

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الجبالي بونعامة - خميس مليانة
Université Djillali Bounaama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
Département des Sciences Agronomiques
Spécialité : Aménagement hydro-agricole

MEMOIRE

De fin d'études présentées pour l'obtention du diplôme de *Master*
Thème

Conduite de la fertigation des cultures fraise, laitue et tomate dans un système hydroponique

Présenté par : *Abdellah Mahdjoubi Bilal*
Boudjema Djeffal Yousouf

Jury :

Présidente	: Mme MATENE Chahrazed Naziha	MAA	UDB Khemis-Miliana
Promoteur	: Mr Touil Sami	MCA	UDB Khemis-Miliana
Co-Promotrice	: Mme Richa Amina	MCA	UDB Khemis-Miliana
Examineur	: Mme Karahaçane Hafsa	MAA	UDB Khemis-Miliana

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Dieu merci pour le succès et la santé, la volonté, le courage et la détermination qui nous ont accompagnés tout au long de la préparation de ce mémoire de Master et qui nous ont permis d'achever ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr Touil Sami pour ses précieuses orientations

Nous remercions les membres de jury d'avoir consacré de leur temps pour l'évaluation notre modeste travail.

Nos remerciements également à Mme Richa Amina qui était à nos côtés, et nous remercions

aussi Mr Imessaoudene Yassine et Mme Maten Naziha pour leurs conseils et leur motivation, et sans oublier de remercier ceux qui nous ont aidés sur le côté pratique ; Mr Benaissa sur le terrain, Mme Fizar et Wissam et Laila sur laboratoire.

Nous adressons nos remerciements à tous nos enseignants pendant les années universitaires.

Nous remercions particulièrement nos chers parents pour leur esprit de sacrifice et de dévouement ainsi que leur soutien continu – moral et matériel – pour nous permettre de construire un avenir meilleur.

Enfin, nous remercions toute personne de près ou de loin d'avoir donné un coup de main à la réalisation de ce travail, on leur souhaite la réussite dans tous les domaines de la vie et que dieu les protège.

Dédicace 1

*El hamdoulilah qui m'a donnée la volonté d'accomplir et faire ce
modeste travail.*

Je dédie ce travail a

A ma Chère Mère Naïma

A mon Père Djilali

*et je les remercie pour tous leur sacrifices, leur amour, leur
soutien tout au long de mes études.*

*À mes sœurs et mon petit frère qui ont été un support dans
ma vie.*

*Je dédie également ce travail à la famille de ma mère, la famille
kara Hussein, et sans oublier la famille de mon père, la famille
Abdellah Mahdjoubi.*

*Je remercie mon binôme et cher ami Youssef pour son
accompagnement et encouragement sans oublier mes chers amis
(Ahmed. Amine .Abdelkader. Abdou. Youssef. Hamza. Sdik).*

*Je remercie mon encadreur Mr Touil pour ses conseils et son
soutien et confiance et Sans oublier de remercier haïd zida li et
maouche bezza pour leur aide et leurs conseils.*

*Merci à tous les amis universitaires de près ou de loin, pour
leurs encouragements constants et leur soutien moral.*

Abdellah Mahdjoubi Bilal

Dédicace 2

Avant tous je remercie ALLAH qui m'a donnée la volonté de continuer

Mes études et faire ce modeste travail, je le dédié à :

- ❖ ma mère que je T'aime beaucoup et pour son amour, ses sacrifices et ses encouragements durant toute ma vie.*
- ❖ mon chère père qui ma aidé et qui m'encouragé durant mes études.*
- ❖ Mes sœurs qui m'ont aidée pendant ma dernière période d'études.*
 - ❖ ma grande mère HALIMA et FARHOUH.*
 - ❖ tout ma famille BOUDJEMA DJEFFAL et EZZIANE.*
- ❖ Je remercie mon binôme et ami Bilal pour son soutien et ses encouragements durant la période d'étude.*
- ❖ Grand dédicace mon encadreur Mr Touil et Md richa pour ses conseils et son confiance.*
- ❖ toute Promo d'Aménagement hydro agricole 2022 en particulier.*
 - ❖ tous les enseignants et les personnels du département d'Agronomie.*
- ❖ Merci à tous les membres de l'équipe de laboratoire de PRIMA pour leurs efforts et leur aide*

Boudjema Djeffal Yousouf

Résumé

Notre étude porte sur les systèmes aquacoles et l'impact des facteurs physiques et chimiques sur la croissance des plantes ainsi que sur la production et la qualité de diverses cultures en dehors du sol. Les fraises, la laitue et les tomates ont été cultivées dans les systèmes aquacoles, et certains plants de fraises sur des terres dans des pots agricoles sur le site pilote du projet PRIMA/ WTERMED 4.0. Université Djilali Bounaama à Khemis Miliana. Nous avons suivi leur croissance et examiné leurs besoins pour les maladies et les conditions dans lesquelles une alimentation riche a été fournie. Les variables ont été suivies par un dispositif spécial mesurant la CE, le pH, la température et l'oxygène dissous. Des analyses comparatives ont été faites de l'évolution des fraisiers en culture hydroponique et dans le sol et de la comparaison de la qualité de l'aquaculture et de la production pédologique.

Les résultats obtenus justifient le rôle de la solution nutritive dans la croissance et le développement des variétés cultivées, en particulier les fraises et les laitues, en termes de qualité et de rapidité des fruits par rapport aux variétés produites par le sol. Il a montré le rôle de la composition chimique de la solution nutritive qui peut être modifiée en fonction des besoins de la plante et que tout changement dans la composition chimique de la solution nutritive conduit à différents résultats de développement de la plante d'une manière différente comme le montre fraises cultivées dans le sol. Il a également montré comment la température était affectée par la CE, le pH et l'oxygène dissous et comment chaque facteur affecte d'autres facteurs qui ont à leur tour affecté la nutrition des plantes. Les résultats ont également montré la possibilité de produire des aliments de haute qualité plus adaptés à la santé humaine et par la conservation de l'environnement et ne répondant pas aux exigences agricoles traditionnelles.

Mots Clés : hydroponie, culture hors sol, croissance des plantes, la qualité de produit, solution nutritive.

المخلص:

تركز دراستنا على أنظمة الزراعة المائية وتأثير العوامل الفيزيائية والكيميائية على نمو النبات وإنتاج وجودة المحاصيل المختلفة المزروعة في خارج التربة. سنزرع الفراولة والخس والطماطم في أنظمة الزراعة المائية ، وستزرع بعض نباتات الفراولة في الأرض في اواني زراعية في موقع العرض التجريبي لمشروع WTERMED | PRIMA 4.0 ، جامعة جيلالي بونعامه في خميس مليانة ، قمنا بمتابعة نموهم وندرس احتياجاتهم الأمراض والظروف التي تم فيها توفير نظام غذائي غني وتم تتبع المتغيرات بواسطة جهاز خاص يقيس EC ودرجة الحموضة ودرجة الحرارة والأكسجين المذاب تم إجراء التحليلات المقارنة تطور نباتات الفراولة في الزراعة المائية والتربة والمقارنة بين جودة منتج الزراعة المائية والمنتج في التربة ، تم التوصل إلى المناقشات والاستنتاج.

تبرر النتائج التي تم الحصول عليها دور المحلول المغذي في نمو وتطور الأصناف المزروعة ، ولا سيما الفراولة والخس ، من ناحية الجودة وسرعة الإثمار بالمقارنة مع الاصناف التي تنتج بواسطة التربة. و بينت دور التركيب الكيميائي للمحلول المغذي الذي يمكن تغييره حسب احتياجات النبات و ان أي تغيير في التركيب الكيميائي للمحلول المغذي يؤدي الى نتائج مختلفة تطور النبات بطريقة مختلفة كما اظهرت ذلك الفراولة التي تم زرعها في التربة. بينت ايضا كيف تأثر درجة الحرارة على EC و pH و الاوكسجين المذاب وكيف يؤثر كل عامل على العوامل الاخر التي تأثر بدورها على تغذية النبات . كما اظهرت النتائج امكانية انتاج غذاء عالي الجودة و اكثر ملائمة لصحة الانسان و بوسائل محافظة على البيئة و لا تتقيد بشروط الزراعة التقليدية

-الكلمات المفتاحية: الزراعة المائية . الزراعة خارج التربة. تطور النباتات . جودة المنتجات. المحلول المغذي.

Abstract:

Our study focuses on aquaculture systems and the impact of physical and chemical factors on plant growth and the production and quality of various crops grown outside the soil. Strawberries, lettuce and tomatoes will be grown in aquaculture systems, and some strawberry plants will be grown in land in agricultural pots at the pilot display site of the project PRIMA/ WTERMED 4.0 , University Djillali Bounaama in Khemis Milaina, We followed their growth and examined their needs for diseases and conditions in which a rich diet was provided. The variables were tracked by a special device measuring EC, pH, temperature and dissolved oxygen. Comparative analyses were made of the evolution of strawberry plants in hydroponics and soil and comparison of the quality of aquaculture and soil production. The results obtained justify the role of nutrient solution in the growth and development of cultivated varieties, especially strawberries and lettuce, in terms of quality and speed of fruit compared to the varieties produced by soil. It showed the role of the chemical composition of the nutrient solution that can be changed according to the needs of the plant and that any change in the chemical composition of the nutrient solution leads to different results of plant development in a different way as shown by strawberries grown in the soil. It also showed how the temperature was affected by EC, pH and dissolved oxygen and how each factor affects other factors that in turn affected plant nutrition. The results also showed the possibility of producing high-quality food that is more suitable for human health and by means of environmental conservation and does not comply with traditional farming requirements.

Keywords: hydroponics, soilless culture, plant growth, product quality, nutrient solution.

Table des Matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1- Introduction générale :	01
2- Définition de la culture hydroponique :	03
3- Hydroponie dans le monde:	03
4- Hydroponie dans l'algérie :	04
5- Historique :	04
6- Le but de hydroponie :	05
7- La relation de la plante avec son milieu :	05
8- Les plantes qui peuvent être cultivées en hydroponie :	06
9- La différence entre la terre et l'hydroponie :	07
9-1- Les inconvénients et avantage de la culture terre :	07
9-2- Avantage et inconvénients de la culture hydroponique :	07
10- Les exigences de la culture hydroponique :	08
11- Les atouts et les contraintes de hydroponie :	09
12- Les différents systèmes de la culteur hydroponique :	09
12-1- Système hydroponique passif :	09
12-2- Système hydroponique actif :	10
13- Types d'installations existantes :	10
13-1- Systèmes sans substrat :	10
13-1-1- Technique du film nutritif (N.F.T.) :	10
13-1-2- Aquaponie :	11
13-1-3- Aéroponie :	12
13-1-4- Ultraponie :	13
13-2- Systèmes avec substrat :	13
13-2-1- Système de table à marées :	13
13-2-2- Système de goutte à goutte :	15
13-2-3- Système à flux continu :	15
14- Les types des substrats utilise en hydroponie :	16
14-1- Substrats d'origines naturels :	16
14-1-1- La fibre de coco :	16
14-1-2- Les substrats de culture volcanique :	17
14-2- Substrats d'origines artificiels :	17
14-2-1- Laine de roche :	17
14-2-2- Billes d'argile :	18
14-2-3- La perlite :	18
14-2-4- Le polystyrène expansé :	19
15- La fertirrigation ou la fertigation :	20
15-1- Matérielle et la fertirrigation :	20
15-2- Intérêt de la fertirrigation :	20
15-3- Solution nutritive :	21

15-4- Propriété de la solution :	21
15-4-1- L'eau de l'irrigation :	21
15-4-2- La température de la solution nutritive :	21
15-4-3- La conductivité électrique de la solution nutritive	22
15-4-4- Le PH de la solution nutritive :	22
15-4-5- Les macroéléments:	23
15-4-6- Les microéléments:	24
15-4-7- Intérêt de contrôle de solution nutritive :	24
16- Production de la culture de tomate, laitue et fraisier en hydroponie :	25
16-1- La fraise en hydroponie :	25
16-1-1- Définition :	25
16-1-2- Caractère systématique :	25
16-1-3- Description botanique :	25
16-1-4- Stades phénologiques du fraisier :	26
16-1-5- Variété de la fraise :	26
16-1-6- Les conditions de la fraise dans la culture hydroponique :	27
16-1-7- Les besoins de la fraise en hydroponie :	27
16-2- La laitue en hydroponie :	28
16-2-1- Définition :	28
16-2-2- Description botanique :	28
16-2-3- Caractère systématique	28
16-2-4- Variété de la laitue :	29
16-2-5- Les conditions de la laitue dans la culture hydroponique :	29
16-2-6- Les besoins de laitue en hydroponie :	30
16-3- La tomate en hydroponie :	30
16-3-1- Définition :	30
16-3-2- Cycle tomate :	30
16-3-3- Caractère systématique :	31
16-3-4- Les conditions de la tomate dans la culture hydroponique :	31

Chapitre II : matériel et méthode :

1- Présentation du site expérimental :	33
2- Description et de la serre d'étude :	34
3- Climat dans la serre :	35
4- Matériel et méthodes	35
4-1- Système d'irrigation :	35
4-1-1- Système d'alimentation :	35
4-1-2- Système drainage :	35
5- Technique du film nutritif N.F.T (horizontal) :	36
5-1- Description de système NFT :	36
5-1- La table :	36
5-2- Tubes pvc :	36
5-3- Système d'alimentation :	37
5-4- Système drainage :	37
6- Système hydroponique avec substrat :	38
6-1- La table :	38
6-2- Système d'alimentation :	38
6-3- Système drainage :	39

7- Technique du film nutritif N.F.T (escalier ou superposé) :	39
7-1- Description de système NFT :	40
7-1-1- Support :	40
7-1-2- Le réservoir :	40
7-1-3- Système d'alimentation :	41
7-1-4- Système de drainage :	41
8- Préparation la solution nutritive :	42
8-1- Matériels utilisé pour la préparation :	42
8-2- Préparation des réactifs A-B :	42
8-2-1- Préparation de la solution A :	42
8-2-2- Préparation de la Solution B :	42
9- Matériel de plantation et semis de végétale :	43
9-1- La fraise :	43
9-2- La laitue :	43
9-2-1- Le semis des grains :	43
9-3- La tomât :	43
10- La Méthodologie de travail :	44
10-1- Analyse de la composition des micronutriments dans la sulition nutritive :	44
10-2- Suivie les changements des paramétras physiques et chimiques de la solution nutritive :	44
10-2-1- Méthode de mesure de PH, CE, O2 :	44
10-3- Suivie de développement de la fraise et laitue dans l'expérience :	45
10-4- La comparaison de développement de la fraise dans le système NFT et les pots :	45
10-4-1- Suivie de développement de la fraise dans le système NFT et les pots :	46
10-4-2- La comparaison antre la composition chimique de sol et la solution nutritive :	46
10-5- La qualité générique :	46

Chapitre III : Résultats et discussions

1- La fraise :	48
1-1- Plantation :	48
1-2- Cycle végétative de la fraise :	49
1-3-1- Analyse statistique :	52
- La température :	52
- La conductivité électrique CE :	53
- Le potentiel hydrogène pH :	53
- L'oxygène dissous :	55
- La teneur en chlorophylle :	55
1- 4- L'effet de la température sur la consommation de plante :	56
1- 4-1- Augmentation de la température :	56
1-4-2- La diminution de la température :	56
1-4-3- La relation entre la température et CE, pH, O ² , Chlorophylle :	57
1-5- Développement de la fraise en expérience :	57
1-6- La récolte et rendements :	59
- La récolte :	59
- Rendements	60
1-7- La qualité de produite :	60
1-7-1- Sensoriels	60
- Le gout :	60

- La couleur :	60
- La forme :	60
- L'odeur :	60
- Le piquage :	60
1-7-2- Physique :	60
- Le diamètre. :	60
- Le poids	60
1-7-3- Chimique :	60
1-8- La comparaison de développement de la fraise dans le système NFT et les pots :	62
1-8-1- La comparaison entre la composition de sol et la solution nutritif :	65
1-9- Les problèmes :	65
1-9-1- Les maladies :	65
La tache pourpre :	66
- Traitement :	66
- Tétranyque :	66
- Traitement :	66
1-9-2- La pollinisation :	67
- La solution :	67
2. la laitue :	68
2-1- La plantation :	68
2-2- cycle végétative de la laitue :	69
2-3- Analyse statistique :	70
- La température :	70
- La conductivité électrique CE :	71
- Le potentiel hydrogène pH :	71
- L'oxygène dissous :	72
- La teneur en chlorophylle :	72
2-4- La développement de la laitue dans le système NFT :	72
2-5- La chaleur et la laitue :	75
2-6- La montaison prématurée :	75
2-7- Qualité de produit de la laitue :	75
- La qualité générique :	76
2-8- Résultat de production	76
3- La tomâtes :	78
3-1- Plantation :	78
3-2- Le cycle végétal de la tomâtes :	78
3-3- Irrigation de la tomâtes :	80
3-4- Attacher les plants de tomates :	80
3-5- Le rendement :	81
3-6- La qualité de tomates :	81
3-6-1- Sensoriels :	81
- Le goût :	81
- La couleur :	81
- La forme :	81
- L'odeur :	81
3-6-2- Physique: chaque fruit :	81
- La taille :	81

- Le poids :	81
3-6-2- Chimique :	81
- La qualité générique :	82
4- Discussion Générale :	83
5- Conclusion générale :	85
6- Les Annexes :	86

Liste des abréviations

CE : Conductivité électrique.

CEC : Capacité d'échange cationique.

ET₀ : Evapotranspiration potentiel.

ETM : Evapotranspiration maximale.

ENSA : Ecole nationale supérieure agronomique.

FOA : Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).

INRA : Institut National de la Recherche Agricole.

INSA : Institut National des Sciences Appliquées.

ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielle.

K_c : Coefficient culturale.

Mo : Molybdène.

NFT : Nutrient Film Technique (technique film nutritif).

pH : Potentiel hydrogène.

P_{pm} : Partie par million.

P_{pb} : Part par billion (partie par milliard).

RFU : Réserve Facilement Utilisable.

RU : Réserve Utile.

Liste des figures

Figure 01 : Système hydroponique passif	09
Figure 02 : Système hydropon	10
Figure 03 : Systeme N.F.T :	11
Figure 04 : Système aquaponie :	12
Figure 05 : Le système aéroponie :	12
Figure 06 : Le système Ultraponique :	13
Figure 07 : Le système de table à marées (Flux-reflux). :	14
Figure 08 : Fonctionnement d'une table à marées	14
Figure 09 : Système goutte a goutte	15
Figure 10 : Laine de roche	18
Figure 11 : Billes d'argile :	18
Figure 12 : Roche perlite et perlite expansée :	19
Figure 13 : Table à marée réalisé avec de polystyrène expansé	19
Figure 14 : Les différents organes du fraisier	25
Figure 15 : Les différents stades physiologiques du fraisier :	26
Figure 16 : Vue d'extérieur de la serre :	33
Figure 17 : Localisation de la station expérimentale :	33
Figure 18 : Schéma de site avec les démentions :	34
Figure 19 : Dimensionnement de la serre d'expérimentation :	34
Figure 20 : La table de système NFT :	36
Figure 21 : Installation alimentation système table goutte a goutte avec substrat :	39
Figure 22 : Instalation drainage système table goutte a goutte avec substrat :	39
Figure 23 : Variété de la fraise cultivée dans cette expérience « Sabrina »	43
Figure 24 : Variété de la laitue cultivée dans cette expérience " la laitue romaines "	43
Figure 25 : Variété de la tomât cultivée dans cette expérience " la tomât ercole "	43
Figure 26 : Courbe du Tmpératuer dans la solution nutritive :	52
Figure 27 : Courbe du CE dans la solution nutritive :	53
Figure 28 : Courbe du ph dans la solution nutritive :	54
Figure 29 : Courbe d'O ₂ dans la solution nutritive :	55
Figure 30 : Courbe de chlorophylle de un plant dans le système NFT (tube n°1) :	56
Figure 31 : Courbe représente nombre des feuilles dans le tube n°1 système NFT :	58
Figure 32 : Courbe représente nombre des fruits et nombre des fleurs dans le tube n°1 systèmeNFT :	58
Figure 33 : Courbe représente nombre des feuilles dans les pots et système NFT :	58
Figure 34 : Courbe représente nombre des feuilles dans les pots et système NFT :	59
Figure 35 : Courbe représente taille des feuilles dans les pots et système NFT :	62
Figure 36 : Courbe représente nombre des fleurs et fruits dans le système NFT :	63
Figure 37 : Courbe représente nombre des fleurs et fruits dans les pots	64
Figure 38 : Courbe de la température dans la solution nutritive (culture de la laitue) :	70
Figure 39 : Courbe du ph dans la solution nutritive (culture de la laitue) :	71
Figure 40 : Courbe de la CE dans la solution nutritive (culture de la laitue) :	71
Figure 41 : Courbe duO ₂ dans la solution nutritive (culture de la laitue) :	72
Figure 42 : Courbe chlorophylle dans le tube n° 1 (culture de la laitue)	72
Figure 43 : Développement des racines et feuilles en cm/jour de tube n°1 système :	73
Figure 44 : Développement des racines et feuilles en cm/jour de tube n°03 système	73
Figure 45 : Développement des racines et feuilles en cm/jour de tube n°06 système NFT	74

Liste des Photos

Photo 01 : Système de table NFT :	36
Photo 02 : Installation des tube de système :	37
Photo 03 : Système d'alimentation N.F.T (horizontal) :	37
Photo 04 : Système drainage NFT (horizontal) :	38
Photo 05 : système table goutte a goutte avec substrat :	38
Photo 06 : Technique du film nutritif N.F.T (escalier) :	39
Photo 07 : Le support de système N.F.T (escalier) :	40
Photo 08 : Le réservoir de système N.F.T (escalier) :	40
Photo 09 : Le système alimentation dans système N.F.T (escalier) :	41
Photo 10 : Le système de drainage dans système N.F.T (escalier) :	41
Photo 11 : La pèse des éléments nutritifs pour solution :	42
Photo 12 : Seime de la fraise a l'âge de 18 mois :	48
Photo 13 : Préparation de les plates pour la cultivassions :	48
Photo 14 : Placement les plants dans le système NFT :	49
Photo 15 : Numérotation tube table N.F.T :	51
Photo 16 : Numérotation des pots :	51
Photo 17 : La devlopment de system racinair de la fraise dans le système NFT :	57
Photo 18 : La devlopment de nombre et la taille des feuilles de la fraise dans le système NFT :	57
Photo 19 : Récolte de la fraise en système NFT :	60
Photo 20 : La qualité de la fraise en système hydroponique NFT :	61
Photo 21 : La comparaison de rondement de la fraise en système NFT et les pots :	64
Photo 22 : La tache pourpre dans les feuilles de la fraise :	66
Photo 23 : L'application de traitement sur les plantes :	66
Photo 24 : La malade de tétranyque sur les plantes :	66
Photo 25 : Traitement de tétanique (hexizox) :	66
Photo 26 : La déformation de fruits la fraise a cause de problème pollinisation :	67
Photo 27 : Numérotation tube table N.F.T pour suivi la culture de la laitue :	70
Photo 28 : Le phénomène de la montaison prématuré :	75
Photo 29 : 1er semaine après la plantation sur Système NFT :	76
Photo 30 : 3em semaine après la plantation sur Système NFT :	77
Photo 31 : 4em semaine après la plantation sur Système NFT :	77
Photo 32 : La plantation de la tomât dans substrat (fibre de coucou) :	78
Photo 33 : Attacher les plants de tomates :	80
Photo 34 : Rendement de la tomât :	81

Liste des tableaux

Tableau 01 : Liste des plantes cultivées en hydroponie :	06
Tableau 02 : Nutrient Solutions for Gr :	22
Tableau 03 : Suivi développement de la fraise dans le système NFT(cycle vegetative) :	49
Tableau 04 : Analyse la composition des micronutriments dans l'eau d'irrigation entrée et sortie :	51
Tableau 05 : Analyse statistique descriptive de ph, CE, O2 du système table NFT :	52
Tableau 06 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur le tube n°1(taille des feuilles et longueur des racines) :	58
Tableau 07 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur le tube n°1(nombre des feuilles) :	58
Tableau 08 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur le tube n°1 (nombre des fleurs et fruits) :	59
Tableau 09 : Analyse de la composition chimique des éléments nutritifs de la fraise :	61
Tableau 10 : Statistique descriptive des résultats de la comparaison de nombre des feuilles en système NFT et les pots :	62
Tableau 11 : Statistique descriptive des résultats de la comparaison de taille des feuilles en système NFT et les pots. :	62
Tableau 12 : Statistique descriptive des résultats de développement de nombre des fleurs et fruits dans système NFT :	63
Tableau 13 : Statistique descriptive des résultats de développement de nombre des fleurs et fruits dans les pots :	64
Tableau 14 : Analyse de la composition des micronutriments dans le sol et la solution nutritive :	65
Tableau 15 : Développement de la laitue après semence :	
Tableau 16 : Développement de la laitue dans le système NFT :	
Tableau 17 : Analyse statistique descriptive de ph, CE, O2 du système table NFT superpos :	70
Tableau 18 : Statistique descriptive des résultats enregistrés sur nouvelle système N .F.T N° 01	72
Tableau 19 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur nouvelle système N .F.T N° 01 :	73
Tableau 20 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur nouvelle système N .F.T tube n°07 :	74
Tableau 21 : Analyse de la composition chimique des éléments nutritifs de la laitue.	78
Tableau 22 : Suivi développement de la tomate :	82
Tableau 23 : Analyse de la composition chimique des éléments nutritifs de la laitue :	82



Introduction générale

Introduction générale

Le sol est l'environnement naturel pour la croissance des plantes pour fournir un soutien, des nutriments, de l'air, de l'eau, etc. Pour réussir la croissance des plantes, cependant, le sol impose parfois également de sérieuses restrictions à la croissance des plantes. Le travail du sol conventionnel est très difficile car il demande beaucoup d'espace et beaucoup de travail. De plus, dans certains endroits comme les zones urbaines, le sol n'est pas du tout disponible pour la culture ou dans certaines régions, nous remarquons une pénurie de terres arables en raison de sa géographie ou de ses conditions topographiques défavorables. Récemment, un autre problème sérieux s'est posé depuis lors, qui est la difficulté d'apporter de la main-d'œuvre pour l'agriculture traditionnelle en plein champ, ainsi que de traiter divers problèmes de sol. Face à ces difficultés, la culture hors-sol peut être introduite avec succès.

La culture hydroponique est la culture de plantes réalisée sur substrat neutre et inerte (de type sable, billes d'argile, etc.). Ce substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte les sels minéraux et nutriments essentiels à la plante. (William, 2013).

De façon plus réalisée, les cultures hors-sol se sont développées parce que les performances agronomiques obtenues étaient supérieures aux performances des cultures traditionnelles en sol : la réduction du milieu racinaire associée à l'irrigation localisée, la possibilité de mieux maîtriser la température des racines, la souplesse et la mobilité des systèmes proposés permettent une meilleure maîtrise des facteurs de production. Aujourd'hui, on peut dire que c'est ce dernier critère de performance agronomique qui conduit les producteurs à se convertir à l'hors-sol. (Alain, 2003)

La méthode semble simple... et elle l'est ! Cela nécessite certainement des connaissances et c'est le cas; Cela n'élimine pas tous les problèmes - il y a des maladies et des attaques de parasites. Mais le résultat est incroyable ! Des plantes généreuses et des récoltes inattendues sont obtenues en un temps record.

L'objectif de notre travail est de réaliser un système NFT hydroponique pour trois cultures, à savoir la laitue, la tomates et fraises en utilisant une solution nutritive à base d'engrais, puis d'effectuer un suivi général de la croissance et du développement des cultures pour surveiller et détecter les changements dans le produit ainsi que les déficiences rencontrés afin de proposer des solutions pour surmonter les complications et améliorer les performances et la qualité des fruits.

Pour ce faire, nous avons structuré notre travail en quatre (04) chapitres :

- Dans le premier chapitre, une synthèse bibliographique sur l'hydroponie et différents systèmes hydroponiques ;
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons le dispositif expérimental ainsi que la méthodologie adoptée ;
- Dans le troisième chapitre, les résultats obtenus ainsi qu'une discussion générale seront présentés ;
- Enfin, une conclusion générale pour résumer les différents aspects abordés dans ce travail.



Chapitre I : Synthèse bibliographique

2. Définition de la culture hydroponique

Le mot hydroponie est dérivé de deux mots grecs "*hydro*" signifiant eau, et *ponos* signifiant travail, donc le sens littéral du mot est travail de l'eau.

La culture hydroponique est généralement la culture de plantes sans utiliser le sol comme support pour les racines. Au lieu de terre, divers milieux inertes appelés substrats sont utilisés. Pour que les plantes poussent de manière optimale, elles ont besoin de lumière (naturelle ou artificielle), d'une température constante et modérée, d'une humidité de l'air suffisante, d'une oxygénation suffisante des racines. Enfin, une alimentation adéquate en quantité suffisante composée d'eau et de sels minéraux ; le déjeuner est assuré en incorporant à ces milieux des systèmes d'irrigation qui permettent aux plantes de recevoir les nutriments dont elles ont besoin pour leur croissance grâce à une solution « nutritive » (eau minérale riche en nutriments qui apporte tous les nutriments nécessaires à la croissance de la plante). Cette solution nutritive peut être distribuée autour des racines soit par la force de gravité négative, soit par la force active d'une pompe électromécanique de la solution nutritive et l'utilisation d'une pompe à air pour alimenter la solution en oxygène par le bas pour éviter la stagnation et fournir les racines avec l'oxygène nécessaire. C'est la méthode de culture la plus courante. Hors-sol, qui consiste à faire pousser la plante sur un substrat de racines nues ou un milieu aquatique (Keith F Roberto 2000).

3. L'hydroponie dans le monde

La population de la Terre atteindra plus de 9 milliards de personnes en 2050, et ce grand nombre de personnes a besoin de solutions innovantes pour sécuriser la production alimentaire beaucoup plus efficacement qu'elle ne l'est actuellement, et l'un des nouveaux moyens innovants est l'utilisation de la culture hydroponique.

À la lumière des besoins alimentaires croissants et de la rareté des terres agricoles dans de nombreux pays du monde, des chercheurs du monde entier travaillent au développement de la culture hydroponique, un moyen idéal pour faire face aux problèmes de pénurie d'eau et de changement climatique. Plusieurs pays européens ont commencé à développer cette agriculture, dans le but de "produire plus de nourriture, dans des zones limitées, et en utilisant moins d'eau". Certains des plus grands pays européens qui dépendent de la culture hydroponique sont la Chine, USA, Espagne, France, l'Allemagne, Danemark, Belgique, Italie, Russie, ... etc. La culture hydroponique n'est pas limitée aux pays européens, mais les pays arabes l'utilisent en particulier, pays qui souffrent d'une pénurie de terres agricoles, en raison de sa nature désertique, comme l'Égypte, Abu Dhabi, Qatar, Jordanie, Libye ... etc.

4. L'hydroponie dans l'Algérie

La culture hydroponique en Algérie se limitait à quelques études théoriques et universitaires, tandis que les études appliquées se limitaient à certains projets spéciaux. Le projet hydroponique le plus important en Algérie est le Projet d'accélération de l'innovation du « World Food Programme » où le personnel du World Food Programme en L'Algérie soutient les réfugiés sahraouis pour développer

Chapitre I : synthèse bibliographique

une serre hydroponique en utilisant des matériaux disponibles localement, et tester les meilleures méthodes hydroponiques dans le contexte local.

C'est la première fois que des organisations humanitaires utilisent la culture hydroponique dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord.

L'agronome algérien Taleb Ibrahim a développé un système hydroponique économe en eau qui permet la culture de l'herbe d'orge comme aliment pour animaux. Fourrage cultivé par cycles de 7 jours en milieu semi-contrôlé, dans des conteneurs alimentés à l'énergie solaire. Cette technique a déjà été reproduite avec succès en Jordanie et au Tchad. La culture hydroponique est très productive et nécessite 90 % moins d'eau que l'agriculture basée sur le sol.

5. Historique

Le mot grec hydroponique signifie « eau en action ». Scientifiquement, cela signifie cultiver des plantes dans un environnement stérile, avec des nutriments apportés "de l'extérieur". (Zenadra B 2016)

L'étude de la culture hydroponique a une longue histoire, elle est connue depuis 382 avant JC, mais les premières informations écrites remontent à 1600, lorsque le Belge Jan van Helmont a documenté son expérience sur les plantes qui obtenaient de l'eau. En 1699, l'Anglais John Woodward fit pousser des plantes dans des eaux contenant divers substrats de croissance et découvrit que leur croissance était le résultat de certaines substances présentes dans les eaux souterraines.

En 1804, de Saussure a énoncé le principe selon lequel les plantes sont composées d'éléments chimiques obtenus à partir du sol, de l'eau et de l'air. Les scientifiques allemands Sachs et Knopp ont montré que les plantes peuvent être cultivées dans un milieu inerte humidifié avec une solution nutritive résultant en une culture nutritive. Dans les années suivantes, de nombreuses formules de base pour l'étude de la nutrition des plantes ont été développées et complétées en 1915 par Hoagland.

Au début des années 1930, Gerek, professeur à l'Université de Californie, a déplacé les expériences de laboratoire sur la nutrition des plantes à une échelle commerciale. Pour ce fait, il a appelé ces fermes nutritives "systèmes hydroponiques". La prétention de Gerek à la culture hydroponique s'est rapidement avérée fructueuse en fournissant de la nourriture aux troupes stationnées sur les îles Waste dans l'océan Pacifique au début des années 1940.

En 1937, William Frederick Gerrick a inventé le terme hydroponique en 1937. Il a fait pousser des tomates de 25 pieds de haut dans des solutions nutritives minérales plutôt que directement sur le sol. (Lazizi.M 2017)

L'un des premiers succès de la culture hydroponique a été sur Wake Island, où la culture hydroponique a été utilisée pour cultiver des légumes pour les voyageurs. Dans les années 1960, Allen Cooper en Angleterre a développé la technologie du film nutritif. Pendant les années soixante et soixante-dix.

Aujourd'hui, la culture hydroponique est populaire non seulement comme moyen de produire des aliments plus gros, plus sains et plus délicieux, mais aussi comme passe-temps à la maison.

Chapitre I : synthèse bibliographique

Beaucoup de gens considèrent que la culture hydroponique est la façon dont la plupart des aliments peuvent être cultivés à l'avenir. Comme la quantité de terres arables diminue chaque année, la culture hydroponique peut être la réponse au maintien de l'approvisionnement alimentaire mondial en raison de sa capacité à produire des rendements plus élevés en utilisant une petite surface. (Zenadra B 2016)

6. Objectifs de l'hydroponie

L'objectif principal est de réduire les ravageurs et les maladies transmises par le sol affectant les cultures agricoles en évitant le contact entre les plantes et le sol en utilisant une solution nutritive contenant tous les éléments (macro et microéléments) nécessaires à la croissance et au développement des plantes (Snoussi, 1980). Selon (Jeannequin, 1992), les cultures hors sol sont développées pour :

- Éviter la fatigue rapide du sol de la serre due aux attaques parasitaires avec la propagation des nématodes et des champignons.
- Il offre la possibilité d'implanter des serres dans des endroits où l'énergie est moins chère, à proximité d'usines, ou dans des sites de géothermie pour bénéficier d'eau chaude et d'énergie solaire.
- Il permet un contrôle très précis de l'environnement racinaire assurant une plus grande précocité et rendement en termes de quantité et de qualité. (Boulhouache.I 2020)
- Utilisation de la fonction de réutilisation des milieux sans sol après stérilisation et de leur réutilisation dans d'autres cultures pour répondre aux exigences de la production intensive de cultures.

7. Relation de la plante avec son milieu

Un sol fertile favorise la croissance des plantes en fournissant des nutriments essentiels à la croissance des plantes, qui est un réservoir qui contient de l'eau et forme un substrat permettant aux plantes de se reposer sur leurs racines.

Ce sont les caractéristiques de la bonne relation qui unit la plante et l'agro-environnement et qui sont souvent considérées comme sol.

Les plantes n'ont pas besoin du sol en tant que tel, mais plutôt des réserves de nutriments et d'humidité présentes dans le sol ainsi que du support qu'il fournit. Toute aide à la culture peut répondre à ces exigences et apporter un soutien adéquat. Dans un milieu stérile dépourvu de ces réserves, on peut s'assurer que chaque plante reçoive la quantité exacte d'eau et de nutriments nécessaires à sa croissance. En effet, alors que le sol a tendance à absorber l'eau et les nutriments au détriment de la plante, compliquant encore la détermination de la quantité d'eau et d'engrais nécessaire à sa croissance, la culture hydroponique est tout le reste car ces éléments se décomposent et la solution est absorbée par le planter à des doses spécifiques et à intervalles réguliers. (Belbachir.M 2017)

8. Les plantes qui peuvent être cultivées en hydroponie

Avec la culture hydroponique, il est important de savoir quelles plantes ne sont pas hydroponiques, car certaines plantes sont plus sensibles et d'autres peuvent mettre plus de temps à pousser. Bien que tout puisse être cultivé en culture hydroponique, certaines plantes nécessitent plus d'efforts qu'elles n'en valent la peine. Savoir ce qui ne peut pas être cultivé dans l'eau est utile pour tirer le meilleur parti de nos ressources, y compris le temps et l'espace.

Tableau 1 : liste des plantes cultivées en hydroponie :

Type de cultures	Designation
Céréales	Oryza sativa (Riz), Zea mays (Maïs)
Fruits	Fragaria ananassa (Fraise)
Légumes	Lycopersicon esculentum (Tomate), Capsicum frutescens (Piment), Solanum melongena (Brinjal), Phaseolus vulgaris (Haricot vert), Beta vulgaris (Betterave), Psophocarpus tetragonolobus (Haricot ailé), Capsicum annum (Poivron), Brassica oleracea var. capitata (Chou), Brassica oleracea var. botrytis (Chou-fleur), Cucumis sativus (Concombre), Cucumis melo (Melons), Raphanus sativus (Radis), Allium cepa (Oignon)
Légumes à feuilles	Lactuca sativa (Laitue), Ipomoea aquatica (Kang Kong)
Condiments	Petroselinum crispum (Persil), Mentha spicata (Menthe), Ocimum basilicum (Basilic doux), Origanum vulgare (Origan)
Cultures florales / ornementales	Tagetes patula (Souci), Rosa berberifolia (Roses), Dianthus caryophyllus (Œillets), Chrysanthemum indicum (Chrysanthème)
Cultures médicinales	Aloe vera (Aloe indien), Solenostemon scutellarioides (Coleus)
Cultures fourragères	Sorghum bicolor (Sorgho), Medicago sativa (Alphalfa), Hordeum vulgare (Orge), Cynodon dactylon (Herbe des Bermudes), Axonopus compressus (Herbe à tapis)

Source : (Maouche .B et Haid.S 2021)

9. La différence entre la terre et l'hydroponie

Quelles sont les différences entre la culture en terre et la culture hors sol? Déjà il est bon de rappeler qu'une plante issue d'une culture hydroponique n'aura pas forcément :

- Un meilleur goût qu'une plante cultivée en terre
- Une taille supérieure à une plante cultivée en terre
- Des buds plus compacte qu'en terre
- Un effet supérieur à une plante cultivée en terre et vice versa.(Belbachir ,M.2017)
- La culture hydroponique permet également une automatisation de la culture température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide, ventilation. En raison de son potentiel de productivité, elle permet d'obtenir d'excellents résultats tout en faisant des économies d'eau.

Chapitre I : synthèse bibliographique

- Cette technique permet de faire pousser des végétaux tout en leur permettant d'exprimer tout leur potentiel génétique.

Il est tout à fait possible de faire des cultures de quantité astronomique aussi bien en terre qu'en hydro.

Tout comme il est tout à fait possible de réaliser des cultures de qualité avec les 2 types de cultures. Passons en revue les avantages et inconvénients de chaque culture :

9.1. Les avantages et inconvénients de la culture terre

- Goût un peu plus « roots » parfois
- Coût de revient d'une installation de départ moindre
- Consommation d'engrais inférieure à celle de la culture hydroponique
- Possibilité de pratiquer une culture bio
- Entretien simplifié du matériel
- Récolte plus importante si c'est en extérieur
- Pas de vérification du pH ni de l'EC à effectuer régulièrement
- Limitation des problèmes de pH du à l'effet tampon de la terre

- les inconvénients

- Saleté accrue due à la manipulation de terre
- Obligation d'arroser régulièrement
- Présence accrue de « squatteurs » dans le substrat
- Difficulté d'apprécier l'arrosage pour un débutant
- Difficulté pour gérer les engrais pour un débutant
- Difficulté d'éradiquer les maladies et autres champignons
- Demande un minimum d'expérience pour élaborer un bon terreau
- Rendement inférieur à celui d'une culture hydroponique (Belbachir M.2017)

9.2. Les avantages et inconvénients de hydroponie

La culture hydroponique offre de nombreux avantages :

- Possibilité de cultiver dans des espaces réduits (confinement des racines dans un espace limité) et inhabituels (jardins sur terrasses, sur toiture...)
- Élimination des contraintes liées au sol (sols pauvres ou inadaptés, présence d'agents pathogènes, de polluants...)
- Culture en intérieur même en hiver
- Une utilisation plus efficace de l'eau et des éléments nutritifs, spécialement dans un système à recyclage
- Moins de parasites, notamment à l'intérieur (pas ou peu de pesticides)
- Culture «propre», sans manipulation de terre, moins sujette aux carences, maladies ou champignons
- Rendements souvent supérieurs à ceux d'une culture en terre
- Développement et croissance plus rapide
- Réduction des pertes en culture...(cultures hydroponique & horticoles 2017)

- Inconvénients

L'adoption et le développement de ces techniques en agriculture industrielle, malgré leur grand potentiel de productivité, sont limités à cause de l'importance des capitaux qu'il faut investir pour qu'elles soient mises en place ce qui dissuade de nombreux paysans à les installer.

- De plus, elles engendrent une consommation électrique importante.

- Emploi de chauffages de serres pour les productions de contre-saison.

L'imperméabilisation des sols engendrée par l'abri de centaines d'hectares de cultures accroît la baisse du niveau des nappes phréatiques. L'eau de pluie, alimentant normalement ces nappes, ruisselle directement dans les cours d'eaux et ne participe plus à l'alimentation de la nappe phréatique. Cela engendre une érosion des sols. Toutes les variétés de légumes et de fruits ne sont pas adaptées à cette technique. Son emploi, à long terme, ferait probablement perdre à l'humanité des variétés végétales obtenues après des centaines d'années de sélection. La mise en œuvre de cette technique, qui emploie des produits industriels manufacturés (tuyaux goutte à goutte, pompes doseuses d'engrais, pompe d'alimentation, bâche...) n'est pas envisageable pour les paysans pauvres des pays du Sud.

- Ce type d'agriculture fait largement appel à l'utilisation d'énergies fossiles participant encore plus au réchauffement climatique

- Emploi massif de matières plastiques pour les bâches des tunnels, de paillage, de poches à substrat ; fertilisation majoritairement à base d'engrais minéraux chimiques .(Maouche .B et Haid.S 2021)

10. Les exigences de la culture hydroponique

Contrairement à une idée répandue, la culture hors sol exige souvent plus de soins et d'entretien que le jardinage en terre. Lorsqu'on utilise les techniques de culture hors sol (essentiellement pratiquée sous serre ou sous abri), il faut raisonner en système et ne pas porter son attention sur un élément ou paramètre isolé. La culture hydroponique exige une parfaite maîtrise de l'ensemble du système, car en cas d'échec, davantage d'éléments peuvent dysfonctionner :

- Un éclairage adéquat (éclairages artificiels, minuteriers...)

- Un système de culture et d'irrigation contrôlé et entretenu (contenants, pompes, régulation, désinfection, substrats appropriés...)

- Un contrôle environnemental (température ambiante et des solutions, hygrométrie, enrichissement en dioxyde de carbone...)

- Un contrôle des niveaux de concentration des éléments nutritifs (trousses d'analyse, conductimètre/EC-mètre...)

- Un contrôle du pH de l'eau (trousses d'analyse, pH-mètre...(cultures hydroponique & horticoles 2017)

11. Les atouts et les contraintes de hydroponie

- Les atouts

- La production est indépendante de la valeur agronomique des sols

- Le choix du dispositif de culture et du substrat permettent d'avoir une parfaite adaptation aux exigences spécifiques des végétaux

- Le profilage du sol n'est réalisé qu'une seule fois

Chapitre I : synthèse bibliographique

- Les apports en eau et en engrais ont une meilleure efficacité
- Les problèmes d'épuisement du sol et la contamination par des pathogènes sont évités
- Les conditions de travail sont meilleures

- Les contraintes

- Plus grande réactivité du système sur les cultures, dégâts irréversibles en cas d'erreurs de réglage.
- Nécessite une forte technicité
- Pollutions notables en cas d'absence de recyclage des effluents
- Difficultés à évacuer certains supports de cultures
- Utilisation fréquente de support ; accroissant la dépendance vis-à-vis des fournisseurs
- Investissements élevés lors de la mise en place. (BOULHOUACHE I. 2020)

12. Les différents systèmes de l'hydroponie

La différence entre ces « types » de systèmes se fait selon le mode d'acheminement de l'eau (ou l'air).

12.1. Système hydroponique passif

C'est un système simple et ne requiert pas de pompe à eau ou d'air. La plante est placée dans un substrat inerte solide au-dessus d'un réservoir de solution nutritive. Ces derniers sont absorbés par la plante par capillarité à l'aide de mèche ou au contact d'une paroi poreuse gorgée d'eau.

Ce système ne nécessite pas d'installation électrique et est peu encombrant. En revanche, la stagnation de l'eau présente un vrai désavantage contrairement à l'hydroponie active et pourrait s'avérer dangereux pour les plantes. (the black leaf).



Figure 01 : Système hydroponique passif (Source : growdiaries)

12.2. Système hydroponique active

Ce système requiert des pompes à eau ou d'air pour distribuer la solution nutritive par le biais de l'eau. Il permet de réguler de façon très précise l'irrigation, en fonction des besoins des plantes. La circulation de la solution nutritive dans un système actif permet d'augmenter la concentration en dioxygène et d'homogénéiser les nutriments. En général, on cultive les plantes avec ce système dans de la laine de roche ou des fibres de coco. (the black leaf).

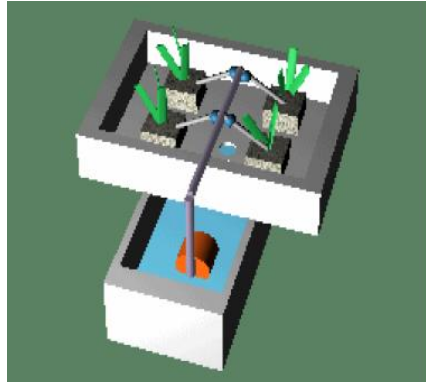


Figure 02 : système hydroponique (Source : Belbachir M. 2017)

13. Types d'installations existantes

13.1. Systèmes sans substrat

Ces techniques permettent de s'affranchir des contraintes liées aux substrats (achat, mise en place, renouvellement...). Elles permettent aussi une désinfection relativement simple du matériel entre deux cultures. Par contre, elles nécessitent d'enrichir la solution nutritive en oxygène pour alimenter correctement les racines.

13.1.1. La technique de culture sur film nutritif (N.F.T)

Conçue par l'Anglais Cooper en 1979, c'est une des techniques sans substrat la plus utilisée en horticulture. Comme il est très difficile d'aérer un liquide stagnant, le milieu nutritif circule sur une faible épaisseur, ce qui permet une forte oxygénation du liquide nutritif, d'où le nom de « Nutrient film technique ».

La solution nutritive qui est envoyée dans les rigoles par une pompe située dans un réservoir s'enrichit en oxygène au niveau de la surface du film liquide grâce à son déplacement continu. L'arrosage s'effectue par ruissellement sous les racines des plantes, qui sont disposées dans une sorte de buse ou gouttière légèrement inclinée, de façon à ce que le liquide retourne dans le réservoir après avoir été en contact avec les racines.

Ce système fonctionne en circuit fermé, ce qui signifie une évaporation limitée, et donc une grande économie en eau. La solution doit cependant être réajustée en permanence aussi bien en volume qu'en concentration en éléments minéraux, la solution étant absorbée par les plantes. Cette méthode présente un inconvénient : Les plantes qui sont situées en bout de circuit reçoivent une alimentation appauvrie en oxygène et parfois en éléments nutritifs. (cannaweed).

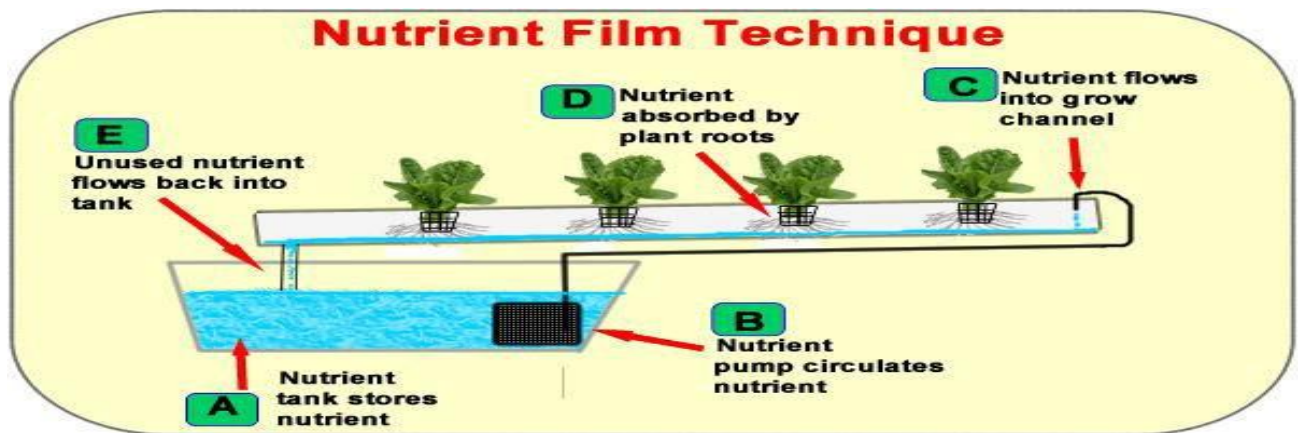


Figure 03 : système N.F.T (Source : commentcultiver)

Avantage

- Ce système apporte une bonne oxygénation.
- Il permet un arrosage homogène.
- Il est économique car il n'utilise qu'un fin film d'eau.
- Il permet d'obtenir un rendement élevé
- Comme il n'utilise aucun substrat, il ne pose aucun problème pour le roulement des cultures.

Inconvénients

- Les plantes qui se situent en fin de cycle peuvent recevoir une alimentation appauvrie en oxygène et en éléments nutritifs.
- Ce système n'est pas très écologique car il engendre le versement de la solution dans l'environnement.
- Comme il fonctionne en circuit fermé, il augmente les chances de propagation des maladies. (cannaweed).

13.1.2 Aquaponie

L'aquaponie est une technique de production agricole qui combine l'élevage en aquaculture avec la culture en hydroponie. Ces deux systèmes sont les plus productifs dans leurs domaines respectifs (FAO, 2014).

Les nutriments nécessaires à la croissance des plantes proviennent alors de la transformation en éléments assimilables par des populations bactériennes des déchets produits par les micro-organismes aquatiques. Ce processus permet de créer un écosystème complet et équilibré où trois règnes d'organismes coexistent en symbiose. Finalement, les besoins en eau et en nutriments sont drastiquement réduits (FAO, 2014).

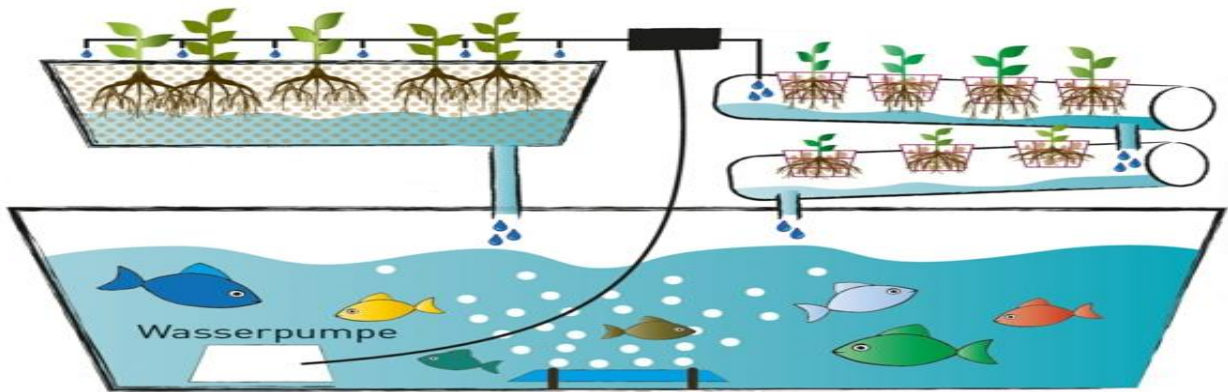


Figure 04 : système aquaponie (Source : freshidees)

13.1.3 Aéroponie

L'aéroponie représente l'évolution la plus récente des technologies de culture hors sol et c'est aussi le système le plus sophistiqué. Les racines des plantes ne sont en contact ni avec un milieu solide ni même avec un milieu liquide. Elles sont alimentées par un brouillard nutritif obtenu par nébulisation de la solution nutritive dans une enceinte close.

L'excès de solution nutritive est récupéré puis recyclé. L'atmosphère du milieu de culture où se trouvent les racines est saturée par un brouillard nutritif qui se dépose sur les racines puis ruisselle sur ces dernières en assurant l'alimentation hydrique et minérale. Bien entendu, le système assure une excellente aération. (cannaweed)

Le système aéroponique

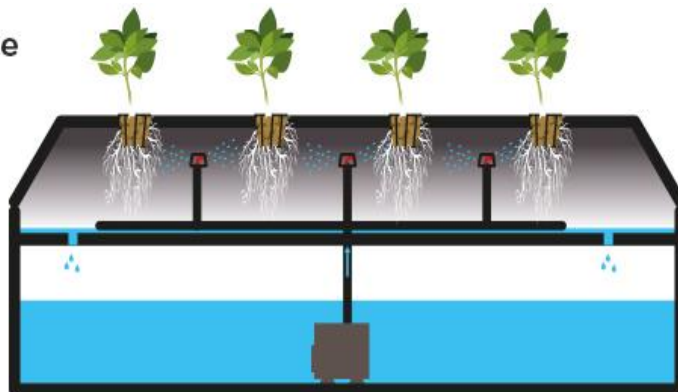


Figure 05 : le système aéroponie (Source : hydrofollies)

Avantages

- Constitue le système hydroponique le plus performant
- Rendement optimal

Inconvénients

- Nécessite un investissement financier considérable
- Nécessite une pompe à eau de puissance importante.

13.1.3. Ultraponique

L'ultraponie est une amélioration de l'aéroponie. Le brouillard nutritif est créé grâce à des brumisateurs à ultrasons puis dirigé vers les racines. Il est fait de très fines gouttelettes formant un milieu composé d'eau et d'oxygène directement assimilable par les pores des racines. La circulation de la brume accélère énormément le processus d'absorption des racines. Le « chevelu » est plus dense, augmentant exponentiellement les échanges entre la plante et le milieu nutritif. L'ultraponie permet des rendements jusqu'à 8 fois supérieurs, et consomme très peu d'eau, d'engrais et d'électricité. Il peut être totalement contrôlé par informatique. C'est pourquoi, c'est le système qui a été choisi par la NASA dans ses recherches pour nourrir les astronautes durant les voyages lointains dans l'espace (Cervantes, 2012).



Figure 06 : le système Ultraponique (Source : cannaweed)

Avantages

- Une quantité exceptionnelle d'oxygène disponible pour la plante.
- Pas de pression donc aucun risque de fuite, ni de débordement.
- Moins de problème de maladie racinaire.
- Faible consommation électrique.
- Entretien facile (la membrane se change en 5mn).(Cannaweed)

13.2. Systèmes avec substrat

L'autre groupe de cultures hors sol fait intervenir des substrats. Il s'agit d'un processus technique différent du précédent car il introduit un paramètre supplémentaire. Ce support solide inerte n'est pas indispensable puisque plusieurs technologies sans substrat sont parfaitement fonctionnelles, même dans le cadre d'applications agricoles.

13.2.1. Système a table marée

Parfois appelés « inondation-drainage », ils se composent d'une table étanche à rebords. La table est périodiquement inondée grâce à l'eau d'un réservoir. Dès que la table est pleine, le substrat est irrigué, la pompe s'arrête automatiquement, ce qui permet à l'eau de s'écouler. Les petits systèmes de ce genre sont disponibles auprès des marques spécialisées dans l'hydroponie.

Chapitre I : synthèse bibliographique

L'acquisition d'un système entier s'avérera peut-être plus aisée que la recherche des pièces une à une. De tous les systèmes hydroponiques d'eau vive, les tables à marées sont les moins chers à installer et ceux qui réclament le moins de maintenance. Ils génèrent peu de problèmes de plomberie. En effet, comme ils utilisent uniquement des conduites d'un diamètre relativement important, il est rare qu'ils se retrouvent bouchés. (Belbachir, 2017).

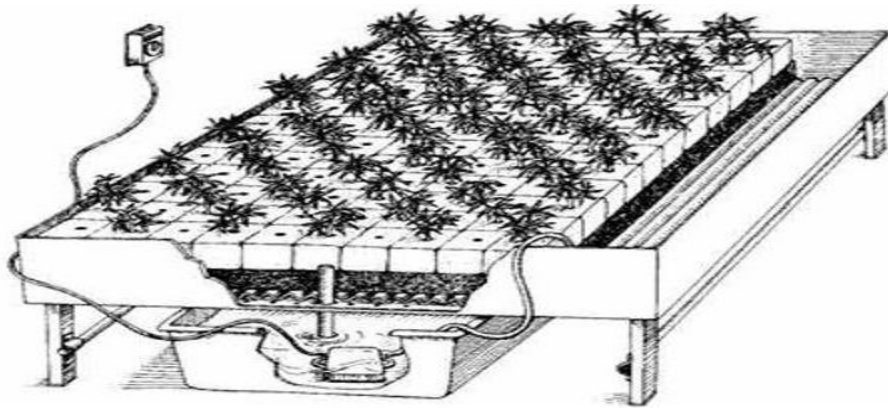


Figure 07 : Le système de table à marées (Flux-reflux). Source : (Belbachir, 2018).

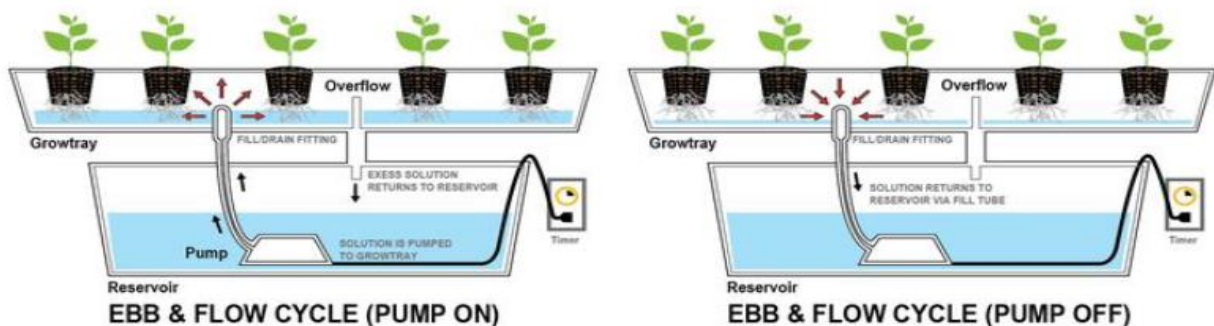


Figure 54 : Fonctionnement d'une table à marée

Figure 08 : Fonctionnement d'une table à marée (Source : Belbachir, 2018).

Avantage

- Coût d'achat assez réduit
- Facile à nettoyer entre 2 cycles. Il suffit d'enlever le tapis de racines, de nettoyer le système à l'éponge et de rincer le tout.
- Encombrement réduit en hauteur
- Facilité d'emploi
- Recyclage de la solution nutritive

Inconvénients

- Légèreté du couvercle qui peut amener à le changer régulièrement
- Manque de brassage de la solution dans la cuve.
- Nécessite un minuteur assez précis de façon à optimiser les cycles de marées
- Le recyclage de la solution nutritive peut faire fortement varier le pH et l'EC
- Le circuit fermé aggrave les risques de propagations des maladies.
- N'est pas adapté à tous les types de cultures
- Grande perte d'eau par évaporation

13.2.2. Système goutte à goutte

Ces systèmes utilisent une pompe qui amène l'eau sur le substrat via un goutte-à-goutte. L'eau s'infiltré à travers le substrat, retourne dans le réservoir et est prête à être réinjectée. Les systèmes goutte à goutte sont faciles à installer. L'eau est pompée du réservoir, généralement situé sous la zone plantée, vers des goutteurs, un pour chaque plante. Les plants eux-mêmes peuvent être installés dans des pots individuels ou sur un plateau commun. L'eau circule dans les pots et retourne dans le réservoir. (BOULHOUACHE I. 2020).



Figure 09:système goutte a goutte (Source : instructables)

Avantage

- Coût d'achat assez réduit
- Facile à nettoyer entre 2 cycles. Il suffit de retirer le substrat avec les racines, de nettoyer le système à l'éponge et de rincer le tout.
- Facilité d'emploi

Inconvénient

- Nécessite souvent une grande quantité de substrat.
- Laborieux à vidanger vu la contenance

13.2.3 Flux continu

Ce système est généralement de petite taille et constitué de plusieurs petites unités. Ce système a des applications multiples. Il est surtout utilisé pour la culture de plantes culinaires ou aromatiques. 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 en-dessous. Pour éviter que les racines ne soient abîmées, une pompe à air envoie la solution dans une colonne de pompage, puis la répartit par un anneau de distribution. (agronomie.info)

Avantage

- Simple d'installation.
- Autonomie du système.
- Diminue l'évaporation car l'arrosage se fait directement aux racines.
- Ce système engendre de très grosses récoltes à petites échelles.
- Il permet d'obtenir très rapidement de très grosses plantes et des gardes en pleine forme très longtemps.
- Il nécessite un système de relais le liant à un grand réservoir.

Inconvénients

- Contamination des sols possible
- Différence entre le débit des capillaires
- Maintenance régulière
- Frais importants : remplacement du matériel
- Il nécessite l'achat de pompes à air
- Il ne permet pas de faire de grosses cultures harmonieuses
- Il engendre une forte augmentation de l'humidité
- Il n'est pas économique en eau car ce système subit fort l'évaporation de sa solution .(Maouche .B et Haid.S 2021)

14. Les types des substrats utilise en hydroponie

14.1. Substrats d'origines naturels

14.1.1. La fibre de coco

C'est un substrat inerte au pH neutre, obtenu à partir de noix de coco broyée (*Cocos nucifera*) après séchage. La coco-coir n'est pas tamisée pour éliminer les fibres, ce qui augmente sa porosité et permet une meilleure aération des algues.

La coque de noix de coco (à base de sec) de 34 % de cellulose, 36,5 % de lignine, 29 % de pentosan (cinq sucres carbonés) et 0,6 % de cendres.

avec la noix de coco qui se développe rapidement en tant que nouveau substrat sans danger pour l'environnement. Plusieurs grandes serres hydroponiques au Canada, aux États-Unis et au Mexique ont adopté la noix de coco comme substrat préféré. (Resh 1978, p. 293)

Avantage

- Il est réutilisable à condition d'être désinfecté entre chaque utilisation
- Il est très aéré
- Il est assez bon marché
- Il est dénué de parasite au départ
- Il a une faible inertie thermique
- Il est biodégradable

Inconvénients

- Il a une faible capacité en rétention en eau
- Il est lourd
- Il perd de sa porosité au cours de son utilisation

14.1.2. Les substrats de culture volcanique

Constitués de mélange de matières premières d'origine volcanique, les substrats de culture volcanique combinent aussi pour certains des ensemencements organiques permettant d'approcher les caractéristiques biologiques d'un sol cultivé avec des avantages physico-chimiques permettant d'excellents rendements. Ces mêmes substrats dans des formulations adaptées sont utilisables pour la création de toits végétalisés.

Ce type de substrat est souvent utilisé dans des bacs ou des pots, pour la réalisation de semis, ou lors de l'enracinement des boutures.

Avantage

- Il est très léger
- Il a une très bonne capacité de rétention d'eau
- Il est chimiquement inerte
- Il est isolant.

Inconvénients

- Parfois très polluant quand le transport depuis des contrées lointaines de substrat de vermiculite se fait grâce à des énergies fossiles
- Son prix est très élevé
- Il se dégrade facilement en poussière et se tasse
- Il s'envole facilement car il est très léger
- Il est difficile à désinfecter. (Hydroponie, wikipedia 2022)

14.2. Substrats d'origines artificielles

14.2.1. Laine de roche

La laine de roche est obtenue par extrusion d'un mélange de basalte, de calcaire et de coke fondus à 1600°C. La coulée est éclatée en une multitude de fibres très fines qui, au refroidissement, sont encollées par une résine urée-formol et enrobées d'un mouillant hydrophile. Ces produits sont spécialement fabriqués en vue de leur utilisation comme substrat de culture hors sol.

Les laines de roche sont des matériaux légers, caractérisés par une bonne porosité et une capacité de rétention en eau élevée. Au contact de la solution nutritive, les laines de roche libèrent des ions minéraux (calcium, magnésium, fer et manganèse) et alcalinisent légèrement le milieu. Il est donc conseillé de saturer le matériau pendant 48 heures avant la mise en culture. Après avoir effectué ce trempage, les laines de roche peuvent être considérées comme inertes.



Figure 10 : Laine de roche (Source : spgreenhouse)

14.2.2. Billes d'argile

se présente sous forme de granulats obtenus par traitement à haute température de nodules d'argile humide : on obtient ainsi des billes dures et poreuses qui ont gardé la couleur brun rouge du matériau d'origine. C'est un produit de grande durabilité, chimiquement inerte et présentant une faible capacité de rétention en eau.

Initialement utilisée pour la culture de plantes vertes ou de fleurs en pots, l'argile expansée est utilisée en horticulture professionnelle en mélange avec de la tourbe. 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. Il est utilisé pour la culture en container, sur des systèmes de tables à marées, ou à une plus petite échelle dans des systèmes hydroponiques à flux continu. Contrairement à la laine de roche, les billes d'argile sont un substrat durable, sain, biologique et écologique.



Figure 11 : Billes d'argile (Source : promshop)

14.2.3. La perlite

C'est un sable siliceux d'origine volcanique contenant de l'eau qui est expansé industriellement par un traitement à la chaleur (1200°C). Brutalement chauffée, elle gonfle d'environ 20 fois son volume initial. On obtient alors des flocons blancs et légers contenant 75% de silice, chimiquement inertes

Il est composé de silice, d'alumine, d'oxyde de fer, d'oxyde de titane, de chaux, de magnésium, d'oxyde de sodium et de potasse. Il a une très grande capacité de rétention d'eau (4 à 5 fois son poids) son pH est de 7 à 7,2, et il s'utilise pour la culture sur substrat, pure ou mixte.

Chapitre I : synthèse bibliographique

La perlite expansée à chaud présente une porosité ouverte élevée associée à une très bonne capacité de rétention en eau. Son principal inconvénient réside dans sa fragilité mécanique. Les grains de perlite expansée sont friables et ont tendance à se désagréger en poudre fine. (Cannaweed)



Figure 12 : roche perlite et perlite expansée (Source : perlite.fr)

Avantage

- Fournit un bon drainage et une bonne aération aux plantes ;
- le meilleur matériau pour un système hydroponique à mèche.

Inconvénient

- La poussière de la Perlite est connue pour provoquer des irritations
- il est recommandé de porter des masques avant de manipuler la Perlite (Maouche, B. Haid, S. 2021)

14.2.4. Le polystyrène expansé

Ce matériau neutre présente une capacité de rétention nulle, sa surface hydrophobe ne retient pas le liquide. Le polystyrène s'emploie donc le plus souvent en combinaison avec d'autres matériaux. Utilisé seul sous forme de billes expansées, il est également très efficace pour le paillage dans les serres froides. Lavable, réutilisable et neutre ; donc adapté aux espèces non acidophiles, il constitue un matériau de paillage appréciable dans la culture hydroponique étant exempt de tout parasite.



Figure 13: Table à marée réalisé avec de polystyrène expansé (Source :Maouche, B., & Haid, S. 2021)

15. La fertirrigation ou la fertigation

La ferti-irrigation est une pratique agricole nouvelle permettant d'appliquer l'engrais à sa culture par le biais d'un système d'irrigation grâce à l'utilisation de nutriments (les engrais) solubles dans l'eau, cette pratique est notamment rendue possible par les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte et aspersion.

La fertilisation des cultures hors sol est particulière. Les apports fertilisants sont calculés et rythmés en fonction de trois facteurs : les besoins de la culture selon son développement, le climat et le substrat. La faible « capacité tampon » du substrat implique l'observation régulière des paramètres de contrôle suivants : le taux de drainage, le pH, l'électro conductivité de la solution nutritive et celle de la solution de drainage. 83 (Guide de la tomate hors sol à La Réunion)

15.1. Matériel de la fertirrigation

- De goutteurs, choisis en fonction du débit souhaité. Dans le cadre d'un V.I.E, il est préférable d'installer des goutteurs autorégulant.
- Le réseau de goutteur peut-être aérien ou enterré.
- D'un système de filtration, afin d'éviter les colmatages.
- De vannes, automatisées ou manuelles selon l'installation.
- De peignes collecteurs, afin d'éviter de colmater son réseau.
- Un tank, mobile ou fixe qui permet de mettre l'engrais en solution
- Une pompe à injection ou un injecteur Venturi
- qui rendent possible la distribution de l'engrais dans le système d'irrigation,
- Les engrais, sous forme soluble ou déjà liquide. (Maouche .B et Haid.S 2021)

15.2. Intérêt de la fertigation

- Gestion des apports pour l'eau et les nutriments adaptés aux besoins des objectifs de production,
- Augmentation de l'efficacité de l'eau et de l'application des nutriments,
- Gains économiques et écologiques d'eau et d'intrants,
- Possibilité d'une viticulture de précision, ou du pilotage des équilibres acides-sucres des raisins,
- Diminution du compactage des sols,
- Réduction du temps de main d'œuvre. (Paul)
- Les nutriments sont appliqués au rythme exact auquel la plante en a besoin dans son stade de croissance, prévenant ainsi les carences même à des périodes d'assimilation importantes de nutriments.
- Les nutriments sont appliqués uniformément sur toute la zone irriguée.
- Le producteur peut immédiatement réagir aux changements environnementaux susceptibles d'affecter le profil d'exigence de la plante en matière de nutriments.
- La fertirrigation permet de réduire la salinité, la sodicité ou l'acidité du sol.
- La fertirrigation peut être utilisée pour tous les types de systèmes d'irrigation et conditions de croissance (Maouche .B et Haid.S 2021)

15.3. Solution nutritive

En culture hydroponique, les plantes n'ont pas à lutter pour les nutriments au contraire, il est facilement fourni en dissolvant des sels d'engrais dans l'eau pour former une solution nutritive, Cela permet aux plantes d'utiliser leur énergie pour pousser et produire des produits de haute qualité.

Chaque type de plante est unique et a besoin d'éléments nutritionnels différents, de plus ces éléments peuvent différer ou leur quantité varie à chaque stade de développement de la plante, Il peut être contrôlé en ajustant la solution nutritionnelle en fonction de ce qui convient aux besoins nutritionnels de la plante.

Les sels d'engrais doivent être très solubles parce qu'il doit rester en solution pour être disponible pour les plantes.

15.4. Propriété de la solution

15.4.1. L'eau de l'irrigation

Tous les systèmes de culture hydroponique nécessitent des quantités considérables d'eau relativement pure. Les meilleures réserves d'eau domestique ou d'eau à usage agricole contiennent fréquemment des substances et des éléments qui peuvent affecter (positivement ou négativement) la croissance des plantes. Même l'eau de pluie recueillie sur la couverture de la serre peut contenir des substances inorganiques et organiques qui peuvent affecter la croissance des plantes. La qualité de l'eau peut être un facteur important pour l'utilisation hydroponique en raison de sa teneur en diverses substances inorganiques et organiques. Par conséquent, une analyse complète de l'eau à utiliser pour tout type de système de culture hydroponique est essentielle. L'analyse doit inclure les composants inorganiques et organiques si l'eau provient d'une rivière, d'un puits peu profond ou d'autres sources de surface. Si l'eau provient d'autres sources, un dosage des éléments inorganiques sera suffisant. (Jones 2014, p. 50)

Les sources d'eau naturelles peuvent contenir des concentrations importantes de certains des éléments essentiels dont les plantes ont besoin, en particulier Ca et Mg. Dans les régions où l'eau est prélevée dans des aquifères calcaires, il n'est pas rare que les concentrations de Ca et de Mg atteignent respectivement 100 et 30 mg/L (ppm). Certaines eaux naturelles contiennent des concentrations appréciables de Na et d'anions, tels que le bicarbonate (HCO_3^-) sulfate (SO_4^-), le carbonate (CO_3^{2-}) des concentrations élevées. Le sulfure (S^{2-}), principalement sous forme de sulfure de fer, qui donne une concentration de (SO_4^{2-}), et chlorure (Cl^-). Dans certaines régions, le B peut être trouvé dans l'eau avec une odeur d'œuf pourri, il est présent dans certaines eaux naturelles. (Jones 2014, p. 50)

15.4.2. La température de la solution nutritive

la température contrôle le taux de croissance des plantes. Généralement, à mesure que les températures augmentent, les processus se déroulent à un rythme plus rapide. La plupart des processus chimiques dans les plantes sont régulés par des enzymes qui, à leur tour, fonctionnent au mieux dans des plages de températures étroites. Au-dessus et au-dessous de ces gammes de température, l'activité enzymatique commence à se détériorer et, par conséquent, les processus chimiques ralentissent vers le bas ou sont arrêtés. À ce stade, les plantes sont stressées, la croissance est réduite et, éventuellement, le plante peut mourir. La température de l'environnement de l'usine

Chapitre I : synthèse bibliographique

doit être maintenue à des niveaux optimaux pour maturation rapide et réussie. La température de l'air et de l'eau doit être surveillée et contrôlée.

15.4.3. La conductivité électrique de la solution nutritive

La conductivité est simplement la mesure de la quantité d'éléments solubles présents dans l'eau ou une solution nutritive, et donc la conductivité d'une solution dépend de sa composition et de sa concentration en ions.

Le niveau de conductivité électrique diminue car il y a moins de sels dans la solution. En raison de l'absorption des nutriments par la plante, l'EC d'une solution augmente lorsque l'eau est éliminée de la solution par les processus d'évaporation et de transpiration. Si l'EC de la solution augmente, elle peut être abaissée en ajoutant de l'eau pure (ne contient pas d'éléments solubles, sa conductivité est donc égale à zéro). Si la CE est diminuée, elle peut être augmentée en ajoutant une petite quantité d'une solution nutritive concentrée.

S'il est si important de mesurer la conductivité de sa solution nutritive, c'est que cette mesure vous permettra de connaître sa concentration minérale. Une fois déterminée, vous pourrez connaître la quantité de nutriments à apporter à votre plante. Ainsi elle pourra se développer au mieux.

Quality level	EC (mS/cm)	Na or Cl (mmol/l)	Na (ppm)	Cl (ppm)	Suitability for hydroponics	Suitable uses
1	< 0.5	< 1.5	< 34	< 53	++	Suitable for all crops
2	0.5 - 1.0	1.5 - 2.5	34 - 57	53 - 87	+	Not suitable when recirculation is necessary
3	1.0 - 1.5	2.5 - 4.0	57 - 92	87 - 142	±	Not to be used for salt-sensitive crops

Tableau 2 : Nutrient Solutions for Gr

(Source : Maouche .B et Haid.S 2021)

15.4.4. Le PH de la solution nutritive

Le niveau de pH d'une solution représente la concentration molaire d'ions hydrogène (H^+) présents dans la solution. Plus il y a d'ions hydrogène présents dans le solvant, plus la solution est basse (plus acide). Un niveau de pH de sept à 25°C est dit neutre, un pH inférieur à sept est considéré comme acide et un pH supérieur à sept sont basiques. Une façon courante de mesurer le pH consiste à utiliser une sonde à électrode de verre. L'enquête mesure la différence de potentiel électrique entre l'électrode de verre et un électrode de référence pour obtenir le niveau de pH de la solution. Une plage de pH légèrement acide entre 5,6 et 6,6 convient au basilic doux. La plupart des formules de solution nutritive, lorsqu'elles sont ajoutées au solvant, abaissent le pH des solvants à un niveau adapté à la plupart des cultures hydroponiques. Cependant, ayant des plantes matures poussant dans un système hydroponique, le pH tend à augmenter continuellement. Cette augmentation peut être ajustée en ajoutant doses d'une solution acide au solvant. (JENS ORTNER 2019).

La valeur du pH nous donne une mesure de la concentration en ions hydrogène dans la solution nutritive. La valeur du pH se mesure sur une échelle de 0 à 14.

Chapitre I : synthèse bibliographique

- pH 7 - neutre
- pH <7 - acide
- pH >7 - alcalin

Une seule valeur de pH ne suffit pas à satisfaire les besoins de toutes les plantes. Chaque espèce de plante a sa propre valeur de pH. Un pH <4,5 ou >9,0 peut nuire aux plantes ; dans ces cas, les nutriments essentiels sont bloqués dans la solution en raison d'une toxicité ou d'une alcalinité extrême. Par conséquent, la disponibilité des nutriments pour vos plantes est directement liée à la valeur du pH. Une valeur de pH idéale se situe entre 6,0 et 7,5.

Noms des plantes Plage de pH

Tomates	Laitue	5,8 - 6,0
Aubergines		5,7 - 6,2
Poivrons		5,7 - 5,9
Haricots		5,8 - 6,2
Fraises		5,8 - 6,2
Melons		5,4 - 5,6

Le matériau utilisé pour faire pousser vos plantes, comme la sciure de bois, la mousse de tourbe ou la vermiculite, peut également modifier le pH de la solution nutritive. Il est donc plus sûr d'utiliser un matériau qui ne modifie pas le pH des solutions nutritives, comme la perlite, la laine de roche, l'argile expansée ou le cocotier. (Maouche .B et Haid.S 2021)

15.4.5. Les macroéléments

Les macro-nutriments sont absorbés en grandes quantités :

Une fois ingérés, ils remplissent les fonctions suivantes :

-(N) Azote : Parmi les éléments nutritifs apportés aux cultures, le plus important est souvent l'azote, auquel on peut imputer, dans certains cas, 75% de l'augmentation observée des rendements. En effet, il participe au développement et à la croissance de toutes les parties de la plante : feuilles, tiges et racines. L'azote joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante.

Il entre, avec d'autres éléments (carbone, oxygène, hydrogène...), dans la composition des acides aminés formant les protéines. L'azote est un élément essentiel pour la constitution des cellules et la photosynthèse (chlorophylle). C'est le principal facteur de croissance des plantes et un facteur de qualité qui influe sur le taux de protéines des végétaux. (Anon, 2005)

-(P) Phosphore : Le phosphore joue un rôle essentiel dans le fonctionnement biologique des plantes car il est impliqué dans de nombreux processus physiques, chimiques, biologiques et enzymatiques. C'est l'un des principaux composants des acides nucléiques en joignant les nucléotides et est également un composant des phospholipides de la membrane végétale

Participe au système de transfert d'énergie dans les cellules car il est impliqué dans la formation de l'adénosine et du triphosphate, qui sont les principales sources d'énergie pour le métabolisme. Du point de vue du métabolisme, le phosphore stimule la synthèse des glucides à partir de CO₂ et H₂O et fait également partie du complexe ADN-ARN, ce dernier responsable de la transcription de l'information génétique, de la synthèse des protéines et, enfin, le phosphore active la croissance des pousses et les racines et agit également comme un activateur du stockage des glucides. Le phosphore est stocké dans les grains/graines sous forme de phytates (BOULHOUACHE I. 2020)

Chapitre I : synthèse bibliographique

(K) Potassium : Le potassium intervient dans plusieurs processus métaboliques comme la photosynthèse, la synthèse des protéines et les activités enzymatiques (glycolyse, synthèse de l'amidon et du saccharose, réduction du nitrate). Il est impliqué aussi dans les processus de transport membranaire, dans l'équilibre de charges, dans la génération de la pression de turgescence, dans l'utilisation de l'eau de la plante et dans l'élongation cellulaire

15.4.6. Les microéléments

Les micro-nutriments sont absorbés en plus petites quantités Ils servent à ces fins :

(B) Bore : Nécessaire à la formation des parois cellulaires lorsqu'il est associé au calcium.

(Ca) Calcium : Nécessaire à la formation des parois cellulaires.

(Cu) Cuivre : Active les enzymes, nécessaires à la photosynthèse et à la respiration.

(Fe) Fer : Formation de la chlorophylle, respiration des sucres pour fournir de l'énergie de l'énergie de croissance.

(Mg) Magnésium : Production de chlorophylle, fabrication d'enzymes.

(Mn) Manganèse : Catalyseur dans le processus de croissance, formation d'oxygène dans la photosynthèse.

(Mo) Molybdène : Métabolisme et fixation de l'azote.

(S) Soufre : Synthèse des protéines, absorption de l'eau, fructification et ensemencement, fongicide naturel.

(Zn) Zinc : Formation de la chlorophylle, respiration et métabolisme de l'azote.

La plupart des nutriments sont énumérés avec les quantités de N-P-K représentées en pourcentages. Par exemple, une solution 10-10-10 contient 10% d'azote, 10% de phosphore et 10% de potassium en poids. Si vous faites le calcul, vous constaterez que cette concentration ne représente que 30 %, car le pourcentage restant est généralement constitué d'une charge de matériaux chélateurs utilisés pour faciliter le processus nutritionnel. N'utilisez que des nutriments spécifiquement conçus pour l'hydroponie, car les formules conventionnelles préparées pour les plantes cultivées dans le sol ne contiennent pas les équilibres appropriés. ally favorisent les formules de nutriments en deux et trois parties car elles sont toujours plus performantes que les nutriments d'usage général. Les formules en deux et trois parties vous permettent de faire un mélange personnalisé pour chaque culture et chaque stade de croissance. (Keith F. Roberto 2000,p11)

15.4.7. Intérêt de contrôle de solution nutritive

L'avantage est de vous permettre un contrôle absolu de la nutrition de vos plantes. Seuls les éléments que vous introduisez dans l'eau sont présents dans la zone racinaire, dans les proportions que vous avez choisies. À tout moment, vous pouvez vérifier la qualité et la quantité de nutriments dissous dans l'eau. N'oubliez pas que c'est grâce aux technologies hydroponiques que la science végétale a progressé ces deux derniers siècles, en particulier dans le domaine de la nutrition des plantes. Aujourd'hui, la plupart des recherches autour du végétal se font à l'aide de l'hydroponie. D'un autre côté, l'hydroponie est également utilisée dans la recherche sur les gènes et sur le transfert génétique. (Texier, Breider et Verlomme impr. 2013)

16. Production de la culture de la fraisier, laitue et la tomate en hydroponie

16.1. Le fraisier en hydroponie

16.1.1. définition

Le fraisier appartient à la famille des Rosacées. Celui cultivé commercialement (*Fragaria x ananassa* Duch.) est un hybride de deux espèces diploïdes (*Fragaria chelonensis* Duch. et *Fragaria virginiana* Duch.). C'est une plante vivace stolonifère dont les feuilles mesurent 10 à 15 cm de haut, et sont dotées de trois folioles au joli contour dentelé, et d'un beau vert vif. Inutile de préciser que si on cultive le fraisier, c'est pour son fruit. La fraise fait en général l'unanimité, chez les humains, mais aussi chez les animaux. Sans compter que la fraise est riche en vitamines C, en fer et en iode (Desjardins, 2003).

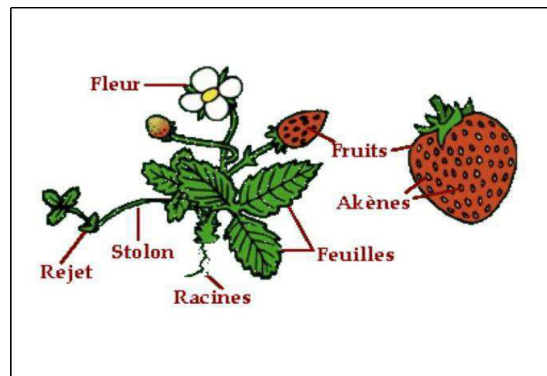


Figure 14: Les différents organes du fraisier (Source : BOULHOUACHE I. 2020)

16.1.2. Caractère systématique

- ✓ Règne : Plantae
- ✓ Division : Magnoliophyta
- ✓ Classe : Magnoliopsida
- ✓ Ordre : Rosales.
- ✓ Famille : Rosaceae.
- ✓ Genre : *Fragaria*.
- ✓ Espèce : *Fragaria x ananassa*.
- ✓ Noms communs : Fraisier.

16.1.3. Description botanique

Le fraisier est une plante vivace aux feuilles en rosette. Elle possède un bourgeon terminal à l'état végétatif qui produit une tige feuillée à entre-nœuds très courts. Cette formation est, dans le cas du fraisier, appelée le cœur, ou la couronne, et donne naissance à des bourgeons axillaires, qui à leur tour, forment un cœur ou un rameau feuillé (Parent et al., 2000). Celui-ci, appelé stolon, sera à l'origine de la multiplication végétative du plant mère, en plusieurs plants filles, lorsque la température sera suffisamment élevée et en jours longs. Les bourgeons axillaires ayant donné un nouveau cœur deviendront les fleurs, puis les fruits (phase reproductive) sous les mêmes conditions que pour la formation des stolons (Maouche .B et Haid.S 2021)

16.1.4. Stades phrénologiques du fraisier

Au début du printemps, les feuilles présentes se grossissent sur le pied qui donne naissance à une nouvelle tige porteuse de feuilles. Les tiges se couvrent progressivement de feuilles puis les petites branches apparaissent au centre. Elles donneront naissance à des boutons puis à des petites fleurs blanches et jaunes qui laisseront place aux fraises qui sont verte avant de murir et de prendre la couleur spécifique (ITCMI, 2010).

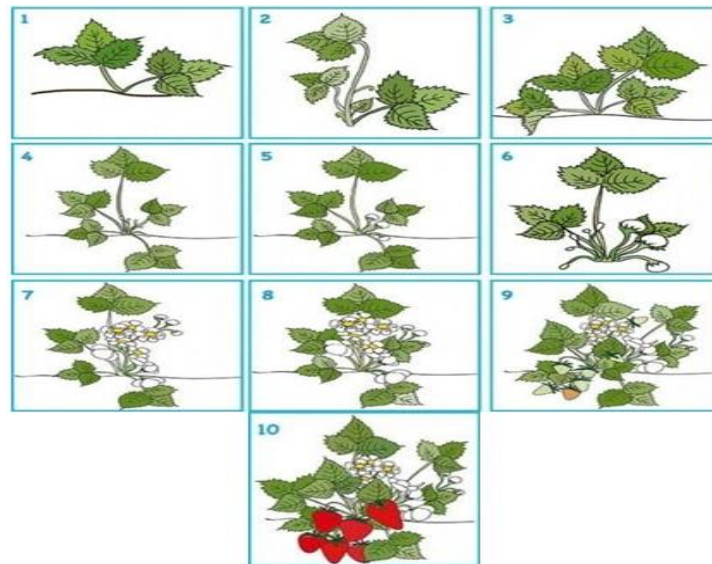


Figure 15: les différents stades physiologiques du fraisier (Source : BOULHOUACHE I. 2020)

16.1.5. Variété de la fraisé

Il existe plusieurs types de fraises en Algérie :

- **Savana** : se caractérise par :
 - un bon système racinaire lui permettant une excellente adaptation à différents types de sols.
 - elle est aussi une variété rustique et résistante aux maladies du sol

- **Fortuna** : se caractérise par :
 - Taux élevé de fruits gros commercialisables
 - Floraison très précoce
 - Couleur rouge vermillon brillant
 - Rendement élevé
 - Bonne durée de conservation
 - Excellente saveur (ACI news)

- **San Andreas** : se caractérise par :
 - Floraison précoce
 - Très précoce et productive
 - Très résistante au Phytophthora et à l'antracnose
 - Fruit très ferme

Chapitre I : synthèse bibliographique

- Couleur rouge vif moyen
- Excellents arôme et qualité gustative (ACI news)
- **Sabrina** : se caractérise par :
 - une couleur rouge claire brillant Ses fruits
 - Gros calibre avec une bonne saveur
 - un bon rendement
 - résistant aux champignons du sol
 - adapte bien notre climat (Aries S 2019)

16.1.6. Les conditions de la fraise dans la culture hydroponique

La température, la lumière, l'humidité relative et la concentration de l'air en gaz carbonique affectent les rendements et la qualité de la fraise produite en serre.

Température : La température moyenne pour une bonne floraison est de l'ordre de 10 à 15°C. Une bonne fécondation exige une température de 20°C et une humidité relative inférieure à 60%. La maturation normale du fruit nécessite une température au-dessus de 15°C et la température optimale de croissance se situe autour de 25°C avec un arrêt de croissance à des températures inférieures à 5°C. (Aries S 2019)

- **Lumière** : Les fraises hydroponiques bénéficient également des lampes de culture car la durée de la journée joue un rôle dans la dormance du fruit. Certains jardiniers expérimentés recommandent de donner 10 à 12 heures d'éclairage avec des lumières LED.

- **Humidité relative et CO₂** : La gestion de l'humidité relative (HR) joue un rôle majeur dans la production de fraises de serre. L'humidité relative doit être élevée (>90%) à certains stades de la culture comme le stade végétatif, surtout la nuit, pour éviter la nécrose marginale (rougissement des bords). Cependant, pendant la journée, l'humidité relative doit être maintenue autour de 70-75% pour éviter l'apparition de maladies fongiques et permettre à la plante de se développer (transpiration de la plante lors de la photosynthèse). La ventilation passive et active ainsi que la brumisation assureront des conditions optimales dans la serre. la concentration de dioxyde de carbone à l'intérieur doit être vérifiée pour s'assurer qu'il n'y a pas de problèmes de photosynthèse. (agri-city.info)

16.1.7. Les besoins de la fraise en hydroponie

Des besoins les plus importants de la fraise en hydroponie sont les éléments minéraux :

L'azote : Les racines et les feuilles ont besoin de la majeure partie de l'azote sous forme de nitrate pendant la fructification. Une meilleure fertilisation azotée avant et pendant la floraison affecte l'initiation florale et affecte également la fructification.

Le potassium : Le potassium est impliqué dans de nombreux processus métaboliques tels que la photosynthèse, la synthèse des protéines et les activités enzymatiques (glycolyse, synthèse d'amidon et de saccharose, réduction des nitrates). Il est également impliqué dans les processus de transport membranaire, d'équilibre de charge, de génération de pression de turgescence, d'utilisation de l'eau par les plantes et d'élongation cellulaire.

Chapitre I : synthèse bibliographique

Calcium : À l'intérieur de la cellule, le calcium se lie aux acides bactériens dans la lame médiane et est responsable du maintien de la structure cellulaire et de la rigidité des tissus. Le calcium est également important pour la stabilité de la membrane cellulaire et le maintien de la qualité des fruits.

Le phosphore, le magnésium et le soufre : Le phosphore est un élément très mobile dans la plante. Une redistribution se fait facilement des anciennes feuilles vers les parties plus jeunes. La carence en phosphore réduit la division cellulaire et inhibe plusieurs réactions de synthèse dans les feuilles, considérant que plusieurs composés phosphorylés sont impliqués dans ces processus.

Le magnésium est l'ion central de la chlorophylle. Il joue, par conséquent, un rôle clef dans l'activité photosynthétique. Il a aussi une fonction comme activateur des enzymes de la phosphorylation et il est impliqué dans la synthèse des glucides. Il faut noter que les ions K^+ et Mg^{2+} sont antagonistes, un excès de K empêche l'absorption de Mg.

Le soufre est un composé essentiel de la synthèse des protéines et est incorporé dans les coenzymes et la ferrédoxine. Il joue aussi un rôle primordial dans plusieurs réactions d'oxydoréduction (Marschner, 1986). La majeure partie du soufre se trouve dans les feuilles et les racines. L'absorption du soufre est relativement faible dans les solutions nutritives. (Christiana.S 2011)

16.2. La laitue en hydroponie

16.2.1. Définition

La laitue est un genre de plantes annuelles et bisannuelles¹ de la famille des Astéracées (Composées) dont certaines espèces sont cultivées pour leurs feuilles tendres consommées comme salade verte. Ce genre comprend plus de 100 espèces. La laitue la plus cultivée est la laitue cultivée (*Lactuca sativa*) à partir de laquelle les jardiniers ont sélectionné de nombreuses variétés et cultivars.

16.2.2. Description botanique

La laitue est une plante annuelle de jours longs à cycle court, consommée (en Europe) à l'état jeune avant la montée en graines. Elle développe une rosette de feuilles entières, capables ou non selon le type, de former une pomme. Après la formation de la pomme, la tige subit une élévation et l'apex évolue en hampe florale.

Le système racinaire est pivotant (25 –30 cm) épais et chevelu. Dans la plante, présence de latex blanc et, selon les cultivars, d'anthocyanes dont la synthèse est favorisée par des conditions culturales défavorables, les basses températures notamment. (Fiche technique laitue généralités,P1)

16.2.3. Caractère systématique

- ✓ Laitue : Désignation
- ✓ Laitue : Plantae
- ✓ Division : Magnoliophyta
- ✓ Classe : Magnoliopsida
- ✓ Ordre : Asterales
- ✓ Famille : Asteraceae

16.2.4. Variété de la laitue

On distingue 6 groupes auxquels peuvent correspondre des aptitudes culturale particulières :

- Laitue ne formant pas de pomme

La celtuce ou laitue-asperge : la plante forme une tige charnue dont on consomme la moelle après cuisson et épluchage.

La laitue à couper : développe une rosette très fournie, de feuilles libres. Autrefois récoltées par poignée, sur semis dense en passages renouvelés, elles sont aujourd'hui reprises en cultures pour être vendues en plante entière. De faible poids, elle a une mauvaise tenue à l'étalage (flétrissement par évaporation)

- Laitues formant une pomme

Laitue romaine : donnant une pomme oblongue, volumineuse mais moins serrée que dans les types suivants. Il existe des types d'hiver et d'été.

Laitue pommée frisée ou batavia : pommes à tendance aplatie, (feuilles plus large que longue) et peuvent être volumineuses.

Laitues pommées lisses ou beurre : pommes globuleuses, feuilles plus ou moins molles. Ce sont les plus répandues, car s'adaptant le mieux au climat océanique.

Laitue grasse : feuilles épaisses formant une petite pomme, assez peu recouverte. Très bonne tenue à la chaleur et résistance à la montaison

Le renouvellement des variétés est très rapide actuellement, partiellement en raison d'une recherche soutenue de géotypes résistants aux différentes (nouvelles) races de mildiou de la laitue (*Bremia lactucae*), au puceron *Nasonovia ribis-nigri*, etc... (Fiche technique laitue généralités,P2)

16.2.5. Les conditions de la laitue dans la culture hydroponique

La température, la lumière, l'humidité relative et la concentration de l'air en gaz carbonique affectent les rendements et la qualité de la laitue produite en serre.

Pour la lumière, disons qu'il n'en manque pas en plein été. La croissance est proportionnelle à la quantité de lumière reçue. C'est la chaleur engendrée par les journées chaudes et ensoleillées qui pose problème. Sur ce point, mentionnons qu'il se produit de la laitue en serre dans des endroits encore plus chauds et ensoleillés que le Québec... mais ils doivent installer des équipements qui permettent de rafraîchir l'air et le milieu racinaire.

Pour le CO₂, en cette période-ci de l'année, cela ne devrait pas être un facteur limitatif puisque les serres sont grandes ouvertes.

L'humidité de l'air influence la transpiration des feuilles. Par temps trop humide, la transpiration est réduite et la croissance de la plante se fait au ralenti. Le calcium qui est transporté par la sève n'atteint pas assez vite toutes les parties des feuilles et on observe souvent de la brûlure de la pointe des jeunes feuilles (tipburn). La laitue s'accommode d'un taux d'humidité variant de 40 à 85 %.

Chapitre I : synthèse bibliographique

Le problème principal actuellement vient du fait des températures souvent trop élevées pour la laitue. L'idéal serait d'avoir 16 °C le jour et 10 °C la nuit. Nous sommes assez loin de ces valeurs en ce moment, même si la laitue peut accepter des températures plus élevées si la lumière est en plus grande quantité (ex. : été).

Dans le passé, lorsqu'il y a eu développement de systèmes hydroponiques pour la production de la laitue, diverses expériences ont été conduites afin de vérifier les performances de ces systèmes sous diverses conditions, dont les températures élevées.

(Maouche .B et Haid.S 2021)

16.2.6. Les besoins de laitue en hydroponie

Les exportations de la laitue en éléments minéraux sont assez modestes.

Azote : en bol sol de culture, les faibles besoins sont satisfaits en été et en automne par la minéralisation de la matière organique. A cette époque, les excès de fumure azotée favorise le botrytis, retardent la pomaison et peuvent provoquer l'accumulation de nitrates dans les feuilles.

Phosphore : les sols en rotation sont généralement bien pourvus de cet élément. A basses t°, des signes de carence en phosphore peuvent se manifester par l'apparition de reflets rougeâtres sur les marges foliaires.

Potassium : les besoins en potassium sont sensiblement supérieurs en régime de faible éclaircissement.

Magnésium : compte tenu de la faible demande, l'alimentation est normalement assurée en sol équilibré

Calcium : une augmentation de la teneur en calcium peut dans certaines situations, accroître la résistance à la nécrose marginale.

Oligo-éléments : la laitue est sensible à certaines carences en oligo-éléments : bore, molybdène, zinc, cuivre. Elles peuvent être évité par une bonne gestion des matières organiques et en excluant tout chaulage excessif. (Fiche technique laitue généralités, P5-6)

16.3. La tomate en hydroponie

16.3.1. Définition

La tomate appartient à la famille des solanacées, est une espèce annuelle, dicotylédone herbacée, sensible au froid et vivace en climat chaud. (Grasselley et al., 2000).

D'ailleurs elle est originaire des vallées fertiles du Mexique. Elle a d'abord été cultivée et améliorée par les indiens du Mexique, sous le nom aztèque «tomate», avant d'être ramenée en Europe par les conquistadors. Neuf espèces sauvages peuvent être observées en Amérique du sud, dont seulement deux comestibles, la « tomate groseille » (*Solanum pimpinellifolium*) et la « tomate cerise » (*Solanum lycopersicum* var *cerasiforme*) qui est l'ancêtre de nos tomates actuelles. (GHARBI, K 2019).

16.3.2. Cycle tomate

Le cycle de la tomate est très variable, sa durée totale s'étend de quatre mois à sept mois et demi en fonction des conditions de culture et de la variété. La levée des graines est assez rapide et prend généralement 1 semaine. Il est recommandé d'élever les jeunes plants en pépinière durant 4 à 6 semaines et de les repiquer en plein champ par la suite. Généralement, les premières fleurs

Chapitre I : synthèse bibliographique

apparaissent entre 3 et 6 semaines après le repiquage et la nouaison (formation des fruits) commence 1 semaine après l'apparition des premières fleurs. Lorsque les conditions de maturation des fruits sont bonnes, ceux-ci peuvent être récoltés 1 mois après la nouaison soit 3 à 4 mois après le semis. La récolte est elle aussi très dépendante des conditions de culture et notamment de la pression des nuisibles (oiseaux, mouches des fruits) et des intempéries. Elle peut être écourtée à moins d'un mois comme s'étendre sur plus de 2 mois. La tomate peut se cultiver toute l'année mais il est conseillé d'éviter la saison des pluies qui peut causer des dégâts importants en cas de fortes intempéries, sauf en cas de culture sous abris. (Maouche .B et Haid.S 2021)

16.3.3. Caractère systématique

- ✓ Tomate : Solanum lycopersicum
- ✓ Règne : Plantae
- ✓ Sous-classe : Asteridae
- ✓ Ordre : Solanales
- ✓ Famille : Solanaceae
- ✓ Genre : Solanum

16.3.4. Les conditions de la tomate dans la culture hydroponique

Température : C'est l'un des facteurs les plus importants affectant le développement d'une plante. La première fois après le semis des graines, les conteneurs doivent être placés dans un endroit sombre, où la température de l'air sera comprise entre 28 et 30 degrés. Si les semis sont fortement étirés vers le haut, vous devez augmenter l'éclairage. Une fois que les germes deviennent plus forts, pour leur développement ultérieur, ils doivent fournir un microclimat approprié – 14-15 heures de lumière du jour et une température de l'air comprise entre +22 et +28 degrés. (burea-uinsurance)

PH et Humidité : La tomate tolère modérément un large intervalle de valeurs du pH (niveau d'acidité, mais pousse le mieux dans des sols où la valeur du pH varie entre 5,5 et 6,8 et où l'approvisionnement stimule une bonne croissance. L'humidité de l'air appropriée pour les tomates varie entre 60 à 65 % dans chaque stade de croissance.



Chapitre II : matériel et méthode

Chapitre II : matériel et méthode

Dans cette partie du travail nous allons présenter dans un premier temps le citer matériel utilisé pour l'installation du système Technique du film nutritif (NFT) horizontal et vertical su forme escalier, la table de substrat avec le system gout a gout. Chaque système hydroponique est équipé d'un système d'alimentation (irrigation) et d'un système de drainage, Et cela fonctionne dans un système fermé.

La deuxième partie de ce chapitre sera consacrée aux méthodes de préparation et d'analyse de la solution nutritive, en faisant référence aux processus de suivi de cette dernière ainsi qu'à une comparaison de l'évolution et de la qualité du produit final pour chaque type de culture (hydroponique et en sol).

Les travaux de cette étude sont prise en charge par le projet **Prima Water MED 4.0**.

1. Présentation du site expérimental

L'expérimentation été programmée au niveau de la serre de la station expérimentale de l'université Djillali Bounaama (Khemis Miliana) durant l'année universitaire 2020/2021. Cette station se trouve sur une altitude de 289 mètres.



Figure 16 : Vue d'extérieur de la serre



Figure 17 : Localisation de la station expérimentale . (source : Google earth ,2022)

2. Description et de la serre d'étude

Notre expérience a été réalisée dans une serre chapelle pour la production des cultures hors sol de la fraise et la laitue et tomate.

-La serre se compose de deux salles

La petite salle : est la salle d'entre utilise pour mettre notre matériel personnel, ses superficie 1.44 m² et sa Hauteur 1.20m, son mures formée par pvc polycarbonate.

La salle contient l'armoire électrique qui utilise pour contrôler la lumière et la pompe d'eau et le programmeur de climat pour contrôler la température et humidité dans la salle d'expérimentation.

- **La grande salle :** est la salle d'expérimentation utilise pour la production des cultures hors sol, contient deux système technique du film nutritif (NFT) horizontal et vertical su forme escalier et un table de table marée et table de substrat ses Superficie 52.08 m² et hauteur de 2.90 m et citerne de hauteur 2.50 m, son mur formée par pvc polycarbonate antichoc, il laisse passer la lumière et y apporte ainsi de la lumière naturelle donc d'apporter un éclairage naturel et son toit forme par le filme agricole avec 04 ouvertures verticales.

La salle équipée d'un Système d'aération (2 ventilateur), capture humidité et température, Humidificateur, deux extracteurs connecté à citerne avec une capacité de 1500 litres.

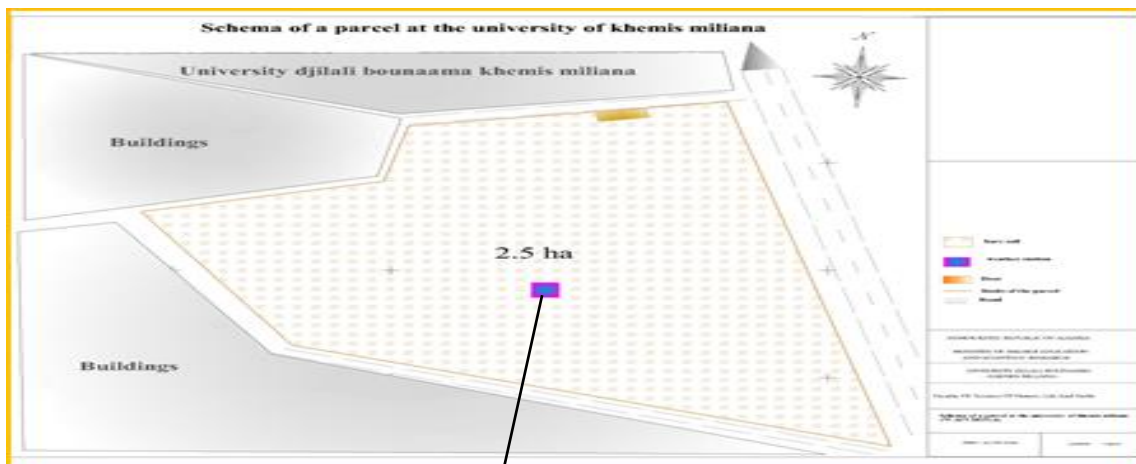


Figure 18 : schéma de site avec les démentions

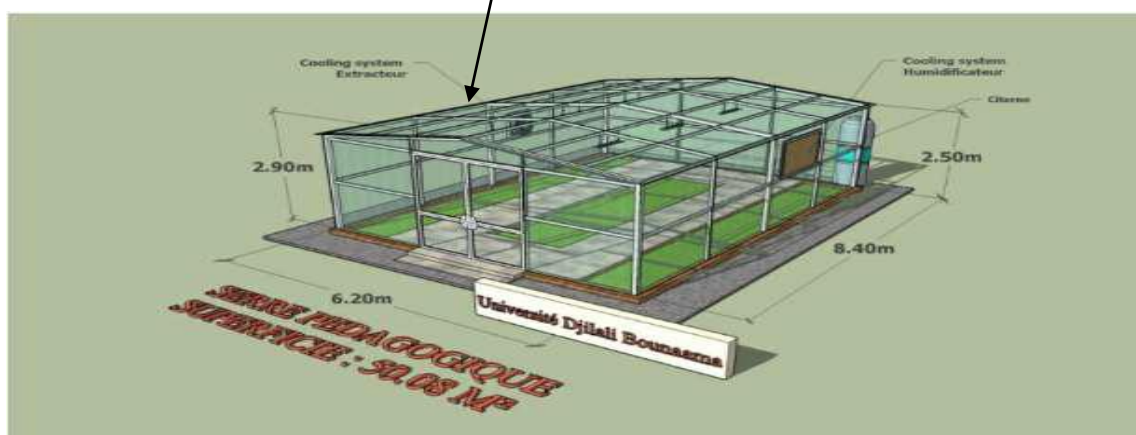


Figure 19 : Dimensionnement de la serre d'expérimentation (Source : Feurtas, C .Khither,C .2020)

3. Climat dans la serre

Le climat spontané à l'intérieur de la serre dépend essentiellement du climat extérieur et les caractéristiques physico-chimiques des matériaux de la couverture utilisée.

Les principaux facteurs du milieu interne d'une serre, qui sont modifiés par rapport à l'extérieure sont : la lumière, la température, l'humidité et les concentrations des gaz (CO₂, O₂).

– Luminosité

Les conditions d'éclairage à l'intérieure de la serre sont sous l'étroite dépendance du climat lumineux naturel, la meilleure utilisation de ce climat naturel sera liée au choix des matériaux de couverture ainsi que les conditions de leur mise en œuvre (structure, forme et orientation des serres) et utilisation l'éclairage par diodes ou LED qui sont spécialement utilisés pour la croissance et la germination.

– Température

La température de l'air est prise comme résultante du bilan d'énergie s'établissant sous serre.

- Pendant la nuit, l'atténuation de déperdition d'énergie par rayonnement infrarouge limite le refroidissement nocturne.
- Pendant la journée, l'effet combiné est de piéger les gains radiatifs du soleil et la diminution des échanges thermiques entre l'environnement extérieur et intérieur de la serre entraîne une élévation de la température et le début du travail du système de refroidissement à l'intérieur de la serre.

– Humidité

La vapeur d'eau produite lors du phénomène évaporatoire sous serre peut être soit évacuée par le renouvellement de l'air, soit condensée sur les parois ou sur la végétation lorsque la température de ces surfaces est inférieure à la température du point de rosée de l'air de la serre. En résumé, pendant la nuit, la serre étant fermée, l'humidité relative de l'air y est élevée, des condensations se produisent sur les parois et peuvent tomber sur la végétation créant ainsi une condition favorable au développement des maladies cryptogamiques (bactéries végétative vivant en milieu humide), l'élévation de la température de l'air peut déterminer un abaissement exagéré de l'humidité relative et provoque un véritable stress hydrique au niveau de la végétation.

4. Matériel et méthodes

4.1. Système d'irrigation

- Système d'alimentation

C'est un ensemble des conduites qui transport la solution nutritive vers les plantes dans le système hydroponique.

- Système drainage

C'est un ensemble des conduites qui évacue la solution nutritive qui passe a partie a par chaque plantes vers le même réservoir d'alimentation.

Nous corrigeons le PH, CE et O₂ tout le long de l'expérience à chaque fois qu'on en a besoin (l'analyse de la qualité de la solution nutritive à entrer et sortie).

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

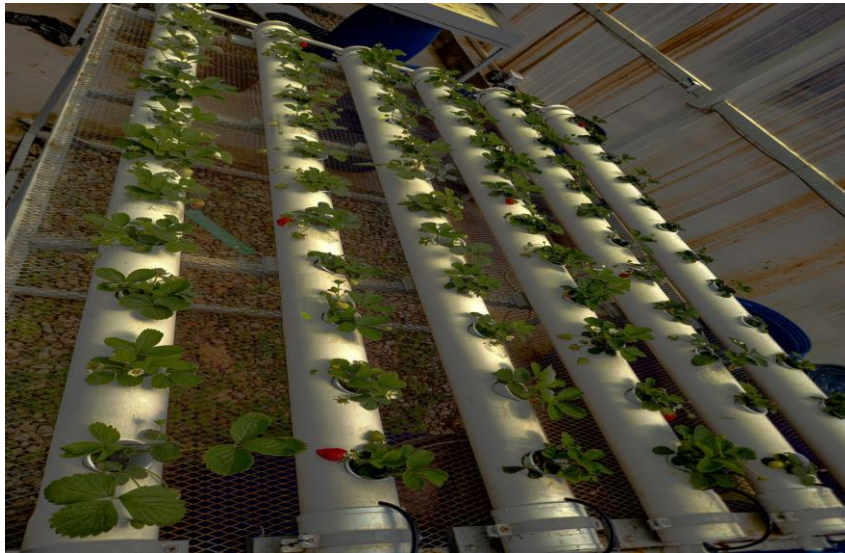


Photo 01 : Système de table NFT

Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

5.1. Description de système NFT

C'est un système composé d'une table et des tubes pvc et équipé d'un système alimentation et système de drainage.

5.1. La table

La table en acier a été fabriquée avec du tube carrée 15/30 de 1,60 m de large et 2,60 m de long et 1 m de hauteur avec teindre, pour le support des tubes pvc et culture.



Figure 20 : la table de système NFT Source : (Maouche .B et Haid.S 2021)

5.2. Tubes pvc

C'est un système fermé composé de 6 tuyaux (tube) pvc d'épaisseur PN4 et diamètre de (100 mm) avec une longueur de (2.60 m), chaque tube est percé de trous de diamètre (80 mm) avec une distance entre chaque trou de (20 cm). A l'extrémité de chaque tuyaux il ya des bouchons de diamètre (100mm) et tout les tuyaux elle est fixe dans la table (support) par des colliers (100 mm) ,ce système peut supporter 45 plantes.



Photo 02 : l'installation des tubes de système NFT Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

PVC : Le sigle **PVC** désigne une matière plastique particulière. Ce terme vaut pour **polyvinyl chloride**, en anglais, comprenez « polychlorure de vinyle ». Il renvoie à un polymère thermoplastique que l'on obtient par polymérisation du chlorure de vinyle.

5-3- Système d'alimentation

C'est l'ensemble des conduites qui transportent la solution nutritive depuis le réservoir vers les plantes sur la table NFT.

Le début du conduit principal est relié à une pompe immergée et sort du réservoir et se dirige vers les tubes de PVC, ce conduit relie aussi avec des robinets. On retrouve devant le début de chaque tube, sur l'extrémité de chaque robinet, il y a des goutteurs qui assurent l'irrigation par un micro tuyau. L'objectif de chaque tube PVC est gardé certaine lame de solution nutritive lorsque vous mettez les godets de plantes dans le tube, le niveau de la solution submerge la partie racinaire sans phénomène de asphyxie racinaire.



Photo 03 : système d'alimentation N.F.T (horizontal) Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

5-4- Système drainage

C'est un ensemble des conduites qui évacue la solution depuis les tubes PVC vers le réservoir.

- Dans la face de chaque tube PVC il y a des trous de 25 mm à la partie inférieure de bouchon.
- Dans chaque trou il y a des connecteurs PVC mâle pour évacuer l'eau de drainage.
- Les six connecteurs elle est reliée avec la conduite principale (tube 15/21 mm) avec l'aide de raccorde T, à la face de conduite il y a un robinet pour contrôler le débit de drainage, le robinet lie avec une conduite (tube 15/21 mm) jusqu'au réservoir pour avoir un cycle fermé.



Photo 04 : système de drainage NFT (horizontal) Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

6. Système hydroponique avec substrat

Cette technique se rapproche le plus de ce qui se passe dans le sol pour une culture traditionnelle par l'alternance irrigation/drainage. En outre, le substrat assure aussi une réserve d'eau et d'éléments nutritifs contrairement aux techniques sans substrat. Elle fait appel à un support solide qui contribue à l'oxygénation. Par ailleurs, elle présente de nombreux inconvénients concernant le renouvellement et le recyclage des substrats utilisés.

6.1. La table

Est une table de 1.60m de largeur et 2.60m de longueur et 1 m de hauteur. Supporte quatre rigoles en galvanisé de longueur (260 cm*20cm) *(10 cm) soudé sur la table dessus avec capacité de support de 20 plantes, les quatre rigoles se terminent par un trou pour évacuer l'eau de drainage.



Photo 05 : système table goutte a goutte avec substrat Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

6.2. Système d'alimentation

Le système hydroponique a substrat se base sur l'irrigation goutte a goutte :

Le système d'alimentation part du réservoir de sorte que le début du conduit est relié à la pompe emmarge, ce tube est relié à deux autres tubes, dont chacun est situé entre deux rigoles de 2.60 m de long chacun. au niveau de ce deux tube il ya deux micro tuyaux a chaque 25 cm Jusqu'à la fin de tube, l'extrémité de chaque tube est bien fermée.



Figure 21 : installation alimentation système table goutte a goutte avec substrat

Source : (Maouche, B., & Haid, S. 2021)

6.4. Système drainage

Dans le système de drainage il ya des trous au fan de chaque rigoles, au-dessous de chaque trou de drainage il ya des connecteurs d'évacuations, tous l'évacuation est reliee avec des tubes 15/21mm a l'aide des raccords T, ensuite l'ensemble est relié avec un coude L qui est raccordé a un tube de 250 cm qui mène directement au réservoir et au fan de tube il ya un robinet d'arrêt.



Figure 22 : instalation drainage système table goutte a goutte avec substrat

Source : (Maouche, B., & Haid, S. 2021)

7. Technique du film nutritif N.F.T (escalier ou superposé)



Photo 06 : Technique du film nutritif N.F.T (escalier)

Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

7.1. Description de système NFT

C'est un système composé d'une table (support) et des tubes pvc et réservoir et équipé d'un système alimentation et système de drainage.

7.1.1. Support

C'est une table en acier a forme trianguler de 1.60m de largeur et 2.60m de longueur et 2m de hauteur, chaque côté de la table contient des étager la distance entre eux 50 cm.



Photo 07 : le support de système N.F.T (escalier)
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

7.1.2. Le réservoir

Un réservoir d'une capacité de 100 litres a été enterré à l'intérieur de la serre



Photo 08 : le réservoir de système N.F.T (escalier)
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

Chapitre II : matériel et méthode

7.1.3 Système d'alimentation : C'est l'ensemble des conduites qui transportent la solution nutritive depuis le réservoir vers les tubes PVC.

Le début du conduit principal est relié à une pompe immergée installée au fond du réservoir, sort du réservoir et ramifie pour diriger vers les tubes de PVC, ce conduit est aussi relié avec des robinets. On retrouve devant le début de chaque tube, sur l'extrémité de chaque robinet il y a des goutteurs qui assurent l'irrigation homogène par un micro tuyau.



Photo 09 : le système d'alimentation dans un système N.F.T (escalier)
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

7.1.4. Système de drainage : C'est un ensemble des conduites qui évacuent la solution depuis les tubes PVC vers le réservoir.

À l'extrémité de chaque tube PVC il y a des connecteurs d'évacuation reliés avec une conduite indépendante qui se dirige vers le bas. Toutes les conduites secondaires sont reliées avec la conduite principale qui se dirige directement vers le réservoir.



Photo 10 : le système de drainage dans un système N.F.T (escalier)
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

8. Préparation la solution nutritive

Pour une bonne croissance et productivité des cultures dans un système hydroponique, tous les besoins en éléments nutritifs des plantes doivent être satisfaits avec précision. Ces nutriments sont apportés sur une solution que nous appelle la solution nutritive.

8.1. Matériels utilisé pour la préparation

Pour garantir le bon déroulement de cette opération

Nous avons utilisé le matériel suivant :

- Balance électrique.
- Bécher.
- Spatule.
- Verre de montre.

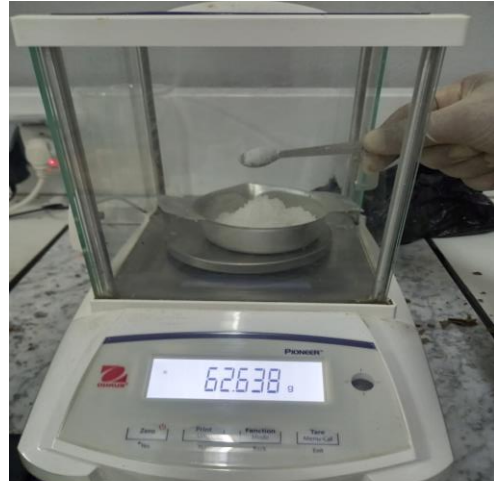


Photo 11 : La pesée des éléments nutritifs pour solution
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djeflal, Y. 2022)

Les deux réservoirs de la solution mère (concentré) sont préparés par :

Solution A: $\text{CaNO}_3 + \text{KNO}_3$

Solution B: $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + \text{Fe-EDTA} + \text{Micro Mix}$

8. 2. Préparation des réactifs A-B

8.2.1. Préparation de la solution A

- A l'aide d'une spatule et sur un verre de montre on pèse une quantité de 346g de Nitrate de calcium (CaNO_3) et 364g nitrate de potassium KNO_3

Pour préparer 10 litres de la solution concentrée :

- Ajouter 9 litres d'eau dans un bidon, Ajouter du nitrate de potassium et mélanger jusqu'au dissout ensuite ajouter le nitrate de calcium mélanger une autre fois et compléter avec de l'eau au 10 litres.

8.2.2. Préparation de la Solution B

- On pèse 56g de Phosphate de potassium, 84g de trioxyde de soufre et 19g de Micro Mix pour prépare 10 litres de solution concentrée :
- Ajouter 9 litres de l'eau déminéralisé dans un bidon ensuite ajouter les trois éléments pesés, après chaque ajout l'eau doit être bien mélangé, ensuite compléter au 10 litres.

9. Matériel de plantation et semis de végétale

9.1. La fraise



Figure 23 : variété de la fraise cultivée dans cette expérience « Sabrina »

- les plantes de la fraise utilisées dans cette expérience achetées sous forme de semis de 18 mois à Jijel de variété « Sabrina »

9.2. La laitue



Figure 24 : variété de la laitue cultivée dans cette expérience " la laitue romaine "

9.2.1. Le semis des grains

- On prend un plateau de semis et on verse une légère couche de terreau
- On nivelle la surface à l'aide d'une planchette
- On place sur chaque alvéole une graine
- On recouvre avec une fine couche de terreau et on humidifie le terreau

9.3. La tomate



Figure 25 : variété de la tomate cultivée dans cette expérience " la tomate ercole "

10. La Méthodologie de travail :

Après la plantation la première analyse que nous avons effectuée est :

10.1. Analyse de la composition des micronutriments dans la solution nutritive

Dans l'analyse de la composition des micronutriments dans la solution nutritive nous avons mesuré la concentration des micronutriments dans l'eau d'irrigation entrée et sortie au niveau du laboratoire.

Nous avons pris deux échantillons en même temps :

- 1^{er} échantillon : Nous avons pris un demi-litre d'eau entrant dans le système NFT
- 2^{em} échantillon : Nous avons pris un demi-litre d'eau sortant du système NFT

- Les résultats des analyses sont représentés dans le tableau n° 04.

10.2. Suivi des changements des paramètres physiques et chimiques de la solution nutritive

Pour le suivi des changements des paramètres physiques et chimiques de la solution nutritive, nous mesurons quotidiennement :

- La température
- La conductivité électrique
- potentiel hydrogène
- L'oxygène dissous
- Chlorophylle

10.2.1. Mesure du pH, CE, O₂

1. Verser un volume suffisant de solution « échantillon » dans un récipient propre de sorte que les plaques de la cellule conductimètre soient totalement immergées dans l'échantillon.
2. S'assurer que la température de l'échantillon est connue ou qu'elle est mesurée pendant la détermination de la conductivité (par un capteur de température intégré ou séparé).
3. Rincer la cellule avec un peu de la solution initiale (afin que les premières mesures ne soient pas faussées) avant de la plonger dans la solution.
4. Agiter doucement l'échantillon pour l'homogénéiser et plonger la sonde dans la solution.
5. Arrêter l'agitation afin de ne pas perturber la mesure entre les plaques. Si l'agitation du milieu est nécessaire, il est préférable de légèrement décaler la cellule par rapport à l'agitateur et d'agiter modérément.
6. Presser le bouton « mesure » du conductimètre et attendre une valeur stable.
7. Une fois la mesure effectuée, retirer l'électrode de la solution et la rincer à l'eau distillée ou déminéralisée. Conserver l'électrode dans l'eau distillée.

10.2.3. Méthode de mesure chlorophylle

La mesure de la teneur en chlorophylle des plantes est réalisée à l'aide d'un SPAD

- choisir la plante et une feuille de la plante sur laquelle effectuer la mesure.
- Fermer l'appareil avec l'extrémité de la pince sur la feuille.
- Après 1 ou 2 secondes, le SPAD indique deux valeurs la teneur en chlorophylle et la température de la feuille (la plante).

10.3. Suivi de développement de la fraise et laitue dans l'expérience

Pour suivre la développement de la fraise, nous avons sélectionné 3 plantes dans chaque tube dans le système NFT, Nous mesurons une fois tous les trois jours :

- Nombre des feuilles
 - Nombre des fleurs
 - Nombre des fruits
 - Taille de la feuille
 - La longueur des racines
- Nous avons représenté la meilleure mesure par les trois mesures (3 plantes)
 - Pour le suivi de la laitue nous avons utilisé la même méthode mais nous mesurons :
- Taille des feuilles
 - Taille des racines

10.3.1. La méthode de mesure

- La mesure de nombre des feuilles et fleurs et fruit nous l'avons fait visuellement (Nous comptons le nombre des feuilles et fleurs et fruits)
- La mesure de taille des feuilles et la longueur des racines nous avons fait à l'aide d'une règle.
- Le principe consiste à faire un comptage, fleurs et fruits de chaque plante une fois par semaine et par apporte le nombre des feuille et taille des feuilles et la longueur des racines chaque jour durant le temps d'expérimentation.

10.4. La comparaison de développement de la fraise dans le système NFT et les pots

Pour faire une comparaison entre la fertilisation de la fraise dans le sol et le système NFT, Nous avons préparé 6 pots pour cultiver 6 plantes de la fraise en remplissant les pots par le sol mélanger avec du terreau.

10.4.1. Suivi de développement de la fraise dans le système NFT et les pots

Nous avons sélectionné 3 plantes dans le système NFT et 3 plantes dans les pots, nous avons fait des mesures de nombres des feuilles et taille des feuille et nombres des fleurs et nombres des fruits.et présente les résultats des meilleures plantes de système NFT et meilleures plantes de les pots.

- Nous avons fait les mesures une fois tous les trois jours.

10.4.2. La comparaison entre la composition chimique de sol et la solution nutritive

Pour expliquer les résultats de la comparaison du développement de la fraise dans les pots et le système NFT nous avons fait des analyses de la comparaison entre la composition de sol et la solution nutritive.

Ces analyses nous avons fait au niveau de laboratoire par mesure la concentration des micronutriments dans le sol (utilisé dans les pots) et la solution nutritive de système NFT . Les résultats sont présentés dans le tableau n° 14.

10.5. La qualité générique

Nous avons fait les analyses de la qualité générique au niveau du laboratoire. Par préparer extraire de (la fraise, la laitue, la tomate) cultivée dans système hydroponie et après mesure la concentration des micronutriments et comparé par les cultures de sol. Les résultats sont présentés dans le tableau n° 20 et 21.



Chapitre III: Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussion

Dans cette partie, nous discuterons des résultats obtenus dans cette expérience concernant les propriétés chimiques et physiques de la solution nutritive ainsi que le suivi de la croissance, de la qualité et de la qualité du produit de culture sélectionné.

1. La fraise

1.1. Plantation

Ces plantes ont été fournies par un agriculteur de la région de Jijel à l'âge de 18 mois, où elles ont été bien lavées du sol en suspension dans les racines, et seuls les bons plants sont conservés et placés dans des pots où ils sont considérés comme un support.

Ils sont pré-creusés et remplis de tourbe pour laisser passer la solution nutritive et entrer en contact avec les racines.

- Les plantes à l'âge de 18 mois



Photo 12 : Seime de la fraise a l'âge de 18 mois

Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)



Photo 13 : Préparation de les plates pour la cultivassions

Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

-Placement les plants dans les pots comme un support sur chaque Tube de croissance.

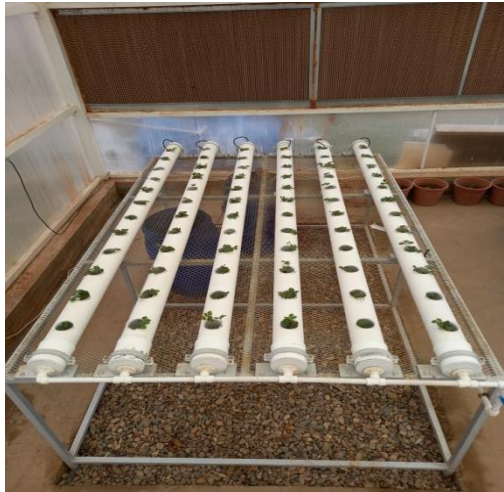


Photo 14 : Placement des plants dans le système NFT



Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)






1.2. Cycle végétatif de la fraise

La fraise est un fruit issu du grossissement du réceptacle après fécondation des ovules de la fleur du fraisier. Les pétales et les étamines tombent progressivement et au centre du réceptacle, le synophore gonfle. Il devient charnu, sucré, succulent, rosé ou rose.

Les fruits sont en réalité les grains durs, nommés akènes, qui parsèment l'enveloppe charnue de ce fruit. (fraiselabelrouge)

Tableau 03 : suivi développement de la fraise dans le système NFT (cycle végétatif)

Date	Croissance	Stade
20-03-2022		Semis de la fraise à l'âge de 18 mois
25-03-2022		« Plantule » Le développement de la fraise après 5 jours à la culture dans le système NFT

<p>03-04-2022</p>		<p>« Pétales en ballon » Début du stade ballon : les premières fleurs forment avec leurs pétales un ballon creux.</p>
<p>05-04-2022</p>		<p>« Floraison » Les premières fleurs sont ouvertes.</p>
<p>10-04-2022</p>		<p>« Formation des fruites » La floraison s'achève le réceptacle se gonfle.</p>
<p>15-04-2022</p>		<p>« Fruit vert » Les graines apparaissent clairement sur le réceptacle</p>
<p>19-04-2022</p>		<p>« Fraise maturation » Les fruits rougissent, c'est la maturation.</p>

Après la culture de la fraise dans le système NFT, Nous avons sélectionné trois tubes et trois pots pour faciliter et marquer le suivi de la croissance végétal.

Chapitre III : Résultats et discussion

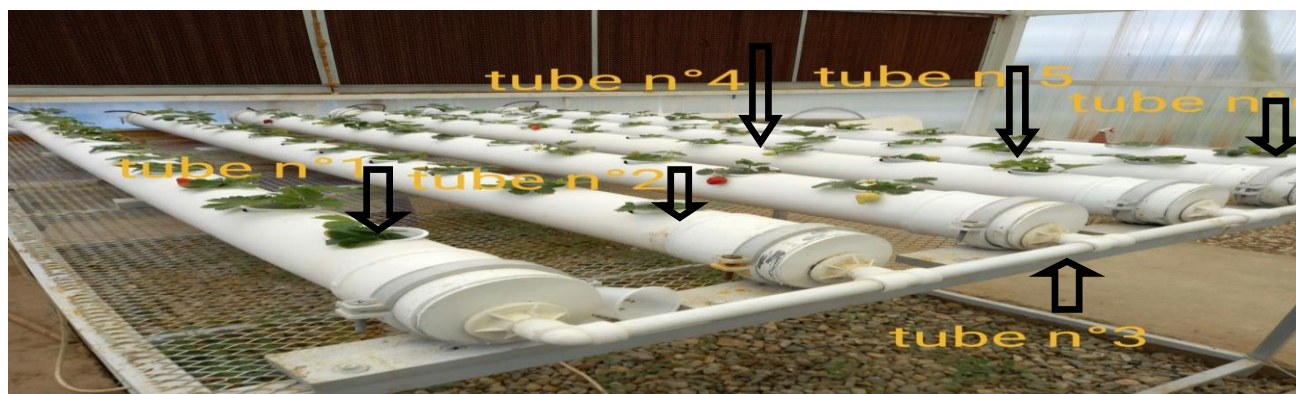


Photo 15 : numérotation tube table N.F.T

Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)



Photo 16 : numérotation des pots

Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

Tableau 04 : Analyse la composition des micronutriments dans l'eau d'irrigation entrée et sortie

Macro nutriment	Symbole chimique	Entrée	Sortie
Calcium	Ca	3847.40	3206.68
Phosphore	P	15.93	15.48
Nitrite		Moins de 1 mg	Moins de 1 mg
Ammonium	NH4	11	19
	NH3	12	19
	NH4-N	9	15
	NH3-N	9	15
Nitrogène		3200	3100
Chloride		Plus concentre	Moins concentre
Magnésium	Mg	0	11.52
Th	(Ca+Mg)	3847.68	4358.4

Le tableau représente les éléments nutritifs qui sont assimilés par les plantes. Les résultats montrent que l'élément le plus assimilé est le calcium avec une valeur de (640.72 mg/l).

Nous constatons également que la consommation de phosphore est très faible (0.45m/l).

La quantité de l'ammonium à la sortie augmente par rapport à l'entrée et la quantité de nitrogènes dans la sortie diminue par rapport à l'entrée car le nitrogène est absorbé par la plante sous forme minérale : ammonium ou nitrate.

1.3. Analyse statistique

Afin de déterminer quelles sont les variables qui permettent d'expliquer au mieux la consommation d'éléments nutritifs par les plantes, l'analyse des résultats des paramètres du suivi à savoir Le Tm, ph, CE, O₂, Taille des racines et Taille des feuilles se fait sous forme d'analyses statistiques descriptive et de graphique.

Tableau 05 :analyse statistique descriptive de ph, CE, O₂ du système table NFT

	Tm	CE	ph	O ²	Ch
Moyenne	19.59	1875.4	5.78	7.26	39.86
Médiane	19.25	1844	5.86	7.26	40.5
Mode	20.3	1800	0	8	0
Maximum	32.5	2080	6.3	8.2	45.6
Minimum	12.8	1650	4.7	6.1	32.8
Nombre d'échantillons	20	20	20	20	15

- **La température :** Le pH et l'EC sont tous deux essentiels à la santé des plantes, mais la température joue également un rôle essentiel dans l'obtention d'une croissance optimale. Il se trouve également que c'est le paramètre fondamental qui est le plus souvent négligé.

Lorsque vous pensez à la température dans le contexte d'un environnement de culture, vous pouvez faire référence à la température de l'air autour des plantes ou vous pouvez également faire référence à la température de la solution nutritive ou de l'eau d'irrigation, qui affectera la température de la zone racinaire.

C'est parce que le système racinaire de vos plantes est le siège de deux processus chimiques essentiels : l'absorption d'eau et de nutriments. Dans chacun de ces processus, il est primordial d'avoir la bonne température de la zone racinaire pour que ceux-ci se produisent efficacement.

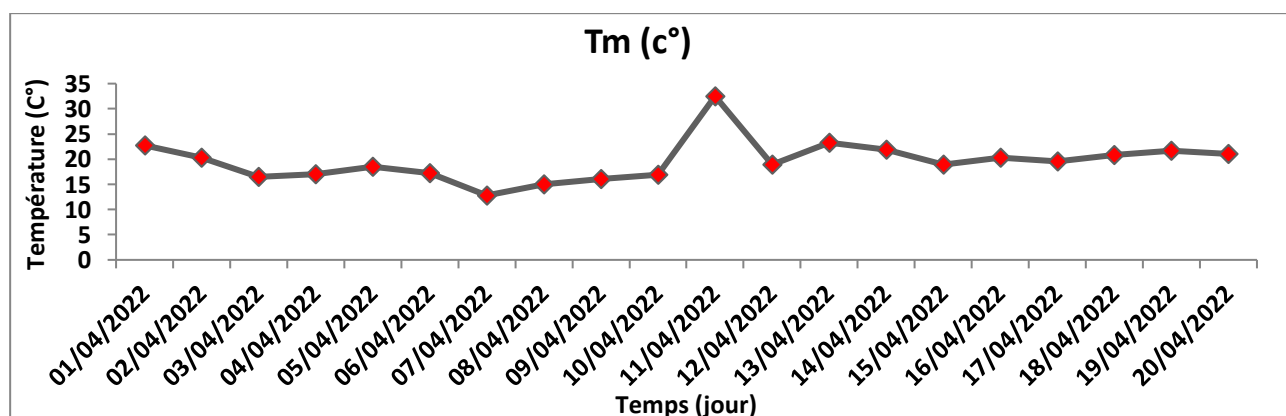


Figure 26 : Courbe du Tmpératuer dans la solution nutritive

La courbe suivant représente changement de la température pour la solution nutritive dans le système NFT, A partir du 1/04/2022 au 10/04/2022 la température variée dans intervalle antre 25 C° et 12.8 C°.

Le 11/04/2022 la température a augmentée a valeur de 32.5 C° à cause de l'arrêt du Système de refroidissement, après la valeur de température est corrigé ce qui a augmenté entre 18 C° et 23 C°.

Chapitre III : Résultats et discussion

- **La conductivité électrique CE :** EC est le total des sels solubles contenus dans une solution liquide ou solution nutritive, vous permet de connaître le niveau de nutriments dans une solution. Elle est le plus souvent exprimée en milli siemens par centimètre (milli-siemens/cm²), mais elle peut aussi être quantifiée en parties par million (ppm).

Différentes cultures poussent bien à différents niveaux de résistance aux nutriments, c'est-à-dire avec différentes CE.

Il est important de contrôler le pouvoir des nutriments pour permettre à la zone racinaire de la plante d'absorber le maximum de nutriments, tout en réduisant son stress.

Mesurer régulièrement la conductivité permet : d'éviter une déshydratation des plantes, de contrôler la concentration en nutriment de la solution et de réagir d'optimiser au final la croissance de plantes.

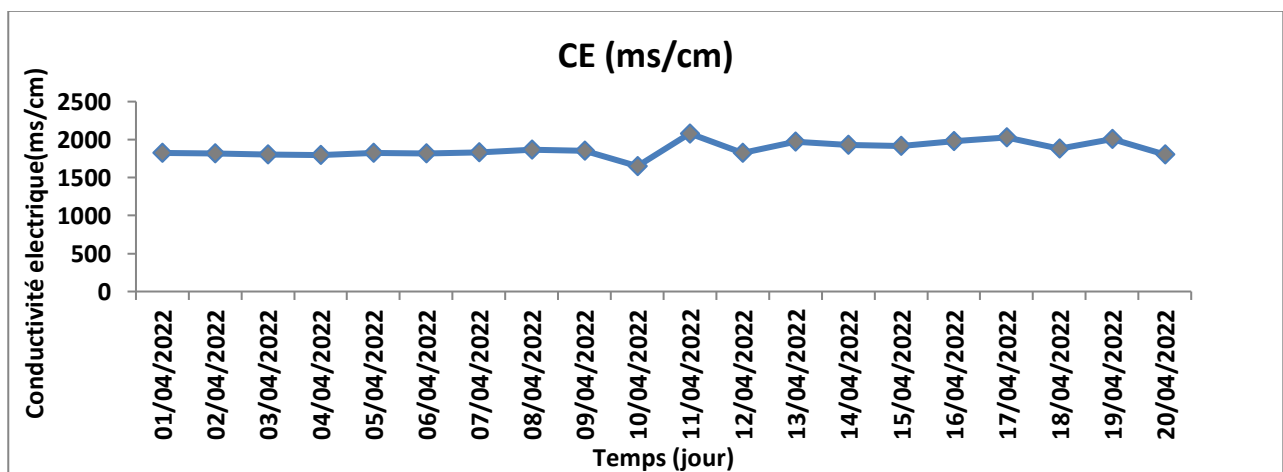


Figure 27 : Courbe du CE dans la solution nutritive

La courbe suivante représente changement de CE pour la solution nutritive dans le système NFT, la valeur de CE est stable à l'exception d'un pic le 11/04/2022 la valeur de CE augmentée à valeur de 2080 ms/cm. la valeur est corrigée par un ajustement ce qui a augmenté la valeur de CE vers 1800 à 2030 ms/cm.

La valeur de CE dans la solution nutritive augmente à cause de l'augmentation de la température au la concentration des éléments nutritive (correction de la solution nutritive) et diminuée a cause de la diminution de concentration des éléments nutritive (consommée par la plante).

- **Le potentiel hydrogène pH :** est une mesure de l'acidité, ce qui est important parce que les nutriments sont plus ou moins disponibles à différents niveaux d'acidité. En effet, pour devenir disponibles pour vos plantes, les nutriments doivent être solubles (dissous dans l'eau) et avoir une charge électrique positive ou négative. De plus, chacun de ces ions nutritifs aura un intervalle de pH préférée dans laquelle ils seront disponibles pour vos plantes, Cela signifie que vous devrez trouver le point idéal sur l'échelle de pH où tous les éléments nutritifs sont disponibles et où les plantes obtiennent ce dont elles ont besoin.

Le terme « pH » signifie « hydrogène potentiel » car les ions hydrogène (H⁺) et les ions hydroxyde (OH⁻) sont à l'origine d'une solution basique ou acide. Les plants absorbent les nutriments a différent

Chapitre III : Résultats et discussion

vitesse le PH de la solution nutritive va en hydroponique va beaucoup fluctuer, Il est donc impératif de pouvoir mesurer, au quotidien, le pH de votre eau d'arrosage ou d'irrigation avant d'ajouter les nutriments.

Le pH est représenté par une échelle allant de 0 à 14 (0 étant le plus acide et 14 le plus basique).

- Solution acide signifie le pH inférieure à 7 ci ta dire les ions hydrogène (H⁺) plus que les ions hydroxyde (OH⁻).
- Solution basique signifie le pH Supérieure à 7 ci ta dire les ions hydroxyde (OH⁻) plus que les ions hydrogène (H⁺).

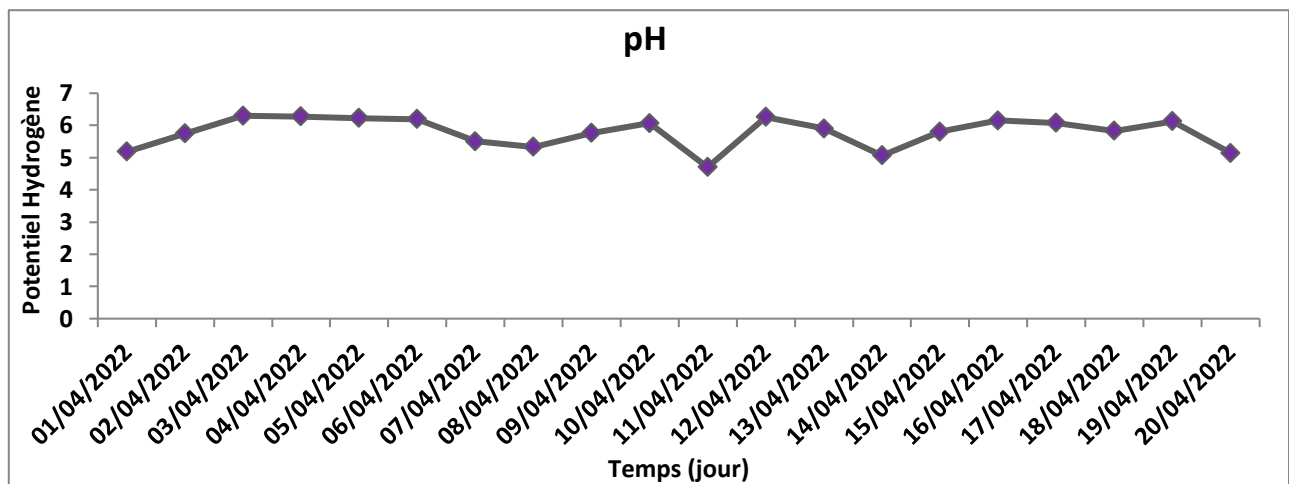


Figure 28 : courbe du ph dans la solution nutritive

La courbe suivant représente changement de pH pour la solution nutritive dans le système NFT, dans la plus parte des jours la valeur de pH elle est stable dans intervalle de 5.14 et 6.34.

Dans le jour de 11/04/2022 la valeur da pH diminue a 4.7 a cause d'un choc thermique La valeur de pH est corrigé par un ajustement ce qui a augmenté à les valeurs stable (5.20 a 6.20).

Le ph augmentée a cause de la diminution de CE et la température et augmentation de concentration des éléments nutritive (correction de la solution nutritive) .

Le ph diminue a cause de augmentation de CE et la température et la diminution de concentration des éléments nutritive (consommée par la plante).

- **L'oxygène dissous :** L'oxygène dissous est la quantité d'oxygène gazeux O₂ dissous dans l'eau, disponible pour la respiration végétale et animale. Sa mesure est réalisée à l'aide d'un oxymètre.

Les plantes, et plus précisément les racines ont besoin d'une certaine quantité d'oxygène (O₂) pour prélever l'eau et les minéraux de la solution nutritive.

Nous suivons l'évolution du taux d'oxygène pour savoir si la plante reçoit la quantité d'oxygène dont elle a besoin et évitée le phénomène d'asphyxie.

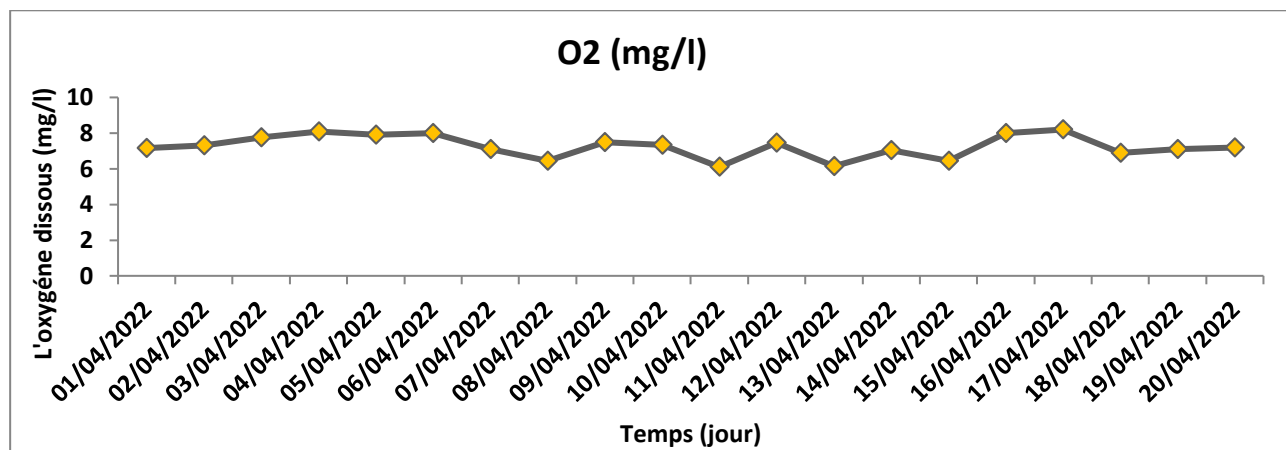


Figure 29: Courbe d'O2 dans la solution nutritive

La courbe suivante représente changement d'exogène dissous pour la solution nutritive dans le système NFT, la valeur de l'oxygène dissous est stable à intervalle de (8.2 et 6.45 mg/l). Sauf le 11/04/2022 la valeur diminue a 6.15mg/l en raison du choc thermique . On procède à des corrections au niveau de système qui augmente la valeur a 7.35 et 6.45 mg/l.

- **La teneur en chlorophylle :** La chlorophylle est le pigment vert situés dans les chloroplastes des cellules végétales qui permet aux plantes de photo synthétiser. Ce processus utilise la lumière du soleil pour convertir le dioxyde de carbone et l'eau en composants de base pour les plantes.

La concentration en chlorophylle de la feuille est positivement corrélée avec sa concentration en azote, étant donné que l'azote est le constituant majeur du noyau tétrapyrrole de la chlorophylle, en mesurant cette dernière vous mesure de façon indirecte la quantité d'azote dans la plante. Ceci permet une programmation plus efficace d'applications d'engrais.

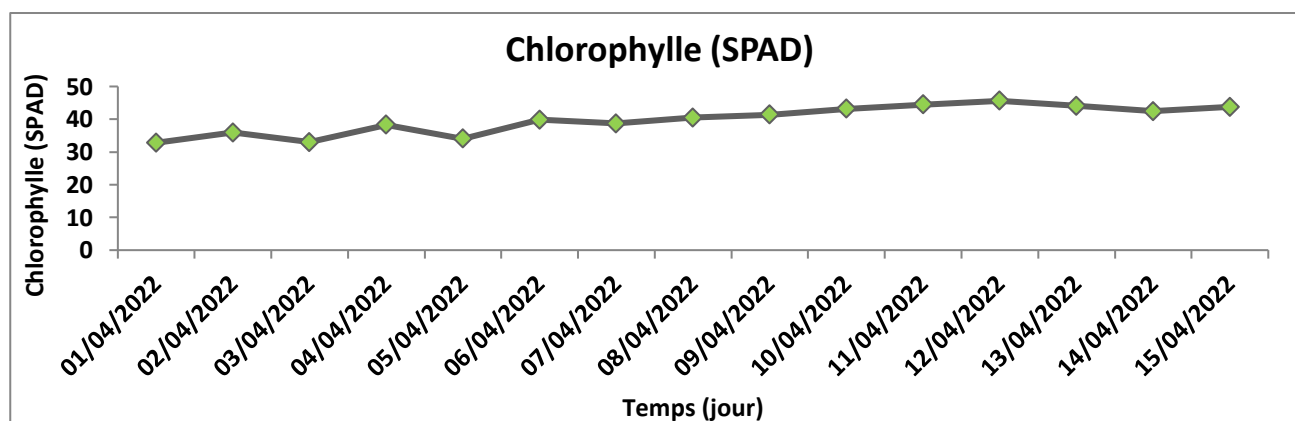


Figure 30: courbe de chlorophylle de un plant dans le système NFT (tube n°1)

La courbe représente le changement de la teneur en chlorophylle da une plante dans le système NFT.

Dans les premiers jours, la valeur de chlorophylle varier dans intervalle (33.04 et 37.4) après le jour de 11/04/2022. Nous avons corrigé la solution nutritive, ce qui a conduit à une augmentation du teneur en chlorophylle à environ de (40.7 et 47.3).

Chapitre III : Résultats et discussion

La valeur de oxygène dissous variée a cause de l'augmentation de la température lorsque la température au système racinaire augmente, la consommation en oxygène des cellules racinaires augmente aussi.

1.4. L'effet de la température sur la consommation de plante : Les nutriments sont en grande partie absorbés par des processus chimiques qui se produisent dans les racines de vos plantes ; L'efficacité de ces processus est déterminée par les températures auxquelles ces racines sont exposées. Une fois que la température de la zone racinaire dépasse sa plage optimale, la plante ne sera plus en mesure de fournir des niveaux optimaux de nutriments et d'eau.

1.4.1. Augmentation de la température : Une zone racinaire plus chaude entraîne une augmentation des réactions métaboliques, y compris une augmentation de l'absorption des nutriments. Cela pourrait provoquer des symptômes de toxicité des nutriments, notamment une décoloration des feuilles, des racines épaissies ou nécrotiques et une modification de la taille et de la quantité de feuilles sur vos plantes.

Avoir une zone racinaire plus chaude entraînera également probablement une augmentation des agents pathogènes, tels que des infections ou des maladies. En culture hydroponique, cela pourrait être évité en veillant à ce que votre installation reste aussi stérile que possible.

Lorsque votre zone racinaire augmente la température, il y aura moins d'oxygène dissous disponible. Cela aura un impact sur les processus critiques de la plante comme la respiration.

1.4.2. La diminution de la température : Les réactions métaboliques de vos plantes ralentiront, ce qui signifie que vos plantes seront sensibles aux carences en nutriments. Vous pouvez vous attendre à voir des symptômes tels qu'une chlorose interveinale, un retard de croissance des plantes, des bords ou des taches brunes sur les feuilles, ainsi qu'une nécrose des feuilles.

Comme pour les températures plus chaudes, une température constamment basse de la zone racinaire peut également attirer des infections et des maladies indésirables (Kasha Dubaniewicz).

1.4.3. La relation entre la température et CE, pH, O², Chlorophylle

Quand la température monte cela affecte la CE et le pH, augmentation de la température cela conduit à une augmentation de la conductivité électrique parce que ça s'accélère la dégradation de l'élément nutritif, cette augmentation de CE causée la diminution de ph parce que l'engrais nutriments tels que le calcium et le magnésium chimiquement réagissent avec le milieu pour produire de l'acide (baisse le pH).

La diminution de la température cela conduit à une diminution de conductivité électrique parce que la dégradation des les éléments nutritifs lente (Peu de nutriments sont disponibles), cette diminution de CE causée augmentation de ph parce que les éléments nutritifs des engrais réagissent chimiquement pour produire la base (augmente le pH) (Alden, P. Crysta, H. Ryan, D).

La température de votre zone racinaire affecte également la disponibilité et la solubilité de l'oxygène. Si votre eau est trop chaude, vous risquez de priver vos racines d'oxygène, car l'eau chaude ne peut pas contenir autant d'oxygène dissous que l'eau plus froide. D'un autre côté, si votre eau est trop

Chapitre III : Résultats et discussion

froide, cela pourrait choquer les racines de vos plantes, diminuer les taux métaboliques des plantes (la teneur de chlorophylle) et retarder la croissance des plantes.

1.5. Développement de la fraise en expérience



Photo 17 : la development de system racinair de la fraise dans le système NFT
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

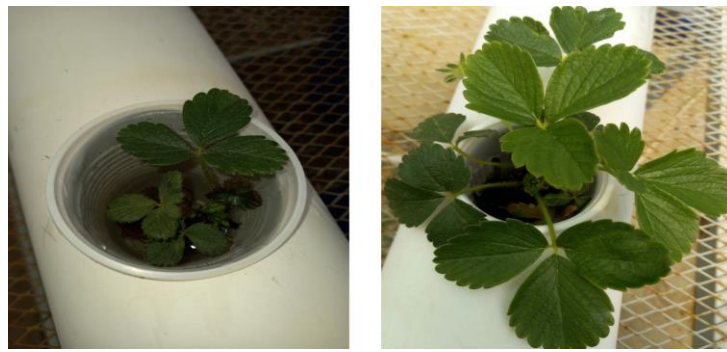


Photo 18 : la development de nombre et la taille des feuilles de la fraise dans le système NFT
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

Tableau 06 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur le tube n°1(taille des feuilles et lenguer des racines)

	La langueur des racines	Taille des feuilles
Moyenne	2.77	1.80
Erreur-type	3	3
Médiane	2.5	1.7
Écart-type	1.13	0.50
Variance de l'échantillon	1.28	0.25
Minimum	1.4	1.2
Maximum	4.7	3.3
Nombre d'échantillons	15	15

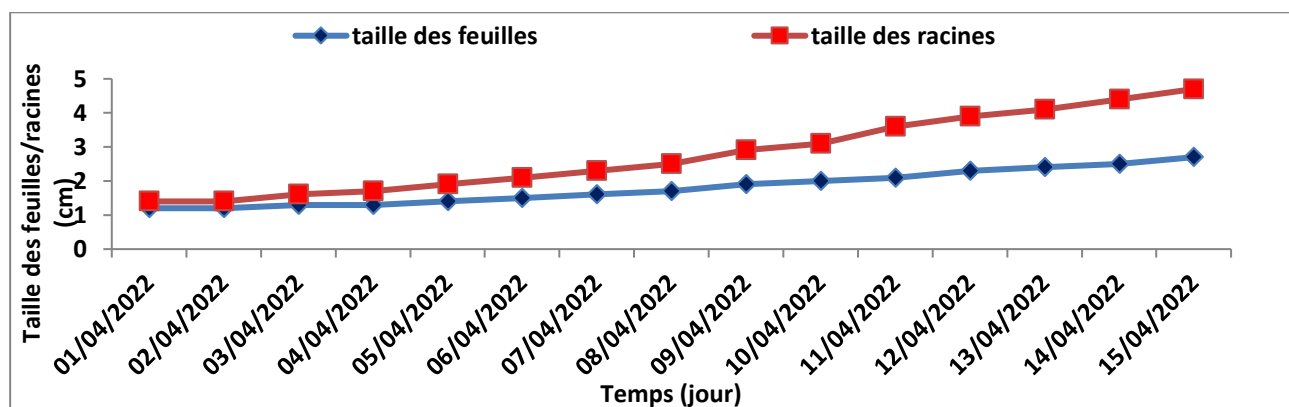


Figure 31 : courbe représente la longueur des racines et feuilles en cm/jour de tube n°1 système NFT

Tableau 07 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur le tube n°1 (nombre des feuilles)

Nombre des feuilles	
Moyenne	16.46
Erreur-type	3
Médiane	18
Écart-type	5.06
Variance de l'échantillon	25.69
Minimum	9
Maximum	24
Nombre d'échantillons	15

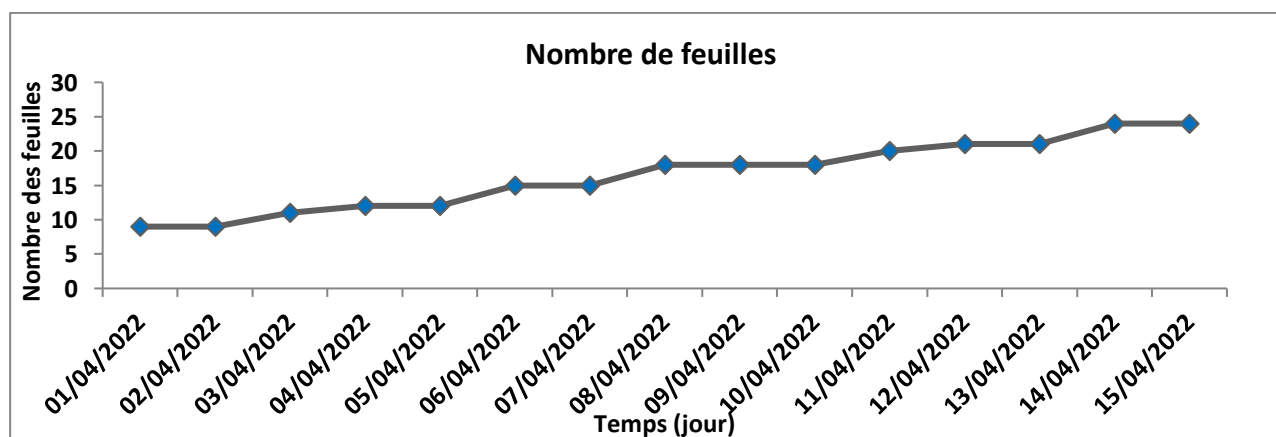


Figure 32 : courbe représente nombre des feuilles dans le tube n°1 système NFT

Les courbes précédentes représentent le dévalent de la taille des feuilles et longueur des racines mesure en cm par jour et nombre des feuilles par jour.

Après analyse des courbes, nous avons remarqué que la vitesse de développement de la longueur des racines est plus rapide que la vitesse de développement de taille des feuilles et nombre des feuilles.

Les valeurs enregistrées dans cette analyse elle n'est pas le maximum des valeurs, cette analyse donne la façon de développement de tailles des feuilles et racines et nombre de feuille.

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 08 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur le tube n°1 (nombre des fleurs et nombre des fruits)

	Nombre des fleurs	Nombre des fruits
Moyenne	28.9	23.1
Erreur-type	3	3
Médiane	33	19
Écart-type	22.18	21.60
Variance de l'échantillon	10.6	11.2
Minimum	2	2
Maximum	57	54
Nombre d'échantillons	10	10

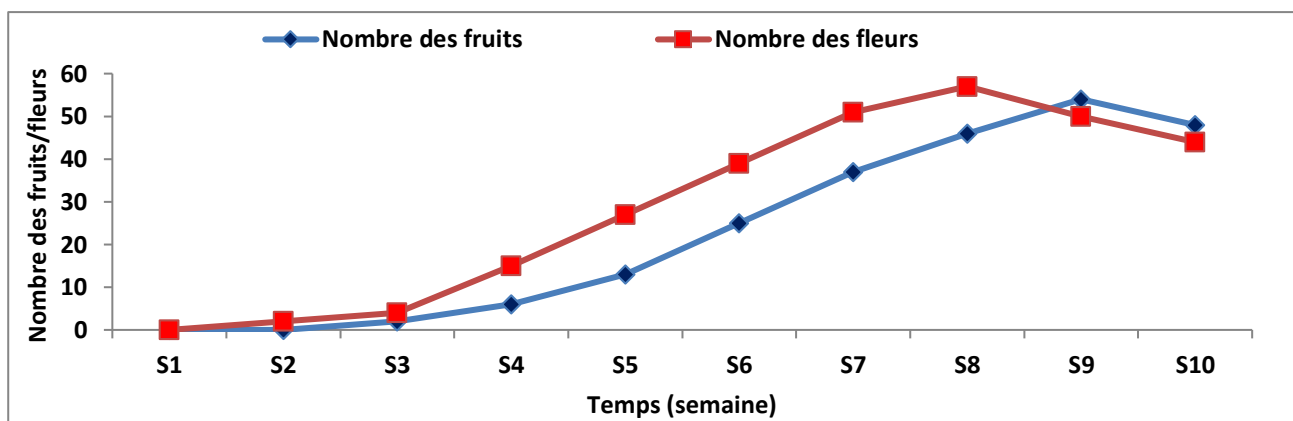


Figure 33 : courbe représente nombre des fruits et nombre des fleurs dans le tube n°1 système NFT

Le courbe suivent représente le développement du nombre des fleurs et fruits dans le tube n°1 système NFT, On remarque que les deux courbes sont presque identiques, nous expliquons que chaque fleur qui pousse devlepee pour donner un fruit.

1.6. La récolte et rendements

– La récolte

La récolte commence lorsque les fruits atteignent les indicateurs de récolte comme la couleur, la récolte doit être effectuée lorsque les fruits sont complètement mûrs, car une maturation excessive peut entraîner la détérioration des fruits en raison d'activités métaboliques excessives.

Il est préférable de récolter à un moment où le temps est frais pour maintenir la qualité des fruits parce que les fraises sont sensibles en cas de pleine maturité.

– Rendements

Les récoltes ont débuté le 28/04/2022 en moyenne de 36 jours après la plantation, nous avons récolté environ de 22 fruits a différente taille et poids (taille et poids moyenne), la raison du faible premier rendement est peut-être parce que c'est le début du cycle de production des plantes. Le Deuxième rendement le 25/04/2022 la maturation des fruits a été la plus rapide (27 jours) nous avons récolté environ de 54 fruits meilleures tailles et poids que les tailles et poids de premier rendement, nous avons récolté généralement environ de 100 a 200 gramme par plantes.

Chapitre III : Résultats et discussion

La dernière récolte a été le 18/06/2022 avec 20 fruits, rendement faible et arrêté en raison de maladies des plantes (les araignées) qui se nourrissent des feuilles de toutes les plantes vertes et réduisent la productivité de toutes les cultures.



Photo 19 : récolte de la fraise en système NFT
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

1.7. La qualité du produit

Pour analyser la qualité des fruits, nous avons choisi d'étudier trois critères qualitatifs sensoriels, physiques et chimiques.

1.7.1. Sensoriels : Cela se fait en utilisant les sens humains pour déterminer le goût et la couleur et la forme et l'odeur du fruit et le piquage.

- **Le goût :** En général, le goût des fruits était sucré, sauf pour certains fruits qui avaient un goût légèrement acide dû à la chaleur.
- **La couleur :** La couleur des fruits est un indicateur du moment de la récolte, la couleur des fruits lors de la récolte était rouge vif.
- **La forme :** la forme de majorité des fruits est normale à l'exception de certains fruits déformés en raison problème de pollinisation.
- **L'odeur :** Tous les fruits avaient un arôme fort, l'odeur de l'extrait de fraise
- **Le piquage :** Il y avait des fruits montrant des piquants en raison la récolte est tardive (Activité métabolique excessive).

1.7.2. Physique: cela se fait par mesure le diamètre et le poids de chaque fruit.

- **Le diamètre :** Le diamètre de la majorité des fruits était confiné entre 1,9 et 2,8 cm, il y a des petits fruits avec un diamètre confiné entre 0,9 et 1,9 cm.
- **Le poids :** les poids de la majorité des fruits était confiné entre 11 et 19 g, et le poids des petits fruits confine entre 7 et 11 g.

1.7.3. Chimique : cela se fait des analyses de la composition chimique des éléments nutritifs des fruits.

- Pour faire les analyses de la composition chimique des éléments nutritifs des fruits, il faut préparer l'extrait de fraise cultivée en hydroponique et on compare avec la composition chimique des éléments nutritive de la fraise du marché.
- Cette analyse est appelée la qualité générique, elle permet de vérifier la qualité du produit ainsi que la qualité qu'il doit fournir pour être mis sur le marché, les gouvernements l'utilisent pour assurer la sécurité et la santé des consommateurs.

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 09 : Analyse de la composition chimique des éléments nutritifs de la fraise.

Macro nitrions	Symbole chimique	Culture hors sol Hydroponique pour (mg/100g)	Culture Sol agricole (marche) (mg/100g)	Normes (mg/100g)
Potassium	(K)	176	144	2000
Sodium	(Na)	0	0	-
Azote	(N)	0	0	-
Phosphore	(P)	0.64	0.66	0.7-1.36
Calcium	(Ca)	325	90	800

Source : Règlement (UE) N°1169/2011 du parlement Européen, et du conseil du 25 octobre 2011

Le tableau représente la différence de la composition chimique dans la fraise cultivée dans notre système hydroponique (hors sol) et la culture dans un sol agricole (disponible sur le marché local).

En comparant ces résultats avec celles des limites, nous avons pu trouver que la composition chimique dans la fraise hydroponique et la fraise en vente elle ne pas dépassé les normes mais la valeur nutritionnelle de la fraise hydroponique est meilleure que la fraise en vente.

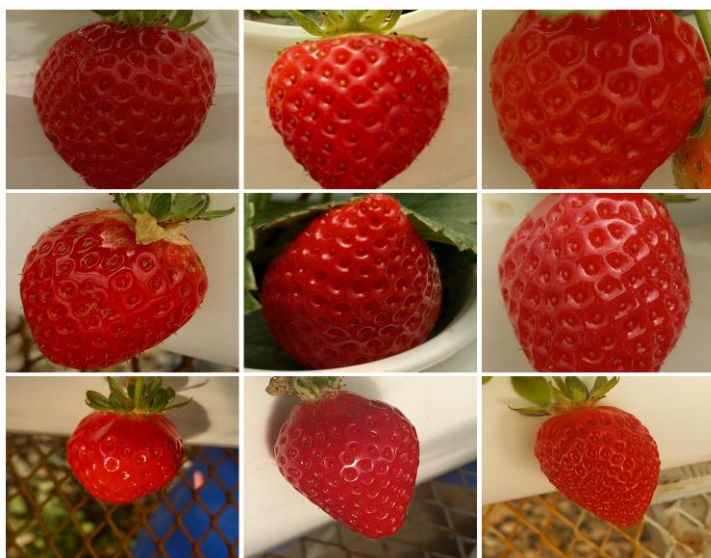


Photo 20 : qualité de la fraise en système hydroponique NFT
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

1.8. La comparaison de développement de la fraise dans le système NFT et les pots

Tableau 10: Statistique descriptive des résultats de la comparaison de nombre des feuilles en système NFT et les pots.

	NFT	Les pots
Moyenne	16.33	12.93
Erreur-type	3	3
Médiane	18	12
Écart-type	4.72	2.96
Variance de l'échantillon	22.35	8.78
Minimum	9	9
Maximum	23	18
Nombre d'échantillons	15	15

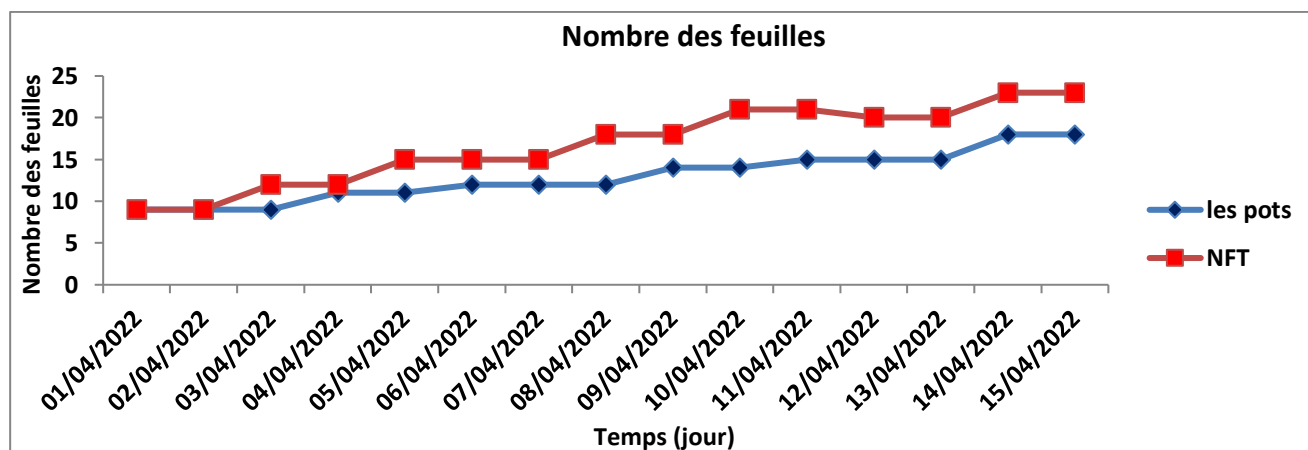


Figure 34 : courbe représente nombre des feuilles dans les pots et système NFT

Tableau 11: Statistique descriptive des résultats de la comparaison de taille des feuilles en système NFT et les pots.

	NFT	Les pots
Moyenne	1.91	2.15
Erreur-type	3	3
Médiane	1.8	2.1
Écart-type	0.45	0.67
Variance de l'échantillon	0.20	0.45
Minimum	1.3	1.2
Maximum	2.8	3.3
Nombre d'échantillons	15	15

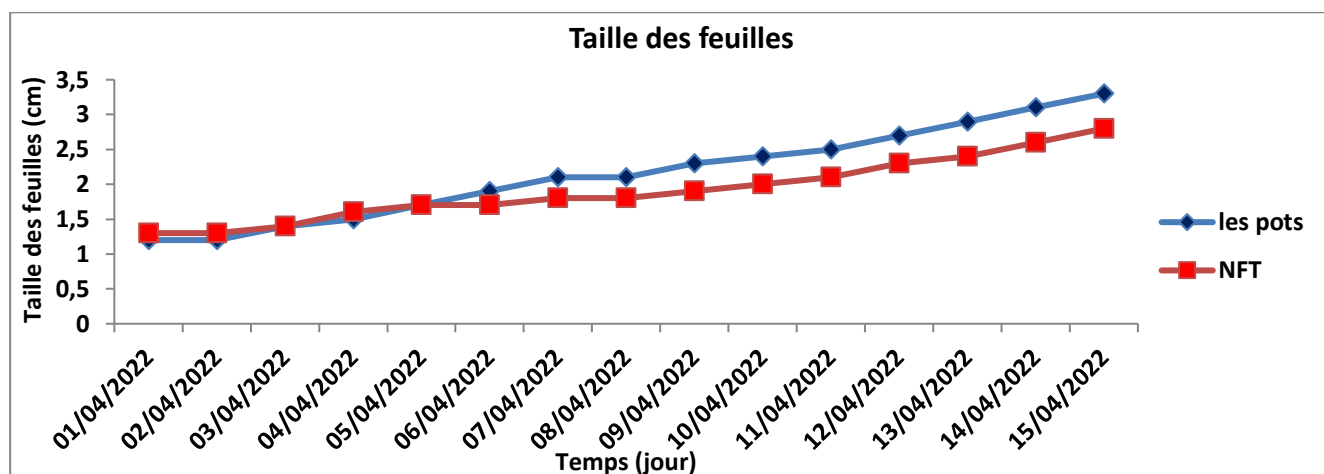


Figure 35 : courbe représente taille des feuilles dans les pots et système NFT

Les courbes précédentes représentent la comparaison de la développement nombre et taille des feuilles dans le système NFT et les pots, On remarque que le nombre des feuilles dans le système NFT plusieurs par rapport le nombres des feuilles dans les pots.

-La taille des feuilles dans les pots plus grand par rapport a la tailles das feuilles dans les système NFT.

Tableau 12 : Statistique descriptive des résultats de développement de nombre des fleurs et fruits dans système NFT.

	Nombre des fleurs	Nombre des fruits
Moyenne	5.4	4.8
Erreur-type	3	3
Médiane	6	5.5
Écart-type	3.16	3.58
Variance de l'échantillon	10.04	12.84
Minimum	0	0
Maximum	9	9
Nombre d'échantillons	10	10

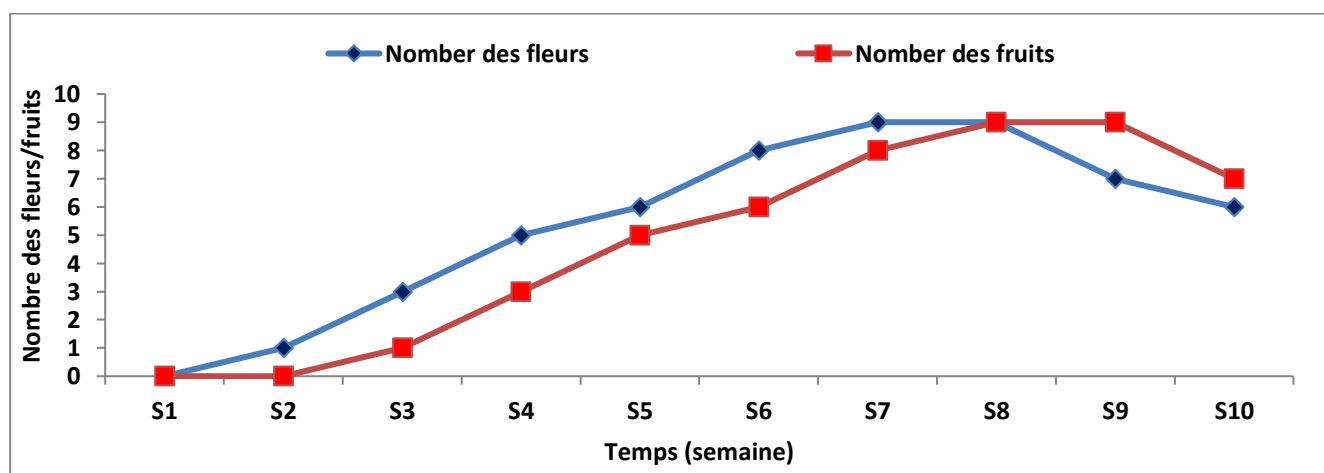


Figure 36 : courbe représente nombre des fleurs et fruits dans le système NFT

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 13 : Statistique descriptive des résultats de développement de nombre des fleurs et fruits dans les pots.

	Nombre des fleurs	Nombre des fruits
Moyenne	3.3	2.7
Erreur-type	3	3
Médiane	3.5	3
Écart-type	2.16	2.31
Variance de l'échantillon	4.67	5.34
Minimum	0	0
Maximum	6	6
Nombre d'échantillons	10	10

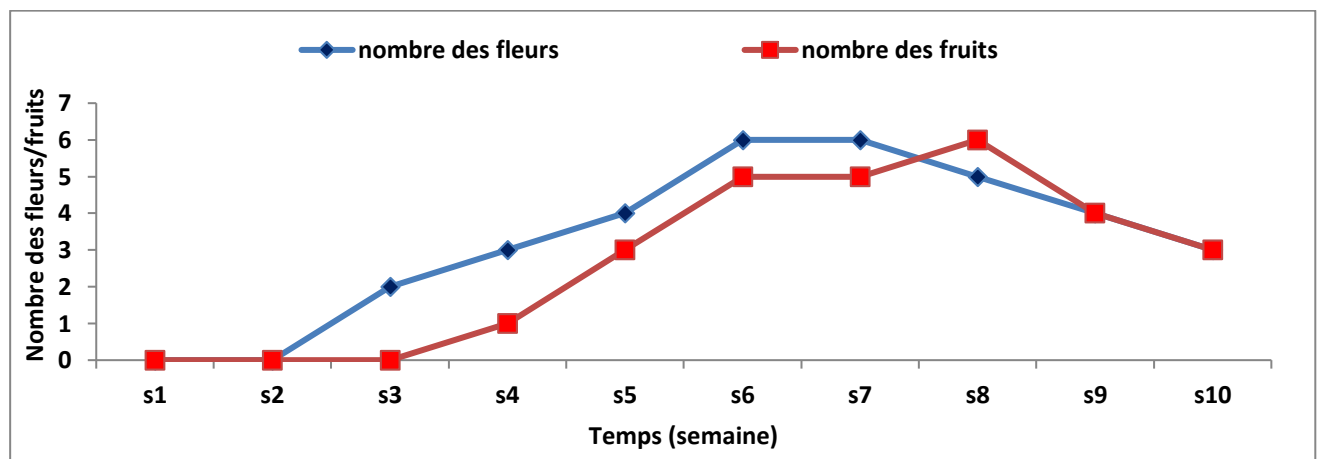


Figure 37 : courbe représente nombre des fleurs et fruits dans les pots.

Les courbes précédentes représentent la comparaison de la développement de nombre des fruits et fleurs dans le système NFT et les pots, on remarque que le nombre de fruit et fleur dans le système NFT plusieurs par rapport au nombre de fleur et fruit dans les pots.



Photo 21 : la comparaison de rendement de la fraise en système NFT et les pots

Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

1.8.1. La comparaison entre la composition de sol et la solution nutritive

Pour expliquer les résultats de la courbe précédente nous avons fait des analyses de sol pour comparer la composition de sol avec la solution nutritive.

Tableau 14 : Analyse de la composition des micronutriments dans le sol et la solution nutritive .

Les éléments minéraux	Le sol(mg/l)	La solution nutritive(mg/l)
Potassium (K)	92.33	45.29
Sodium (Na)	54.61	4.35
Azote (N)	Très concentrée	Très concentrée
Phosphore (P)	14.07	15.9
Calcium (Ca)	320.64	3847

Après l'analyse de ce tableau nous avons trouvé que la quantité de potassium (K) et Sodium (Na) dans le sol est très élevée par rapport à la solution nutritive.

Potassium (K) influence également sur l'absorption de l'eau par les racines et joue un rôle dans la respiration des plantes et dans la photosynthèse, et le sodium (Na) aide au métabolisme et à la synthèse de la chlorophylle, généralement les deux éléments minéraux jouent un rôle principal dans le développement végétatif (la cause de la grosse taille des feuilles dans les pots).

La raison en est que le rendement de système NFT est supérieur au rendement des pots est l'alimentation des plantes dans le système NFT, généralement est la composition de la solution nutritive il contient tous les nutriments nécessaires pour le développement des plantes (contient des nutriments qui n'existent pas dans le sol des pots).

Les résultats de cette comparaison ne sont pas efficaces parce que la composition chimique de sol des pots est différente de la solution nutritive et cette différence affecte le développement des plantes c'est à dire les plantes dans le système NFT sont dans des conditions favorables et les plantes dans les pots sont dans des conditions moins favorables.

Remarque : Le nombre maximum de feuilles que la plante a atteint à la fin de l'expérimentation est de 93 feuilles en système NFT, et la taille des feuilles de la plante a atteint environ 4 cm dans les pots.

1.9. Les problèmes

1.9.1. Les maladies :

Les fraises ont été infectées par deux maladies, la première maladie la tache pourpre elle en a été infectée avant d'être cultivée dans le système NFT et les pots parce que la maladie est apparue dans des plantes qui n'ont pas été utilisées dans l'expérimentation.

Et la deuxième maladie, *Tétranyque*, en a été infectée après la culture et en fin de l'expérimentation.

Chapitre III : Résultats et discussion

– La tache pourpre

Une maladie causée par le champignon *diplocarpon earlianum* ce champignon n'affecte que la fraise, elle affecte principalement la qualité esthétique des plantes et ne provoque des dégâts importants que lors de blessures graves.

Dans ces cas les plantes atteintes sont moins résistantes à l'hivernage et à la sécheresse, et les rendements diminuent.

Lambert L., Laplante G. H., Carisse O. & Vincent C. (2007).



Photo 22 : La tache pourpre dans les feuilles de la fraise
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

– Traitement

Dans le traitement, nous avons utilisé le produit *Emblego*, qui contient le métier actif *difenoconazole*.

Nous avons appliqué le traitement selon la méthode d'utilisation, en le dissolvant dans de l'eau à une dosage de 75 ml dans 1000 litres d'eau.

Le traitement s'applique directement sur les feuilles en pulvérisant une fois par semaine.



Photo 23 : l'application de traitement sur les plantes
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

– Tétranyque

Le premier signe de dommages causés par les acariens est l'apparition de taches blanc-jaune sur les premiers acariens. Si le traitement anti-acarien n'est pas effectué à temps, les feuilles de fraisier s'emmêlent dans une toile d'araignée au bout d'un moment les feuilles meurent.



Photo 24 : la maladie de tétranyque sur les plantes
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

– Traitement

Dans le traitement, nous avons utilisé le *hexizox*, est un acaricide contenant *d'hexythiazox* de la famille des *tiazolidinons* sous forme de poudre soluble dans l'eau avec dosage de 50-75g dans 1000 L.

Le traitement s'applique directement sur les feuilles en pulvérisant une fois par semaine.



Photo 25 : Traitement de tétanique (hexizox)
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

1.9.2. La pollinisation

Certaines plantes ont souffert du problème de la pollinisation, Parce que la culture se fait dans une serre fermée, Il n'y a pas de courants d'air et aucune possibilité d'utiliser des insectes pollinisateurs comme les abeilles.

En conséquence, certains fruits sont déformés.



Photo 26 : la déformation de fruits la fraise a cause de problème pollinisation

Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

– La solution

Dans le cas de la culture hydroponique en serre fermée il n'y a aucune possibilité d'utiliser des insectes pollinisateurs comme abeilles alors on peut procéder à une pollinisation manuelle.

Les plants de fraises sont hermaphrodites, il n'est donc pas nécessaire de trouver des fleurs mâles ou femelles. Avec un coton-tige , recueillir le pollen d'une fleur et le transférer sur une autre, puis répétez sur toutes les plantes, en utilisant le même coton-tige pour toutes les polliniser pour s'assurer un bon développement des fruits. (Lorin, N. green thumbs magazine)

1.9.3. La petite taille des fruits

Comme nous l'avons vu sur les photos précédentes, il y a une différence dans la taille des fruits que nous avons récoltés fruits de taille normale et fruits de petite taille, Ce qui nous a fait chercher la raison. Nous avons trouvé plusieurs raisons, des raisons génétiques liées au la variété de plante, des raisons liées au climat et des raisons liées avec la nutrition de la plante mais toutes ces raisons sont liées au sol.

Mais lors de notre expérience, nous avons remarqué que la plupart des fruits de petite taille provenaient de plantes sous-développées (plants de petite taille) et il existe des fruits de petite taille récoltés sur des plantes qui contiennent plusieurs fruits de tailles naturelles, dont un ou deux petits fruits.

– La solution

Les agriculteurs s'intéressent au calibre du fruit et sa rentabilité puis la qualité générique de produit, la plupart des agriculteurs utilisent des produits pour augmenter la taille des fruits, ils utilisent même des matériaux pour augmenter la teneur en sucre des fruits.

– Remarque

Nous n'avons pas utilisé ces produits pour que la culture soit naturelle et pour voir la qualité naturelle des produits hydroponiques.

1. La laitue

2.1. La plantation

Les graines de la laitue sont semées dans le sol dans les plateaux de semis pour la germination, après cela ils sont transférés vers le système NFT.

Tableau 15 : développement de la laitue apres semence

Date	croissance	Stade
29-04-2022		La germination après sept jours de la semence
02-05-2022		Le développement de laitue unesemaine de la semence
08-05-2022		après 12 jours de la semence 4 ou davantage de feuilles étalées

Chapitre III : Résultats et discussion

Après 3 semaines l'établissement de la laitue et le développement des racines, nous avons procédé au transfert des plantes dans le système NFT après avoir soigneusement nettoyé les racines du sol en suspension. Nous avons également choisi des tubes pour faciliter l'identification et le suivi de la croissance des plantes.

2.2. cycle végétatif de la laitue

Date	Croissance	Stades
05 -05-2022		Jeunes plantes de laitue
09-06-2022		Jeunes plantes de laitue
13 -05 -2022		Jeunes plantes de laitue
20 - 05 – 2022		Laitue « pommée ».
28-05-2022		Laitue « montée » en fleurs

Tableau 16 : développement de la laitue dans le système NFT



Photo 27 : numérotation tube table N.F.T pour suivi la culture de la laitue
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

2.3. Analyse statistique

Tableau 17 : analyse statistique descriptive de ph, CE, O2 du système table NFT seperpos

la date	T (C°)	CE	pH	O2	Chlorophylle
Moyenne	27.74	2019,35	4.86	8,72	45,86
Médiane	27.4	1966	4.93	8,75	46,15
Mode	27.1	1900	5	9,5	46,4
Minimum	25.6	1900	4.12	7	44,2
Maximum	30.8	2440	5.2	11,6	49,4
Nombre d'échantillons	20	20	20	20	20

Pour d'identifier les variables qui expliquent le mieux la consommation de nutriments par les plantes, les résultats des paramètres de suivi, à savoir le pH, la conductivité électrique, l'oxygène, la chlorophylle, la taille des racines et la taille des feuilles, sont analysés sous forme d'analyses statistiques descriptives et graphiques.

- La température

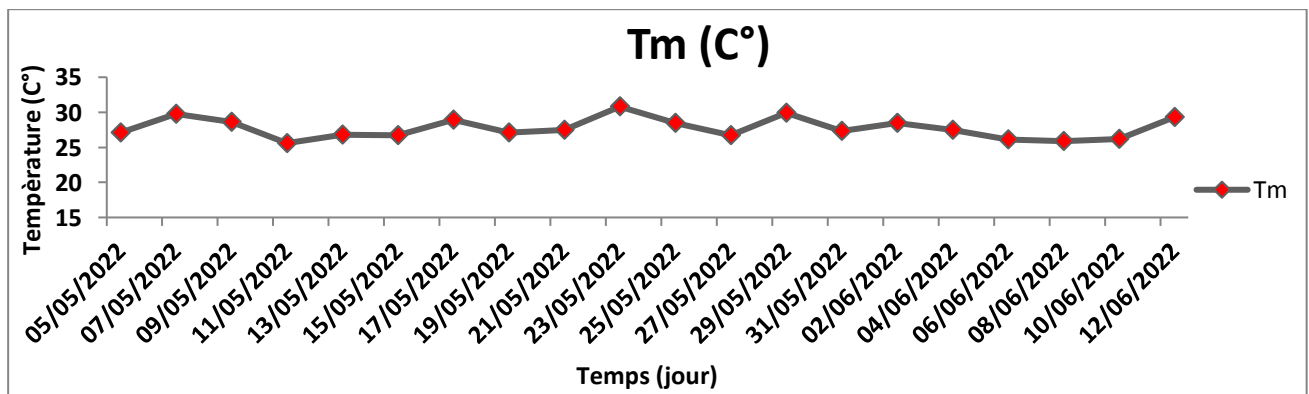


Figure 38 : courbe de la température dans la solution nutritive (culture de la laitue)

Chapitre III : Résultats et discussion

À partir du courbe de température, les valeurs enregistrées ne sont pas fixes, a cause de changement de température extérieure, car elles varient entre [25.6 c° et 30.8 c°]

- Potentiel hydrogène

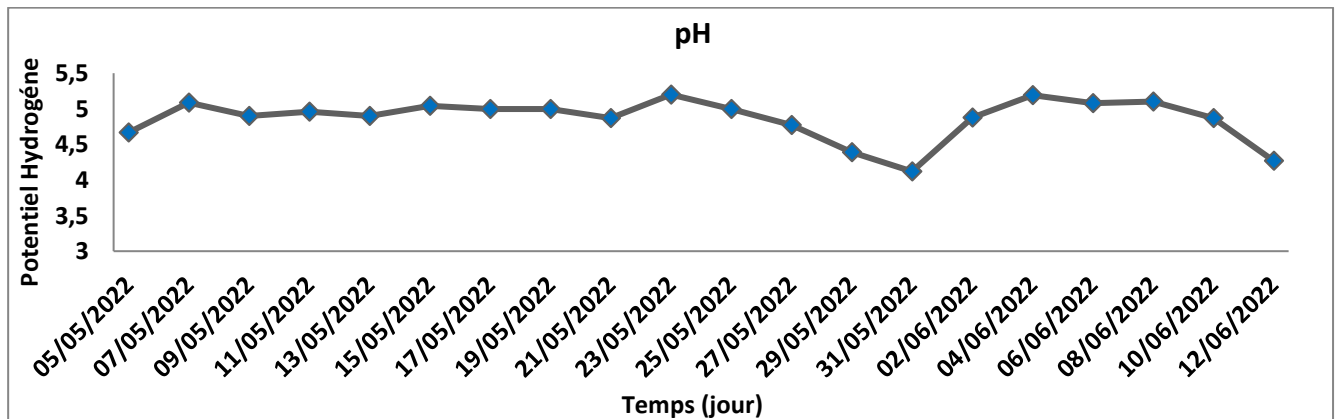


Figure 39 : courbe du ph dans la solution nutritive (culture de la laitue)

Le niveau de pH a été contrôlé et corrigé avec des valeurs comprises entre [4,12-5,2] ce qui est idéal pour le développement des plantes.

- La conductivité électrique

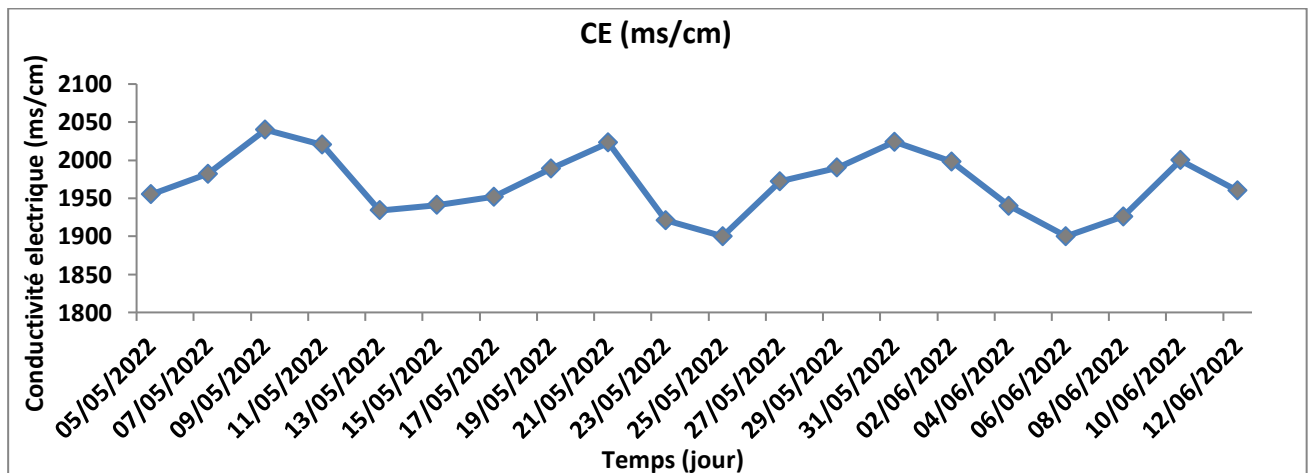


Figure 40 : courbe de la CE dans la solution nutritive (culture de la laitue)

À partir du courbe de conductivité électrique, les valeurs enregistrées ne sont pas fixes, car elles varient entre [1900-2040] Alors que la valeur est corrigée en ajustant l'ajout de la solution nutritive (A) et (B) conduit à une augmentation de la valeur de CE.

- L'oxygène dissous

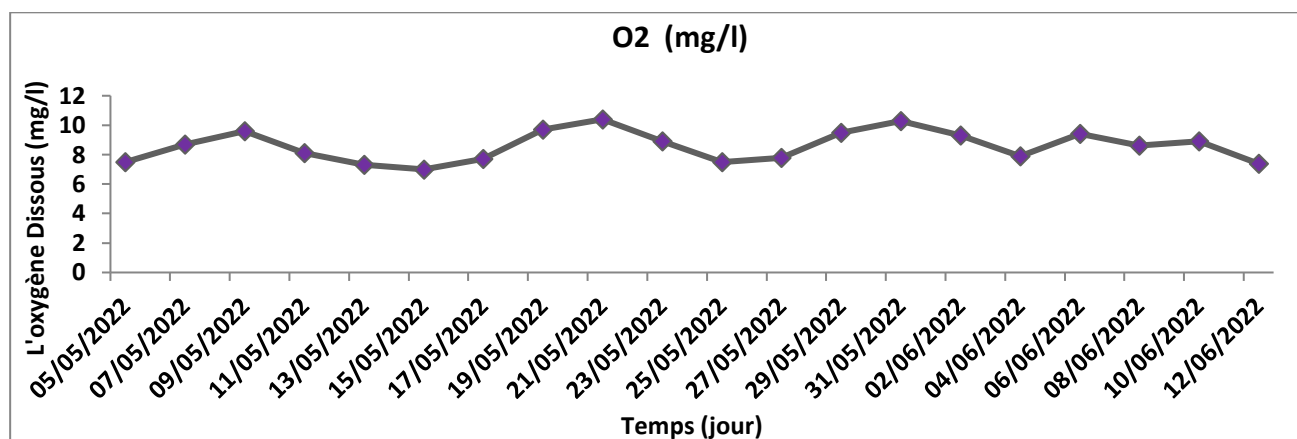


Figure 41 : courbe du O₂ dans la solution nutritive (culture de la laitue)

Les niveaux d'oxygène enregistrés dans le climat de la serre, même avec la consommation de plantes et le fonctionnement de la pompe d'aération en général, étaient de 10,4 g/l.

- Chlorophylle

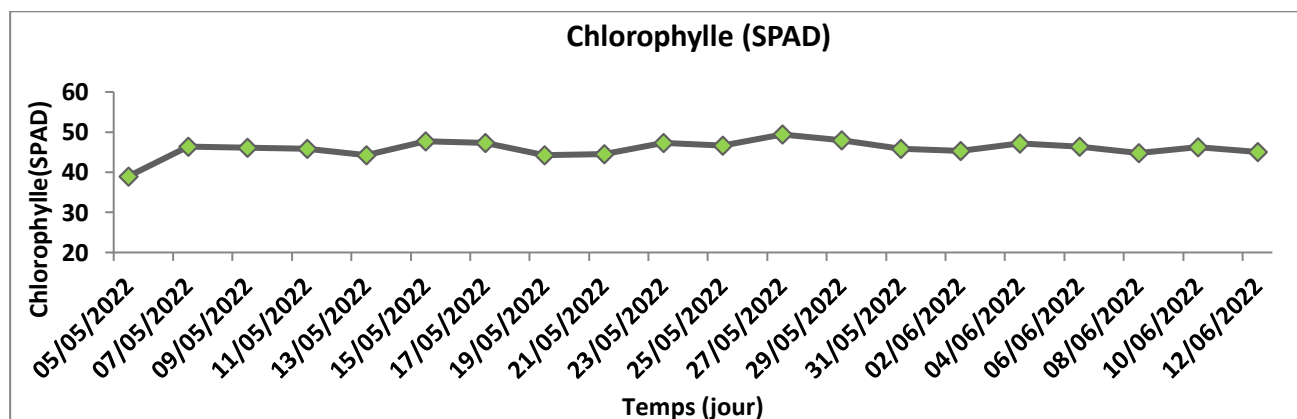


Figure 42 : courbe du O₂ dans la solution nutritive (culture de la laitue)

2.4. La développement de la laitue dans le système NFT

Les trois graphes suivants représentent l'évolution de la longueur des feuilles et des racines en termes de temps Dans chacun des tubes N° 1, N°3 et N°7.

Tableau 18 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur nouvelle système N .F.T N° 01

	tailles des feuilles (Cm)	tailles des racines (Cm)
Moyenne	18,2	21,1
Erreur-type	0,5	0,7
Médiane	18,7	20,7
Écart-type	4,4	5,6
Variance de l'échantillon	19,1	30,8
Minimum	10,9	12,5
Maximum	24,9	30,2
Nombre d'échantillons	20,0	20,0

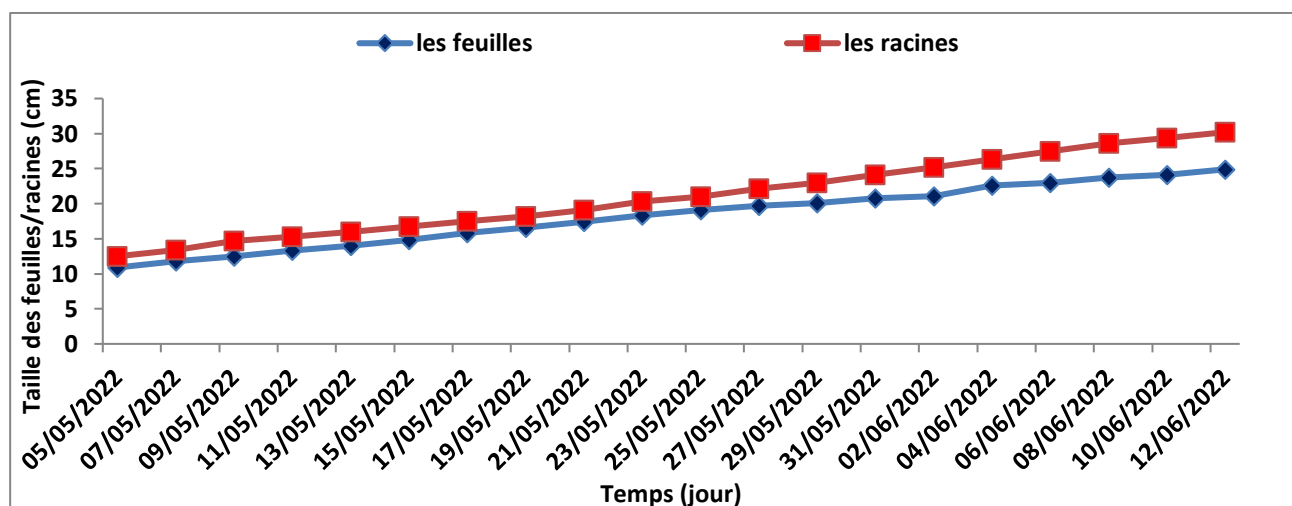


Figure 43: développement des racines et feuilles en cm/jour de tube n°1 système NFT

Cette courbe représente le développement des racines et des feuilles de l'échantillon dans le tube n° 1, où l'on peut voir que leur développement augmente constamment et parallèlement au temps. La longueur de la feuille dépasse 24,9 cm et les racines 30,2 cm.

Tableau 19 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur nouvelle système N .F.T tube n°03 :

	tailles des feuilles (Cm)	tailles des racines (Cm)
Moyenne	19,7	21,5
Erreur-type	0,2	0,5
Médiane	19,5	21,5
Écart-type	5,6	5,7
Variance de l'échantillon	31,0	32,6
Minimum	11,2	12,7
Maximum	28,6	30,7
Nombre d'échantillons	20,0	20,0

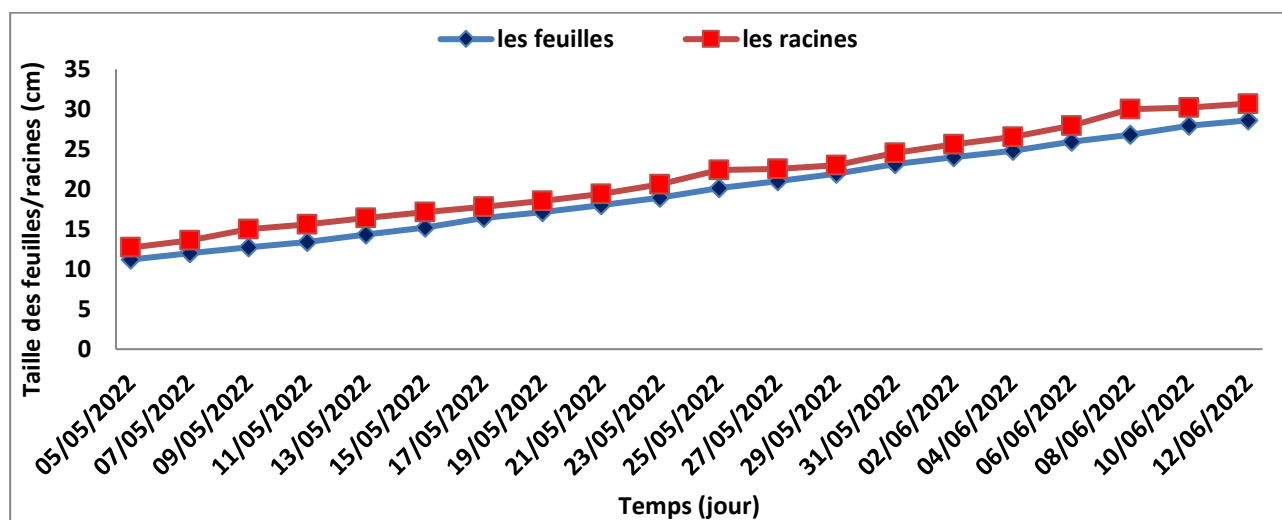


Figure 44 : développement des racines et feuilles en cm/jour de tube n°03 système NFT

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 20 : Statistique descriptive des résultats enregistré sur nouvelle système N .F.T tube n°07

	tailles des feuilles (Cm)	tailles des racines (Cm)
Moyenne	20,0	22,0
Erreur-type	0,3	0,5
Médiane	20,0	21,8
Écart-type	5,7	6,0
Variance de l'échantillon	32,3	35,6
Minimum	11,5	13,1
Maximum	29,2	31,8
Nombre d'échantillons	20,0	20,0

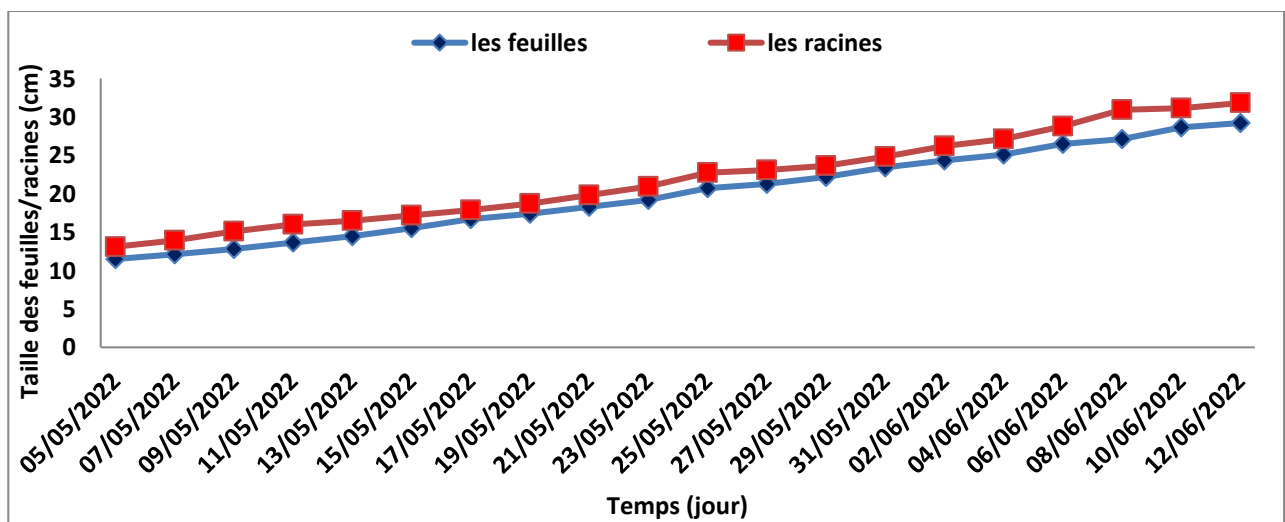


Figure 45 : développement des racines et feuilles en cm/jour de tube n°06 système NFT .

Les courbes se développent au même rythme. Pendant les sept premiers jours, la croissance de la laitue est lente. À partir du septième jour, le taux de croissance des racines et des feuilles se développe progressivement en raison de l'entrée de la plante dans la phase d'acclimatation et de coexistence avec le nouveau milieu .

La longueur totale des racines enregistrée au cours du suivi était comprise entre [12,5 et 13 cm] au minimum, et également enregistrée pour la feuille entre [10,9 et 11,2 cm] au minimum. La faiblesse maximale des racines était d'environ 31,8 cm et la longueur maximale des feuilles était d'environ 29,2 cm .

Le lent développement des racines et des feuilles au cours des premiers jours est dû au changement du milieu de vie de la plante, car il a été transféré du sol à un milieu aqueux contenant des nutriments dissous dans l'eau qui permet à la plante de se développer rapidement par la suite.

2.5. La chaleur et la laitue

La laitue est une culture adaptée pour des climats frais, avec des températures optimales de croissance oscillant entre 7 et 24°C. Au-delà de ces températures, la laitue développe des désordres physiologiques tels que la brûlure de la pointe, la nervation brune, la montaison prématurée, les nervures protubérantes pour ne nommer que les plus communs.

2.6. La montaison prématurée

La laitue est une annuelle de jours longs et fleurit donc normalement durant l'été. La laitue est récoltée à la fin de son stade végétatif avant la montaison qui précède la floraison. Lors de conditions chaudes, il n'est pas rare d'observer une élongation prématurée des tiges, avant même que la plante ait atteint un poids souhaitable pour le marché. Ce problème est fréquent dans la laitue romaine

L'élongation de la tige florale est initiée par des longueurs de jours dépassant 13 heures et accélérée par des températures élevées. La photopériode est de plus de 13 heures entre le 17 mars et le 24 septembre, ce qui coïncide avec la saison de production de la laitue. Ainsi, les variétés de laitue produites sous jours longs et températures de jour et de nuit plus élevées doivent démontrer une résistance à la montaison plus élevée que celles utilisées dans les régions plus fraîches où la laitue est cultivée à l'année.



Photo 28 : Le phénomène de la montaison prématurée
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djeflal, Y. 2022)

2.7. Qualité de produit de la laitue

La qualité de la laitue a toujours été un enjeu important, notamment parce que c'est un légume qui se consomme frais et ne se conserve pas. Modernité, qualité visuelle, taille et choix de variété ont été et sont toujours au cœur des préoccupations des différents acteurs de ce secteur. Pour plusieurs années.

• La qualité générique

Tableau 20 : Analyse de la composition chimique des éléments nutritifs de la laitue.

Macro nutriments	Symbole chimique	Culture Hydroponique pour (mg/100g)	Culture Sol agricole (mg/100g)	Normes (mg/100g)
Potassium	(K)	2377	-	800
Sodium	(Na)	0	0	800
Azote	(N)	Très concentré	7500	4370-5560
Phosphore	(P)	19	18.85	0.7-1.36
Calcium	(Ca)	3527	250	18 - 74,30

Le tableau représente la différence de la composition chimique dans la laitue cultivée dans notre système hydroponique (hors sols) et la culture dans un sol agricole (disponible sur le marché local). En comparant ces résultats avec celles des limites, nous avons pu trouver que la composition chimique dans la laitue hydroponique est très proche aux normes. Par contre, les résultats issus après l'analyse de laitue disponible sur le marché local, montrent une sur-teneur des éléments telle que le calcium et le nitrite dépassent largement les normes.

2.8 Résultat de production



Photo 29 : 1er semaine après la plantation sur Système NFT
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B.& Boudejma Djefal, Y. 2022)



Photo 30 : 3em semaine après la plantation sur Système NFT
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)



Photo 31 : 4er semaine après la plantation sur Système NFT
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

3. La tomate

3.1. Plantation

Ces plantes ont été fournies par un agriculteur d'El-Abadia, Ain Defla, et ont été soigneusement lavées du terreau au niveau des racines et plantées directement dans le substrat (fibre de coco).

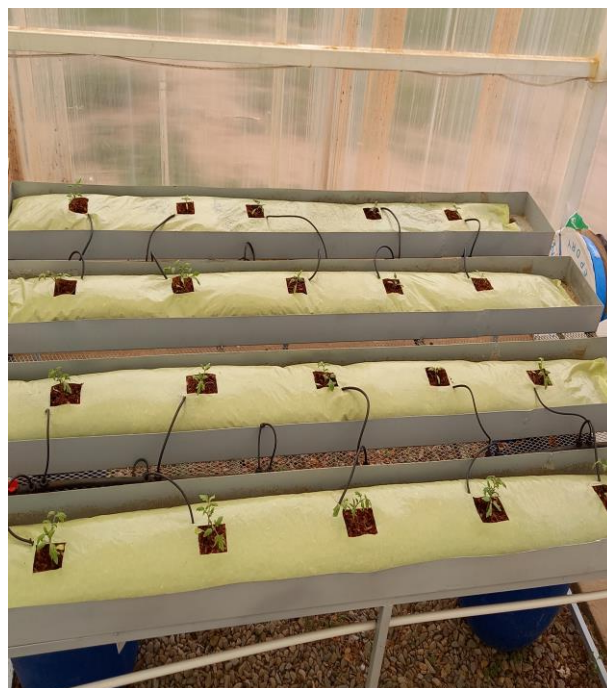




Photo 32 : la plantation de la tomate dans substrat (fibre de coco)
source : Mhdjoubi,B.&.Boudjema,Y.2022

3.2. Le cycle végétal de la tomate

Tableau 21 : suivie développement de la tomat :

Date	Croissance	Stades
20-03-2022		semi de la tomate a l'âge de 15 jours
24-03-2022		Les plantes de la tomate après 3 jour a la cultivassions dans les fibres de coco

Chapitre III : Résultats et discussion

31-03-2022	 A young tomato seedling with several green leaves growing in a black plastic mulch tray. The plant is supported by a thin black stake.	Le développement des feuilles de la tomate après 10 a la culture
19-04-2022	 A tomato plant with lush green foliage and several small yellow flowers at the beginning of their bloom.	La Début de la fleurissent des plantes
04-05-2022	 A close-up view of several green, unripe tomatoes still attached to the vine, showing their developing shape.	Le développement des fruits
31-05-2022	 A cluster of tomatoes on the vine, with one showing a transition from green to a reddish-orange color, indicating the start of ripening.	La Début de maturation des fruits
04-06-2022	 A cluster of tomatoes on the vine, with several fully ripened, bright red tomatoes alongside some still-green ones.	La maturation complète des fruits

3.3. Irrigation de la tomate

Dans notre expérimentation nous n'avons pas utilisé le système irrigation de la table substrat (goutte à goutte) en raison de pénurie d'eau.

Nous avons utilisé la irrigation manuellement (pas de cycle fermé de l'eau d'irrigation), Nous préparons quotidiennement une dose de solution nutritive pour irrigué la tomate.

3.4. Tuteurage des plants de tomates

Il est nécessaire d'attacher ses plants de tomate quand ceux-ci ont une croissance relativement avancée et commencent à pencher par rapport à la verticale. Cette étape est indispensable pour plusieurs raisons :

- Parce que les tomates sont plantées sur une table en fer, il vaut mieux la plante ne pas toucher la table.
- le poids des fruits est suffisamment important pour courber le plant et ainsi l'amener au sol et entraîner les dommages cités dans le premier point. Si le plant n'est pas attaché, le poids des fruits peut également l'abîmer voire le briser.
- en effet il est bien plus simple de faire l'entretien des plants de tomates lorsqu'ils sont attachés. est pratique pour la cueillette et gagne de la place.



Photo 33 : tuteurage les plants de tomates

Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

3.5. Le rendement

Le début de la récolte des tomates était en 13-06-2022 Lors de la première récolte, nous avons récolté environ 6 fruits de taille moyenne pour faire des analyses.

Dans la deuxième récolte nous avons récolté environ de 2.5 kg de la tomate. Généralement nous avons récolté environ de 10 kg de la tomate mais cette quantité ne représente pas le rendement maximal obtenu durant l'expérimentation.



Photo 34 : rendement de la tomate

Source : (Abdellah Mahdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

3.6. La qualité de tomates

Pour analyser la qualité de la tomate, nous avons choisi d'étudier les même trois critères qualitatifs utilisés pour analyse la qualité de la fraise sensoriels, physiques et chimiques.

3.6.1. Sensoriels

- **Le goût** : En général, le goût de la tomate était légèrement sucré
- **La couleur** : La couleur de la tomate que nous avons récolté est rouge une peu fonce.
- **La forme** : la forme de majorite des fruits est normale, pas doux (solide)
- **L'odeur** : Tous les fruits avaient l'odeur de la tomate

3.6.2. Physique: cela se fait par mesure le diamètre et le poids de chaque fruit.

- **Le taille** : la taille de la tomate est taille moyenne
- **Le poids** : les poids de la majorité de tomate est variée antre 100 et 200g.

1.6.2. Chimique : composition chimique des éléments nutritifs de la tomate .

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau 22 : Analyse de la composition chimique des éléments nutritifs de la laitue.

Macro nutriments	Symbole Chimique	Culture hors sol - Hydroponique pour (mg/100g)	Culture Sol agricole (mg/100g)	Normes (mg/100g)
Potassium	(K)	576.8	397.6	2000
sodium	(Na)	0	12.8	-
Azote	(N)	0	1000	4370-5560
Phosphore	(P)	0.6	0.4	0.7-1.36
Calcium	(Ca)	320.6	0	800

- La qualité générique

Le tableau représente la différence de la composition chimique dans la tomate cultivée dans substrat (hors sol) et la culture dans un sol agricole (disponible sur le marché local). En comparant ces résultats avec celles des limites, nous avons pu trouver que la composition chimique dans la tomate hydroponique est très proche aux normes.

En général, la valeur nutritionnelle des tomates cultivées hors sol est meilleure que la valeur nutritionnelle des tomates cultivées dans le sol.

- Discussion Générale :

D'après cette expérience on peut dire que le système NFT convient à la fraise et la laitue et la table irriguée par goutte à goutte (fibre de coco) convient à la tomate parce que nous obtenons de bons résultats et les plantes que résisté bien dans les système hydroponie que nous avons utilisé , la fraise au début de la culture passe par une phase ce que nous appelons phase d'adaptation et sa consommation des nutriments est plutôt faible durant cette phase car elle subit souvent un stress salin, la développement de la taille des feuilles et racines est lent. Après environ de 20 jours les plantes commencent à fleurir. Les fruits commencent à mûrir après 28 à 30 jours après la plantation

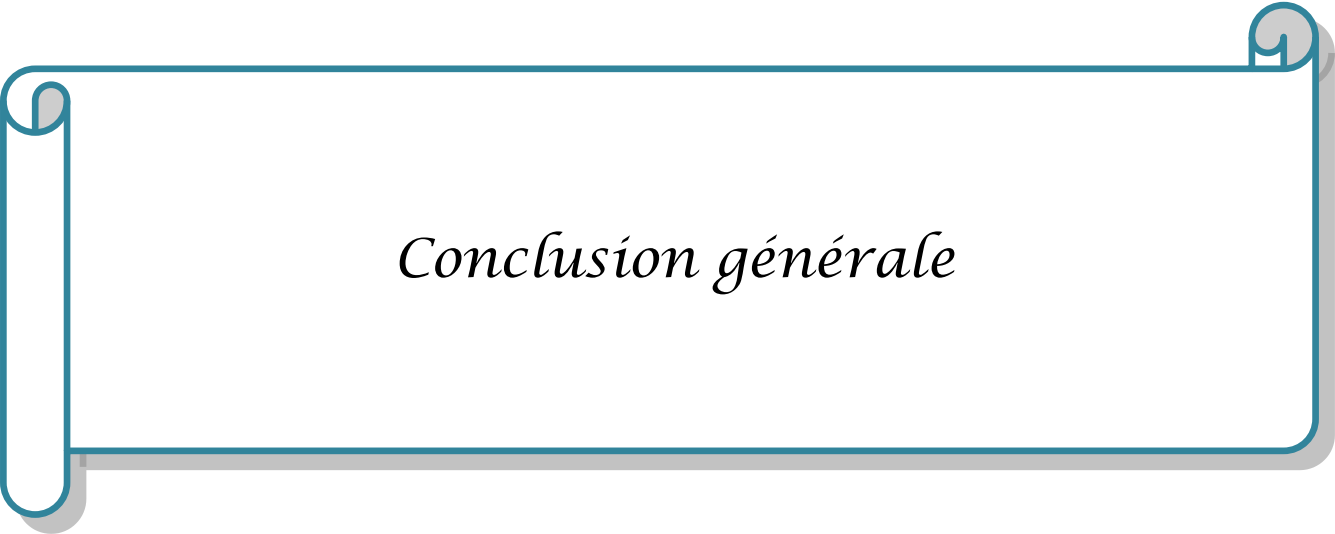
Tous les paramètres physiques et chimiques de la solution nutritive (Tm, CE, pH, O₂) doivent être surveillés pendant la période de culture parce qu'ils sont liés les uns aux autres et affectent directement la consommation de la plante.

Les résultats de la comparaison du développement de la fraise dans les pots et le système NFT n'a pas donné de résultats concluants car dans les pots nous n'avons pas fourni tous les nutriments dont les plantes ont besoin, mais le résultat de cette comparaison a permis de comprendre comment la composition chimique du sol affecte la croissance des plantes.

La laitue est très sensible à la chaleur au début de la culture, sa consommation d'eau et de nutriments était élevée cela a conduit à sa croissance rapide et l'effet de la chaleur, qui a augmenté la vitesse de croissance jusqu'à ce que la laitue atteigne le phénomène de la montaison prématuré.

La tomate dans la table de substrat (fibre de coco) s'est rapidement adaptée et sa croissance a été rapide au début de la culture et a fleuri rapidement, nous n'avons pas utilisé le système fermé parce que le substrat a consommé grande quantité d'eau, le rendement est très élevé par rapport au nombre des plants.

La qualité générique de produits cultivée dans les systèmes hydroponie est meilleure que la qualité de produits cultive dans les parcelles agricoles et destinées a la vente parce que nous avons planté dans un milieu fermé sans utilisation de produits chimiques et fourni des conditions favorable pour les plantes (eau, nutriments, climat, lumièreetc.).



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a été réalisée sur l'essai de l'hydroponie dans le système NFT verticale et horizontale et Substrat à goutte à goutte pour quelques plantes ; pendant notre étude nous avons pu ressortir certaines observations et apporter une meilleure compréhension de la précocité de la culture hydroponique surtout les systèmes NFT notre étude a été faite sur 3 types de plantes la fraise, laitue, la tomate.

A ce titre, les paramètres morphologiques étudiés dans les systèmes (nombre et taille des feuilles, nombres des fleurs et fruits), notre culture est cultivée par une solution réalisée à partir de l'eau distillée et à base des engrais chimiques commercialisés en Algérie.

Les résultats obtenus ont révélé la vitesse de développement des plantes dans ces systèmes, et le résultat de notre comparaison entre la fertilisation de la fraise dans le système NFT et le sol (les pots) ont montré que le rôle de la composition chimique de sol dans le développement de plante, le suivi de nos cultures et les résultats obtenus ont montré par ailleurs que la consommation de la solution nutritive ; c'est lent au début de la culture et rapide avec l'accroissement des variétés, mais en générale cette culture reste la moins consommée d'eau comparativement à l'agriculture traditionnelle.

La culture hors sol constitue une innovation en Algérie surtout dans les zones arides et semi arides qui souffrent des températures élevées et du manque d'eau, cette étude augure une bonne perspective pour la sécurité alimentaire de notre pays. Par conclusion, notre expérience a montré l'efficacité de la culture hydroponique et la solution nutritive par suite le système NFT ; qui a donné de bons résultats au niveau de la qualité des produits par rapport aux produits du terroir et à la récolte précoce.

Enfin pour le futur les cultures en hors sol restent une alternative fortement envisageable, Reste à bien maîtriser les différents systèmes de production qui peuvent être utilisés pour avoir un rendement élevé quantitativement et qualitativement. Ce qui permettra vraisemblablement une meilleure utilisation de l'eau d'une part, et d'autre part une limite de l'utilisation des herbicides qui peuvent être nuisibles à la santé humaine.



Références bibliographiques

Références Bibliographiques

A

- **Alain Vitre (2003)**. Fondements théoriques du hors sol. Page 03 – 10.
- **Aries, S (2019)**. Etude d'adaptation des variétés de la culture de fraise aux conditions Agroclimatiques de la Wilaya de Jijel. Diplôme de Master. Université de Jijel Mohamed Seddik Benyahia- Jijel.
- **Anon (2005)**. Principaux éléments fertilisants. UNIFA Edition 2005. 6 p.
- **Alden, P. Crysta, H. Ryan, D.** University of news Hampshire. Advanced Nutrient Management: Relationship between pH and EC, 603-748-3673.
- **Agronomie.** Différents systèmes de la culture hydroponique. En ligne : <https://agronomie.info/fr/differents-systemes-de-la-culture-hydroponique/> consulte le 12/03/2022.
- **Agronomie.sdec.** analyse teneur de chlorophylle NDVI et couleur, En ligne : <https://agronomie.sdec-france.com/instruments-analyse-teneur-en-chlorophylle.html> consulte le 22/06/2022.

B

- **Belbachir, M (2017)**. Production de fourrage par techniques hydroponiques. Cas de l'orge à Sidi mdjahed, commune de beni bousaid. Diplôme de MASTER.
- **BOULHOUACHE, I (2020)** .Optimisation des apports de biostimulants foliaires en système NFT (Nutriment Film Technique) : Cas d'une plante herbacée.
- **Burea-uinsurance.** Comment faire pousser des tomates en hydroponie à la maison en linge :<https://burea-uinsurance.com/fr/comment-faire-pousser-des-tomates-en-hydroponie-a-la-maison/> consulte le 27 mars 2022.

C

- **Cervantes, J (2012)**. Culture en intérieur. Mama Edition, 1 rue Pétion 75011 (France).
- **Christiana,S (2011)**. Optimisation de la fertilisation de fraises remontantes cultivées hors sol. Université de Laval. Pour l'obtention du grade de Maître ès sciences.
- **Cultures hydroponique & horticoles (2017)**. 4 ème édition.
- **Cannaweed (2011)**. Les différents systèmes hydroponiques. En linge : <https://www.cannaweed.com/guides/avant-la-cultu/hydroponie/les-diff%C3%A9rents-syst%C3%A8mes-hydroponiques-r93/> consulte le 11/03/2022.

D

- **Desjardins, Y (2003)**. Fraises et framboises. Dans Note de cours HorticulturePTT-12380.

Références bibliographiques

G

- **GHARBI, K (2019)**. La culture hydroponique sur quelques variétés de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Université des frères montouri constantine. Diplôme de master.

I

- **ITCM (2010)**. Fiches techniques valorisées des cultures maraîchères et Industrielles. La culture de fraisier.

J

- **Jones, J. Benton (2014)**. Complete guide for growing plants hydroponically. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group.
- **JENS ORTNER (2019)**. Automated Hydroponic system. In: Journal of Agricultural Science, FIRST CYCLE.
- **Jardin potager**. Idées pour attacher les plants de tomates aux tuteurs. En ligne : <https://jardin-potager-bio.fr/comment-accrocher-les-tomates-au-tuteur>. consulté le 06/07/2022.

K

- **Keith F. Roberto (2000)**. How-To Hydroponics. Avec la collaboration de Future Garden Inc. 3rd : Great Science Textbooks.

L

- **Lazizi .M (2017)**. Étude de comportement de l'orge hydroponique sous l'effet de trois types de bio stimulants (d'extrait d'algues), d'acide humique. Diplôme de Master Académique. Université Saad Dahlab – Blida 1.
- **Lambert ,L. Laplante G. H. Carisse,O & Vincent,C (2007)**. La tache pourpre du fraisier. Dans Guide de maladies, ravageurs et organismes bénéfiques du fraisier, du framboisier et du bleuetier. (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec) p. 35-37.
- **Lorin, N.** Editor-In-Chief of the green thumbs magazine, Hydroponic Strawberries: Berries Grown without Soil, Last updated May 25, 2022.

M

- **Maouche .B et Haid.S (2021)**. Optimisation de l'irrigation de fertilisation pour la laitue dans un système hydroponique. enjeux et implications. Diplôme de MASTER. Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana.

N

Références bibliographiques

- **Noura ziade.** chercheure scientifique Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les solset les grandes cultures, Québec, Utilisation des engrais minéraux azotés en grandes cultures.

P

- **Plant health.** kasha.D, pH, EC and temperature – Measuring and adjusting your fundamental parameters, 19 février 2021, en linge: <https://blog.bluelab.com/ph-ec-and-temperature> .

R

- **Resh, Howard,M (1978).** Hydroponic food production. A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. 7th edition. Boca Raton FL : CRC Press.

S

- **Serge.S et Janice.M.** Guide de la tomate hors sol à La Réunion.
- **Sylvie Jenni, Ph.D.** agr,Centre de recherche et de développement en horticulture, Agriculture et agroalimentaire Canadamodifié ,4 ,6).

T

- **The black leaf.** les bases de lhydroponie passive 2021, en linge <https://theblackleaf.fr/les-bases-de-lhydroponie-passive> consulté le 09/03/2022.

W

- **William , Texier , Breider, Mila, Verlomme, Loriel (impr. 2013).** L'hydroponie pour tous. Tout sur l'horticulture à la maison. Mamaéditions.com. Paris : Mama éd (Jardinages).
- **World Food preprogram (2017).** Hydroponique en Algeria. World Food preprogram. En ligne <https://www.wfp.org/stories/growing-food-algerian-desert> consulté le 06/03/2022.
- **Wikipedia (2021).** Hydroponie. En ligne : - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydroponie> consulte le 13/03/2022.

Y

- **Youcef,B (2001).** Exploitation de l'énergie géothermique pour le chauffage des serre agricole, mémoire de magistère ; centre universitaire de Ouargl, 65 70p.

Z

- **Zenadra,B (2016).** l'orge hydroponique dans l'alimentation de la vache laitiere. Diplôme de Docteur Vétérinaire. Université Saad Dahlab – Blida 1.

• ANNEXE

1. Prima Water MED 4.0 : est un projet européen visant à développer et de mettre en œuvre un système intégré pour gérer l'ensemble du cycle de l'eau dans l'agriculture, surveiller les ressources en eau (conventionnelles et non conventionnelles) et la demande en eau, y compris la mesure de l'économie. et les facteurs d'efficacité énergétique, sociale et hydrique dans les bassins de production agricole en Méditerranée.

Université de Djilali Bounama Khemis Milianaa rejoint ce projet en 11 février 2021 avec la contribution de Dr Sami Touil comme administrateur principal du projet et Dr Richa Amina comme coordonnateur local du projet et d'autres contributeurs comme comité d'organisation, l'objectif de ce projet a niveau de l'algérie il est d'accroître la compétitivité de l'agriculture algérienne grâce à des technologies agricoles intelligentes, en apportant une aide à la décision aux agriculteurs tout en préservant toujours l'environnement et en offrant des ressources naturelles.

2. Équipement nécessaire

- **l'armoire électrique** : La serre contient l'armoire électrique qui utilise pour contrôler le système électrique à l'intérieur de la serre

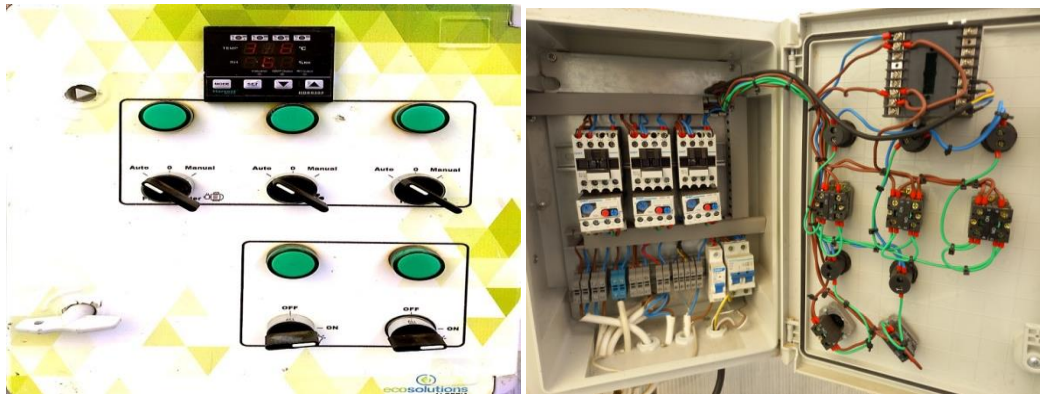


Photo 1 : l'armoire électrique (limage extérieur et intérieure)
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

- **Programmateur de climat** : La serre contient programmateur de climat qui utilise pour contrôler la température et humidité au niveau de la serre et c'est lié à capteur pour capturé la température et humidité a intérieur de la serre



Photo 2 : le programmeur de climat dans la salle d'expérimentation.
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

3. Technique l'emballage de substrat

3.1. Matériel

- 4 Mater de filme agricole
- Gravez
- Métré de mesure
- Cutter

3.2. Les étapes

- Mesurée et coupée la filme agricole aux dimensions proportionnelles avec les rigoles.
- Gravissiez la premier coute de filme agricole avec la désaime coute et gravissiez bien la entre
- Remplir les sacs avec la fibre de coucou (substrat) et gravissiez la sertie de sac et mette des espace entre les graves pour assurent le drainage de l'eau.
- Mettre les sacs dans les rigoles et découper des petits carrés pour la plantation des plantes et mettre 40 cm entre chaque et l'autre.et relier les sacs avec le system de alimentation.



Photo 3 : emballage de substrat dans Table système gout e a goutte avec substrat
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

4. Technique du film nutritif N.F.T (escalier ou superposé)

4.1. Réalisation de nouveau système NFT superposé

En créant ce système, nous avons commencé avec le réservoir

4.1.1. Installation de réservoir

Pour gagner un certain ponté pour la installation de système de drainage, nous avons décidé d'installer le réservoir soustraiant.

- On creuse un trou carré de 50 cm de long et 60 cm de profondeur.
- On Mette le réservoir d'une capacité de 100 litres dans le trou
- On laisser 20 cm de hauteur de réservoir libre au-dessus du sol pour l'installation de système d'alimentation et système drainage.



Photo 4 : installation de reservoir de système NFT escalier
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

4.1.2. Préparation le support des tubes

Pour le support des tubes pvc on a commandé une table en acier de tube carre 15/32 a forme trianguler de dimension 1.60m de largeur et 2.60m de longueur et 2m de hauteur, chaque côté de la table contient des étage la distance entre eux 50 cm, ensuite on a peint la table.



Photo 5 : Table en acier (support de système NFT escalier
Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

4.2. Préparation des tubes

- Couper des tuyaux de diamètre (100 mm) d'une longueur de (2,60 m)
- A l'aide d'une scie cloche avec visseuse, faire des trous (80 mm), espace entre chaque trou (20cm).
- Coller aux chaque extrémité du tuyau des bouchons de diamètre (100 mm).
- Fixer les colliers pvc 100mm dans les étagers de la table.
- On fixe les tuyaux sur les colliers 100 mm dans la table (supporte)

4.3. Système d'alimentation

4.3.1. Matériel

- Pompe immergé
- Des Tubes 15/21mm.
- Des attaches
- Multicouche
- Réduction de multicouche
- Robinet
- Les gouters
- Des raccords T.
- Des raccords L.
- Réservoir de 100 liter

4.3.2. Montage Système d'alimentation

- Fixer la pompe immergée dans le fond de réservoir et relier avec le tube 15/21
- Par le raccord L change la direction de tube 15/21 et sortez-le de l'ouverture du réservoir sur le côté supérieur.
- Redirigez le tube vers le haut avec raccord L, En bout de table on fait des déviations avec raccord T.
- En début de chaque déviation monter un robinet relier avec raccord T
- Reliez le raccord T et le tube multicouche avec une réduction.
- On raccorde deux tubes 15/21 longueur (40cm) par des raccords T
- On ajoute un robinet sur chaque borne d'alimentation pour contrôler le débit
- Sur l'extrémité de chaque robinet on installe des goutiers qui assurent l'irrigation par un micro tuyau.
- On raccorde les deux tubes 15/21 avec la fan de multicouche par une réduction.
- On ajoute une pompe à air qui favorise l'oxygénation de la solution.



Photo 6 : système d'alimentation de système NFT horizontal
Source : (Abdellah Mhdjoubi, B. & Boudejma Djefal, Y. 2022)

4.3. Système drainage

4.3.1. Matériel

- 4 Meters de tube pvc 50 mm
- -8 Tubes 15/21 mm de différentes longueurs
- -Raccord T de 50 mm
- 8 Raccord L 15/21mm
- 8 Connecteurs male en PVC d'évacuation

4.3.2. Montage Système drainage

- Dans la partie deuxième on perce un trou d'un diamètre de (25 mm) sur la partie inférieure de bouchon pvc.
- On met dans chaque trou un PVC mâle du connecteur PVC mâle pour évacuer l'eau de drainage.
- Relier chaque connecteur PVC male avec une robinet par le raccord L.
- On connecte chaque sortie de robinet avec les tube 15/21mm se dirigeant vers le bas.
- Dans parte (B) on fixe le tube pvc 50mm en bas du la table et relier cette tube avec notre tube PVC de longueur de 230 cm se dirigeant vers le réservoir avec raccord T 50 mm.
- On perce un trou dans chaque point d'intersection de chaque tube 15/21 avec le tube PVC 50 mm
- On entre verticalement chaque tube 15/21 dans son trou.



Photo 7 : installation de système de drainage de système NFT horizontal

Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

5. Choix de critère





- **Type de system (escalier) :** Nous avons choisi ce type de montage de système pour augmenter la capacité de système et gardée les même démontions avec le système NFT vertical (1.70 m de largeur et 2.60 m de longueur)
- **La table :** Nous avons choisi cette forme (triangulaire) pour donner d'une espace horizontal et vertical enté les tubes pvc (Pour convenir aux plantes à croissance verticale)
- **Réservoir :** Nous avons choisi ce mode d'installation (souterrain) pour crier certaine ponte pour la installation de système de déränge.
- **Système d'alimentation :** Nous avons choisi ce type d'installation pour être l'alimentation homogène
- **Système de déränge :** Nous avons choisi ce type d'installation pour faciliter le nettoyage et l'entretien du système pacque tout les tube sont libres et juste fixer par les colliers de pvc.







Photo 8 : Les travaux sur la table NFT escalier





Source : (Abdellah Mhdjoubi,B.&.Boudejma Djefal,Y.2022)

6. Classification des pompes : Dans ce tableau, nous avons classé toutes les pompes que nous avons utilisées dans l'expérience

Type de pompe	Le système	Les caractéristiques	La photo
Pompe Immergé	NFT Horizontal	Qmax : 5000L/H Hmax : 5 M Power : 105 W	
Pompe d'oxygène	NFT Horizontal	Qmax : 1400L/H Hmax : 1.5 M Power : 25 W	
Pompe Immergé	NFT Vertical & Substrat	Qmax : 2000L/H Hmax : 1.5 M Power : 35 W	
Pompe d'oxygène	NFT Vertical	Qmax : 1000L/H Hmax : 0.8 M Power : 12 W	

7. Matériels de laboratoire : Dans ce tableau, nous avons classé toutes les matériels de laboratoire que nous avons utilisé dans l'expérience

Nom	L'apparait	Utilisation
Conductimètre portable		Mesure la conductivité électrique
Oxymétrie portable		Mesure oxygène dessous
Multi paramètres		Mesure la TDS et Salinité et pH
SPAD		Mesure la teneur en chlorophylle et la température de la plante
Spectrophotomètre		Analyse chimique des solutions

<p>Flame photomètre</p>		<p>Mesure le sodium, potassium, lithium dans différents milieux biologiques</p>
<p>Agitateur</p>		<p>Agitation des solutions</p>
<p>Balance électronique</p>		<p>Pour peser les masses des engrais</p>
<p>Micropipette</p>		<p>Pour prélèvements des doses de 500ml</p>