



Département Génie Electrique

Ref: PFA1-14-24-25

Rapport de Projet de Fin d'Année

De

Première année en Génie Électrique

Présenté et soutenu publiquement le 26/05/2025

Par

**Khouloud OTHMANI
Mohamed DAB**

...

Conception d'un système d'hydroponie connecté

Composition du jury

Monsieur Mourad Fathallah
Monsieur Maher Charfi

Président
Encadrant

Année universitaire : 2024-2025

Dédicaces

A mon dieu

*A tous ceux qui rêvent éveillés, qui dorment pour rêver, et qui rêvent pour créer. Ce travail
est le fruit de notre passion commune.*

Nous leur sommes infiniment reconnaissants pour leurs sacrifices à nos chers parents

A nos chers frères et sœurs

Khouloud Othmani & Mohamed Dabb

Remerciements

Nous sommes extrêmement reconnaissants envers notre encadrant

« Charfi Maher » qui a été un guide précieux tout au long de notre projet, nous le remercions pour son engagement.

Nous exprimons notre sincère gratitude pour son accompagnement

bienveillant tout au long de ces mois de travail.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements sincères envers les membres de jury, pour avoir accepté d'assister au jury de ce projet de fin d'année et pour leur disponibilité et participation active dans l'évaluation de ce modeste travail.

Table des matières

Dédicaces.....	ii
Remerciements.....	iii
Table des matières.....	vi
Listes des figures.....	v
Liste des tableaux.....	vi
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : La Culture Hydroponique.....	2
I.1 Introduction.....	2
I.2 Définition et Objectifs de la Culture Hors Sol.....	2
I.2.1 Définition.....	2
I.2.2 Historique.....	2
I.2.3 Objectifs de la Culture Hydroponique.....	3
I.3 Avantages et Inconvénients de la Culture Hydroponique.....	3
I.3.1 Avantages.....	3
I.3.2 Inconvénients.....	4
I.4 Différents Systèmes de Culture Hydroponique.....	4
I.4.1 Systèmes Passifs et Actifs.....	4
I.4.2 Systèmes avec ou sans Substrat.....	5
I.4 Substrats utilisés en hydroponie.....	8
I.5 Facteurs Essentiels d'un Système Hydroponique.....	8
I.5.1 Température et Humidité.....	8
I.5.2 Ventilation et Éclairage.....	8
I.5.3 Qualité et Besoins en Eau.....	8
I.6 Conclusion.....	9
Chapitre II. Spécifications techniques et fonctionnelles.....	9
II.1 Introduction.....	9
II.2 Architecture Générale du Système.....	9
II.3 analyse des besoins fonctionnels et non fonctionnels du système.....	11
II.3.1 Besoins Fonctionnels.....	11
II.3.2 Besoins Non Fonctionnels.....	11
II.4 La carte de traitement et de transmission des données.....	11
II.4.1 L'utilisation des modules ESP pour la connectivité wifi.....	12
II.4.2 Caractéristiques du Shield wifi ESP32.....	12
II.5 Les capteurs utilisés dans un système d'hydroponie connecté.....	13
II.5.1 Sonde d'électrode de pH.....	13
II.5.2 Le capteur de niveau d'eau (ST045).....	15
II.5.3 Le capteur de température et d'humidité (DHT11).....	17
II.5.4 Le capteur de luminosité (LDR).....	18
II.5.5 La sonde de température (DS18B20).....	20
II.5.6 Composants Actionneurs : Pompe et Module Relais.....	21
II.6 Conclusion.....	21

Chapitre III : Implémentation et validation de la solution : aspects matériels et logiciels.....	21
III.1 Introduction.....	21
III.2 Concept de l'IoT et son application.....	22
III.2.1 Principe de l'Internet des Objets (IoT).....	22
III.2.2 Rôle de l'ESP32.....	22
III.2.3 Protocole IP et Communication Réseau.....	22
III.3 Interface Locale de Supervision.....	23
III.3.1 Objectifs de l'Application Web.....	23
III.3.2 Architecture de Communication.....	23
III.4 Conception et Test de la Solution.....	24
III.4.1 Analyse et Planification des tests.....	24
III.5 Conclusion.....	35
Conclusion générale.....	36
Bibliographie.....	37
Annexes.....	38

Listes des figures

Figure I.1 : Système hydroponique passif	4
Figure I.2 : Système hydroponique actif	4
Figure I.3 : Schéma du système aquaculture	5
Figure I.4 : Schéma du système NFT	5
Figure I.5 : Schéma représentant le système d'Aéroponie	6
Figure I.6 : Schéma de système d'Ultraponie	6
Figure II.7 : Architecture générale du système connecté	9
Figure II.8 : Module ESP32 - Caractéristiques techniques	12
Figure II.9 : Schéma de branchement de la sonde de pH	12
Figure II.10 : Câblage du capteur pH avec l'ESP32	13
Figure II.11 : Capteur de niveau d'eau (ST045)	14
Figure II.12 : Câblage du capteur de niveau d'eau avec l'ESP32	15
Figure II.13 : Capteur DHT11 - Température et humidité	15
Figure II.14 : Câblage du capteur DHT11 avec l'ESP32	16
Figure II.15 : Capteur LDR	17
Figure II.16 : Câblage du capteur LDR avec l'ESP32	18
Figure II.17 : Sonde DS18B20	18
Figure II.18 : Câblage du capteur DS18B20 avec l'ESP32	19
Figure III.19 : Schéma général du système étudié	20
Figure III.20 : Échanges Client-Serveur	22
Figure III.21 : Organigramme du système étudié	24
Figure III.22 : Test du capteur de niveau d'eau	25
Figure III.23 : Test du capteur DHT11	26
Figure III.24 : Test du capteur LDR	27

Figure III.25: Câblage simultané des capteurs environnementaux sur la carte ESP32	27
Figure III.26: Diagramme de Séquence : Supervision et Contrôle du Système	29
Figure III.27: Capture d'écran de l'interface web affichant les données des capteurs	30
Figure III.28: Photo de l'écran LCD affichant l'état du système et le mode	32

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Comparaison entre les différents types du module ESP	11
Tableau II.2 : Câblage ESP32 - Sonde pH	14
Tableau II.3 : Câblage ESP32 - Capteur de niveau d'eau	15
Tableau II.4 : Câblage ESP32 - Capteur DHT11	16
Tableau II.5 : Les composants actionneurs	19

Introduction Générale

L'agriculture traditionnelle fait aujourd'hui face à plusieurs défis majeurs : **épuisement des sols, raréfaction des ressources en eau, baisse des rendements et pression croissante liée à la demande alimentaire mondiale**. Dans ce contexte, de nouvelles approches sont explorées pour assurer une production alimentaire durable et efficiente. Parmi elles, l'**agriculture hors-sol**, en particulier la **culture hydroponique**, suscite un intérêt croissant.

La **culture hydroponique** est une technique agricole innovante qui consiste à faire pousser les plantes sans sol, en utilisant une **solution nutritive riche** en minéraux essentiels. Ce mode de culture présente de nombreux avantages, tels qu'une **réduction significative de la consommation d'eau, une meilleure gestion des nutriments, une croissance plus rapide des plantes, et une possibilité d'automatisation avancée**. Ces caractéristiques en font une solution idéale pour les zones urbaines, les régions arides ou les environnements contrôlés.

Parallèlement, l'émergence de l'**Internet des Objets (IoT)** et des systèmes embarqués ouvre la voie à une nouvelle ère d'**agriculture connectée**, où les paramètres de culture peuvent être **surveillés et contrôlés à distance** en temps réel. Ces technologies permettent de **réduire l'intervention humaine, d'améliorer les rendements, et de minimiser les pertes**.

Dans ce cadre, ce projet de fin d'année s'inscrit dans une logique d'**intégration intelligente** entre l'hydroponie et l'IoT. Il consiste à concevoir et réaliser un **système hydroponique autonome et connecté**, piloté par une carte **ESP32**. Ce système est capable de mesurer des paramètres environnementaux (comme le niveau d'eau, l'humidité, ou encore la température), de les afficher sur un **écran LCD**, et de les transmettre à une **interface web** accessible en local via Wi-Fi. L'utilisateur peut, à travers cette interface, **contrôler manuellement** l'éclairage LED et la

Introduction Générale

pompe d'irrigation, ou activer un **mode automatique** où les décisions sont prises en fonction des données des capteurs.

L'objectif global du projet est donc de démontrer comment une **solution embarquée low-cost**, basée sur des composants open source, peut contribuer à **moderniser les pratiques agricoles** et à promouvoir une **agriculture durable, efficace et accessible**.

Chapitre I :

La Culture Hydroponique

Chapitre I : La Culture Hydroponique

I.1 Introduction

Ce chapitre présente la culture hydroponique : une méthode de culture sans sol utilisant des solutions nutritives, ses principes, avantages et types.

I.2 Définition et Objectifs de la Culture Hors Sol

I.2.1 Définition

La culture **hydroponique** est une technique agricole qui consiste à cultiver des plantes sans sol. Le terme **hydroponie** signifie littéralement faire croître des plantes sans sol (Maxwell, 1986 ; El Houssine, 2006). Au lieu de prélever les nutriments dans la terre, les plantes sont nourries par une solution nutritive à base d'eau contenant tous les éléments essentiels à leur croissance.

I.2.2 Historique

L'origine de la culture hydroponique remonte au XVIIe siècle, où elle était principalement utilisée pour la recherche sur la nutrition des plantes. Ce n'est qu'entre 1930 et 1935 que le chercheur californien Cserickjz a appliqué cette technique à l'horticulture et à la culture maraîchère (Habben, 1974).

La culture du fourrage vert hydroponique (FVH) repose sur une utilisation ancestrale des graines germées (Hübner et Arendt, 2013). Cette pratique est employée depuis des siècles en Asie pour l'alimentation humaine et animale. En Europe, dès le XIXe siècle, les fermiers utilisaient les céréales germées pour nourrir les troupeaux de vaches en hiver [1]. En France, le blé germé

était souvent utilisé pour fortifier les animaux faibles, une technique encore en vigueur en agriculture biologique et en élevage équin (Miralles-Bruneau, 2015).

I.2.3 Objectifs de la Culture Hydroponique

Les principaux objectifs de la culture hydroponique sont les suivants [3] :

- **Utilisation efficace des ressources** : optimisation de l'utilisation de l'eau, des nutriments et de l'espace.
- **Contrôle précis des conditions de croissance** : gestion de la température, de l'humidité, du pH et de la concentration en nutriments.
- **Augmentation des rendements** : obtention de productions supérieures par unité de surface par rapport à la culture traditionnelle.
- **Réduction des maladies et des ravageurs** : diminution des risques de contamination par les parasites et agents pathogènes.
- **Culture toute l'année** : indépendance des conditions climatiques pour une production continue et hors saison.

I.3 Avantages et Inconvénients de la Culture Hydroponique

I.3.1 Avantages

- Utilisation efficace de l'eau.
- Absorption précise des nutriments.
- Croissance accélérée des plantes.
- Réduction des maladies et ravageurs.
- Optimisation de l'utilisation de l'espace.
- Suppression des problèmes liés au sol.

- Production agricole toute l'année.
- Contrôle rigoureux des paramètres environnementaux.

I.3.2 Inconvénients

- Coût initial élevé.
- Complexité technique.
- Risque de défaillance du système.
- Dépendance à l'énergie électrique.

I.4 Différents Systèmes de Culture Hydroponique

I.4.1 Systèmes Passifs et Actifs

- **Système hydroponique passif** : utilise les propriétés capillaires du substrat ou d'une mèche pour acheminer l'eau et les nutriments aux racines [5].

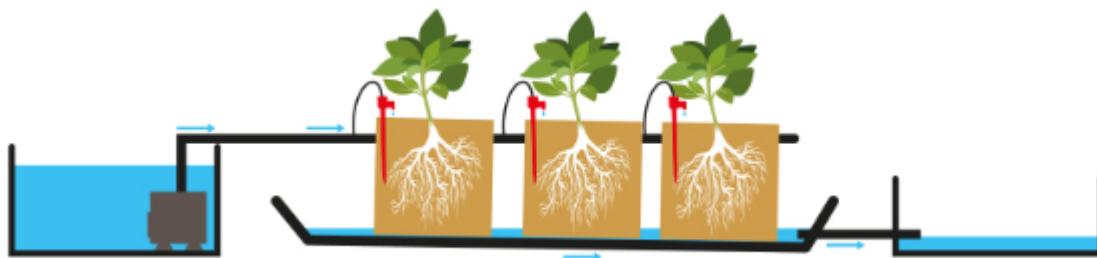


Figure I.1 : Système hydroponique passif

([Les bases de l'hydroponie - Système et matériel hydroponique - Indoor Discount](#))

- **Système hydroponique actif** : emploie des pompes pour distribuer la solution nutritive.

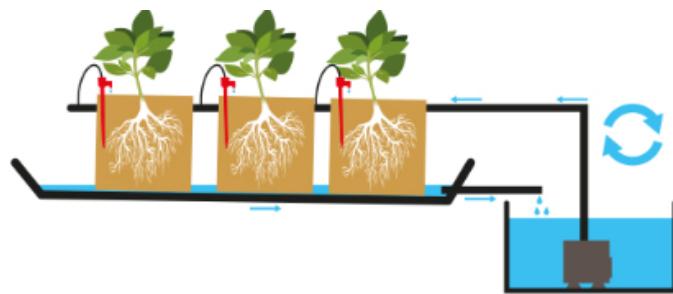


Figure I.2 : Système hydroponique actif

([Les bases de l'hydroponie - Système et matériel hydroponique - Indoor Discount](#))

I.4.2 Systèmes avec ou sans Substrat

- **Systèmes sans substrat** : les racines sont directement en contact avec la solution nutritive (exemples : NFT, aquiculture, aéroponie, ultraponie).

Aquiculture

Dans l'aquiculture, la solution nutritive est contenue dans **un bac** (Figure 3). Pour prévenir l'asphyxie des racines, il est nécessaire de fournir de **l'oxygène supplémentaire** à la solution nutritive, ce qui implique l'utilisation d'un processus technique plutôt complexe.

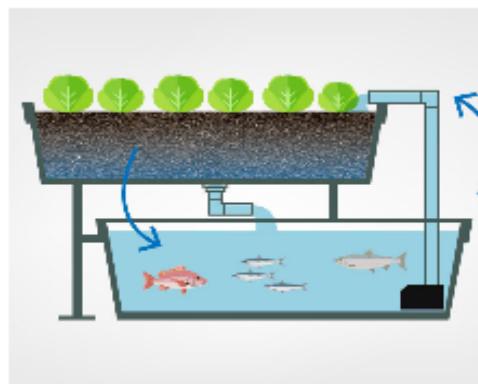


Figure I.3 : Schéma du système aquaculture

Technique du film nutritif (N.F.T.)

Les **semis** et les **boutures** sont placés sur une **nappe absorbante** reposant au fond d'un plateau couvert. La **solution nutritive** s'écoule le long du plateau, baignant au passage les **racines** avant de s'égoutter dans le **réservoir**. Cela apporte une grosse quantité d'oxygène aux racines qui restent constamment irriguées. Vous pouvez aussi choisir de créer vous-même votre système grâce aux nombreux **réservoirs**, **tables de récupérations** et **films NFT** disponibles dans notre catalogue.

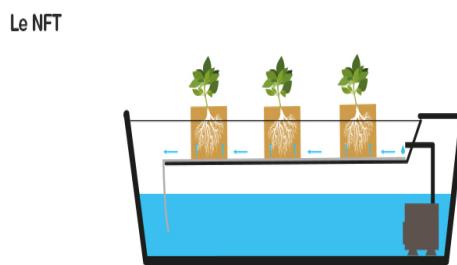


Figure I.4 : Schéma du système NFT

Aéroponie

Dans une application inhabituelle de la culture hydroponique de système fermé, les plantes sont cultivées dans des trous des panneaux de polystyrène expansé ou d'un autre matériau. Les racines des plantes sont mises en suspension dans l'air sous le panneau et en fermées dans une boîte de pulvérisation. La boîte est scellée afin que les racines soient dans l'obscurité (pour inhiber la croissance des algues) et de la saturation d'humidité (Figure 5).

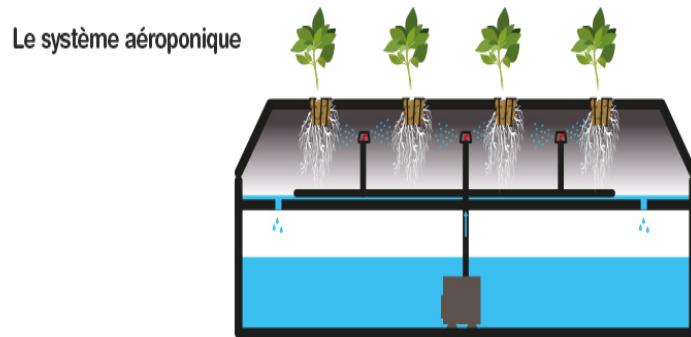


Figure I.5 : Schéma reprisant le système d'Aéroponie

Ultraponie

L'ultraponie est la forme de culture la plus extrême qui existe actuellement. Les racines sont en contact d'un brouillard nutritif créé grâce à des brumisateurs à ultrasons. Il est fait de très fines gouttelettes formant un milieu composé d'eau et d'oxygène directement assimilable par les racines (Figure 6).

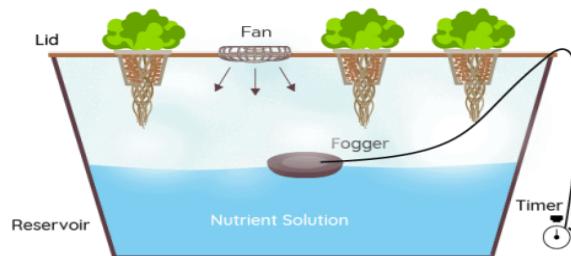


Figure I.6 : Schéma de système d'Ultraponie

- **Systèmes avec substrat** : utilisent un support solide retenant la solution nutritive, favorisant l'oxygénation des racines (exemples : flux-reflux, goutte-à-goutte).

I.4 Substrats utilisés en hydroponie

SUBSTRATS ORGANIQUES		SUBSTRATS INORGANIQUES	
FIBRE DE COCO		PERLITE	
BALLE DE RIZ		VERMICULITE	
LAINES DE ROCHE		CUBE OASIS	

I.5 Facteurs Essentiels d'un Système Hydroponique

I.5.1 Température et Humidité

- **Température optimale** : entre 17 et 28°C.
- **Humidité de l'air** : entre 60 et 80 %.

I.5.2 Ventilation et Éclairage

- Renouvellement de l'air deux fois par jour pour réguler le taux d'humidité et de CO2.
- **Durée d'éclairage journalière** : entre 10 et 17 heures.
- **Type de lampe recommandé** : fluorescente à flash de 8 W/m²

I.5.3 Qualité et Besoins en Eau

- **Température de l'eau** : 17-20°C.
- **pH optimal** : entre 5,2 et 7,5.
- **Systèmes d'irrigation** : micro-aspersion ou brumisation.
- **Consommation d'eau** : entre 1,3 et 1,9 litres/m² par jour.

Ce chapitre présente une vue d'ensemble complète et détaillée de la culture hydroponique. Dans le prochain chapitre, nous explorerons la conception d'un système hydroponique connecté.

I.6 Conclusion

La culture hydroponique est une alternative efficace et durable à l'agriculture classique, adaptée aux enjeux actuels.

Chapitre II :

Spécifications techniques et fonctionnelles

Chapitre II. Spécifications techniques et fonctionnelles

II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à décrire et détailler les choix techniques et technologiques de notre système. Après avoir présenté la solution globale envisagée, nous examinerons les caractéristiques techniques de chaque composant de la solution et la justification de son choix ainsi que les connexions physiques entre ces composants.

II.2 Architecture Générale du Système

Avant de détailler les aspects techniques et fonctionnels, il est essentiel de fournir une présentation complète du système étudié pour mieux comprendre son contexte et son rôle, comme illustré par la Figure.

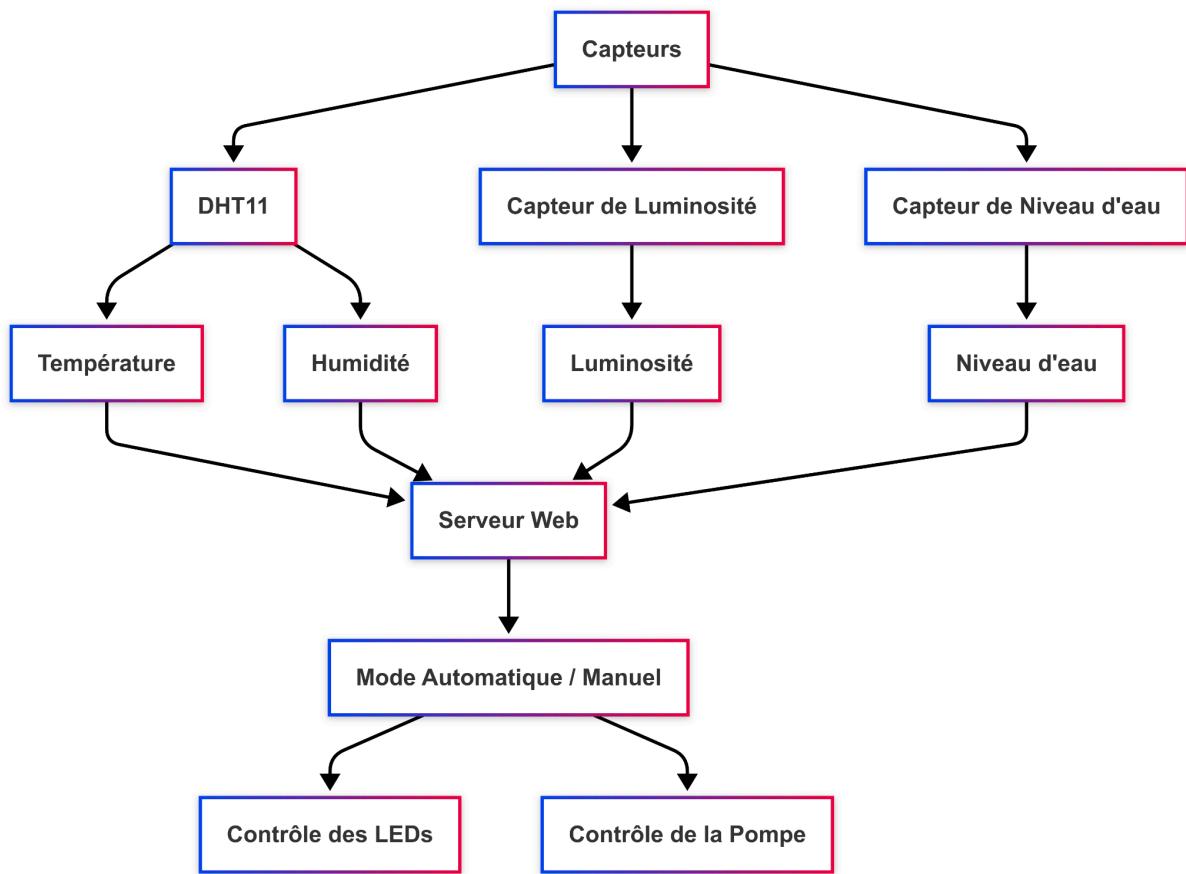


Figure II.7 : Schéma bloc du système hydroponique connecté

[Wokwi - Online ESP32, STM32, Arduino Simulator](#)

Le système d'hydroponie connecté est composé de trois blocs principaux :

- **Bloc de détection** : capteurs de température, humidité, luminosité, niveau d'eau et pH.
- **Bloc de traitement** : microcontrôleur ESP32 assurant la collecte, le traitement des données et la communication via Wi-Fi.
- **Bloc d'interface utilisateur** : écran LCD local pour l'affichage rapide des mesures et interface web pour la visualisation en temps réel et le contrôle à distance (pompe, LEDs).

II.3 analyse des besoins fonctionnels et non fonctionnels du système

II.3.1 Besoins Fonctionnels

- **Surveillance des paramètres** : Suivi en temps réel de la température, humidité, luminosité, etc.
- **Contrôle automatique** : Ajustement automatique des conditions comme l'éclairage et la température.
- **Alertes** : Notifications en cas de paramètres anormaux.
- **Gestion à distance** : Accès et contrôle via une application mobile ou web.
- **Suivi des ressources** : Mesure de la consommation d'eau et d'énergie.
- **Analyse des données** : Stockage et visualisation des données collectées.

II.3.2 Besoins Non Fonctionnels

- **Sécurité** : Protection des données avec chiffrement et authentification.
- **Fiabilité** : Composants robustes et performants.
- **Performance** : Réactivité en temps réel.
- **Facilité d'utilisation** : Interface simple et intuitive.
- **Scalabilité** : Possibilité d'extension du système.
- **Efficacité énergétique** : Minimisation de la consommation d'énergie.
- **Maintenance** : Facilité de mise à jour et remplacement des composants.

II.4 La carte de traitement et de transmission des données

II.4.1 L'utilisation des modules ESP pour la connectivité wifi

Tableau II.1 : Comparaison entre les différents types du module ESP

caractéristiques	ESP-01	ESP-12S	ESP-12 E UART Wireless WiFi Shield TTL Converter (Shield WiFi ESP8266)
Prix (dt)	10	18	23
Protocole TCP/IP	Oui	Oui	Oui
Wifi direct(P2P)	Oui	Oui	Oui
Normes wifi	802.11 b/g/n	IEEE802.11 b	802.11 b/g/n
Interface	SDIO ,SPI,UART 1.1/2.0	Non spécifié	UART
processeur	32-bit faible puissance	Micro MCU 32-bit à très faible consommation	32-bit RISC architecture,80/160Mhz
Utilisation	Arduino, Raspberry Pi	Périphériques IOT, contrôleurs réseau	Arduino peut fonctionner seule avec broches ESP-12 E

Les modules ESP sont des composants électroniques essentiels pour la connectivité wifi dans les projets IoT et les objets connectés. Le Tableau II.1 met en évidence les différences entre les modules ESP en termes de caractéristiques techniques, de fonctionnalités et d'applications possibles.

II.4.2 Caractéristiques du Shield wifi ESP32

L'ESP 32 offre une solution idéale pour le traitement et la transmission des données. En utilisant l'ESP 32, les données de notre système peuvent être facilement envoyées via le réseau Wi-Fi, offrant ainsi une connectivité fiable sans fil comme montre la figure II.7.

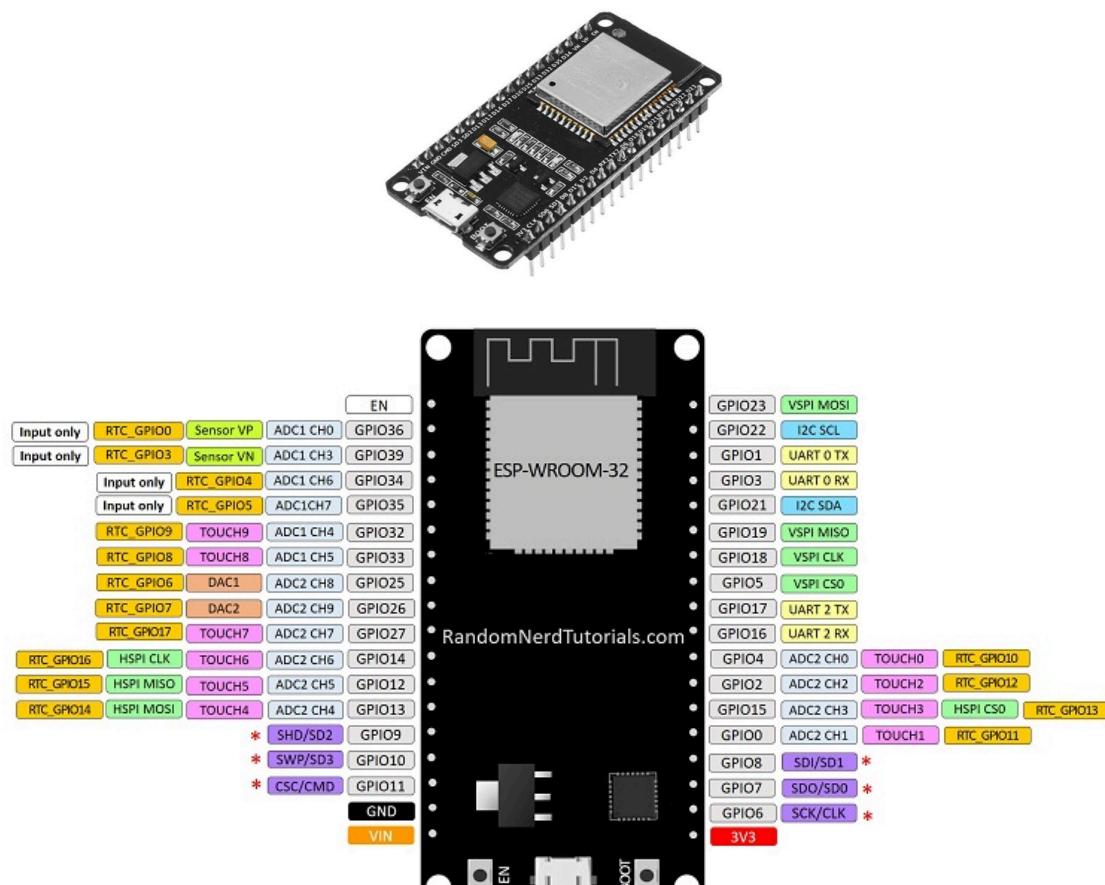


Figure II.8 : modules ESP32

II.5 Les capteurs utilisés dans un système d'hydroponie connecté

II.5.1 Sonde d'électrode de pH



Figure II.9 : sonde d'électrode de pH

Le pH-mètre analogique comprend une LED qui fonctionne comme un indicateur d'alimentation, un connecteur BNC et une interface de capteur pH 2.0. Pour l'utiliser, il suffit de connecter le capteur de pH avec le connecteur BNC et d'interfacer l'interface avec un port d'entrée analogique sur le contrôleur.

Caractéristiques :

- **Alimentation** : 5 V
- **Plage de mesure de pH** : 0 à 14
- **Température de fonctionnement** : 0 à 60 °C
- **Précision** : $\pm 0,1$ pH (à 25 °C)
- **Sonde** : Ø20 x 150 mm
- **Interface** : 65 x 33 x 15 mm
- **Tube en plastique bleu résistant aux chocs**
- **Longueur du câble de la sonde** : 90 cm avec connecteur BNC.

Câblage du capteur pH avec l'ESP32 :

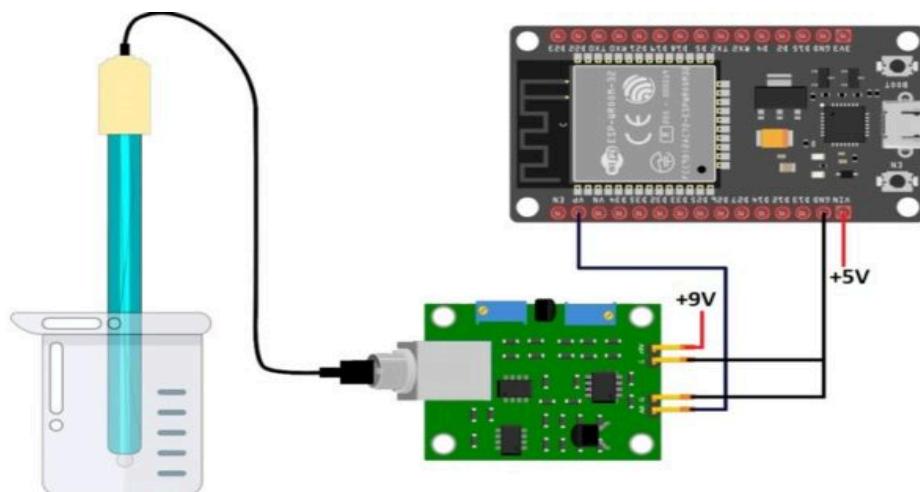


Figure II.10 : Câblage du capteur pH avec l'ESP32

Dans le cadre de l'intégration de la sonde pH avec l'ESP 32, le câblage doit être réalisé en respectant les niveaux de tension et les connexions appropriées. Le tableau suivant présente le détail des liaisons électriques entre les différents composants (tableau II.2):

Tableau II.2 : câblage esp32-sonde PH

ESP32	Sonde PH
VP (A0) (Broche 36)	Signal (OUT)
GND	GND
9V (Batterie ou Alim DC)	Vcc

II.5.2 Le capteur de niveau d'eau (ST045)

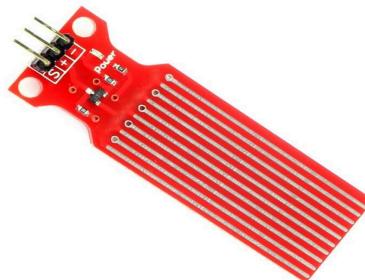


Figure II.11 : capteur de niveau d'eau (ST045)

ST045 est un capteur d'eau analogique , Ce module didactique délivre une tension analogique en fonction du niveau d'eau grâce à ses pistes imprimées. Ce type de capteur est généralement utilisé pour la détection de pluie grâce à sa forme extra plate, par contre dans notre cas il est utilisé pour mesurer le volume d'eau de notre réservoir en raison de sa petite taille.

Caractéristiques :

- **Tension d'alimentation** : 3,3 à 5 V
- **Consommation de courant** : 20 mA
- **Sortie** : Analogique
- **Température de fonctionnement** : 10 – 30 °C

Câblage du capteur de niveau d'eau avec l'ESP32 :

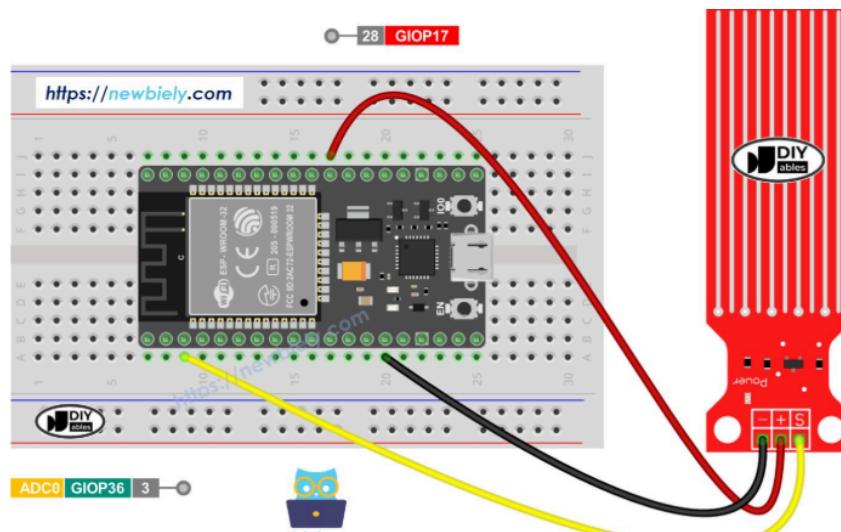


Figure II.12 : Câblage du capteur de niveau d'eau avec l'ESP32

Dans le cadre de l'intégration du capteur de niveau d'eau avec l'ESP 32, le câblage doit être réalisé en respectant les niveaux de tension et les connexions appropriées. Le tableau suivant présente le détail des liaisons électriques entre les différents composants (tableau II.3):

Tableau II.3 : câblage esp32-capteur de niveau d'eau

esp32	capteur d'eau ST 045
GPIO 34 (A0)	Sortie analogique
GND	GND
3V3	Vcc

II.5.3 Le capteur du température et d'humidité (DHT11)



Figure II.13 : Capteur DHT11

Le capteur DHT11 est un capteur de température et d'humidité de faible coût, largement utilisé dans les applications IoT et les systèmes de surveillance environnementale. Il offre une solution pratique pour mesurer la température de l'air et l'humidité relative dans des environnements contrôlés, comme les serres ou les systèmes hydroponiques.

Caractéristiques techniques du DHT11 :

- **Plage de mesure de température** : 0 à 50°C
- **Plage de mesure d'humidité** : 20 à 80 %
- **Précision de température** : ±2°C
- **Précision d'humidité** : ±5 %
- **Alimentation** : 3.3V à 5V

- **Sortie** : Signal numérique
- **Temps de réponse** : Environ 1 seconde par mesure

Câblage du capteur DHT11 d'eau avec l'ESP32 :

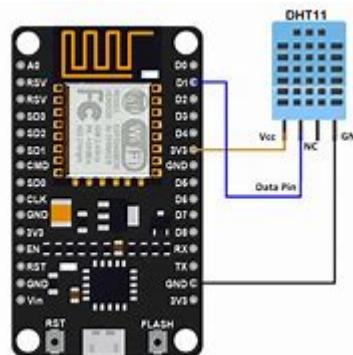


Figure II.14 : Câblage du capteur DHT11 avec l'ESP32

Dans le cadre de l'intégration du capteur DHT11 avec l'ESP 32, le câblage doit être réalisé en respectant les niveaux de tension et les connexions appropriées. Le tableau suivant présente le détail des liaisons électriques entre les différents composants (tableau II.4):

Tableau II.4 : câblage esp32-capteur DHT11

DHT pin	Connect to
1	3.3V
2	Any digital GPIO; also connect a 10k Ohm pull-up resistor
3	Don't connect
4	GND

II.5.4 Le capteur de luminosité (LDR)



Figure II.15 : Capteur LDR

Les **capteurs de luminosité** l'LDR offrent des interfaces numériques ou analogiques pour transmettre des données de lumière mesurées. Ces capteurs sont faciles à intégrer dans des projets utilisant des microcontrôleurs comme l'ESP32, offrant ainsi une surveillance en temps réel des conditions d'éclairage.

Caractéristiques techniques du capteur de luminosité LDR :

- **Type de sortie** : Analogique (pour LDR)
- **Plage de mesure** : 0 à 100 000 lux (selon le modèle)
- **Alimentation** : 3.3V à 5V

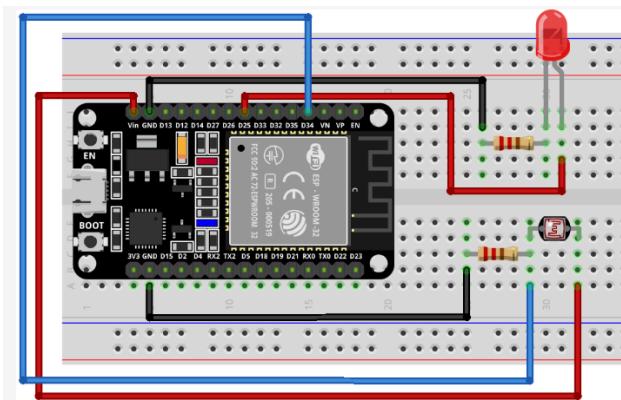


Figure II.16 : Câblage du capteur LDR avec l'ESP32

II.5.5 La sonde de température (DS18B20)

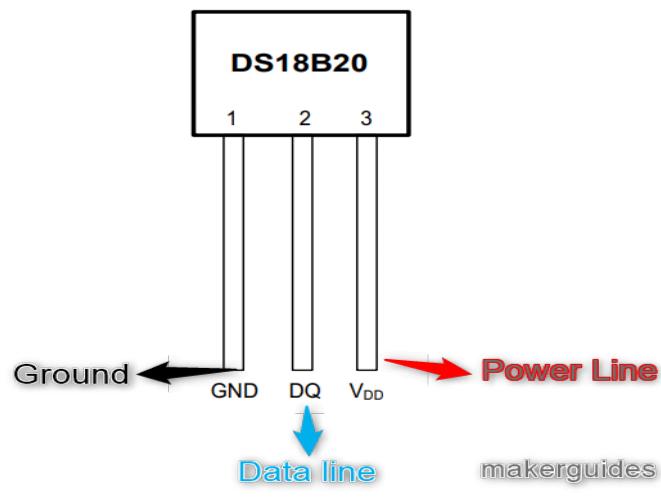


Figure II.17 : sonde DS18B20

Le capteur **DS18B20** est un capteur de température numérique très populaire et précis, qui fonctionne via un bus 1-Wire, ce qui signifie qu'il peut communiquer avec un microcontrôleur à l'aide d'un seul fil de données.

Caractéristiques principales du DS18B20 :

- **Plage de mesure** : -55°C à +125°C
- **Précision** : $\pm 0.5^\circ\text{C}$ de -10°C à +85°C
- **Résolution** : de 9 à 12 bits (configurable)
- **Interface** : 1-Wire (communication série avec un seul fil de données)
- **Tension d'alimentation** : 3.0V à 5.5V

Câblage du capteur DS18B20 d'eau avec l'ESP32 :

Le capteur DS18B20 se connecte à l'ESP32 via trois fils : VCC (3.3V ou 5V), GND et DATA (GPIO avec résistance de pull-up de 4.7kΩ entre DATA et VCC).

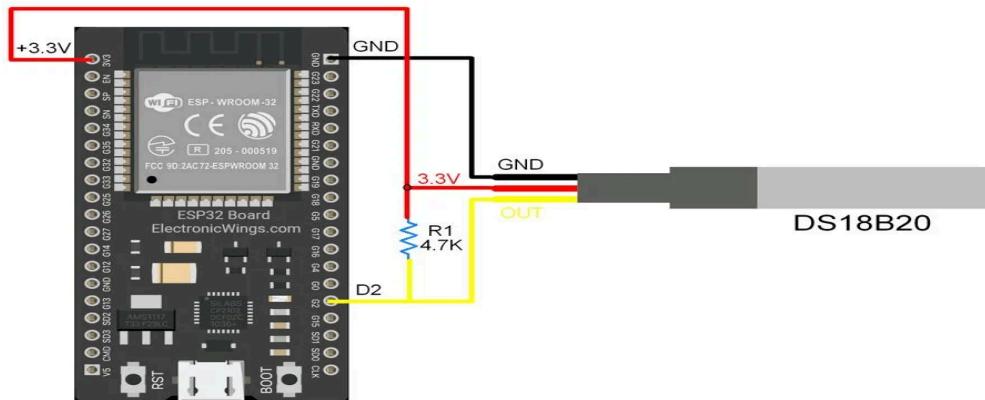


Figure II.18 : Câblage du capteur DS18B20 avec l'ESP32

II.5.6 Composants Actionneurs : Pompe et Module Relais

Tableau II.5 : les composants actionneurs

pompe	relais	écran lcd 16x2

II.6 Conclusion

Les spécifications techniques et fonctionnelles définissent les besoins du système hydroponique connecté, assurant son bon fonctionnement et répondant aux attentes des utilisateurs.

Chapitre III :

Implémentation et validation de la solution : aspects matériels et logiciels

Chapitre III : Implémentation et validation de la solution : aspects matériels et logiciels

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons détailler la conception matérielle et logicielle du système d'hydroponie connecté, de l'architecture globale aux étapes de réalisation. Ce projet s'appuie sur l'utilisation de capteurs pour la collecte de données environnementales, d'une carte de traitement ESP32 pour la gestion et la transmission des données, ainsi qu'une interface web locale permettant la surveillance et le contrôle à distance. Nous expliquerons le développement de l'interface web, l'intégration des composants .

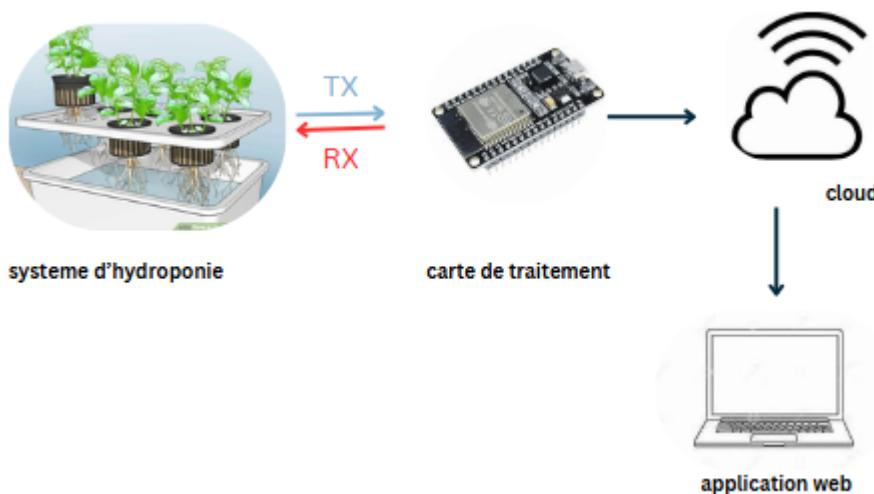


Figure III.19 : schéma générale du système étudié

En examinant la Figure II.15, nous pouvons observer les connexions entre les différents modules utilisés dans ce système, notamment les capteurs environnementaux, les actionneurs (pompe, éclairage via relais), ainsi que l'unité de traitement ESP32. Cette configuration matérielle,

présentée dans ce chapitre, est au cœur du système hydroponique connecté. La plateforme logicielle associée, permettant la visualisation et le contrôle à distance, sera détaillée dans le chapitre suivant.

III.2 Concept de l'IoT et son application

III.2.1 Principe de l'Internet des Objets (IoT)

L'Internet des Objets (IoT) désigne l'ensemble des technologies permettant de **connecter des objets physiques à Internet**, facilitant la surveillance et l'interaction à distance. Dans notre projet, l'IoT permet :

- La **collecte des données environnementales** en temps réel.
- La **supervision à distance** via une interface web.
- L'**interconnexion entre capteurs, actionneurs et utilisateur**.

III.2.2 Rôle de l'ESP32

- L'ESP 32 agit comme un **serveur web local**.
- Il assure l'interface entre les capteurs et l'utilisateur final.
- Il gère la logique de commande automatique des actionneurs.
- Il héberge et diffuse l'interface web accessible via le réseau Wi-Fi.

III.2.3 Protocole IP et Communication Réseau

- Chaque ESP32 possède une **adresse IP locale** attribuée par le réseau.
- Cette adresse permet d'accéder à l'**interface web** via un simple navigateur.

- Le **protocole TCP/IP** assure la communication fiable entre le client (navigateur) et le serveur (ESP32).

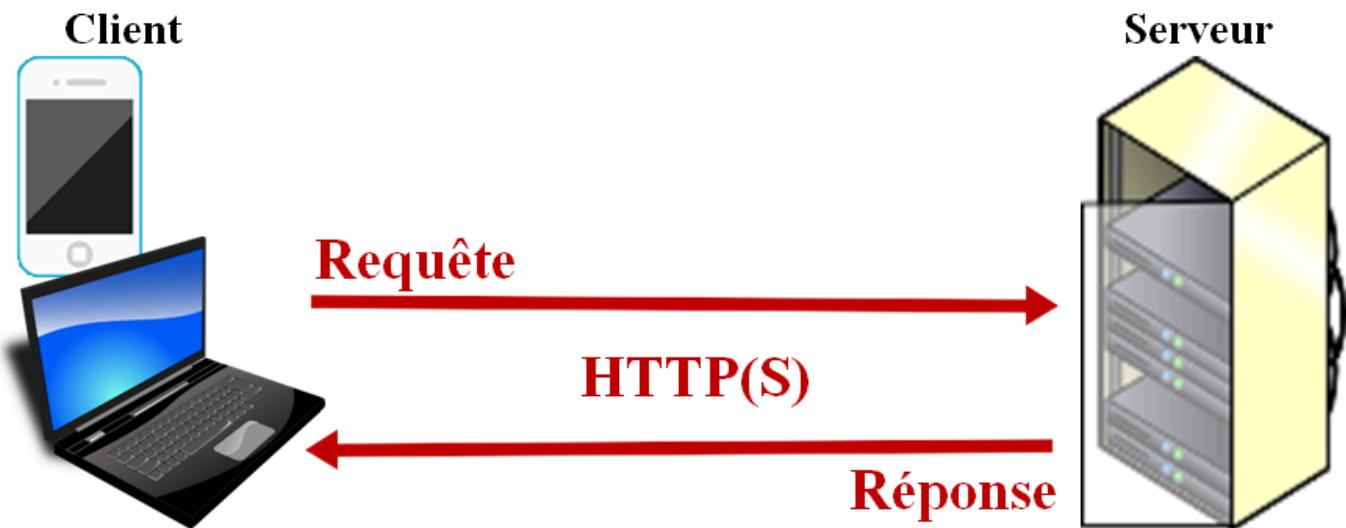


Figure III.20 : Échanges Client-Serveur

III.3 Interface Locale de Supervision

Afin de rendre la supervision **plus accessible**, une interface web locale a été développée.

III.3.1 Objectifs de l'Application Web

L'application web offre à l'utilisateur la possibilité de :

- **Surveiller en temps réel** les données mesurées (température, humidité, luminosité, niveau d'eau).
- **Commander manuellement** la pompe et les LEDs.
- **Activer le mode automatique** selon les conditions mesurées.
- **Consulter l'historique** des données enregistrées.
- **Exporter les données au format CSV** pour analyses externes.

III.3.2 Architecture de Communication

La communication entre l'ESP 32 et l'application repose sur :

- **Port série (UART)** : pour les tests en phase de prototypage ou connexion directe au PC.
- **Wi-Fi (protocole HTTP)** : pour l'interaction via l'interface web.

Les données échangées sont formatées sous forme :

- Des chaînes **de caractères structurées**.

III.4 Conception et Test de la Solution

III.4.1 Analyse et Planification des tests

Afin d'offrir une meilleure compréhension de notre système, nous proposons un organigramme détaillé (**Figure III.16**) mettant en lumière les différentes phases de son fonctionnement et les interactions entre ses composants.

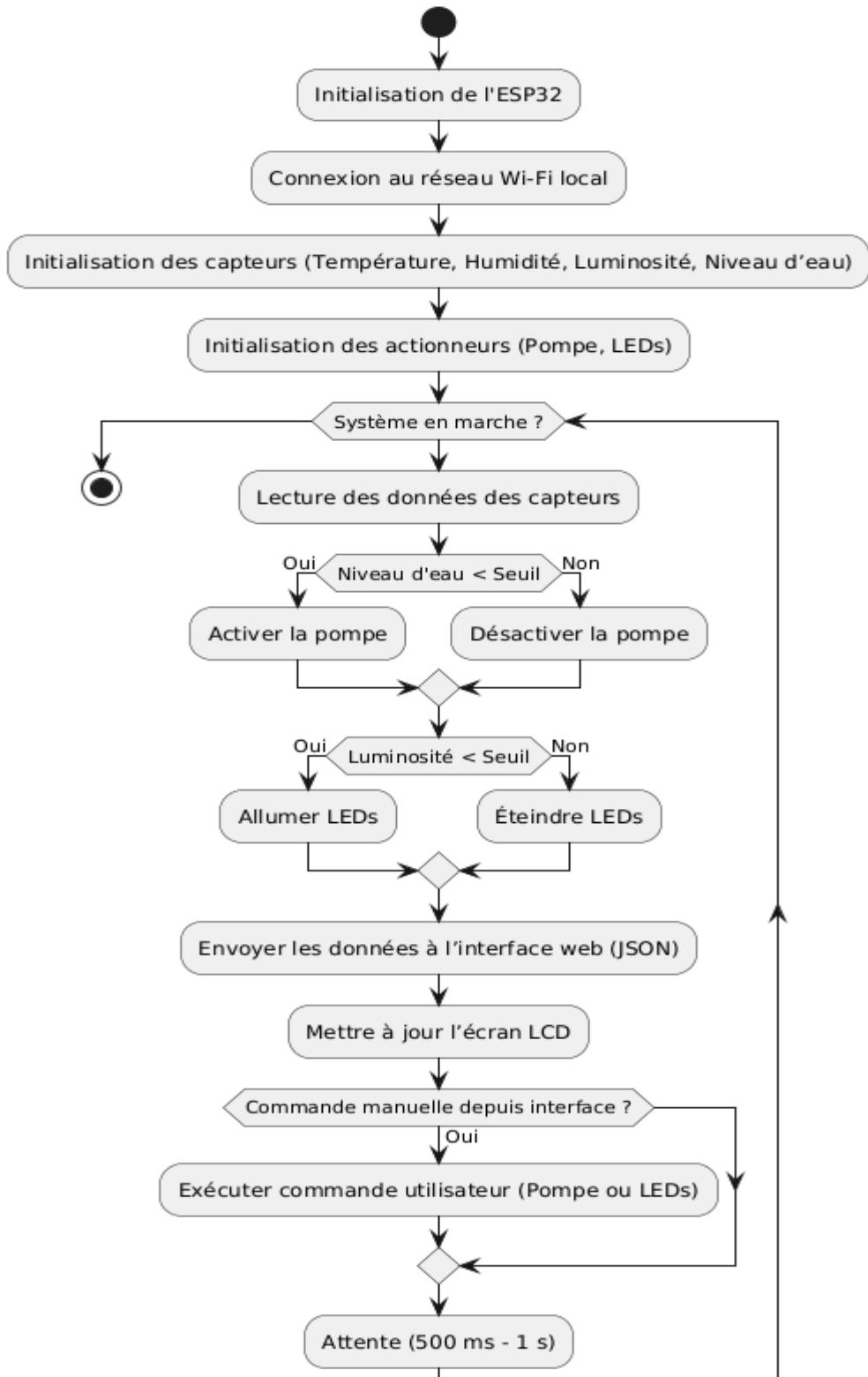


Figure III.21 : Organigramme du système étudié

□ Tests des composants du Système

Nous avons branché chaque capteur utilisé avec l'afficheur LCD pour faire les tests.

Test du capteur de niveau d'eau

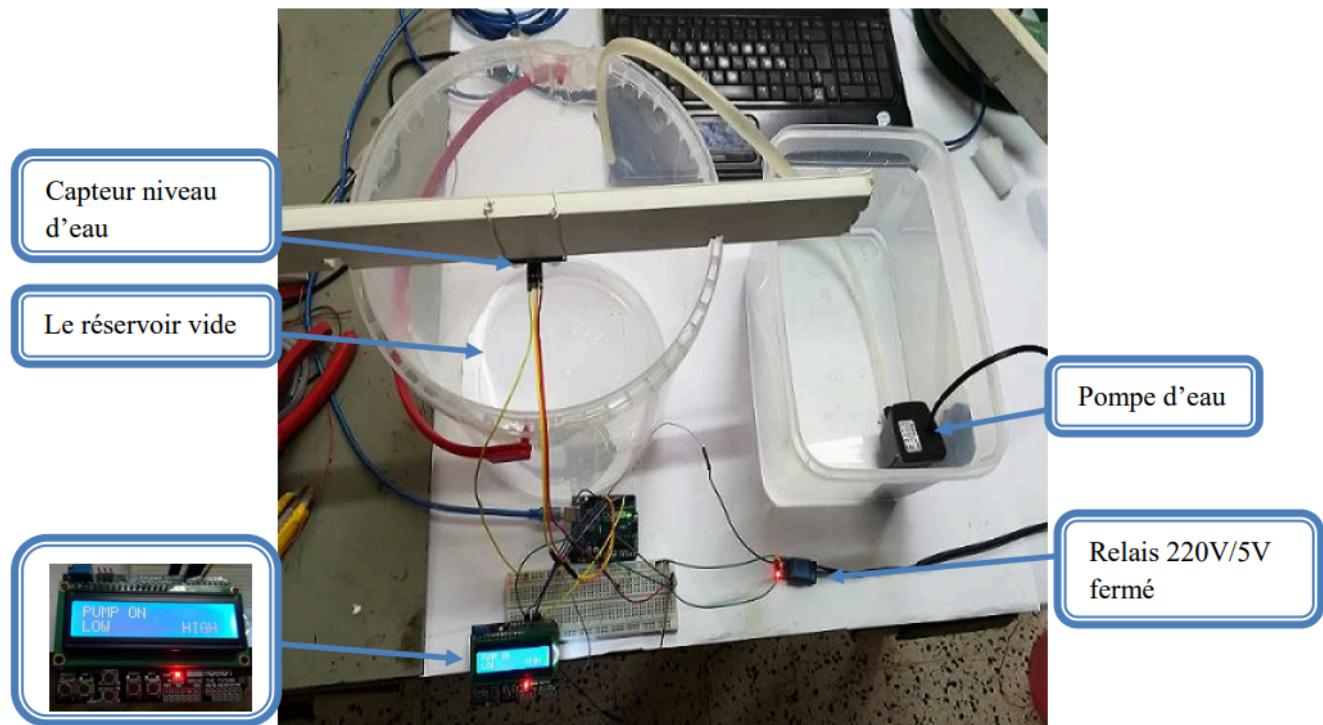
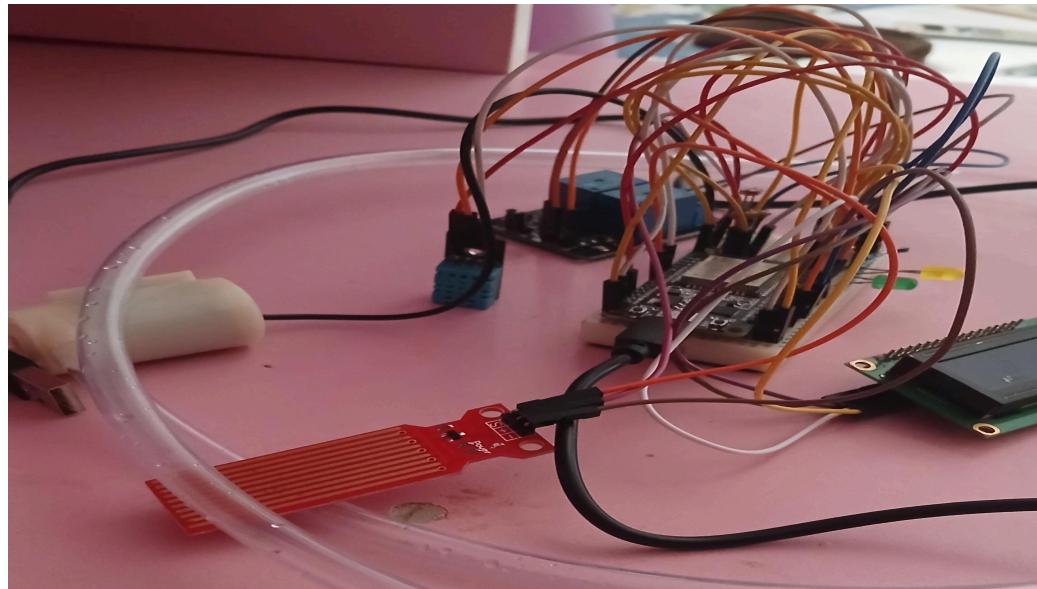


Figure III.22 : test du capteur de niveau d'eau

Test du capteur DHT11

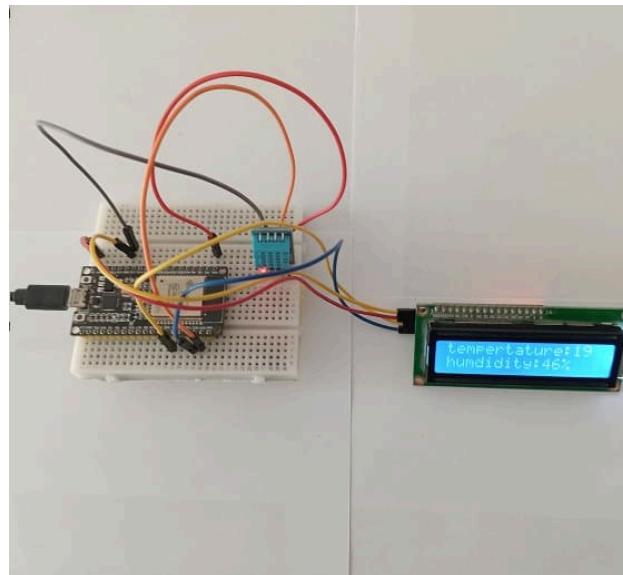


Figure III.23 : test du capteur DHT11

Test du capteur LDR en utilisant des Leds colorées :

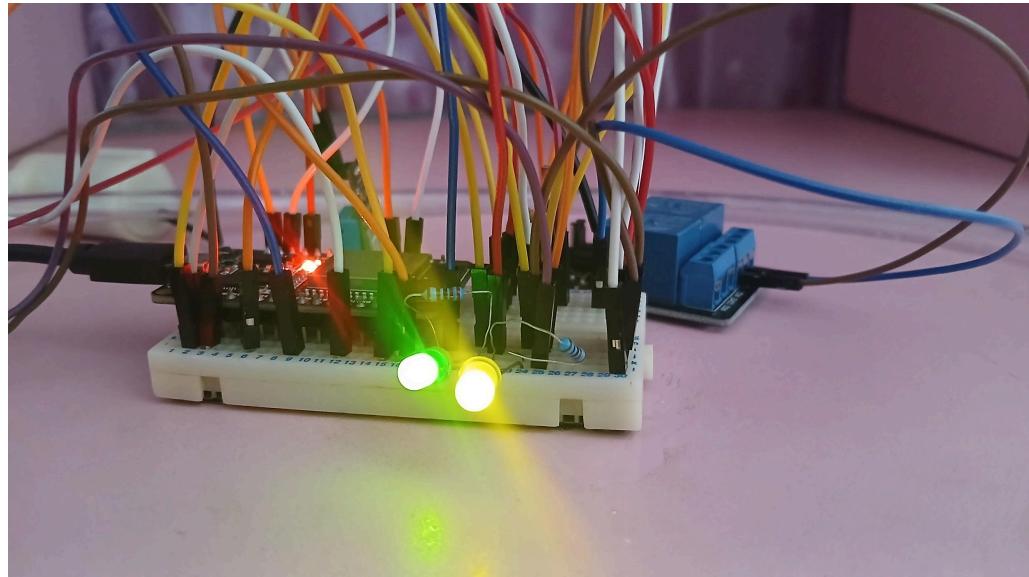


Figure III.24 : test du capteur LDR

Câblage et test de la carte esp32 et les divers capteurs

Nous avons connecté simultanément les différents capteurs environnementaux, le capteur de température et d'humidité (DHT22), le capteur de luminosité (BH1750) ainsi que le capteur de niveau d'eau, comme illustré dans la Figure III.33.

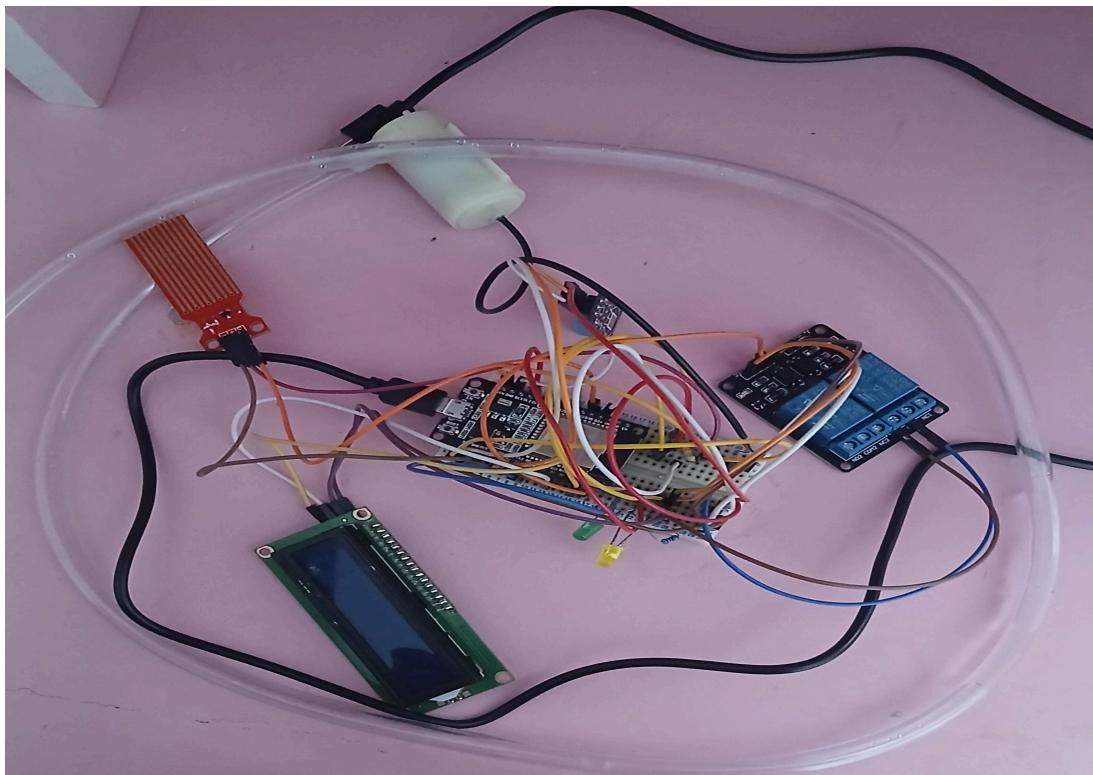


Figure III.25 : Câblage simultané des capteurs environnementaux sur la carte ESP32 sans connexion réseau

Diagramme de séquence

Un diagramme de séquence est une représentation graphique des interactions entre les acteurs et un système. Il représente le scénario d'un cas d'utilisation dans un ordre chronologique bien déterminé.

La Figure III.43 décrit la séquence des actions liées aux fonctionnalités disponibles pour l'utilisateur dans notre système.

1. **Lancement de l'interface web** : L'utilisateur envoie une requête HTTP GET à l'ESP32 pour récupérer les données des capteurs.
2. **Lecture des données des capteurs** : L'ESP 32 interroge les capteurs (température, humidité, luminosité, niveau d'eau) et renvoie les données sous forme de JSON.
3. **Mise à jour de l'interface web** : Les données sont affichées en temps réel sur le tableau de bord via l'interface web.
4. **Contrôle des actionneurs** : L'utilisateur envoie une requête HTTP POST pour activer ou désactiver la pompe/les LEDs, et l'ESP 32 envoie la commande aux relais correspondants.
5. **Actualisation continue** : L'interface web actualise régulièrement les données via des requêtes HTTP GET.

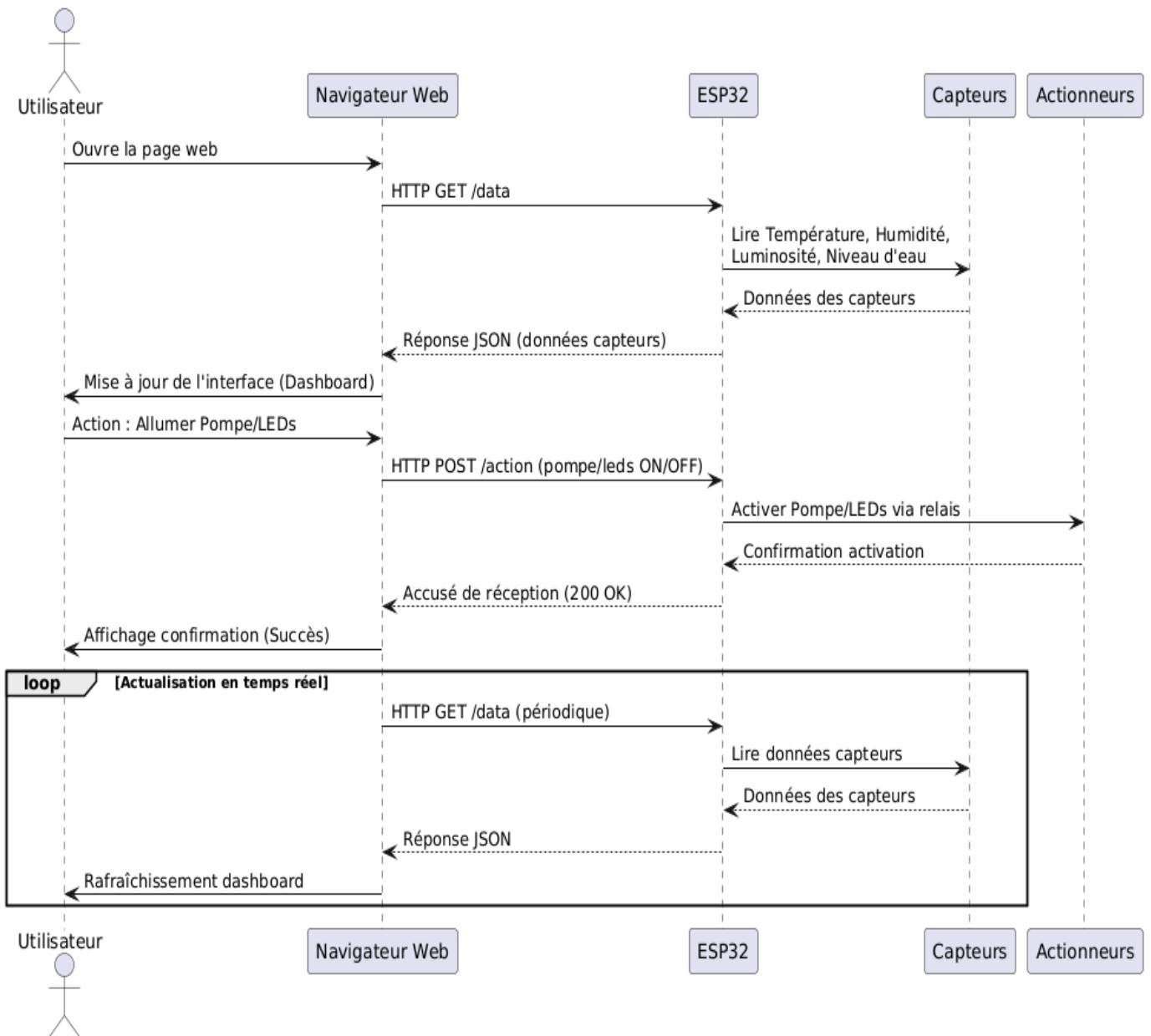


Figure III.26 : Diagramme de Séquence : Supervision et Contrôle du Système d'Hydroponie Connecté

□ Tests et Validation des Valeurs du Système

Dans cette partie nous présentons les résultats des tests effectués sur le système d'hydroponie connecté, en mettant l'accent sur trois éléments principaux : **l'affichage des résultats sur l'interface web, les résultats sur l'écran LCD et le contrôle des LEDs.**

1. Affichage des Résultats sur l'Interface Web

- Les données en temps réel (température, humidité, luminosité et niveau d'eau) sont affichées sur l'interface web, permettant une surveillance continue du système.
- Les tests ont confirmé que les valeurs recueillies par les capteurs sont correctement transférées et affichées sur l'interface, avec un délai minimal.

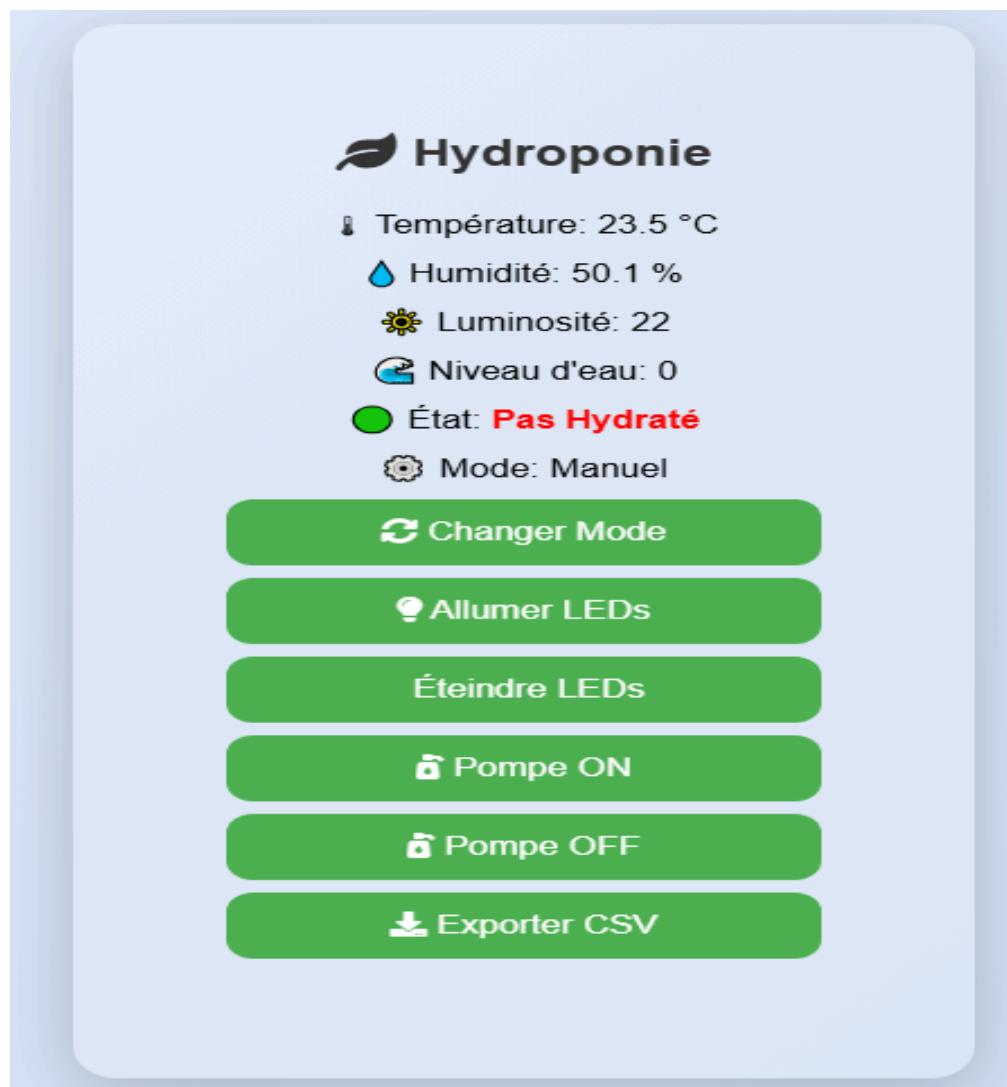
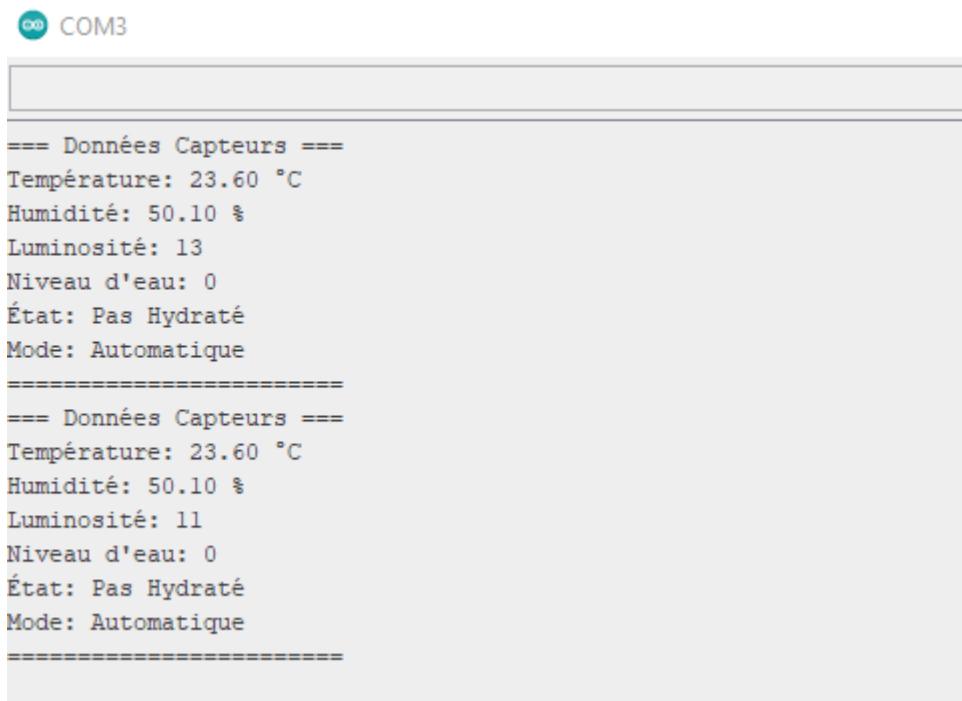


Figure III.27 : Capture d'écran de l'interface web affichant les données des capteurs et les commandes

2. Affichage des Données sur le Moniteur Série

- En parallèle avec l'interface web, le moniteur série a été utilisé pour vérifier l'exactitude des données envoyées par les capteurs.
- Les résultats ont montré que les valeurs affichées sur le moniteur série correspondaient exactement aux valeurs observées sur l'interface web, ce qui assure une communication fiable.



```
COM3

=====
== Données Capteurs ==
Température: 23.60 °C
Humidité: 50.10 %
Luminosité: 13
Niveau d'eau: 0
État: Pas Hydraté
Mode: Automatique
=====
== Données Capteurs ==
Température: 23.60 °C
Humidité: 50.10 %
Luminosité: 11
Niveau d'eau: 0
État: Pas Hydraté
Mode: Automatique
=====
```

Figure III.28 : Capture du moniteur série affichant les valeurs de température, humidité, luminosité et niveau d'eau en temps réel

3. Contrôle des LEDs

- Le système de contrôle des LEDs a été testé pour s'assurer qu'elles s'allument et s'éteignent correctement en fonction des seuils définis (par exemple, faible luminosité ou température élevée).

4. État du Système et Modes "Auto" / "Manuel" sur l'Écran LCD :

- **Mode Automatique (Auto)** : En mode automatique, le système ajuste les actionneurs (pompe, éclairage) en fonction des données des capteurs (par exemple, allumer la pompe si le niveau d'eau est bas ou allumer les LEDs si la luminosité est faible).
- **Mode Manuel (Manuel)** : En mode manuel, l'utilisateur peut contrôler manuellement l'activation ou la désactivation des LEDs et de la pompe via l'écran LCD.
- Les tests ont validé que les modes "Auto" et "Manuel" sont bien fonctionnels, et l'état du système est correctement affiché sur l'écran LCD. L'utilisateur peut facilement basculer entre ces modes, ce qui permet une gestion flexible du système.



Figure III.29 : Photo de l'écran LCD affichant l'état du système et le mode actif (Auto ou Manuel)

Bien que le système d'hydroponie connecté que nous avons conçu remplisse efficacement ses fonctions de mesure, de contrôle et d'affichage, certaines limites doivent être prises en considération afin d'assurer sa fiabilité, sa durabilité et son évolution à long terme.

Analyse des limites du système

Bien que le système d'hydroponie connecté que nous avons conçu remplisse efficacement ses fonctions de mesure, de contrôle et d'affichage, certaines limites doivent être prises en considération afin d'assurer sa fiabilité, sa durabilité et son évolution à long terme.

A. Perte de connexion Wi-Fi

Le système repose sur une connexion Wi-Fi pour héberger l'interface web locale et permettre la visualisation des données en temps réel. Si la connexion Wi-Fi est interrompue :

- l'interface web devient inaccessible,
- les données ne peuvent plus être consultées à distance,
- Le contrôle automatique local (pompe, LEDs) continue de fonctionner si prévu dans le code.

B. Durée de vie des capteurs

Les capteurs utilisés dans le système ont une durée de vie limitée, surtout dans un environnement humide comme celui de l'hydroponie. Le tableau suivant résume les principales durées de vie estimées et les recommandations associées .

C. Alimentation électrique

Le système fonctionne à partir d'une alimentation électrique continue (via USB ou adaptateur secteur). Une coupure d'alimentation entraîne :

- l'arrêt du microcontrôleur ESP32,
- l'arrêt de la pompe, des LEDs et de l'affichage,
- la perte temporaire de fonctionnement du système.

III.5 Conclusion

La conception du système hydroponique connecté permet d'assurer un suivi précis des paramètres vitaux des plantes, optimisant ainsi la gestion des cultures.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'année nous a permis de mettre en pratique nos compétences en **électronique embarquée**, en **programmation IoT** et en **conception de systèmes intelligents**, à travers la réalisation d'un **système hydroponique connecté** basé sur la carte **ESP32**. Grâce à l'intégration de **capteurs**, d'un **écran LCD**, d'une **interface web accessible en Wi-Fi**, et de fonctionnalités de **pilotage automatique et manuel**, nous avons pu démontrer l'efficacité d'une solution **low-cost**, évolutive et adaptée aux **besoins réels de l'agriculture moderne**.

La mise en œuvre de ce système offre plusieurs avantages : une **meilleure gestion des ressources**, une **automatisation des tâches répétitives**, une **interface conviviale** pour l'utilisateur, et une **surveillance en temps réel** des conditions de culture. Ces éléments constituent une base solide pour le développement futur de projets encore plus complexes et innovants dans le domaine de **l'agriculture intelligente**.

En conclusion, ce travail ouvre des perspectives intéressantes, tant sur le plan **technique** que **social**, en montrant que **l'alliance entre l'agriculture et la technologie** peut contribuer à bâtir un modèle de production plus **durable**, plus **efficace** et plus **accessible**, en particulier dans les régions confrontées à des **contraintes environnementales ou logistiques**.

Perspectives:

Afin d'améliorer la fiabilité du système d'hydroponie connecté, plusieurs pistes peuvent être envisagées.

Ajouter une mémoire locale (carte SD) pour stocker les données en cas de coupure Wi-Fi.

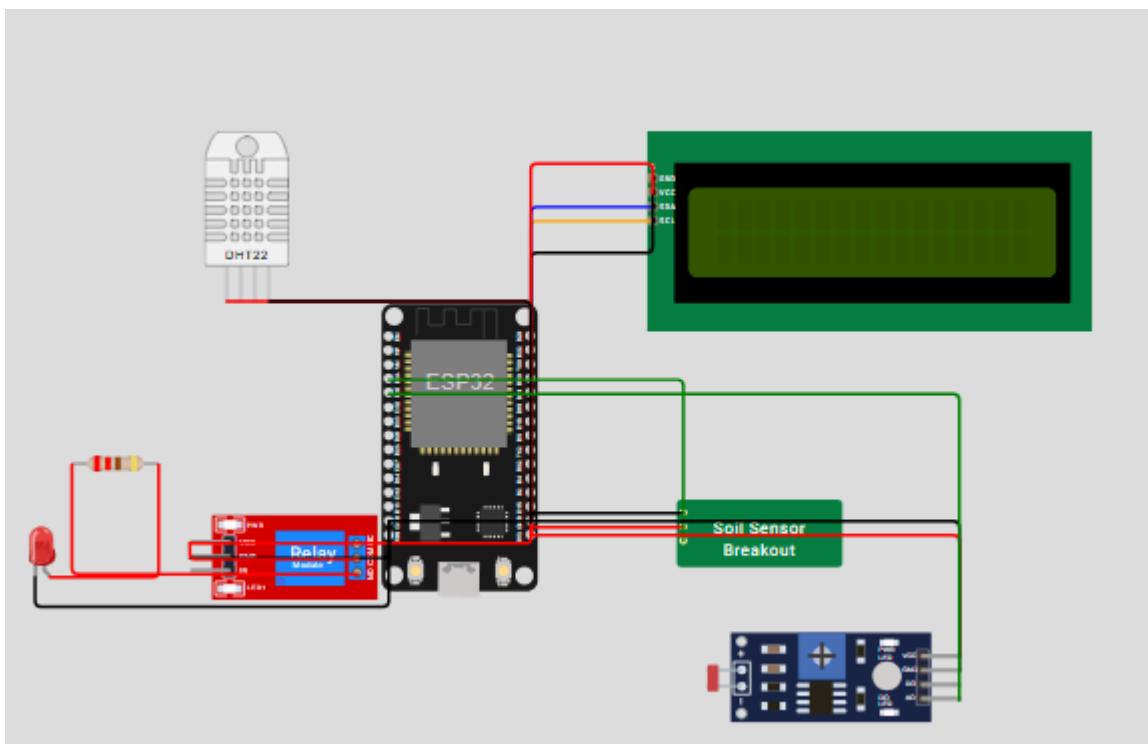
Nettoyer périodiquement le capteur de niveau d'eau pour éviter l'encrassement.

Utiliser à long terme des capteurs industriels, plus robustes et fiables.

Bibliographie

- [1] : Habben, J. (1974). Note générale sur la culture hydroponique
- [2] : Prénom, N. O. M. LA CULTURE HYDROPONIQUE DE L'ORGE.
- [3] : Piquard, V., & Teletchea, F. (2020). *Développer l'aquaponie sur l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon: analyse de la faisabilité technico-scientifique.*
- [4] : Nguyen VQ, Van HT, Le SH, Nguyen TH, Nguyen HT, Lan NT, et al. Production of hydroponic solution from human urine using adsorption–desorption method with coconut shell-derived activated carbon. Environmental Technology and Innovation. 2021;23:101708.
- [5] : ONU (2022). La population mondiale atteindra 8 milliards d'habitants en novembre (ONU)

Annexes



Abstract

Notre projet vise à concevoir un système **hydroponique connecté**, combinant des **technologies embarquées** et l'**Internet des objets (IoT)** pour optimiser la gestion des cultures. Grâce à des **capteurs environnementaux**, l'utilisateur peut surveiller et contrôler en temps réel la température, l'humidité, la luminosité et le niveau d'eau via une **interface web interactive**. Le système offre à la fois un mode **automatique** et **manuel** pour une gestion flexible et efficace de la culture, en permettant une **automatisation complète** tout en offrant un contrôle total au cultivateur.

Our project aims to design a **connected hydroponic system**, combining **embedded technologies** and **Internet of Things (IoT)** to optimize crop management. Using **environmental sensors**, the user can monitor and control temperature, humidity, light, and water levels in real-time via an interactive **web interface**. The system offers both **automatic** and **manual** modes for flexible and efficient management of the crops, enabling **full automation** while still providing total control to the grower.