

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة مولاي الطاهر، سعيدة  
Université MOULAY Tahar, Saida



N° d'Ordre

كلية علوم الطبيعة والحياة  
Faculté de Science de la nature et de vie  
قسم البيولوجي  
Département de biologie

## Mémoire de fin d'étude de master

En biotechnologie

**Spécialité : Biotechnologie et génomique végétale**

Thème

---

# Contribution a une étude de culture hydroponique

---

Présenté par :

- Mlle : BOUFADI amira
- Mlle : OUAZANI Ikram

Soutenu le :

Présidant	Mr.	Pr Université UMTS
Examineur	Mme.	MCA Université UMTS
Examineur	Mr.	MAA Université UMTS
Rapporteur	Mme. HASNAOUI Okkacha	Pr Université UMTS

Année universitaire 2023/2024

**Dédicaces**

*Avec l'aide de Dieu tout puissant j'ai pu achever ce Travail que je dédie : A mes très chers parents qui m'élèvent BEN AMAR et FATIMA Pour tous leurs sacrifices, leur tendresse, leur soutien moral, leur prière tout longue de mes études, Leur capacité et de leurs encouragements de faite ce travail*

*A més chers chers sœurs, AMINA , SABRINA ,HADJER , CHAIMAA ,KAWTHaR et toute la famille de OUAZANI paternelle et maternelle*

*A mon amie chikh,*

*A mon binôme, AMIRA*

*A tout qui connaît de près ou de loin*

---

**Dédicaces**

*Je dédie ce travail à : A ma très chère idéal mère FATIMA. G source de tendresse, en témoignage de ma reconnaissance pour son amour, sa patience et sa compréhension*

*. A mon cher père ABDELKRIME. L'homme le plus parfait dans le monde, le secret de ma réussite et mon grand exemple qui à rêver toujours de me voir heureuse.*

*Que Dieu vous protège et vous réserve une longue vie pleine de bonheur et de santé.*

*A ma grand mère dejedia et grand père BELKACEME et mes oncles: HAFIDA, FATNA , BOUZIANE ,LAARADJ ,NOURDDINE ,MOHAMMED et qui sont toujours à mon côté dans les bons moments.*

*Mon binôme : IKRAM A toute la famille BOUFADI et OUAZANI*

---

## **Remerciements**

*Avant tout, nous remercions Dieu (Allah) tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de pouvoir accomplir le présent mémoire.*

*On tient à remercier tout particulièrement et vivement notre encadreur Monsieur HASNAUI OKACHA, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour la grande patience, ses encouragements, ses orientations et ses conseils précieux*

---

**Liste des abréviations**

NFT : Nutrient Film Technique

N : Azote

P : Phosphore

PH : Potentiel d'hydrogène

**Liste des tableaux**

Tableau 1: composition de solution nutritive. .... 21

Tableau 2: tableau des avantages et les inconvenients de systeme hydroponique  
(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) ..... 43

---

**Liste des figures**

Figure 1: Jardine suspendus de Babylone .....	5
Figure 2: Un système hydroponique passif. ....	6
Figure 3: Un système hydroponique actif.....	6
Figure 4: Système de table à marées. ....	7
Figure 5 : Un système de goutte à goutte .....	7
Figure 6: Système NFT. (Anonyme, 2013). ....	8
Figure 7: Les principaux substrats utilisés en culture hydroponique. (Bedrane, 2016).....	11
Figure 8 : Serre de l'université UTMS (cliché : BOUFADI ET OUAZANI, 2024).....	16
Figure 9: Tuyaux et dimensions: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	18
Figure 10: L'ossature: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	19
Figure 11: Pompes à eau: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	19
Figure 12 : réservoir et gouteurs: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	19
Figure 13: réservoir: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	19
Figure 14 : Goutteuses: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	20
Figure 15 :reservoir: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	20
Figure 16: les tuyaux du pompes: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	20
Figure 17: : (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	22
Figure 18: Le semis des grains de la salade et la germination des plantules (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	22
Figure 19: Support conçu: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	25
Figure 20: support vu sur net.....	25
Figure 21: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	26
Figure 22: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	26
Figure 23: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	27

---

Figure 24: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	27
Figure 25: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	27
Figure 26: Billes D'argille Source : <a href="https://www.amazon.fr/b?node=4338595031&amp;ref=sr_nr_n_1">https://www.amazon.fr/b?node=4338595031&amp;ref=sr_nr_n_1</a> .....	28
Figure 27: réservoir gouteurs(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	29
Figure 28: les pompe a eau (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	29
Figure 29 : les engrais (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	30
Figure 30: les nutriments(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	30
Figure 31:plantation de poivron (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	33
Figure 32: le poivre (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	33
Figure 33: la tomate(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	34
Figure 34: début de la croissance de laitue(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	34
Figure 35: système avant(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	35
Figure 36: système après(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024) .....	35
Figure 37: système sans plantes(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	35
Figure 38: système avec plants(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	36
Figure 39 : fonction des pompes(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	36
Figure 40: la solution nutritive .....	37
Figure 41(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	38
Figure 42 : (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024).....	38



## Résumé

La culture hydroponique a Saïda, en Algérie, permet une production agricole efficace grâce à l'optimisation de l'espace et l'économie d'eau, essentielles dans cette région aride . Elle offre une production toute l'année avec un contrôle précis des nutriments et une réduction des maladies. Malgré les défis du cout initial et de la maintenance technique, cette méthode innovante peut être développée avec le soutien gouvernemental, la formation et les partenariats .adopter la culture hydroponique a Saïda peut améliorer la sécurité alimentaire, créer des emplois et promouvoir la durabilité environnementale, renforçant ainsi notre relation avec la région et son développement durable.

Mots clé : culture hydroponique, optimisation de l'espace, région aride, cout initial, innovation, soutien gouvernemental, sécurité alimentaire,

**Abstract**

Hydroponic culture in Saïda, Algeria, enables efficient agricultural production through space optimization and water savings, crucial in this arid region. It provides year-round yields with precise nutrient control and reduced disease incidence. Despite initial cost and technical maintenance challenges, this innovative method can be developed with government support, training, and partnerships. Adopting hydroponics in Saïda can enhance food security, create jobs, and promote environmental sustainability, strengthening our relationship with the region and its sustainable development.

Keywords: hydroponic culture, space optimization, arid region, initial cost, innovation, government support, food security

## ملخص

زراعة الهيدروبونيك في سعيده، الجزائر، تمكّن من إنتاج زراعي فعّال من خلال تحسين استخدام المساحة وتوفير المياه، ما يعد أمرًا حيويًا في هذه المنطقة الجافة. توفر هذه الطريقة محاصيل على مدار السنة مع مراقبة دقيقة للعناصر المغذية وتقليل الإصابات بالأمراض. على الرغم من التحديات المتمثلة في التكلفة الابتدائية وصيانة التقنيات، يمكن تطوير هذه الطريقة الابتكارية بدعم من الحكومة والتدريب والشراكات. اعتماد الزراعة الهيدروبونيكية في سعيده يمكن أن يعزز الأمن الغذائي، ويخلق فرص عمل، ويعزز الاستدامة البيئية، مما يعزز علاقتنا بالمنطقة وتنميتها المستدامة.

كلمات مفتاحية: زراعة هيدروبونيكية، تحسين استخدام المساحة، منطقة جافة، تكلفة ابتدائية، ابتكار، دعم حكومي،

أمن غذائي

---

**Table des matières**

I.1. Introduction .....	1
CHAPITRE 1 : phénologie des arbres fruitiers .....	3
I.2. Généralité sur la culture hydroponique : .....	3
I.2.1. Aperçus générale sur la culture hydroponique : .....	3
I.3. Historique de la culture hydroponique : .....	4
I.4. Différents systèmes de culture hydroponique : .....	5
I.4.1. Système hydroponique actifs et passifs : .....	5
I.4.2. Système de table à marées (Flux-reflux) : .....	6
I.4.3. Système de goutte à goutte : .....	7
I.4.4. Système à flux continu : .....	8
I.4.5. Technique du film nutritif (N.F.T.) : .....	8
I.5. Exigences de la culture hydroponique : .....	9
I.5.1. Les substrats : .....	9
I.5.2. Solution nutritive : .....	11
I.6. Espèces cultivées en hors-sol : .....	14
I.6.1. Cultures légumiers sous serres : .....	15
I.6.2. Les cultures florales : .....	15
I.6.3. Arbres fruitiers nains : .....	15
II.1. Objectif de l'essai : .....	16
II.2. Conception du système hydroponique : .....	16
II.2.1. Lieu de l'expérimentation : .....	16
II.2.2. Description de système : .....	17
II.3. Résultat et discussion : .....	24
Conclusion générale .....	46
Références bibliographiques.....	49

# INTRODUCTION

---

## I.1. Introduction

De nos jours nous vivons des perturbations climatiques entraînant des changements au niveau de la quantité de pluies qui tombent et aussi une augmentation des températures. Ces facteurs influent sur la disponibilité d'eau. On s'attend à une raréfaction de l'eau et sa qualité devient mauvaise d'une part et les périodes de sécheresse seront plus fréquentes d'autre part. Ces conditions favorisent la multiplication des bactéries toxiques et les activités humaines seront affectées. Les productions agricoles seront mises en péril.

Pour répondre à ses besoins nutritionnels l'homme, depuis des milliers d'années, a pratiqué l'agriculture comme activité de base. Le substrat utilisé est le sol en tant que milieu de croissance de plantes pour les éléments nécessaires qu'il contient. Avec la maîtrise de cette activité grâce au progrès scientifique et technologique qu'a connu le secteur agricole, l'utilisation d'autres substrats est devenue une nécessité absolue. Parmi les possibilités on trouve la culture hors sol. Selon Mallem (2000) ce type de culture regroupe de nombreuses techniques innovantes qui se différencient par le mode d'apport des éléments nutritifs dont les plantes ont besoin pour leur développement.

La définition de la culture hors sol englobe tous les systèmes qui assurent la production végétale dans des conditions en dehors de sol dans lesquelles l'approvisionnement d'eau et de minéraux est réalisé dans des solutions nutritives avec ou sans moyen de substratum. Les systèmes de culture hors sol appelés systèmes hydroponiques, peuvent en outre être divisés en systèmes, où la solution nutritive excédentaire n'est pas recyclée, et les systèmes fermés, où l'excès de nutriments des racines sont collectés et recyclés. (Maucieri, 2019).

La culture hors sol représente actuellement une évolution technique importante sur les exploitations permettant de mieux s'adapter aux données économiques du marché en optimisant un maximum de facteurs. En Europe, elle occupe 800ha en France, plus de 3000ha aux Pays-Bas, 1000ha en Belgique et 30ha en Suisse. De même, elle a généré l'intention des agriculteurs un peu partout dans le monde, aux USA, en Russie, au Japon, en Inde et dans certains pays du Moyen-Orient (Sedki et Mimouni, 1995).

vu les performances agronomiques obtenues dans ce type de culture par rapport aux cultures traditionnelles en sol, les cultures hydroponiques se sont développées en raison de nombreux facteurs comme (Alain, 2003) :

- La diminution du milieu racinaire associée à l'irrigation localisée.
- La possibilité de mieux maîtriser la température des racines.
- La flexibilité et la mobilité des systèmes proposés permettent une meilleure des facteurs de production.

Aujourd'hui, on peut dire que c'est ces paramètres de performance agronomique favorisent les producteurs à se convertir à ce type de système de production.

Néanmoins en Afrique de nord et particulièrement en Algérie cette culture permet aux agriculteurs de s'installer dans les régions les plus défavorables, principalement le manque d'eau car notre pays a une tendance vers l'aridité. Selon les travaux de Chouard, (1952), les premiers travaux en Algérie ont été réalisés lors de la mise au pont des cultures hydroponique au Sahara à Béné-Abbes (In [https://www.lemonde.fr/archives/article/1959/07/15/le-sahara-pourra-t-il-grace-aux-cultures-sur-sable-faire-face-a-ses-besoins-en-legumes-frais\\_2152632\\_1819218.html](https://www.lemonde.fr/archives/article/1959/07/15/le-sahara-pourra-t-il-grace-aux-cultures-sur-sable-faire-face-a-ses-besoins-en-legumes-frais_2152632_1819218.html)).

Parmi les principales raisons d'introduction de la culture hors sol en Algérie figurent l'élimination des problèmes liés aux sols tels que les carences, les ravageurs et les maladies (Sedki et Mimouni, 1995) mais aussi le manque d'eau.

De nos jours l'Algérie a une tendance vers l'aridité, principalement dans la partie ouest algérienne. Les fluctuations des pluies sont fréquentes d'une part et cumul en termes de quantité reste faible. Dans la région de Saida le cumul est de l'ordre de 300 mm/an d'une part et on note une extension de la période sèche d'autre part. Le recours à ce type de culture (culture hors-sol) permettra de répondre aux besoins de la population en progression constante et devenu une priorité.

Le but de ce travail est mettre au point un système qui permettra de maîtriser la consommation de l'eau, la recyclée, la contrôlée et participer à répondre aux besoins de la population par la production des certains produits agricoles.

Nous tenterons de réaliser un système de production de légumes en se basant sur une irrigation contrôlée.

**PARTIE I : SYNTHASE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

---



## CHAPITRE 1 : phénologie des arbres fruitiers

### I.2. Généralité sur la culture hydroponique :

#### I.2.1. Aperçus générale sur la culture hydroponique :

Le terme « hydroponique » vient du grec « hydro », qui signifie « eau », et « ponos », qui signifie « travail ». On peut l'interpréter cela de différentes façons: « l'eau au travail », « le travail avec l'eau », ou encore « le travail de l'eau ». (William, 2013). Grâce à ce système on peut arroser les plantes directement aux racines. Ce système est l'un des plus répandus actuellement (les systèmes de plus en plus sont munis de récupérateur de solution nutritive, un bac contenant la ou les plantes et un autre qui contient la solution en dessous qui lui-même est percé pour y laisser passer le surplus.) de plus si les solutions sont récupérées, il ne peut, en principe, y avoir contamination des sols. De par ce fait, ce sont des systèmes peu polluants. Cette méthode de culture végétale est caractérisée par l'alimentation minérale des racines avec une solution nutritive qui ne nécessite pas de support solide. Si, par contre, un support est utilisé, celui-ci est qualifié du terme général de « substrat ». (Yves, 2008). La culture hydroponique consiste à cultiver des plantes sur un substrat neutre et intermédiaire (du type sable, billes d'argile, etc.). On distingue plusieurs substrats ayant des caractéristiques différentes tel que : le coût, le poids, l'impact écologique de leur production et des déchets après utilisation, leur durabilité en nombre de saisons, leur capacité de rétention d'eau, leur neutralité etc. Selon les variantes d'utilisation on peut retenir les substrats suivants :

- Le substrat peut être placé en vrac dans des bacs ;
- Le substrat peut se trouver dans des enveloppes ou des sacs disposés horizontalement ;
- Le substrat peut être sous forme de pains entourés de film plastique opaque, et être disposés horizontalement, soit sur des tables, soit sur le sol (il s'agit de pains de laine de roches), ou encore verticalement. Le pain de laine fournira à vos plantes un environnement à la fois stable et aéré. De plus, il permet une culture en hydroponie de précision, même avec un système d'irrigation basique.
- Le substrat peut être suspendu dans des sacs verticalement sous les serres (en utilisant par exemple de la perlite).

Un courant de solution irrigue régulièrement la plantée lui ramenant les sels minéraux et les nutriments essentiels. La culture hydroponique offre également la possibilité d'automatiser la culture particulièrement concernant les paramètres suivants : température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide «EC », ventilation. Cette technique largement utilisée en horticulture et dans la culture forcée de certains légumes sous serre. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nocturne plus rapide et permet plusieurs récoltes par an. **(William T., 2013).**

### **I.3. Historique de la culture hydroponique :**

Selon de nombreuses sources, les origines la culture hydroponique sont très lointaines les premières cultures hors-sol seraient apparues avec les fameux jardins suspendus de Babylone. Les célèbres jardins suspendus de Babylone (600 avant J.-C.), sont souvent mentionnés en référence à la première utilisation connue de l'hydroponie. Ces peuples s'établissaient non loin des marécages de la ville devenue Mexico ou ils faisaient leur jardinage basé sur la technique primitive de la culture hors-sol. L'histoire nous renseigne également qu'en Chine une technique de culture permet de cultiver des plantes sur gravier depuis des millénaires. Il faut donc noter que la culture hydroponique a des origines diverses et variées et a gardé une pratique plutôt primitive pendant des milliers d'années (<https://www.natureculture.org/post/quelle-est-lhistoire-de-la-culture-hydroponique>). En 1699 John Woodward, membre de la Royal Society of England, historien, naturaliste et passionné de botanique, mena à réaliser une expérience prouvant que les plantes puisent leur nourriture dans le sol et l'eau. En 1860 un scientifique allemand, Julius Von Sachs, a mis au point une formule d'une solution nutritive soluble dans l'eau stimule la croissance des plantes. Avec l'aide de Knop, un agrochimiste, il posa les premières bases de la culture à base d'eau. **(William, 2013).**



Figure 1: Jardine suspendus de Babylone

#### **I.4. Différents systèmes de culture hydroponique :**

Tous les systèmes hydroponiques sont plus ou moins composés des mêmes éléments: un réservoir, une pompe, un système de support, des tuyaux d'arrivée d'eau, des tuyaux d'évacuation et un conteneur de culture. (William, 2013). On peut le résumer ainsi :

##### **I.4.1. Système hydroponique actifs et passifs :**

Les systèmes hydroponiques se distinguent par la manière dont la solution nutritive est distribuée. Une première distinction est faite entre les méthodes d'absorption passive et les méthodes actives. (B Abdellah Mahdjoub.2022).

##### **A. Un système hydroponique passif :**

En l'absence de toute pièce susceptible de mal fonctionner. Le système à mèche fonctionne de manière autonome et transporte la solution nutritive aux racines par capillarité. (Albagli, .2009).



Figure 2: Un système hydroponique passif.

### **B. Un système hydroponique actif :**

Les systèmes hydroponiques actifs sont les plus performantes ; irrigation est déclenché quand il faut et à la juste quantité, conformément aux besoins des plantes. La circulation de la solution nutritive dans un système actif permet d'augmenter la concentration en dioxygène (O<sub>2</sub>) et d'homogénéiser la soupe nutritive. Ils permettent aussi d'obtenir des cycles de saturation en eau/sècheresse du substrat, contrairement aux systèmes passifs.



(Gilberto,2013).

Figure 3: Un système hydroponique actif.

### **I.4.2. Système de table à marées (Flux-reflux) :**

Les tables à marées, basées sur l'alternance du remplissage et du drainage, sont populaires car elles ont largement démontré leur facilité d'utilisation et d'entretien. Les plantes, en pots individuels ou dans des cubes de laine de roche, sont installées sur une table spéciale. La table est en réalité un plateau de culture qui peut contenir de 2 à 5 cm de solution

nutritive. En s'écoulant, l'eau crée un appel d'air riche en oxygène, qui entre en contact avec les racines. (Jorge, 2013).

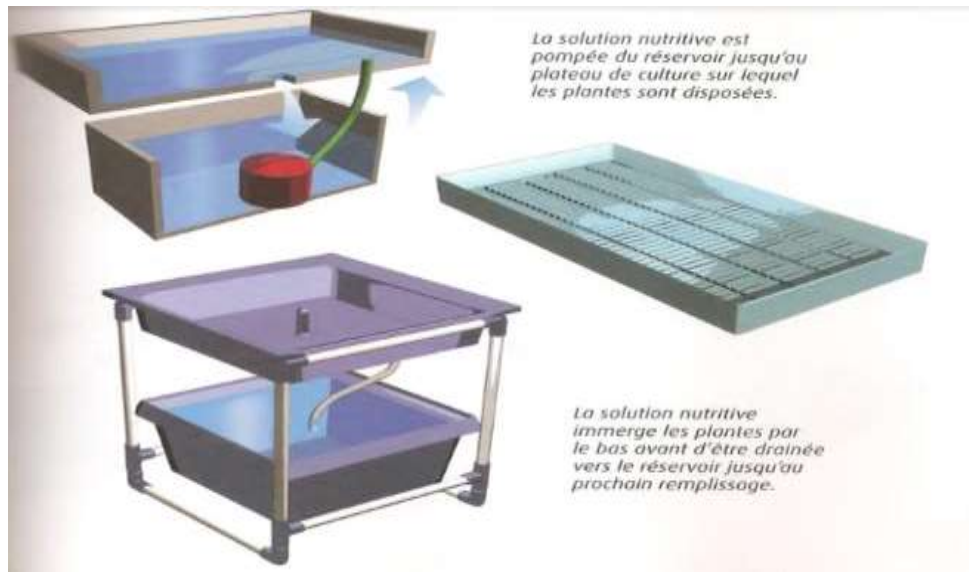


Figure 4: Système de table à marées.

#### I.4.3. Système de goutte à goutte :

Le Waterfarm ou système similaire de goutte à goutte est constitué de 2 bacs. Le bac inférieur contient la solution, le supérieur contient le substrat (bille d'argile en général) et les plantes. (Lecte, 2004).



Figure 5 : Un système de goutte à goutte

#### I.4.4. Système à flux continu :

Cette technique permet aux plantes de s'épanouir pleinement. Les plantes poussent dans des bacs opaques remplis le plus souvent de billes d'argile, car ce substrat n'engendre pas de déchets et donc n'encrasse pas le réservoir qui est placé au-dessous. Le mouvement continu du flux de la solution fait se gorger d'oxygène et humidifie constamment les racines ; celles-ci y puisent la nourriture plus facilement. (Anonyme, 2011).

#### I.4.5. Technique du film nutritif (N.F.T.) :

Le N.F.T (système nutriment film technique) est un système de culture utilisé par les professionnels de l'horticulture ne requiert pas de substrat, mais demande un apport d'une solution nutritive. La solution nutritive est composée des éléments nécessaires à la croissance de l'espèce cultivée. Les plantes vont absorber ces éléments via leurs racines qui sont immergées dans la solution. Les plantes sont disposées avec leurs mottes de substrats sur des plateaux de culture légèrement inclinés. Le liquide nutritif circule sur les plateaux sous la forme d'un fin film qui entre en contact avec les racines. Celles-ci se développent sur un tapis racinaire. L'oxygénation de la solution nutritive s'effectue par son déplacement dans les gouttières et par la grande surface d'échange du liquide avec l'air. (Gilberto, 2013).

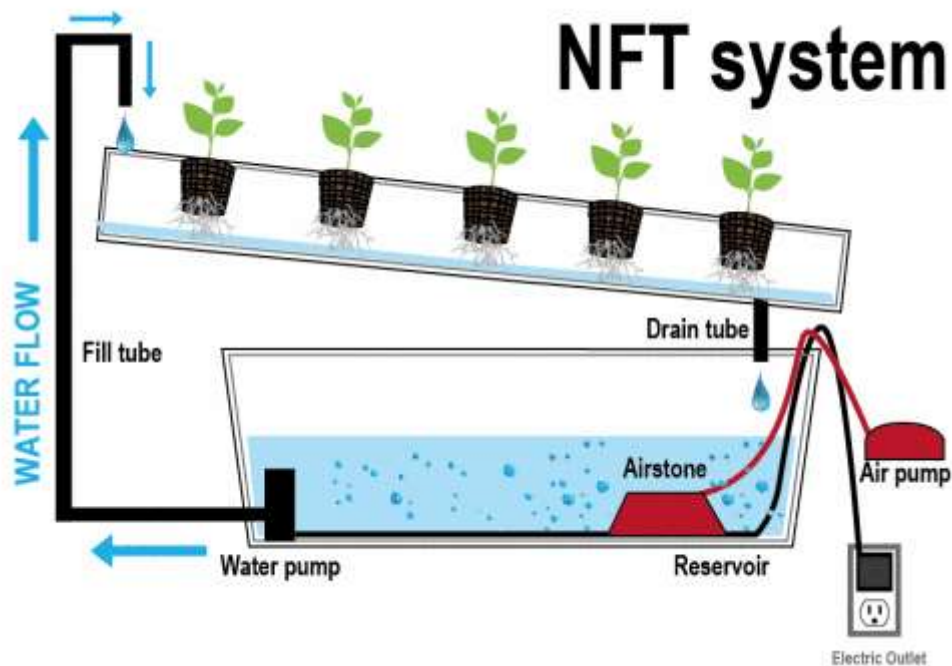


Figure 6: Système NFT. (Anonyme, 2013).

## **I.5. Exigences de la culture hydroponique :**

### **I.5.1. Les substrats :**

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériau, naturel ou artificiel qui, placé en conteneur, pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support. (**Blanc, 1987**). En culture hors-sol, les substrats ont un rôle de support solide. Ils n'ont pas de rôle nutritionnel direct puisque l'intégralité de l'alimentation en eau et de la nutrition minérale est apportée par la solution nutritive. Le choix d'un substrat se fait donc en fonction de ses propriétés mécaniques, physiques, chimiques et biologiques. (**Serge et Janice, 2009**). En culture hors-sol, une multitude de matériaux sont disponibles afin d'élaborer un substrat de culture. Ils peuvent être de nature inorganique ou organique. (**Valerie, 2015**). On peut citer les support suivants :

#### **A. L'origine organique :**

- **Tourbe** : L'appellation générale « tourbe » regroupe un grand nombre de matériaux qui renferment au minimum 75% de matière organique (sur base poids sec). (Morel et al. 2000). Ce sont des matériaux d'origine végétale, essentiellement organiques mousses, plantes vasculaires, plantes à fleurs et feuillus. Les propriétés fondamentales des tourbes sont : le comportement mécanique (élasticité, retrait), (rétention d'eau, aération) et chimique (teneur en azote et rapport carbone/azote). (**Bottraud, 1980**).
- **Fibre de coco** : La fibre de coco ou moelle est une ressource naturelle et renouvelable— produite à partir de cosses de noix de coco. Les cosses sont broyées, les fibres longues et moyennes sont enlevées, le coir restant étant constitué d'une moelle granulaire avec des fibres courtes. Il a de grandes capacités de rétention d'eau et de nutriments mais a une faible capacité d'échange de cations. (**Anonyme, 2012**).
- **Sphaigne** : C'est une plante aquatique, mousse, hydrophyte qui peut être partiellement décomposée. Son poids frais représente 10 fois de son poids sec grâce à une bonne rétention de l'eau (**Kyngjae, 2014**).

#### **B.L'origine minérale:**

- **Graviers** : Ces granulats minéraux destinés à la construction et aux travaux publics sont tirés des carrières (granite, basalte, calcaires durs) concassés puis calibrés pour donner des grains anguleux aux arrêtes vives, d'autres sont tirés de rivières une fois

calibrés, les grains sont arrondis ou émoussés. Ce sont en général des produits siliceux contenant des matériaux calcaires. (**Titouna, 2010**).

- **La vermiculite** : Est une argile phyllithes qui contient de l'eau.→ Lorsqu'elle est traitée à une chaleur d'environ 1100°C, l'eau comprise entre les feuillets provoque un gonflement de 10 à 12 fois l'épaisseur initiale produisant des fragments de 1 à 6 mm. (**Morard, 1995**).
- **La perlite** : Est un sable siliceux d'origine volcanique chauffé à plus de 1000°C qui→ fond et gonfle d'environ vingt fois son volume. Il en résulte des perles blanches vitreuses, légères, très poreuses, contenant 75% de silice initiale. (**Morard, 1995**).
- **Les billes d'argile** : Ce matériau ressemble à de petites boules brunes que l'on utilise→ pour recouvrir les pots de fleurs, les granulés sont obtenus par un traitement de forte chaleur de l'argile. L'argile expansée possède un bon pouvoir isolant, ce qui est nécessaire pour protéger les racines des changements de température. Il est composé de silice, d'alumine, d'oxydes de fer, et de soufre. Sa capacité de rétention en eau est de 15% en masse. (**Anonyme, 2011**).



Les substrats organiques	Les substrats minéraux
<p data-bbox="523 315 663 338" style="text-align: center;"><b>Polystyrène</b></p> 	<p data-bbox="1043 322 1230 344" style="text-align: center;"><b>Argile expansée</b></p> 
<p data-bbox="536 607 651 629" style="text-align: center;"><b>La tourbe</b></p> 	<p data-bbox="1050 591 1225 613" style="text-align: center;"><b>Laine de roche</b></p> 
<p data-bbox="549 954 638 976" style="text-align: center;"><b>Terreau</b></p> 	<p data-bbox="1066 954 1209 976" style="text-align: center;"><b>Vermiculite</b></p> 

Figure 7: Les principaux substrats utilisés en culture hydroponique. (Bedrane, 2016).

### I.5.2. Solution nutritive :

Une solution nutritive est une solution de sels minéraux contenant à l'état dissout toutes les éléments minéraux dont la plante a besoin. Cette solution nutritive doit être complétée équilibrée « équilibre entre l'eau et chaqu'un des ions suivant les besoins relatifs de la plante, en plus une égalité équivalente entre anions et cations » (**Bouhadja, 2008**).

#### A. Besoins en éléments nutritifs :

Un élément essentiel est un élément chimique dont une plante a besoin durant son cycle de développement, et qui permet à la plante de passer de la période dormance à la vie active en traversant les différentes étapes (**Hopkins, W. G. 2003**).

On divise généralement les éléments essentiels à une plante en :

- Éléments majeurs ou macroéléments : Azote(N), potassium(k) et le phosphore (P), encore appelé NPK Ce sont ceux dont la plante a besoin en plus grande quantité. ( **Mawussi, et al, 2016** ).
- Les nutriments ou les éléments secondaires : le calcium Ca, le magnésium Mg et le soufre S, ils sont nécessaires en moins de quantité par apport aux les macroéléments. (**Coïc, Y,1989**)
- Éléments mineurs ou oligoéléments (macroéléments) : le fer le zinc le manganèse Bore chlore. (**Estevez B.,2006**).

### **B .Gestion de la solution nutritive :**

La nutrition optimale soit facile à réaliser dans la culture hors-sol, la gestion incorrecte de la solution nutritive peut endommager les plantes et conduire à un échec complet, bien que la nutrition optimale puisse être facile a atteindre dans la culture hors-sol , une mauvaise gestion de la solution nutritive peut causer des dommages aux plantes et même entrainer un échec total de la culture. En d'autres termes, même si le système semble simple, il nécessite une attention particulière pour éviter les problèmes qui pourraient compromettre la croissance des plantes (**Bellefontaine R., 2018**). Manipuler avec précaution le niveau de pH de la solution nutritive, la température et la conductivité électrique et le remplacement de la solution à chaque fois que c'est nécessaire conduira à la réussite d'un jardin de culture hors-sol. (**Sonneveld et Voogt, 2009**).

#### ➤ **Le pH :**

La gamme de pH optimale pour la solution nutritive de culture hors-sol est comprise entre 5,8-6,5.Plus le pH d'une solution nutritive dépasse la gamme de pH recommandée, plus on a de chances d'échouer .chaque espèce cultivé a un ph spécifique la tomate entre 5.5-7.5. (**Sonneveld et Voogt, 2009**).

#### ➤ **Conductivité électrique (CE) :**

La conductivité électrique indique la concentration de la solution nutritive, elle mesurée par un conductimètre. L'unité de mesure de la CE est le dS/m.La CE idéal est spécifique à chaque culture et dépend des conditions environnementales. Pour les systèmes hydroponiques les valeurs de la CE sont de 1,5 à 2,5 ds/m. (**Sonneveld et Voogt, 2009**).

➤ **Température :**

La température de la solution nutritive présente une relation directe avec la quantité d'oxygène consommée par les plantes, et une relation inverse de l'oxygène dissous en elle. (**Samarakoon et al, 2006**).

**I.6. Les avantages et les inconvénients**

**I.6.1. Les avantages**

Il y a beaucoup d'avantages, dont les plus importants sont :

- Fourniture de soixante-dix à quatre-vingt-dix pour cent (90-70%) d'eau utilisée dans acile de compter entièrement sur les pesticides organiques et la désintoxication chimique, l'utilisation de pesticides organiques et de la détoxification chimique comme moyens de réduire la quantité d'eau utilise dans l'agriculture. elle suggère que utilisant ces méthodes, on peut économiser entre soixante-dix et quatre-vingt-dix pour cent de l'eau habituellement nécessaire pour cultiver les cultures. La possibilité de production dans des zones non adaptées à l'agriculture, y compris les sols Affectés par la salinité avec le besoin d'eau douce Très utile pour les amateurs d'élevage à domicile, ils n'ont pas besoin d'un endroit dédié mais peut être placé n'importe où dans la maison comme les fenêtres, les toits, etc.,
- Le produit aquatique est caractérisé par la propreté et la non-pollution par les engrais
- Le produit se distingue également par sa dureté, sa cohésion et sa longue durée de Conservation.
- Il existe des systèmes automatisés qui contrôlent les solutions et le taux d'acidité et de sels et de contrôle autour de l'horloge (**BOUDHAR, L. 2018**).
- Moins d'utilisation de produits phytosanitaires.
- Pas de perte d'intrants si la solution nutritive est recyclée en hors-sol ou sur des cultures de pleine terre.
- Potentiel de rendement élevé.
- Diminution du risque de contamination des cultures par les bios agresseurs. Maîtrise de l'irrigation et de la fertilisation.
- Traitements phytosanitaires réduits et ciblés. Faible mobilisation de surface dans un contexte de pression foncière. (**Simon et Minatchy, 2009**).

- Changez le pH de la solution (pH) facilement ainsi vous devriez suivre le taux exact D'acidité.
- La possibilité de transmission de maladies fongiques à travers le réservoir d'irrigation, en particulier dans le système fermé. **(Al-obailan, 2015)**.
- Rigueur sanitaire obligatoire.
- Réactivité immédiate au moindre problème sanitaire ou de nutrition.
- Prévoir du temps pour la préparation des solutions nutritives, la surveillance en cours de culture et toutes les opérations nécessaires à la fin du cycle cultural (manipulation des substrats et du réseau de distribution de la solution nutritive).
- Technicité requise importante.
- Investissements variables selon le mode d'élaboration des solutions nutritives et la gestion de l'irrigation.
- Investissements pour les bâtiments : exemples à La Réunion : 20 à 30 €/m<sup>2</sup> pour une serre en couverture plastique sans travaux ni équipement et 75 à 100 €/m<sup>2</sup> pour une serre chapelle « anticyclonique ».
- Risques élevés de problèmes survenant soit en cas d'erreur du planteur soit en cas de

Défaillance du matériel

#### **Les inconvénients de la culture hydroponique :**

- Coût élevé au a l'initiation de la culture en raison de l'achat du matériel .
- Il est nécessaire de contrôler régulièrement le PH et l'EC.
- Consommation accrue d'engrais.
- La proximité de l'eau et des câbles rend nécessaire une amélioration de la sécurité.
- Pour éviter les fuites pendant l'absence du cultivateur, il est indispensable d'utiliser des bacs de qualité suffisante.

#### **I.6. Espèces cultivées en hors-sol :**

Avec un système hydroponique, vous n'êtes pas vraiment limité dans le type de plante que vous souhaitez cultiver, avec un conteneur assez grand, vous pouvez toujours faire pousser un arbre en leur sein, il s'agit de vérifier les exigences de la plante elle-même pour assurer un milieu pour la croissance et les niveaux de nutriments appropriés dans la solution utilisée. **(Morrow, 2015)**.

### **I.6.1. Cultures légumiers sous serres :**

Le développement des techniques hors-sol date des années 75 aux Pays-Bas, et du début des années 80 en France.

- **La tomate :** Est largement cultivée en hors-sol: laine de roche, fibres de coco, tourbe, bois, pouzzolane, écorce de pin, mousse de polyuréthane, ... sous toutes les latitudes.
- **Le concombre, l'aubergine, le poivron :** n laine de roche principalement et aux Pays-Bas surtout (+ France, Belgique, Danemark et Grande-Bretagne pour le concombre)  
La laitue sur bandes de laine de roche ou en hydroponique mais de façon très peu développée compte-tenu de la faible rentabilité économique du hors-sol sur cette production (il existe cependant des productions hydroponiques de laitues en Belgique et au Québec).
- **Le fraisier:** en laine de roche, en coco ou en conteneurs de terreaux tourbeux en Belgique, Grande-Bretagne et aux Pays-Bas. (**Alain, 2003**).

### **I.6.2. Les cultures florales :**

Les premiers essais remontent au début des années 80, d'abord sur œillets en sacs de tourbe puis en laine de roche, puis sur gerberas et roses. (**Alain, 2003**).

### **I.6.3. Arbres fruitiers nains :**

Les travaux de montrent que. On peut aussi cultiver des choses plus exotiques comme les orangers nains ou même les citrouilles, vous devrez juste vous assurer que vous avez le bon milieu et les nutriments nécessaires. (**Morrow, 2015**).

**PARITE II : PARTIE  
EXPERIMENTAL**

# **CHAPITRE 1 : MATERIEL ET METHODES**

## II.1. Objectif de l'essai :

Dans cette étude nous nous sommes orientés vers une problématique qui touche nos ressources naturelles hydriques de plein fouet ; ceux-ci nous a guidé la conception d'un système d'irrigation contrôlé et son application.

L'objectif de l'essai, est de concevoir et de fabriquer un système hydroponique en goutte-à-goutte et en continu, en se concentrant uniquement sur l'appareil sans inclure de plantes. Ce système devra démontrer la capacité de fournir une solution nutritive de manière continue et efficace aux emplacements où les plantes seraient situées, en simulant les conditions optimales pour la culture hydroponique (<https://blog.veritable-potager.fr/hydroponie-culture-hors-sol>).

## II.2. Conception du système hydroponique :

### II.2.1. Lieu de l'expérimentation :

. Pour des considération pratiques et surtout contraignantes la réalisation et l'expérimentation se sont déroulées dans la serre nouvellement acquise par l'université Dr Moulay Tahar Saida, c'est une serre en Plastique conçu par l'entreprise « BARAKA » (photo ci-après).



Figure 8 : Serre de l'université UTMS (cliché : BOUFADI ET OUAZANI, 2024)



### II.2.2. Description de système :

Le projet se concentre sur la démonstration des principes de fonctionnement et de l'efficacité du système en fournissant une solution nutritive de manière continue et/ou de manière intermittente. L'imagination a été faite de manière à gérer les quantités d'eaux de manière raisonnée d'une part et contrôlée le suivi phénologique des plantes retenues dans ce genre d'expérience d'autre part.

On peut résumer le protocole comme suit :

- L'ossature: elle est en métal ; conçu en tube carré de diamètre 16mm. Le choix de cette dimension est lié la légèreté du tube et aux frais (prix). Au final le support ne doit pas être lourd pour nous faciliter son déplacement. De l'autre côté nous avons choisi des dimensions qui nous permettent de gérer les expériences que nous avons réalisé. La hauteur globale est de 1 m, la largeur est de 25 cm ; la longueur est 1m. Nous avons imaginé une ossature (table) qui nous facilite le suivi des expériences. Cette dernière est divisée en trois niveaux : Le niveau supérieur à 1,2 m de hauteur est réservé à la cuve d'eau ; deux niveaux qui vont porter les tuyaux expérimentaux. Nous avons aussi créé un niveau pour un réservoir qui permet de recevoir le surplus d'eau non utilisé par la plante (Photos N°2 L'ossature).
- Réservoir de la solution : les réservoirs (2 réservoirs) utilisés dans notre système en plastique opaque d'une capacité de 9 litres chacun ; le premier est placé en haut de la table et le deuxième est placé en bas. Les deux contiennent la solution nutritive. Les deux réservoirs sont en communication avec des pompes. Les solutions nutritives sont mises à la disposition des plantes à travers des tuyaux interconnectés.
- Pompe à eau : submergée dans le réservoir, elle pousse la solution nutritive a travers les tuyaux.
- Les tuyaux d'irrigation : les tuyaux utilisés sont des tuyaux flexibles qui assurent l'alimentation et la distribution de la solution nutritive et qui aliment l'ensemble des pots de plantes utilisés ;
- Les conteneurs (Tuyaux et Tubes): sont des tuyaux en plastique pvc de 90mm et 110 mm de diamètre assurant le placement des pots des plantules.
- Goutteurs : nous avons utilisés des perfuseurs tuyaux de sérum ;

- Minuterie : un dispositif programmable pour automatiser les cycles d'arrosage, contrôlant la fréquence de la durée de fonctionnement de la pompe.
- Support de culture des plantes: Nombreux sont les supports de culture ; terreau, laine de verre, laine de roche utilises pour stimuler l'endroit ou les plantes seraient situées.
- Tuyau de retour : un tuyau pour renvoyer l'excès de solution nutritive de plateau de culture au réservoir.



Figure 9: Tuyaux et dimensions: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 10: L'ossature: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 11: Pompes à eau: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 13: réservoir: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 12 : réservoir et gouteurs: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 14 : Goutteuses: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 15 :reservoir: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

Figure 16: les tuyaux du pompes: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

### **3. Matériels utilisés :**

#### **3.1. Matériels végétales :**

Le matériel végétal utilisé dans notre expérimentation est la salade, le piment et la tomate.

#### **3.2. Substrat :**

Le substrat est d'une grande valeur pour la germination et la croissance des plantes en hydroponie. Différents substrats sont utilisés (terreau, laine de verre, perlite, sable etc.). Si on prend le terreau, qui est largement utilisé en hydroponie; il a pour caractéristiques ce qui suit :

Les principales caractéristiques et la composition de ce terreau sont décrites ci-dessous :

Composition : Tourbe blonde : 50% ; Compost vert : 30% ; Ecorce de pin composte : 10% ; perlite : 10%.

Caractéristiques Physico-chimique :

- pH : 6,5
- capacité de rétention d'eau : 60%
- Teneur en matière organique : 30%
- Nutriments disponibles : Azote (N), Phosphore (P), Potassium (K)

#### **3.3. La solution nutritive (Tab .1):**

L'utilisation de ces solutions nutritives a été faite ; durant le jour de repiquage des plantules et l'activation du système ; avec des volumes connus pour chaque phase de

développement (chaque phase avec son volume). On a ajouté la solution FLORA Gro et le 2ème solution FLORA Micro en même temps dans l'eau avec l'agitation pendant 2min, puis on a ajouté la 3ème solution FLORA Bloom. La solution nutritive utilisée et de pH entre [6 – 6,5] et la conductivité électrique est 1,4 dS/m.

Tableau 1: composition de solution nutritive.

<b>Solution mère</b>	<b>Composition</b>
<b>Flora Gro</b>	-Azote total N 3% ; -MgO 0,18% ; -K <sub>2</sub> O 6% ; -Azote nitrique 2% -Azote ammoniac 1%    -P <sub>2</sub> O 1%
<b>Flora Micro</b>	-N 5%            - CaO 1.4%, -NH <sub>4</sub> 1.5%   - Bore 0.001%; -NH <sub>3</sub> 3.5 %            - Cu 0.01 %; -K <sub>2</sub> O 1.3% ; -Fe 0.12 %; -Mn 0.05% ; -Zn 0.015% -Mo 0.002%
<b>Flora Bloom</b>	-P <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 5%   - SO <sub>3</sub> 5% ; - K <sub>2</sub> O 4%    -Mg 3%



Figure 17: : (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

#### **4. Repiquage et plantation :**

La plantation se fait après le semis des grains de la tomate qui a été effectué le 13/05/2024 dans des gobelets, le repiquage a été réalisé le 17/05/2024 où l'apparition de 2 feuilles de chaque plantule pour les 4 variétés



Figure 18: Le semis des grains de la salade et la germination des plantules (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

# **RESULTAT ET DISCUSSION**

**:**

## **II.3. Résultat et discussion :**

### **A- Conception du système hydroponique :**

La culture hydroponique est une méthode de culture de plantes sans sol de manière horizontale ou verticale, où les nutriments minéraux sont fournis par l'eau. Deux opportunités s'offrent à nous : Systèmes verticaux et horizontaux.

- 1- Les systèmes hydroponiques qui permettent de cultiver des plantes verticalement sont connus sous le nom de culture hydroponique verticale. La culture hydroponique verticale fonctionne en utilisant des techniques hydroponiques conventionnelles dans un système vertical alimenté par gravité. L'eau riche en nutriments est alimentée par le haut et collectée par le bas. La culture hydroponique verticale présente divers avantages par rapport aux méthodes de production agricole traditionnelles. Les avantages sont une densité de rendement élevée par unité de surface, idéale pour les petits endroits ensoleillés tels que les balcons, les terrasses et les toits. De plus, il permet une production en intérieur toute l'année et offre une efficacité d'utilisation de l'eau de plus de 90 pour cent, sans maladie ni brûlure du sol.
- 2- Les systèmes hydroponiques horizontaux participent eux aussi à l'amélioration des quantités de production agricole. Elle est aussi très utilisée et permet l'amélioration des productions agricoles dans des superficies restreintes soit en champ et/ou sous conditions contrôlées tel que les serres ou autres.

### **1- Conception de notre système hydroponique :**

Dans le cadre de notre travail de Master II nous avons conçu un système basé sur deux méthodes d'alimentation en eau : a) Continue ; b) goutte à goutte.

Le système imaginé est modulable, il est constitué par un support créé par l'encadrant et nous-même.

#### **1.1- Le support est métallique :**

Le support est un élément essentiel pour notre travail. Nous l'avons conçu en métal modulable avec des dimensions qui nous permettent de gérer les expériences que nous avons programmé dans notre investigation. Le dimensionnement de notre support est comme suit :

- i- La hauteur globale est de 1 m,
- ii- La largeur est de 25 cm ;
- iii- La longueur est 1 m.

Nous avons imaginé un support (table) qui nous facilite le suivi des expériences.

La table est divisée en trois niveaux :



- i- Le niveau supérieur à 1,2 m de hauteur est réservé au réservoir d'eau ;
- ii- Deux niveaux qui vont porter les tuyaux expérimentaux.

Nous avons aussi créé un niveau pour un réservoir qui permet de recevoir le surplus d'eau non utilisé par la plante (Photo N° 17).



Figure 19: Support conçu: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 20: support vu sur net

**a) Quel tube pour hydroponie ?**

Pour des considérations pratiques nous avons utilisé des tubes et des raccords en PVC. Le choix porté sur ce matériel est basé sur la non nocivité des ces tubes. Ils sont d'ailleurs largement utilisés dans le cadre des cultures hydroponiques. Ils présentent des caractéristiques notables pour ce genre d'expériences d'une part et sont utilisé par la plupart des pratiquant pour la plomberie des systèmes d'aquaponie.

Quant aux diamètres, cela va avec les attentes de chaque expérience. Il existe différents diamètres à commencer par 30 mm, 40 mm ; 60 mm etc. Dans notre cas et selon le support déjà fabriqué par nos soins nous avons retenus deux diamètres : 110mm et 90 mm.

### **Pourquoi ce choix ?**

On est contraint de mettre deux tuyaux par niveau, et avec les dimensions déjà faites au préalable, nous n'avons pu retenir que ces deux diamètres.

Quant aux longueurs, nous avons opté pour 1,10 m.

### **Support de plantation :**

C'est un élément de grande importance puisqu'il sera le support du matériel végétal. Nous avons utilisé des gobelets achetés du marché. Ceux qu'on a acheté sont transparent et répondent à nos attentes. Néanmoins ils ont été travaillé (percer) pour pouvoir faire circuler de l'eau et les nutriments. Nous nous sommes assurés qu'ils ne soient pas toxiques pour la santé publique et pour les plantes (Figure N° 23 ,24 ,26).



Figure 21: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 22: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 24: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

Figure 23: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 25: (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

### **Substrat de croissance :**

La sphaigne du chili est le support idéal pour ce type de culture. Elimination du besoin de pesticides chimiques grâce aux propriétés antibactérienne de la sphaigne. Réduction de la consommation d'eau grâce à la capacité de rétention d'eau et de réhydratation de la sphaigne.

Globalement les substrats de croissance largement utilisé sont les suivants :

- i- Billes d'argile ; ii- Granulés ; iii- Laine de roche, iv- Perlite ; v- Sable

Certaines firmes internationales utilisent la fibre de coco. La fibre de coco est un substrat hydroponique absorbant, largement utilisé dans la culture hydroponique des légumes. Il est idéal pour la culture hydroponique de graines ou de semis. La fibre de coco distribue très bien l'eau d'irrigation et maintient une bonne aération des racines (Figure N°28)

Ces substrats ont de caractéristiques permettant de maintenir les plantes en place d'une part et régule certains phénomènes comme la limitation de l'évaporation d'eau.



Figure 26: Billes D'argile Source : [https://www.amazon.fr/b?node=4338595031&ref=sr\\_nr\\_n\\_1](https://www.amazon.fr/b?node=4338595031&ref=sr_nr_n_1)

Dans notre cas nous nous avons pris en considération de nombreux points, et nous nous sommes convaincu de travailler avec les substrats qu'on peut trouver sur le marché ou bien peut confectionner nous-même. Nous avons opté pour la fibre de laine, sciure de bois, sable fin, la laine de verre et du terreau.

### **Les réservoirs :**

Nous avons mis deux réservoirs dans notre cas, le premier placé en haut de notre système, son rôle est d'alimenter notre circuit hydroponique. La capacité est de 20 litres. Il a été travaillé de sorte à ce qu'il répond à nos attentes expérimentales. Il présente un couvercle afin d'éviter toute déperdition d'eau d'une part et de l'autre côté il a été travaillé tout en intégrant un système qui permet la descente d'eau soit par écoulement soit en goutte



à goutte. C'est donc un système binaire (écoulement en permanence, goutte à goutte) ; écoulement gravitationnel permanent et/ou en goutte à goutte qui sera géré par un occulteur. Le réservoir numéro deux est placé en bas du système, il permettra de récupérer l'eau qui circule en plus, et qui sera refoulé vers le premier réservoir à travers un système de refoulement (pompe à eau) et qui le déversera au premier réservoir.



Figure 28: les pompe a eau (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 27: réservoir gouteurs(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

### **L'eau et les nutriments :**

Pour la nutrition des plantes, il suffit que les racines soient toujours immergées et en contact avec l'eau et ne touche pas les feuilles. Pour garder toute l'oxygène et les nutriments il est nécessaire la changer une à deux fois par semaine. Le système le plus populaire en aquaculture consiste à immerger entièrement les racines des plantes dans de l'eau riche en nutriments. Un système de pompe viendra ensuite oxygéner l'eau pour ne pas les asphyxier.

### **Comment préparer la solution nutritive hydroponique ?**

1. Tout d'abord, remplissez votre réservoir d'eau.
2. Puis ajoutez-y vos engrais.
3. Il est nécessaire de connaître la conductivité de la solution,
4. Utilisez le pH-mètre pour une solution équilibrée.



Figure 29 : les engrais (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 30: les nutriments(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

### **Quand changer l'eau d'un système hydroponique ?**

Changer l'eau du système tous les 5 à 7 jours pour garder un pH compris entre 6 et 7.

### **Quelles sont les plantes adaptées à l'hydroponie :**

Devant les attentes socio-économiques et les changements climatiques et l'aridité de nombreuses régions du globe les attentes des populations changent d'un pays à un autre.

Ce type de culture hors sol est pourtant le principal mode de production des fruits et légumes que nous consommons. Fraises, salades ou fleurs sont les «3/4 de plantes cultivés en hydroponique, certaines données donnent 90% pour les tomates sous serre.

Les plantes les plus valorisées dans le domaine socio-économique sont les plus attractives dans l'hydroponie. Ce sont les fraises, les salades (laitues), Dans la nature, les cycles biologiques naturels renouvellent constamment la vie microbienne du sol et les vers de terre et autres petits habitants modifient sa structure. Les racines des plantes installées dans le sol y trouvent eau et nourriture grâce à ce renouvellement constant .

Dans un pot, la terre confinée et isolée de la nature perd rapidement ses qualités d'origine. La terre se tasse et se compacte avec les arrosages. Les racines qui apprécient beaucoup l'oxygène s'asphyxient. La vie microbienne disparaît rapidement et les aliments présents dans le sol ne sont plus transformés en éléments chimiques de base assimilables par les racines.

En fait, après quelque temps, la terre devient un support de culture pratiquement inerte avec de piètres qualités mécaniques. Régulièrement arrosée elle se tasse et si elle se dessèche, elle devient difficile à ré humecter.

Pour ces raisons, une plante élevée en terre dans un pot sera toujours limitée dans sa croissance et sujette à des problèmes.

Les bénéfices des cultures hors sol sont aujourd'hui à la portée des amateurs et des professionnelles. On utilise généralement les termes : hydroponie ou hydroponique pour désigner cette science. Pour l'amateur de plantes d'intérieur, c'est la bonne alternative à la culture en terre. On peut s'en convaincre avec un simple conteneur à réserve d'eau ou l'on remplace la terre par des flocons de laine de roche horticole ou de la fibre de coco. Une plante installée dans ce support idéal pour les racines va prospérer avec le minimum de soins : lumière, eau et engrais (<https://www.cityplantes.com/content/9-culture-sans-terre-la-culture-de-plantes-en-hydroponie>); de nos jours cette culture a pris une ampleur très

importante avec des productions en quantité principalement dans les zones arides ou le manque de pluies est une réalité.

### **Quelles plantes d'intérieur se prêtent bien à la culture hydroponique ?**

Nombreuses sont les plantes qui ont un impact socio-économique et/ou socio-culturel. Dans el cadre de l'hydroponie certaines espèces sont utilisées en vase clos et ont un impact environnemental très important. Ils sont utilisés pour améliorer le décor intra-salon et/ou intra-maison. Leur part en hydroponie est à prendre en considération. Les exemples suivants (photos) nous donnent un aperçu sur ces plantes.



D'autres plantes d'intérieur et/ou ornementale pourront faire l'objet d'une culture hydroponique on peut citer à titre d'exemple : Anthurium, Bambou de la chance ; Bégonia maculata, **Plante** araignée ; Philodendron.

Aussi on peut même faire des cultures hydroponiques des plantes médicinales et voici quelques exemples : La Sauge, Le Romarin, Le Basilic, La Lavande etc.

### **Quelles sont les plantes utilisées dans notre expérimentation ?**

Dans notre cas nous avons opté pour des plantes à caractères maraichers c'est à dire que nous pouvons utiliser dans notre cuisine, il s'agit des plants de tomates, laitues et des piments.

Cependant vu le temps alloué à cette investigation le suivi phénologique n'a pu être achevé d'une part et des contraintes extérieures à notre volonté ont entravé nos expériences.

Les conditions dans lesquelles nos expériences ont été réalisées étaient stressantes (températures élevées, manque d'eau etc.).





Figure 31:plantation de poivron (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 32: le poivre (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 33: la tomate(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 34: début de la croissance de laitue(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

### **B- Fonctionnement du système:**

Le projet de fabrication d'un système hydroponique a abouti à la création d'un appareil capable de cultiver des plantes sans sol. Le système utilise une solution nutritive pour fournir les minéraux nécessaires aux plantes, la construction d'un système hydroponique sans y inclure les plantes permet de tester et d'évaluer les divers composants du système avant l'introduction de la culture végétale. Voici les principaux résultats obtenus de cette phase de test :



Figure 35: système avant(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

Figure 36: système après(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

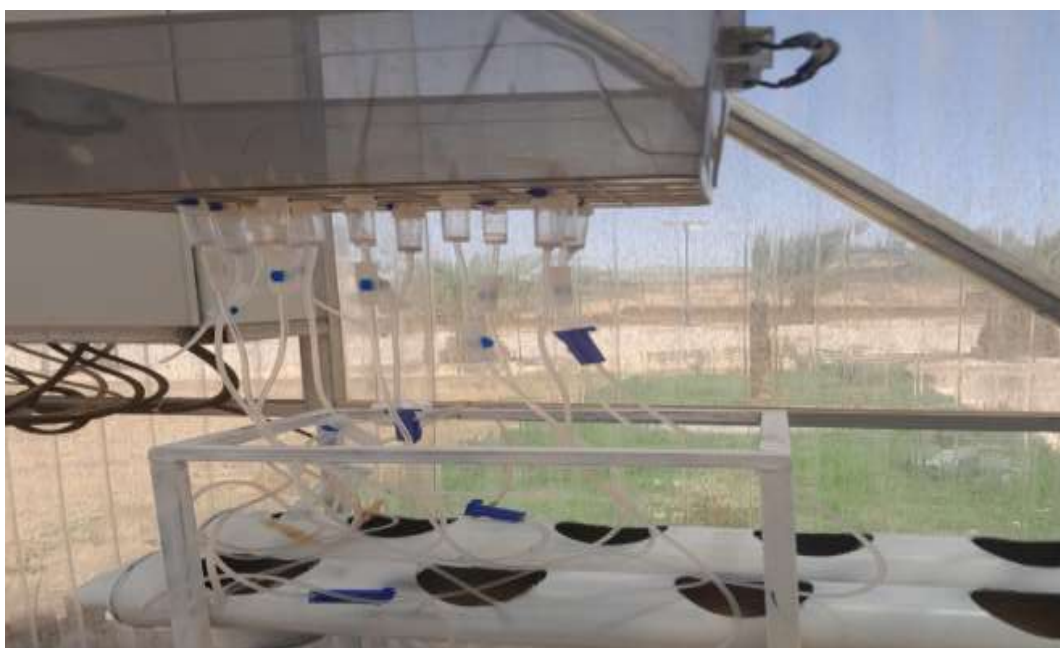


Figure 37: système sans plantes(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)





Figure 38: système avec plants(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

### 1.1. Fonctionnement des pompes :

- Les pompes utilisées pour la circulation de la solution nutritive ont été testé pour vérifier leur débit et leur régularité.
- Aucune fuite ou défaillance mécanique n'a été observé, confirmant la fiabilité des pompes installées.



Figure 39 : fonction des pompes(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

### **1.2. Distribution de la solution nutritive :**

- La distribution uniforme de la solution nutritive à travers les différentes parties du système a été confirmée.
- Les systèmes de goutte à goutte et les aérateurs ont fonctionné efficacement, assurant une bonne oxygénation et un apport régulier de nutriments.



Figure 40: la solution nutritive

### **1.3. Réservoir et circulation de l'eau :**

- Le réservoir a montré une capacité adéquate pour contenir la solution nutritive sans débordement.
- La circulation de l'eau a été fluide, avec une recirculation efficace grâce aux pompes et aux conduites.



Figure 41(Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)



Figure 42 : (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

#### **1.4. Contrôle des paramètres :**

- Les systèmes de contrôle automatisé (pH= conductivité électrique, température) ont été testé et calibré.
- Les capteurs ont montré des lectures précises et les systèmes de contrôle ont été ajusté les niveaux de nutriments et de ph de manière appropriée.

##### **a. Structure et stabilité :**

- La structure physique du système a été vérifiée pour assurer sa stabilité et sa robustesse.
- Aucune faiblesse structurelle n'a été détectée, même sous des conditions de fonctionnement prolonge.

### **2. Système goutte-à-goutte :**

#### **2.1. Uniformité de l'irrigation :**

- Le système a fourni une distribution uniforme de la solution nutritive à chaque plante, ce qui a favorise une croissance homogène.
- Les émetteurs de goutte à goutte ont fonctionné sans obstruction, assurant une délivrance constante et régulière des nutriments.

## **2.2. Consommation d'eau :**

- La consommation d'eau a été optimisée grâce à l'application précise de la solution nutritive directement aux racines, réduisant les pertes par évaporation ou drainage excessif.

## **2.3 Maintenance et facilité d'utilisation :**

- Le système a nécessité un entretien minimal, principalement la vérification des émetteurs pour éviter les blocages.
- La simplicité de conception a facilité les ajustements et les réparations.

## **2.4. Croissance des plantes :**

- Les plantes ont montré une croissance saine et vigoureuse, avec des racines bien développées et une absorption efficace des nutriments.

## **3. Système continu :**

### **3.1 Circulation de la solution nutritive :**

- La solution nutritive a circulé en continu, assurant un approvisionnement constant en nutriments et en oxygène aux racines des plantes.
- La recirculation a permis une utilisation efficace des ressources nutritives.

### **3.2. Stabilité des paramètres :**

- Les niveaux de pH et de nutriments ont été maintenus stables grâce à la recirculation continue, réduisant les variations brusques qui perturbent l'alimentation des plantes.

### **3.3. Consommation d'Énergie :**

- Le système a consommé plus d'énergie en raison de la nécessité de faire fonctionner les pompes en continu.
- Cependant, l'efficacité accrue de la recirculation a compensé certains coûts énergétiques en améliorant la croissance des plantes.

### **3.4. Maintenance et surveillance :**

- Le système a nécessité une surveillance continue pour s'assurer que les pompes fonctionnaient correctement et que la solution nutritive ne stagnait pas.
- Des ajustements réguliers étaient nécessaires pour maintenir les niveaux de nutriments et de pH optimaux.

## **C- Croissance des plantations**

Les plantes ont montré une croissance rapide et saine, bénéficiant de l'apport constant de nutriments et d'oxygène. La structure racinaire était particulièrement bien développée, grâce à l'irrigation et à l'aération constante. Après le repiquage une croissance a été constaté chez les plantules utilisées ; cependant vu les conditions stressantes que connaît le lieu d'expérimentation (température élevée, manque d'aération dans la serre et d'électricité pour faire fonctionner le système) le suivi phénologique n'a pas réussi.

L'opération de suivi mérite une attention particulière et un lieu où les conditions expérimentales doivent être réunies ; ce n'était pas le cas pour nous.

### **C- Comparaison du système hybride utilisé :**

La comparaison repose sur un certain nombre de points et principalement :

- i- Efficacité de la distribution de l'eau et des éléments nutritifs ;
- ii- Consommation de l'eau ;
- iii- Consommation de l'énergie ;
- iv- La maintenance du système.

#### **C.1. Efficacité de la distribution de l'eau :**

- Le système goutte-à-goutte a démontré une excellente capacité à fournir une distribution précise de la solution nutritive à des points spécifiques. Ce système a la particularité d'imbiber l'ensemble des racines, ce qui favorise leurs développements.
- Le système continu assure une distribution homogène et constante, idéal pour maintenir des conditions stables. Ce dernier assure une ambiance humide pour les parties extrêmes des racines sans pour cela imbiber les parties proches du collet de la plante.

#### **C.2. Consommation et gestion de l'eau :**

- Le système goutte-à-goutte a montré une utilisation plus efficace de l'eau, avec une distribution ciblée réduisant les pertes.
- Le système continu, bien que consommant plus d'eau et d'énergie, à assurer une meilleure stabilité des conditions nutritives.



### **C.3. Maintenance et facilité d'utilisation :**

- Le système goutte-à-goutte a été plus facile à entretenir, avec moins de surveillance nécessaire.
- Le système continu a nécessité une maintenance plus intensive mais il a offert des avantages en termes de stabilité des paramètres.

### **C.4. Consommation d'énergie :**

- Le système goutte-à-goutte a été plus économe en énergie, nécessitant moins de puissance pour les pompes.
- Le système continu a consommé plus d'énergie en raison du fonctionnement continu des pompes, mais a compensé cela par une efficacité accrue dans la recirculation des nutriments.

## **D- Avantages et inconvénients des cultures hydroponiques :**

Il faut noter que toutes les formes de culture hydroponique sont basées sur un système d'eau fermé. Cela signifie que l'eau est utilisée et renvoyée vers un réservoir central. Dans l'agriculture conventionnelle, l'eau d'irrigation est utilisée une fois, puis perdue. En hydroponie, l'eau est utilisée et réutilisée plusieurs fois, sur des périodes pouvant aller jusqu'à plusieurs semaines. Cette approche différente de l'utilisation de l'eau se traduit par des réductions importantes de la consommation d'eau.

Globalement la réduction de l'eau en culture hydroponique peut aller jusqu'à 10 fois moins voir même 13 fois selon certaines recherches soit un 80 à 90 % d'eau de moins pour obtenir le même rendement (Fleursdubien.fr) (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydroponie?oldid=113357437>) .

Il faut rappeler que la culture hydroponique, permet de cultiver des plantes sans avoir besoin d'une parcelle de terre. Au lieu de cela, un petit terrain peut contenir des tubes verticaux contenant des plantes, ce qui multiplie l'efficacité de l'endroit de culture. En effet, sans avoir besoin de terre, la culture peut se faire à l'intérieur comme à l'extérieur des espaces dédiés à ce genre de spéculation, tels que les serres, des bâtiments ou des toits.

Même si l'on ne tient pas compte de ces espaces de culture alternatifs potentiels, l'efficacité même du transfert de nutriments associé à la culture hydroponique peut augmenter le rendement.

## **E-Avantages et Inconvénients de la culture hydroponique**

L'agriculture hydroponique est un domaine technologique ; elle dépend donc de l'énergie pour fournir des conditions optimales aux cultures. Toutes les méthodes hydroponiques sont confrontées au défi de fournir de l'eau ou de l'oxygène aux racines des plantes. Bien que les différentes méthodes soient confrontées à des défis différents, elles s'accompagnent toutes de solutions consommatrices d'énergie.

Dans un tel contexte, les racines des plantes utilisées sont constamment noyées dans l'eau. Pour fournir de l'oxygène dans cette situation, des pompes à air sont nécessaires. Si l'on considère que les opérations à l'échelle commerciale peuvent utiliser de grands réservoirs, le besoin de pompes à air augmente, de même que les frais liés à cette technique.

Dans d'autres cas tel que les techniques de la NFT (nutriment film technique) les racines sont souvent partiellement à l'air, ce qui leur fournit de l'oxygène dont elles ont besoin. L'oxygène supplémentaire est fourni dans le réservoir en créant une « chute d'eau » à partir du système de tuyaux ou d'une simple pompe à air. L'essentiel de la consommation d'énergie associée à cette méthode provient des pompes à eau, qui font circuler l'eau du réservoir jusqu'au sommet de la formation de tuyaux, et éventuellement jusqu'au réservoir, en fonction de la conception du système. Alors que les pompes à air sont relativement peu gourmandes en électricité, les pompes à eau nécessitent une puissance plus élevée.

Dans ce contexte, la consommation d'électricité est beaucoup plus élevée que dans l'agriculture conventionnelle. Toutefois, la majeure partie de l'augmentation provient des systèmes de contrôle climatique, qui sont les mêmes que ceux utilisés dans les serres traditionnelles.

Bien que le contrôle du climat soit présent à la fois dans les serres hydroponiques et dans les serres conventionnelles, il peut représenter un plus grand défi, et donc nécessiter plus d'énergie, dans un environnement hydroponique.

Ce système permet de servir de support à la plante tout au long du cycle de sa vie. La simplicité du système permet un entretien assez simple et rapide. Des avantages et des inconvénients peuvent être déduits de ce système, on peut en retenir ce qui suit :

Tableau 2: tableau des avantages et les inconvénients de système hydroponique (Cliché Boufadi et Ouazzani, 2024)

Avantages	Inconvénients :
<p>1-Ce système permet une augmentation de la production au m<sup>2</sup> ;</p> <p>2- Il permet de faire une économie en eau et en énergie ;</p> <p>3- Raccourcissement de la période de culture (d'au moins une semaine sur un cycle par rapport à une culture traditionnelle sur terre) ;</p>	<p>1- Ce système n'est pas écologique, car, après avoir arrosé les substrats, la solution nutritive n'est pas réutilisable ;</p> <p>2- Une accumulation importante de déchets de plus souvent non recyclables est provoquée par l'utilisation de substrats ;</p> <p>3- Il provoque une augmentation de l'humidité dans le milieu de culture.</p>

## F- Sélection et choix des cultures

La culture hydroponique est une méthode de culture efficace qui a fait ses preuves, mais toutes les cultures ne partagent pas le même sentiment lorsqu'il s'agit de cultiver sans terre.

Les cultures qui ont tendance à mieux pousser dans un système hydroponique sont généralement peu exigeantes en nutriments et ont un système **racinaire relativement peu profond**.

Les légumes verts à feuilles et à fruits (basilic ; la laitue, l'épinard ; piments, tomates etc.) sont donc des candidats de choix. La plupart des fermes hydroponiques commerciales se concentrent sur ce type de plantes.

Les cultures à éviter dans un tel contexte sont principalement **les plantes racines** (carotte, radis etc.). Les pommes de terre, les carottes et les radis sont tous plus performants avec de la terre. Il est cependant tout à fait possible de les cultiver, à condition que le système soit conçu de manière à offrir un espace racinaire adéquat. Il peut être difficile d'assurer la profondeur nécessaire à ces racines dans des systèmes tels que le NFT. Les systèmes racinaires se développent dans les canalisations et peuvent facilement les obstruer.

Les cultures qui nécessitent de grands espaces, comme la pastèque ou le maïs, ne sont tout simplement pas viables économiquement dans une serre hydroponique, en raison des grands espaces nécessaires. La clé la plus importante pour une culture réussie est, avant tout, d'adapter la technique de culture optimale à chaque culture.

### **Contraintes liées à l'application de l'hydroponie :**

#### **Lutte contre les parasites**

L'élimination de la terre de l'espace de culture influe sur la variété des parasites rencontrés. Bien que cela puisse être tantôt un avantage, tantôt un inconvénient, il est important d'en prendre note et d'agir en fonction de l'environnement créé dans votre serre. Il est important de noter que tout problème rencontré se propage beaucoup plus rapidement dans un environnement hydroponique. Cela est dû à la densité des cultures et à la suppression du tampon physique que constitue le sol.

Les ravageurs courants tels que les pucerons restent une nuisance dans les cultures hydroponiques, et les cultivateurs doivent les combattre en utilisant les mêmes tactiques. Il est important de noter que le type de support utilisé peut, ou non, constituer un terrain propice aux formes larvaires de divers organismes nuisibles. Par exemple, les larves de thrips se développent tout aussi bien dans la laine de roche, mais ne pourraient pas exister sans milieu de culture. Les pucerons des racines, quant à eux, parviennent à s'accrocher aux racines dans une installation où les racines sont à l'air libre, sans milieu de culture.

# **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

## Conclusion générale

La culture hydroponique représente une avancée significative dans les méthodes agricoles modernes, offrant des solutions innovantes afin de relever les défis alimentaires et environnementaux croissants que connaît le monde. En éliminant la nécessité de présence du sol, cette technique permet de cultiver des plantes dans des environnements contrôlés, optimisant ainsi l'utilisation des ressources naturelles qui est contrôler l'apport des nutriments d'autre part.

Notre zone (wilaya de Saida) est située dans une climat semi-aride voir même aride et ou l'eau est très prisée et en continuelle absence. D'où l'intérêt de cette étude.

Nos attentes étaient orientées vers la conception d'un système de culture hors sol (culture hydroponique) et son expérimentation.

Au final le système conçu a été bien muri (bien réfléchi) dans lequel nous avons réalisé de nombreux tests en passant par l'apport d'eau aux plantes en continu et/ou goutte à goutte d'une part en utilisant différents d'autre part.

Il est clair que la conception du système hybride (continu et goutte à goutte) nous a permis de connaître l'efficacité du système et qui mérite une attention particulière.

Les résultats de notre étude sur la culture hydroponique mettent en évidence l'efficacité les avantages substantiels de cette méthode de culture.

Les systèmes hydroponiques, qu'ils soient en goutte-à-goutte ou en continu, permettent de gérer et contrôler l'eau et les nutriments avec une distribution précise et uniforme ce qui favorise une croissance végétale rapide et saine. Cette façon de voir l'avenir aura sans aucun doute des retombées socio-économique importante sur les marchés locaux. L'application peut se faire pour de nombreuses cultures principalement les légumes comme la tomate, la salade etc., l'horticulture (plantes ornementales) voir même quelques plantes à fruits tel que les fraises.

Dans notre cas nous avons déduit que le système goutte-à-goutte, en particulier, s'est révèle économe en énergie et facile à entretenir, offrant une irrigation ciblée avec des pertes minimales. En revanche, le système continu, bien

que plus énergivore, assure une stabilité optimale des conditions de croissance grâce à la recirculation constante des nutriments. Malgré les défis initiaux liés aux coûts et à la complexité technique, les résultats obtenus confirment que la culture hydroponique est une méthode viable et prometteuse pour une agriculture durable, capable de répondre efficacement aux besoins alimentaires croissants tout en préservant les ressources naturelles.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**



## Références bibliographiques

- Abdellah Mahdjoubi, B., Boudjema Djeflal, Y., & Touil, S. (2022). Conduite de la fertigation des cultures fraise, laitue et tomate dans un système hydroponique.
- Agre, P. (2004). Aquaporin water channels (Nobel lecture). *Angewandte Chemie-International Edition*, 43(33), 4278-4290.
- ALAIN V, 2003 - Fondements & principes du hors-sol : Doc V 3.1 HRS 12 Ind. 10P.
- Albagli, C. (2009). Les sept scénarios du nouveau monde.
- AlBloushi, A. F., Dheyab, A. M., Al-Swaina, N. F., Al-Obailan, M., Daif, A. K., & Abu El-Asrar, A. M. (2021). Clinical findings and outcomes of uveitis associated with multiple sclerosis. *European Journal of Ophthalmology*, 31(2), 482-490.

### B

- Bellefontaine, R. (2018). La régénération par graines et par multiplication végétative à faible coût (dragons et boutures de segments de racine).
- Bottraud, J. C. (1980). Relations entre la composition micromorphologique des tourbes et leur comportement hydrique, mécanique et physico-chimique.
- BOUDHAR, L. (2018). *Conception d'un système de capteur pour l'analyse des propriétés physico-mécanique du sol en temps réel* (Doctoral dissertation).
- Bougoul, S., & Titouna, D. (2010). Study of a nutrient solution flows in a saturated rockwool slab using the model of sources and sinks. *Transport in porous media*, 85, 477-487.
- BOUHADJA-LAFER, H. (2008). *AMELIORATION ET STIMULATION DE LA CROISSANCE VEGETATIVE PAR LE PROCEDE FERT-IRRIGATION EN ARIDO-CULTURE* (Doctoral dissertation, INA).

### C

- Carter, M., Jemth, A. S., Hagenkort, A., Page, B. D., Gustafsson, R., Griese, J. J., ... & Stenmark, P. (2015). Crystal structure, biochemical and cellular activities demonstrate separate functions of MTH1 and MTH2. *Nature communications*, 6(1), 7871.

- Castronuovo, E. D., & Lopes, J. P. (2004). On the optimization of the daily operation of a wind-hydro power plant. *IEEE Transactions on Power systems*, 19(3), 1599-1606.
- Coïc, Y. (1989). Les oligo-éléments en agriculture et élevage: Incidence sur la nutrition humaine.
- Cunha-Ferreira, I., Bento, I., Pimenta-Marques, A., Jana, S. C., Lince-Faria, M., Duarte, P., ... & Bettencourt-Dias, M. (2013). Regulation of autophosphorylation controls PLK4 self-destruction and centriole number. *Current Biology*, 23(22), 2245-2254.

### E

- Estevez, B. (2006). L'importance des éléments mineurs: des carences à la toxicité Une préoccupation en agriculture biologique. *Agriculture, pêche et Alimentation Québec*, 2.
- Eyheraguibel, B., Silvestre, J., & Morard, P. (2008). Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource technology*, 99(10), 4206-4212.

### H

- Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale*. De Boeck Supérieur.

### K

- Kolani, L., Mawussi, G., & Sanda, K. (2016). Assessment of organochlorine pesticide residues in vegetable samples from some agricultural areas in Togo. *American Journal of Analytical Chemistry*, 7(4), 332-341.

### L

- Labeyrie, L. D., Duplessy, J. C., & Blanc, P. L. (1987). Variations in mode of formation and temperature of oceanic deep waters over the past 125,000 years. *Nature*, 327(6122), 477-482.

### M

- Mahdjouba, H. A. B. B. A. S. Essaie de quelques cultures sous un système hydroponique dans la région de Biskra.

- Morrow, R., Rodriguez, A., & King, N. (2015). Colaizzi's descriptive phenomenological method. *The psychologist*, 28(8), 643-644.

### P

- Prénom, N. O. M. LA CULTURE HYDROPONIQUE DE L'ORGE.

### S

- Samarakoon, U. C., Weerasinghe, P. A., & Weerakkody, W. A. P. (2006). Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture.
- SEDKI, M. E. M. A., & Mimouni, A. (1995). Effets de substrats locaux sur tomate en culture hors sol. *INRA, CENTRE REGIONAL DU SOUSS-SAHARA, BP L, 24.*
- Serge, S., & JANICE, M. (2009). Guide de la tomate hors sol à La Réunion, CIDAR. *La Réunion*
- Simon, S., & Minatchy, J. (2009). *Guide de la tomate hors sol à la Réunion.* CIRAD.
- Sonneveld, C., Voogt, W., Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). *Plant nutrition in future greenhouse production* (pp. 393-403). Springer Netherlands.

### Site web

- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydroponie?oldid=113357437>
- Hydroponie: culture hors sol, (2016) (<https://blog.veritable-potager.fr/hydroponie-culture-hors-sol/>)