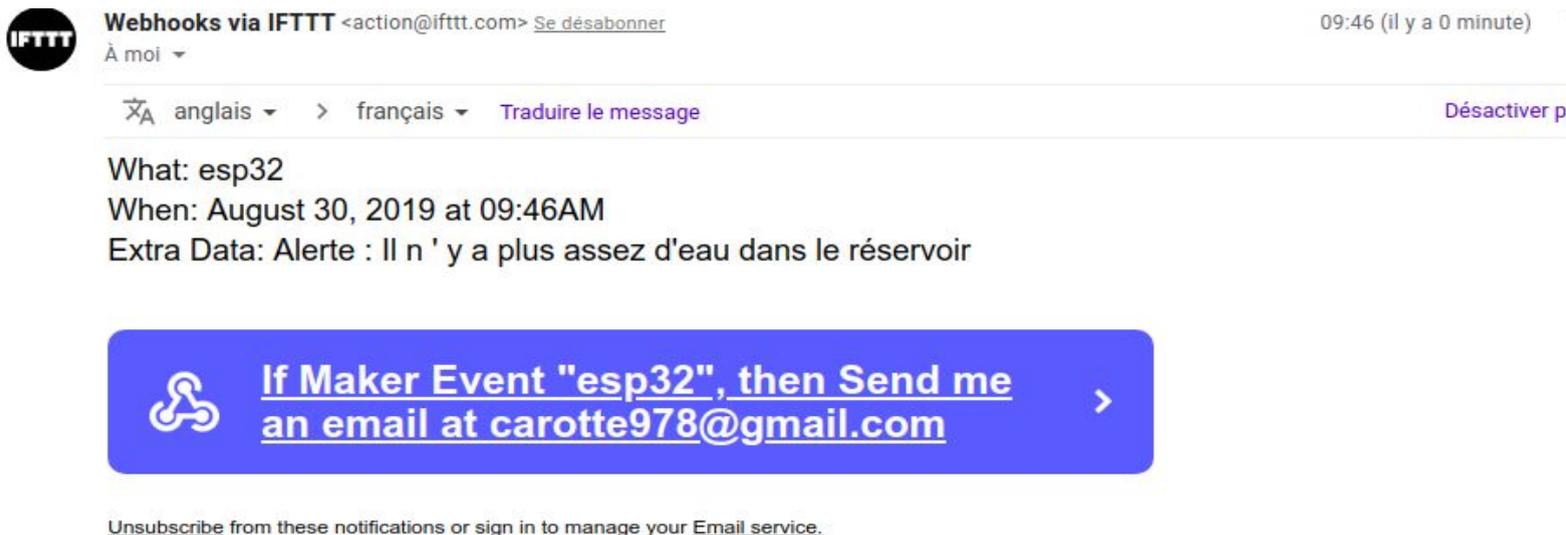


Figure 57 : Email d'alerte

De plus, si l'humidité n'est pas suffisante, les pompes à eau s'enclenchent, mais si par exemple, il pleut à l'extérieur, alors la fenêtre s'ouvrira.

Toutes les données des capteurs, envoyées par l'Arduino, sont envoyées, à la Raspberry PI, qui les enregistre, au niveau de la base de données, sensor_data.

L'application récupère les données stockées pour créer les graphes, de l'évolution des différents paramètres, pendant la journée.

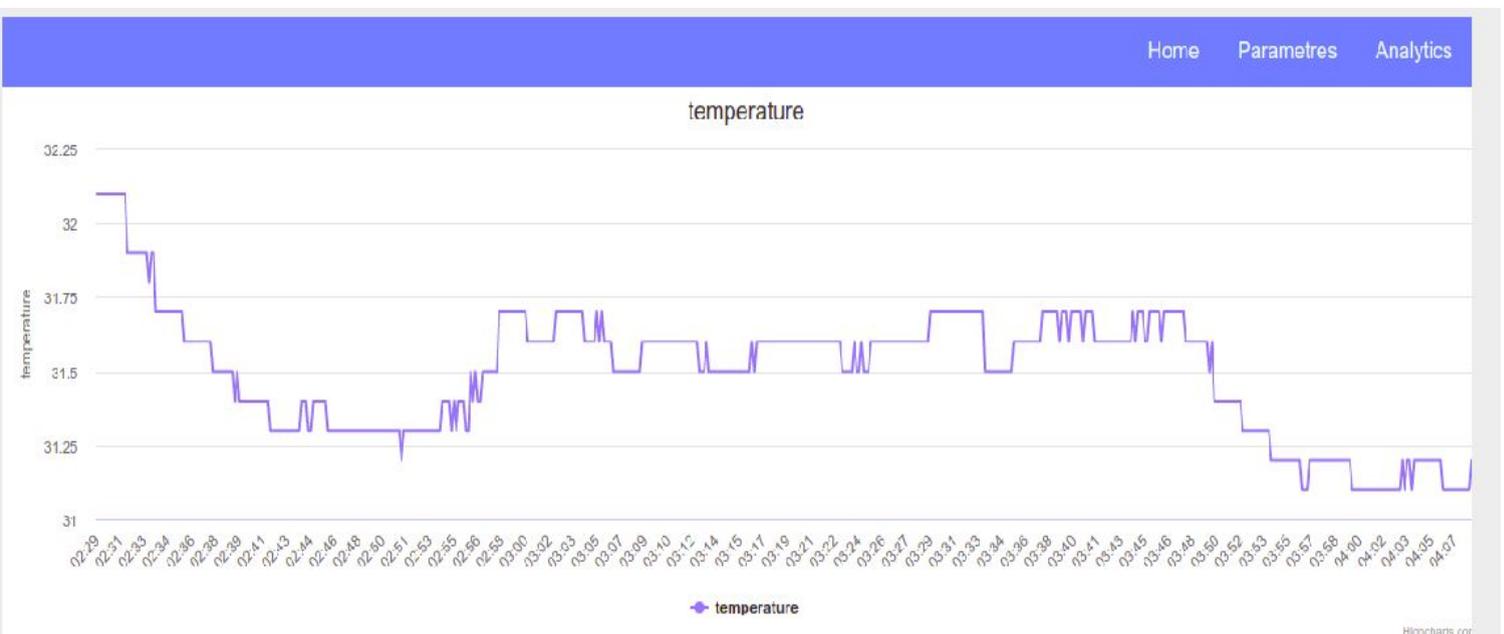


Figure 58 : Graphe

Au niveau de cette application, l'utilisateur, peut lui même déclencher l'ouverture, de la fenêtre, ou l'arrosage et l'éclairage.

Parametres

Lampe :

%LAMPE%

ON

OFF

Eau :

%EAU%

ON

OFF

Lampe :

%FENETRE%

ON

OFF

Figure 59 : Contrôle manuel de l'éclairage, arrosage, et fenêtre

Conclusion Générale:

Afin d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles issue de la culture sous serres et de faire face à un marché très concurrentiel, il est nécessaire d'avoir un contrôle climatique optimal. Pour cela, nous avons développé une plateforme pour l'automatisation et le contrôle à distance des serres agricoles. Elle est composée d'une partie électronique constituée d'une Arduino, pour capter les données, des différents capteurs, d'une ESP32 pour la partie contrôle des données, et d'une partie application Web.

Ce projet a été conçu dans l'optique, d'être évolutif, et accessible à tous, il est comme tout projet, à développer et à améliorer :

Perspectives:

- Ajout d'une base de données pour plantes, qui fournira des toutes les instructions, pour la bonne pousse
- Ajout d'un système qui régulera, l'éclairage, et l'irrigation
- Extension, de la plateforme Web, pour permettre de prendre en compte de plus grandes surfaces
- Ajout d'un programme de classification de plantes malades, afin de pouvoir créer un pulvérisateur automatique
- Suivi d'autres paramètres comme le PH

Références bibliographiques:

- [1] : "Qu'est-ce que l'IoT ? Définition de l'IoT, l'Internet des Objets - IT Social" 20 juil.. 2017,
<https://itsocial.fr/innovation/objets-connectes/quest-liot-definition-de-liot-lintern-et-objets/>.
- [2]: "Internet des objets : quels avantages pour les entreprises ?." 6 juin. 2017,
<https://banqueentreprise.bnpparibas/fr/focus-entreprises/digital/l-internet-des-objets-nouvel-horizon-pour-les-entreprises>.
- [3]: "IoT, principes et inconvénients - le blog audio de Cedric, mindCast Vie."
https://www.abonnel.fr/informatique/iot_principes_et_inconvenients.
- [4] : "Focus sur l'Internet of Things (IoT)... l'essentiel à savoir." 28 août. 2017,
<https://www.welcometothejungle.co/fr/articles/focus-sur-l-internet-of-things-iot-l-essentiel-a-savoir>.
- [5] : "Internet des objets — Wikipédia." https://fr.wikipedia.org/wiki/Internet_des_objets.
- [6] : "Qu'est-ce que l'IoT et pourquoi mener une stratégie d'IoT ? | Digora."
<https://www.digora.com/fr/blog/definition-iot-et-strategie-iot>.
- [7] : "Modèles d'architectures de l'Internet des Objets | OCTO Talks !." 13 sept.. 2011,
<https://blog.octo.com/modeles-architectures-internet-des-objets/>.
- [8] : "Les objets connectés / Les technologies de ... - Smart Grids - CRE."
<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-technologies>.
- [9] : Radio-identification — Wikipédia." <https://fr.wikipedia.org/wiki/Radio-identification>.
- [10] : "What is MQTT and How It Works | Random Nerd Tutorials."
<https://randomnerdtutorials.com/what-is-mqtt-and-how-it-works/>.
- [11] : "Hypertext Transfer Protocol — Wikipédia."
https://fr.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Transfer_Protocol.
- [12] : "WebSocket — Wikipédia." <https://fr.wikipedia.org/wiki/WebSocket>.
- [13] : "C'est quoi l'agriculture de précision ? • Les Horizons." 14 janv.. 2019,
<https://leshorizons.net/2019/01/14/cest-quoi-agriculture-de-precision/>.
- [14] : "Agriculture de précision — Wikipédia."
https://fr.wikipedia.org/wiki/Agriculture_de_pr%C3%A9cision.

- [15] : "Drones, robots : comment l'agriculture utilise les nouvelles technologies." 26 févr.. 2017, <https://www.lejdd.fr/Economie/Drones-robots-comment-l-agriculture-utilise-les-nouvelles-technologies-850328-3069476>.
- [16] : "L'agriculture de précision | Drones, satellites... Les ... - WordPress.com." 25 nov.. 2016, <https://agriculturedeprecision.wordpress.com/>.
- [17] : "Serre - Wikipédia." <https://fr.wikipedia.org/wiki/Serre>.
- [18] : "Etude, conception et réalisation d'une plateforme pour l'automatisation"
<http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/4126/1/M%C3%A9moire.pdf>.
- [19] : "Etude et réalisation d'un circuit électronique pour le contrôle du climat"
<http://bib.univ-oeb.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/8099/1/Memoir%20Fin%20D%C3%A9tude%20.pdf>.
- [20] : "équipements pour serres - climat idéal pour chaque ... - ULMA Agricola."
<https://www.ulmaagricola.com/fr/serres/equipements/>.
- [21] : "Introduction à l'Arduino." <https://perso.ens-lyon.fr/michael.rao/hacker/arduino.pdf>.
- [22] : "DHT11 & DHT22 Sensors Temperature and Humidity Tutorial using"
<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/dht11-dht22-sensors-temperature-and-humidity-tutorial-using-arduino/>.
- [23] : "GazShields : MQ135 - Orbit Electronic."
http://www.orbit-dz.com/produit/scanner-automobile-2/arduino-compatibles/shields-et-accessoires/gaz_shields/mq135-detail.
- [24] : "InfluxDB — Wikipédia." <https://fr.wikipedia.org/wiki/InfluxDB>.
- [25] : "Time Series Database : qu'est-ce que c'est, à quoi ça sert - LeBigData." 24 mai. 2018, <https://www.lebigdata.fr/time-series-database-definition>.
- [26] : "What are APIs and how do APIs work? | MuleSoft Blog." 7 sept.. 2016, <https://blogs.mulesoft.com/biz/tech-ramblings-biz/what-are-apis-how-do-apis-work/>.
- [27] : "Qu'est ce qu'une API REST (ou RESTful) - Comprendre Internet . com."
<https://www.comprendre-internet.com/Qu-est-ce-qu-une-API-REST-ou-RESTful.html>.
- [28] : "1.1. Modes de fonctionnement du module XBee."
<http://projet.eu.org/pedago/sin/1ere/9-Xbee.pdf>.
- [29] : "MODULES XBEE doc pour matlog - Free."
<http://daniel.menesplier.free.fr/Doc/MODULE%20%20XBEE.pdf>.
- [30] : "IFTTT — Wikipédia." <https://fr.wikipedia.org/wiki/IFTTT>.

[31]:

<https://www.geo.fr/environnement/ppm-a-quoi-correspond-cette-unite-de-mesure-de-la-pollution-193340>

[32]: "Utopian/[Arduino basics tutorials] use MQ135 air quality ... - GitHub."

<https://github.com/Cha0s0000/Utopian/blob/master/%5BArduino%20basics%20tutorials%5D%20use%20MQ135%20air%20quality%20detecting%20module.md>.

[33] :

<https://www.carnetdumaker.net/articles/mesurer-la-luminosite-ambiante-avec-une-photoresistance-et-une-carte-arduino-genuino/>

[34] : <https://microcontrollerslab.com/interfacing-mq-135-gas-sensor-arduino/>

[35]: <https://www.instructables.com/id/How-to-use-a-Water-Level-Sensor-Arduino-Tutorial/>

[36] : https://wiki.mchobby.be/index.php?title=Pont-H_L293D

[37] : https://wiki.mchobby.be/index.php?title=Pont-H_L298N

[38] : <http://electroniqueamateur.blogspot.com/2012/11/controle-dun-moteur-pas-pas-avec-un.html>

[39]:

<https://openclassrooms.com/fr/courses/3290206-perfectionnez-vous-dans-la-programmation-arduino/3342221-programmez-un-ecran-lcd>

