

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 عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département Agro-Alimentaire



### *Mémoire de Fin d'Etudes*

Pour l'obtention du diplôme de Master en : Protection des végétaux

Domaine : Agro-Alimentaire

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des Végétaux

### **Thème**

**L'Hydroponie : une technique innovante pour la production et la protection des cultures – collection et analyse des données-**

#### ***Présenté Par :***

Abdelkader Nassim MEKKI

#### ***Devant le jury composé de :***

Dr. Amel Zitouni	UAT.B.B (Ain Temouchent )	Présidente
Dr. Hadjira ABDELLAOUI	UAT.B.B (Ain Temouchent )	Examinatrice
Dr. Meryem BENAHMED-CHEKROUN	UAT.B.B (Ain Temouchent )	Encadrante
Dr. Mahalaïne Lyllia	Eleveur des bovins	Invitée

*Année Universitaire 2022/2023*

## Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier en premier lieu,  
Dieu tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience à fin de  
Réaliser cette étude.

Nos vifs remerciements vont en particulier à Mme BENAHMED-CHEKROUN Meryem,  
maître de Conférence à l'université de Ain Témouchent, de nous avoir proposé ce sujet,  
accepté de nous encadrer et de diriger notre travail par ses précieux conseils et ses  
encouragements.

Nous exprimons toute notre gratitude aux membres de jury :

Nous remercions Mme ZITOUNI Amel, maître de conférences à l'université  
d'Ain Témouchent, pour avoir accepté de présider le jury de soutenance, Madame  
ABDELLAOUI Hadjira pour avoir accepté d'examiner ce travail et de tout ce qu'elle  
nous a apporté tout au long de nos études.

Remerciements chaleureux

Nous remercions Mme *Mahalaine Lyllia*

de nous avoir ouvert les portes de son exploitation.

Nos remerciements vont aussi à tous nos professeurs du département des  
sciences de la nature et de la vie particulièrement les enseignants de la filière  
protection des végétaux chacun par son nom. Vous restez à nos yeux des personnes  
entières et pleines de talents aussi bien dans la recherche que dans les relations humaines.

Merci beaucoup à tous ce que vous avez fait pour nous.

Nous remercions particulièrement nos parents pour leur soutien, leur  
Amour et leurs encouragements sans cesse renouvelés. Nous leur sommes à jamais

Reconnaissant.

## ***Didicas***

### ***A mon très cher père***

*Je tiens à honorer l'homme que vous êtes. Grâce à vous j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Votre soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour vous.*

### ***A ma très chère mère***

*Aucune dédicace très chère mère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous. Vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement. Vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand soutien pour mener à bien mes études.*

*A ma seule sœur RACHDA.*

*A mes frères WALID & ABDELKARIM.*

*A tous mais amis.*

## **Résumé**

L'hydroponie est la culture de plantes dans une solution aqueuse riche en nutriments. Elle permet de cultiver une large gamme de plantes, de cultures et de légumes. La qualité du rendement, le goût et la valeur nutritionnelle des produits finis obtenus par hydroponie sont généralement supérieurs à ceux obtenus par culture naturelle dans le sol.

Pour mieux comprendre cette méthode, en synthétisant les travaux les plus récents sur le sujet, une revue bibliographique a été élaborée. A cet égard, une contribution à la réalisation d'une culture d'orge hydroponique avec l'étude de son impact sur la santé des vaches laitières a été réalisée. Pour ce faire, une chambre hydroponique de 40 m<sup>2</sup> et une ferme de 15 vaches laitières ont été mises en place.

Les résultats ont montré que la culture hydroponique de l'orge permet d'obtenir des rendements élevés en seulement sept jours. L'alimentation en orge hydroponique a un impact positif sur la santé générale des vaches laitières.

**Mots clés :** revue, culture hors sol, hydroponie, orge, santé animale

## الملخص

الزراعة المائية هي زراعة النباتات في محلول مائي غني بالمغذيات. يمكن استخدامه لزراعة مجموعة واسعة من النباتات والمحاصيل والخضروات. تتفوق جودة المحصول والطعم والقيمة الغذائية للمنتجات النهائية التي تم الحصول عليها عن طريق الزراعة المائية بشكل عام على تلك التي يتم الحصول عليها عن طريق الزراعة الطبيعية في التربة. من أجل الحصول على فهم أفضل لهذه الطريقة، تم وضع مراجعة بيبليوغرافية، تلخص أحدث الأعمال حول هذا الموضوع. في هذا الصدد، تم تقديم مساهمة في تحقيق استزراع الشعير في الماء مع دراسة تأثيره على صحة الأبقار الحلوب. ولهذه الغاية، تم إنشاء غرفة للزراعة المائية بمساحة 40 مترًا مربعًا ومزرعة بها 15 بقرة حلوب. أظهرت النتائج أن زراعة الشعير في الزراعة المائية تنتج غلات عالية في سبعة أيام فقط. إن تغذية الشعير المائي له تأثير إيجابي على الصحة العامة للأبقار الحلوب.

**الكلمات المفتاحية:** مراجعة، الزراعة بدون تربة، الزراعة المائية، الشعير، صحة الحيوان.

## **Abstract**

Hydroponics is the cultivation of plants in a nutrient-rich aqueous solution. It can be used to grow a wide range of plants, crops and vegetables. The yield quality, taste and nutritional value of the end products obtained by hydroponics are generally superior to those obtained by natural cultivation in soil.

In order to gain a better understanding of this method, a literature review has been drawn up, summarizing the most recent work on the subject. In this respect, a contribution was made to the realization of a hydroponic barley culture with the study of its impact on the health of dairy cows. To this end, a 40 m<sup>2</sup> hydroponic chamber and a farm with 15 dairy cows were set up.

The results showed that hydroponic barley cultivation produces high yields in just seven days. Feeding hydroponic barley has a positive impact on the overall health of dairy cows.

**Keywords :** review, soilless culture, hydroponics, barley, animal health

## Table des matières

Remerciements.....	I
Dedicace.....V.....	II
Résumé.....	III
المخلص.....	IV
Abstract.....	V

Table des matières
Liste des abréviations
Liste des figures
Liste des tableaux

### Introduction Generale

#### Première partie: Revue les cultures hors sol 'Hydroponie'

<b>I-</b> Fonctionnement des structures hydroponiques.....	1
1. Méthode de la Mèche.....	2
2. Méthode de flux-reflux » ou table à marées.....	2
3. Méthode à percolation ou goutte à gouttes.....	3
4. Culture en eau profonde (DWC).....	3
5. Technique de ruissellement nutritif ou Technique du Film Nutritive (NFT)	4
6. Technique de l'Aéroponie.....	4
<b>II-</b> Substrats utilisés en hydroponie.....	5
1. Substrats organiques.....	6
2. Substrats inorganiques.....	6
<b>III-</b> Solution nutritive en hydroponie.....	7
1. Nutriments pour les plantes hydroponiques.....	8
2. Symptômes des déficiences en nutriments chez les végétaux.....	9
3. pH et conductivité électrique (CE) de la solution nutritive.....	11
4. Température de la solution nutritive en hydroponie.....	12
5. Niveaux d'oxygène dissous dans la solution nutritive.....	13
<b>IV-</b> Rendement des végétaux dans un système hydroponique.....	14
<b>V-</b> Avantages et inconvénients de la culture hydroponique par rapport à la culture traditionnelle.....	15

#### Deuxième partie : Matériel et Méthodes

1. Zone d'étude.....	18
2. Suivi et réalisation de la culture hydroponique du l'orge .....	18
2.1.Description de la chambre hydroponique.....	18
2.2.Les étapes de production de l'orge hydroponique.....	19
2.2.1. Traitement préalable des semences.....	20
2.2.2. Phase de pré germination.....	20
2.2.3. Phase de « germination » ou de culture.....	21
3. Contribution à l'étude de Influence de l'orge hydroponique sur la santé des vaches laitières.....	23

#### Troisième partie : Résultats et Discussion

1. Les étapes de la culture de l'orge hydroponique.....	25
---	----

2. Contribution à l'étude de l'influence de l'orge hydroponique sur la santé des vaches laitières.....	27
2.1.Composition du cheptel.....	27
2.2.Taux et conditions d'alimentation en orge hydroponique.....	27
2.3.Variations notées en matière de santé de l'animal.....	27
2.4.L'inconvénient de la méthode.....	28
2.5.l'efficacité de la méthode en matière de production laitière.....	28
2.6.les difficultés dans cette méthode.....	28
2.7.les avantages de cette méthode.....	28
Conclusion & Perspectives.....	32
Références bibliographiques.....	33

## Liste des abréviations

pH : potentiel hydrogène

NFT : la culture en eau profonde et la technique du film nutritif

DWC : Culture en eau profonde

°C : température

PRH : Les coques de riz étuvées

O<sub>2</sub> : oxygène

UV : ultraviolet

CE : conductivité électrique

m<sup>2</sup> : mètre carré

cm : centime mètre

kg : kilo gramme

ha : hectare

J : jour

## Liste des Figures

Fig. 01 : Système hydroponique Mèche	2
Fig. 02 : Système hydroponique Flux et reflux	2
Fig. 03 : Système hydroponique Goutte à goutte	3
Fig. 04 : Système hydroponique Culture en eau profonde	3
Fig. 05 : Système hydroponique NFT	4
Fig. 06 : Système hydroponique type Aérophone	4
Fig. 07 : Exemples de substrats utilisés en hydroponie	5
Fig. 08 : Situation géographique de la zone d'étude.	18
Fig. 09 : Chambre hydroponique avec panneau de commande	19
Fig. 10 : Etapes de la culture hors sol de l'orge	19

Fig. 11 : Etapes de préparation de l'orge dans les plateaux pour entrer dans la Chambre hydroponique	21
Fig. 12 : Résultats de la culture d'orge hydroponique	25

### Liste des Tableaux

Tableau 01 : Forme et composition (valeurs cardinales) des nutriments absorbés par les plantes proposée par différents scientifiques.	9
Tableau 02 : Symptômes des déficiences en nutriments chez les végétaux	10
Tableau 03 : Valeurs optimales du pH et de l'EC pour différentes cultures hydroponiques	11
Tableau 04 : Solubilité de l'oxygène dans l'eau pure à différentes températures	14
Tableau 05 : Comparaison des rendements de différentes cultures entre la culture hydroponique et la culture en plein champ	15
Tableau 06 : conditions de réalisation de la phase de germination de blé hydroponique	22
Tableau 07. Questions proposées pour évaluer l'influence de l'alimentation en orge hydroponique sur la santé des vaches laitière	23
Tableau 08 : Composition du cheptel de l'unité d'étude	27
Tableau 09: Frais d'alimentation de 20 vaches avec de l'orge hydroponique et sans orge hydroponique	29



# **Introduction Générale**

En plein de civilisation, l'agriculture en plein champ, basée sur le sol, est confrontée à des défis majeurs, dont le plus important est la diminution de la disponibilité des terres par habitant. En 2013, avec une population mondiale de 6 milliards d'habitants, la surface de terre par habitant était de 0,25 hectare, mais aujourd'hui, avec plus de 8 milliards d'habitants, elle n'est plus que de 0.17 hectare et d'ici 2050, avec une population de 9.7 milliards elle atteindra 0.10 hectare (ONU, 2022). En raison de l'urbanisation et de l'industrialisation rapide, ainsi que de la fonte des icebergs (un impact évident du réchauffement climatique), les terres arables cultivées vont encore diminuer. Là encore, l'état de fertilité des sols a atteint un niveau de saturation et la productivité n'augmente plus avec l'augmentation du niveau d'application d'engrais.

En outre, la faible fertilité des sols dans certaines zones cultivables, la diminution des chances d'amélioration naturelle de la fertilité des sols par les microbes en raison de la sécheresse fréquente et l'imprévisibilité du climat et des conditions météorologiques, l'augmentation de la température, la pollution des rivières, la mauvaise gestion de l'eau et le gaspillage d'énormes quantités d'eau, baisse du niveau des nappes phréatiques, etc. dans le cadre de l'agriculture conventionnelle basée sur le sol. Avec ces conditions et dans un avenir proche, il sera impossible de nourrir l'ensemble de la population en utilisant uniquement le système de production agricole en plein champ.

Dans le contexte actuel, la culture hors-sol devient de plus en plus pertinente pour répondre à ces défis. L'hydroponie a été développée comme un système de culture qui offre un meilleur environnement pour le développement des racines des plantes. En outre, elle permet de produire des cultures dans des zones où les sols sont totalement impropres à la culture (déserts, zones côtières, zones rocheuses, etc.), ce qui garantit une croissance plus rapide et un temps de récolte plus court, une production plus élevée par unité de surface et une qualité de produit optimale, combinée à une utilisation efficace de l'eau et des nutriments. Enfin, la réduction de l'impact sur l'environnement au cours de ce processus de production est également remarquable.

La culture hydroponique est pratiquée avec succès dans plusieurs pays du monde. Aujourd'hui, c'est le système le plus intensif et le plus efficace pour la production de légumes en serre, et une pratique courante populaire (à plus ou moins grande échelle) dans la plupart des pays européens, tandis que les perspectives les plus prometteuses pour son expansion se

trouvent dans les régions de la Méditerranée, de l'Afrique du Nord et de l'Extrême-Orient. (Simons et Tsouvaltzis., 2022). Les chercheurs scientifiques estiment qu'il occupera une position dominante pour faire face aux récents problèmes environnementaux et qu'il devrait être intégré dans la conception des zones urbaines à l'avenir, offrant la possibilité de produire des légumes à l'intérieur, en tirant parti des réalisations modernes de haute technologie.

. Ce travail se veut donc une contribution –au côté des autres travaux internationaux- à l'étude de l'hydroponie afin d'attirer l'attention des agriculteurs et des autorités algériennes sur cette méthode prometteuse qui peut résoudre énormément de problèmes.

Cette étude vise les objectifs suivants :

1. Présenter une revue en matière de l'hydroponie ;
2. Evaluer la mise en œuvre d'une culture d'orge hydroponique au niveau d'une ferme située à Ain Témouchent,
3. Sensibiliser les autorités et les agriculteurs algériens pour qu'ils prennent au sérieux l'application et le suivi des cultures hors sols (hydroponie) .

Pour ce faire, le mémoire a été structuré en trois parties : la première partie est consacrée à une revue bibliographique à jour sur le sujet, une deuxième partie consacrée à la présentation de la méthodologie et aux techniques utilisées, enfin, les résultats obtenus sont rapportés et discutés dans une troisième et dernière partie.

**Revue**  
**Les Cultures Hors Sol**  
**‘Hydroponie’**

Le terme "hydroponie" est dérivé de deux mots grecs : "**Hydro**" et "**Ponos**", qui signifient respectivement "eau" et "travail". Il a été inventé par le professeur William Gericke au début des années 1930 pour décrire la culture de plantes dont les racines sont suspendues dans de l'eau contenant des nutriments minéraux. Après plusieurs années, Savva en 2003 rejoint la simple définition de l'hydroponie donnée par Douglas en 1975 comme étant c'est la culture de plantes sans terre. En 2018, Sharma et al, rapportent que l'hydroponie est une technique de culture de plantes dans des solutions nutritives (eau contenant des engrais) avec ou sans l'utilisation d'un milieu inerte (sable, gravier, vermiculite, laine de roche, mousse de tourbe, coco ou sciure de bois) pour fournir un support mécanique. Dans la littérature, il existe plusieurs termes similaires liés à l'hydroponie qui sont "aquaculture", "hydroculture", "nutriculture", "culture sans terre", "agriculture sans terre", "culture en bassin" ou "culture chimique", "nutriculture", "culture hors sol", "agriculture hors sol", "culture en bassin" ou "culture chimique".

La culture hors sol est de plus en plus répandue dans le monde. L'Europe est considérée comme son plus grand marché, où la France, les Pays-Bas et l'Espagne sont les trois principaux producteurs, suivis par les États-Unis d'Amérique et la région Asie-Pacifique (Prakash et al., 2020). L'hydroponie permet de cultiver diverses plantes commerciales et spécialisées, notamment les légumes à feuilles, les tomates, les concombres, les poivrons, les fraises, et bien d'autres encore. La production continue n'est possible que par ces systèmes, ce qui confirme les producteurs. Sous une atmosphère contrôlée, sur une courte période de croissance, occupant moins d'espace, économisant plus d'eau, la production est plus élevée et homogène tout au long de l'année (Okemwa, 2015).

## **I. Fonctionnement des structures hydroponiques**

Les systèmes couramment utilisés en hydroponie sont le goutte-à-goutte, le flux descendant, la mèche, la culture en eau profonde et la technique du film nutritif (NFT). À noter que, les systèmes hydroponiques sont personnalisés et modifiés en fonction du recyclage et de la réutilisation de la solution nutritive et des supports. Le principe des différentes méthodes est décrit et illustré ci-dessus :

## 1. Méthode de la Mèche

Il s'agit du système hydroponique le plus simple, ne nécessitant pas d'électricité, de pompes ou d'aérateurs (Shrestha et Shrestha, 2013). Dans cette méthode, les plantes sont placées dans un milieu de culture tel que la fibre de coco, la vermiculite, la perlite, avec une mèche en nylon allant des racines de la plante dans un réservoir de solution nutritive.

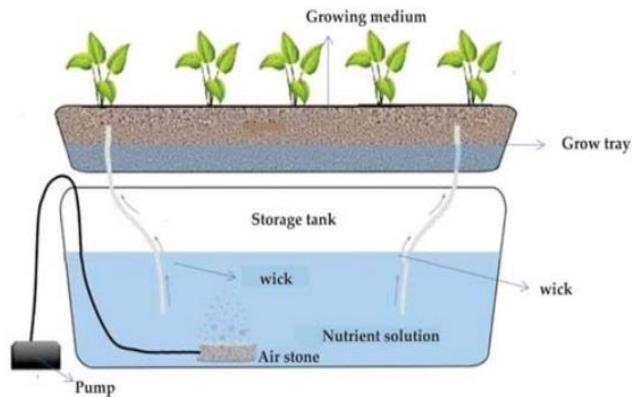


Fig. 01 : Système hydroponique Mèche  
(Sharma et al., 2018)

L'eau est fournie aux plantes par action capillaire. Ce système n'est pas applicable pour les cultures nécessitant beaucoup d'eau (Sharma et al., 2018).

## 2. Méthode de flux-reflux » ou table à marées

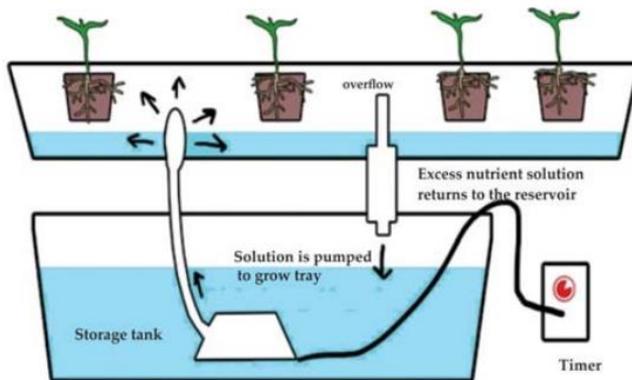


Fig. 02 : Système hydroponique Flux et reflux  
(Sharma et al., 2018)

Il s'agit du premier système hydroponique commercial qui fonctionne sur le principe de l'inondation et du drainage. Ce système utilise un plateau de culture et un réservoir rempli d'une solution nutritive. Une pompe inonde périodiquement le bac de culture avec la solution nutritive, qui s'écoule ensuite lentement.

Il est possible de cultiver différents types de produits, mais les problèmes de pourriture des racines, d'algues et de moisissures sont très fréquents (Nielsen et al., 2006). Par conséquent, un système modifié avec une unité de filtration est nécessaire (Seerat et al., 2020).

### 3. Méthode à percolation ou goutte à gouttes

Le système hydroponique goutte à goutte est largement utilisé par les cultivateurs domestiques et commerciaux. L'eau ou la solution nutritive provenant du réservoir est fournie aux racines des plantes individuelles dans une proportion appropriée à l'aide d'une pompe (Rouphael et Colla, 2005).

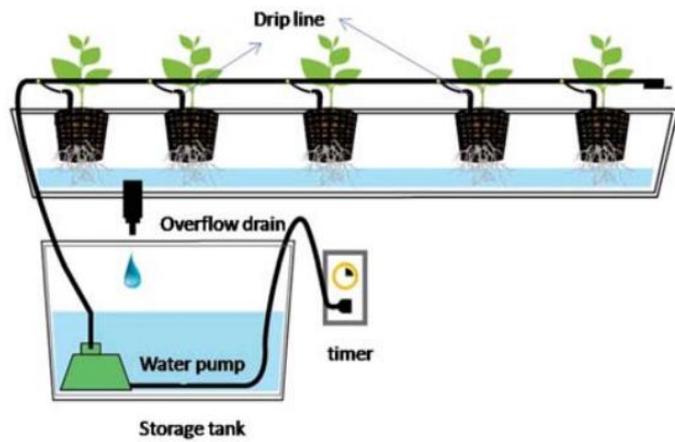


Fig. 03 : Système hydroponique Goutte à goutte (Sharma et al., 2018)

Les plantes sont généralement placées dans un milieu de culture modérément absorbant de manière à ce que la solution nutritive s'écoule lentement. Diverses cultures peuvent être cultivées systématiquement avec une conservation de l'eau.

### 4. Culture en eau profonde (DWC)

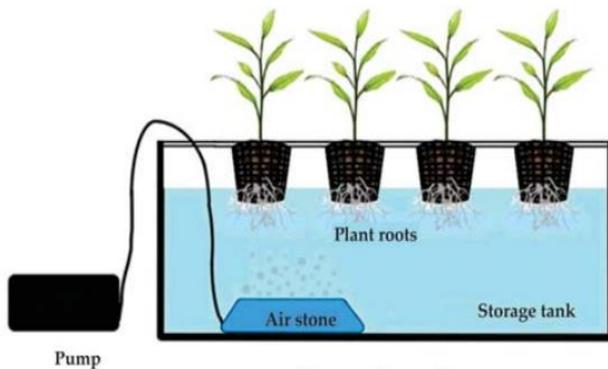


Fig. 04 : Système hydroponique Culture en eau profonde (Sharma et al., 2018)

Dans la culture en eau profonde, les racines des plantes sont suspendues dans de l'eau riche en nutriments et de l'air est fourni directement aux racines par une pierre à air. Le système hydroponique à godets est un exemple classique de ce système. Les plantes sont placées dans des pots en filet et racines sont suspendues dans une solution nutritive où elles poussent rapidement en une grande masse.

Il est obligatoire de surveiller les concentrations d'oxygène et de nutriments, la salinité et le pH (Domingues et al., 2012) car les algues et les moisissures peuvent se développer

rapidement dans le réservoir. Ce système fonctionne bien pour les grandes plantes qui produisent des fruits, en particulier les concombres et la tomate (Seerat et al., 2020).

## 5. Technique de ruissellement nutritif ou Technique du Film Nutritive (NFT)

C'est par Dr Alen Cooper que La NFT a été développée au milieu des années 1960 en Angleterre. Cela pour pallier les insuffisances du système de flux et de reflux. NFT est le système hydroponique le plus populaire.

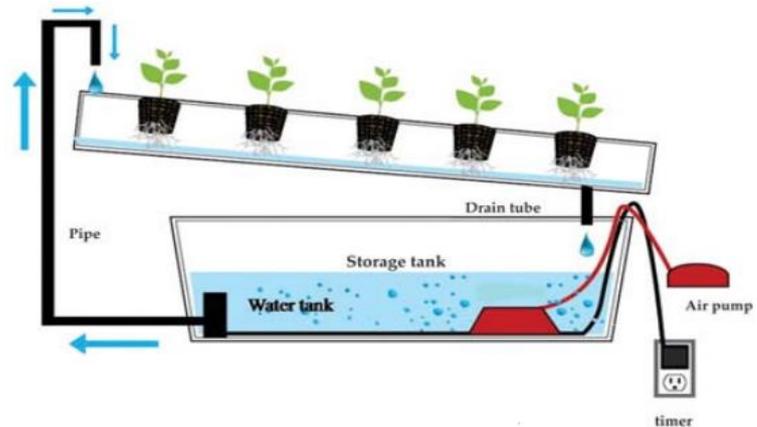


Fig. 05 : Système hydroponique NFT (Sharma et al., 2018)

Dans cette méthode, une solution nutritive est pompée en permanence à travers des canaux dans lesquels les plantes sont placées (Domingues et al., 2012). Lorsque les solutions nutritives atteignent l'extrémité du canal, elles sont renvoyées au début du système.

Il s'agit donc d'un système de recirculation, mais contrairement au DWC, les racines des plantes ne sont pas complètement immergées, c'est la raison principale pour laquelle cette méthode est appelée NFT.

## 6. Technique de l'Aéroponie

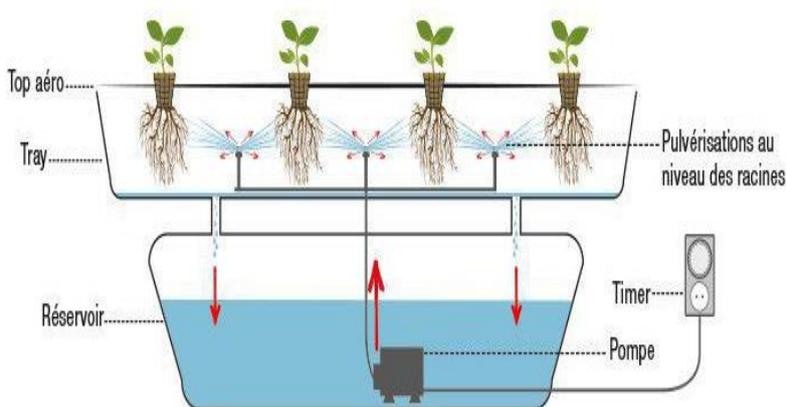


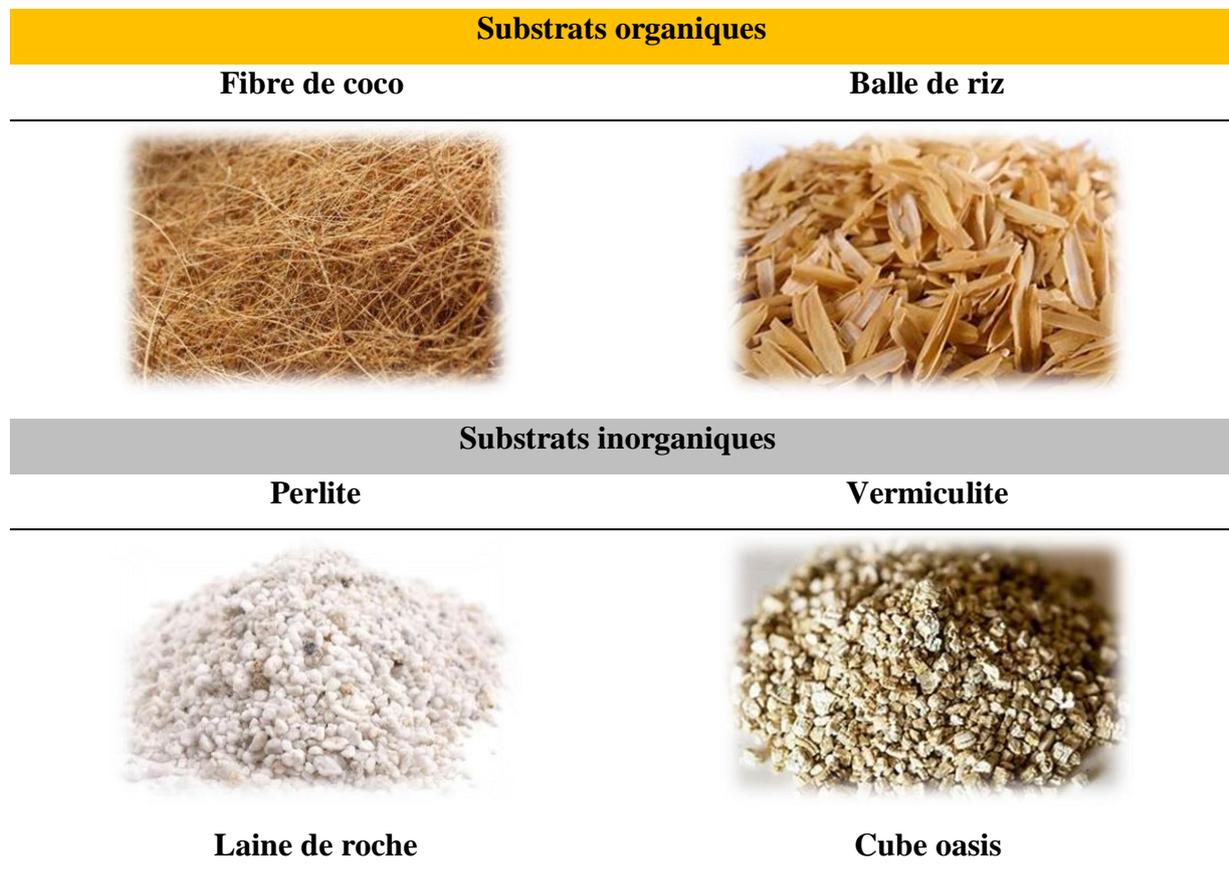
Fig. 06 : Système hydroponique type Aeroponie

Dans cette technique, les racines des plantes sont suspendues dans l'air et sont périodiquement pulvérisées ou aspergées d'une solution nutritive ou d'un aérosol de solution nutritive.

L'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments dans un système aéroponique est supérieure à celle des systèmes NFT ou DWC. Le plus grand avantage de l'aéroponie est que les racines sont exposées à l'air et qu'il n'y a donc jamais de problème de manque d'oxygène. Ses inconvénients sont les coûts de construction initiaux élevés, l'entretien important du système et le niveau élevé de connaissances techniques requises (Niu et Masabni., 2022).

## II. Substrats utilisés en hydroponie

Pour une croissance et un développement corrects des plantes, le substrat neutre utilisé en hydroponie doit présenter certaines caractéristiques. Il doit constituer un support adéquat pour la plante et avoir une excellente capacité de rétention d'eau. Il doit fournir simultanément de l'eau et du gaz à la plante. La figure ci-dessus montre quelques exemples de substrat utilisé en hydroponie.





---

Fig. 07 : Exemples de substrats utilisés en hydroponie

### 1. Substrats organiques

- **Fibre de coco** : Il s'agit d'un sous-produit de la coque de noix de coco. La fibre de coco est utilisée pour la production d'une large gamme de cultures hors-sol telles que la tomate, l'aubergine, le concombre, le poivron, etc. Sa capacité de rétention d'eau élevée permet d'amortir les températures élevées et la sans nuire à l'alimentation en air.
- **Balle de riz** : Les balles de riz sont un sous-produit de l'industrie de la mouture du riz. Bien qu'elles soient extrêmement légères, les coques de riz sont très efficaces pour améliorer le drainage. La taille des particules et la résistance à la décomposition des balles de riz et de la sciure de bois sont plus ou moins similaires. Bien qu'il s'agisse d'un matériau végétal organique, elles se décomposent très lentement, comme la fibre de coco, ce qui les rend appropriées comme milieu de culture pour l'hydroponie. Les écorces de riz sont désignées comme fraîches, vieilles, compostées et étuvées ou carbonisées. Les écales de riz fraîches doivent être évitées en tant que milieu de culture pour les systèmes hydroponiques, car il y a une forte probabilité de présence de contaminants par les spores fongiques, les bactéries, les insectes en décomposition et les graines de mauvaises herbes. Les coques de riz étuvées (PRH) sont obtenues en séchant les coques de riz. Cela permet de diminuer voir éliminer les spores de champignons, les bactéries et tout autre micro-organisme et contribue ainsi à la production d'un produit stérile et propre. (Swain et Chatterjee, 2021).

### 2. Substrats inorganiques

- **Perlite** : Il s'agit d'un sable silicaté gris blanc d'origine volcanique, au pH neutre, se dilate de quatre à vingt fois son volume d'origine lorsqu'il est rapidement chauffé à une température d'environ 1600-1700° F. Cette dilatation est due à la présence de deux à six pour cent d'eau combinée dans la roche brute de perlite, ce qui fait que la perlite éclate d'une manière similaire à celle du maïs. La surface de chaque particule est

couverte de minuscules cavités qui offrent une surface extrêmement importante. Ces surfaces aident à retenir l'humidité et les nutriments et les rendent disponibles aux racines des plantes. Il a une très grande capacité de rétention d'eau (4 à 5 fois son poids) son pH est de 7 à 7,2. En outre, en raison de la forme physique de chaque particule, des passages d'air sont formés. La perlite assure une aération et un drainage optimaux. Etant stérile, elle est exempte de maladies, de graines et d'insectes (Swain et Chatterjee, 2021).

- **Vermiculite :** Chimiquement, il s'agit d'un silicate hydraté de magnésium et d'aluminium. La vermiculite est un minéral micaïque produit par chauffage à environ 745°C. Les particules expansées, en forme de plaques, qui se forment, ont une capacité de rétention d'eau très élevée et contribuent à l'aération et au drainage. La vermiculite possède d'excellentes capacités d'échange et de tamponnement, ainsi qu'une bonne capacité à fournir du potassium et du magnésium. Bien que la vermiculite soit considérée comme moins durable que le sable et la perlite, ses propriétés chimiques et physiques sont très intéressantes pour les milieux de culture (Swain et Chatterjee, 2021).
- **Laine de roche :** préparée en faisant fondre un mélange de basalte et de calcaire à une température de 1600 °C. La masse fondue est ensuite filée à grande vitesse en fibres minces de 0,005 mm de diamètre, puis traitée avec certains additifs (une résine) pour lier les fibres entre elles et pressée en plaques de différentes tailles. La laine de roche est également produite sous forme de flocons en vrac, qui sont utilisés comme substrat de culture dans des pots, de la même manière que la tourbe, ou comme additif à d'autres substrats (Swain et Chatterjee, 2021).
- **Cubes Oasis :** ressemblent aux cubes de laine de roche et ont également des propriétés similaires. Les oasis cubes ressemblent davantage à la mousse florale rigide verte ou blanche utilisée par les forêts pour maintenir les tiges dans leurs expositions florales. Les cubes Oasis sont des matériaux à ouvert, ce qui signifie que les cellules peuvent absorber l'eau et l'air. Bien que les cubes Oasis soient similaires à la laine de roche, les cubes Oasis ne se gorgent pas d'eau aussi facilement que les cubes de laine de roche (Swain et Chatterjee, 2021).

### III. Solution nutritive en hydroponie

Il est possible d'obtenir une qualité et une productivité élevées en gérant soigneusement la composition des nutriments, la concentration en O<sub>2</sub> dissous, la température, le pH et la conductivité électrique (EC) de la solution nutritive. L'apport de nutriments en hydroponie peut influencer de manière significative le goût, la texture, la couleur et d'autres caractéristiques des cultures fruitières et légumières (Levine et Mattson, 2021). En hydroponie, les éléments nutritifs essentiels sont dissous dans des concentrations et des rapports relatifs appropriés pour assurer la croissance normale des plantes (Yang et al., 2021). Il est bien connu que la productivité et la qualité des plantes cultivées dans des systèmes hydroponiques dépendent fortement de l'étendue de l'acquisition des nutriments par les plantes dans le milieu de culture (Valentinuzzi et al., 2015). C'est pourquoi la solution nutritive et sa gestion constituent la pierre angulaire d'un système hydroponique réussi et sont les facteurs déterminants les plus importants du rendement et de la qualité des cultures.

#### 1. Nutriments pour les plantes hydroponiques

Les nutriments utilisés en hydroponie se présentent principalement sous des formes inorganiques et ioniques dissous dans l'eau. Tous les éléments essentiels à la croissance des plantes sont fournis à l'aide de différentes combinaisons chimiques. L'établissement d'une solution nutritive qui fournit un rapport favorable d'ions pour la croissance et le développement des plantes est considéré comme une étape importante dans la culture des plantes dans les systèmes hydroponiques (Nguyen et al., 2021). Les plantes ne peuvent absorber les nutriments que s'ils sont présents sous une forme disponible pour l'absorption et, dans la plupart des cas, les nutriments sont absorbés sous forme ionique. Les ions sont des formes électriquement chargées de chaque nutriment, certains sont des cations (chargés positivement) et d'autres des anions (chargés négativement). Par exemple, l'azote est absorbé sous forme d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, un cation) ou de nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, un anion).

Selon Salisbury et Ross (1992), 17 éléments sont considérés comme essentiels pour la plupart des plantes : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre, le fer, le cuivre, le zinc, le manganèse, le molybdène, le bore, le chlore et le nickel. Un élément essentiel a un rôle physiologique clair et son absence empêche le cycle de vie complet de la plante (Taiz et Zeiger.,1998).

En hydroponie, tous les nutriments sont dans un rapport équilibré qui est directement fourni aux plantes, et la composition doit refléter le rapport d'absorption des éléments individuels par

la culture, car la demande entre les espèces diffère, et doit être spécifique pour chaque culture (Voogt, 2002)

De nombreux scientifiques ont été intéressés à établir les formules de solutions nutritives et d'étudier la forme disponible pour chaque nutriment. En effet, plusieurs solutions nutritives standard ont été proposées (Bollard (1966) ; Steiner (1961) ; Hoagland et Arnon (1938) and Hoagland et Snyder (1933). Ces solutions standard constituent une bonne ligne directrice générale, mais ne sont pas adaptées à des conditions de culture spécifiques.

Le tableau suivant représente les valeurs cardinales de la formule de la solution standard selon différents auteurs.

**Tableau 01 :** Forme et composition (valeurs cardinales) des nutriments absorbés par les plantes proposée par différents scientifiques.

Nutriments	Formes absorbées par les plantes	Composition (mg L <sup>-1</sup> )	Références
Bore	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	0.3-0.54	Hewitt (1996); Salisbury and Ross (1991); Windsor and Schwarz (1990); Cooper (1988); Steiner (1984); Hoagland and Arnon (1938);
Calcium	Ca <sup>2+</sup>	160-185	
Cuivre	Cu <sup>2+</sup>	0.02-0.1	
Fer	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	2.5-12	
Magnésium	Mg <sup>2+</sup>	34-50	
Manganèse	Mn <sup>2+</sup> , Mn <sup>4+</sup>	0.5-2	
Molybdène	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.01-0.2	
Nitrogène	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	168-236	
Phosphore	HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	31-60	
Potassium	K <sup>+</sup>	156-273	
sulfure	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	48-336	
Zinc	Zn <sup>2+</sup>	0.05-0.11	

La croissance et la productivité des plantes peuvent être affectées négativement par une mauvaise relation entre les nutriments essentiels. Il est très important de maintenir l'équilibre ionique dans la solution nutritive car c'est-à-dire le rapport entre les anions NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, et les cations K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> (Modu et al., 2020). Un changement dans la concentration d'un ion doit être accompagné d'un changement correspondant pour un ion de

charge opposée, d'un changement complémentaire pour d'autres ions de même charge, ou des deux (Hewitt, 1996).

## 2. Symptômes des déficiences en nutriments chez les végétaux

Les plantes présentent généralement des symptômes caractéristiques lorsque les éléments nutritifs ne sont pas présents en quantités suffisantes. Le tableau ci-dessus présente les principaux symptômes qui peuvent apparaître si le niveau d'un élément minéral nutritif est inférieur à la fourchette nécessaire à une croissance optimale de la plante.

**Tableau 02 : Symptômes des déficiences en nutriments chez les végétaux**  
Marr (1994)

<b>Carence en nutriments</b>	<b>Symptômes</b>
<b>Bore</b>	L'extrémité de la plante meurt ; les tiges et les pétioles sont cassants.
<b>Calcium</b>	L'extrémité des jeunes feuilles meurt ; l'extrémité des feuilles est en forme de crochet.
<b>Fer</b>	La pointe de la plante reste vivante ; les nouvelles feuilles supérieures jaunissent entre les veines (les grandes veines restent vertes) ; les bords et les pointes des feuilles peuvent mourir. Veines restent vertes) ; les bords et les extrémités des feuilles peuvent mourir.
<b>Magnésium</b>	Les feuilles inférieures sont jaunes entre les nervures (les nervures restent vertes) ; les bords des feuilles peuvent s'enrouler vers le haut ou vers le bas ou les feuilles peuvent se plisser. les feuilles meurent à des stades plus avancés.
<b>Manganèse</b>	La pointe de la plante reste vivante ; les nouvelles feuilles supérieures présentent des taches mortes à la surface ; la feuille peut paraître en filet car les petites nervures restent vertes.
<b>Nitrogen</b>	Leaves are small, light green; lower leaves lighter than upper; weak stems.

<b>Phosphore</b>	Feuillage vert foncé ; feuilles inférieures parfois jaunes entre les nervures ; couleur pourpre sur les feuilles ou les pétioles. sur les feuilles ou les pétioles.
<b>Potassium</b>	Les feuilles inférieures peuvent être marbrées (taches claires à foncées) ; zones mortes près des extrémités et des bords des feuilles ; jaunissement des bords des feuilles se prolongeant vers le centre.
<b>Sulfure</b>	La pointe de la plante reste en vie ; les feuilles supérieures sont vert clair ; les nervures des feuilles sont plus claires que celles des zones environnantes.

### 3. pH et conductivité électrique (CE) de la solution nutritive

Dans une solution nutritive, le pH détermine la disponibilité des éléments essentiels aux plantes. Pour la plupart des espèces, la plage de pH pour le développement des plantes est de 5,5 à 6,5 (Trejo-Tellez et Gomez, 2012). Une fois que les plantes poussent, elles modifient la composition de la solution nutritive en épuisant certains nutriments plus rapidement que d'autres, en éliminant l'eau de la solution et en modifiant le pH par excrétion d'acidité ou d'alcalinité. Frick et Mitchell (1993) ont indiqué que le pH d'une solution nutritive hydroponique varie en raison du déséquilibre de la réaction d'échange d'anions et de cations avec les racines et qu'il n'y a pas de tampon idéal en hydroponie. Cependant, Wang et al. (2017) ont constaté que le mélange de trois acides ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  et  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) était beaucoup plus efficace qu'un seul acide pour maintenir un pH optimal. Une modification du pH peut entraîner déséquilibre des nutriments et la plante présentera des symptômes de carence ou de toxicité. Il faut donc veiller à maintenir un pH et une EC optimaux dans la solution hydroponique.

La conductivité électrique est une mesure des sels totaux dissous dans la solution nutritive hydroponique. Elle est utilisée pour contrôler les applications des fertilisants. Cependant, la lecture de l'EC ne fournit pas d'informations sur le contenu minéral exact de la solution nutritive. C'est un facteur important qui reflète la teneur totale en macro- et micro-éléments disponibles pour les plantes (Nguyen et al., 2021). La plage idéale de la conductivité électrique, pour la plupart des cultures hydroponiques, se situe entre 1,5 et 2,5 dS  $\text{m}^{-1}$ . Une EC plus élevée empêchera l'absorption des nutriments en raison de la pression osmotique et un niveau inférieur affecte gravement la santé et le rendement des plantes. Ainsi, une gestion

appropriée de l'EC dans la technique hydroponique peut constituer un outil efficace pour l'amélioration du rendement et de la qualité des légumes (Gruda, 2009). Zhang et al (2016) ont noté qu'en système hydroponique, le rendement de la tomate a augmenté lorsque la CE de la solution nutritive passait de 0 à 3 dSm-1 et diminuait lorsque l' EC passait de 3 à 5 dSm-1 en raison de l'augmentation du stress hydrique. Le niveau de l'EC à 1,5, 2 et 3 dS m-1 en phase végétative, végétative moyenne et générative, respectivement, a ont augmenté la hauteur de la culture, le nombre de fruits et le poids frais du poivron.

Les valeurs optimales du pH et de l'EC pour différentes cultures hydroponiques sont indiquées dans le tableau 03 :

**Tableau 03 :** Valeurs optimales du pH et de l'EC pour différentes cultures hydroponiques  
(Al Meselmani, 2021)

<i>Cultures</i>	pH	EC (dSm-1)
<i>Asparagus officinalis</i> (Aspèrge)	6.0-8.0	1.4 à 1.8
<i>Saintpaulia ionantha</i> (Violette africain)	6.0-7.0	1.2 à 1.5
<i>Musa paradisiaca</i> (Banane)	5.5-6.5	1.8 à 2.2
<i>Ocimum basilicum</i> L (Basilic)	5.5-6.0	1.0 à 1.6
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Haricot)	6.0	2.0 à 4.0
<i>Brassica oleracea</i> (Brocoli)	6.0-6.8	2.8 à 3.5
<i>Brassica oleracea</i> (Choux)	6.5-7.0	2.5 à 3.0
<i>Apium graveolens</i> (céleri)	6.5	1.8 à 2.4
<i>Dianthus caryophyllus</i> (œillet)	6.0	2.0 à 3.5
<i>Cucurbeta pepo</i> (Courgette)	6.0	1.8 à 2.4
<i>Cucumis sativus</i> (Concombre)	5.0-5.5	1.7 à 2.0
<i>Solanum melongena</i> (Aubergine)	6.0	2.5 à 3.5
<i>Ficus carica</i> l (Figuier)	5.5-6.0	1.6 à 2.4
<i>Allium ampeloprasum</i> (poireau)	6.5-7.0	1.4 à 1.8
<i>Lactuca sativa</i> (laitue)	6.0-7.0	1.2 à 1.8
<i>Brassica campestris</i> L (Pack choi)	7.0	1.5 à 2.0
<i>Piper nigrum</i> L (poivre)	5.5-6.0	0.8 à 1.8
<i>Petroselinum crispum</i> (Persil)	6.0-6.5	1.8 à 2.2
<i>Rheum palmatum</i> L (Rhubarbe)	5.5-6.0	1.6 à 2.0
<i>Spinacia oleracea</i> (Epinards)	6.0-7.0	1.8 à 2.3
<i>Fragaria vesca</i> (Fraise)	6.0	1.8 à 2.2
<i>Solanum lycopersicum</i> L (Tomate)	6.0-6.5	2.0 à 4.0

#### 4. Température de la solution nutritive en hydroponie

La température de la solution nutritive est considérée comme l'un des facteurs déterminants les plus importants du rendement et de la qualité des cultures dans les systèmes de production hydroponique (Muthir et al., 2019). La température de la solution nutritive affecte le processus physiologique de la racine tels que l'absorption de l'eau et des nutriments. Cependant, la régulation thermique de la solution hydroponique peut contribuer à l'amélioration et à l'optimisation des processus physiologiques des plantes (Nxawe et al., 2010). Il est également possible que l'augmentation de la température facilite la solubilité des minéraux et augmente l'absorption, car le taux de dissolution des solutés augmente avec la température (Xu et Huang., 2006). La température de la solution nutritive tend à déterminer la concentration des nutriments absorbés par la plante, car davantage de nutriments sont dissous à des températures plus élevées et moins à des températures plus basses, ce qui influence l'efficacité de l'appareil photosynthétique (Yamori et al., 2006).

L'équilibre chimique de la solution est affecté par la température des nutriments, et ceci est particulièrement crucial pour les régions où le réchauffement excessif des nutriments se produit souvent, ce qui a un impact sur tous les processus physiologiques de la plante (Fazlil et al., 2017). En général, la solution froide augmente l'absorption de  $\text{NO}_3$  et la production de racines blanches fines, mais diminue l'absorption d'eau et influence également l'appareil photosynthétique. La température de la solution nutritive a également une relation directe avec la quantité d'oxygène consommée par les plantes, et une relation inverse avec l'oxygène dissous. Il est primordial de réguler la température des solutions hydroponiques lorsque les plantes sont cultivées dans un environnement contrôlé pendant les mois d'hiver. L'optimisation de la température de la solution peut être obtenue en réchauffant la solution nutritive, ce qui s'est avéré efficace pour une variété de cultures (Kosai, 2007 ; Sethi et sharma., 2007).

La température élevée dans la zone racinaire est l'un des facteurs limitants les plus importants pour la culture de la laitue en hydroponie tropicale. Au lieu de refroidir l'ensemble de l'air de la serre, le système de refroidissement de la zone racinaire pourrait être un système de refroidissement économe en énergie pour une serre destinée à la culture hydroponique tropicale. Il est donc très important d'étudier les exigences optimales en matière de température des nutriments pour les différentes cultures cultivées dans des climats où les conditions hivernales sont défavorables.

## **5. Niveaux d'oxygène dissous dans la solution nutritive**

Le maintien d'une quantité suffisante d'O<sub>2</sub> dissous dans une solution nutritive dans un système hydroponique est indispensable à la santé des plantes. La disponibilité de l'oxygène pour les racines cultivées en hors-sol peut devenir limitante si la demande en O<sub>2</sub> dépasse l'offre, ce qui entraîne une réduction du taux de croissance des racines, de l'absorption des ions et de l'eau, une augmentation de l'incidence des maladies et des ravageurs, et à une réduction de la croissance des plantes. L'oxygène autour des racines d'une plante affecte les micro-organismes bénéfiques qui assurent la protection contre les agents pathogènes et améliorent l'absorption des nutriments (Pezeshki et al., 1993). La concentration en O<sub>2</sub> dissous dépend fortement de la température de la solution. Le tableau suivant montre la solubilité de l'O<sub>2</sub> dans l'eau pure à différentes températures.

Tableau 04 : Solubilité de l'oxygène dans l'eau pure à différentes températures  
(Libia et al., 2012)

<b>Température (°c)</b>	<b>Solubilité d'O<sub>2</sub> (mg L<sup>-1</sup>)</b>
<b>10</b>	11.29
<b>15</b>	10.08
<b>20</b>	9.09
<b>25</b>	8.26
<b>30</b>	7.56
<b>35</b>	6.95
<b>40</b>	6.41
<b>45</b>	5.93

La température a une relation directe avec la quantité d'oxygène consommée par la plante et une relation inverse avec l'oxygène dissous dans la solution nutritive. La consommation d'O<sub>2</sub> augmente lorsque la température de la solution nutritive augmente. Par conséquent, elle produit une augmentation de la concentration relative de CO<sub>2</sub> dans l'environnement racinaire si l'aération des racines n'est pas adéquate (Morard et Silvester, 1996). Pour surmonter

l'échange limité d'oxygène entre l'atmosphère et la solution nutritive dans les cultures hydroponiques statiques en eau profonde, la solution nutritive est aérée par un bulleur d'air connecté à la pompe pour fournir une oxygénation adéquate aux racines (Nguyen et al., 2021).

#### IV. Rendement des végétaux dans un système hydroponique

Un grand nombre de plantes et de cultures ou de légumes peuvent être cultivé grâce au système hydroponique. La qualité des produits, le goût et la valeur nutritive des produits finaux sont généralement plus élevés que dans le sol naturel (Scharma et al., 2018)

Le tableau ci-dessus montre des exemples d'espèces cultivées dans des systèmes hydroponiques

**Tableau 05:** Comparaison des rendements de différentes cultures entre la culture hydroponique et la culture en plein champ (Singh et Singh, 2012)

<b>Crop</b>	<b>Hydroponic system production (Kg/ha)</b>	<b>Open-field production (Kg/ha)</b>
Riz	13,456.56	841.03–1009.25
Mais	8971.0	1682.07
Pois	15,699.32	2242.76
Tomate	403,335.81	11,203.75–22,407.47
Pomme de terre	156,852.29	17,925.98
Choux	20,184.84	14,577.94
Concombre	31,398.64	7849.66
laitue	23,548.98	10.092.42

#### V. Avantages et inconvénients de la culture hydroponique par rapport à la culture traditionnelle

De nombreux avantages sont enregistrés pour la culture hydroponique. Swain et Chatterjee (2021) ont rassemblé les principaux avantages dans les lignes suivantes :

- Un rendement maximal peut être obtenu, ce qui rend le système économiquement réalisable dans les zones à forte densité et coûteuses.

- Cette méthode permet d'utiliser efficacement l'eau et les nutriments. Elle peut donc entraîner une réduction de la pollution des terres et des cours d'eau, car le risque de perte des précieux produits chimiques est minime.
- Les cultures peuvent être produites là où il n'existe pas de sol propice à la culture ou là où le sol est contaminé par certaines maladies.
- La main-d'œuvre pour les différentes opérations interculturelles telles que le labourage, la culture, la fumigation, l'arrosage et d'autres pratiques est largement éliminée.
- Les maladies des plantes transmises par le sol peuvent être éradiquées très efficacement en adoptant ce système.
- Un contrôle plus complet de l'environnement est possible grâce à l'utilisation du système (c'est-à-dire l'alimentation en nutriments, l'irrigation et l'environnement racinaire en temps voulu) et à différentes opérations de type serre, la lumière, la température, l'humidité et la composition de l'air peuvent être manipulées très facilement.
- L'eau à forte teneur en sels solubles peut être utilisée avec une extrême prudence. Si les concentrations en sels solubles dans l'eau sont supérieures à 500 ppm, un système ouvert de culture hydroponique peut être utilisé si l'on prend soin d'effectuer des lessivages fréquents des milieux de culture afin de réduire les accumulations de sels.
- Les cultures hydroponiques sont plus faciles à récolter que les cultures conventionnelles.
- Les cultures hydroponiques sont plus appétissantes et meilleures pour la consommation.
- Les plantes cultivées dans un système hydroponique peuvent être protégées des rayons UV comme elles le sont à l'intérieur d'une structure protégée.
- Les plantes cultivées dans ce système développent un système racinaire très efficace et vigoureux, ce qui les met à l'abri des contaminants et des différentes maladies et attaques de ravageurs.
- La production de légumes hors saison est possible lorsque les prix du marché sont les plus élevés.
- La culture hydroponique verticale permet également de gérer l'espace.
- Les plantes sont cultivées localement, ce qui permet de réduire le bilan carbone.

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

- Le coût de construction d'une unité hydroponique par unité de surface est très élevé.
- Une formation ou un savoir-faire adéquat est une condition préalable importante avant de commencer la culture hydroponique de n'importe quel légume. La connaissance de la croissance des plantes et des principes de nutrition est très importante.
- Il y a un risque de propagation rapide des maladies transmises par le sol et des nématodes à tous les lits du même réservoir de nutriments d'un système fermé.
- La plupart des variétés de plantes disponibles adaptées aux conditions de culture contrôlées doivent faire l'objet d'une recherche et d'un développement approfondis.
- Le cultivateur doit observer les plantes tous les jours car la réaction de la plante à une bonne ou une mauvaise alimentation est incroyablement rapide.
- Les cultivateurs doivent avoir des connaissances en matière de contrôle du climat à l'intérieur de la structure.

# **Matériel et Méthodes**

## 1. Zone d'étude

Le travail expérimental a été réalisé, durant les mois de Mai et Juin de l'année 2023, au niveau d'une exploitation d'élevage des vaches laitières (n°277) située à la willaya d'Ain Témouchent, dans la région kuirolisse (Awras el Maida), la daira de Chentouf



Fig. 08: Situation géographique de la zone d'étude.

## 2. Suivi et réalisation de la culture hydroponique du l'orge

Au-delà de l'élevage de vaches laitières, l'exploitation pratique une culture de l'orge hors-sol pour répondre aux besoins alimentaires du cheptel. En effet, pour réaliser ce chapitre, le suivi de l'exploitation pour la culture hydroponique de l'orge a été appliqué.

Au premier lieu, on procède à décrire la chambre hydroponique puis les étapes de la culture de l'orge hydroponique.

### 2.1. Description de la chambre hydroponique

Notre étude a été menée au sein de cette unité en utilisant le système de production, qui est un système automatisé et développé. Ce système est caractérisé non seulement par la maîtrise de soi dans diverses normes environnementales, mais aussi par l'auto-irrigation.

. La chambre hydroponique de la production à une surface de 40 m<sup>2</sup>, capacité de 220 plateaux en plastiques bien désinfectés. Elle est équipée de deux climatiseurs et deux ventilateurs et aussi deux extracteurs, un éclairage monobloc de 31 lampes, un système d'irrigation automatique (micro aspersion) qui est constitué de deux pompes reliées à un réservoir flottant (1000 L pour 5 jours), un pistolet d'arrosage et deux cadres sont installée

composé de quatre étapes (02 de 12 plateaux et 02 de 10 plateaux). la figure suivante illustre la chambre hydroponique de l'unité.



Fig. 09: Chambre hydroponique avec panneau de commande

Divers facteurs environnementaux sont contrôlés par le panneau de commande : la température, la lumière, l'humidité et même la fréquence qui ajuste automatiquement chaque paramètre indépendamment des conditions climatiques. En fait, lorsque la température interne de la chambre est inférieure à 18 ° C ou plus, le climatiseur est automatiquement activé pour l'ajuster. L'humidité relative est maintenue à 80% maximum. Quant à l'arrosage, il est programmé pour répéter 3 fois par jour.

## 2.2. Les étapes de production de l'orge hydroponique

La culture de blé hydroponique passe par 3 étapes importantes qui sont illustrées par la figure suivante:



Fig. 10: Etapes de la culture hors sol de l'orge

### **2.2.1. Traitement préalable des semences**

Il est essentiel de disposer de semences de bonne qualité: saines, non traitées, exemptes de graines cassées ou infectées, afin d'éviter la fermentation, la pourriture des grains et le développement de moisissures (conditions à remplir lors de l'achat des semences). Afin de préserver les semences de tout début de germination, de développement de moisissures ou d'attaques d'insectes. Les semences doivent être stockées dans un endroit sec, propre et bien aéré.

A chaque arrivée de semences, effectuer un test de taux de germination (il doit être supérieur ou égal à la norme ( $\geq 85\%$ )). Il est préférable d'utiliser des semences ayant bénéficié d'un repos de quelques mois après la récolte (2 mois minimum), afin de réduire le phénomène de dormance.

Dans un premier temps, les graines sont nettoyées (tri des graines cassées, piquées, abimées ou infectées). Elles sont abondamment lavées à l'eau courante, jusqu'à ce que l'eau de lavage soit transparente.

Il est préconisé d'effectuer un bain désinfectant (eau de javel) de 45 minutes, et de rincer juste après avec de l'eau. Cependant, il est recommandé de ne dépasser une heure de bain, car cela altère les semences et pénalise le taux de germination et de croissance.

### **2.2.2. Phase de prégermination**

Les graines sont d'abord hydratées dans de l'eau pour qu'elles puissent germer, puis elles sont laissées à l'air libre pour leur permettre d'absorber l'oxygène dont elles ont besoin pour la germination. A ce stade, l'utilisation de l'eau tiède (23°C) permet de réduire le temps de trempage. De même, cette eau favorise une germination plus importante. Un brassage prolongé au moment du trempage favorise une réhydratation uniforme des graines.

Il est conseillé de renouveler l'air, en remuant régulièrement ou en installant une pompe à air dans le bac, pendant toute la durée de trempage.

A l'apparition des bulles ou de la mousse blanche en surface, Il faut vider le bac et laisser s'aérer les semences; c'est le signe d'un début de fermentation. En fin de trempage, on enlève les graines flottantes, qui sont défectueuses et ne germeront pas. L'eau de trempage est retirée et les graines sont rincées abondamment à l'eau claire. Ce rinçage est très important

car il permet d'éliminer les substances qui maintenaient la dormance des graines, qui peuvent être néfastes pour la santé. On laisse les graines s'égoutter environ 48 heures avant le semis.

### 2.2.3. Phase de «germination » ou de culture :

Les graines sont mises dans des plateaux, à une densité de semis qui ne doit pas dépasser 1kg/m<sup>2</sup> (poids sec, avant trempage). Afin de favoriser une bonne germination, et limiter le risque de fermentation et de moisissures, il est préférable que le tapis de graines ne dépasse pas 4 cm de hauteur. La figure suivante montre la phase de culture.



Fig. 11 : Etapes de préparation de l'orge dans les plateaux pour entrer dans la chambre hydroponique

L'hygiène est un point essentiel de la production afin d'éviter les risques de moisissures (désinfection du matériel et des semences, contrôle des cultures).

#### \* Conditions de réalisation de la phase de germination

Différents facteurs vont influencer la germination et le développement des germes. Les principaux éléments qui vont affecter la pousse sont l'apport d'eau, la température, la lumière et l'absence de facteur d'inhibition de la germination. Il est essentiel de maintenir une température optimale, pour obtenir sur une courte période, un taux de germination élevé et des plantules vigoureuses.

Tableau 06: Conditions de réalisation de la phase de germination de l'orge hydroponique

<b>Paramètres</b>	<b>Exigences</b>
<b>Température</b>	La température optimale, pour une germination maximale et au meilleur taux pour l'orge, est située entre 17 et 28°C.
<b>Humidité</b>	L'humidité de l'air doit être comprise entre 60 et 80 % pour permettre la germination et favoriser le développement des pousses tout en réduisant le risque de développement des moisissures.
<b>Ventilation</b>	Il faut aussi un renouvellement et un brassage de l'air pour maîtriser le taux d'humidité et maintenir le taux de CO2 dans l'air. Au moins deux fois par jour.
<b>Eclairage</b>	La durée d'éclairage journalière serait de 10 à 17 heures. Le type de lampe utilisé et sa puissance vont influencer la pousse. Ainsi, on obtienne de meilleurs rendements (+ 29%) avec un éclairage par lumière fluorescente à flash de 8 W/m <sup>2</sup> .
<b>Qualité de l'eau</b>	Il est préconisé d'utiliser de l'eau filtrée Température de l'eau 17-20°C pH entre 5,2 et 7.5
<b>Systèmes d'irrigation</b>	de préférence faire de la micro aspersion ou la brumisation.
<b>Besoins en eau</b>	Pour l'orge, les besoins varient de 1,3 à 1,9 litres par mètre carré. Les quatre premiers jours, on ne doit pas appliquer plus de 0,5 litre d'eau par mètre carré et par jour, jusqu'à atteindre une moyenne de 1,3 à 1,9 litres d'eau par mètre carré et par jour. Le tapis de graines doit toujours rester humide, sans pour autant être noyé.

### **3. Contribution à l'étude de l'influence de l'orge hydroponique sur la santé des vaches laitières**

L'orge hydroponique est une méthode de culture de l'orge dans un environnement contrôlé, sans sol. Cette technique permet d'optimiser la croissance des plantes en fournissant des nutriments de manière précise et contrôlée.

A notre niveau de connaissance, Il convient de souligner que les recherches scientifiques sur l'impact de l'orge hydroponique sur la santé des vaches laitières est limitée. De ce fait, nous nous sommes proposé de contribuer par le biais d'un questionnaire à voir l'influence de l'alimentation en orge hydroponique sur la santé des vaches laitières. Les questions proposées sont au alentour des notes résumées dans le tableau suivant:

Tableau 07. Questions proposées pour évaluer l'influence de l'alimentation en orge hydroponique sur la santé des vaches laitières

<b>La composition du cheptel?</b>
Les races des vaches laitières présentes?
<b>Le taux d'alimentation en orge hydroponique?</b>
Les conditions d'alimentation en orge hydroponique
<b>Les variations notées en matière de santé des vaches laitière alimentées en orge hydroponique?</b>
Le temps nécessaire pour l'enregistrement des différentes variations?
L'apparition ou disparition des maladies après une alimentation en orge hydroponique?
<b>L'efficacité de la méthode en matière de santé de l'animal?</b>
<b>Les difficultés rencontrées au cours de l'alimentation en orge hydroponique?</b>
<b>Les avantages de la méthode?</b>

# **Résultats et Discussion**

## 1. Les étapes de la culture de l'orge hydroponique

Les résultats des différentes étapes de réalisation de la culture d'orge hydroponique sont illustrées sur la figure ci dessus:

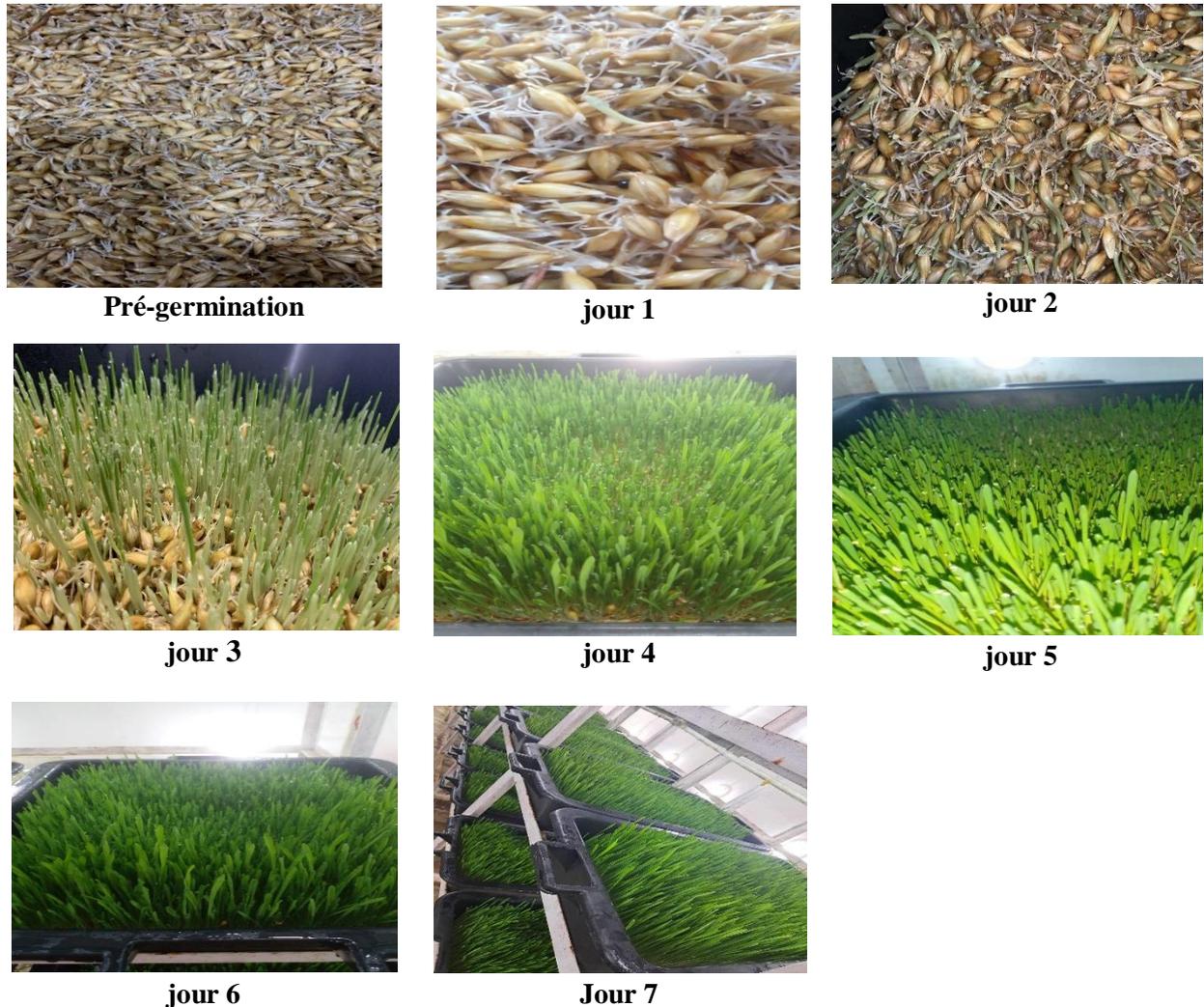


Fig.12: Résultats de la culture d'orge hydroponique

Le suivi des conditions de la réalisation de la culture de l'orge hydroponique nous a permis de récolter la culture après 7 jours après le semis. A ce stade tous les éléments nutritifs sont à leur optimum. la germination débute avec la réhydratation de la graine et cesse dès que la première racine a percé l'enveloppe de la graine. Les étapes ultérieures d'émergence des feuilles sont des étapes de croissance. La germination se fait sous l'influence de trois facteurs essentiels : l'eau, la chaleur et l'oxygène. La première étape est l'absorption d'eau et la réhydratation des tissus de la graine La germination génère une transformation physicochimique accompagnée de phénomènes physiologiques très complexes, notamment la

synthèse d'enzymes qui activent les réactions métaboliques et confèrent aux graines germées leurs propriétés nutritionnelles. Les enzymes transforment l'amidon en sucres simples, assimilables, et les protéines en acides aminés.

La culture de l'orge hydroponique a révélée les résultats suivants:

**Un meilleur taux de croissance :** l'environnement créé été le mieux adapté aux besoins de l'orge, ce-ci a donné de meilleurs résultats en termes de fraîcheur et de verdure. Ce qui correspond aux résultats trouvé par (Qureshi, 2017).

**Une réduction du temps de croissance de l'orge vert :** il nous a suffit 7 jours entre la germination de la graine et l'obtention d'une plante adulte de 25 à 30 cm de hauteur. Le taux de conversion de la biomasse est également 7 à 8 fois supérieur à celui du fourrage traditionnel cultivé pendant 60 à 80 jours.

**Une économie d'eau :** 2 à 3 litres d'eau nous a suffit pour produire un kilo de l'orge vert , contre 60 à 80 litres pour le système conventionnel de production de fourrage.

**Besoin réduit en main-d'œuvre :** La production conventionnelle de fourrage nécessite un travail intense et continu, alors que notre culture hydroponique ne demande que 2 à 3 heures par jour.

**Plus d'appétence :** selon, Ramteke et al (2019), l'orge cultivé en hydroponie est plus succulent, plus appétent et plus nutritif que l'orge cultivé de manière conventionnelle, ce qui se traduit par une plus grande production de lait chez les vaches laitières. Nos résultats concordent avec ces résultats.

## **2. Contribution à l'étude de l'influence de l'orge hydroponique sur la santé des vaches laitières**

### **2.1 composition du cheptel**

Sur un total de 15 bétail, le cheptel est composé de vaches laitières, taureau et génisses de moins de 18 mois comme le montre le tableau suivant:

Tableau 08 : Composition du cheptel de l'unité d'étude

<b>Cheptel</b>	Vaches laitières	Taureau	Génisse de moins de 18 mois
<b>Nombre</b>	11	01	03
<b>Races</b>	03 Montbéliard 08 Holstein prime	01 Holstein	01 Montbéliard 01 taureau 01 Holstein prime

### **2.2. Taux et conditions d'alimentation en orge hydroponique**

- En moyen 18 Kg / jours sont donnés pour chaque vache;

L'orge doit être fourni aux vaches tous les jours le matin (fraîche) et en stade de germination: au 7<sup>ème</sup> jour exactement dans les périodes chaude température 17°C; au 9<sup>ème</sup> jour dans les périodes froide température en dessous des 10°C

### **2.3. Variations notées en matière de santé de animal**

- Après 10 à 15 jours de consommation une nette amélioration de la santé générale du cheptel est enregistrées. Les variations suivantes commencent à apparaître sur les vaches alimentées en orge hydroponique:

- Une prise de poids;
- Le poil de la vache devient brillant.
- Elle rumine plus souvent.
- Elle ne fait plus de métrisation.

- Plus de problème de boiterie
- La diminution des mammites due à l'alimentation.

#### **2.4. l'inconvénient de la méthode:**

Le seul danger dans la méthode de l'orge hydroponique est le non-respect d'hygiène et du processus de protection qui sont :

- ✓ un bon nettoyage et stérilisation de la semence
- ✓ une hygiène parfait des outils (les plateaux de germination).
- ✓ le respect de la constante du réglage de la chambre :
  - température 17° – 25°
  - humidité 70 %- 85% Max
  - arrosage
  - taux de luminosité.

#### **2.5. l'efficacité de la méthode en matière de production laitière**

Après l'introduction de l'orge hydroponique dans l'alimentation du cheptel, les vaches au début (les 20 premier jours ) ont baissé en production de plus de 50% .

- 1 mois plus tard elle reprit leur quota de production
- La qualité de lait aussi a changé, le gout est devenu moins fort plus délicat et herbasse. Une augmentation fulgurante en matière grasse de 28° a 38°

#### **2.6. les difficultés dans cette méthode ?**

- La conception de la chambre dans le respect de la norme : ma chambre a couter 1280000 DA pour 40 m<sup>2</sup>, 220 plateau (20 vaches)
- Le stockage de l'orge (02 silo sous terrain)
- Le nettoyage de l'orge (sous traiteuse 400 DA/Qt)
- La rigueur dans le protocole (7 J /7J)

#### **2.7. les avantages de cette méthode :**

- La vaches mange du vert 7 J/ 7 J
- La culture ce fait sur 40 m<sup>2</sup> au lieu de 10 hectares
- Economiquement ça revient moins cher de nourrir les vaches comme le montre le tableau suivant:

Tableau 09: Frais d'alimentation de 20 vaches avec de l'orge hydroponique et sans orge hydroponique

Programme d'alimentation de 20 vaches <u>avec l'orge hydroponique</u>		Programme d'alimentation de 20 vaches <u>sans l'orge hydroponique</u>	
Composition	Frais (Da)	Composition	Frais (Da)
400 KG O .H (3Kg sec)	3000	80KG son blé	1600
80KG son blé	1600	240KG VL	15600
80KG VL	5200	Fourrage	4000
Fourrage	4000	Foin	2000
Foin	2000		
<b>Total</b>	<b>15800 da /j</b>	<b>Total</b>	<b>23200 da/j</b>

En ce qui concerne l'influence de l'orge hydroponique sur la santé des vaches laitières, voici quelques points à considérer :

1. Valeur nutritionnelle : L'orge hydroponique est généralement cultivée dans des conditions optimales, ce qui peut favoriser la concentration de certains nutriments essentiels. Cela peut potentiellement améliorer la qualité nutritionnelle de l'orge et, par conséquent, des rations alimentaires fournies aux vaches laitières.
2. Digestibilité : L'orge hydroponique peut être plus facilement digestible pour les vaches laitières par rapport à l'orge traditionnel cultivé en plein champ. Cela est dû à des facteurs tels que la tendreté des tiges et la teneur réduite en fibres. Une meilleure digestibilité peut contribuer à une utilisation plus efficace des nutriments par les vaches.
3. Santé gastro-intestinale : Une alimentation à base d'orge hydroponique peut aider à maintenir la santé gastro-intestinale des vaches laitières. L'équilibre des nutriments, associé à une faible teneur en contaminants potentiels, peut réduire les risques de troubles digestifs et favoriser une meilleure santé intestinale.

4. Qualité du lait : Bien que l'orge hydroponique puisse avoir des avantages potentiels sur la santé des vaches laitières, il est important de noter que la qualité du lait est également influencée par d'autres facteurs, tels que la gestion globale de l'élevage, la génétique des vaches et d'autres composants de l'alimentation. L'orge hydroponique peut contribuer à une alimentation équilibrée, mais d'autres aspects doivent également être pris en compte pour garantir une production laitière de haute qualité.

**Conclusion**  
**&**  
**Perspectives**

La technique hydroponique représente une "nouvelle" porte de la science permettant d'augmenter la production de cultures destinées à l'alimentation, au fourrage et à l'ornement, ainsi que d'améliorer la qualité des rendements. La culture hydroponique peut produire un rendement élevé de cultures locales, telles que des légumes à feuilles ou des fleurs dans les zones surpeuplées. S'il est possible de moderniser la technique hydroponique, toutes les plantes et cultures peuvent être cultivées dans le monde entier.

L'hydroponie peut nourrir des millions de personnes dans les régions d'Asie et d'Afrique, où l'eau, la terre et les cultures sont insuffisantes. L'hydroponie est donc une lueur d'espoir pour la gestion des cultures et de la production alimentaire. Le Japon a commencé à utiliser la technique hydroponique pour la production de riz afin de nourrir la population . Israël cultive de grandes quantités de baies, d'agrumes et de bananes dans un climat sec et aride grâce à la technique hydroponique. À vrai dire, la technique hydroponique peut être une connaissance polyvalente, tant dans les zones rurales ou urbaines que dans les stations spatiales de haute technologie.

L'hydroponie peut être une pratique efficace pour la culture d'aliments dans des écosystèmes environnementaux défavorables tels que les régions montagneuses, les déserts ou les communautés arctiques. Actuellement, la demande de culture hydroponique a augmenté dans tous les pays développés et en développement. Les gouvernements devraient donc mettre en place des politiques publiques et accorder des subventions à ces systèmes de production.

En conclusion, l'hydroponie se développe dans le monde entier et ces systèmes offrent de nombreuses nouvelles opportunités aux cultivateurs et aux consommateurs pour obtenir des productions de haute qualité, y compris des légumes enrichis en composés bioactifs. Comme il est possible de cultiver sans sol dans des espaces très réduits, avec peu de main-d'œuvre et peu de temps, l'hydroponie peut jouer un rôle important pour les plus pauvres et les personnes sans terre.

En outre, elle peut améliorer le mode de vie des gens et favoriser la croissance économique d'un pays. En Algérie, l'industrie hydroponique devrait connaître une croissance exponentielle dans un avenir proche. Pour encourager les fermes hydroponiques commerciales, il est important de développer des technologies hydroponiques à faible coût qui réduisent la dépendance à l'égard de la main-d'œuvre et diminuent les coûts globaux de démarrage et d'exploitation.

- Aðalsteinsson S, Jensén P.** Influence of temperature on root development and phosphate influx in winter wheat grown at different P levels. *Physiologia Plantarum*. 2006;80:69-74.
- Anastasios Siomons et Pavlos Tsouvaltzis, 2022.** Hydroponics in Vegetable Production. A special issue of *Horticulturae* (ISSN 2311-7524).
- Al Meselmani M A. 2021.** Nutrient Solution for Hydroponics in Recent Research and Advances in Soilless Culture. Ed intechopen, pp 166. Turkey . DOI: 10.5772/intechopen.101604.
- Bollard EG.** A comparative study of the ability of organic nitrogenous compounds to serve as sole sources of nitrogen for the growth of plants. *Plant and Soil*. 1966;25:153-166.
- Cooper A. 1. The system. 2. Operation of the system.** In: Books G, editor. *The ABC of NFT. Nutrient Film Technique*. London; 1988. pp. 3-123.
- Douglas, J.S. 1975.** Hydroponics. Bombay Oxford: 1-3.
- Domingues, D.S., Takahashi, H.W., Camara, C.A.P. and Nixdorf, S.L. 2012.** Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture* 84: 53-61.
- Fazlil Ilahi WF, Ahmad D, Husain MC.** Effects of root zone cooling on butterhead lettuce grown in tropical conditions in a coir-perlite mixture. *Horticulture, Environment and Biotechnology*. 2017;58:1-4. DOI: 10.1007/s13580-017-0123-3.
- Frick J, Mitchell CA.** Stabilization of pH in solid matrix hydroponic systems. *HortScience*. 1993;28:981-984. DOI: 10.21273/hortsci.28.10.981.
- Gruda, N. 2009.** Does soil-less culture systems have an influence on product quality of vegetables. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 82(2): 141-147.
- Hoagland DR, Snyder WC.** Nutrition of strawberry plant under controlled conditions. (a) Effects of deficiencies of boron and certain other elements, (b) susceptibility to injury from sodium salts. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 1933;30:288-294.
- Hoagland DR, Arnon.** *The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil* (Circular (California Agricultural Experiment Station), 347. ed.). Berkeley, CA: University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station; 1938.
- Hewitt EJ.** Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. In: *Technical communication No. 22*. East Malling, Maidstone, Kent, England: Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops; 1996.
- Jones JB (Jr.).** *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA 2014, 1-206.
- Kozai T.** Closed systems for high quality transplants using minimum resources. *Plant Tissue Culture Engineering*. 2006;6:275-312.

**Levine CP, Mattson NS.** Potassium-deficient nutrient solution affects the yield, morphology, and tissue mineral elements for hydroponic baby leaf spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Horticulturae*. 2021;7:213. DOI: 10.3390/horticulturae7080213.

## Références

**Libia ITT, Gómez-Merino FC. In: Asao T, editor.** Nutrient Solutions for Hydroponic Systems, *Hydroponics—A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. Rijeka: InTech; 2012. Available from: <http://www.intechopen.com/books/hydroponics-astandardmethodology-for-plant-biological-researches/nutrient-solutions-for-hydroponic-systems>.

**Modu F, Adam A, Aliyu F, Mabu A, Musa M.** A Survey of smart hydroponic systems. *advances in science. Technology and Engineering Systems Journal*. 2020;5(1):233-248.

**Morard P, Silvester J.** Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: A Review. *Plant and Soil*. 1996;184(2):243-254.

**Marr CW (1994).** Hydroponics systems, greenhouse vegetable production. kansas state university.

**Muthir SA, Salim AA, Yaseen AA, Saleem KN.** Influence of nutrient solution temperature on its oxygen level and growth, yield and quality of hydroponic cucumber. *Journal of Agricultural Science*. 2019;11(3):75-92.

**Niu G, Masabni J. (2022).** Hydroponics in Plant Factory Basics, Applications and Advances, Pages 153-166. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01628-2>.

**Nxawe S, Ndakidemi PA, Laubscher CP.** Possible effects of regulating hydroponic water temperature on plant growth, accumulation of nutrients and other metabolites. *African Journal of Biotechnology*. 2010;9(54):9128-9134.

**Nguyen VQ, Van HT, Le SH, Nguyen TH, Nguyen HT, Lan NT, et al.** Production of hydroponic solution from human urine using adsorption–desorption method with coconut shell-derived activated carbon. *Environmental Technology and Innovation*. 2021;23:101708.

**ONU (2022).** La population mondiale atteindra 8 milliards d'habitants en novembre (ONU) | **ONU Info (un.org)**. disponible sur: <https://news.un.org/fr/story/2022/07/1123492> consulté le 3.06.2023.

**Okemwa, E. 2015.** Effectiveness of aquaponic and hydroponic gardening to traditional gardening. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 2:2313-3759.

**Prakash S, Singh R, Kumari AR, Srivastava AK.** Role of Hydroponics towards quality vegetable production: an overview. *Int. J Curr. Microbiol. App. Sci* 2020;10:252- 259.

- Pezeshki SR, Pardue JH, Delaune RD.** The influence of soil oxygen deficiency on alcohol dehydrogenase activity, root porosity, ethylene production and photosynthesis in *Spartina patens*. *Environmental and Experimental Botany*. 1993;33(4):565-573
- Qureshi, M. U. N. 2017.** Comparative study of Hydroponic and Geoponic Systems.
- Rouphael, Y. and Colla, G. 2005.** Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Scientia Horticulturae* 105 (2): 177- 195.
- Ramteke, R., Doneria, R. and M. K Gendley, M.K. 2019.** Hydroponic Techniques for Fodder Production. *Acta Scientific Nutritional Health*, 3 (5): 127-132.
- Savvas, D. 2003. Hydroponics:** A modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. *Food, Agriculture and Environment*, 1:80-86.
- Sharma N, Acharya S, Kumar K, Singh N, Chaurasia OP.** Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *J Soil Water Conserv* 2018;17:364-371.
- Sharma N, Acharya S, Kumar K, Singh N, Chaurasia OP.** Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *J Soil Water Conserv* 2018;17:364-371.
- Shrestha A, Dunn B.** Hydroponics. *Oklahoma Cooperative Extension Services* 2013, HLA-6442.
- Singh S, Singh BS. Hydroponics –** A technique for the cultivation of vegetables and medicinal plants. In: *Proceedings of 4th Global Conference on Horticulture for Food, Nutrition and Livelihood Options*. Bhubaneshwar, Odisha, India; 2012. p. 220.
- Salisbury FB, Ross CW.** *Plant Physiology*. California: Wadsworth Publishing Company; 1992.
- Steiner AA. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil.** 1961;15(2):134-154. Available from: <https://edepot.wur.nl/309364>.
- Salisbury FB, Ross CW. Plant Physiology. 4th ed. Beverly:** Wadsworth Publishing Company; 1991. p. 481.
- Steiner AA. The universal nutrient solution.** In: *Proceedings of IWOSC 6th International Congress on Soilless Culture*; Wageningen, The Netherlands; 1984. pp. 633-650.
- Sardare MD, Admane SV.** A Review on plant without soil–Hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2013;2(3):299-304.
- Swain A, Chatterjee S. (2021).** Hydroponics in vegetable crops: A review. *The Pharma Innovation Journal* 10(6): 629-634.
- Sethi VP, Sharma SK.** Greenhouse heating and cooling using aquifer water. *Energy*. 2007;32:1414-1421.
- Taiz L, Zeiger E. Plant Physiology. Sunderland:** Sinauer Associates; 1998.

**Trejo-Tellez, L.I. and Gomez, M.F.C. 2012.** Nutrient Solutions for Hydroponics Systems, Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches, Dr. Toshiki Asao (eds). ISBN 978-953-51-0386-8.

**Valentinuzzi F, Pii Y, Vigani G, Lehmann M, Cesco S, Mimmo T.** Phosphorus and iron deficiencies induce a metabolic reprogramming and affect the exudation traits of the woody plant *Fragaria×ananassa*. *Journal of Experimental Botany*. 2015;66:6483-6495. DOI: 10.1093/jxb/erv364.

**Voogt W. Potassium management of vegetables under intensive growth conditions.** In: Pasricha NS, Bansal SK, editors. Potassium for Sustainable Crop Production. Bern, Switzerland: International Potash Institute; 2002. pp. 347-362.

Windsor G, Schwarz M. Soilless Culture for Horticultural Crop Production. FAO, Plant Production and Protection. Roma, Italia; 1990. Unipub, ISBN: 0987650XXX.

**Wang, L., Chen, X., Guo, W., Li, Y., Yan, H. and Xue, X. 2017.** Yield and nutritional quality of water spinach (*Ipomoea Aquatica*) as influenced by hydroponic nutrient solutions with different pH adjustments. *International Journal of Agriculture and Biology* 19: 635-642.

**Yang T, Samarakoon U, Altland J, Ling P. Photosynthesis,** biomass production, nutritional quality, and flavor-related phytochemical properties of hydroponic-grown arugula (*Eruca sativa* Mill.) ‘standard’ under different electrical conductivities of nutrient solution. *Agronomy*. 2021;11:1340. DOI: 10.3390/agronomy11071340.

**Yamori W, Noguchi K, Hanba TK, Terashima I.** Effects of internal conductance on the temperature dependence of the photosynthetic rate in Spinach leaves from contrasting growth temperatures. *Plant & Cell Physiology*. 2006;47:1069-1080.

**Zhang, P., Senge, P. and Dai, Y. 2016.** Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. *Reviews in Agricultural Science* 4: 46-55.