

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Electronique

Spécialité : instrumentation

Par : Djelti Imad-Eddine
Rahmouni Abdelkhalek

Sujet

Intégration d'une machine Hydroponique

Soutenu publiquement, en Juin 2023, devant le jury composé de :

Mme.F.D Ghafir	MAA	Université de Tlemcen	Président
Mr.S.M. Bouanati	MAA	Université de Tlemcen	Examinateur
Mr.Benadda Belkacem	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire :2022 /2023

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et
miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience
d'accomplir ce Modeste travail.*

*La première personne que nous tenons à remercier est notre
encadrant **BENADDA BELKACEM** pour l'orientation, la confiance, la
patience et ses bonnes explications qui ont constitué un apport considérable
sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury
pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant
d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les
professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences
nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes
qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce
travail.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères

sentiments,

Pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide, en

témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grand

sacrifices

À mon chère binôme « Imad »

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit

possible, je vous dis merci.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*A mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères
sentiments,*

*Pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide, en
témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grand
sacrifices*

À mon chère binôme « Abdelkhaleke »

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit
possible, je vous dis merci.*

Résumé :

De nos jours avec le manque d'espace la culture via des systèmes hydroponique séduit de plus en plus les jardiniers amateurs et professionnels. L'idée derrière ce projet vise à réaliser une machine d'instrumentation électronique incorporant les capteurs et actionneurs nécessaires pour faire réussir une culture d'intérieur, permettant d'apporter le confort aux agriculteurs pour agir correctement et confortablement.

Mots clés : agriculture, hydroponie, machine hydroponique, la qualité de l'eau conductivité, Arduino, environnement

ABSTRACT :

Nowadays with lack of space hydroponic crops are motivated challenges. Indeed, hydroponic tools attract more and more amateur and professional farmers. The idea behind. this project aims to create an electronic machine incorporating the necessary instrumentation sensors and actuators to make a successful indoor hydroponic culture.

Keywords: agriculture, hydroponics, hydroponic machine, water quality conductivity, Arduino, environment.

ملخص:

في الوقت الحاضر مع نقص المساحة، تتم الزراعة عبر أنظمة الزراعة المائية. هذه الاخيرة تجذب كل من الهواة و المزارعين المحترفين. فكرة هذا المشروع تهدف إلى إنشاء آلة إلكترونية مع دمج الأجهزة اللازمة لإنشاء نظام للزراعة المائية داخلي ناجح.

الكلمات المفتاحية : الزراعة ، الزراعة المائية ، آلة الزراعة المائية ، جودة المياه ، الأردوينو ، البيئة

Sommaire

Introduction générale.....	2
Chapitre I.....	4
I. Introduction.....	5
I.2. Présentation de l'Hydroponie	5
I.3. Principe de l'hydroponie	6
I.3.1 Culture de solution statique	7
I.3.2 Culture en solution à flux continu	7
I.3.3 Aéroponie	8
I.3.4 Système d'irrigation goutte à goutte	8
I.3.5 Rotatif	8
I.4. Avantage et inconvénient de l'agriculture hydroponique	8
I.5. Machine hydroponique	9
I.6. Structure	10
I.7. Type de plant cultiver dans une machine hydroponique	11
I.8. Conclusion	11
Chapitre II.....	12
II.1. Introduction.....	13
II.2. Présentation de l'Arduino	13
II.2.1 Bref historique de l'Arduino	13
II.2.2 Définition.....	14
II.2.3 Constitution d'une carte Arduino MEGA	14
II.2.4 Caractéristiques de la carte Arduino MEGA.....	15
II.3. Etude du capteur de température et d'humidité DHT11.....	15
II.3.1 Capteur DHT11	15
II.3.2 Les caractéristiques du capteur DHT11.....	16
II.3.3 Montage du capteur avec la carte arduino.....	16
II.3.4 Le protocole de communication.....	17
II.4. Intégration des actionneurs.....	17
II.4.1 Les relais.....	17
II.4.2 Les type de relais.....	18

II.5.	Etude de la pompe à eau	18
II.4.1	Brushless pompes	18
II.4.2	Les caractéristiques de la pompe.....	19
II.4.3	Brochage de la pompe avec la carte Arduino	20
II.6.	Afficheur LCD	20
II.7.	Interface I2C	21
II.8.	Conclusion	22
	Chapitre III	23
III	Introduction	24
III.2	La qualité d'eau dans l'hydroponie	24
III.2.1	Sources d'eau.....	24
III.2.2	Normes et recommandations	24
III.2.3	Paramètres de qualité de l'eau	25
1.	pH	25
2.	Conductivité	25
3.	Température	25
4.	Teneur en oxygène	25
5.	Teneur en nutriments	25
III.2.1	Durabilité et recyclage	25
III.2.2	Surveillance régulière	25
III.3	Schéma synoptique du système électrique.....	26
III.4	Carte Arduino uno	26
III.4.1	Constitution d'une carte Arduino uno.....	26
III.4.2	Caractéristiques d'une carte Arduino uno.....	27
III.4.3	Brochage de la carte	27
III.5	L'échange des données entre sous-systèmes	28
III.5.1	Liaison série (Serial)	28
III.5.2	Protocole RS 232.....	29
III.6	Présentation de la carte EVAL-CN0411-ARDZ.....	29
III.6.1	EVAL-CN0411-ARDZ	30
III.6.2	Architecture du système de mesure de la qualité de l'eau	30
1.	AD5683R	32
2.	ADG884	32

3.	ADG1608	32
4.	AD8220.....	33
5.	AD8628.....	33
6.	AD7124-8	34
III.5.1	Fonctionnement de la carte CN0411.....	34
III.5.2	Configurations pour mesurer la qualité de l'eau	35
III.6.5	Configurations des cavaliers	37
1.	Sélection de l'entrée du capteur.....	37
2.	Sélection d'entrée de signal	38
3.	Sélection la pine du ADC.....	38
4.	Sélection de puce DAC.....	38
III.6.6	Mesure de conductivité.....	39
III.6.7	Mesure de température	40
III.5.1	Mesure des solides totalement dissous.....	40
III.6	Sonde de conductivité DJS-1.....	40
III.7	Les RTD.....	41
III.8	Conclusion	42
	Conclusion générale.....	44

Liste des figures

Figure I.1 : principe des plantes cultivées en hydroponie.....	6
Figure I.2 : principe de la culture hydroponique.....	7
Figure I.3 : schéma d'une machine hydroponique.....	9
Figure I.4 : Architecture d'une machine hydroponique.....	10
Figure II.1 : Photo démonstrative de la carte ARDUINO MEGA.....	14
Figure II.2 : forme du capteur DHT11.....	16
Figure II.3 : Montage DHT11 avec ARDUINO.....	16
Figure II.4 : Schéma d'un relais.....	17
Figure II.5 : pompes à eau à moteur brushless.....	19
Figure II.6 : Brochage de la pompe avec la carte Arduino.....	20
Figure II.7 : Afficheur LCD 16x2.....	21
Figure II.9 : L'interface I2C.....	21
Figure II.10 : Montage de module I2C avec l'afficheur LCD et l'Arduino.....	22
Figure III.1 : Schéma synoptique du système électrique.....	26
Figure III.2 : Constitution de la carte Arduino UNO.....	26
Figure III.3 : Brochage de la carte Arduino Uno.....	27
Figure III.4 : connexion en liaison série RS232 entre les cartes Arduino.....	28
Figure III.5 : exemple de transmission par le protocole RS232.....	29
Figure III.6 : la carte EVAL-CN0411-ARDZ.....	30
Figure III.7 : Schématique de la carte CN0411.....	31
Figure III.8 : Convertisseur numérique Analogique AD5683R.....	32
Figure III.9 : le commutateur ADG884.....	32
Figure III.10 : commutateur ADG1608 dans la CN0411	33

Figure III. 11 : Amplificateur d'instrumentation AD8220.....	33
Figure III. 12 : Amplificateur opérationnel AD8628.....	34
Figure III.13 : Architecture convertisseur analogique numérique AD7124-8.....	34
Figure III.14 : interfaçage de la carte CN0411 avec Arduino UNO.....	35
Figure III. 15 : connecteurs matériels et cavalier.....	35
Figure III. 16 : connecteur P2 de sonde a 2 fils sans prise BNC	36
Figure III.17 : connecteur P3 de RTD a 2 fils.....	36
Figure III. 18 : Jumpers de configuration de la carte CN0411.....	37
Figure III.19 : Dessin explicatif du positionnement de la sonde.....	39
Figure III.20 : Sonde TDS utilisée et la valeur mesurée.....	41
Figure III.21 : Sonde RTD utilisée et la valeur mesurée.....	42
Figure III.22 : machine hydroponique réaliser.	43

Liste des tableaux

Tableau II.1 : les caractéristiques de la carte Arduino MEGA.....	15
Tableau II.2 : les caractéristiques du capteur DHT11.....	16
Tableau II.3 : caractéristiques d'une pompe à eau à moteur brushless.....	19
Tableau II.4 : Brochage des afficheurs LCD.....	21
Tableau III.1 : Caractéristiques de la carte Arduino UNO.....	27
Tableau III.2 : les sondes de conductivité à 2 fils avec une prise BNC.....	36
Tableau III.3 : configuration des sondes de conductivité.....	37
Tableau III.4 : configuration du jumper P6.....	38
Tableau III.5 : configuration de jumper CS_ADC.....	38
Tableau III.6 : configuration de jumper CS_DAC.....	38
Tableau III.7 : la plage de mesures de conductivité appropriée à la sonde.....	39
Tableau III.8 : Coefficient de température pour les Solutions salines.....	40
Tableau III.9 : Gamme de facteur TDS (ke) pour les Solutions salines.....	40
Tableau III.10 : Caractéristiques de la sonde DJS-1.....	41

Introduction générale

Introduction générale

Produire des aliments frais pour nourrir une population mondiale croissante est une question largement débattue et de nombreuses expérimentations ont été menées pour proposer de nouvelles technologies de production agro-alimentaire. Sous l'influence de l'urbanisation, de nouvelles méthodes de production doivent être basées sur une utilisation plus efficace et productive de l'espace pour répondre aux besoins de la population et aux défis de la durabilité énergétique. En effet, la production alimentaire au champ ou sous serre est soumise à des conditions climatiques de plus en plus aléatoires, rendant les approvisionnements erratiques et donc rarement fiable. Cette instabilité ajoute de la complexité à la planification de la production de denrées périssables et augmente la difficulté de la distribution alimentaire. Dans cette optique, le développement des environnements contrôlés semble offrir une alternative adéquate pour assurer un approvisionnement régulier en produits frais locaux.

Les fermes verticales (VF) sont une forme de production optimisée qui peut être intégrée dans les réseaux urbains. VF spécifie un concept plutôt que la technologie elle-même. En ce sens, le concept couvre un large éventail de systèmes de croissance, de tailles, d'utilisateurs, de technologies, de lieux et d'objectifs différents. En raison de l'isolation thermique et de la structure étanche à l'air, le VF est similaire aux installations de production végétale dans des environnements hydroponiques et des environnements contrôlés. Les VF ne conviennent pas aux cultures vivrières caloriques de base (blé, riz, pomme de terre) en raison de leurs temps de croissance longs et de leur faible valeur économique par kg de matière sèche. D'autre part, ils sont particulièrement adaptés à la culture de plantes basses et de légumes à feuilles. Actuellement, ceux-ci sont principalement cultivés dans des serres. Cependant, la culture sous serre présente des inconvénients en termes d'énergie. Variations de l'intensité de l'ensoleillement pendant la journée et production dans des conditions saisonnières. Ces fluctuations de la lumière du soleil affectent la température et l'humidité relative à l'intérieur de la serre et modifient les conditions environnementales pour la culture. La production sous serre peut également nécessiter l'utilisation de produits phytosanitaires et de combustibles fossiles pour le chauffage ou le refroidissement, deux utilisations actuellement controversées pour la pollution de l'environnement.

Contrairement à une serre, une VF est bénéfique à plusieurs niveaux. Les exigences d'ensoleillement ou de sol ne sont plus des limitations, permettant ainsi à la structure d'être installée dans tous les environnements. Cette absence de conditions météorologiques et de sol augmente la productivité dans le champ et la maintient constante tout au long de la saison. Le contrôle des conditions de croissance permet de contrôler la qualité et la conformité des produits. La culture dans ces systèmes peut se faire sans pesticides et leurs produits ont une durée de conservation plus longue en raison de la faible charge bactérienne. Pendant son fonctionnement, il distribue une solution nutritive contenant les nutriments dont les plantes ont besoin pour pousser. Certains systèmes réduisent la consommation d'eau en recyclant l'eau évaporée.

Pour but de faciliter le contrôle de la VF on intègre un système d'instrumentation électronique qui contrôle les conditions nécessaires à une bonne croissance des plantes. Les équipements requis pour établir une VF sont l'éclairage, la climatisation, la ventilation, l'approvisionnement en CO₂ et en solutions nutritives et le contrôle environnemental et une carte électronique pour commander les Équipements mentionnés précédemment. Les dispositifs électroluminescents sont souvent fabriqués à partir de lampes à diodes électroluminescentes (DEL) en raison de leur petite taille, de leur faible température de surface et de leur rendement lumineux élevé.

Dans ce travail nous avons entamé l'intégration d'un dispositif de culture hydroponique simple. Nous visons l'acquisition des paramètres liés à la culture telle que l'humidité et la température, contrôler la circulation de l'eau et assurer sa qualité pour les plantes cultivées. Notre mémoire est organisé en trois chapitres, le premier chapitre consiste d'une présentation des machines hydroponiques. Le deuxième chapitre vise à présenter et étudier l'instrumentation de base utilisée pour réaliser la machine hydroponique. A savoir la mesure de la température et humidité ambiante la circulation de l'eau et l'interface homme machine. Dans les cultures hydroponique la qualité de l'eau joue un rôle très important pour cela nous avons consacré le troisième chapitre à l'étude et l'observation de la qualité d'eaux cette tâche a été réalisée par la carte d'instrumentation spécifique dite CN0411.

Et pour clore enfin, une conclusion générale où nous évaluons notre travail et présentons des perspectives pour les prochaines études.

Chapitre I :

Présentation des machines
hydroponiques

I. Introduction :

Au 16ème siècle, le Belge Jan van Helmont a enregistré la première étude scientifique connue de la culture hydroponique. Il a souligné que l'eau fournit des éléments nutritifs aux plantes. En 1699, John Woodward a conclu la première solution nutritive hydroponique au monde basé sur des travaux antérieurs de Jan van Helmont, affirmant que la croissance des plantes bénéficiait de la présence d'eau. Les nutriments sont plus facilement disponibles que le sol [1].

À la fin des années 1920, le Dr William F. Gericke de l'Université de Californie a étendu les expériences de laboratoire pour étudier plus avant la nutrition des cultures commerciales pratiques cultivées à l'extérieur. Il a inventé le mot « culture hydroponique » ; le mot est dérivé du grec « hydro » signifiant eau et « ponos » signifiant travail, ou « travail de l'eau ». Son travail est à la base de la culture hydroponique moderne [1].

L'armée américaine a fait plus de progrès récemment, principalement des innovations conçues par nécessité. Un exemple est Wake Island, un atoll de l'océan Pacifique qui fait de fréquents arrêts pour faire le plein. Le terrain rocheux entrave l'agriculture traditionnelle car les cultures ne peuvent pas être produites. L'US Air Force a fabriqué de petits lits de culture hydroponiques de 11.2 M² qui ont fini par produire 41 Kg de produits frais par semaine [1].

Dans ce chapitre nous nous intéressons à cette technologie dédiée à la culture qui ouvre des perspectives très pointus des équipements en électronique et instrumentation.

I.2. Présentation de l'Hydroponie

L'hydroponique est une technique de culture sans sol. Les plantes ne sont pas en contact avec le sol, le terreau ou les substrats actifs organiques. Cette plante pousse dans un milieu biologique inerte comme la laine de verre, la fibre de coco ou encore la perlite. Pendant le système de solutions nutritives aqueuses fournies les nutriments nécessaires pour les plantes. Il existe plusieurs techniques qui procurent des gains similaires pour des couples avantage/contrainte assez différents. [2]



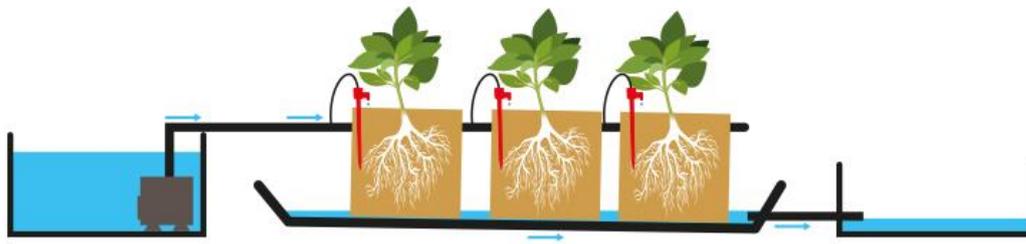
Figure I.1 : principe des plantes cultivées en hydroponie.

C'est une technique moderne de culture des plantes qui peut être utilisée sur les fermes de toutes tailles. La culture hydroponique a été utilisée dans l'horticulture et la culture en serre de certains légumes. Grâce à un rythme nocturne plus rapide, il accélère le processus de maturation des fruits et permet plusieurs récoltes par an. Elle est également utilisée en agriculture urbaine pour produire et replanter localement les milieux urbains. Plusieurs techniques de culture ont été développées, comme l'aéroponie ou l'aquaponie. Elle apparaît également comme la réponse aux problèmes d'eau, de pollution ou de manque de terres arables, mais pourrait également être utilisée par les chercheurs pour mener des recherches sur les plantes, qu'elles soient médicinales ou microbiologiques.

I.3. Principe de l'hydroponie

En culture hydroponique, tout se déroule dans une serre. Les plantes sont montées dans une serre, au sol ou sur des tables planes, toutes deux recouvertes d'un substrat neutre, et un système d'irrigation fournit de l'eau et de la nourriture à chaque plante. L'eau est toujours en circuit fermé automatique et des nutriments y sont ajoutés lorsque les plantes ont besoin, selon le stade de croissance des plantes.

Système hydroponique ouvert



Système hydroponique fermé

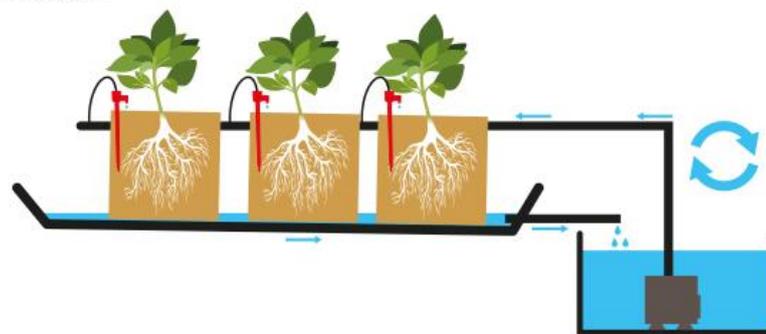


Figure I.2 : principe de la culture hydroponique

Et cette dernière a plusieurs techniques de fonctionnements comme :

I.3.1 Culture de solution statique

En culture hydroponique statique, les plantes sont cultivées dans des récipients remplis d'une solution nutritive, telles que des bocaux en verre (couramment utilisés dans les applications domestiques), des pots, des seaux. La solution est généralement légèrement aérée, mais elle peut être laissée non aérée, mais le niveau de la solution est maintenu suffisamment bas pour qu'il y ait suffisamment de racines au-dessus de la solution pour recevoir suffisamment d'oxygène. [3]

I.3.2 Culture en solution à flux continu

Dans la culture hydroponique à flux continu, une solution nutritive circule en continu à travers les racines. Il est plus facile à automatiser que la culture hydroponique statique car la température, le pH et les concentrations de nutriments peuvent être échantillonnés et ajustés dans de grands réservoirs pouvant desservir des milliers de plantes. [3]

I.3.3 Aéroponie

L'aéroponie représente l'un des derniers développements de la technologie de culture hors-sol, et c'est aussi l'un des plus complexes. En effet, les racines des plantes ne sont en contact ni avec du milieu solide ni avec du milieu liquide : elles sont alimentées par un brouillard nutritif obtenu en atomisant (par un nébuliseur) une solution nutritive en milieu clos. [3]

I.3.4 Système d'irrigation goutte à goutte

Ce système de culture est un système matriciel qui nécessite des goutteurs ou capillaires, ainsi que des tubes distributeurs et des pompes. En culture hors sol sur substrat, utiliser au moins un goutteur par plante. Cependant, pour augmenter la fiabilité, Nous utilisons deux par plante. La solution nutritive est distribuée aux plantes par irrigation intermittente sur la surface supérieure de l'enceinte ou du pot, puis s'écoule par gravité vers la face inférieure du substrat. [3]

I.3.5 Rotatif

Un jardin hydroponique rotatif est un style de culture hydroponique commerciale créé dans un cadre circulaire qui tourne continuellement pendant tout le cycle de croissance de la plante cultivée. [3]

I.4. Avantage et inconvénient de l'agriculture hydroponique

La culture hydroponique présente plusieurs avantages : elle peut être utilisée par tout le monde, des jardiniers débutants aux jardiniers chevronnés. Cette méthode est largement utilisée pour la culture de la laitue et des tomates et est parfaite pour la culture à l'intérieur ou sur les balcons. En prime, la culture hydroponique est également idéale pour cultiver soi-même des herbes, des fruits, des légumes et même des plantes ornementales. En serre, cette méthode horticole promet une productivité impressionnante et une augmentation significative de la surface. De plus, cette culture est plus facile à entretenir et plus propre que la culture traditionnelle. A cause, de l'absence du sol les germes et les insectes ayant tendance à s'abriter dans la terre sont éliminés et, par conséquent, l'utilisation des germicides et fongicides est théoriquement inutile.

La culture hydroponique nécessite un contrôle très précis de divers paramètres (luminosité, température, hygrométrie, pH et concentration en sels, métaux, etc.). Cela implique une forte consommation d'énergie (chauffage, éclairage artificiel...). Les conditions chaudes et humides favorisent la croissance des champignons et des bactéries ; par conséquent, de grandes quantités de fongicides sont parfois nécessaires. Les qualités gustatives semblent être similaires à celles des légumes cultivés en plein air.

I.5. Machine hydroponique

L'électricité a récemment été utilisée dans la culture hydroponique. La machine hydroponique est un appareil conçu pour cultiver des plantes dans un environnement sans sol utilisant une solution riche en nutriment. La machine hydroponique est créée pour automatiser le processus de culture hydroponique des plantes, grâce à cette machine il est facile de cultiver leurs propres produits frais à la maison ou dans un cadre commercial.



Figure I.3 : schéma d'une machine hydroponique

Il existe différents types de machines hydroponiques, allant de systèmes simples qui comprennent une solution nutritive à des configurations plus élaborées qui intègrent des fonctions comme le dosage automatisé des nutriments, l'observation et la régulation du pH, et même l'éclairage.

I.6. Structure :

La structure d'une machine hydroponique peut varier d'une machine à l'autre en fonction de la taille et du type de culture, mais voici les éléments utilisés pour réaliser notre machine hydroponique :

1. Réservoir : Le réservoir est le composant qui contient l'eau riche en nutriment pour les plantes.
2. Pompe à eau : La pompe vise à maintenir la continuité du débit d'eau.
3. Pompe à air : fournit de l'air aux racines des plantes.
4. Source de lumière : fournit la lumière suffisante pour les plantes.
5. Tuyaux : Des tuyaux sont utilisés pour fournir la solution nutritive à chaque plante dans la machine.
6. Plateau de culture : dans notre machine les plateaux sont des tuyaux troués en haut.
7. Système de support : Les plantes sont maintenues en place à l'aide des pots ou des paniers.

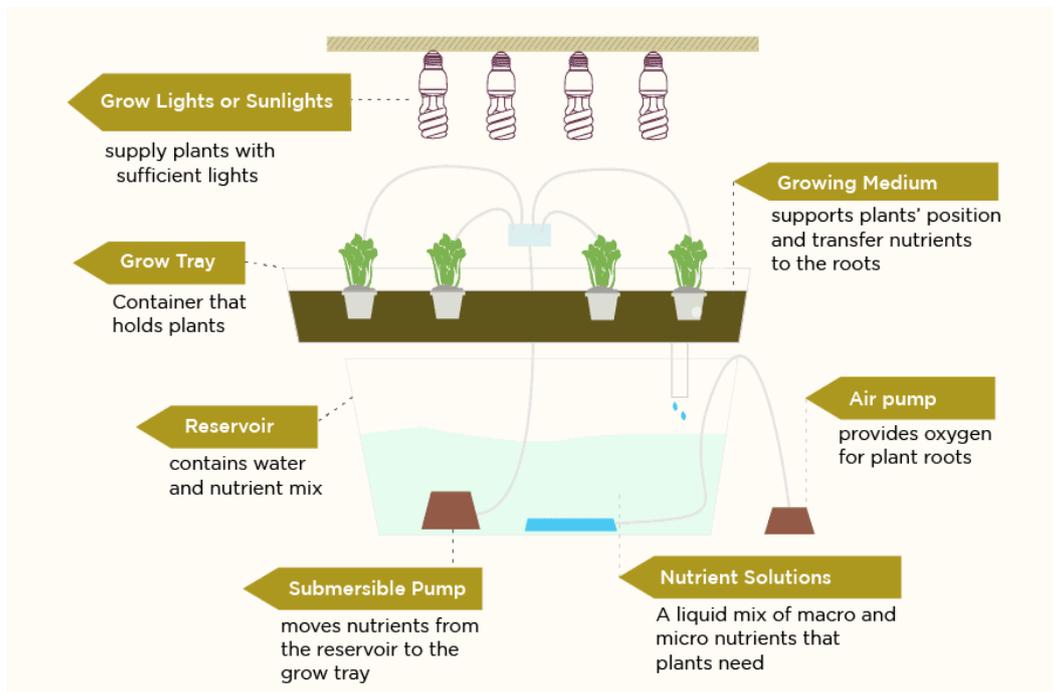


Figure I.4 : Architecture d'une machine hydroponique. [10]

I.7. Type de plant cultiver dans une machine hydroponique [4]

Il y a de nombreuses plantes qui peuvent être cultivées avec succès dans une machine hydroponique. Telle que Laitue et autres légumes-feuilles, Herbes aromatiques, Tomates, Concombres et autres légumes grimpants, Fraises.

Il est important de choisir des variétés de plantes qui conviennent au type de système de culture hydroponique que vous utilisez, ainsi qu'à l'environnement générer. Il est également important de suivre les instructions de culture spécifiques pour chaque plante afin de maximiser les rendements et la qualité de la récolte.

Par contre, il y a certaines plantes qui ne sont pas adaptées à cette méthode de culture. Comme Les plantes à racines pivotantes, Les plantes trop grandes, Les plantes grimpantes qui nécessitent un support.

I.8. Conclusion :

En conclusion, les machines hydroponiques offrent une solution prometteuse à la demande croissante de pratiques agricoles durables et efficaces. Avec la possibilité de faire pousser des plantes sans sol et avec un contrôle précis des nutriments et des facteurs environnementaux, la culture hydroponique peut augmenter les rendements des cultures tout en réduisant la consommation d'eau et en éliminant le besoin de pesticides. Bien que les coûts d'investissement initiaux puissent être élevés, les avantages à long terme des machines hydroponiques en font un investissement intéressant pour les agriculteurs, les propriétaires et même les communautés urbaines qui cherchent à cultiver des produits frais toute l'année. Alors que la population mondiale continue de croître, la culture hydroponique peut devenir un outil de plus en plus important pour répondre à nos besoins alimentaires tout en protégeant l'environnement. Dans le prochain chapitre nous allons entamer la conception préliminaire d'une machine hydroponique.

Chapitre II :

Instrumentation de la
machine hydroponique

II.1. Introduction

Les systèmes embarqués ont pris une grande importance ces dernières années ils trouvent des applications dans des domaines très diversifiés allant de l'aérospatiale, l'aéronautique l'industrie automobile voir même l'agriculture artisanale. Ces systèmes très utilisés en instrumentation électronique permettent de simplifier l'acquisition des données et faciliter la prise de décision de l'opérateur humain. Aujourd'hui, l'un des éléments clé de ces systèmes est l'Arduino qui a fait bénéficier à une large communauté d'une plateforme open source dédié aux systèmes embarqués et l'instrumentation électronique. Il représente par conséquent un pont étroit entre le monde réel et le monde embarqué qui permet une manipulation aisée de divers systèmes physiques.

Dans ce chapitre, nous aborderons la conception de la première partie de notre projet autour d'une carte ARDUINO MEGA et capteurs, actionneurs nécessaires pour faire fonctionner notre machine hydroponique.

II.2. Présentation de l'Arduino

II.2.1 Bref historique de l'Arduino

Arduino est une plate-forme électronique open source créée en 2005 par un groupe d'étudiants de l'Interaction Design Institute Ivrea en Italie, dont Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe et Gianluca Martino. La première carte Arduino était basée sur le microcontrôleur Atmel ATmega8 et a été conçue pour être facile à utiliser et abordable pour les amateurs, les artistes et les concepteurs. Depuis lors, Arduino n'a cessé d'évoluer, avec de nouvelles cartes et de nouveaux accessoires qui sortent régulièrement. Aujourd'hui, Arduino est utilisé par des millions de personnes à travers le monde pour créer une large gamme de projets électroniques, des simples lumières LED clignotantes aux robots complexes et aux systèmes d'automatisation. Sa nature open source a également créé une communauté dynamique de développeurs qui partagent du code et des bibliothèques pour aider les autres à créer leurs propres projets.

II.2.2 Définition [5]

Arduino est une plate-forme de développement open source dédiée aux systèmes embarqués qui comprend des cartes à base de microcontrôleur programmables avec des broches d'entrée et de sortie, ainsi qu'un environnement de développement. Il est conçu pour être facile à utiliser et abordable, permettant aux amateurs, artistes et designers de créer des projets interactifs en détectant et en contrôlant le monde physique. Sa polyvalence l'a rendu populaire parmi les fabricants et les bricoleurs qui l'utilisent pour construire un large éventail de projets, et sa nature open source a créé une grande communauté de développeurs qui partagent du code et des tutoriels. Dans notre cas nous allons utiliser cet environnement de développement pour mesurer et contrôler les paramètres d'une machine hydroponique, notre choix a été porté sur la carte de développement Arduino MEGA.

II.2.3 Constitution d'une carte Arduino MEGA :[6]

L'Arduino MEGA est une carte microcontrôleur basée sur le microcontrôleur ATmega2560. Il a une forme plus grande que les autres cartes Arduino, ce qui permet plus de broches d'entrée et de sortie et plus de mémoire et de puissance de traitement.

La construction de la carte Arduino MEGA Comme le montre la figure suivante :

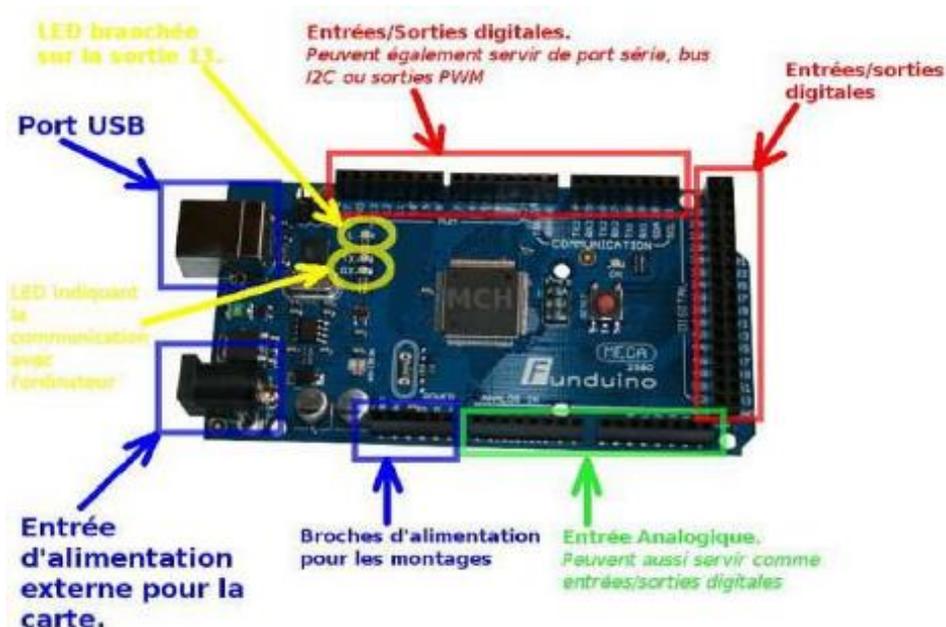


Figure II.1 : Photo démonstrative de la carte ARDUINO MEGA

II.2.4 Caractéristiques de la carte Arduino MEGA [7]

Dans ce tableau II.1, on présentera les caractéristiques de la carte Arduino MEGA

Tension d'alimentation interne	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7 à 12 V sur connecteur alim
Microprocesseur	ATMega2560
Mémoire flash	256 kB
Mémoire SRAM	8 kB
Mémoire EEPROM	4 kB
Entrées/sorties numériques	54 broches d'E/S dont 14 PWM
Entrées analogiques	16 entrées analogiques 10 bits
Cadencement	16 MHz
Intensité par E/S	40 mA
Dimensions	107 x 53 x 15 mm
Version	Rev 3

Tableau II.1 : les caractéristiques de la carte Arduino MEGA

II.3. Etude du capteur de température et d'humidité DHT11

II.3.1 Capteur DHT11 [8]

Le DHT11 est capable de mesurer des températures dans la plage de 0 à 50 degrés Celsius avec une précision de +/- 2 degrés Celsius, et des taux d'humidité relative dans la plage de 20% à 80% avec une précision de +/- 5%. Les mesures de température et d'humidité sont fournies sous forme de signaux numériques, ce qui facilite l'interfaçage de ce capteur avec des microcontrôleurs telle que l'Arduino MEGA.

L'alimentation du capteur DHT11 compatibles 3.3 volts et 5 volts. Toutefois, le fabricant recommande d'alimenter le capteur en 5 volts pour avoir des mesures précises.

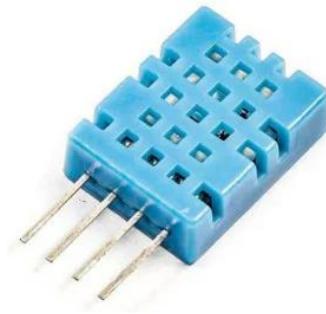


Figure II.2 : forme du capteur DHT11

II.3.2 Les caractéristiques du capteur DHT11[8]

Humidité (relative %)	20 ~ 80%
Précision (humidité)	+/- 5%
Température	0 ~ +50°C
Précision (température)	+/- 2°C
Fréquence mesure max	1Hz (1 mesure par seconde)
Tension d'alimentation	3 ~ 5 volts
Stabilité à long terme	+/- 1% par an

Tableau II.2 : les caractéristiques du capteur DHT11

II.3.3 Montage du capteur avec la carte arduino

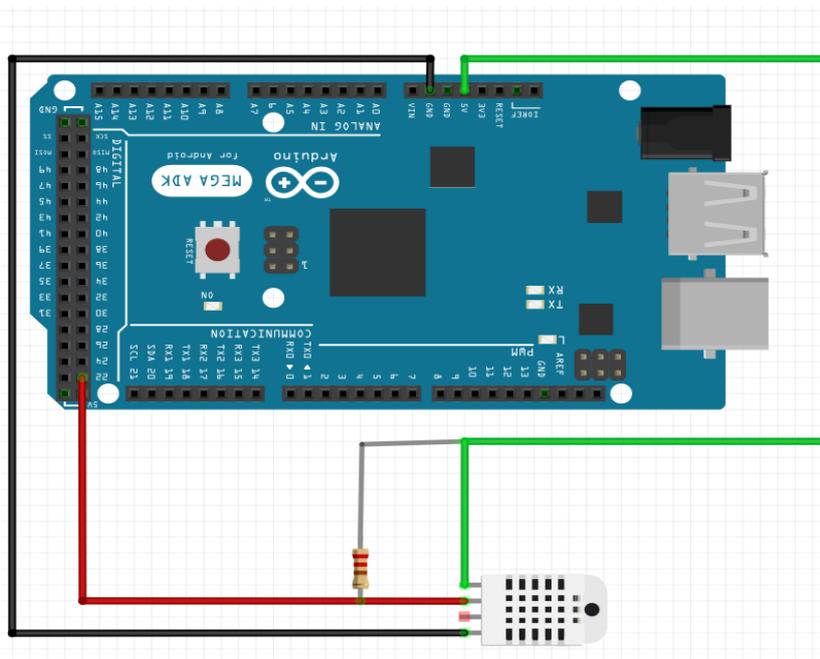


Figure II.3 : Montage DHT11 avec ARDUINO.

Le brochage du capteur est le suivant :

- ❖ La broche n°1 (Vss) est la broche d'alimentation (5 volts ou 3.3 volts).
- ❖ La broche n°2 (Data) est la broche de communication qui nécessite une résistance pull de 5.5 KOhm.
- ❖ La broche n°4 est la masse du capteur (GND).

II.3.4 Le protocole de communication [8]

Les capteurs DHTxx sont uniques en ce sens qu'ils communiquent avec un microcontrôleur via une seule broche d'entrée/sortie.

Bien qu'il soit étiqueté "One Wire" dans la documentation du fabricant du capteur, ce n'est pas vraiment un bus de communication 1-Wire. C'est juste un protocole de communication propriétaire qui utilise un seul fil et nécessite une synchronisation très précise.

II.4. Intégration des actionneurs

Notre machine hydroponique utilisera principalement des pompes hydrauliques pour faire circuler l'eau. Les actionneurs les mieux adaptés dans ce cas sont les relais.

II.4.1 Les relais

Un relais est un dispositif électromécanique ou électronique qui permet de contrôler l'alimentation de circuits électriques en utilisant une petite quantité de courant ou de tension pour commander une charge plus importante. Les relais sont utilisés pour isoler des circuits électriques, commuter un circuit électrique, contrôler un moteur électrique, détecter une condition électrique anormale et protéger les équipements électriques contre les surintensités, les surtensions et les défauts de mise à la terre.

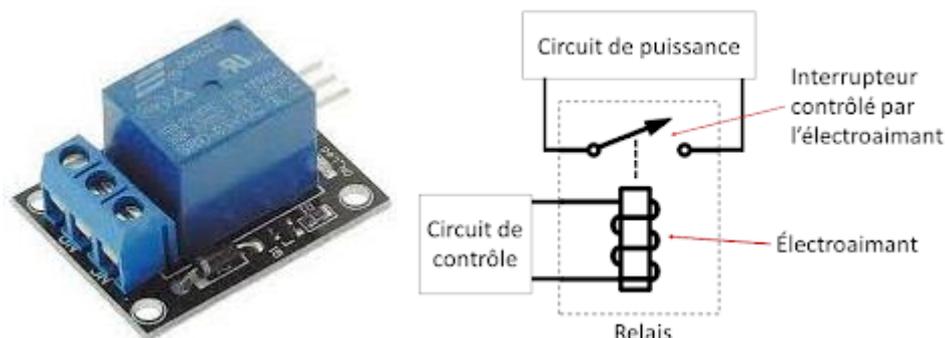


Figure II.4 : Schéma d'un relais.

Les relais sont largement utilisés dans les systèmes de contrôle industriels, les systèmes de distribution électrique, les systèmes de sécurité, les systèmes de protection de moteurs et les systèmes de contrôle de processus automatisés.

II.4.2 Les type de relais

Il existe plusieurs types de relais utilisés dans les systèmes électroniques. Les principaux types de relais sont les suivants :

- Relais électromécaniques : Les relais électromécaniques sont les types de relais les plus couramment utilisés. Ils sont composés d'un électro-aimant, d'un noyau magnétique, de contacts mobiles et fixes et d'un ressort de rappel. Lorsqu'un courant est appliqué à la bobine, le champ magnétique attire le noyau, ce qui permet aux contacts mobiles de se fermer contre les contacts fixes et de fermer le circuit.
- Relais statiques : Les relais statiques sont des dispositifs électroniques qui utilisent des composants électroniques pour contrôler la commutation de circuits électriques. Ils sont plus fiables et ont une durée de vie plus longue que les relais électromécaniques.
- Relais de protection : Les relais de protection sont utilisés pour détecter les surintensités, les surtensions, les sous-tensions, les surcharges et les défauts de mise à la terre dans les circuits électriques.
- Relais de temporisation : Les relais de temporisation sont équipés d'une fonction de temporisation qui permet de retarder l'ouverture ou la fermeture des contacts.
- Relais de sécurité : Les relais de sécurité sont utilisés pour détecter les conditions dangereuses ou anormales dans les systèmes électriques et pour activer des dispositifs de sécurité pour protéger les travailleurs et les équipements.

II.5. Intégration de la pompe à eau

Une pompe est un dispositif mécanique utilisé pour déplacer des liquides, telles que l'eau ou l'huile, d'un endroit à un autre. Elle est conçue pour augmenter la pression d'un fluide en utilisant l'énergie fournie par une source extérieure, comme un moteur électrique, une turbine ou une manivelle.

II.5.1 Brushless pompes

Une pompe brushless (sans balais) est une pompe qui utilise un moteur brushless DC pour générer le mouvement de la pompe. Contrairement aux moteurs avec balais, les moteurs brushless utilisent un ensemble de bobines fixes autour d'un aimant permanent pour générer le champ magnétique qui fait tourner l'arbre de la pompe.



Figure II.5 : pompes à eau à moteur brushless.

Les avantages d'une pompe brushless incluent une efficacité élevée, une longue durée de vie, une fiabilité élevée et elle est silencieuse. Les pompes brushless sont souvent utilisées dans des applications nécessitant un contrôle de la vitesse précis et un fonctionnement silencieux, comme dans les systèmes de refroidissement d'ordinateurs, les fontaines, les aquariums et les systèmes de circulation d'eau chaude et froide.

II.5.2 Les caractéristiques de la pompe [9]

Dimensions	54(L)x 37(W)x 42(H) mm
Tension de fonctionnement	12V DC
Courant de fonctionnement	375 mA
Puissance	4.2W
Débit	240 L/H
Matériaux	Plastique
Diamètre sortie et entrée	8 mm
Durée de vie	30000 Heures
Nuisance sonore	≤ 40 DB
Classe étanchéité	I P68
Résistance à la chaleur	100°
Couleur	Noir

Tableau II.3 caractéristiques d'une pompe à eau à moteur brushless.

II.5.3 Brochage de la pompe avec la carte Arduino

Pour commander la pompe à eau par le biais d'une carte Arduino nous avons réalisé le montage de la figure-II.6.

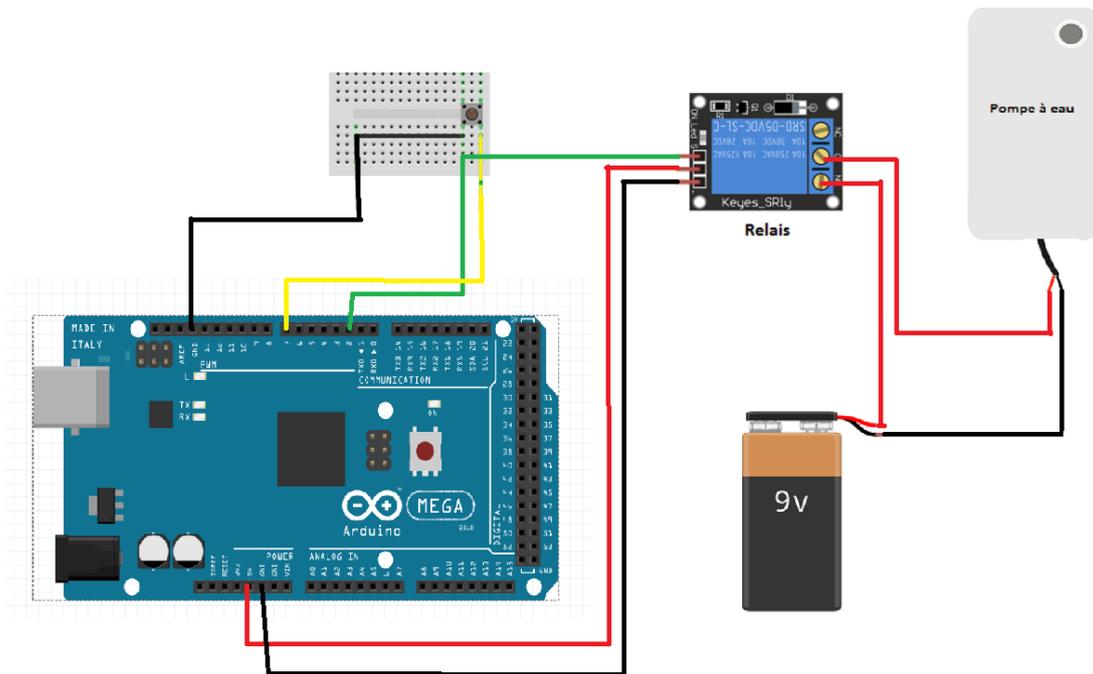


Figure II.6 contrôle de la pompe avec la carte Arduino MEGA.

Un relais qui a un rôle de faire démarrer ou arrêter la pompe et un bouton poussoir pour activer ou désactiver le module relais.

- ❖ Le brochage fait entre les composants et la carte Arduino :
- ❖ La borne (-) du relais est branché avec le GND de l'Arduino.
- ❖ La borne (+) du relais est branché avec (3.3v) de l'Arduino.
- ❖ La borne (S) du relais est branché avec la broche N°2 de l'Arduino.
- ❖ La première borne du bouton est branchée avec la broche GND de l'Arduino.
- ❖ La deuxième borne du bouton est branchée avec la broche N°7 de l'Arduino.

II.6. Afficheur LCD :

Il est important de visualiser les paramètres sur afficheur afin de connaître l'état et les mesures. Les écrans LCD sont des modules compacts qui Nécessitent peu de composants externes pour un fonctionnement correct. Ils sont relativement bon marché et très facile à utiliser. Écran ACL 2 lignes 16 caractères par ligne est proposé dans notre cas. Il existe deux interfaces standardisées : une version « parallèle » et une autre version « série ».

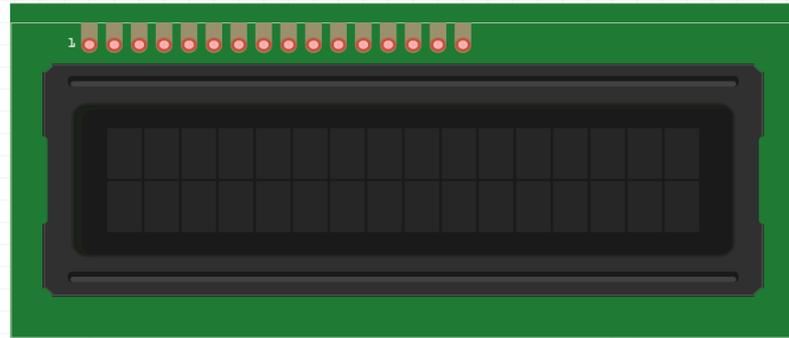


Figure II.7 : Afficheur LCD 16x2.

Le tableau représente le brochage des afficheurs LCD et la figure 2.7 montre le branchement afficheur LCD 16x2

N° de pastille	Appellation	Fonction
1	Vss	Masse
2	Vdd	Alimentation de 5V
3	Vee	Tension a appliqué pour gérer le contraste
4	RS	Registre Selecte (mode instruction ou données)
5	R/W	Ecriture ou Lecture (Read/Write)
6	E	Enable (sélection de l’afficheur)
7-14	DB0-DB7	Data 0 à 7 (Données ou instructions)

Tableau II.4 : Brochage des afficheurs LCD.

II.7. Interface I2C :

Il est clair que l’utilisation d’un écran LCD 2x16 et 4x20 nécessite beaucoup de pins, une ressource limitée dans notre application. L’utilisation de l’interface I2C, nous n’avons besoin que de 2 fils (I2C) pour l’affichage sur écran. Beaucoup plus, Nous pouvons connecter plusieurs composants adressables sur ce bus à tout moment. La figure 2.9 montre l’assemblage du module I2C avec écran LCD et Arduino.



Figure II.9 : L’interface I2C.

Spécifications :

- Compatible avec les écrans LCD 16x2 et 20x4
- Adresse I2C par défaut = 0X27
- Adresse sélectionnable - Plage de 0x20 à 0x27

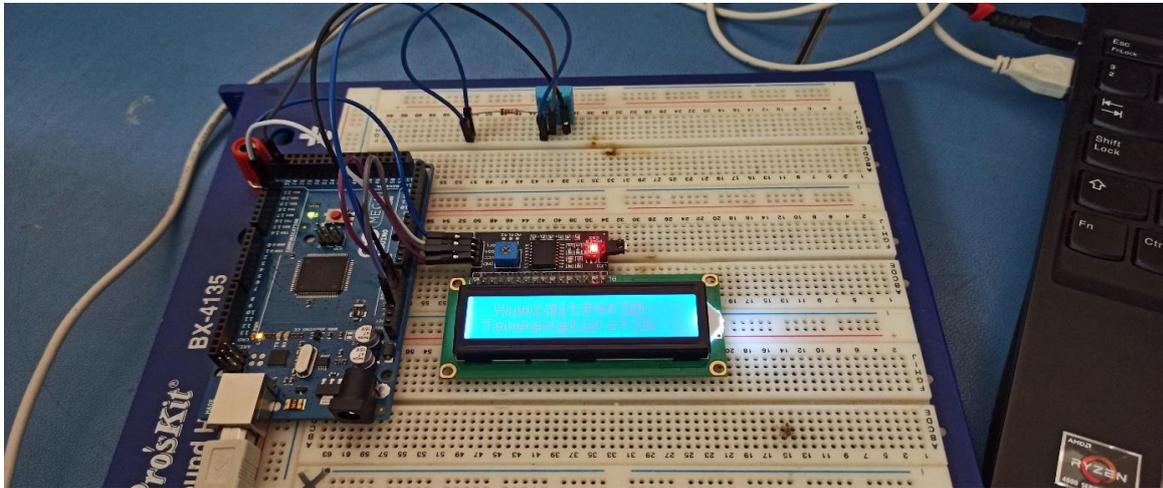


Figure II.10 : Montage de module I2C avec l'afficheur LCD et l'Arduino.

II.8. Conclusion :

Nous avons étudié des composants capteur et actionneur utilisés dans la machine hydroponique. Nous avons fait ressortir et mis en évidence l'importance de chaque élément pour assurer la réussite d'une culture hydroponique. Toutefois pour développer des systèmes encore plus efficaces et productifs, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives il est primordial de connaître la qualité de l'eau utilisée.

Chapitre III :

Instrumentation de la
qualité de l'eau

III Introduction

La culture hydroponique est une méthode de culture de plantes dans laquelle les racines sont immergées dans une solution nutritive au lieu du sol. Cette méthode de culture présente de nombreux avantages, notamment une utilisation efficace de l'eau et une production végétale plus rapide et plus saine. Cependant, la qualité de l'eau est un facteur critique pour le succès de l'agriculture hydroponique. Les contaminants dans l'eau peuvent affecter négativement la santé des plantes et la productivité des cultures, et peuvent même rendre les cultures impropres à la consommation humaine. Par conséquent, une bonne qualité de l'eau dans l'agriculture hydroponique doit être assurée afin de maximiser les avantages de cette méthode de culture. Il est important de contrôler la qualité de l'eau qui affecte les plantes pour permettre d'optimiser les conditions en conséquence.

Dans ce chapitre, nous examinons les défis de la qualité de l'eau dans la culture hydroponique et les solutions possibles pour assurer une utilisation durable de cette précieuse ressource.

III.2 La qualité d'eau dans l'hydroponie : [11]

La qualité de l'eau est un aspect important de la culture hydroponique car les plantes cultivées dans des systèmes hydroponiques dépendent entièrement de l'eau pour leur croissance et leur nutrition. Une eau de mauvaise qualité peut affecter négativement la santé et la croissance des plantes, et peut même les tuer.

Pour avoir une bonne qualité d'eau nous allons prendre en considération les facteurs suivants :

III.2.1 Sources d'eau [12]

Les sources d'eau utilisées en hydroponie peuvent être l'eau du robinet, l'eau de puits, l'eau de source, l'eau de pluie, etc. Il est important d'évaluer la qualité de la source d'eau initiale et de prendre des mesures pour la traiter si nécessaire.

III.2.2 Normes et recommandations [12]

Les normes pour la culture hydroponique peuvent varier en fonction de la région, du type de culture, des exigences légales, etc. Il est essentiel de comprendre les valeurs cibles acceptables pour chaque paramètre mesuré.

III.2.3 Paramètres de qualité de l'eau [12]

Il est essentiel de mesurer différents paramètres pour évaluer la qualité de l'eau en hydroponie. Voici les paramètres principaux à prendre en compte pour maintenir une bonne qualité de l'eau en hydroponie :

1. **PH** : Le pH de l'eau doit être maintenu entre 5,5 et 6,5 pour la plupart des plantes en hydroponie. Des fluctuations de pH importantes peuvent affecter la disponibilité des nutriments pour les plantes.
2. **Conductivité** : La conductivité de l'eau mesure la quantité de nutriments dissous dans l'eau. Les niveaux recommandés varient selon les plantes cultivées, mais en général, la conductivité doit être maintenue entre 1,2 et 2,5 mS/cm.
3. **Température** : La température de l'eau doit être maintenue entre 18 et 23°C pour la plupart des plantes en hydroponie. Des températures trop élevées ou trop basses peuvent affecter la croissance et la santé des plantes.
4. **Teneur en oxygène** : Les racines des plantes en hydroponie ont besoin d'un accès suffisant à l'oxygène pour fonctionner correctement. L'utilisation d'un système de circulation d'eau ou d'un système d'aération peut aider à maintenir une teneur en oxygène suffisante.
5. **Teneur en nutriments** : Les plantes en hydroponie ont besoin d'une alimentation régulière en nutriments pour leur croissance et leur santé. Les nutriments doivent être ajoutés à l'eau en quantités appropriées et à des intervalles réguliers.

III.2.4 Durabilité et recyclage [12]

Dans un souci de durabilité, une installation hydroponique met en place des systèmes de recyclage de l'eau. Cela implique de purifier et de réutiliser l'eau plutôt que de l'éliminer après une seule utilisation. L'efficacité de ces systèmes de recyclage de l'eau doit également être contrôlée pour assurer une qualité optimale de l'eau.

III.2.5 Surveillance régulière [12]

La qualité de l'eau doit être surveillée régulièrement pour s'assurer qu'elle reste conforme aux normes établies. Des outils de mesure appropriés et des calendriers de surveillance doivent être mis en place pour suivre les paramètres clés. Cela permet d'identifier les problèmes potentiels à un stade précoce et de prendre des mesures correctives.

III.3 Schéma synoptique du système électrique

La figure suivante présente le schéma synoptique du système électrique utiliser pour réaliser la machine hydroponique.



Figure III.1 : Schéma synoptique du système électrique

III.4 Carte Arduino UNO

Nous avons décidé d'ajouter à notre machine un sous-système dédié à la qualité de l'eau. L'attitude de ce dernier va être transmise au sous système de contrôle et mesure développé dans le chapitre 2, via liaison série RS232. Ce sous-système qualité de l'eau est conçu autour d'une carte Arduino UNO.

III.4.1 Constitution d'une carte Arduino UNO [13]

Cette carte Arduino est basée sur l'ATmega328 cadencé à 16 MHz. Plusieurs connecteurs associés à la carte permettent de connecter des différents modules complémentaires.

Pour la programmer, il suffit de la connecter par un câble USB avec un ordinateur, après cela, le code est téléversé sur la carte Arduino.

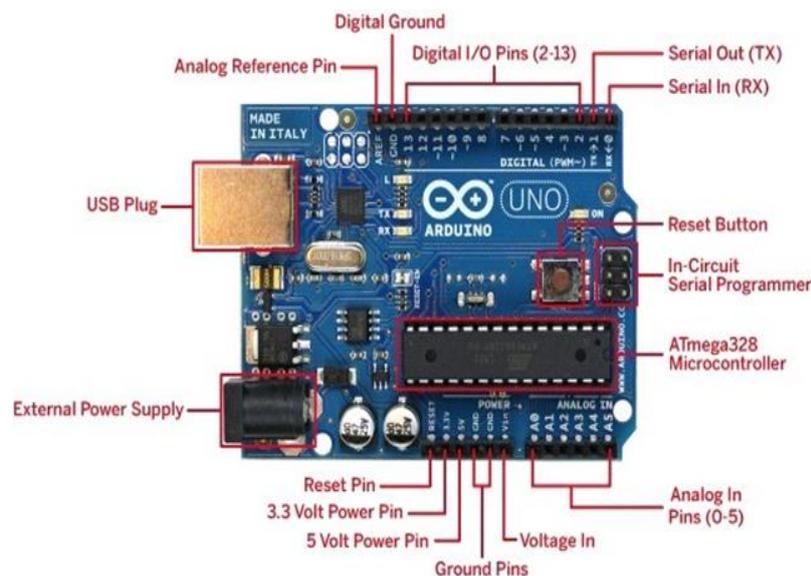


Figure III.2 : Constitution de la carte Arduino UNO.

III.4.2 Caractéristiques d'une carte Arduino UNO [14]

Dans ce tableau III.1, on présentera les caractéristiques de la carte Arduino UNO

Microcontrôleur	ATmega328
Tension d'alimentation interne	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	6-20V
Entrées/sorties numériques	14 dont 6 sorties PWM
Entrées analogiques	6
Courant max par broches E/S	40 mA
Courant max sur sortie 3,3V	50mA
Mémoire Flash	32 KB
Mémoire SRAM	2 KB
Mémoire EEPROM	1 KB
Fréquence horloge	16 MHz
Dimensions	68.6mm x 53.3mm

Tableau III.1 Caractéristiques de la carte Arduino UNO

III.4.3 Brochage de la carte Arduino UNO [14]

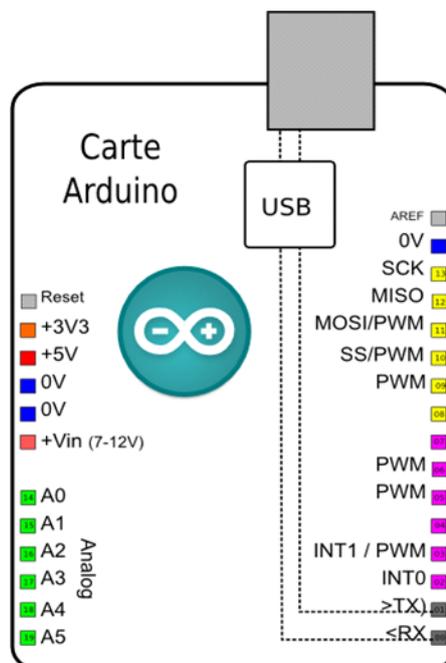


Figure III.3: Brochage de la carte Arduino UNO

III.5 L'échange des données entre sous-systèmes :

Notre vision consiste à réserver la carte Arduino UNO pour la qualité de l'eau est la carte Arduino MEGA pour la commande de la pompe et la mesure de la température et l'humidité et l'affichage sur l'afficheur LCD, telle que présenté au chapitre précédent. Il est important de réaliser une communication entre les deux cartes Arduino. Elle peut être réalisées de différentes manières. Une des méthodes couramment utilisées est la liaison série.

III.5.1 Liaison série RS232 :

Cette méthode utilise un protocole de connexion nommée RS232, l'une des méthodes les plus simples. Elle consiste à utiliser la communication série pour établir une connexion entre deux cartes Arduino. Il faut connecter les broches TX (transmettre) d'une carte à la broche RX (recevoir) de l'autre carte, et vice-versa, les données sont envoyées d'une carte à l'autre en utilisant les fonctions Serial.write() et Serial.read().

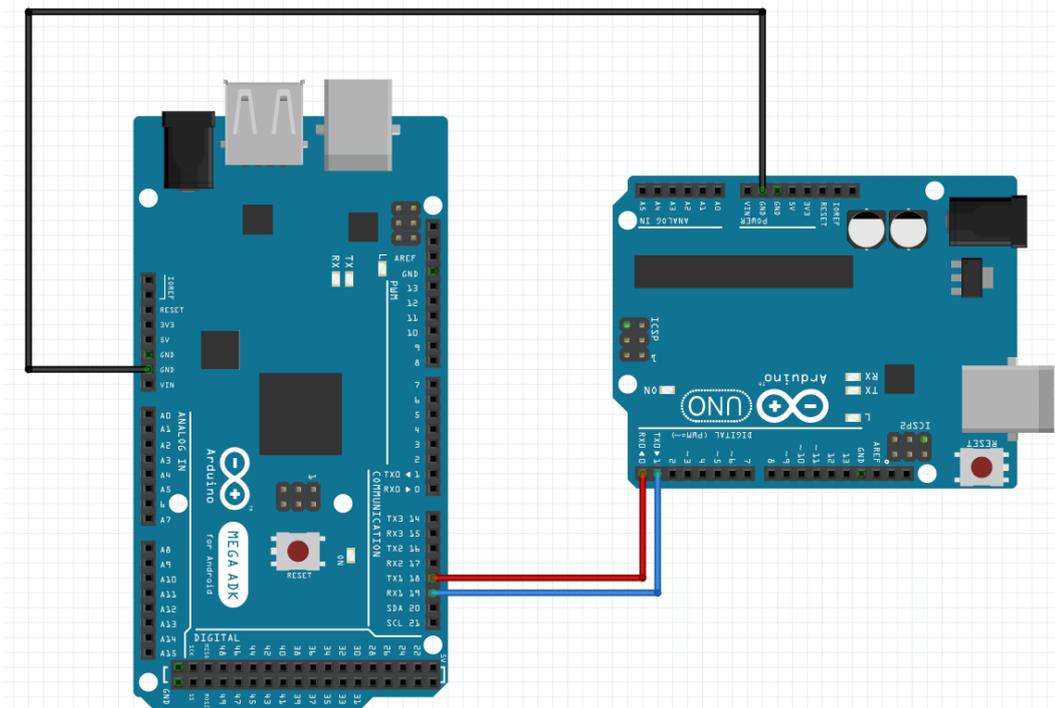


Figure III.4 : connexion en liaison série RS232 entre les cartes ARDUINO UNO et MEGA.

III.5.2 Protocole RS 232

Il s'agit d'un protocole de transfert de données point à point asynchrone, c'est-à-dire que deux nœuds peuvent communiquer. Les échanges se font en Full-Duplex grâce au broche suivante :

- TX (Transmettre Data) : Cette broche est utilisée pour transmettre les données de l'émetteur au récepteur.
- RX (Recevoir Data) : Cette broche est utilisée pour recevoir les données du récepteur à l'émetteur.
- GND (Ground) : Cette broche est la référence de masse commune entre les deux équipements.

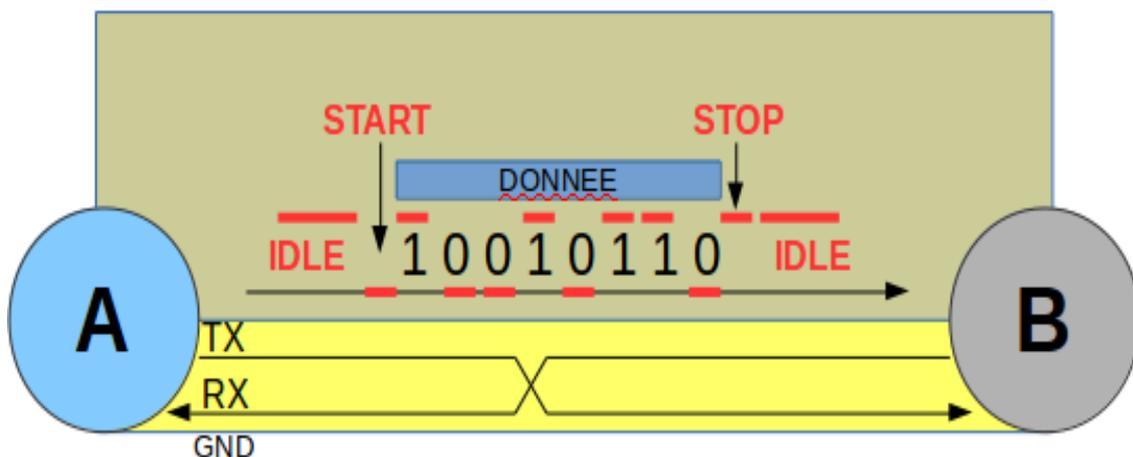


Figure III.5 : exemple de transmission par le protocole RS232.

Pour des distances de grandeurs jusqu'à 10 m, le débit maximal autorisé est d'environ 100 Kbits/s. La liaison étant asynchrone (c'est-à-dire qu'aucun signal d'horloge n'est transmis), le même débit de transmission doit être configuré entre l'émetteur et le récepteur. La vitesse de transmission est généralement exprimée en bauds (ou symboles par seconde). Dans le cas d'une liaison RS232, 1 baud = 1 bit/s. [15]

III.6 Présentation de la carte EVAL-CN0411-ARDZ [16]

Dans notre machine hydroponique nous avons eu besoin d'assurer les conditions discutées plus haut. A cet effet nous avons utilisé une carte électronique dédiée à l'instrumentation électronique.

III.6.1 EVAL-CN0411-ARDZ : [16]

La carte CN0411 est conçue pour les applications de mesure de la qualité de l'eau. Elle fournit une solution complète pour surveiller et analyser divers paramètres liés à la qualité de l'eau telles que le pH, la conductivité et la température.

En premier temps nous allons utiliser La carte CN0411 come un système de mesure des solides dissous totaux (TDS) utilisant la mesure directe de la conductivité de la solution. Le système peut mesurer des niveaux de conductivité faibles à élevés allant de $1 \mu\text{S}$ à $0,1 \text{ S}$ et peut accueillir des sondes de conductivité à 2 fils de différentes constantes de cellule de $0,01$ à 10 . La compensation de température est effectuée à l'aide d'un RTD à 2 fils de 100Ω ou 1000Ω .

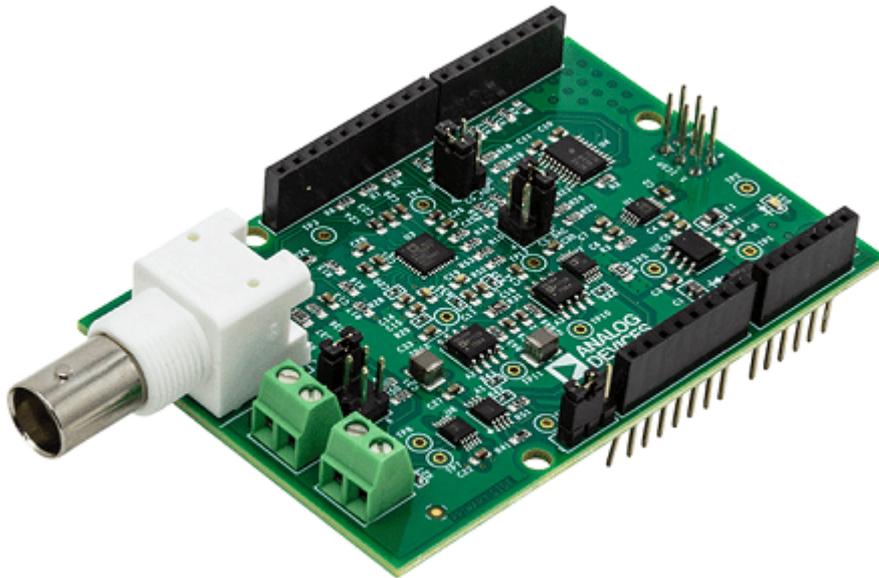


Figure III. 6 : la carte EVAL-CN0411-ARDZ

III.6.2 Architecture du système de mesure de la qualité de l'eau : [16]

La carte EVAL-CN0411-ARDZ est constituer des composant telle que représenté sur le schématique de la figureIII-7.

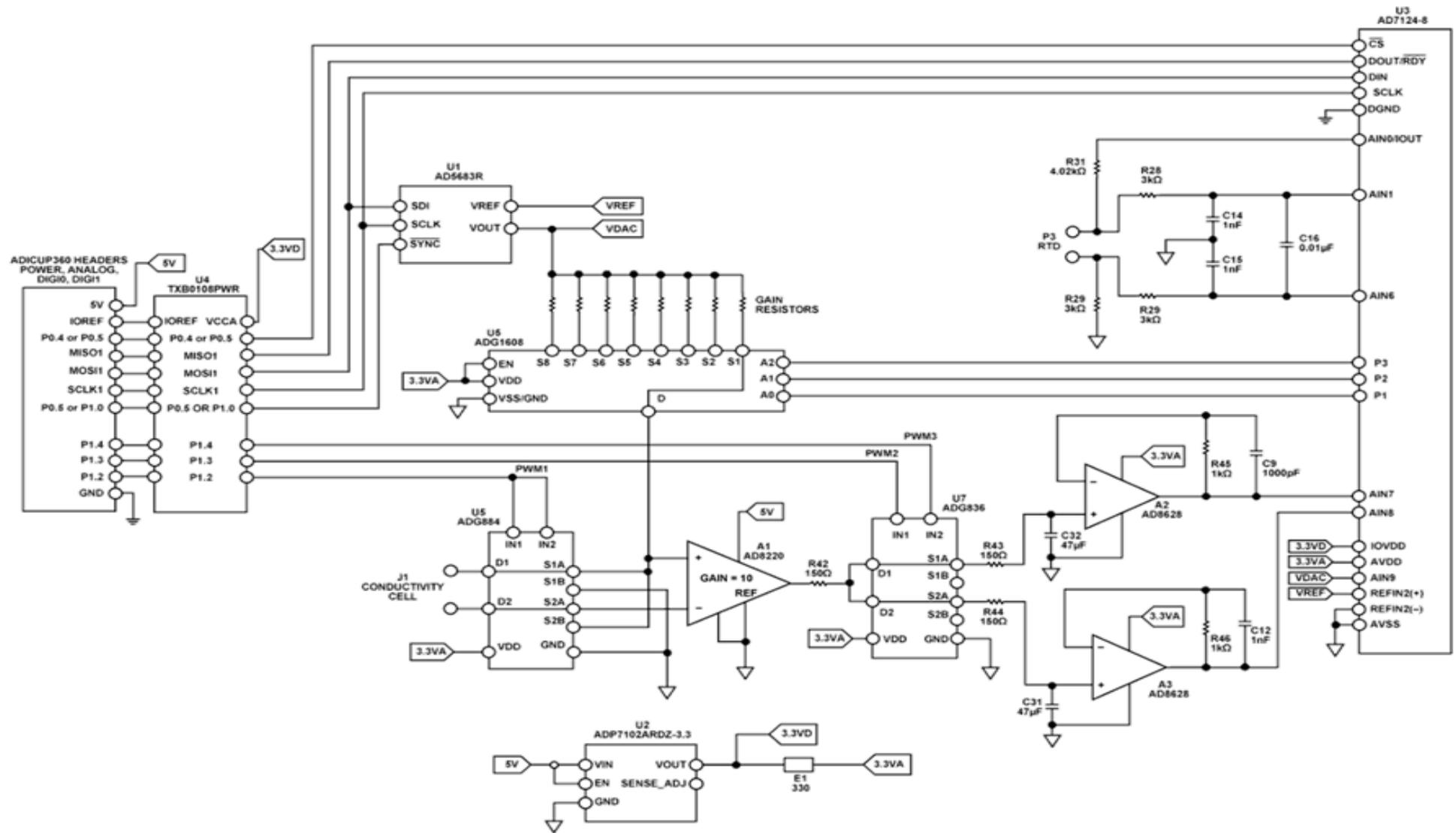


Figure III.7 : Schématique de la carte CN0411

1. **AD5683R [17]** est un convertisseur numérique-analogique (CNA) qui peut recevoir des valeurs numériques codées sur 16 bits ce qui permet d'offrir une précision élevée. Il est utilisé pour alimenter les sondes.

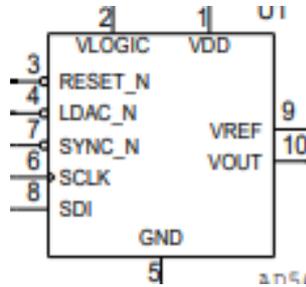


Figure III.8 : Convertisseur numérique Analogique AD5683R

2. **ADG884 [18]** est un commutateur analogique à 4 canaux fabriqué par Analog Devices. Ce commutateur est conçu pour être utilisé dans des applications nécessitant la commutation de signaux analogiques ou numériques à haute vitesse. Il est utilisé au sein de la CN0411 pour aiguiller les signaux analogiques en provenance de la sonde connectée.

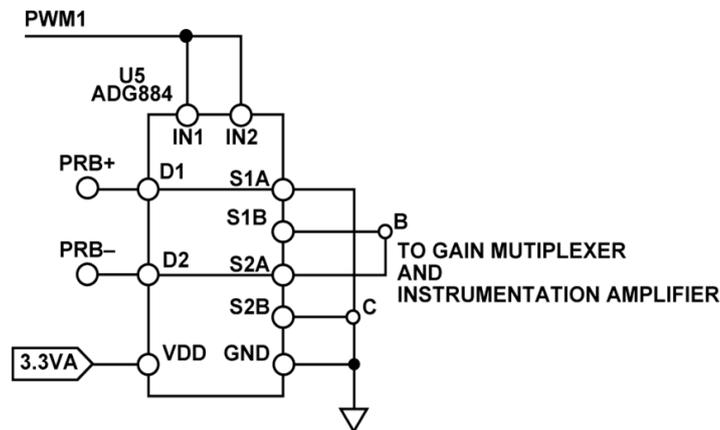


Figure III.9 : le commutateur ADG884.

3. **ADG1608 [19]** sont des multiplicateurs analogiques CMOS monolithiques comprenant 8 canaux simples. Il commute l'un des huit entrées à une sortie selon la valeur des lignes de sélections, A0, A1 et A2. Son fonctionnement permet de choisir un gain pour l'amplification parmi 7 valeurs.

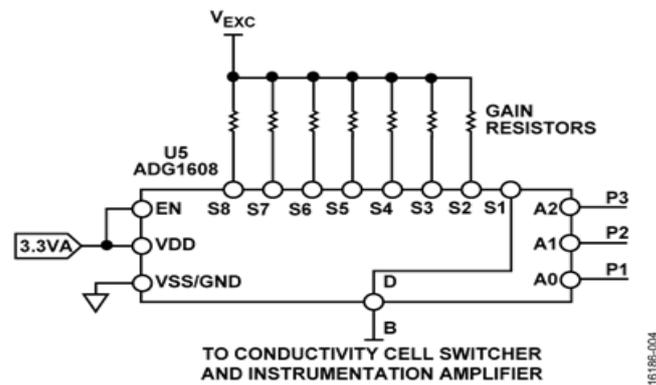


Figure III. 10 : commutateur ADG1608 dans la CN0411 avec $R1 = 20 \Omega$, $R2 = 200 \Omega$, $R3 = 2 \text{ k}\Omega$, $R4 = 20 \text{ k}\Omega$, $R5 = 200 \text{ k}\Omega$, $R6 = 2 \text{ M}\Omega$, $R7 = 20 \text{ M}\Omega$

4. **AD8220[20]** est le premier amplificateur d'instrumentation à alimentation unique d'entrée JFET disponible dans un package MSOP. Conçu pour répondre aux besoins d'instruments portables hautes performances, l'AD8220 a un taux de réjection en mode commun (CMRR) minimum de 86 dB en courant continu et un CMRR minimum de 80 dB à 5 kHz pour $G = 1$. Le courant de polarisation d'entrée maximum est de 10 pA et reste généralement inférieur à 300 pA sur toute la plage de température industrielle. Malgré les entrées JFET, l'AD8220 a généralement un coin de bruit de seulement 10 Hz.

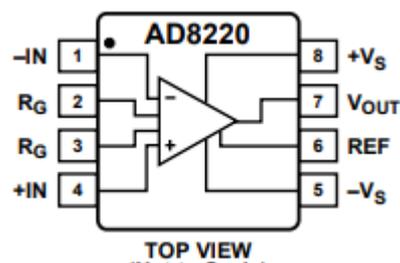


Figure III. 11 : Amplificateur d'instrumentation AD8220.

5. **AD8628[21]** est un amplificateur opérationnel (AOP) à faible bruit, faible dérive et faible courant de polarisation. Cet AOP est conçu pour fournir une amplification précise des signaux. Le AD8628 est un amplificateur large bande et faible bruit. Il nécessite une double alimentation simple de $\pm 1,35 \text{ V}$ à $\pm 2,5 \text{ V}$.

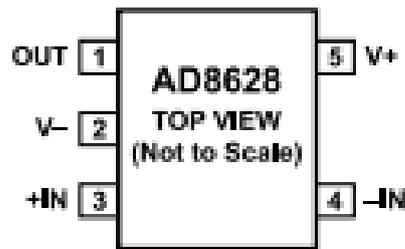


Figure III. 12 : Amplificateur opérationnel AD8628

6. **AD7124-8 [22]** est un convertisseur analogique-numérique (CAN) 24 bits à faible bruit, à faible dérive et à huit voies d'entrée. Ce CAN est conçu pour fournir une conversion précise des signaux analogiques en données numériques avec une excellente résolution et une faible distorsion.

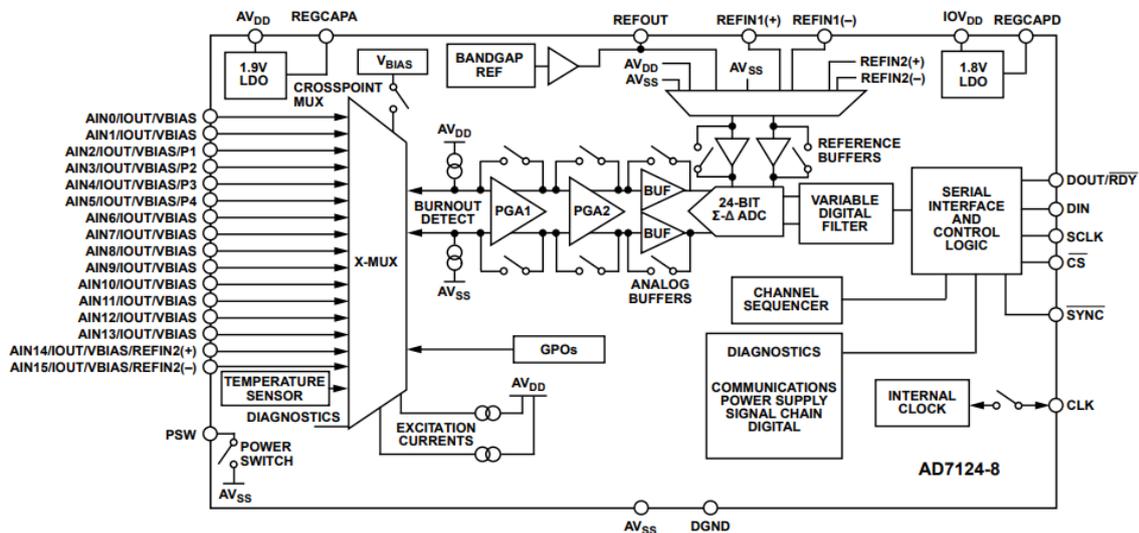


Figure III.13 : Architecture convertisseur analogique numérique AD7124-8

III.6.3 Fonctionnement de la carte CN0411[16]

La carte CN0411 génère une excitation d'onde carrée bipolaire à travers les sondes connectées à l'aide de l'AD5683R. La fréquence de l'excitation est contrôlée par logiciel en exploitant un signal PWM entre 2,4 kHz et 94 Hz. Le convertisseur analogique numérique AD7124 avec une résolution de 24 bits permet de mesurer avec une grande précision les valeurs de la conductivité et la température de l'eau. Des commutateurs ADG884 et multiplexeurs 8 :1 ADG1608 permettent d'aiguiller les signaux analogiques et de sélectionner les gains désirés. En effet, La plage de mesure de la conductivité peut être ajustée à l'aide de résistances commutées à l'aide d'un multiplexeur 8 :1 ADG1608, le choix de la résistance permet de fixer le gain de l'amplificateur.

Le signal de la cellule de conductivité est mesuré par l'AD8220, un amplificateur d'instrumentation JFET à faible courant d'entrée. Ensuite, un amplificateur de suivi et de maintien

mis en œuvre à l'aide de l'AD8628, un amplificateur opérationnel à alimentation unique, qui va en même temps échantillonner le signal pour l'AD7124-8, un ADC Sigma-Delta 24 bits à faible bruit et faible puissance. Avec l'étalonnage logiciel, la précision du système calibré est inférieure à 2 % pour toutes les plages de conductivité de 1 μ S à 0,01 S et inférieure à 7 % pour les plages de conductivité supérieures à 0,01 S. Cela rend le système fiable pour la mesure de la conductivité utilisée pour calculer le TDS.

III.6.4 Configurations pour mesurer la qualité de l'eau [16]

Pour notre machine hydroponique nous avons connecté La CN0411 se connecte à la carte Arduino UNO telle que représenté par la figure-III-14 ci-dessous. Sur l'Arduino UNO nous allons implémenter la solution logicielle qui permet de contrôler la qualité de l'eau.

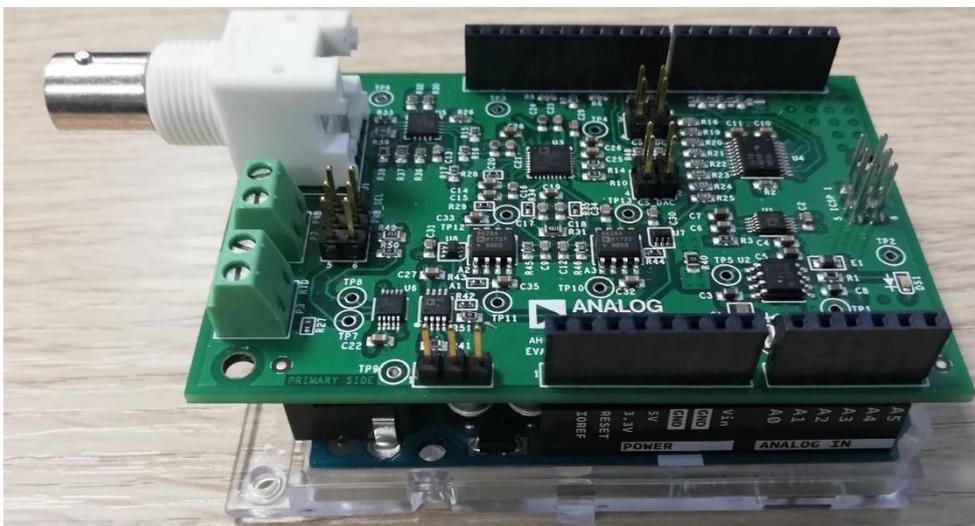


Figure III.14 : interfaçage de la carte CN0411 avec Arduino UNO.

Le CN-0411 dispose de trois connecteurs matériels qui n'ont pas de polarité et peuvent se connecter directement aux capteurs :

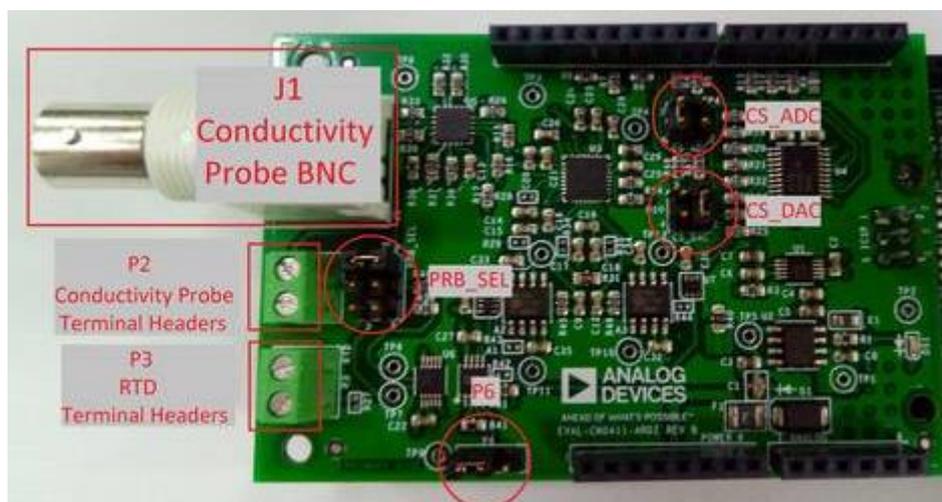


Figure III. 15 : connecteurs matériels et cavalier

- 1 est pour les sondes de conductivité à 2 fils avec une prise BNC. Ceci est compatible avec les sondes commerciales courantes. Le tableau III-1 ci-dessous montre les sondes recommandées pour différentes constantes de cellule.

Constante de cellule	Description	Images
0,1	Cellule en verre à 2 électrodes CS SK21T	
1	Cellule en verre à 2 électrodes CS SK20T	
10	Cellule en verre à 2 électrodes CS SK23T	

Tableau III.2 : les sondes de conductivité à 2 fils avec une prise BNC.

1. P2 est un connecteur de bornier pour sonde de conductivité sans fiche BNC.

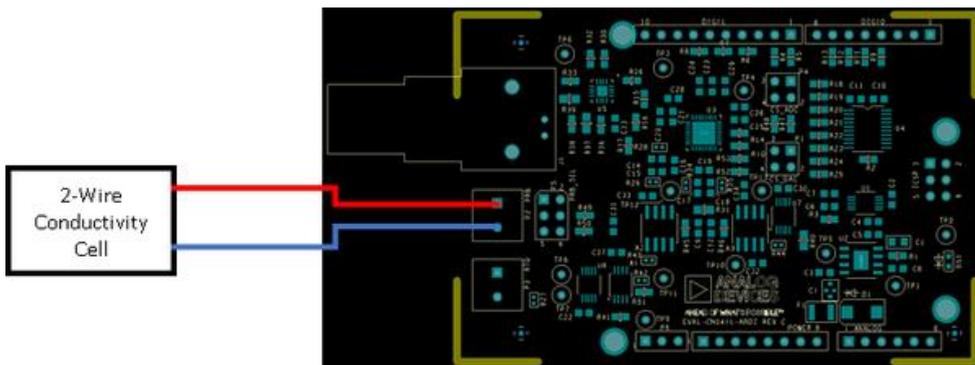


Figure III. 16 : connecteur P2 de sonde a 2 fils sans prise BNC

1. P3 est un connecteur de bornier pour un RTD à 2 fils. LA CN0411 reste compatible avec les sondes RTD Pt100 et Pt1000.

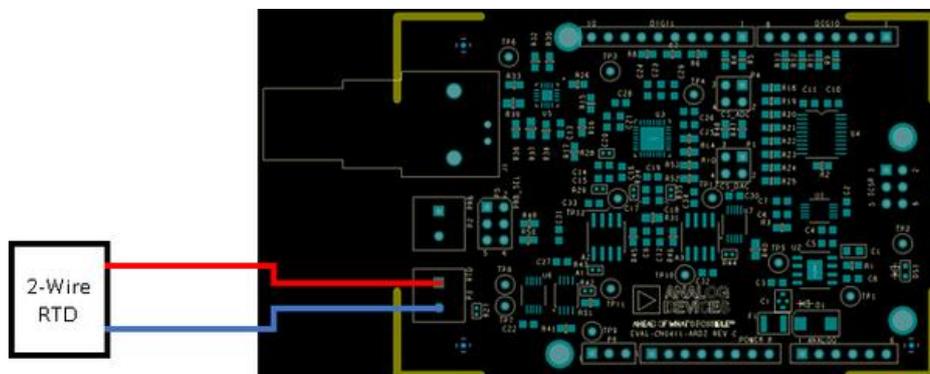


Figure III.17 : connecteur P3 de RTD a 2 fils

III.6.5 Configurations des cavaliers [16]

Le CN0411 a quatre en-têtes de cavalier qui configurent différents paramètres comme indiqué ci-dessous. De plus, les positions de shunt par défaut sont mises en surbrillance.

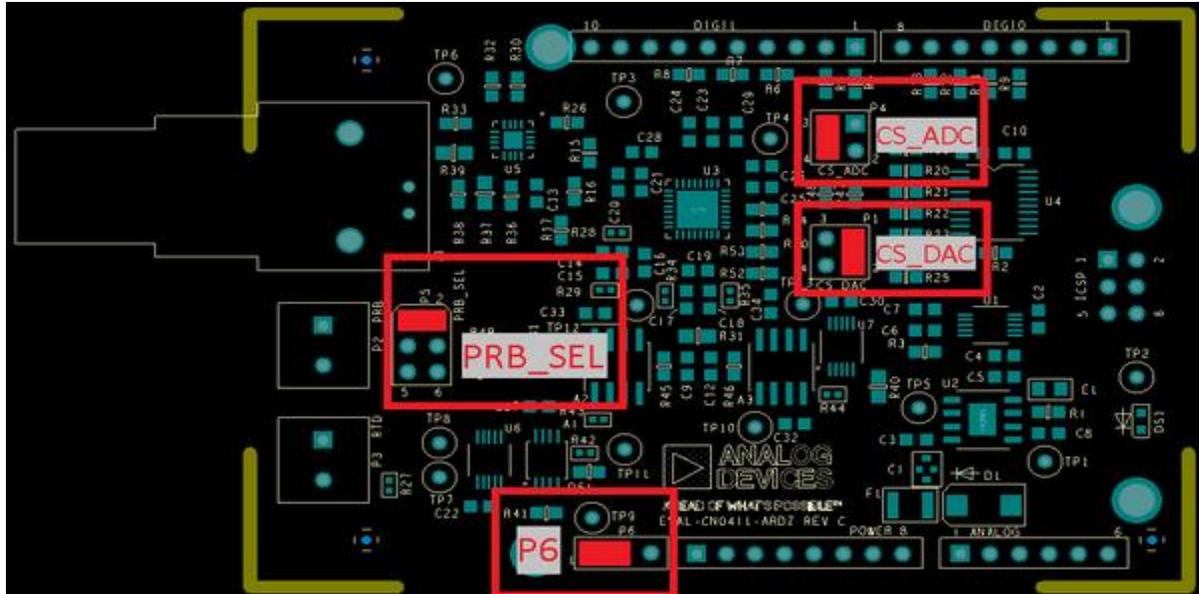


Figure III. 18 : Jumpers de configuration de la carte CN0411.

1. Sélection de l'entrée du capteur

PRB_SEL sélectionne la connexion au capteur de conductivité. Par défaut, le shunt est placé en connectant les broches 1 et 2 pour mesurer la conductivité de la solution.

PRB_SEL Position de dérivation	Connexion de capteur de conductivité	Action
1 et 2	Sonde de conductivité	Le système mesure la conductivité
3 et 4	Résistance de précision 200Ω	Le système se calibre a la plage de 0.01 S
5 et 6	Résistance de précision 20Ω	Le système se calibre a la plage de 0.1 S

Tableau III.3 : configuration des sondes de conductivité.

2. Sélection d'entrée de signal

P6 sélectionne l'entrée de l'amplificateur d'instrumentation AD8220. Par défaut, la position shunt connecte les broches 1 et 2 pour échantillonner le signal du capteur de conductivité.

Position du shunt P6	Entrée d'amplificateur d'instrumentation AD8220	Action
1 et 2	Signal de conductivité	Échantillonnage du signal de capteur de conductivité connecté.
2 et 3	AGND	Système d'effectuer un étalonnage à l'échelle zéro du système.

Tableau III.4 : configuration de jumper P6

3. Sélection la pine du ADC

CS_ADC sélectionne la broche GPIO activant l'AD7124-8. Cela permet d'empiler plusieurs cartes de CN0411 pour les applications de lectures de conductivité. Par défaut, la position shunt connecte les broches 3 et 4 pour régler la sélection de puce sur GPIO30.

Position du shunt CS_ADC	Sélection de puce AD7124-4
1 et 2	DIGI1 Broche 1 ou GPIO28
3 et 4	DIGI1 Broche 2 ou GPIO30

Tableau III.5 : configuration de jumper CS_ADC

4. Sélection de puce DAC

Le jumper CS_DAC définit la broche GPIO utiliser pour sélectionner l'AD5683R. Cela permet l'empilement de plusieurs cartes de CN0411 pour les applications multi-mesures. Par défaut, la position shunt connecte les broches 1 et 2 pour régler la sélection de puce sur GPIO26.

Position du shunt CS_DAC	Sélection de puce AD5683R
1 et 2	DIGI1 Broche 3 ou GPIO26
3 et 4	DIGI0 Broche 3 ou GPIO15

Tableau III.6: configuration de jumper CS_DAC

III.6.6 Mesure de conductivité [16]

Pour que le système mesure la conductivité d'une solution on est besoin d'une sonde de conductivité comme indique ci-dessous.

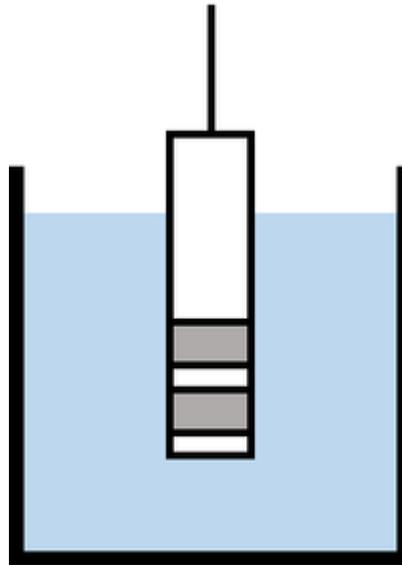


Figure III.19 : Dessin explicatif du positionnement de la sonde

Pour maximiser la précision de la mesure, Il est préférable que la sonde de conductivité soit au centre du récipient. La constante de cellule de la sonde de conductivité définit la gamme de mesures de conductivité qu'elle convient d'utiliser. Une sélection appropriée de la sonde permet au système de mesurer plus facilement dans une certaine plage de conductivité. Le tableau ci-dessous démontre la plage de mesures de conductivité appropriée pour la constante de cellule de la sonde.

Constante de cellule	Plage de conductivité mesurée
0,01	< 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
0,1	0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$
1	100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 10 mS/cm
10	10 mS/cm à 1 S/cm

Tableau III.7 la plage de mesures de conductivité appropriée à la sonde.

III.6.7 Mesure de température [16]

La carte CN0411 peut utiliser des RTD Pt100 ou Pt1000 et elle est configurable via le logiciel. La plupart des sondes conductivité a des RTD intégrés.

Le coefficient de température dépend du type de solution et peut être configuré dans le logiciel. Le système a des valeurs enregistrées intégrées pour les solutions de chlorure de sodium (NaCl) et de chlorure de potassium (KCl), comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Solution saline	Coefficient de température (α)
Chlorure de potassium (KCl)	1,88
Chlorure de sodium (NaCl)	2.14

Tableau III.8 Coefficient de température pour les Solutions salines.

III.6.8 Mesure des solides totalement dissous

Le total des solides dissous dans la solution est calculé à partir de la mesure de la conductivité compensée en température par le facteur TDS qui varie selon le type de solide dissous. Cela peut être configuré via un logiciel et le système a des valeurs stockées intégrées pour les solutions NaCl et KCl.

Solution saline	Gamme de facteur TDS (ke)
Chlorure de potassium (KCl)	0,50 à 0,57
Chlorure de sodium (NaCl)	0,47 à 0,50

Tableau III.9 Gamme de facteur TDS (ke) pour les Solutions salines.

III.7 Sonde de conductivité DJS-1

La sonde de conductivité est un composant clé d'une machine hydroponique, permettant de mesurer la conductivité électrique de la solution nutritive et d'ajuster les niveaux de nutriments en conséquence. La sonde de conductivité est généralement constituée d'une électrode en métal ou en carbone, qui est plongée dans la solution nutritive. Lorsqu'un courant électrique est appliqué à travers l'électrode, la conductivité électrique de la solution provoque un flux de courant mesurable.

La sonde mesure ce flux de courant et le convertit en une lecture de conductivité, exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou en millisiemens par centimètre (mS/cm).

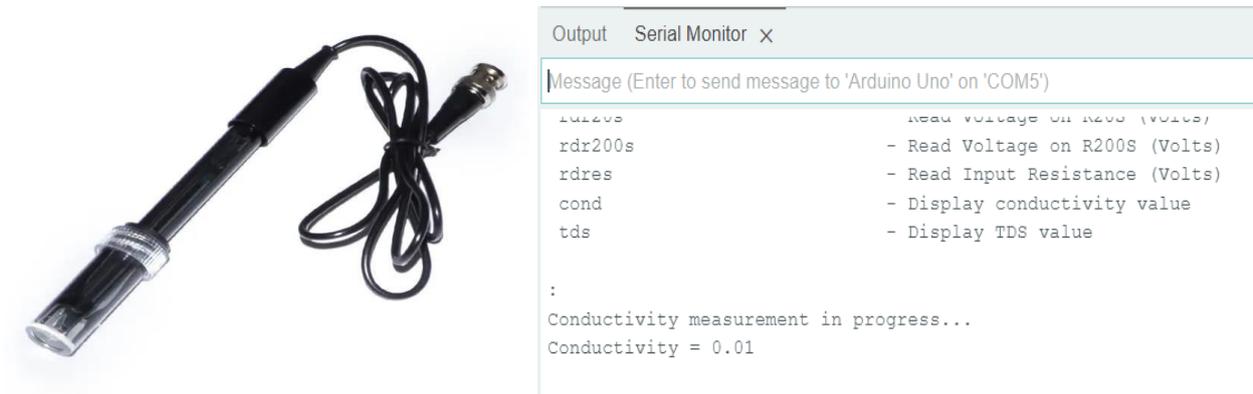


Figure III.20 : Sonde TDS utilisée et la valeur mesurée

Son utilisation régulière et son entretien approprié sont essentiels pour assurer des mesures précises et optimiser la croissance des plantes hydroponiques.

Caractéristiques de la sonde DJS-1 [23]

Tension d'alimentation	5.00V
Tension de sortie du signal analogique	0 ~ 3.4V
Précision de mesure	$\pm 5\%$ F.S.
Interface d'électrode	BNC
Taille de la planche	42mm * 32mm
Constante de cellule de conductivité	1.0
Plage de mesure du Support	0 20 mS/cm
Plage de mesure recommandée	1 ~ 15 mS/cm
Longueur du câble	100cm

Tableau III.10: Caractéristiques de la sonde DJS-1

III.8 Les RTD [24]

Un RTD (Resistance Temperature Detector) est un capteur dont la résistance change avec la température. La résistance et la température ont une Relation directe entre eux. Si l'un des deux augmentent l'autre augmente. La relation de résistance à la température est bien connue et reproductible dans le temps. Les RTD sont des dispositifs passifs. Il ne produit aucune sortie par lui-même. Des instruments électronique externe est utilisée pour mesurer la résistance du capteur en faisant passer un petit courant à travers le capteur pour générer une tension. Typiquement 1 mA ou moins de courant de mesure, maximum 5 mA, sans risque d'auto-échauffement.

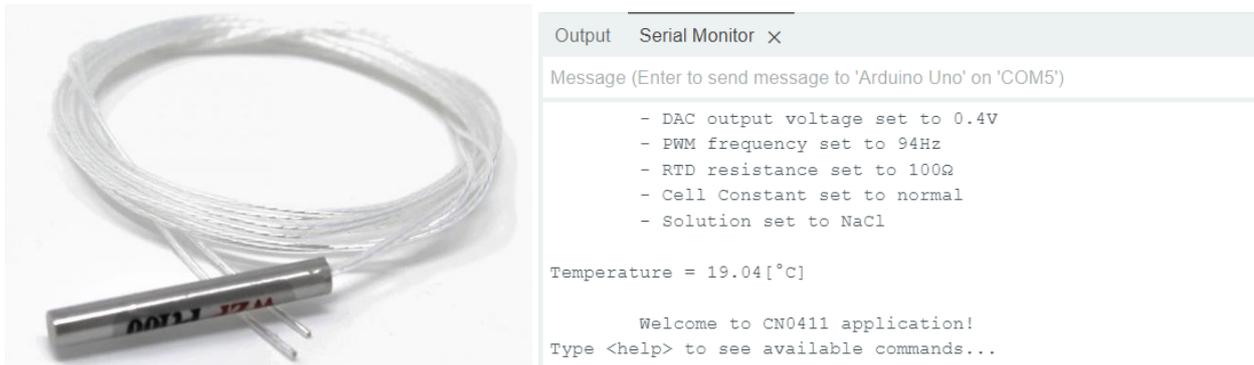


Figure III.21: Sonde RTD utilisée et la valeur mesurée



Figure III.22: machine hydroponique réaliser.

III.9 Conclusion

En conclusion, l'eau est le support vital des plantes dans l'hydroponie. Par conséquent, la qualité de l'eau est d'une importance capitale pour assurer une croissance saine et productive des plantes. Grâce à des instruments telles que la carte CN0411, les professionnels de la culture hydroponique peuvent surveiller la qualité de l'eau. Cela contribue à prévenir les déséquilibres nutritionnels, les maladies des plantes et les problèmes de croissance, et garantit une production agricole durable et de haute qualité.

Conclusion générale

L'hydroponie offre une approche innovante et prometteuse pour l'agriculture moderne. L'un des aspects clés de cette méthode est la qualité de l'eau utilisée. Dans l'hydroponie, l'eau est le support vital qui transporte les nutriments essentiels aux plantes. Par conséquent, la qualité de l'eau est d'une importance capitale pour assurer une croissance saine et productive des plantes.

La carte CN0411, est un exemple d'outil permettant de surveiller et de contrôler la qualité de l'eau dans les systèmes d'hydroponie. Cette carte est conçue pour mesurer les paramètres clés de l'eau telles que le pH, la conductivité électrique et la température. Ces mesures permettent aux agriculteurs de maintenir un équilibre optimal des nutriments et des conditions environnementales pour les plantes, assurant ainsi leur croissance et leur rendement optimaux.

En adoptant l'hydroponie et en utilisant des outils de surveillance de la qualité de l'eau telles que la carte CN0411, les agriculteurs peuvent améliorer l'efficacité de leur production, réduire la consommation d'eau et les impacts environnementaux, tout en garantissant des récoltes saines et nutritives.

Dans un contexte où la sécurité alimentaire mondiale est de plus en plus préoccupante, l'hydroponie offre une solution prometteuse pour augmenter la production alimentaire de manière durable et efficace, tout en préservant les ressources naturelles. La combinaison de technologies innovantes, comme la carte CN0411, avec des pratiques agricoles avancées, ouvre la voie à un avenir où l'agriculture et la qualité de l'eau travaillent main dans la main pour répondre aux besoins alimentaires croissants de la population mondiale.

Reference bibliographies

- [1] A Brief History of Hydroponics, <https://www.growlink.com>, [25/05/2023]
- [2] Comprendre la culture hydroponique en 5 minutes, <https://neogarden-mursvegetaux.com/culture-hydroponique/> [25/05/2023]
- [3] Hydroponie — Wikipédia, <http://www.wikipedia.org>, [25/05/2023]
- [4] Le potager hydroponique : Mon jardin | Blog La Pause Jardin, <https://www.lovethegarden.com>.
- [5] Benaddi Harrage & Bououda Bouabdellah « Conception et réalisation d'un journal lumineux à base d'un arduino » Mémoire de master2, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2018.
- [6] Benabdallah, Adil, Ethernet GSM Smart Home, Université de Tlemcen, Mai 2015.
- [7] B. Benadda and A. Benabdellah, "Hardware Design and Integration of Low-cost Edge AI Smart Power Management and Home Automation," 2022 International Conference on Artificial Intelligence of Things (ICAIoT), Istanbul, Turkey, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICAIoT57170.2022.10121892.
- [8] : <https://www.carnetdumaker.net/articles/utiliser-un-capteur-de-temperature-et-dhumidite-dht11-dht22-avec-une-carte-arduino-genuino/> [27/05/2023]
- [9] Pompe À Eau DC 12V – SMART CUBE, <https://www.smart-cube.biz>, [27/05/2023].
- [10] <https://www.trees.com/wp-content/uploads/files/inline-images/basic-parts-hydroponics.png>, [27/05/2023].
- [11] Qualité de l'eau : définition illustrée et explications, <https://aquaportail.com>, [27/05/2023].
- [12] La qualité de l'eau en Hydroponie – MBH UNIVERSITY, [27/05/2023].
- [13] DJAFRI Menad CHELOUCHE Djalal « Etude et réalisation d'une carte arduino » Mémoire de master 2, Université A.MIRA DE BEJAIA, 2016.
- [14] http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielUno [27/05/2023].
- [15] Nucléo – Configurer une communication point à point de type RS232 – LEnsE (institutoptique.fr)
- [16] EVAL-CN0411-ARDZ Shield Overview [Analog Devices Wiki] [27/05/2023].

- [17] https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD5683R_5682R_5681R_5683.pdf, [27/05/2023].
- [18] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG884.pdf>, [27/05/2023].
- [19] https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG1608_1609.pdf, [27/05/2023].
- [20] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8220-EP.pdf>, [27/05/2023].
- [21] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8628-8629-8630.pdf>, [27/05/2023].
- [22] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad7124-8.pdf>, [27/05/2023].
- [23] **DJS-1 CAPTEUR DE CONDUCTIVITE ET QUALITE DE L EAU COMPATIBLE ARDUINO ET STM32 (2betrading.com)**, [27/05/2023].
- [24] **What is an RTD | Understanding RTD Sensors | TE Connectivity**, [27/05/2023].