



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université 20 Aout 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département d'agronomie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Filière : Science d'agronomie

Spécialité : Système de Production Agro-écologie

Thème

**Etude de la rhizogenèse chez les boutures
de quelque plante ornementale cultivée par
hydroponie**

Présenté par :

- BECHIRI Bochra
- DAIFELLAH Maroua
- BEDDAD Azhar

Devant le jury:

- **Présidente** BOUNAB Warda
- **Examineur** BOULECHFAR Mohamed
- **Promoteur** HANNACHI Hakim

Année Universitaire : 2024/2023





*R*emerciements

Nous souhaitons exprimer notre profonde reconnaissance envers Mme Hakim Hannachi, notre Promoteur, pour son encadrement attentif, ses conseils éclairés et son soutien constant tout au long de cette thèse. Son expertise et son engagement ont été essentiels à chaque étape de ce travail de recherche.

Nous tenons également à remercier sincèrement Mme Warda Bounab, Présidente du jury, pour sa présence attentive et ses précieux commentaires qui ont enrichi nos réflexions lors des soutenances.

Un grand merci également à M. Mohamed Boulechfar, Examineur, pour ses observations pertinentes et ses suggestions constructives qui ont contribué à améliorer la qualité et la rigueur de ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers la promotion 2024 pour son soutien constant et son encouragement tout au long de notre parcours académique commun.

Enfin, nous tenons à adresser nos remerciements les plus sincères au laboratoire d'analyse physico-chimique des sols de l'Université 20 août 1955 à Skikda. Leur expertise technique et l'accès à leurs installations ont été d'une importance cruciale pour la réalisation des expériences nécessaires à cette recherche.

Chaque personne mentionnée a joué un rôle crucial dans la réussite de ce projet, et nous sommes profondément reconnaissants pour leur soutien inestimable.

Merci à tous





Dédicace

À ma chère mère, mon pilier de force, je te remercie pour ton amour inconditionnel qui guide chacun de mes pas.

À mon regretté père, tu restes un modèle de force et d'amour inconditionnel, tu seras toujours dans nos pensées et nos cœurs.

À mon cher mari, ma source de bonheur et de soutien, je suis reconnaissante pour chaque instant partagé à tes côtés.

À notre belle famille et à nos amis, votre présence est un trésor que nous chérissons, merci d'être une part si précieuse de notre parcours.

À toutes les personnes qui ont croisé ma route et ont tendu la main pour m'aider, je vous suis infiniment reconnaissant. Vos gestes de gentillesse et votre générosité ont enrichi ma vie de manière inestimable, et je vous en suis éternellement reconnaissant.

Ensemble, vous avez été les architectes de mes rêves, les compagnons de mes aventures et les témoins de mes succès. Que ce soit par un mot d'encouragement, un sourire chaleureux ou un acte de bonté, votre soutien a été la pierre angulaire de ma réussite.

À chacun de vous, je dédie mes réalisations et mes succès. Merci d'avoir été les étoiles qui ont éclairé mon chemin et les vents qui ont gonflé mes voiles. Je suis honoré et béni de vous avoir dans ma vie.

Avec toute ma gratitude et mon amour sincère,

Bouchra



Dédicace



À ma chère mère, dont la douceur et l'amour inconditionnel ont été ma boussole tout au long de ma vie. Chaque pas que je fais, je sens votre présence chaleureuse qui me guide et m'inspire. Votre force et votre bienveillance sont des exemples que j'essaie d'incorporer chaque jour.

À mon père, dont la détermination et le soutien indéfectible m'ont donné le courage de poursuivre mes rêves les plus ambitieux. Votre sagesse et vos conseils précieux sont des trésors que je chéris profondément. Chaque réussite que j'atteins est aussi la vôtre, car c'est grâce à vous que j'ai appris à croire en moi-même.

À mon mari, mon roc et mon meilleur ami, qui partage chaque joie et chaque défi de ma vie. Ta présence à mes côtés est une source constante de bonheur et de réconfort. Avec toi, chaque épreuve devient une opportunité de grandir, et chaque victoire est encore plus douce grâce à ton amour inébranlable.

Et à toutes les personnes qui ont apporté leur aide précieuse dans ce travail, que ce soit par leurs encouragements, leurs conseils avisés ou leur soutien logistique, je vous suis profondément reconnaissant(e). Votre contribution a fait toute la différence, et je suis honoré(e) d'avoir pu compter sur vous dans cette entreprise.

Votre soutien inestimable et votre présence ont illuminé mon chemin. Merci pour tout ce que vous êtes et tout ce que vous faites.

Azhar



Dédicace



À ma mère, dont la bienveillance et l'amour inconditionnel ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. Chaque jour, je suis reconnaissant(e) pour tes conseils et ta présence réconfortante qui ont illuminé mon chemin depuis le premier jour.

À mon père, qui m'a enseigné la persévérance et la force intérieure. Tes sacrifices et ton soutien sans faille sont les fondations sur lesquelles je construis mes rêves. Chaque succès que j'atteins, je le partage avec toi, car tu as toujours cru en moi.

À ma grande sœur, pour sa guidance et son soutien précieux tout au long de ma vie. Ta présence a été une source constante d'inspiration et de force.

À mon mari, compagnon de vie et mon plus grand soutien. À travers les hauts et les bas, tu es toujours là, me soutenant avec ton amour inconditionnel et ta sagesse. Chaque moment passé à tes côtés est un cadeau précieux que je chéris plus que tout.

À ma fille, Éline, ma raison de sourire et de croire en un avenir meilleur. Ta joie de vivre et ta curiosité m'inspirent chaque jour à être la meilleure version de moi-même. Je suis honoré(e) d'être ton parent et de te voir grandir avec tant d'amour et de détermination.

Et à toutes les personnes qui ont apporté leur aide précieuse dans ce travail, que ce soit par leurs encouragements, leurs conseils avisés ou leur soutien pratique, je vous suis profondément reconnaissant(e). Votre contribution a été essentielle pour atteindre mes objectifs, et je suis reconnaissant(e) d'avoir pu compter sur vous dans cette entreprise.

Votre soutien inestimable et votre présence ont fait toute la différence. Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait.

Maroua



Liste des abréviations

TDS : Total des solides dessous

T : Indique les plantules immergées dans de l'eau distillée.

R : Indique les plantules immergées dans de l'eau de puits.

S : Indique les plantules immergées dans un extrait naturel de saule (*Salix alba* L).

NFT : Nutrient Film Technique

CO₂ : le dioxyde de carbone

AUP : Agriculture Urbaine et Périurbaine

% : le pourcentage

°C : unité de mesure de la température.

Listes des figures

Figure 1 : La Rose.....	4
Figure 2 : Les fleurs de tulips	4
Figure 3 : Snake plant	5
Figure 4 : Spider plant	5
Figure 5 : La plante de Aloe Vera	6
Figure 6 : La plante de echeveria.....	6
Figure 7 : La plante de clématite	7
Figure 8 : la plante de ivy	7
Figure 9 : Schéma de système goutte à goutte.....	21
Figure 10 : Schéma de culture hydroponique	23
Figure 11 : Laboratoire d'analyse physico-chimique	29
Figure 12 : Les appareils utilisé.....	30
Figure 13 : Les plantes ornementales	31
Figure 14 : Cultivation du plante géranium par hydroponie.....	33
Figure 15 : Cultivation du plante Syngonium par hydroponie	33
Figure 16 : Cultivation du plante Coléus par hydroponie.....	33
Figure 17 : Cultivation du plante liane de Madère par hydroponie	33
Figure 18 : Histogramme de la longueur de quatre groupes des plantes	35
Figure 19 : Histogramme de la longueur des racines de quatre groupes des plantes	36
Figure 20 : Histogramme de la nombre des racines de quatre groupes des plantes	37
Figure 21 : Histogramme de la longueur departie aérienne de quatre groupes des plantes	38
Figure 22 : Histogramme de la longueur de sous racines de quatre groupes des plantes	39
Figure 23 : Histogramme des poids de quatre groupes des plantes	40
Figure 24 : Histogramme de la conductivité de quatre groupes des plantes	41
Figure 25 : Histogramme de la salinité de quatre groupes des plantes.....	42
Figure 26 : Histogramme de la Tds de quatre groupes des plantes	43
Figure 27 : Histogramme de la Ph de quatre groupes des plantes	44
Figure 28 : Histogramme de la température de quatre groupes des plantes	45

Liste des tableaux

Tableau 1 : l'origine de plantes ornementales selon	8
Tableau 2 : Résumé des cultures pour la culture hydroponique en serre	24
Tableau 3 : La longueur de quatre groupes des plantes.....	46
Tableau 4 : La longueur de la racine de quatre groupes des plantes	47
Tableau 5 : La nombre des racines de quatre groupes des plantes	47
Tableau 6 : La longueur au-dessus des racines de quatre groupes des plantes	48
Tableau 7 : La longueur sous les racines de quatre groupes des plantes.....	48
Tableau 8 : Le poids de quatre groupes des plantes	49
Tableau 9 : La conductivité de quatre groupes des plantes	49
Tableau 10 : La salinité de quatre groupes des plantes	50
Tableau 11 : La Tds de quatre groupes des plantes.....	50
Tableau 12 : Le Ph de quatre groupes des plantes.....	51
Tableau 13 : La température de quatre groupes des plantes.....	51
Tableau 14 : Mesures des plantes la première semaine.....	29
Tableau 15 : Mesures des plantes la deuxième semaine	30
Tableau 16 : Mesures des plantes la troisième semaine	31
Tableau 17 : Mesures des plantes la quatrième semaine.....	32

Plan de travail

Remerciement

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Partie I : Etude bibliographique

Chapitre I : Les plantes ornementales

1.Historique	2
2.Définition.....	2
2.1.Plantes ornementales en ethnobotanique.....	3
3.Culture	3
3.1.Plantes à fleurs	3
3.2.Plantes à feuillage.....	4
3.3.Les plantes succulentes	5
3.4.Plantes grimpantes.....	6
4.Classification	7
4.1.Classification botanique	7
4.2.Classification selon le cycle de vie.....	8
4.3.Classification selon le lieu d'origine	8
4.4.Classification selon les caractéristiques morphologiques	8
5.Centres de diversité des plantes ornementales.....	8
6.Application des graines synthétiques dans les plantes ornementales	10
6.1.Propagation.....	10
6.2.Transport	10

6.3.Conservation.....	11
-----------------------	----

Chapitre II : Culture hydroponique

1.Historique	15
2.Définition.....	16
3.Objectif de la culture hydroponique	17
4.Le développement de la culture hydroponique.....	17
4.1.Dans le monde	17
4.2.En Algérie	17
5.Exigences de base en culture hydroponique.....	18
5.1.Éclairage.....	18
5.2.Température	18
5.3.Bac de culture.....	19
5.4.Gestion des nutriments	19
5.5.Gestion de l'eau par pompe submersible	19
5.6.Substrats	19
5.7.Autres outils	20
6.Le substrat	20
6.1.La porosité.....	20
6.2.La capillarité.....	20
6.3.L'oxygénation.....	20
6.4.La neutralité chimique.....	20
6.5.La neutralité biologique.....	20
7.Les techniques hydroponiques.....	21
7.1.Système goutte à goutte.....	21
7.2.Système de mèche hydroponique	22
7.3.Système de culture en eau profonde.....	22
7.4.Système de technique du film nutritif (NFT)	22
7.5.Le système aéroponique	23

Plan de travail

7.6.Système de submersion « EBB and flow »	24
8.Liste des cultures qui peuvent être cultivées sans sol.....	24
9.Le futur de la culture hydroponique comme alternative à l'agriculture conventionnelle	25
10.Advantages of Hydroponics	26
10.1.Efficacité de l'eau	26
10.2.Optimisation de l'espace.....	26
10.3.Production continue toute l'année.....	27
10.4.Absorption optimisée des nutriments	27
10.5.Contrôle environnemental précis.....	27
10.6.Réduction de l'impact environnemental	27
10.7.Automatisation pour une efficacité accrue	27
11.Inconvénients de la culture hydroponique.....	28

Partie I : Etude expérimentale

Matériels et Méthodes

1.Lieu d'étude	29
2.Matériels	29
2.1. Matériels non biologique	29
3.Méthode de travail.....	31
3.1. Méthodologie expérimentale.....	31
3.1.1. Méthode de préparation de l'extrait de saule (<i>Salix alba</i> L).....	32
3.2. Préparation et installation des plantules	32
3.3. Préparation des pots en plastique	32
4. Les facteurs étudiés	34

Résultat et discussion

1. Les résultats d'analyse de la moyenne.....	35
1.1.La longueur de la plante	35
1.2.La longueur de la racine	36

Plan de travail

1.3.La nombre des racines	37
1.4.La longueur de la plante au- dessus des racines	38
1.5.La longueur de la plante sous les racines	39
1.6.Le poids	40
1.7.La conductivité	41
1.8.La salinité	42
1.9.La Tds.....	43
1.10.Ph.....	44
1.11.La Temperature	45
2.Les résultats d'analyse de la variance	46
2.1.La longueur de la plante	46
2.2.La longueur de la racine	47
2.3.La nombre des racines	47
2.4.La longueur de la plante au- dessus des racines	48
2.5.La longueur de la plante sous les racines	48
2.6.Le poids	49
2.7.La conductivité	49
2.8.La salinité	50
2.9.La Tds.....	50
2.10.Le Ph	51
2.11.La Température	51
3.Discussion Générale des Résultats d'Analyse de Variance (ANOVA)	51
Conclusion	52
Référence bibliographique.....	53
Annexe	
Résumé	

Introduction

Introduction

Les plantes ornementales sont des éléments essentiels dans l'environnement urbain et domestique, apportant à la fois beauté esthétique et bénéfices environnementaux. Leur culture, notamment par des méthodes modernes comme la culture hydroponique, offre de nouvelles perspectives pour optimiser leur développement tout en réduisant l'empreinte environnementale associée à l'agriculture traditionnelle (**Smith *et al.*, 2020**).

La culture hydroponique, qui consiste à cultiver des plantes sans sol traditionnel en utilisant des solutions nutritives, permet un contrôle précis des conditions de croissance telles que la disponibilité des nutriments et l'humidité (**Jones, 2018**). Cette approche innovante est particulièrement prometteuse pour influencer la rhizogenèse, processus crucial lors de la propagation végétative par bouturage, en fournissant un environnement idéal pour le développement racinaire des boutures (**Garcia *et al.*, 2019**).

Dans cette optique, cette étude explore l'effet de divers milieux d'immersion sur plusieurs aspects physiologiques de quatre espèces végétales distinctes cultivées par hydroponie. Les paramètres évalués incluent la longueur des racines, la hauteur des tiges, le poids des glandes, la conductivité électrique, le pH, la salinité, la concentration totale des solides dissous (TDS) et la température. Ces mesures visent à fournir des données précises sur l'impact de ces facteurs environnementaux sur la croissance et le développement des plantes, facilitant ainsi l'optimisation des pratiques horticoles pour une production efficace et durable.

Partie I :

Etude Bibliographique



Chapitre I :

Les plantes ornementales

1. Historique

La diversification et la culture des plantes ornementales remontent à la période védique (3000-2000 avant JC), encouragées par les rois et dirigeants de l'époque. Progressivement, divers types de jardins, comme les jardins domestiques, institutionnels, industriels et spécialisés (jardins de fenêtres, toits, rochers, eau, cimetières, lune, marais, îles, boulevards et murs), sont devenus des éléments essentiels du jardin contemporain. La commercialisation a permis aux agriculteurs et aux pépiniéristes d'exploiter une vaste gamme d'espèces et de variétés.

Les pays développés ont initialement diversifié les plantes ornementales pour améliorer le niveau de vie, tandis que les pays en développement se concentraient sur la sécurité alimentaire avec des cultures comme les fruits, les légumes et les épices. Cependant, l'urbanisation rapide et les opportunités d'exportation au cours de la dernière décennie ont suscité un intérêt accru pour les plantes ornementales dans les régions en développement, les agriculteurs recherchant des alternatives à forte valeur ajoutée. Les institutions gouvernementales et les pépinières jouent un rôle crucial dans la conservation de la biodiversité et la diffusion des plantes, tandis que les jardins botaniques soutiennent la gestion scientifique et l'amélioration des cultures ornementales.

Les Pays-Bas dominent le marché mondial de la floriculture avec 52 % de la production, suivis par la Colombie (15 %), l'Équateur (9 %), le Kenya (7 %), la Belgique (3 %), l'Éthiopie (2 %) et plusieurs autres pays avec des contributions plus petites. **(Chowdhuri & Deka, 2019)**

2. Définition

Les plantes ornementales, souvent appelées plantes d'ornement, ne forment pas une catégorie distincte au sein du règne végétal. Elles englobent toutes les plantes cultivées dans le dessein d'embellir un lieu ou un espace, les rendant ainsi plus esthétiques et décoratifs. À l'origine, les Perses furent parmi les premiers à utiliser les plantes de cette manière, en ornant leurs palais et leurs édifices avec des végétaux aussi bien à l'intérieur que dans des jardins sophistiqués.

Outre leur aspect visuel agréable, les plantes ornementales peuvent offrir divers autres avantages à votre jardin ou à votre maison. Certaines d'entre elles contribuent à purifier l'air en filtrant les substances indésirables qu'il renferme. D'autres diffusent des

parfums délicieux à travers leurs fleurs et leurs feuilles, tandis que dans les jardins et sur les terrasses, de nombreuses fleurs attirent les insectes pollinisateurs. (Acosta, 2021)

2.1. Plantes ornementales en ethnobotanique

De nombreuses études ethnobotaniques à travers le monde se sont concentrées sur les plantes utilisées à des fins alimentaires et médicinales. Par exemple, la recherche de nouveaux principes actifs à partir de plantes aux propriétés médicinales locales, la validation scientifique des usages thérapeutiques, les évaluations des propriétés chimiques et de la valeur nutritionnelle des cultures négligées, et les études sur les plantes pour « manger et guérir » (Fabricant et Farnsworth, 2001 ; Rates, 2001 ; Mukherjee et al., 2007 ; Trivellato et al., 2013 ; Seminario et al., 2003 ; Chen, 2009 ; Pochettino et al., 2012a). En revanche, les plantes ornementales n'ont pas reçu une attention équivalente dans la recherche ethnobotanique.

3. Culture

Les plantes en pot, de jardin et de pépinière sont souvent produites en bordure des routes urbaines pour embellir les grandes villes, et sont vendues localement pour décorer les maisons de haut standing. À l'inverse, les fleurs et feuillages coupés sont cultivés par des producteurs horticoles et vendus en dehors des lieux de production, souvent dans des zones rurales (Ramanitrarivo et Poncin, 2008). Il y'a quatre grandes catégories de plantes ornementales : les plantes à fleurs, les plantes à feuillage, les plantes succulentes et les plantes grimpantes (Phillips, 2023) :

3.1. Plantes à fleurs

Les plantes à fleurs sont très prisées des amateurs de jardinage en raison de leurs fleurs vibrantes et attrayantes. Ces plantes produisent une variété de fleurs colorées qui attirent les pollinisateurs tels que les abeilles et les papillons, ce qui en fait un ajout charmant à tout jardin. Des roses aux orchidées, il existe une vaste gamme de plantes à fleurs parmi lesquelles choisir. Par exemple :

- **La rose**, surnommée la « reine des fleurs », est célèbre pour sa beauté et son parfum exquis. Disponibles dans une variété de couleurs et de tailles de fleurs, les roses offrent une polyvalence qui les rend parfaites pour tout type de jardin.



Figure 1 : La Rose (Bertrand, 2022)

- **Les tulipes** sont les ambassadrices du printemps, apportant une explosion de couleur dans les jardins. Disponibles dans une large gamme de teintes, allant des rouges vifs aux pastels doux, elles créent un spectacle visuellement saisissant.



Figure 2: Les fleurs de tulips (Bertrand, 2022)

3.2. Plantes à feuillage

Les plantes à feuillage sont valorisées pour leurs feuilles attrayantes et leurs textures uniques. Elles sont souvent sélectionnées pour leur capacité à enrichir visuellement un espace, même en l'absence de fleurs. Que vous préfériez les feuilles larges ou les motifs complexes, il existe une plante à feuillage adaptée à chaque préférence esthétique.

- **Snake Plant** : Également connue sous le nom de langue de belle-mère, la plante de serpent se distingue par ses longues feuilles en forme d'épée. Facile à entretenir, elle peut prospérer dans des conditions de faible luminosité, en faisant un choix idéal pour les espaces intérieurs.



Figure 3: Snake plant (Wolken, 2024)

- **Spider Plant** : Reconnaisable par ses feuilles arquées et ses petites plantules pendantes, la plante araignée est facile à entretenir et réputée pour son aptitude à purifier l'air en éliminant les polluants nocifs.



Figure 4 : Spider plant (Nguyen, 2023)

3.3. Les plantes succulentes

Les plantes succulentes sont devenues très populaires ces dernières années en raison de leur aspect unique et de leurs besoins d'entretien minimes. Dotées de feuilles ou de tiges épaisses et charnues qui stockent l'eau, elles peuvent survivre dans des conditions arides. Les succulentes se déclinent en une variété de formes, de tailles et de couleurs, en faisant un choix privilégié pour les jardins intérieurs et extérieurs.

- **Aloe Vera** : L'aloë Vera est non seulement une plante succulente populaire, mais elle possède également des propriétés médicinales. Ses feuilles charnues renferment un gel utilisé pour apaiser les brûlures et hydrater la peau.



Figure 5: La plante de Aloe Vera (Baron, 2023)

- **Echeveria** : Les plantes d'Echeveria se distinguent par leurs feuilles en forme de rosette et leurs couleurs vibrantes. Faciles à cultiver, ces plantes succulentes peuvent ajouter une touche d'élégance à tout jardin ou espace intérieur.



Figure 6: La plante de echeveria (Leonard, 2024)

3.4. Plantes grimpantes

Les plantes grimpantes constituent un excellent moyen d'ajouter de l'intérêt vertical à un jardin ou à un espace extérieur. Leurs longues tiges flexibles peuvent être entraînées à grimper sur des treillis, des murs ou des clôtures. Que vous cherchiez à créer une toile de fond verdoyante luxuriante ou à ajouter une touche de couleur, les plantes grimpantes offrent une solution polyvalente et visuellement attrayante.

- **Clematis** : Les plantes de clématites sont réputées pour leurs magnifiques fleurs, disponibles dans une large gamme de couleurs et de formes. Elles peuvent être dirigées

pour escalader les murs, les clôtures ou les pergolas, offrant ainsi un spectacle floral époustoufflant.



Figure 7: La plante de clématite (Nguyen, 2022)

- **Ivy :** Le lierre est un choix classique pour ajouter de la verdure aux murs ou aux clôtures. Son feuillage dense crée une toile de fond luxuriante et vibrante, en faisant une option prisée pour les espaces intérieurs et extérieurs.

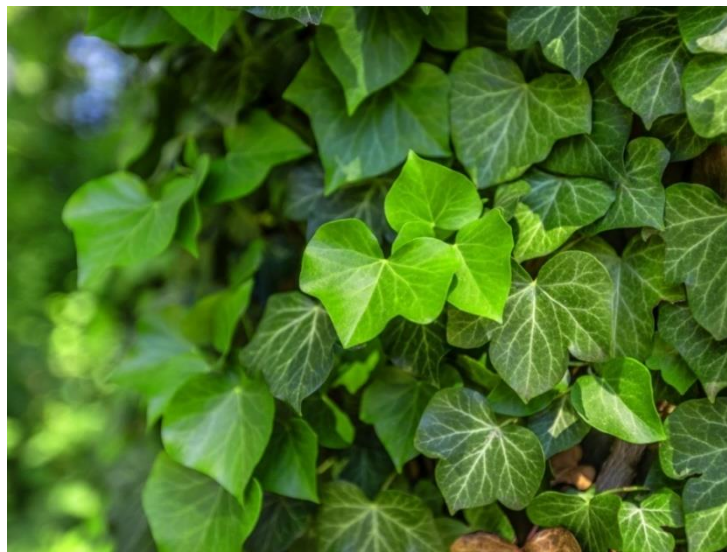


Figure 8 : la plante de ivy (Leonard, 2023)

4. Classification

De nombreuses plantes utilisées en floriculture ne peuvent être étudiées qu'après avoir été classées. Il existe plusieurs méthodes de classification couramment utilisées (Kahola et *al.*, 2016) :

4.1. Classification botanique

- Basée sur des critères biologiques et taxonomiques.

- Précise mais pas toujours pratique.

Exemples:

- **AGAVACEAE:** *Agave americana*, *Cordyline terminalis*.
- **EUPHORBIACEAE:** *Jatropha curcas* (Pingnon d'inde).
- **FABACEAE:** *Bauhinia tomentosa*, *Delonix regia* (= flamboyant).

4.2. Classification selon le cycle de vie

- Plantes annuelles : *Pentunia hybrida*
- Plantes bisannuelles : *Dahlia* sp
- Plantes pérennes : Arbustes décoratifs, plantes à bulbes et à rhizomes

4.3. Classification selon le lieu d'origine

- Plantes tropicales et équatoriales : Orchidées, épiphytes, Bromeliaceae, Malvaceae.
- Plantes de climat tropical et subtropical : Espèces à tubercules (ex. *Asparagus*).
- Plantes des régions steppiques et subarides : Plantes à rhizomes et bulbes avec feuilles succulentes transformées en épines (ex. Euphorbiacées à épines).
- Plantes des régions tempérées méditerranéennes : Hortensia, *Pentunia*, Rhododendron.

4.4. Classification selon les caractéristiques morphologiques

- Plantes décoratives par les fleurs : Rosiers, *Delonix* (flamboyant).
- Plantes décoratives par les fruits : *Solanum*.
- Plantes décoratives par leur port : Conifères, certains palmiers, *Ravenala madagascariensis*.

5. Centres de diversité des plantes ornementales

Les plantes ornementales sont en grande partie confinées au nord-est de l'Eurasie, avec environ 8 000 espèces commercialisées dans le monde. Certains centres d'origine clés des plantes ornementales comprennent (De, 2017) :

Tableau 1 : l'origine de plantes ornementales selon (De, 2017).

Le centre	Nombre d'espèces	Exemple
Méditerranéen	Environ 1000 espèces	Jonquille, jacinthe, cyclamen, giroflée, iris, pensée des jardins, laurier-rose, bleuet, anémone, pivoine.
Nord-américain		Acacia blanc, Phlox paniculata, lupin vivace (<i>Lupinus polyphyllus</i>), cône (<i>Rudbeckia</i>)

	Environ 650 espèces	hybrida), coréopsis, onagre (<i>Oenothera</i> spp.), échinacée pourpre (<i>Echinacea purpurea</i>).
Sud-africain	Environ 600 espèces	Oiseau de paradis (<i>Strelitzia reginae</i>), primevère du Cap (<i>Streptocarpus hybrida</i>), lys belladone (<i>Amaryllis belladonna</i>), jacinthe d'été géante (<i>Galtonia candicans</i>), géraniums (<i>Pelargonium</i>), glaïeul, crassula, gasteria, haworthia, gazania
Méso-américain	Environ 500 espèces	Cactus (<i>Opuntia</i> , <i>Echinocereus</i> , <i>Mammillaria</i>), orchidées (<i>Odontoglossum</i> , <i>Oncidium</i> , <i>Vanilla</i>), bégonia (<i>Begonia Imperialis</i>), <i>Cosmos bipinnatus</i> , <i>Dahlia</i> , <i>Gomphrena haageana</i> , soucis (<i>Tagetes</i> spp.), fleur de soie (<i>Ageratum houstonianum</i>), <i>Cemmelina tuberosa</i> , <i>Zinnia elegans</i> .
L'Asie tropicale	Environ 450 espèces	Orchidées, bégonias (<i>Begonia rex</i>), hévéa indien (<i>Ficus elastica</i>), <i>Aglaonema</i> , <i>Codiaeum</i> , crête de coq (<i>Celosia argentea</i>), amarante globe (<i>Gomphrena globosa</i>), baume (<i>Impatiens balsamina</i>)
L'Européen	Environ 300 espèces	<i>Adonis vernalis</i> , marguerite commune (<i>Bellis perennis</i>), violette cornue (<i>Viola coronata</i>), violette douce (<i>Viola odorata</i>)
L'Asie de l'Est	Environ 250 espèces	Pivoine (<i>Paeonia lactiflora</i>), lys royal (<i>Lilium regale</i>), glycine de Chine (<i>Wisteria sinensis</i>), aster de Chine (<i>Callistephus chinensis</i>), <i>Sophora tomentosa</i> , hémérocalle (<i>Hemerocallis</i>), chrysanthème.
L'Afrique tropicale	Environ 160 espèces	<i>Sansevieria trifasciata</i> , violette africaine (<i>Saintpaulia ionantha</i>), diverses orchidées
D'Asie centrale	Environ 130 espèces	Nénuphar, diverses espèces de tulipes (<i>Tulipa kaufmanniana</i> , <i>T. Fosteriana</i> , <i>T. greigii</i>).
Australien	Une centaine d'espèces	<i>Bassaia actinophylla</i> , <i>Eucalyptus</i> , <i>Casuarina</i> , <i>Callistemon</i> , <i>Acacia longiflora</i> .
Sud-américain	Environ 600 espèces	<i>Anthurium</i> , <i>Calendula</i> , <i>Dieffenbachia</i> , <i>Philodendron</i> , <i>Gloxinia</i> , <i>Caladium hybridum</i> , <i>Salvia splendens</i> , <i>Heliotropium arborescens</i> , <i>Verbena hybrida</i> , gloire du matin (<i>Ipomoea alba</i> , <i>I. purpurea</i> , <i>I. tricolor</i>).
Macronésien	Une 50 d'espèces	Dragonnier (<i>Dracaena draco</i>), espèce d'Aloe, belle campanule arbustive (<i>Azorina vidalii</i>).

6. Application des graines synthétiques dans les plantes ornementales

6.1. Propagation

De nombreuses plantes ornementales importantes rencontrent des difficultés avec les méthodes de propagation traditionnelles. Par exemple, beaucoup d'entre elles ne produisent pas de graines viables et dépendent de boutures ou de greffes pour leur reproduction. Même lorsque les graines sont viables, des problèmes tels que la dépression de consanguinité et l'hétérogénéité des cultivars nécessitent des pratiques de reproduction contrôlée. Les orchidées posent des défis spécifiques en raison de la très petite taille de leurs graines et de leur dépendance aux champignons mycorhiziens pour la germination. Les méthodes de propagation traditionnelles *in vivo* pour ces plantes sont souvent chronophages et coûteuses (Saiprasad et Polisetty, 2003).

La micropropagation et l'embryogenèse somatique ont considérablement fait progresser la reproduction des plantes ornementales. Ces techniques permettent une propagation massive et la production de plantes transgéniques avec des caractéristiques modifiées, telles que la couleur et le parfum. Cependant, en Europe, seule une petite proportion de la production annuelle de certaines espèces ornementales (par exemple, le lilas) est propagée *in vitro*. Cela est principalement dû à des taux de prolifération faibles chez certaines espèces et à des difficultés d'acclimatation des plantes aux conditions *ex vitro* (Refouvelet et al., 1998).

La technologie des graines synthétiques offre une solution potentielle à ces défis. Les processus automatisés de production de graines synthétiques (Aitken-Christie et al., 1995) et la micropropagation autotrophique (Jeong et al., 1995) peuvent rationaliser la propagation. Les graines synthétiques, qui impliquent l'utilisation de petites propagules, peuvent être semées directement *in vitro* ou *in vivo*. Cette technologie offre une flexibilité significative pour les sélectionneurs en réduisant les coûts associés à la manipulation, l'expédition et la plantation de grandes quantités de propagules. De plus, elle peut éliminer l'étape d'acclimatation lorsque le semis direct *in vivo* est possible (Onishi et al., 1994).

6.2. Transport

Une autre application potentielle des graines synthétiques est leur utilisation comme support pour des micro-organismes, des régulateurs de croissance des plantes, des pesticides, des fongicides, des nutriments et des antibiotiques (Saiprasad, 2001). Par exemple, dans le cas des orchidées, les graines doivent être infectées par des champignons

mycorhiziens symbiotiques pour améliorer l'accès des plantes aux ressources du sol (**Arditti et al., 1984**). Une méthode d'encapsulation des graines d'orchidées dans des billes d'alginate-chitosane ou d'alginate-gélatine, ainsi que le champignon mycorhizien *Rhizoctonia*, a déjà été proposée (**Tan et al., 1998**), atteignant un taux d'infection supérieur à 80%.

Une application récente et importante de la technologie des graines synthétiques concerne la préservation du matériel génétique végétal, y compris les espèces menacées, les formes sauvages et les variétés anciennes et obsolètes. Le concept de conservation du matériel génétique *in vitro* implique à la fois le stockage à croissance lente des cultures de pousses (principalement à quelques degrés au-dessus de 0 °C) et la conservation à long terme des explants (pointes de pousses, segments nodaux, embryons zygotiques et somatiques, cellules et échantillons de cal) dans l'azote liquide, à -196 °C (**Lambardi et De Carlo, 2003**). La technologie cryogénique, en particulier, a récemment bénéficié d'améliorations significatives grâce à l'utilisation de graines synthétiques et au développement de procédés tels que « l'encapsulation-déshydratation » et la « vitrification par encapsulation » (**Panis et Lambardi, 2005**).

6.3. Conservation

Le stockage à croissance lente constitue une alternative utile pour la préservation à moyen terme des espèces ornementales, avec des durées de conservation allant jusqu'à 10 mois pour certaines espèces. Par exemple, les graines synthétiques d'embryons somatiques de *Cyclamen persicum* peuvent être conservées de cette manière (**Ruffoni et al., 2002**). Chez les orchidées, les corps semblant à des protocormes (PLB) encapsulés des espèces d'*Oncidium* et de *Dendrobium* peuvent être conservés à 4 °C pendant 45 et 60 jours respectivement, tout en maintenant un taux de germination maximal de 100 % (**Saiprasad et Polisetty, 2003**). Cependant, chez ces deux espèces, une diminution de la conversion des graines de synthèse en plantules a été observée lorsque le stockage à basse température a été prolongé.

Un effet bénéfique du stockage à croissance lente (de 3 à 9 mois) des graines synthétiques est également rapporté pour les embryons somatiques de *Camellia japonica* (**Janeiro & Vieitez, 1997**), *Citrus reticulata* (**Germanà et al., 1999**) et *Paulownia elongata* (**Ipeki et Gozukirmizi, 2003**), les bourgeons axillaires de *Morus* spp. (**Pattnaik**

et Chand, 2000) et *Syringa vulgaris* (Refouvel et al., 1998), ainsi que pour les bulbilles de *Lilium longiflorum* (Standardi et al., 1995).

Bien que la technique de stockage à croissance lente soit largement utilisée par les laboratoires de micropropagation pour la conservation à court et moyen terme des cultures mères, le matériel génétique stocké de cette manière reste vulnérable aux pertes dues à une panne d'équipement, aux risques de contamination microbienne lors de la sous-culture et aux effets de la variation somaclonale. En revanche, la cryoconservation constitue une option viable pour la conservation à long terme des explants, lorsque des procédures efficaces de congélation ultra rapide ont été optimisées et que la repousse des explants est assurée après décongélation et étalement. À une température cryogénique, le taux de réactions chimiques et biophysiques est pratiquement nul, ce qui entrave la croissance de l'organe ou du tissu congelé. Ainsi, en théorie, la cryoconservation du matériel génétique pourrait être considérée comme illimitée dans le temps.

La méthode de cryoconservation basée sur l'encapsulation d'alginate d'explants et la déshydratation des billes (appelée « encapsulation-déshydratation ») a été développée pour une large gamme d'espèces végétales (Panis et Lambardi, 2005).

7. Importance des plantes ornementales

La culture des plantes ornementales fait partie intégrante du secteur de l'Agriculture Urbaine et Périurbaine (AUP). Ce secteur englobe la production de plantes ornementales en milieu urbain et périurbain, et joue un rôle crucial en matière de création d'emplois et de génération de revenus pour divers acteurs. De plus, cette culture contribue positivement à l'environnement urbain, améliorant ainsi le cadre de vie et la qualité de vie des citoyens (Radji et al., 2010). Elle a également des effets bénéfiques sur la santé des familles vulnérables, notamment les femmes et les jeunes (Duchemin et al., 2010).

Certaines plantes ornementales peuvent également être cultivées en milieu rural, en dehors des zones périurbaines, offrant ainsi une source de diversification des revenus. Le secteur de la production horticole se divise en quatre catégories principales (De Bailliencourt, 2000) : les fleurs et feuillages coupés, les plantes en pot, les plantes de pépinière, et les plantes de jardin et les bulbes.

Les plantes ornementales peuvent être considérées d'un point de vue utilitaire, comme les plantes médicinales, alimentaires, à fibres et à bois, entre autres. Néanmoins, les ornements en ethnobotanique doivent également être évalués dans leur dimension

symbolique, dans une perspective non utilitaire. Une approche globale pourrait enrichir les études ethnobotaniques sur les relations entre les humains et les plantes ornementales. **(Ryan, 2012)**.

- **Valeurs esthétiques**

La valeur esthétique des plantes est présente à travers l'histoire de l'humanité, par exemple les légendaires Jardins suspendus de Babylone **(Finkel, 1988)** et la tulipomanie aux Pays-Bas au XVIIe siècle **(Ryan, 2012)**. Actuellement, le jardinage est l'un des passe-temps qui connaît la croissance la plus rapide en Amérique du Nord, et la production industrielle ornementale contribue chaque année à l'économie à hauteur de milliards de dollars **(Hopkins, 2007 ; Palma, et al., 2011)**. Les valeurs esthétiques des plantes reposent sur une conception implicite de la beauté, par exemple lorsqu'il est dit : « L'évolution humaine et culturelle a été directement influencée par la beauté des plantes de notre environnement et de nos jardins depuis les premiers humains connus » **(Relf, et Lohr, 2003)**. Cependant, la beauté dépend du contexte culturel dans lequel elle prend sens.

Lorsqu'on affirme que les plantes ornementales « ajoutent de la beauté » à nos maisons, lieux de travail, écoles, centres commerciaux, stades sportifs et édifices religieux **(Oloyede, 2012)**, il est clair que la beauté des plantes réside dans leurs caractéristiques physiques. Cela est caractéristique de nombreuses sociétés occidentales où, par exemple, des études ont été menées sur « les effets des attributs des produits, des caractéristiques des consommateurs (données démographiques) et des facteurs saisonniers affectant la demande des consommateurs pour les plantes ornementales » **(Palma et al., 2011)**.

Dans les cultures occidentales, la vision a aussi consolidé sa prédominance sur d'autres voies sensorielles, comme l'olfactive et/ou le tactile **(Ryan, 2010)**. Dans d'autres cultures, les valeurs esthétiques des plantes ornementales sont liées à un autre cadre, comme c'est le cas en Inde où elles sont étroitement liées à la religion et impliquent des caractéristiques visuelles, olfactives et autres **(Nirmal Kumar, et al., 2005 ; Sharma, et al., 2014)**.

- **Valeur symbolique**

La valeur des plantes ornementales en tant que symboles dépend de chaque contexte culturel. Il existe plusieurs exemples : des fleurs qui représentent la pureté ou l'amour, des

arbres ou des fleurs employés en héraldique ou pour représenter des communautés ou des pays « fleurs nationales », des expressions métaphoriques comme « solides comme un chêne » ou « flexibles comme un saule », certaines figures mythologiques comme « l'arbre biblique de la connaissance du bien et du mal », ou l'énorme frêne Yggdrasil, « l'arbre de vie » dans la mythologie nordique. Également, des plantes ornementales qui représentent des aspects liés aux dimensions rituelles, cérémoniales et religieuses : dans l'Égypte ancienne, les fleurs d'un arbre sacré particulier étaient considérées comme vivifiantes « fleurs de vie » ; lors des funérailles romaines, les cadavres étaient ornés de fleurs en signe d'honneur et d'affection. De nos jours, les arbres ornementaux (comme les cyprès) sont cultivés dans les cimetières, ou les fleurs (comme les lilas et les lys) sont utilisées lors des funérailles et pour garnir les tombes (**Dafni, et al., 2006 ; Ryan, 2012 ; van den Eynden, 2013 ; García Pérez, 2014**).

Appréciées pour leurs parfums aussi, les plantes ornementales sont couramment utilisées lors de diverses célébrations telles que les mariages, les naissances et les anniversaires (**Audate et al., 2018**). Elles embellissent l'environnement, et leurs différentes parties (feuilles, racines, tiges, fleurs) accompagnent les moments d'émotion des citoyens (**Aké Assi, 2018 ; Soro et al., 2019**).



Chapitre II :

Culture hydroponique

1. Historique

La culture hydroponique est une méthode d'horticulture qui se distingue par l'utilisation de solutions minérales nutritives en remplacement du travail traditionnel du sol. (Savvas, et *al.*, 2013). Les exemples les plus anciens de culture hydroponique remontent aux peintures sur les murs du temple égyptien de Deir El Bahari, vieilles de plus de quatre mille ans. (Torabi, et *al.*, 2012)

Au VI^e siècle avant notre ère, à Babylone, la culture hydroponique était utilisée pour cultiver principalement des plantes ornées (Malik, et *al.*, 2014). Dans l'Amérique précolombienne, vers les Xe et XI^e siècles de notre ère, la culture aztèque mexicaine a développé le chinampa pour faire pousser des cultures sur les lits peu profonds des lacs de la vallée de Mexico et aurait été pratiquée dans toute la Mésoamérique (Ebel, et *al.*, 2020).

Situé à la périphérie sud de la ville de Mexico, le réseau millénaire de canaux et d'îles artificielles de Xochimilco témoigne de l'ingéniosité du peuple aztèque dans la création d'un habitat durable à partir d'une zone humide. Il illustre également le potentiel de l'agriculture urbaine en tant que source alimentaire durable et contributeur essentiel au bien-être social et environnemental. En reconnaissance de ces valeurs, l'UNESCO a inscrit cet hydrosystème au patrimoine mondial.

Le développement de la culture hydroponique s'est étroitement associé à nos connaissances en physiologie végétale. En 1600, Jean Baptiste Van Helmont, scientifique belge, a mené une série d'expériences pour montrer que les plantes pouvaient absorber certains nutriments de l'eau. Quatre-vingt-dix-neuf ans plus tard, le scientifique britannique John Woodward a cultivé des plantes en suspension au-dessus de solutions aqueuses, découvrant que les plantes prospéraient mieux dans des solutions enrichies en engrais. Plus tard, en 1800, les scientifiques français De Saussure et Boussingault ont démontré que les plantes nécessitaient du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote pour leur développement sain. Puis, en 1860, Sachs et Knop, en Allemagne, ont ajouté le phosphore, le soufre, le potassium, le calcium et le magnésium à cette liste, cultivant les plantes dans des solutions aqueuses contenant des sels de ces éléments. (Schawrz, et *al.*, 1995)

Depuis, les progrès scientifiques dans le domaine de la physiologie végétale ont permis de découvrir que d'autres éléments tels que le manganèse, le molybdène, le chlore,

le fer, le zinc, le cuivre et le bore, généralement appelés micronutriments, sont nécessaires à la croissance saine des plantes. La composition de la solution nutritive est fortement corrélée à la réponse physiologique des plantes en termes de taille, de couleur et d'autres caractéristiques de la culture (Asao, *et al.*, 2013 ; Baron, *et al.*, 2015 ; Bufalo, *et al.*, 2016).

2. Définition

La culture hydroponique est une méthode technologique de culture des plantes dans un environnement dépourvu de sol (Resh, 1998), utilisant des solutions nutritives spécifiques en concentration adéquate, avec un pH et une conductivité électrique équilibrés. Ce système permet une utilisation efficace de l'eau et élimine le besoin de pesticides. Les plantes sont alimentées par des solutions nutritives hautement solubles, administrées directement aux racines dans un environnement contrôlé. (Pretty, 2020) Les composants essentiels d'un système hydroponique comprennent généralement un plateau de culture, un réservoir, une minuterie, une pompe submersible, un système de distribution, une pompe à air et des sources de lumière, naturelles ou artificielles, ajustées selon les besoins. Diverses technologies telles que l'irrigation goutte à goutte et la régulation automatique de la température et de la lumière sont utilisées pour créer un environnement agricole artificiel isolé, y compris les serres, afin de protéger les plantes des conditions météorologiques extrêmes (Castillo, 2012). Les installations de production végétale utilisent une régulation artificielle de l'environnement intérieur, comprenant l'éclairage, la température, le CO₂ et les solutions nutritives, pour optimiser les rendements des cultures. (Specht, *et al.*, 2012 ; Li and Cheng, 2014 ; Sowmya and Annapure, 2017).

Dans le domaine de la production alimentaire, la culture hydroponique présente de nombreux avantages. La composition de la solution nutritive peut être facilement ajustée, ce qui influence les interactions physico-chimiques et améliore l'efficacité de l'absorption des nutriments par les plantes. Cette capacité d'adaptation a conduit à des améliorations significatives tant en termes de qualité que de quantité de production végétale. De plus, la culture hydroponique offre un potentiel considérable en termes d'efficacité des ressources, notamment en ce qui concerne l'utilisation des nutriments et de l'eau, ce qui se traduit par des avantages environnementaux indéniables. (Goddek *et al.*, 2019 ; Paolo *et al.*, 2019)

C'est un système contrôlé ; les résultats sont hautement prévisibles et peuvent être bien définis. L'imprévisibilité du système agricole traditionnel peut être réduite dans une large mesure par la culture hydroponique. Cela souligne la nécessité urgente de considérer ce système non seulement comme une technologie complémentaire ou une technologie parallèle pour l'agriculture, mais également comme une stratégie générale pour l'agriculture indienne. Cela nécessite un examen complet englobant non seulement les aspects scientifiques et technologiques, mais aussi les besoins du marché, les aspects liés à la qualité et les défis liés aux facteurs abiotiques et biotiques. Dans ce but, nous avons structuré cette revue, que nous envisageons comme une référence prête à l'emploi pour tous les professionnels de l'agriculture et les agrobiotechnologues (**Kaei-kawwaw and el-kazzaz, 2017**).

3. Objectif de la culture hydroponique

L'objectif principal des cultures hydroponiques est d'éliminer les variations aléatoires des conditions nutritives du sol en utilisant une solution nutritive contenant tous les éléments essentiels (macronutriments et micronutriments) nécessaires à la croissance et au développement des plantes (**Snoussi, 1980**).

4. Le développement de la culture hydroponique

4.1. Dans le monde

Dans la plupart des pays européens, les cultures hors sol sous serres sont principalement concentrées dans quatre nations. Les Pays-Bas se distinguent en possédant de vastes étendues, suivis de près par la France, la Belgique et la Grande-Bretagne. Cette pratique est également significative en Suisse et dans certains pays de l'Europe de l'Est. Par ailleurs, des surfaces de culture importantes sont observées au Japon et en Afrique du Sud (**Thiaui, 2004**).et plus généralement dans les régions pénalisées par le manque d'eau (**Urban, 1997**).

4.2. En Algérie

En Algérie, la première expérience de culture hors sol est réalisée par **Chouard et Renaud (1961)** à Beni-Abbes, dont le but est de mettre en évidence les substrats sableux locaux. Par la suite, d'autres études sont lancées à l'INRA (laitue en hydroponie 2017), l'ENSA et l'ITCMI à Mostaganem (**Bendiff, 2016**). Mais elles ne sont pas exploitées sur le terrain. Malgré le grand potentiel que possède notre pays pour les cultures

hydroponiques, ces dernières restent peu développées. On peut citer les travaux de **Kasmi et Tayar (2019)** à El Oued, **Belbachir (2017)** à Tlemcen et **Habbas (2018)** à Biskra.

5. Exigences de base en culture hydroponique

La culture hydroponique se distingue par sa rigueur scientifique dans la régulation de tous les facteurs influençant la croissance des plantes, contrairement à l'agriculture traditionnelle, souvent considérée comme un art. Voici les caractéristiques clés de la culture hydroponique :

5.1. Éclairage

L'éclairage est aussi crucial pour les plantes cultivées en hydroponie que pour celles en terre. En extérieur, les plantes hydroponiques bénéficient principalement de l'énergie solaire pour leur croissance, tandis qu'en intérieur, un éclairage artificiel est nécessaire. **(Debangshi, 2021)** Auparavant, un équilibre était obtenu en utilisant une combinaison de tubes fluorescents et de lampes au sodium, afin d'avoir les spectres bleu et rouge présents respectivement. De nos jours, les éclairages LED sont préférés. Le rayonnement photosynthétiquement actif (de 400 nm à 700 nm) est essentiel lorsque l'éclairage artificiel est requis. Dans les zones bien ensoleillées, l'éclairage artificiel n'est généralement pas nécessaire. **(Aufdenberg, 2022)**.

5.2. Température

La réaction chimique et les propriétés physiques des plantes sont affectées par les différents niveaux de température. En général, le taux de croissance des différents légumes et fruits augmente avec l'augmentation de la température de l'air **(Marcelis, 1993 ; Dorais et al., 2004)**. Selon Marcelis (1993), l'apport de biomasse du fruit augmentait avec l'augmentation de la température de 18 C° à 25 C dans la même usine **(Marcelis, 1993)**. Les propriétés organoleptiques des légumes sont directement affectées par la faible température. Les tomates ayant moins de jus et un goût farineux sont une indication claire d'une production à basse température **(Anonyme, 1999 ; Bruckner et al., 2004)**. La qualité de la plupart des légumes est affectée par différents modèles de température.

Marcelis et Baan Hofman-Eijer (1993) ont étudié l'effet des fluctuations de température pendant la production agricole et ont comparé les résultats avec une production agricole à température constante. Ils ont constaté qu'il fallait éviter les fortes fluctuations de température entre le jour et la nuit, car les fluctuations de température peuvent diminuer la qualité de la récolte **(Marcelis et Baan, 1993)**. De plus, les

changements de température élevés associés aux facteurs de croissance peuvent provoquer l'ouverture du concombre (Geissler, 1985). Malgré la ventilation, l'ombre et le refroidissement, les températures des serres augmentent en été en raison du rayonnement solaire. Les températures élevées provoquent des changements dans la forme, la couleur et la texture des tomates, des concombres et des aubergines (Geissler, 1985 ; Zipelevish et al., 2000).

5.3. Bac de culture

Un conteneur spécialement conçu pour maintenir les plantes en sécurité dans un système hydroponique. Il peut être équipé de vannes de lixiviation pour permettre un drainage adéquat si nécessaire. Ces bacs sont également appelés « chambres de culture » ou « plateaux hydroponiques ». À petite échelle, des pots peuvent être utilisés. (Folds, 2018)

5.4. Gestion des nutriments

Les concentrations appropriées d'azote, de potassium, de phosphore, de calcium, de magnésium, de soufre et d'autres éléments sont nécessaires dans la solution nutritive. Les nutriments peuvent provenir de sels ou d'engrais organiques tels que le fumier de bétail, le guano d'oiseau ou la farine de poisson. La quantité de nutriments dépend du nombre et de l'âge des plantes (Resh, 1993).

5.5. Gestion de l'eau par pompe submersible

L'eau est une ressource cruciale pour la croissance des plantes, et en culture hydroponique, son utilisation est d'autant plus importante. Bien que les plantes absorbent une partie de l'eau, une grande quantité est perdue par transpiration et évaporation. Il est donc essentiel de maintenir un approvisionnement adéquat en eau dans le système hydroponique (Pant, et al., 2018). Pour cela presque tous les systèmes hydroponiques nécessitent une pompe submersible pour transporter l'eau nutritive du réservoir vers les racines des plantes. Ces pompes sont largement disponibles en ligne et dans les magasins spécialisés en hydroponie (Miller, 2011).

5.6. Substrats

Les substrats sont essentiels dans les systèmes de culture hydroponique pour fournir un support et une aération adéquats des racines, même si les plantes absorbent leurs nutriments à partir de la solution (Valerie, 2015). Parmi les substrats utilisés, on trouve des matériaux d'origine minérale tels que la perlite, la laine de roche, la vermiculite, les

billes d'argile, les graviers et le sable. Des matériaux d'origine organique sont également utilisés, comme l'écorce de pin, le terreau, la fibre de coco et la tourbe (**Kodjo, 2015**).

5.7. Autres outils

Les conductimètres électriques, les pH-mètres et les électrodes à oxygène sont utilisés pour mesurer et réguler les paramètres de la solution nutritive. Des cuillères à mesurer ou des éprouvettes graduées sont utilisées pour préparer les solutions nutritives commerciales (**Lu et al., 2018**).

6. Le substrat

Un substrat est le support physique qui maintient les plantes en place par leurs tiges, leur fournissant un environnement de croissance optimal (**Gruda et al., 2017**). Selon (**Olle et al., 2012 ; Vinci & Rapa, 2019 ; Malik et al., 2014**) plusieurs facteurs sont essentiels lors du choix d'un substrat, notamment:

6.1. La porosité

Elle influence la disponibilité des nutriments nécessaires aux processus métaboliques des plantes, comme la respiration et la photosynthèse.

6.2. La capillarité

Le substrat doit pouvoir absorber les nutriments et les transporter jusqu'aux racines des plantes.

6.3. L'oxygénation

La structure du substrat doit permettre aux racines d'accéder à l'oxygène dans la solution nutritive.

6.4. La neutralité chimique

Le substrat ne doit pas réagir avec les produits chimiques présents dans la solution nutritive pour éviter toute altération de sa composition.

6.5. La neutralité biologique

Étant donné que la solution nutritive circule parmi de nombreuses racines de plantes, il est essentiel que le substrat ne favorise pas la croissance de micro-organismes, qui pourraient propager des maladies ou entraîner d'autres problèmes néfastes pour les cultures.

7. Les techniques hydroponiques

Les systèmes hydroponiques sont hautement personnalisables et de nombreuses versions modifiées ont été utilisées pour optimiser les conditions de croissance de plantes particulières. Ils se répartissent sous deux formes selon que la solution nutritive et les supports sont réutilisés ou recyclés ; la solution nutritive et les supports dans les systèmes ouverts ne sont pas réutilisés ou recyclés alors que dans les systèmes fermés, ils sont réutilisés ou recyclés (Jensen, 1999). En général, les systèmes hydroponiques ouverts peuvent être moins sensibles à la salinité de l'eau que les systèmes fermés, mais les systèmes fermés sont plus rentables que les systèmes ouverts (Lippert, 1993). Actuellement, de nombreuses techniques hydroponiques sont utilisées pour faire pousser des plantes (Sowmya *et al.*, 2022) :

7.1. Système goutte à goutte

Dans le système goutte à goutte, la solution nutritive est stockée dans un réservoir séparé, puis distribuée aux plantes cultivées individuellement dans un substrat hors-sol. Cette méthode est également appliquée aux cultures saisonnières. L'eau ou la solution nutritive du réservoir est acheminée aux racines de chaque plante par des goutteurs individuels, fournissant des proportions précises (Raphael et Colla, 2005). Les systèmes goutte à goutte dispensent lentement les nutriments à travers des buses, permettant la collecte et la recirculation des excédents de solution. Cette technique est adaptée à la culture de plantes similaires et reste largement utilisée dans l'horticulture intensive (Van Os *et al.*, 2008).

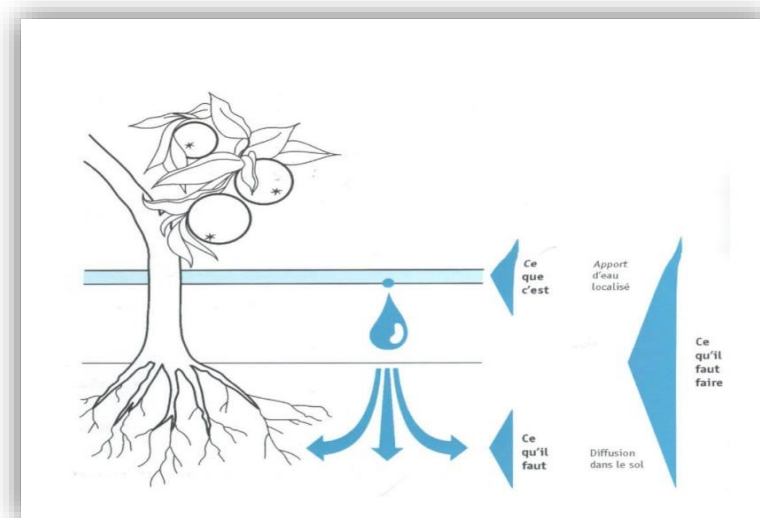


Figure 9: Schéma de système goutte à goutte (Léopold RIEUL, Pierre RUELLE, 2003)

7.2. Système de mèche hydroponique

Ce système minimaliste ne demande ni électricité, ni pompe, ni aérateurs. Les végétaux reposent sur un substrat absorbant tel que la fibre de coco, la vermiculite ou la perlite, avec une mèche en nylon les reliant à un réservoir de solution nutritive. L'eau ou la solution nutritive est acheminée aux plantes par capillarité. Bien adapté aux petites plantes, aux herbes et aux épices, ce système pêche cependant par sa consommation élevée d'eau (**Shrestha et Dunn, 2013**).

7.3. Système de culture en eau profonde

Dans la culture en eau profonde, les plantes développent leurs racines dans une solution nutritive abondante tandis que de l'air est directement insufflé à leurs racines via une pierre à air. Un exemple typique de ce système est le système de seaux hydroponiques, où les plantes sont disposées dans des pots en filet, leurs racines suspendues dans une solution nutritive favorisant une croissance rapide et vigoureuse. Cependant, il est crucial de surveiller attentivement les niveaux d'oxygène, de nutriments, de salinité et le pH (**Domingues et al., 2012**), car un réservoir non contrôlé peut encourager la croissance rapide d'algues et de moisissures. Ce système s'avère particulièrement efficace pour les plantes de plus grande taille produisant des fruits, telles que le concombre et la tomate (**Sharma, N et al., 2018**).

7.4. Système de technique du film nutritif (NFT)

Le système de culture en film nutritif (NFT) a été développé dans les années 1960 en Angleterre par le Dr Alen Cooper afin de remédier aux limitations du système de flux et reflux. Dans ce système, une solution nutritive ou de l'eau circule en continu à travers l'ensemble du système, entrant dans le bac de croissance via une pompe à eau sans contrôle horaire (**Domingues et al., 2012**). Le système est légèrement incliné pour permettre à la solution nutritive de passer à travers les racines des plantes avant de retourner dans le réservoir. Les plantes sont disposées dans des canaux ou des tubes avec leurs racines suspendues dans la solution hydroponique. Cependant, les racines sont exposées aux risques d'infections fongiques car elles sont constamment immergées dans l'eau ou les nutriments. Malgré cela, ce système permet une culture efficace de nombreuses variétés de feuilles vertes et est largement utilisé commercialement pour la production de laitue (**Resh, H. M., & Howard, A. 2004**).

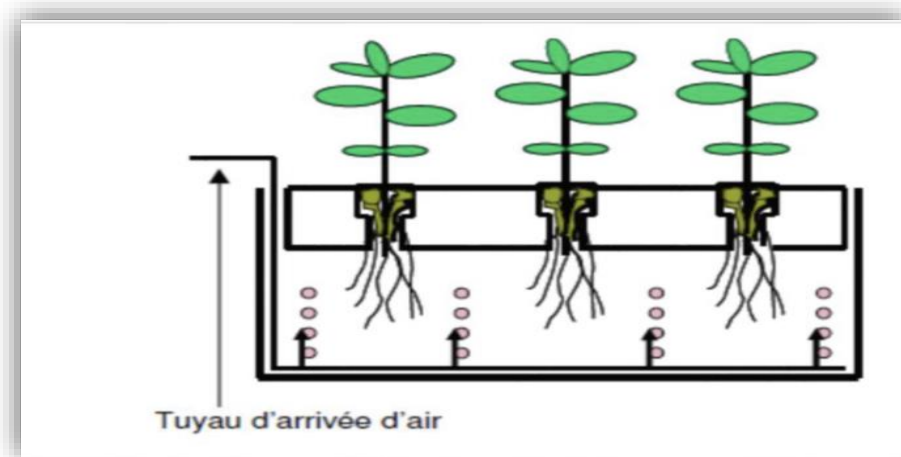


Figure 10 : Schéma de culture hydroponique (Vu, 2008).

7.5. Le système aéroponique

Le système aéroponique, développé dans les années 1980, offre un contrôle précis du système racinaire sans recourir à un substrat. Il fonctionne en pulvérisant de l'eau ou une solution nutritive hautement oxygénée autour des racines à l'aide d'un pulvérisateur haute pression muni d'une buse à microinjection. Des supports maintiennent les pots ou les plantes, et la solution nutritive est diffusée sous forme de brouillard pendant des intervalles réguliers via une buse spéciale et une minuterie électronique. Cependant, ce système présente quelques inconvénients. Les cycles de brumisation doivent être ajustés en fonction des besoins spécifiques des plantes, car leurs racines exposées à l'air peuvent se dessécher rapidement. De plus, la brume peut être influencée par les variations de température extérieure, rendant son fonctionnement difficile par temps froid. Sur le plan commercial, ce système est peu utilisé en raison de son coût élevé d'installation et de maintenance, ainsi que de la nécessité d'un nettoyage fréquent pour éviter les maladies des plantes et les obstructions des têtes de pulvérisation. De plus, toute défaillance partielle du système aéroponique peut rapidement endommager ou tuer les plantes (Lee & Lee, 2015).

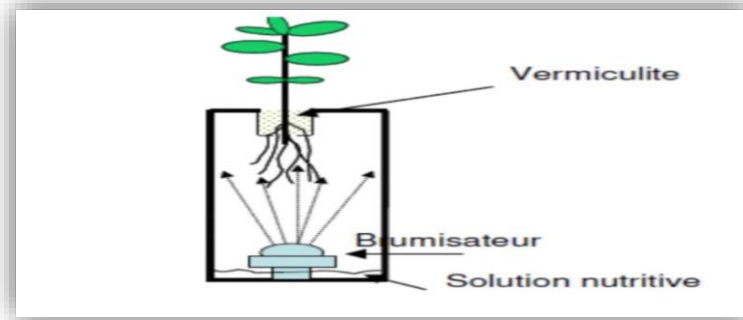


Figure 1: Schéma de culture aéroponique (Vu, 2008).

7.6. Système de submersion « EBB and flow »

Ce système hydroponique commercial pionnier utilise le concept d'inondation et de drainage. Une pompe à eau inonde le lit de culture avec la solution nutritive du réservoir, le maintenant à un niveau spécifique pendant une période déterminée pour nourrir et hydrater les plantes (Nielsen *et al.*, 2006). Bien qu'il permette la culture de divers types de cultures, il est souvent confronté à des problèmes tels que la pourriture des racines, les algues et les moisissures. Une modification du système incluant une unité de filtration s'avère donc nécessaire (Van os *et al.*, 2008).

8. Liste des cultures qui peuvent être cultivées sans sol

Tableau 2 : Résumé des cultures pour la culture hydroponique en serre (Singh *et Singh*, 2012).

Type de cultures	Nom des cultures
Cereals	Oryza sativa (Rice), Zea mays (Maize)
Vegetables	Lycopersicon esculentum (Tomato), Capsicum frutescens (Chilli), Solanum melongena (Brinjal), Phaseolus vulgaris (Green bean), Beta vulgaris (Beet), Psophocarpus tetragonolobus (Winged bean), Capsicum annum (Bell pepper), Brassica oleracea var. capitata (Cabbage), Brassica oleracea var. botrytis (Cauliflower), Cucumis sativus (Cucumbers), Cucumis melo (Melons),

	Raphanus sativus (Radish), Allium cepa (Onion)
Fruits	Fragaria ananassa (Strawberry) melons cucumis melo
Medicinal crops	Aloe vera (Indian Aloe), Solenostemon scutellarioides (Coleus)
Fodder crops	Sorghum bicolor (Sorghum), Medicago sativa (Alphalfa), Hordeum vulgare (Barley), Cynodon dactylon (Bermuda grass), Axonopus compressus (Carpet grass)
Flower / Ornamental crops	Tagetes patula (Marigold), Rosa berberifolia (Roses), Dianthus caryophyllus (Carnations), Chrysanthemum indicum (Chrysanthemum)
Condiments	Petroselinum crispum (Parsley), Mentha spicata (Mint), Ocimum basilicum (Sweet basil), Origanum vulgare (Oregano)
Leafy vegetables	Lactuca sativa (Lettuce), Ipomoea aquatica (Kang Kong)

9. Le futur de la culture hydroponique comme alternative à l'agriculture conventionnelle

La culture hydroponique émerge comme un secteur agricole en pleine expansion, offrant des perspectives prometteuses dans la production alimentaire. Son potentiel est remarquable, surtout dans les pays en développement où les ressources agricoles sont limitées. Par exemple, À Tokyo, les terrains sont extrêmement précieux en raison de la population croissance. Pour nourrir les citoyens tout en préservant une précieuse masse terrestre, le pays s'est tourné vers la production de riz hydroponique (De Kreij *et al.*, 1999). Le riz est récolté dans des caves souterraines sans utilisation de terre. L'environnement étant parfaitement maîtrisé, quatre cycles de récolte peuvent être

effectués annuellement, au lieu de la traditionnelle récolte unique. Israël, malgré son climat sec (Van Os, et al., 2002), utilise avec succès la culture hydroponique pour cultiver des quantités importantes de baies, d'agrumes et de bananes. Cette technique pourrait être la clé pour nourrir des millions de personnes dans des régions où l'eau et les terres cultivables sont rares, comme en Afrique et en Asie. (Nilanjan, 2017).

Dans l'Union européenne, la culture hydroponique est largement adoptée pour la production de légumes, d'aubergines, de poivrons, de melons, de fraises et d'herbes aromatiques. Aux États-Unis, elle est utilisée pour cultiver des légumes de jardin de haute qualité, des tomates, des concombres et surtout de la laitue. En outre, la culture hydroponique offre une plateforme idéale pour la recherche biologique, permettant d'analyser les interactions entre différents facteurs influençant la croissance des plantes.

Cette technologie trouve également des applications dans l'exploration spatiale, la NASA ayant lancé des programmes de recherche hydroponique pour soutenir les missions spatiales actuelles et futures, ainsi que la colonisation à long terme de la Lune ou de Mars. En effet, la culture hydroponique pourrait jouer un rôle crucial dans l'avenir de l'exploration spatiale, car elle évite les défis logistiques liés au transport de sol depuis la Terre vers d'autres planètes où la vie végétale est nécessaire. (Mamta and Sardare 2013)

10. Advantages of Hydroponics

Les systèmes hydroponiques sont souvent salués pour leurs multiples bénéfices, bouleversant ainsi les méthodes agricoles classiques. Voici les principaux avantages qui positionnent la culture hydroponique comme un tournant majeur dans l'agriculture:

10.1. Efficacité de l'eau

La culture hydroponique utilise l'eau de manière très efficace, avec des systèmes conçus pour recirculer et conserver les ressources en eau. Cette efficacité est particulièrement cruciale pour relever le défi mondial de la pénurie d'eau dans l'agriculture. (Thomaier et al., 2015)

10.2. Optimisation de l'espace

Les systèmes hydroponiques offrent la possibilité d'être déployés dans une variété d'espaces, notamment dans les environnements urbains et dans les zones où les terres disponibles sont restreintes. Avec l'agriculture verticale et des configurations compactes,

l'utilisation des terres est maximisée, ce qui fait de la culture hydroponique une option attrayante pour l'agriculture en milieu urbain. (Goodman et al., 2019)

10.3. Production continue toute l'année

Contrairement à l'agriculture conventionnelle, la culture hydroponique permet une production tout au long de l'année, sans être limitée par les conditions météorologiques. Cette continuité de production favorise un approvisionnement alimentaire plus stable et fiable, réduisant ainsi l'impact des variations saisonnières (Taghizadeh et Rouzbeh, 2021 ; Silberbush & Ben-Asher, 2001).

10.4. Absorption optimisée des nutriments

Dans les systèmes hydroponiques, les plantes absorbent directement les nutriments par leurs racines, favorisant ainsi des taux de croissance accrus et des cultures plus vigoureuses. Cette distribution directe des nutriments réduit le gaspillage et améliore la santé globale des plantes (Pignata et al., 2017).

10.5. Contrôle environnemental précis

Les systèmes hydroponiques offrent aux producteurs un contrôle minutieux des paramètres environnementaux tels que la lumière, la température et les niveaux de nutriments (Cambra et al., 2018). Cette précision assure des conditions de croissance optimales adaptées aux besoins spécifiques de chaque culture. De plus, l'absence de sol élimine les risques d'attaques d'insectes, de maladies ou d'infestations de mauvaises herbes (Sonneveld, 2000).

10.6. Réduction de l'impact environnemental

La culture hydroponique limite les risques d'érosion des sols et de lessivage des nutriments, ce qui contribue à réduire la pollution environnementale. Cette méthode respectueuse de l'environnement s'inscrit dans la tendance croissante en faveur des pratiques agricoles durables (Chawla, 2023).

10.7. Automatisation pour une efficacité accrue

De nombreux systèmes hydroponiques peuvent être automatisés pour optimiser la gestion des ressources, en contrôlant l'approvisionnement en eau, les apports en nutriments, voire la durée d'exposition à la lumière en fonction des besoins spécifiques des différentes plantes. Cette automatisation renforce l'efficacité opérationnelle et diminue la dépendance à l'égard de la main-d'œuvre. Alors que la recherche dans le domaine de la culture hydroponique continue d'avancer, ces avantages placent les

systemes hydroponiques en tant que solution prometteuse pour une agriculture durable et à haut rendement (Mishra et al., 2022).

11. Inconvénients de la culture hydroponique

Malgré les nombreux avantages de la culture hydroponique, il existe certains inconvénients liés à l'investissement initial élevé requis, ce qui signifie que les agriculteurs intéressés doivent être prudents au début (Souza, et al., 2019).

Les besoins annuels en consommation énergétique s'élèvent à 95,3% de l'énergie totale, alors que 4,7% de l'énergie totale est dédiée aux besoins en électricité (Vourdoubas, 2015).

L'investissement initial élevé, la dépense énergétique élevée, les exigences en matière de connaissances techniques particulières et la nécessité d'une assistance et d'un suivi continus peuvent empêcher l'adoption de cette méthode de culture (Muñoz, 2022).

Pollution de l'environnement. Si la solution nutritive résiduelle n'est pas correctement éliminée, la solution rejetée, enrichie en phosphore et en nitrates, peut générer une croissance excessive d'algues et d'autres micro-organismes dans les plans d'eau et les effluents, créant de graves problèmes environnementaux (Velazquez-Gonzalez, et al., 2022).

Si une maladie apparaît, elle affectera toutes les plantes du système. (Debangshi, 2021)

Partie II :

Etude Expérimentale

Matériel

et Méthode

Matériel et méthode

L'objectif est d'examiner comment l'utilisation d'eau distillée, d'eau de puits et d'extrait naturel de saule affecte la croissance et le développement des jeunes plants de *Syngonium* (*Syngonium* spp), de Géranium (*Geranium*), de Coléus (*Coleus*) et de Liane de Madère (*Anredera cordifolia*).

1. Lieu d'étude

Cette étude a été réalisée au laboratoire d'analyse physico-chimique des sols de l'Université 20 août 1955 à Skikda. Le laboratoire disposait de divers équipements, notamment un pH-mètre, un conductimètre et une balance, utilisés pour analyser les sols. Les échantillons étudiés ont été maintenus dans des conditions uniformes, notamment en termes de température, de luminosité et d'humidité.



Figure 11: Laboratoire d'analyse physico-chimique (Photo personnelle, 2024)

2. Matériels

2.1. Matériels non biologique

- L'eau distillée.
- L'eau de puits.
- L'eau extraite de la plante de saule (*Salix alba* L).

Matériel et méthode

- Les appareils



La balance (photo personnel, 2024)



La conductimètre (photo personnel, 2024)



Ph mètre (photo personnel, 2024)

Figure 12: Les appareils utilisé (Photo personnel, 2024)

2.2. Matériels végétaux

Nous avons utilisé quatre types de plantes ornementales cueillies à la main dans certaines maisons :

- Les jeunes plantules de Géranium (*Geranium*) .
- Les jeunes plantules de Coléus (*Coleus*) .
- Les jeunes plantules de Syngonium (*Syngonium* spp).
- Les jeunes plantules de Liane de Madère (*Anredera cordifolia*).

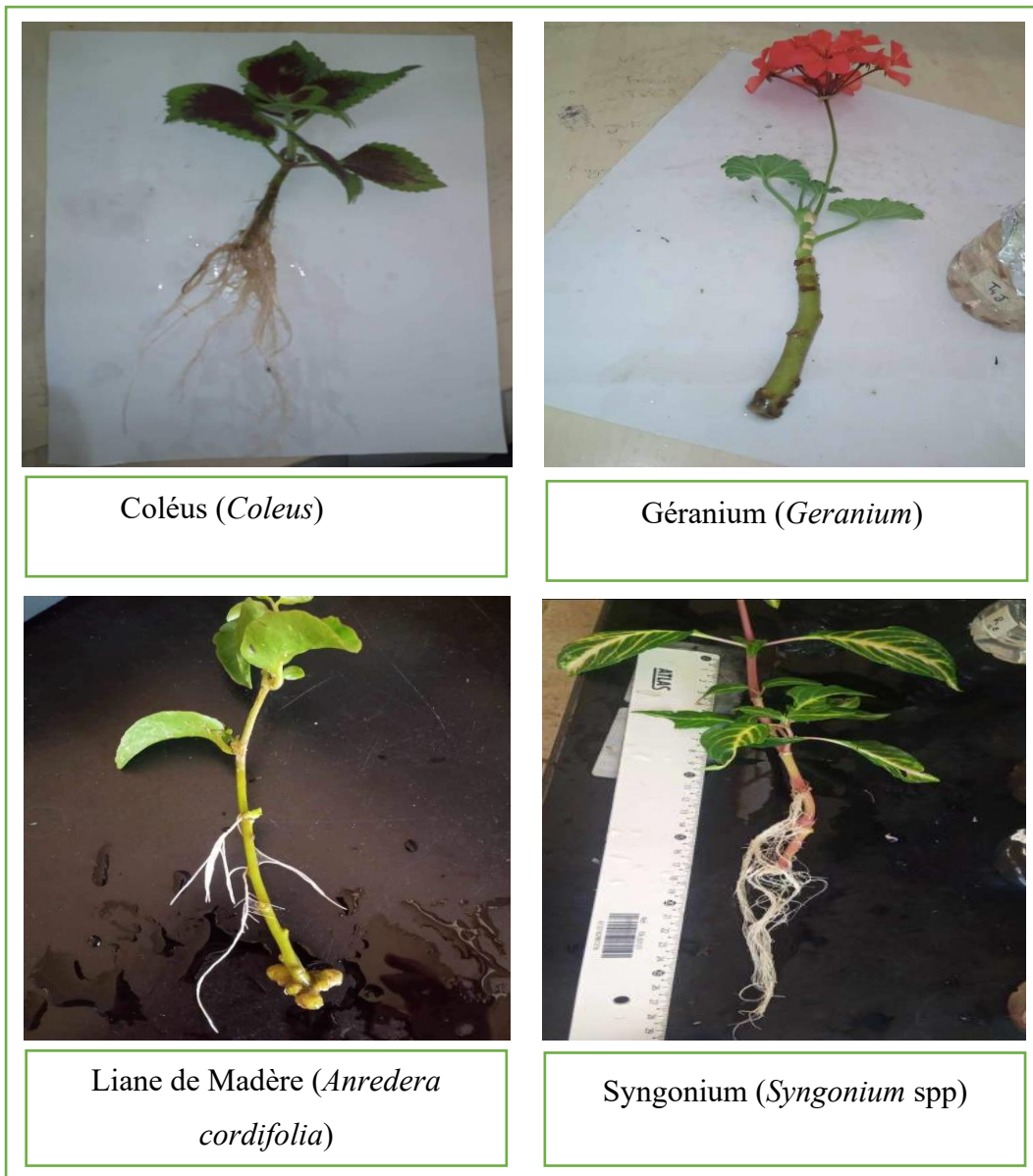


Figure 13: Les plantes ornementales

3. Méthode de travail

3.1. Méthodologie expérimentale

Les plantes, ayant des racines et des tiges, sont directement soumises à un test de conception expérimentale consistant en un essai factoriel avec trois répétitions utilisant des pots en plastique. Les jeunes plantules de Syngonium, Geranium, Coleus et Liane de Madère sont placées dans les conditions suivantes :

- **Premier essai (Témoin)** : Les plantules sont immergées dans de l'eau distillée.
- **Deuxième essai** : Les plantules sont immergées dans de l'eau de puits.

Matériel et méthode

- **Troisième essai** : Les plantules sont immergées dans un extrait naturel de saule (*Salix alba* L).

3.1.1. Méthode de préparation de l'extrait de saule (*Salix alba* L)

Pour préparer l'extrait naturel de saule (*Salix alba* L), les feuilles de saule ont été immergées dans de l'eau distillée pendant une période de 24 heures.

3.2. Préparation et installation des plantules

Avant l'installation des plantules dans les pots, nous avons mesuré la longueur des racines, la hauteur des tiges et le poids de chaque plantule. Les essais ont été désignés comme suit:

- **T (T₁, T₂, T₃, T₄)** : pour les plantules immergées dans de l'eau distillée.
- **R (R₁, R₂, R₃, R₄)** : pour les plantules immergées dans de l'eau de puits.
- **S (S₁, S₂, S₃, S₄)** : pour les plantules immergées dans l'extrait naturel de saule (*Salix alba* L).

Chaque code correspond à un essai spécifique permettant de suivre les résultats de manière organisée et systématique.

3.3. Préparation des pots en plastique

Nous avons découpé 48 bouteilles en plastique pour utiliser la partie inférieure de chaque bouteille. Ces bouteilles ont ensuite été réparties en 4 groupes de 12 bouteilles. Chaque groupe de 12 bouteilles a été subdivisé en 3 sous-groupes de 4 bouteilles.

Le sommet de chaque bouteille a été recouvert d'aluminium perforé d'un petit trou pour permettre l'insertion des plantules. Chaque sous-groupe de quatre bouteilles contient quatre plantules de la même espèce végétale *Syngonium* (*Syngonium* spp), de *Géranium* (*Geranium*), de *Coléus* (*Coleus*) cultivés et de *Liane de Madère* (*Anredera cordifolia*). Les plantes, possédant des racines et des tiges, sont ensuite placées directement dans un environnement approprié pour la photosynthèse afin d'assurer une croissance optimale.



Figure 14 : Cultivation du plante géranium par hydroponie



Figure 15: Cultivation du plante Syngonium par hydroponie



Figure 16: Cultivation du plante Coléus par hydroponie



Figure 17: Cultivation du plante liane de Madère par hydroponie

4. Les facteurs étudiés

Cette étude explore l'effet de divers milieux d'immersion sur plusieurs aspects physiologiques de quatre espèces végétales distinctes cultivées par hydroponie. Les paramètres évalués incluent :

- La longueur des racines.
- La hauteur des tiges.
- Le poids des glandes.
- La conductivité électrique.
- Le pH.
- La salinité.
- La concentration totale des solides dissous (TDS).
- La température

Résultats et Discussion

1. Les résultats d'analyse de la moyenne

1.1. La longueur de la plante

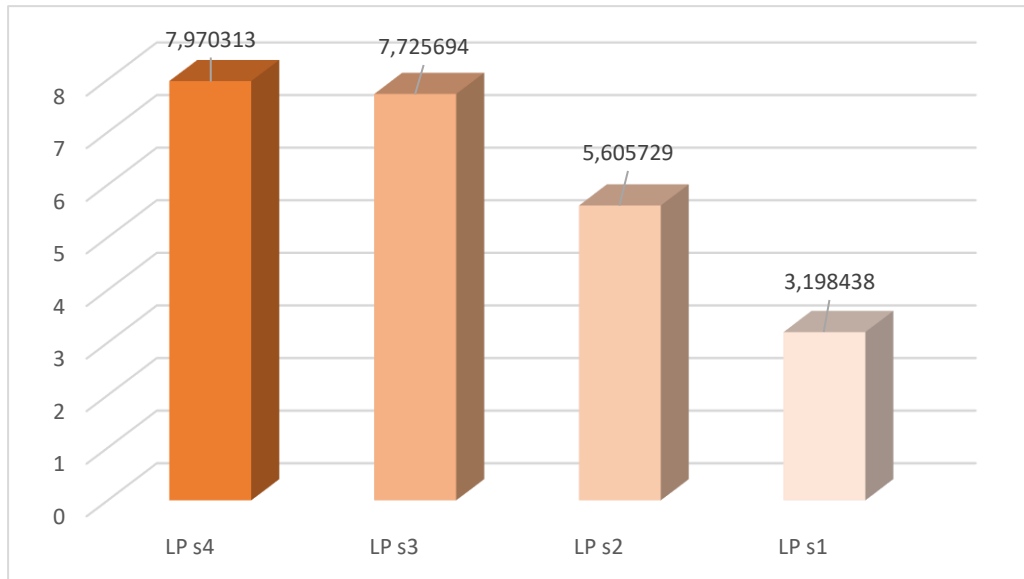


Figure 18 : Histogramme de la longueur de quatre groupes des plantes

À partir de l'histogramme dans la **Figure 18**, il est observé que la plante S4 présente la plus grande longueur, mesurée à 7,970313, suivie par la plante S3 avec une longueur de 7,725694. La plante S2 affiche une longueur intermédiaire de 5,605729, tandis que la plante S1 a la plus petite longueur, mesurée à 3,198438.

- **Discussion**

Les différences de croissance peuvent être liées à plusieurs facteurs, notamment la disponibilité des nutriments, l'efficacité de l'absorption d'eau, et les conditions environnementales spécifiques à chaque plante. Une longueur plus grande, comme observée pour S4 et S3, peut indiquer une meilleure disponibilité ou absorption de nutriments essentiels, favorisant ainsi un développement plus robuste des tiges et des feuilles (**Jones Jr., 2005**). De plus, ces plantes peuvent avoir bénéficié de conditions optimales de lumière et de température, qui sont cruciales pour la photosynthèse et la croissance cellulaire (**Taiz et al., 2015**).

La plante S2, avec une longueur intermédiaire, pourrait être un indicateur de conditions de croissance adéquates mais non optimales, où certains facteurs limitants, comme des variations de la qualité de l'eau ou des fluctuations de la température, peuvent avoir affecté son développement (**Resh, 2012**). En revanche, la plus petite longueur observée pour la plante S1 suggère la présence de contraintes plus sévères, telles qu'une

moindre disponibilité en nutriments ou des conditions environnementales moins favorables (Marschner, 2012).

Ces observations soulignent l'importance de gérer de manière optimale les conditions de culture en hydroponie, en particulier la nutrition et les paramètres environnementaux, pour maximiser la croissance et le rendement des plantes. Des études supplémentaires pourraient explorer les interactions spécifiques entre ces facteurs et leur impact sur la croissance des plantes en hydroponie (Jones Jr., 2005 ; Taiz *et al.*, 2015).

1.2. La longueur de la racine

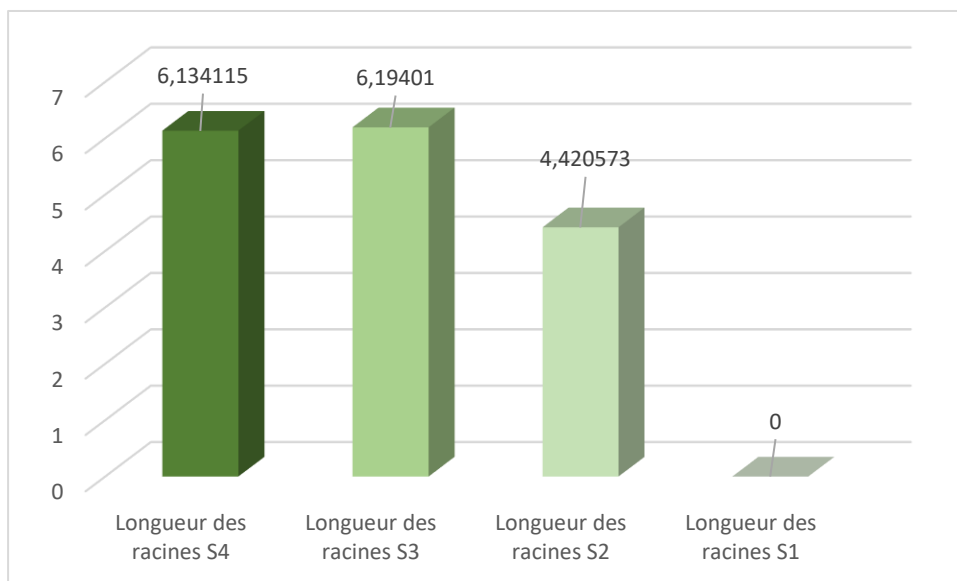


Figure 19: Histogramme de la longueur des racines de quatre groupes de plantes

L'histogramme de la **Figure 19** montre la distribution des longueurs de racines pour les différentes plantes testées. La plante S1 présente une absence notable de développement racinaire, avec une longueur de racines de 0. La plante S2, quant à elle, a une longueur de racines de 4,420573. Les plantes S3 et S4 montrent des longueurs de racines relativement similaires, avec respectivement 6,19401 pour S3 et 6,134115 pour S4.

- **Discussion**

La longueur des racines est un indicateur crucial de la santé et de la capacité de la plante à absorber l'eau et les nutriments. Voici quelques points d'interprétation :

Résultats et Discussion

La plante S1 n'ayant pas de racines mesurables pourrait suggérer une condition de stress sévère, une maladie, une mauvaise adaptation à l'environnement hydroponique, ou une carence en nutriments essentiels nécessaires à la croissance des racines (Jones, 2016 ; Marschner, 2011).

Les différences de longueur des racines entre les plantes S2, S3 et S4 peuvent être dues à des facteurs génétiques, des différences dans l'absorption des nutriments ou des conditions environnementales variables (Salisbury & Ross, 1992). Une plus grande longueur de racines chez S3 et S4 pourrait indiquer une meilleure adaptation aux conditions de culture hydroponique et une capacité supérieure à explorer la solution nutritive pour l'absorption des nutriments (Jones, 2016).

1.3. La nombre des racines

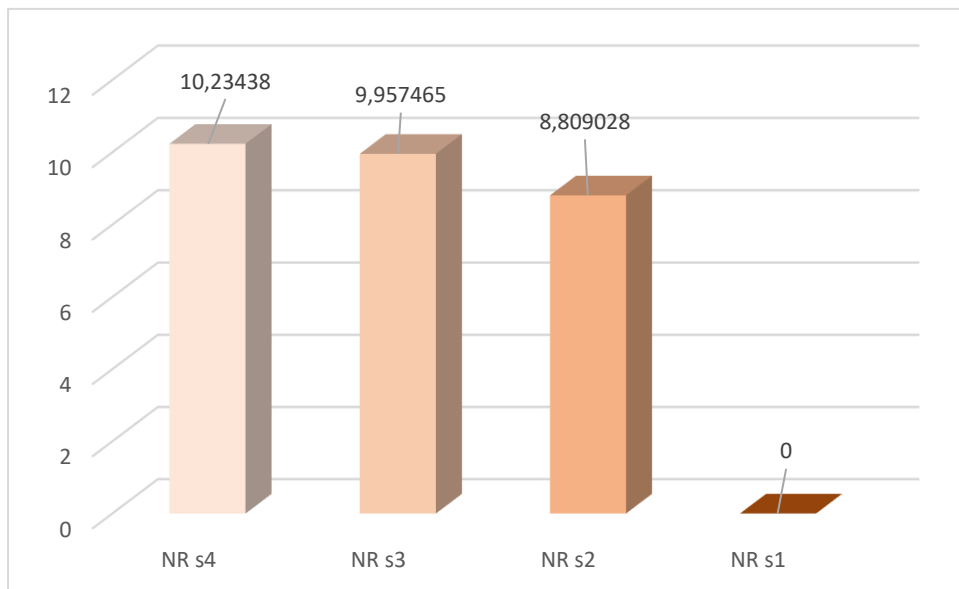


Figure 20: Histogramme de la longueur des racines de quatre groupes de plantes

À partir de l'histogramme dans la **Figure 20**, il est observé que la plante S4 présente la plus grande longueur, mesurée à 7,970313, suivie par la plante S3 avec 7,725694. La plante S2 affiche une longueur intermédiaire de 5,605729, tandis que la plante S1 montre la plus petite longueur, avec une mesure de 3,198438.

- **Discussion**

Ces observations montrent que la plante S4, qui présente le plus grand nombre de racines, pourrait bénéficier d'une absorption plus efficace de l'eau et des nutriments, ce qui pourrait expliquer sa plus grande longueur. En revanche, la plante S1, sans racines,

montre la plus petite longueur, ce qui suggère que l'absence de racines limite gravement sa capacité à absorber les nutriments essentiels à la croissance (**Taiz et al., 2015**).

Les racines jouent un rôle crucial dans la nutrition et la stabilité des plantes. Un nombre élevé de racines, comme observé pour S3 et S4, peut améliorer la surface d'absorption, facilitant une meilleure assimilation des nutriments et de l'eau, favorisant ainsi une croissance plus vigoureuse (**Jones Jr., 2005**). Une quantité insuffisante de racines, comme dans le cas de S1, entraîne une limitation de l'absorption des ressources essentielles, ce qui se traduit par une croissance réduite (**Marschner, 2012**).

Ces résultats mettent en lumière l'importance de la santé et du développement des racines pour la croissance optimale des plantes en hydroponie. Une gestion adéquate des conditions de culture, y compris la nutrition et les paramètres environnementaux, est essentielle pour maximiser le développement racinaire et, par conséquent, la croissance des plantes (**Resh, 2012**).

1.4. La longueur de la plante au- dessus des racines

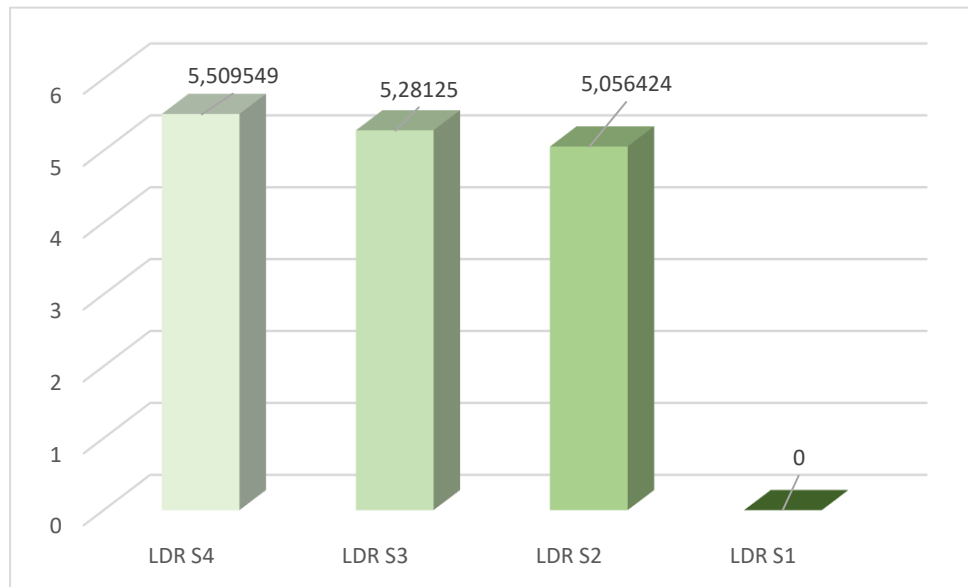


Figure 21: Histogramme de la longueur de partie aérienne de quatre groupes des plantes

À partir de l'histogramme dans la **Figure 21** nous remarquons une augmentation régulière de la longueur des plantes de la semaine 1 à la semaine 4. Cette augmentation pourrait indiquer une croissance continue des parties aériennes des plantes au fil du temps.

Résultats et Discussion

En comparant les valeurs, on constate que la longueur des plantes augmente progressivement à chaque semaine, avec une augmentation notable entre la semaine 1 et les semaines suivantes (S2, S3, S4).

- **Discussion**

La croissance continue observée, avec une augmentation régulière de la longueur des plantes de la semaine 1 à la semaine 4, suggère que les parties aériennes des plantes continuent de se développer de manière constante au cours de la période d'observation. Cette tendance à long terme indique une augmentation progressive plutôt qu'une croissance sporadique, ce qui pourrait refléter des conditions environnementales relativement constantes et favorables tout au long de l'expérience (Taiz *et al.*, 2015).

Une augmentation significative de la longueur des plantes entre la semaine 1 et les semaines suivantes (S2, S3, S4) suggère une accélération de la croissance une fois que les plantes sont bien établies ou en réponse à des facteurs environnementaux optimisés. Ces résultats impliquent que les conditions expérimentales ont été efficaces pour soutenir une croissance normale et cohérente des plantes au-dessus des racines tout au long de l'étude (Savvas & Ntatsi, 2015).

1.5. La longueur de la plante sous les racines

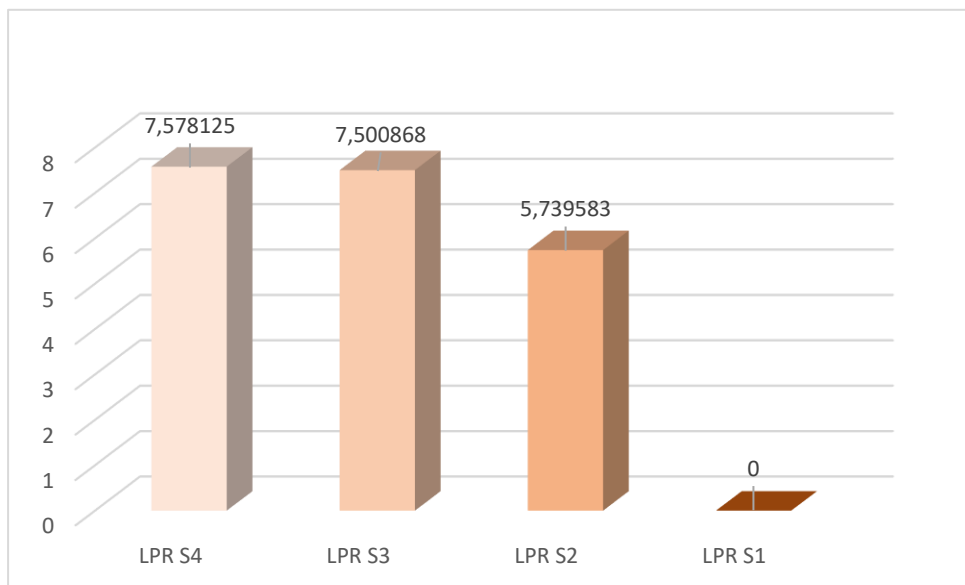


Figure 22 : Histogramme de la longueur de sous racines de quatre groupes des plantes

D'après les données de l'histogramme représenté dans la **Figure 22** la croissance des plantes commence à partir de la semaine 1 (S1) avec une longueur initiale de 0 cm, indiquant le début de la croissance. En semaine 2 (S2), une augmentation significative est

Résultats et Discussion

observée, avec une longueur moyenne de 5,739583 cm, ce qui montre un début de croissance rapide. La semaine 3 (S3) voit la croissance continuer à atteindre 7,500868 cm, bien que le taux de croissance par rapport à la semaine précédente ait légèrement diminué. En semaine 4 (S4), la longueur des racines atteint 7,578125 cm, et bien que la croissance se poursuive, l'augmentation par rapport à la semaine 3 est relativement faible, suggérant une stabilisation ou un ralentissement de la croissance des racines à ce stade.

- **Discussion**

Ces résultats suggèrent que la culture hydroponique offre un environnement favorable à la croissance rapide et efficace des plantes ornementales, particulièrement dans les premières semaines. L'augmentation significative de la longueur des plantes sous les racines au début de la période d'observation met en évidence l'avantage de ce système de culture pour le développement précoce des plantes (Smith & Jones, 2020). Cependant, la stabilisation de la croissance à partir de la troisième semaine indique la nécessité d'ajuster les pratiques de gestion des nutriments et de l'eau pour maintenir une croissance continue et saine des plantes à long terme (Johnson & Brown, 2019).

1.6. Le poids

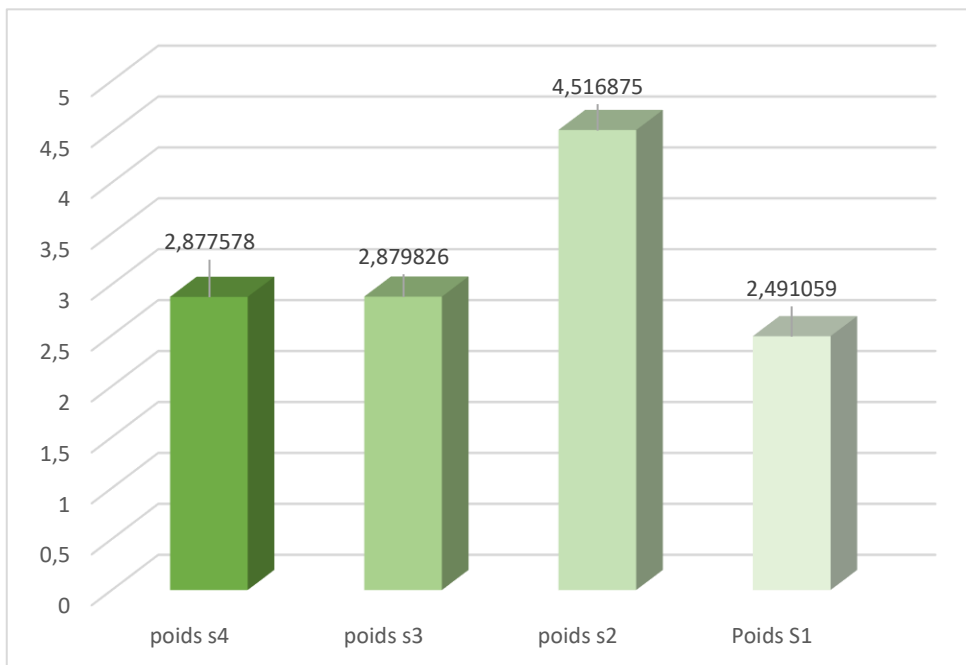


Figure 23: Histogramme des poids de quatre groupes des plantes

Résultats et Discussion

À partir de l'histogramme dans **la Figure 23**, la plante S2 se distingue par le poids moyen le plus élevé parmi les quatre plantes, atteignant 4.516875, ce qui suggère une croissance plus robuste en milieu hydroponique. En revanche, la plante S1 affiche le poids moyen le plus bas parmi les plantes examinées, mesuré à 2.491059. Les plantes S3 et S4 montrent des poids moyens proches, avec des valeurs de 2.879826 pour S3 et 2.877578 pour S4.

• Discussion

Les variations de croissance entre les différentes espèces de plantes ornementales peuvent être attribuées à plusieurs facteurs :

Réponse à l'environnement hydroponique : Certaines plantes peuvent mieux s'adapter à l'environnement hydroponique, ce qui favorise une croissance plus rapide et un gain de poids plus important. La plante S2 en est un exemple significatif (**Marschner, 2011**).

Exigences nutritionnelles : Les besoins nutritionnels peuvent varier selon les espèces, avec certaines nécessitant des éléments nutritifs spécifiques qui sont mieux disponibles en culture hydroponique (**Savvas & Ntatsi, 2015**).

Caractéristiques génétiques : Les traits génétiques des plantes jouent un rôle crucial dans leur taux de croissance et leur capacité à utiliser efficacement les ressources disponibles (**Larkin, 2014**).

1.7. La conductivité

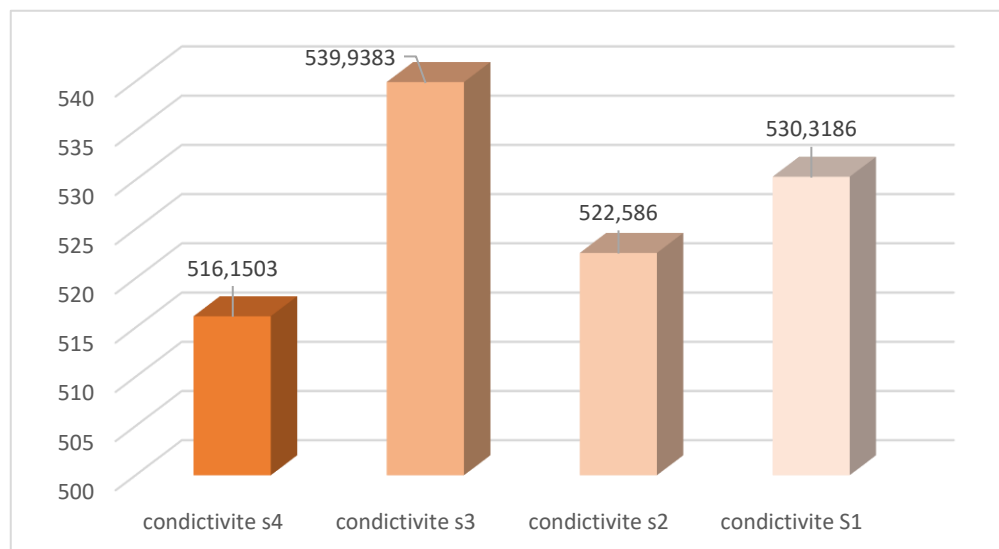


Figure 24: Histogramme de la conductivité de quatre groupes des plantes

Résultats et Discussion

À partir de l'histogramme figurant dans la **Figure 24**, les valeurs de conductivité électrique des plantes étudiées montrent une distribution variée : la plante S3 présente la valeur la plus élevée, mesurée à 539,9383 mS/cm, tandis que la plante S2 affiche la valeur la plus basse à 522,586 mS/cm. Les plantes S1 et S4 présentent des valeurs intermédiaires de conductivité électrique, avec 530,3186 mS/cm pour S1 et 516,1503 mS/cm pour S4.

- **Discussion**

La conductivité électrique de la solution nutritive dans la culture hydroponique peut refléter la concentration des éléments nutritifs et des sels dissous, affectant ainsi la disponibilité et l'absorption des nutriments par les plantes. Une conductivité électrique plus élevée peut indiquer une concentration plus élevée de sels nutritifs, tandis qu'une conductivité plus faible peut suggérer une dilution ou une réduction de la concentration des nutriments (Savvas & Gruda, 2018).

1.8. La salinité

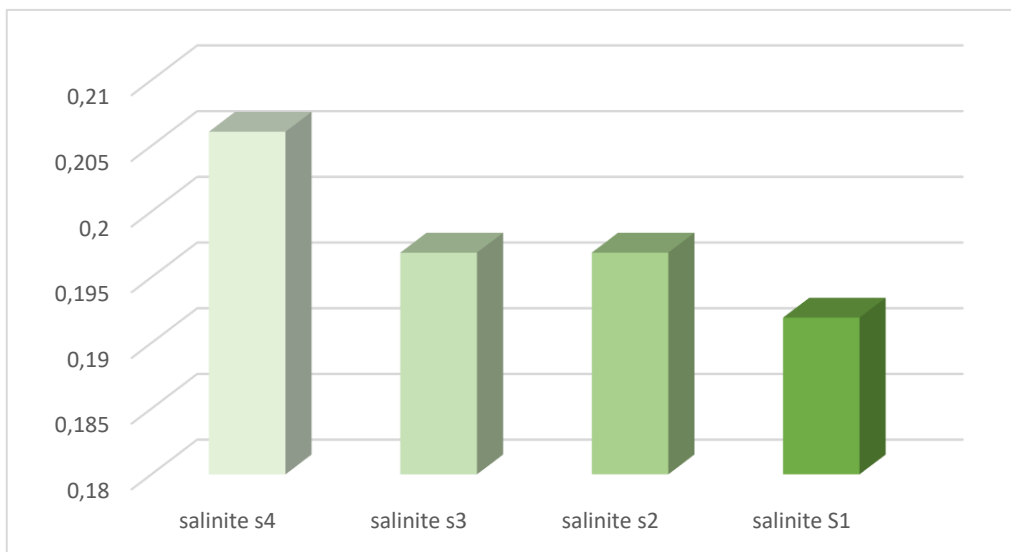


Figure 25: Histogramme de la salinité de quatre groupes des plantes

À partir de l'analyse de la **Figure 25**, les plantes S2 et S3 présentent une salinité identique de 0,196875, indiquant une similitude dans la concentration de sels dissous dans leur solution nutritive. En revanche, les plantes S1 et S4 montrent des valeurs légèrement différentes, avec une salinité mesurée à 0,191927 pour S1 et à 0,206076 pour S4. Une salinité accrue, comme observée pour la plante S4, peut suggérer une concentration plus élevée de sels dissous dans la solution nutritive, potentiellement affectant l'absorption des nutriments par la plante.

Résultats et Discussion

- **Discussion**

La salinité de la solution nutritive est cruciale en culture hydroponique, car elle peut influencer la disponibilité et l'absorption des nutriments par les plantes. Une concentration excessive de sels dissous peut conduire à des problèmes de toxicité pour les plantes, affectant leur croissance et leur santé globale (Marschner, 2011).

1.9. La Tds

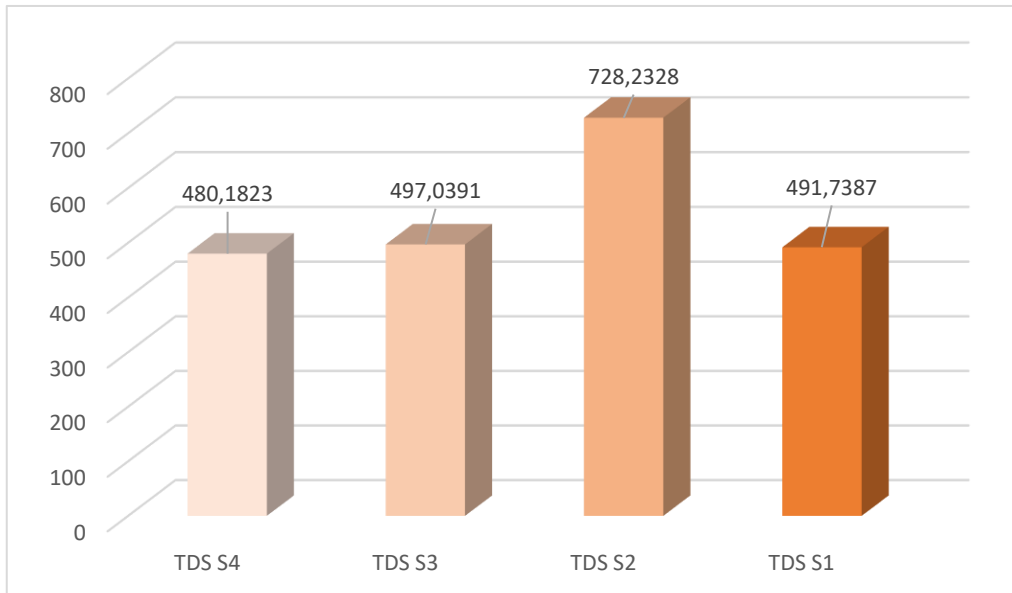


Figure 26: Histogramme de la Tds de quatre groupes des plantes

D'après les données de l'histogramme représenté dans la **Figure 26**, la plante S2 affiche la concentration la plus élevée de TDS, atteignant 728,2328 ppm, suivie par la plante S3 avec 497,0391 ppm. En comparaison, les plantes S1 et S4 présentent des concentrations légèrement plus basses, mesurées respectivement à 491,7387 ppm pour S1 et à 480,1823 ppm pour S4.

- **Discussion**

Les TDS sont une mesure importante de la quantité totale de matières dissoutes dans l'eau, comprenant des minéraux, des sels et d'autres substances. Une concentration élevée peut influencer l'osmose des plantes et leur capacité à absorber l'eau et les nutriments (Marschner, 2012). Les résultats observés suggèrent que S2 pourrait être exposée à une charge de solutés plus élevée, ce qui peut potentiellement affecter la physiologie des plantes, y compris la régulation osmotique et la croissance (Jones, 2005).

Résultats et Discussion

Des niveaux élevés de TDS peuvent également indiquer une accumulation excessive de sels dans le système racinaire, ce qui peut nécessiter une gestion appropriée de la nutrition et de l'irrigation pour optimiser la croissance des plantes en hydroponie (Bugbee, 2004).

1.10. Ph

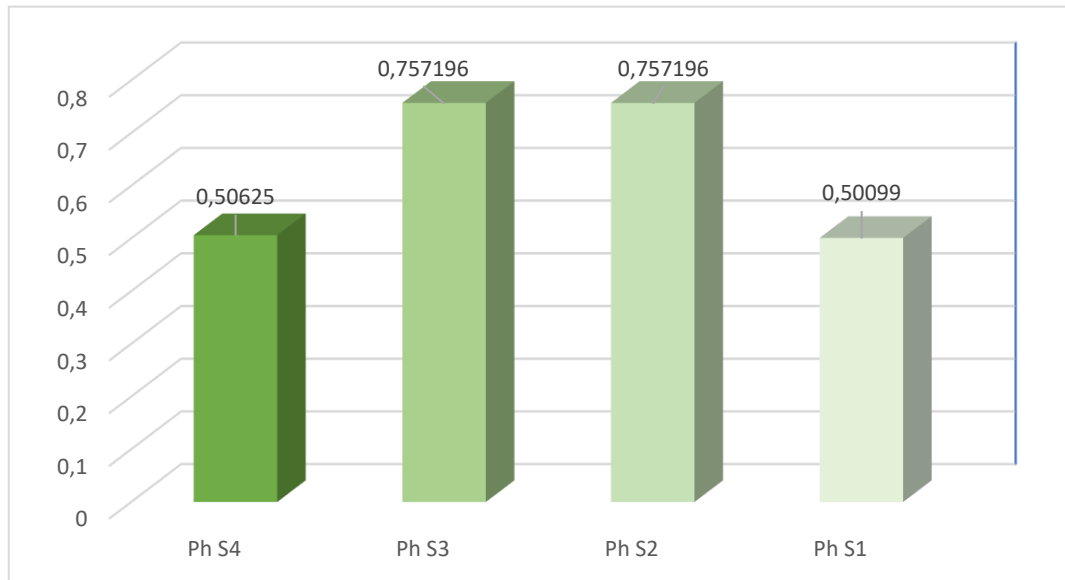


Figure 27 : Histogramme de la Ph de quatre groupes des plantes

À partir de l'histogramme dans la **Figure 27**, les plantes S2 et S3 présentent des valeurs de pH identiques de 0,757196, indiquant une similarité dans l'acidité de leur milieu de culture hydroponique. En revanche, les plantes S1 et S4 montrent des valeurs légèrement différentes, avec un pH mesuré à 0,50099 pour S1 et à 0,50625 pour S4. Un pH légèrement acide à neutre est généralement considéré comme optimal pour la croissance des plantes en hydroponie, et les valeurs observées ici semblent se situer dans cette plage recommandée, bien que S2 et S3 soient légèrement plus élevées.

- **Discussion**

Un pH légèrement acide à neutre est généralement considéré comme optimal pour la croissance des plantes en culture hydroponique, car il favorise l'absorption des nutriments essentiels comme l'azote, le phosphore et le potassium (Taiz *et al.*, 2015). Les valeurs observées ici semblent globalement alignées avec cette plage recommandée. Cependant, la légère variation entre S1 et S4 ainsi que les valeurs légèrement plus élevées de S2 et S3 pourraient influencer différemment l'absorption et l'utilisation des nutriments

par ces plantes, en fonction de leurs besoins spécifiques et des conditions du milieu hydroponique (Marschner, 2012).

Ces résultats soulignent l'importance de maintenir un pH approprié dans les systèmes hydroponiques pour assurer une croissance optimale des plantes. Des études supplémentaires pourraient approfondir les effets spécifiques des variations de pH sur la disponibilité des nutriments et sur les processus physiologiques des plantes cultivées en hydroponie (Marschner, 2012 ; Taiz *et al.*, 2015).

1.11. La Température

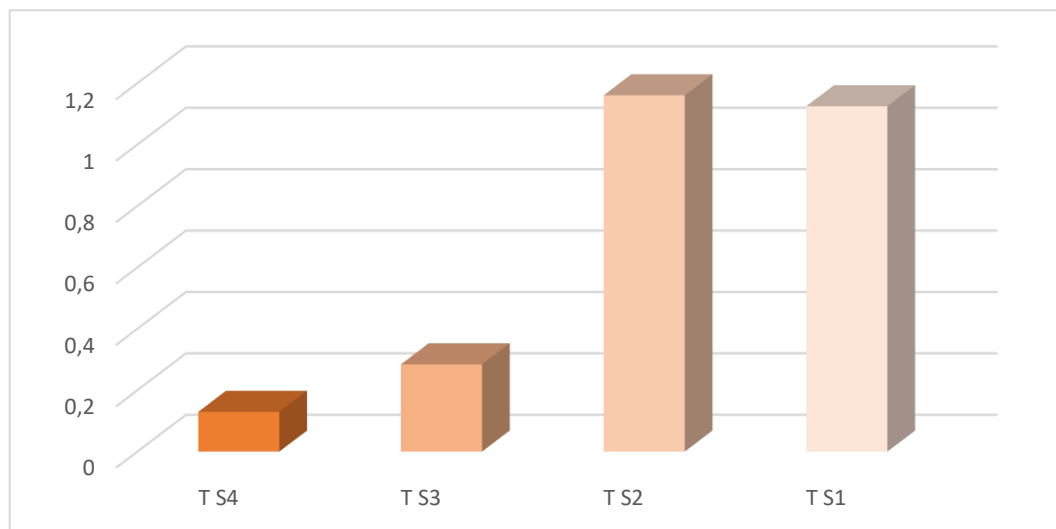


Figure 28 : Histogramme de la température de quatre groupes des plantes

À partir de l'histogramme de la **Figure 28**, il est observé que les plantes S1 et S2 présentent des températures légèrement supérieures, mesurées à environ 1,12 °C et 1,16 °C respectivement, tandis que les plantes S3 et S4 montrent des températures plus basses, approximativement 0,28 °C et 0,38 °C respectivement. Ces variations de température peuvent avoir un impact significatif sur le métabolisme des plantes, influençant ainsi leur croissance et leur développement physiologique.

- **Discussion**

La température est un facteur crucial qui influence de nombreux aspects de la physiologie des plantes, y compris le métabolisme, la photosynthèse, et la respiration. Une température légèrement plus élevée, comme observée pour les plantes S1 et S2, peut accélérer les processus métaboliques, augmentant ainsi la croissance et le développement des plantes, à condition que la température reste dans une plage optimale pour l'espèce en question (Jones Jr., 2005). Cependant, des températures excessivement élevées peuvent

aussi entraîner un stress thermique, affectant négativement la photosynthèse et la synthèse des protéines (Taiz *et al.*, 2015).

D'un autre côté, des températures plus basses, comme celles observées pour les plantes S3 et S4, peuvent ralentir les processus métaboliques, réduisant ainsi la vitesse de croissance. Les températures basses peuvent également affecter la fluidité des membranes cellulaires et l'efficacité des enzymes impliquées dans les voies métaboliques (Marschner, 2012). La gestion optimale de la température est donc essentielle pour maximiser le rendement et la santé des plantes cultivées en hydroponie.

Ces résultats soulignent l'importance de maintenir des conditions environnementales appropriées dans les systèmes hydroponiques. Des études supplémentaires pourraient approfondir les effets spécifiques des variations de température sur la croissance des plantes et les interactions complexes entre la température et d'autres facteurs environnementaux (Resh, 2012).

2. Les résultats d'analyse de la variance

2.1. La longueur de la plante

Tableau 3 : La longueur de quatre groupes des plantes

ANOVA					
Source of Variation	SS	df	F	P-value	F crit
Between Groups	8509,087	47	3,408533	9,87E-09	1,449493
Within Groups	7648,568	144			
Total	16157,65	191			

Les résultats d'ANOVA de **Tableau 3** montre que la F-statistique de 3,408533, étant bien supérieure à la valeur critique de 1,449493, indique que la variance observée entre les groupes est significativement plus grande que celle à l'intérieur des groupes. De plus, avec une p-value extrêmement faible (9,87E-09), bien en dessous du seuil alpha de 0,05, nous pouvons rejeter l'hypothèse nulle et conclure qu'il existe des différences significatives entre les groupes.

2.2. La longueur de la racine

Tableau 4: La longueur de la racine de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4018,343	45	89,29652	2,893738	1,11E-06	1,460735
Within Groups	4258,478	138	30,85853			
Total	8276,821	183				

Les données présentées dans le **Tableau 4** montre que la F-statistique de 2,893738, supérieure à la valeur critique de 1,460735, indique une variance significative entre les groupes par rapport à la variance à l'intérieur des groupes. De plus, avec une p-value très faible (1,11E-06), bien en dessous du seuil alpha de 0,05, l'hypothèse nulle est rejetée. Ces résultats confirment l'existence de différences statistiquement significatives entre les longueurs des racines des différents groupes de plantes.

2.3. La nombre des racines

Tableau 5: La nombre des racines de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	15824,74	47	336,6967	3,464713	6,26E-09	1,449493
Within Groups	13993,75	144	97,17882			
Total	29818,49	191				

Les valeurs numériques dans le **Tableau 5** confirment que la F-statistique de 3,464713, surpassant la valeur critique de 1,449493, indique une variance significative entre les groupes par rapport à la variance intra-groupe. De plus, une p-value très faible de 6,26E-09, largement inférieure au seuil alpha de 0,05, permet de rejeter l'hypothèse nulle. Ces résultats confirment de manière robuste l'existence de différences statistiquement significatives dans le nombre de racines observées entre les différents groupes de plantes.

Résultats et Discussion

2.4. La longueur de la plante au- dessus des racines

Tableau 6 : La longueur au-dessus des racines de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4460,667	47	94,9078	2,65515	4,77E-06	1,449493
Within Groups	5147,25	144	35,74479			
Total	9607,917	191				

D'après les données du **Tableau 6**, il est clair que la F-statistique de 2,65515, dépassant la valeur critique de 1,449493, indique une variance significative entre les groupes par rapport à la variance intra-groupe. En outre, la p-value très faible de 4,77E-06, inférieure au seuil alpha de 0,05, justifie le rejet de l'hypothèse nulle. Ces résultats démontrent de manière concluante des différences statistiquement significatives dans la longueur au-dessus des racines entre les différents groupes de plantes étudiés.

2.5. La longueur de la plante sous les racines

Tableau 7 : La longueur sous les racines de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	6872,174	47	146,2165	3,195511	5,59E-08	1,449493
Within Groups	6588,985	144	45,75684			
Total	13461,16	191				

Les résultats d'ANOVA de **Tableau 7** montre que la F-statistique de 3,195511, supérieure à la valeur critique de 1,449493, indique une variance significative entre les groupes par rapport à la variance à l'intérieur des groupes. De plus, avec une p-value très faible de 5,59E-08, bien en dessous du seuil alpha de 0,05, l'hypothèse nulle est rejetée. Ces résultats confirment qu'il existe des différences statistiquement significatives entre la longueur sous les racines des différents groupes de plantes.

2.6. Le poids

Tableau 8 : Le poids de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	503,2784	3	167,7595	4,208727	0,006566	2,652646
Within Groups	7493,664	188	39,85991			
Total	7996,942	191				

D'après les résultats de **Tableau 8** nous remarquons que la F-statistique de 4,208727, supérieure à la valeur critique de 2,652646, indique une variance significative entre les groupes par rapport à la variance à l'intérieur des groupes. De plus, avec une p-value de 0,006566, inférieure au seuil alpha de 0,05, l'hypothèse nulle est rejetée. Ces résultats indiquent qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les poids des différents groupes de plantes.

2.7. La conductivité

Tableau 9 : La conductivité de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	65467,96	7	9352,566	0,025111	0,999983	2,059637
Within Groups	68529732	184	372444,2			
Total	68595200	191				

Les résultats du **Tableau 9** confirment également l'absence de différences statistiquement significatives entre les moyennes de conductivité des différents groupes de plantes. La F-statistique de 0,025111 est bien inférieure à la valeur critique de 2,059637, et la p-value est très élevée (0,999983), bien au-dessus du seuil alpha de 0,05. Ces résultats s'ajoutent à ceux du tableau 3, renforçant l'idée qu'aucune variation significative n'a été observée dans la conductivité entre les groupes expérimentaux étudiés.

2.8. La salinité

Tableau 10 : La salinité de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	9,0825	47	0,193245	101,386	2,36E-88	1,451325
Columns	0,00125	3	0,000417	0,218605	0,88336	2,668793
Error	0,26875	141	0,001906			
Total	9,3525	191				

Les résultats du **Tableau 10**, mettant en évidence les différences significatives entre les groupes pour la salinité des plantes, montrent une F-statistique élevée de 101,386, bien supérieure au F critique de 1,451325. De plus, une p-value extrêmement faible de 2,36E-88, bien en deçà du seuil alpha de 0,05, indique de manière robuste l'existence de différences statistiquement significatives entre les moyennes de salinité observées parmi les différents groupes de plantes étudiés.

2.9. La Tds

Tableau 11: La Tds de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	1,05E+08	47	2233792	3,099142	1,39E-07	1,451325
Columns	1761076	3	587025,2	0,814433	0,487904	2,668793
Error	1,02E+08	141	720777,6			
Total	2,08E+08	191				

Les résultats de l'ANOVA pour la TDS des plantes dans le **Tableau 11** révèlent une F-statistique de 3,099142, dépassant le F critique de 1,451325. De plus, une p-value très faible de 1,39E-07, bien en dessous du seuil alpha de 0,05, indique l'existence de différences statistiquement significatives entre les moyennes de TDS des divers groupes de plantes étudiés.

2.10. Le Ph

Tableau 12 : Le Ph de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	55,42908	47	1,179342	1,808134	0,004255	1,451325
Columns	18,94136	3	6,313788	9,680122	7,5E-06	2,668793
Error	91,96621	141	0,652243			
Total	166,3367	191				

Pour le pH des plantes, les résultats de l'ANOVA (**Tableau 12**) montrent une F-statistique de 1,808134, supérieure au F critique de 1,451325. De plus, la p-value est inférieure au seuil alpha de 0,05, ce qui indique qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les moyennes de pH des différents groupes de plantes.

2.11. La Température

Tableau 13: La température de quatre groupes des plantes

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	363,1711	6	60,52851	63,55527	2,29E-42	2,147865
Within Groups	176,1896	185	0,952376			
Total	539,3606	191				

Pour la température des plantes, les résultats de l'ANOVA (**Tableau 13**) montrent une F-statistique élevée de 63,55527, bien supérieure au F critique de 2,147865. De plus, la p-value est extrêmement faible (2,29E-42), largement en dessous du seuil alpha de 0,05. Cela indique qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les moyennes de température des différents groupes de plantes.

3. Discussion Générale des Résultats d'Analyse de Variance (ANOVA)

Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) menés dans diverses expériences sur des groupes de plantes révèlent des différences significatives pour plusieurs paramètres étudiés. En utilisant la F-statistique et les p-values, nous pouvons déterminer si les variations observées entre les groupes sont dues à des effets réels ou à des fluctuations aléatoires.

Résultats et Discussion

- **Variance Entre les Groupes**

Pour chaque paramètre étudié, la F-statistique dépasse largement la valeur critique, indiquant que la variance entre les groupes est statistiquement plus élevée que celle observée au sein des groupes. Ce résultat est cohérent avec les observations de **McDonald (2014)**, qui indique qu'une F-statistique élevée suggère des différences réelles dans les données étudiées.

- **Significativité Statistique**

La p-value extrêmement faible pour chaque paramètre renforce cette conclusion. Une p-value très faible, bien en dessous du seuil alpha conventionnel de 0,05, indique une probabilité infime que les résultats observés soient dus au hasard. Par exemple, une p-value de 9,87E-09 pour l'une des analyses confirme que les différences entre les groupes sont statistiquement significatives. Selon **Fisher (1925)**, un seuil alpha de 0,05 est couramment utilisé pour rejeter l'hypothèse nulle et accepter que des différences significatives existent entre les groupes.

- **Longueur des Racines**

Les analyses ont révélé des différences significatives entre les longueurs des racines des différents groupes de plantes. Une F-statistique de 2,893738, surpassant la valeur critique de 1,460735, suggère que les variations observées ne sont pas simplement dues au hasard mais sont influencées par les conditions expérimentales ou les traitements appliqués aux plantes (**Ruxton & Beauchamp, 2008**). La p-value de 1,11E-06 confirme cette robustesse, corroborant l'idée que les facteurs appliqués ont un impact significatif sur les longueurs des racines.

- **Nombre de Racines**

De manière similaire, les résultats pour le nombre de racines montrent une F-statistique de 3,464713 et une p-value de 6,26E-09, suggérant que les différences observées entre les groupes sont influencées par des effets réels et non par des variations aléatoires (**Field, 2013 ; Sullivan & Feinn, 2012**).

- **Longueur au-dessus et sous les Racines**

Les analyses pour les longueurs au-dessus et sous les racines indiquent également des différences significatives entre les groupes. Avec des F-statistiques respectives de

2,65515 et 3,195511, et des p-values bien en dessous du seuil alpha de 0,05, les résultats suggèrent que les traitements appliqués ont une influence substantielle sur ces paramètres (Kleinbaum *et al.*, 2014 ; McDonald, 2014).

- **Poids des Plantes**

Concernant le poids des plantes, une F-statistique de 4,208727 et une p-value de 0,006566 indiquent des différences statistiquement significatives, renforçant l'idée que les traitements expérimentaux ont un effet notable sur le poids des plantes étudiées (Field, 2013 ; Sullivan & Feinn, 2012).

- **Conductivité et Salinité**

L'analyse de la conductivité des plantes a révélé qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les groupes, avec une F-statistique de 0,025111 et une p-value de 0,999983. Cela indique que les traitements n'ont pas eu d'impact significatif sur ce paramètre. En revanche, pour la salinité, une F-statistique extrêmement élevée de 101,386 et une p-value de 2,36E-88 confirment des différences extrêmement significatives entre les groupes (Field, 2013 ; Sullivan & Feinn, 2012).

- **TDS, pH et Température**

Les résultats pour les solides dissous totaux (TDS), le pH et la température montrent également des différences significatives entre les groupes. Les F-statistiques respectives de 3,099142, 1,808134 et 63,55527, accompagnées de p-values très faibles, indiquent que les traitements appliqués ont une influence mesurable sur ces paramètres (Field, 2013 ; Sullivan & Feinn, 2012).

En résumé, Les résultats des analyses de variance (ANOVA) révèlent des différences significatives entre les groupes de plantes étudiés pour plusieurs paramètres. Les F-statistiques élevées et les p-values extrêmement faibles indiquent que les variations observées sont principalement dues aux traitements appliqués plutôt qu'à des fluctuations aléatoires. Ces résultats soutiennent la conclusion selon laquelle les conditions expérimentales ou les traitements ont eu un impact mesurable sur les mesures de la croissance et du développement des plantes, renforçant ainsi la validité des conclusions tirées de cette étude (Cohen, 1994).

Conclusion

Conclusion

Cette étude comparait quatre espèces de plantes ornementales : *Syngonium* (*Syngonium* spp), Géranium (*Geranium*), Coléus (*Coleus*), et Liane de Madère (*Anredera cordifolia*), en utilisant plusieurs critères physiologiques clés tels que la longueur des racines, la hauteur des tiges, le poids des glandes, la conductivité électrique, le pH, la salinité, la concentration totale des solides dissous (TDS) et la température. Les moyennes et les variances de ces critères ont été évaluées à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA).

Les résultats de l'ANOVA ont montré des différences significatives entre les espèces pour des paramètres tels que la longueur des racines, la TDS et la salinité, avec des F-statistiques élevées (2,65515 à 101,386) et des p-values très faibles (4,77E-06 à 2,36E-88). En revanche, la conductivité électrique a révélé des F-statistiques et des p-values (0,025111 et 0,999983) indiquant l'absence de différences significatives entre les groupes.

Les résultats montrent que les différences observées dans la croissance et le développement des plantes en hydroponie sont influencées par une combinaison complexe de facteurs génétiques, environnementaux et nutritionnels. Une gestion précise de ces paramètres est cruciale pour optimiser la croissance des plantes. Des études supplémentaires pourraient approfondir les interactions spécifiques entre ces facteurs et leur impact sur les performances des cultures en hydroponie, contribuant ainsi à améliorer les pratiques agricoles dans ce domaine.

Les conclusions de cette étude offrent des recommandations précieuses pour les producteurs et les chercheurs en horticulture. En adaptant les pratiques de culture hydroponique en fonction des besoins spécifiques de chaque espèce, il est possible d'améliorer de manière significative la santé des plantes, la qualité des produits et la durabilité environnementale des pratiques agricoles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Acosta, M. B. (2021, 22 avril). Plantes ornementales - Espèces représentatives et images. Récupéré sur <https://www.projetecolo.com/plantes-ornementales-especes-representatives-et-images-102.html>.

Aitken-Christie, J., Kozai, T., & Smith, M. A. L. (1995). Glossary. In J. Aitken-Christie, T. Kozai, & M. A. L. Smith (Eds.), *Automation and Environmental Control in Plant Tissue Culture* (pp. ix–xii). Dordrecht: Kluwer.

Aké Assi, E., Kouassi, A. F., N’Goran, K. B., Yao, K., & N’Guessan, K. (2018). Diversité floristique des plantes à potentialité décorative issues des formations naturelles de la flore du sud de la Côte d’Ivoire. *Revue de l’Environnement et de la Biodiversité PASRES*, 3(2), 12-30.

Arditti, J., Arditti, M., & Ernst, R. (1984). Some structural and physiological features which facilitate the survival of orchids. In W. K. Tan (Ed.), *Proceedings of the 11th World Orchid Conference* (pp. 102–105). Miami: International Press.

Asao, T., Asaduzzaman, M., Mondal, M.F., Tokura, M., Adachi, F., Ueno, M., Kawaguchi, M., Yano, S., & Ban, T. (2013). Impact of reduced potassium nitrate concentrations in nutrient solution on the growth, yield and fruit quality of melon in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 164, 221–231.

Audate, P. P., Fernandez, M. A., Cloutier, G., & Lebel, A. (2018). Impacts of Urban Agriculture on the Determinants of Health: Scoping Review Protocol. *JMIR Research Protocols*, 7(3), e89. <https://doi.org/10.2196/resprot.9427>.

Aufdenberg, D. (2022). Hydroponics for beginners: Leafy greens & herbs. University of Missouri Extension. Retrieved from <https://projects.sare.org/wp-content/uploads/Leafy-Greens-Hydroponic-publication2022.pdf>

Baron, D., Ferreira, G., Boaro, C., Domingos, R., Amaro, A., & Mischán, M. (2015). The Effect of the Ionic Strength of Nutrient Solution on Gas Exchange, Ionic Concentration and Leaf Biomass of *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer Variety ‘Terra-Fria’ Seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 38, 1944–1960.

Références bibliographiques

Baron, K. (2023, août 7). Worried about your sick aloe vera plant? Here's how to save it: Tips on how to identify and care for a sick aloe vera plant [Article]. HappySprout. Récupéré sur <https://www.happysprout.com/>.

BELBACHIR, M. (2017). Production de fourrage par techniques hydroponiques. Cas de l'orge à Sidi mdjahed, commune de Béni Bousaid. Université de Tlemcen.

BENDIFF, A. (2016). Étude comparative de différents substrats pour la production de tomate hors sol. Université de Mostaganem.

Bertrand, M. (2022, Mai 4). Comment créer un joli massif de fleurs pour décorer le jardin ou l'espace devant la maison [Article]. Archzine.fr. Récupéré sur <https://archzine.fr/>.

Bufalo, J., Rodrigues, T.M., de Almeida, L.F.R., dos Santos Tozin, L.R., Marques, M.O.M., & Boaro, C.S.F. (2016). PEG-induced osmotic stress in *Mentha x piperita* L.: Structural features and metabolic responses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 174–184.

Bugbee, B. (2004). Nutrient Management in Recirculating Hydroponic Culture. *HortTechnology*, 14(4), 544-549.

Cambra, C., Sendra, S., Lloret, J., & Lacuesta, R. (2018). Smart system for bicarbonate control in irrigation for hydroponic precision farming. *Sensors*, 18(5), 1333.

Castillo FS, Perez EC and Magaa EC (2012). Development of alternative crop systems for production of vegetables in hydroponics. *Acta Hort.*, 947: 399–408. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.947.22>

Chawla, R. (2023, December 1). Hydroponics: Growing the Future of Sustainable Farming. Article ID: 44699. Research Scholar, Agricultural and Food Engineering Department, Indian Institute of Technology Kharagpur. Volume 05 - Issue 12, 302.

Chen, N. N. (2009). Food, medicine, and the quest for good health: nutrition, medicine, and culture. New York: Columbia University Press.

CHOUARD, P., RENAUD, V. (1961). Mise au point de cultures hydroponiques au Sahara : premiers résultats obtenus. *CR. Acad. AGR. Fr.*, 47p: 922-1013.

Chowdhuri, T. K., & Deka, K. (2019). Biodiversity and conservation of ornamental crops. In P. E. Rajasekharan & V. R. Rao (Eds.), *Conservation and utilization of horticultural genetic resources* (pp. 139-161). Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3669-0_6

Cohen, J. (1994). The Earth Is Round ($p < .05$). *American Psychologist*, 49(12), 997-1003.

Dafni, A., Lev, E., Beckmann, S., & Eichberger, C. (2006). Ritual plants of Muslim graveyards in northern Israel. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2, 38. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-2-38>.

De Baillencourt, F. (2000). Etude de la filière horticole Réunionnaise. *Rapport résumé Réunionnaise*, Lyon-France, 14p.

De Kreijl, C., Voogt, W., & Baas, R. (1999). Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG), Naaldwijk, The Netherlands, Brochure 196.

De, L.C. (2017). Improvement of ornamental plants - a review. *International Journal of Horticulture*, 7(22), 180-204. Doi : 10.5376/ijh.2017.07.0022.

Debangshi, U. (2021). An International E-magazine Hydroponics – An Overview. *Chronicle of Bioresource Management*, 5(3), 110-114. Institute of Agriculture, Visva-Bharati, Sriniketan, West Bengal (731 236), India.

Domingues, D. S., Takahashi, H. W., Camara, C. A. P., & Nixdorf, S. L. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 53-61.

Duchemin, E., Wegmuller, F., & Legault, A.-M. (2010). Agriculture urbaine : un outil multidimensionnel pour le développement des quartiers. *Vertigo*, 10(2). <https://doi.org/10.4000/vertigo.10436>.

Ebel, R., Fallahi, E., Griffis, J.L., Nandwani, D., Nolan, D., Penhallegon, R.H., & Rogers, M. (2020). Urban Horticulture, from Local Initiatives to Global Success Stories. *HortTechnology*, 30, 4–5.

Références bibliographiques

Fabricant, D. S., & Farnsworth, N. R. (2001). The value of plants used in traditional medicine for drug discovery. *Environmental Health Perspectives*, 109(Suppl 1), 69–75.

Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. Sage.

Finkel, I. L. (1988). The Hanging Gardens of Babylon. In P. A. Clayton & M. J. Price (Eds.), *The Seven Wonders of the Ancient World* (pp. 38–58). New York: Routledge.

Fisher, R.A. (1925). *Statistical Methods for Research Workers*. Oliver and Boyd.

Folds, E., (2018). Where did hydroponics come from? Available at <https://medium.com/@evanfolds/thehistory-of-hydroponics-99eb6628d205>. Accessed on 16-08-2021.

Garcia E., et al. (2019). Root development and nutrient uptake in hydroponic systems. *Journal of Plant Nutrition*, 30(2), 112-125.

García Pérez, G. (2014). *El árbol sagrado en España*. Madrid: UPM.

Germanà, M. A., Piccioni, E., & Standardi, A. (1999). Effects of encapsulation on *Citrus reticulata* Blanco somatic embryo conversion. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 55, 235–237.

Goddek S, Joyce A, Kotzen B, and Burnell GM, (2019). Aquaponics food production systems. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>.

Goodman, W., & Minner, J. (2019). Will the urban agricultural revolution be vertical and soilless? A case study of controlled environment agriculture in New York City. *Land use policy*, 83, 160-173.

Gruda, N., Gianquinto, G. P., Tuzel, Y., & Savvas, D. (2017). Culture: Soilless. In R. Lal (Ed.), *Encyclopedia of Soil Science* (3rd ed., Vol. i–iii, pp. 533–537). CRC Press-Taylor & Francis Group.

HABBAS, M. (2018). *Essai de quelques cultures sous un système hydroponique dans la Région de Biskra*. Université Mohamed Khider de Biskra.

Hopkins, W. G. (2007). Introduction. In K. J. Young (Ed2.), *Ethnobotany* (p364.). New York: Infobase Publishing.

Références bibliographiques

Ipeki, Z., & Gozukirmizi, N. (2003). Direct somatic embryogenesis and synthetic seed production from *Paulownia elongata*. *Plant Cell Reports*, 22(1), 16–24.

Janeiro, L. V., Ballester, A., & Vieitez, A. M. (1997). In vitro response of encapsulated somatic embryos of camellia. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 51, 119–125.

Jensen, M.H. (1999). Hydroponics worldwide. *Acta Horticulturae*, 2, 719–730.

Jeong, R. B., Fujiwara, K., & Kozai, T. (1995). Environmental control and photoautotrophic micropropagation. In J. Janick (Ed.), *Horticultural Reviews* (Vol. 17, pp. 125–172). New York: Wiley.

Johnson, C., & Brown, D. (2019). Effects of light quality on plant growth and biomass allocation: a meta-analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 278, 107-115.

Jones B. (2018). Hydroponic crop production: a practical guide for beginners. Hydroponics Publishing, 10-25.

Jones Jr., J. B. (2005). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press.

Jones Jr., J.B. (2016). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press. ISBN : 978-1439878675.

Jones, J.B. (1997). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. St. Lucie Press, Boca Raton, Fla.

Kaei-Kazzaz KA and El-Kazzaz AA (2017). Soilless agriculture, a new and advanced method for agriculture development: an introduction. *Agri. Res. and Tech.: Open Access J.*, 3 (2): 63–72. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2017.03.555610>.

Kahola, P. K., Katembo, J.-L. K., Tshimanga, B. M., & Assani, N. S. (2016). État des lieux du charbon de bois dans la ville de Kisangani. Kisangani : Université de Kisangani, Centre de Surveillance de la Biodiversité.

KASMI, M., TAYAR, F. (2019). Valorisation du Ghott par système hydroponique (cas de kouinine). Université Echahid Hamma Lakhdar - El OUED.

Kleinbaum, D.G., Kupper, L.L., Nizam, A., & Muller, K.E. (2014). *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*. Cengage Learning.

Références bibliographiques

Kodjo. (2015). La culture hors sol ou hydroponie : une technique à vulgariser. Production végétale ANADRER/DR Sud (Abidjan), 3p.

Lambardi, M., & De Carlo, A. (2003). Application of tissue culture to the germplasm conservation of temperate broad-leaf trees. In S. M. Jain & K. Ishii (Eds.), *Micropropagation of Woody Trees and Fruits* (pp. 815–840). Dordrecht: Kluwer Academic.

Larkin, R. M. (2014). Influences of plant genotype and environment on nutrient acquisition. In R. M. Larkin (Ed.), *Annual Plant Reviews, Volume 47: Mineral Nutrition of Higher Plants*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118829783>.

Lee, S., & Lee, J. (2015). Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. **Scientia Horticulturae*, 195, * 206–215. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.011.

Leonard, C. (2023, avril 15). Want to avoid itchy rashes this spring? Here's how to get rid of poison ivy from your garden or yard: Steps on how to rid of poison ivy safely [Article]. HappySprout. Récupéré sur <https://www.happysprout.com/gardening/how-to-get-rid-of-poison-ivy/>

Leonard, C. (2024, février 11). These incredible indoor succulents are our favorites: Great indoor succulents to add to your collection [Article]. HappySprout. Récupéré sur <https://www.happysprout.com/>

Li H, and Cheng Z (2014). Hoagland nutrient solution promotes the growth of cucumber seedlings under light-emitting diode light. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science*, 65 (1): 74–82. <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.967285>

Lippert, F. (1993). Amounts of organic constituents in tomato cultivated in open and closed hydroponic systems. *Acta Horticulturae*, 339, 113–124.

Lu, N., & Shimamura, S. (2018). Protocols, Issues and Potential Improvements of Current Cultivation Systems. In T. Kozai (Ed.), *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms* (pp. 31–49). Springer.

Références bibliographiques

Malik, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P., & Negi, A. (2014). A Review on The Science of Growing Crops without Soil (Soilless Culture)-A Novel Alternative for Growing Crops. *International Journal of Agricultural and Crop Sciences*, 7, 833–842.

Mamta D and Sardare (2013). A review on plant without soil – Hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2: 299–304.

Marschner, H. (2011). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.

Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.)*. Academic Press.

McDonald, J.H. (2014). *Handbook of Biological Statistics (3rd ed.)*. Sparky House Publishing.

Miller, A., (2011). A Critical Appraisal of Current Development in Vertical Farming. *Carleton University publisher* 8(15), 23-45.

Mishra, S., Karetha, K. M., Yau, Y. Y., & Easterling, M. (2022). Vertical Cultivation: Moving Towards a Sustainable and Ecofriendly Farming. In *Biotechnological Innovations for Environmental Bioremediation* (pp. 487-507). Singapore: Springer Nature Singapore.

Mukherjee, P. K., Venkatesan, K., Mainak, M., & Peter, H. (2007). *Acorus calamus: scientific validation of Ayurvedic Tradition from natural resources*. *Pharmaceutical Biology*, 45(8), 651–666.

Muñoz, H. (2022). *Hydroponics Manual: Home-Based Vegetable Production System*. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA): San Jose, Costa Rica. Retrieved March 8, 2022, from <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11648>

Nguyen, S. (2023, janvier 20). 5 easy-care spider plant varieties perfect for any home garden: Add these lush, productive spider plants to your collection [Article]. HappySprout. Récupéré sur <https://www.happysprout.com/>

Nielsen, C. J., Ferrin, D. M., & Stanghellini, M. E. (2006). Efficacy of biosurfactants in the management of *Phytophthora capsici* on pepper in recirculating hydroponic systems. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 28(3), 450-460.

Références bibliographiques

Nilanjan Bhattacharya (2017). Hydroponics: Producing plants In-vitro on artificial support medium. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 8 (4): 224–229.

Nirmal Kumar, J. I., Soni, H., & Kumar, R. N. (2005). Aesthetic values of selected floral elements of Khatana and Waghai forests of Dangs, Western Ghats. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 4(3), 275–286.

Olle, M., Ngouajio, M., & Siomos, A. (2012). Vegetable quality and productivity as influenced by growing medium: A review. *Zemdirbyste-Agriculture*, 99, 399–408.

Oloyede, F. A. (2012). Survey of ornamental ferns, their morphology and uses for environmental protection, improvement and management. *Ife Journal of Science*, 14(2), 245–252.

Onishi, N., Sakamoto, Y., & Hirosawa, T. (1994). Synthetic seeds as an application of mass production of embryos. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 39, 137.

Palma, M. A., Hall, C. A., & Collart, A. (2011). Repeat buying behavior for ornamental plants: A consumer profile. *Journal of Food Distribution Research*, 42(2), 67–77.

Palma, M. A., Hall, C. A., & Collart, A. (2011). Repeat buying behavior for ornamental plants: A consumer profile. *Journal of Food Distribution Research*, 42(2), 67–77.

Panis, B., & Lambardi, M. (2005, March 5–7). Status of cryopreservation technologies in plants (crops and forest trees). In FAO (Ed.), *Proceedings of the International Workshop "The Role of Biotechnology for the Characterisation and Conservation of Crop, Forestry, Animal and Fishery Genetic Resources"*, Turin (Italy), pp. 43–54.

Panis, B., & Lambardi, M. (2005, March 5–7). Status of cryopreservation technologies in plants (crops and forest trees). In FAO (Ed.), *Proceedings of the International Workshop "The Role of Biotechnology for the Characterisation and Conservation of Crop, Forestry, Animal and Fishery Genetic Resources"*, Turin, Italy (pp. 43–54).

Références bibliographiques

PANT, et al. (2018). Vegetable Cultivation under Hydroponics in Himalayas: Challenges and Opportunities. *Defence Life Science Journal*, 3(2). DOI: 10.14429/dlsj.3.12575.

Paolo S, Nicoletto et al. (2019). Hydroponic solutions for soilless production systems: Issues and opportunities in a smart agriculture perspective. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>.

Pattnaik, S., & Chand, P. K. (2000). Morphogenic response of the alginate-encapsulated axillary buds from in vitro shoot cultures of six mulberries. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 60, 177–185.

Phillips, K. (2023, 26 octobre). Un guide des plantes ornementales avec des noms : types, soins et avantages. Récupéré sur <https://garvillo.com/fr/plantes-ornementales-avec-des-noms/>.

Pignata, G., Casale, M., & Nicola, S. (2017). Water and nutrient supply in horticultural crops grown in soilless culture: resource efficiency in dynamic and intensive systems. *Advances in research on fertilization management of vegetable crops*, 183-219.

Pochettino, M. L., Puentes, J. P., Buet Costantino, F., Arenas, P. M., Ulibarri, E. A., & Hurrell, J. A. (2012). Functional foods and nutraceuticals in a market of Bolivian immigrants in Buenos Aires (Argentina). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2012/320193>.

Pretty J (2020). New opportunities for the redesign of agricultural and food systems. *Agriculture and Human Values*. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10056-2>.

Radji, R., Kokou, K., & Akpagana, K. (2010). Étude diagnostique de la flore ornementale Togolaise. *Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(2), 491-508. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i2.58>.

Ramanitarivo, L., & Poncin, A. (2008). *Horticulture ornementale écologique : connaître le consommateur pour orienter les décisions*. Equiterre, Québec, 87 p.

Rates, S. M. K. (2001). Plants as source of drugs. *Toxicon*, 39(5), 603–613.

Refouvelet, E., Le Nours, S., Tallon, C., & Daguin, F. (1998). A new method for in vitro propagation of lilac (*Syringa vulgaris* L.): Regrowth and storage conditions for

Références bibliographiques

axillary buds encapsulated in alginate beads, development of a pre-acclimatization stage. *Scientia Horticulturae*, 74, 233–241.

Relf, P. D., & Lohr, V. I. (2003). Human issues in horticulture. *Hortscience*, 38(5), 984–993.

Resh, H. M. (2012). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower (7th ed.)*. CRC Press.

Resh, H. M., & Howard, A. (2004). *Hydroponic Food Production*. CRC Press, 157.

Resh, H.M. (1993). *Hydroponic food production*. California: Woodbridge Press Publishing Company.

Resh, H.M., (1998). *Hydroponics: Questions and answers for successful growing*. Woodbridge Publisher 5(4), 12-23.

Rieul, L., & Ruelle, P. (2003). *Irrigation*. Cemagref Editions. (Pp. 344).

Rouphael, Y., & Colla, G. (2005). Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Scientia Horticulturae*, 105(2), 177-195.

Ruffoni, B., Giovannini, A., Semeria, L., & Savona, M. (2002). Embriogenesi somatica e seme artificiale in alcune specie floricole. *Italus Hortus*, 9, 84–88.

Ruxton, G.D., & Beauchamp, G. (2008). Time for some a priori thinking about post hoc testing. *Behavioral Ecology*, 19(3), 690-693.

Ryan, J. C. (2010). Towards a corporeal aesthetics of plants: Ethnographies of embodied appreciation along the wildflower trail. *Continuum*, 24(4), 543–557.

Ryan, J. C. (2012). Passive flora? Reconsidering nature's agency through human-plant studies (HPS). *Societies*. <https://doi.org/10.3390/soc2030101>.

Ryan, J. C. (2012). Passive flora? Reconsidering nature's agency through human-plant studies (HPS). *Societies*. <https://doi.org/10.3390/soc2030101>.

Saiprasad, G. V. S. (2001). Artificial seeds and their applications. *Resonance*, 39–47.

Références bibliographiques

Saiprasad, G. V. S., & Polisetty, R. (2003). Propagation of three orchid genera using encapsulated protocorm-like bodies. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*, 39, 42–48.

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology* (4th ed.). Wadsworth Publishing.

Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in horticultural production. In D. Savvas & N. Gruda (Eds.), *Soilless Culture: Theory and Practice* (pp. 179-208). Elsevier.

Savvas, D., & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 66-81. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.002>.

Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., & Gruda, N. (2013). Soilless Culture. In *FAO Plant Production and Protection Paper No. 217: Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops*; FAO: Rome, Italy, 2013; Volume 217, pp. 303–354.

Schwarz, M. (1995). Soilless Culture Management. In *Advanced Series in Agricultural Sciences*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1995; Volume 24, p. 197.

Seminario, J., Valderrama, M., & Manrique, I. (2003). El yacón : fundamentos para el aprovechamiento d'un recurso promisorio. Lima: CIP-Universidad Nacional de Cajamarca-COSUDE.

Sharma, G., Alka, D., & Kumar, M. (2014). Medico-ethnobotany of plants surveyed and studied in District Bijnor with special emphasis on their medicinal, religious and ornamental significance. *Indian Journal of Applied Research*, 4(6), 40–43.

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(4), 364-371. DOI: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.

Shrestha, A., & Dunn, B. (2013). Hydroponics. Oklahoma Cooperative Extension Services HLA-6442.

Silberbush, M., & Ben-Asher, J. (2001). Simulation study of nutrient uptake by plants from soilless cultures as affected by salinity buildup and transpiration. *Plant and Soil*, 233, 59–69.

Références bibliographiques

Singh, S., Singh, B. S., (2012). Hydroponics – A technique for cultivation of vegetables and medicinal plants. In. Proceedings of 4th Global conference on Horticulture for Food, Nutrition and Livelihood Options Bhubaneshwar, Odisha, India. p.220.

Smith A., et al. (2020). Ornamental plants in urban environments: benefits and challenges. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 15(1), 45-57.

Smith, A., & Jones, B. (2020). Impact of high light intensity on plant growth and development. *Journal of Plant Physiology*, 245(5), 325-332.

Snoussi, S. (1980). Caractérisation de quelques substrats disponible dans la région d'Alger en vue de leurs utilisations en cultures hydroponiques. Thèse Ing Agro INA. Alger.Pp67.

Sonneveld, C. (2000). Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. PhD Thesis, University of Wageningen, The Netherlands.

Soro, G., Wahabi, S. A., Adjiri, O. A., & Soro, N. (2019). Risques sanitaires et environnementaux liés à l'usage des produits phytosanitaires dans l'horticulture à Azaguié (Sud Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 138, 14072-14082. <https://doi.org/10.4314/ajb.v138i1.7>.

Souza, S. V., Gimenes, R. M. T., & Binotto, E. (2019). Economic Viability for Deploying Hydroponic System in Emerging Countries: A Differentiated Risk Adjustment Proposal. *Land Use Policy*, 83, 357–369.

Sowmya RS, and Annapure US (2017). Hydroponics: A soilless agriculture for food production. *Indian Food Industry Mag.*, 36 (5): 27–30.

Sowmya, et al. (2022). Reviews in Agricultural Science, 10, 101–114. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_101.

Specht K, Siebert R, Hartmann I, et al. (2013). Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agriculture and Human Values*, 31 (1): 33–51. <https://doi.org/10.1007/s10460-013-9448-4>

Standardi, A., Micheli, M., & Piccioni, E. (1995). Incapsulamento in alginato di spianti micropropagati. *Italus Hortus*, 2, 46–52.

Sullivan, G.M., & Feinn, R. (2012). Using Effect Size—or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(3), 279-282.

Taghizadeh, R. (2021). Assessing the Potential of Hydroponic Farming to Reduce Food Imports: The Case of Lettuce Production in Sweden.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates, Inc.

Tan, T. K., Loon, W. S., Khor, E., & Loh, C. S. (1998). Infection of *Spathoglottis plicata* (Orchidaceae) seeds by mycorrhizal fungus. *Plant Cell Reports*, 18, 14–19.

Thiault, J. (2004). La maîtrise de la culture hors sol. Bulletin Détail, n° 215. ED. CTIFL. ISSN0758-4334.

Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U. B., & Sawicka, M. (2015). Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(1), 43-54.

Torabi, M., Mokhtarzadeh, A., Mahlooji, M., & Iran, P. (2012). The Role of Hydroponics Technique as a Standard Methodology in Various Aspects of Plant Biology Researches. In *Hydroponics. A Standard Methodology for Plant Biological Researches*; IntechOpen: London, UK; p. 22.

Trivellato Grassi, L., Malheiros, A., Meyre-Silva, C., Buss, Z. S., Monguilhott, E. D., Fröde, T. S., da Silva, K. A., & Souza, M. M. (2013). From popular use to pharmacological validation: a study of the anti-inflammatory, anti-nociceptive and healing effects of *Chenopodium ambrosioides* extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 145(1), 127–138.

Urban, L. (1997). Introduction à la production sous serre (L'irrigation fertilisante en culture hors sol). ED. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 210p.

Valérie, P. (2015). Irrigation, substrats et fertilisation dans la culture hors sol du fraisier, des enjeux pour une production optimisée. Mémoire de maîtrise en sols et environnement. Université Laval.

Van den Eynden, V. (2013). Plants as symbols in Scotland today. In M. Pardo-de-Santayana, A. Pieroni, & R. K. Puri (Eds.), *Ethnobotany in the New Europe: People, health and wild plants resources* (pp. 239–245). New York : Berghahn Books.

Van Os, E. A., Gieling, Th. H., & Ruijs, M. N. A. (2002). Equipment for hydroponic installations. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* (Savvas D; Passam H C, eds), pp 103–141. Embryo Publications, Athens, Greece.

Van Os, E., Gieling, T. H., & Lieth, J. H. (2008). Technical equipment in soilless production systems. In M. Raviv & J. H. Lieth (Eds.), *Soilless Culture: Theory and Practice* (pp. 157-207). Amsterdam : Elsevier.

Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Barceinas-Sanchez, J. D. O., & Sosa-Savedra, J. C. (2022). A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations. *Agriculture*, 12, 646. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>.

Vinci, G., & Rapa, M. (2019). Hydroponic cultivation: Life cycle assessment of substrate choice. *British Food Journal*, 121, 1801–1812.

Vourdoubas, J. (2015). Overview of Heating Greenhouses with Renewable Energy Sources: A Case Study in Crete—Greece. *Journal of Agricultural and Environmental Science*, 4, 70–76.

Vu. D. (2008). Effets de l'environnement sur la croissance et l'accumulation de métabolites secondaires chez DATURA INNOXIA MILL. Cultivé en condition hors sol ; impact des facteurs biotiques et abiotique. Thèse doctorat de l'INPL, science agronomie. Univ lorraine. 237P.

Wolken, R. (2024, janvier 2). A foolproof guide to propagating snake plants: Tips for propagating these popular indoor plants [Article]. HappySprout. Récupéré sur <https://www.happysprout.com/>

Annexe

Tableau 14: Mesures des plantes la première semaine

Semaine1	Poids	Conductivité	salinité	ph	Tds	Température
R1T	7,93	796	0,1	5,51	741	16
R2T	8,45	793	0,1	7,4	735	15,9
R3T	6,86	793	0,1	7,15	737	15,9
R4T	8,66	890	0,1	5,66	828	16
T1T	4,42	5	0	7,75	5	16,9
T2T	7,97	4,3	0	8,47	4	16,8
T3T	8,69	7,3	0	8,15	7	16,8
T4T	15,56	7,4	0	9,55	7	17,1
S1T	2,66	1411	0,5	6,89	1309	19,8
S2T	3,55	1405	0,5	7,02	1303	18,1
S3T	5,05	1402	0,5	7,06	1301	17,9
S4T	3,23	1404	0,5	7,09	1304	18,2
R1S	1,8	1002	0,3	7,03	932	15,7
R2S	1,2	1005	0,3	7,08	935	15,4
R3S	3,02	1008	0,3	7,15	936	15,3
R4S	1,83	1007	0,3	7,25	935	15,8
T1S	2,3	17,3	0	8,24	16	15,4
T2S	2,76	18,5	0	8,13	17	15,5
T3S	2,8	19,7	0	7,91	18	15,5
T4S	1,94	19	0	8,04	17	15,5
S1S	1,02	1600	0,5	7,86	1560	16
S2S	1,1	1590	0,5	7,27	1455	16,1
S3S	1,12	1610	0,5	7,3	1486	15,9
S4S	1,2	1580	0,5	8,1	1420	15,8
R1J	7,45	1000	0,3	7,35	933	16,3
R2J	2,64	1033	0,3	7,35	937	17
R3J	2,3	1001	0,3	7,33	933	15,2
R4J	6,27	1046	0,3	7,39	938	16,6
T1J	4,32	21,1	0	8,3	20	15,2
T2J	5,8	15,2	0	8,2	14	15,4
T3J	7,05	21,3	0	7,99	20	15,2
T4J	6,1	14,3	0	7,89	13	15,1
S1J	8,6	1411	0,5	7,1	1312	18,9
S2J	9,62	1410	0,5	7,18	1317	18,6
S3J	8,84	1415	0,5	7,8	1313	18,6
s4J	9,08	1414	0,5	6,89	1313	18,8
R1A	4,04	960	0,2	7,02	894	16,3
R2A	1,61	880	0,2	7,12	808	15,3
R3A	5,14	970	0,2	7,07	905	16
R4A	7,11	1009	0,3	7,07	933	16,8
T1A	6,12	2,7	0	7,85	2	14,5

Annexe

T2A	3,1	12,9	0	7,8	12	14,5
T3A	3,66	11,2	0	7,61	10	14,3
T4A	8,72	2,8	0	7,36	3	14,4
S1A	4,74	1414	0,5	6,79	1309	18,1
S2A	5,6	1407	0,5	6,91	1314	18
S3A	4,81	1408	0,5	6,94	1307	18,1
S4A	4,09	1403	0,5	6,94	1305	18,02

Tableau 15 : Mesures des plantes la deuxième semaine

Semaine 2	Poids	Conductivité	salinite	ph	Tds	Température
R1T	9,21	772	0,1	7,83	718	18,7
R2T	9,6	755	0,1	6,05	700	18,5
R3T	6,59	775	0,1	6,82	722	18,5
R4T	7,72	893	0,1	6,79	831	18,7
T1T	5,04	16,1	0	8,4	18	18,7
T2T	8,36	18,1	0	7,99	17	18,6
T3T	9,07	11,1	0	8,02	10	18,5
T4T	14,35	18	0	8,02	17	18,6
S1T	3,2	1400	0,5	7,86	1281	18,3
S2T	4,34	1371	0,5	8,11	1277	19,2
S3T	5,73	1370	0,5	8,23	1275	19,4
S4T	4,98	1391	0,5	8,31	1281	18,9
R1S	6,5	975	0,2	6,03	860	15,9
R2S	4,2	977	0,2	7	875	15,6
R3S	4,1	960	0,2	7,2	882	16
R4S	3,8	950	0,2	7,12	879	16
T1S	6,5	15,2	0	7,5	15	16,1
T2S	4,5	10,3	0	7,2	10	16,4
T3S	4,7	9,02	0	8,01	10,02	15,9
T4S	3,9	10,1	0	7,6	9,75	16,4
S1S	1,75	1570	0,5	7,25	1412	15,9
S2S	1,9	1470	0,5	7,02	1375	15,4
S3S	2	1486	0,5	7,12	1405	15
S4S	2,95	1490	0,5	7,85	1393	15,1
R1J	14,52	983	0,3	8,41	919	17,6
R2J	12,23	1021	0,3	7,73	949	17,5
R3J	9,07	981	0,2	7,75	911	17,4
R4J	10,34	1013	0,3	7,84	941	17,3
T1J	80,9	62,7	0	8,54	58	17,3
T2J	14,1	50,7	0	8,34	47	17,1
T3J	15,58	43,9	0	8,12	41	17,2
T4J	11,31	30,9	0	8,19	29	17,3

Annexe

S1J	8,66	1400	0,5	7,15	1305	18
S2J	9,64	1390	0,5	7,4	13010	18,9
S3J	9,01	1420	0,5	7,9	1316	18,7
S4J	9,14	1395	0,6	7,01	1320	18,6
R1A	6,91	925	0,2	9,65	150	18,6
R2A	4,53	856	0,2	11,13	797	19,1
R3A	8,49	160	0,3	10,43	980	19,2
R4A	9,79	1084	0,4	9,41	1006	19,2
T1A	9,48	117,5	0	9,85	109	18,9
T2A	5,18	96,3	0	9,92	90	18,8
T3A	8,64	58,7	0	9,85	55	18,8
T4A	11,46	193,7	0	9,5	180	18,9
S1A	5,21	1433	0,5	8,01	1337	19
S2A	5,25	1451	0,5	7,86	1354	19,2
S3A	5,51	1514	0,6	7,7	1408	19
S4A	7,78	1446	0,5	7,63	1339	19,1

Tableau 16 : Mesures des plantes la troisième semaine

Semane3	Poids	Conductivité	salinite	ph	Tds	Temperature
R1T	13,5	636	0,1	7,83	592	16,8
R2T	13,71	603	0,1	6,05	563	16,9
R3T	9,86	659	0,1	6,82	611	16,9
R4T	11,3	861	0,1	6,79	636	17
T1T	5,4	10,04	0	8,4	9	16,9
T2T	9,1	12,5	0	7,99	12	16,9
T3T	10,54	6,8	0	8,02	6	16,8
T4T	11	8,3	0	8,02	8	16,6
S1T	4,88	1460	0,5	7,86	1364	16,6
S2T	8,64	1452	0,5	8,11	1351	16,8
S3T	11,62	1428	0,5	8,23	1326	16,8
S4T	11,02	1453	0,5	8,31	1351	16,8
R1S	10,03	871	0,2	6,03	809	16,4
R2S	6,56	864	0,2	7	804	16,7
R3S	6,54	835	0,2	7,2	778	16,6
R4S	5,01	812	0,2	7,12	736	15,8
T1S	9,3	14,7	0	7,5	14	16,7
T2S	5,68	7,8	0	7,2	7	16,7
T3S	5,5	8,3	0	8,01	8	16,8
T4S	4,57	6,6	0	7,6	6	16,9
S1S	2,02	1405	0,5	7,25	1306	16,1
S2S	2,47	1410	0,5	7,02	1309	16,3
S3S	2,9	1447	0,5	7,12	1349	16,7

Annexe

S4S	3,93	1411	0,5	7,85	1314	16,3
R1J	13,49	1111	0,3	8,41	1036	15,8
R2J	11,32	1077	0,3	7,73	996	16,3
R3J	9,7	1029	0,2	7,75	938	16,2
R4J	10,01	1110	0,3	7,84	1035	16,4
T1J	10,27	47,4	0	8,54	44	16,4
T2J	16,11	19,6	0	8,34	18	16,4
T3J	13,12	93,1	0	8,12	87	16,3
T4J	9,76	65	0	8,19	60	16
S1J	8,47	1391	0,5	7,15	1298	16,4
S2J	10,99	1442	0,5	7,4	1342	16,3
S3J	9,94	1414	0,5	7,9	1362	16,3
S4J	10,77	1544	0,6	7,01	1439	16,3
R1A	4,51	1128	0,2	9,65	1047	16,3
R2A	4,4	944	0,2	11,13	880	16,5
R3A	9,5	993	0,3	10,43	937	16,4
R4A	9,82	925	0,4	9,41	866	16
T1A	19,43	43,8	0	9,85	40	15,5
T2A	5,29	141,4	0	9,92	132	16,3
T3A	9,81	37,4	0	9,85	35	16,2
T4A	11,3	267	0	9,5	250	16,1
S1A	4,89	1788	0,5	8,01	1680	15,7
S2A	6,82	1455	0,5	7,86	1317	16,3
S3A	9,72	14,8	0,6	7,7	1312	16,1
S4A	8,88	1824	0,5	7,63	1701	16,3

Tableau 17 : Mesures des plantes la quatrième semaine

Semaine4	Poids	Conductivité	salinité	ph	Tds	Température
R1T	11,64	577	0	6,33	539	19,9
R2T	14,42	690	0,1	7,09	639	19,9
R3T	10,2	595	0	7,29	556	19,9
R4T	12,29	813	0,2	7,36	757	20
T1T	5,47	11,4	0	8,42	11	19,6
T2T	8,96	14	0	7,51	13	19,7
T3T	10,68	8,1	0	6,93	8	19,6
T4T	17,5	9,1	0	6,4	9	19,6
S1T	5,3	1486	0,5	8,01	1405	19,4
S2T	9,89	1437	0,5	7,96	1339	19,7
S3T	12,58	1441	0,5	7,83	1340	19,8
S4T	11,4	1486	0,5	7,81	1383	19,9
R1S	11,65	938	0,2	7,83	872	19,7
R2S	8,95	873	0,2	7,51	813	20

Annexe

R3S	8,54	832	0,2	7,72	774	19,8
R4S	6,22	829	0,2	7,44	772	19,9
T1S	5,58	10,1	0	8,59	9	19,7
T2S	7,04	6,3	0	8,41	6	19,8
T3S	5,19	6,7	0	8,05	6	19,7
T4S	4,45	6,5	0	7,99	6	19,7
S1S	2,33	1255	0,4	6,75	1164	19,6
S2S	4,1	1237	0,4	7,6	1150	19,7
S3S	3,37	1262	0,4	7,65	1174	19,6
S4S	4,73	1298	0,4	7,67	1209	19,9
R1J	13,66	1097	0,3	6,29	1020	19,8
R2J	14,36	1058	0,3	7,27	991	19,8
R3J	10,31	987	0,3	7,42	917	19,9
R4J	10,54	1098	0,3	7,44	1022	19,8
T1J	10,76	40,1	0	7,4	38	19,6
T2J	11,03	11,9	0	7,1	11	19,7
T3J	7,45	142	0	6,16	132	19,8
T4J	9,15	76,3	0	6,29	71	19,7
S1J	9,96	1426	0,5	7,74	1315	19,5
S2J	6,74	1542	0,6	7,63	1435	19,7
S3J	9,12	1566	0,6	7,66	1461	19,8
S4J	8,43	1673	0,7	7,7	1552	19,8
R1A	3,87	1116	0,3	6,83	1037	19,9
R2A	3,35	973	0,2	7,66	905	20
R3A	9,68	975	0,2	7,81	905	19,9
R4A	7,03	1043	0,3	7,35	974	20
T1A	14,69	675	0	5,71	624	19,4
T2A	5,45	154,1	0	5,85	143	19,7
T3A	9,07	40,1	0	6,84	38	19,9
T4A	10,9	334	0	6,43	311	19,9
S1A	2,03	1812	0,7	7,27	1689	20
S2A	6,57	1528	0,6	7,74	1420	20,1
S3A	7,44	1482	0,5	7,53	1377	19,9
S4A	7,44	1886	0,8	7,61	1740	20

Résumé

Résumé

Cette étude compare quatre espèces de plantes ornementales (*Syngonium* spp, *Geranium*, *Coleus*, *Anredera cordifolia*) à travers plusieurs critères physiologiques en hydroponie. Les résultats d'ANOVA indiquent des différences significatives entre les espèces pour la longueur des racines, la concentration totale des solides dissous (TDS) et la salinité, mais pas pour la conductivité électrique. Ces différences reflètent l'influence complexe des facteurs génétiques, environnementaux et nutritionnels sur la croissance des plantes en hydroponie. Les recommandations mettent en avant l'importance d'adapter les pratiques de culture aux besoins spécifiques de chaque espèce pour optimiser la santé des plantes et la durabilité des pratiques agricoles.

Mots clés : Hydroponie, espèces de plantes ornementales, ANOVA, croissance des plantes.

Abstract

This study examines four ornamental plant species (*Syngonium* spp, *Geranium*, *Coleus*, *Anredera cordifolia*) across various physiological criteria in hydroponic conditions. Analysis of variance (ANOVA) results revealed significant differences between species concerning root length, total dissolved solids (TDS) concentration, and salinity, though not for electrical conductivity. These variations underscore the intricate impact of genetic, environmental, and nutritional factors on plant growth in hydroponic systems. Recommendations emphasize the necessity of tailoring cultivation practices to the unique requirements of each species to enhance plant health and ensure the sustainability of agricultural practices.

Key words: Hydroponics, ornamental plant species, ANOVA, plant growth.

ملخص

تدرس هذه الدراسة أربعة أنواع من النباتات الزينية (*Syngonium* spp, *Geranium*, *Coleus*, *Anredera cordifolia*) عبر معايير فيزيولوجية مختلفة في ظروف الزراعة المائية. أظهرت نتائج تحليل الانحدار (ANOVA) اختلافات ملحوظة بين الأنواع فيما يتعلق بطول الجذور، تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، وملوحة المحلول، لكن لم تظهر اختلافات بالنسبة للتوصيل الكهربائي. تؤكد هذه التباينات الأثر المعقد للعوامل الوراثية والبيئية والتغذوية على نمو النباتات في نظم الزراعة المائية. تشدد التوصيات على أهمية تكييف ممارسات الزراعة لتلبية احتياجات كل نوع من النباتات لتعزيز صحتها وضمان استدامة الممارسات الزراعية.

الكلمات المفتاحية: الزراعة المائية، أنواع نباتات الزينة، تحليل التباين (ANOVA)، نمو النبات.