

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة د. مولاي الطاهر

Université de Saida Dr MOULAY Tahar



كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

قسم الفلاحة وعلوم التغذية

Département d'Agronomie et sciences de la nutrition

N° d'Ordre

Mémoire de fin d'étude pour obtenir un diplôme master

En biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème

ESSAIE DE PRODUCTION EN HORS SOL D'UNE SOLANACEAE

Présenté par :

- Mr : SERRAR Abdelkader Salaheddine
- Mr : MELLAL Youcef

Soutenu le :

Encadreur

Dr. HASNAOUI Okkacha

Pr Université UMTS

President

Mr. BOUROUAHA Mohamed

MCB Université UMTS

Examinatrice

Mme BENABDESLAM Yasmina

MCA Université UMTS

Année universitaire 2025/2026

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leurs prières qui m'ont éclairé le chemin de la réussite. Que Dieu vous prête longue vie et santé.

À toute ma grande famille, Serrar, pour leur affection.

À mon binôme Youcef, avec qui j'ai partagé les efforts de ce travail.

À tous mes amis, en souvenir des moments passés ensemble à l'Université de Saïda.

À tous mes enseignants, qui m'ont transmis le savoir avec dévouement.

Abdelkader Salaheddine

Dédicaces

À la source de la générosité et à la mélodie de la vie, à ceux qui m'ont soutenu à chaque étape et épaulé face à chaque obstacle...

À mon cher Père, mon pilier et ma force, qui m'a appris que les difficultés se surmontent par la volonté, et qui n'a jamais ménagé ni ses efforts ni ses précieux conseils.

À ma tendre Mère, source de tendresse et mon paradis sur terre, dont les prières nocturnes ont été un rempart protecteur qui m'a toujours préservé.

À ma chère famille, chacun en son nom, avec qui j'ai partagé mes jours et qui a toujours été pour moi le meilleur des soutiens et un havre de paix chaleureux.

À mes fidèles amis, compagnons de route, qui ont partagé mes moments de fatigue et de joie, et qui ont gravé dans ce parcours des souvenirs inoubliables.

À vous tous, je dédie le fruit de ce travail et de cette réussite.

Youcef

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Tout d'abord, nous adressons nos remerciements les plus respectueux à notre encadreur, **Monsieur le Professeur HASNAOUI O.**, de l'Université de Saïda. Nous le remercions pour avoir accepté de diriger ce travail, pour sa disponibilité constante, ses précieux conseils et la rigueur scientifique qu'il nous a inculquée tout au long de cette recherche.

Nos vifs remerciements s'adressent également aux membres du jury qui nous font l'honneur de juger ce travail. Nous tenons à remercier Docteur Mr BOUROUAHA Mohamed pour la présidence de ce travail et Docteur Me BENABDESLAM Yasmina pour évaluer le document. Cette expertise nous permettra sans aucun doute d'améliorer cette expérience de terrain.

Nous tenons à remercier particulièrement le personnel du département d'Agronomie de la **Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Saïda**, pour nous avoir fourni les moyens nécessaires à la réalisation de notre expérimentation sous serre.

Un grand merci à nos camarades de promotion pour l'entraide et les moments de partage, ainsi qu'à tous nos enseignants qui ont veillé à notre formation durant notre cursus universitaire.

Enfin, nous ne saurions oublier de remercier nos familles pour leur soutien moral, leur patience et leurs encouragements permanents, sans lesquels ce travail n'aurait pu voir le jour.

Liste des abréviations

- % : Pourcentage.
- °C : Degré Celsius (unité de mesure de la température).
- **AMV** : *Alfalfa Mosaic Virus* (Virus de la mosaïque de la luzerne).
- **BIP** : Indice de Performance Biologique (*Biological Performance Index*)
- **C** : Carbone.
- **Ca** : Calcium.
- **Cl** : Chlore.
- **cm** : Centimètre.
- **CNCC** : Centre National de Contrôle et de Certification des Semences et Plants (Algérie).
- **FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- **H** : Hydrogène.
- **INRAA** : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.
- **IUPAC** : Union internationale de chimie pure et appliquée (*International Union of Pure and Applied Chemistry*).
- **K** : Potassium.
- **MADRP** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche (Algérie).
- **mètre / m** : Unité de longueur (mètre).
- **Mg** : Magnésium.
- **N.F.T.** : *Nutrient Film Technique* (Technique de culture sur film nutritif).
- **Na** : Sodium.
- **NGS** : *Nutrient Gutter System* (Technique de culture hydroponique / aquiculture en gouttières).
- **ov** : Ovaire supérieur (ou ovaire supère, typique des Solanacées).
- **p** : Pétales (composants de la corolle).

- **P1, P2, P3** : Plante 1, Plante 2, Plante 3 (individus suivis pour chaque traitement).
- **pH** : Potentiel Hydrogène.
- **PLRV** : *Potato Leafroll Virus* (Virus de l'enroulement de la pomme de terre).
- **PVX** : *Potato Virus X* (Virus X de la pomme de terre).
- **PVY** : *Potato Virus Y* (Virus Y de la pomme de terre).
- **T (T1, T2, T3, T4, T5)** : Traitements expérimentaux désignant les différents substrats utilisés dans l'essai:
 - **T1** : Substrat Terreau.
 - **T2** : Substrat Sable.
 - **T3** : Substrat Sciure de bois.
 - **T4** : Substrat Terre agricole / Sol standard.
 - **T5** : Substrat Mixte (combiné).

Liste des tableaux

Tableau 1: tableau de classifications de Solanaceae	33
Tableau 2: Liste des variétés de pommes de terre autorisées à la production et à la commercialisation en Algérie	45
Tableau 3: Effet des différents substrats sur la durée de levée des plantes	60
Tableau 4: Suivi de la croissance des plantes (P1, P2 et P3) dans différents substrats entre le 11/03 et le 30/04	62
Tableau 5: Comparaison des résultats	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure 1: schéma représentant la technique d'aquiculture (NGS).....	7
Figure 2: Schéma de culture aéroponique.	8
Figure 3: Schéma de culture hors sol	9
Figure 4: Classification des seize éléments minéraux essentiels et fertilisants pour la nutrition végétale.	15
Figure 5: Les composants de base des systèmes de fert-irrigation utilisés pour la culture	18
Figure 6: Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre.	34
Figure 7 : Principaux organes extérieurs du tubercule de pomme de terre.	35
Figure 8: Les différentes formes des tubercules de pomme de terre.	36
Figure 9: Composition chimique du tubercule de pomme de terre (U.S. National Nutrient Database).....	37
Figure 10: Inflorescence et fleurs de pomme de terre.	38
Figure 11: Diagramme floral.	38
Figure 12: Evolution physiologique du tubercule de pomme de terre.	39
Figure 13: Les différentes maladies et ravageurs de la pomme de terre.	44
Figure 14: La variété de pomme de terre Alaska.....	46
Figure 15: La pomme de terre rosabelle.....	46
Figure 16: La pomme de terre Michuñe (variété indigène du Chili).....	46
Figure 17: Pomme de terre papa andina, variété corte à chair colorée (Andahuaylas, Pérou).	47
Figure 18: Pommes de terre Amarilla peruanita (Pérou).....	47
Figure 19: Exemple de différentes variétés de pommes de terre.....	47
Figure 20: Des sacs en plastique souple	53
Figure 21: Outils de terrassement et de mélange.....	53
Figure 22: La variété Margarita.....	54

Figure 23: Échantillon de terreau de compostage comme substrat alternatif.....	55
Figure 24: Échantillon de Sable comme substrat alternatif.....	55
Figure 25: Échantillon de La Sciure de bois comme substrat alternatif.....	56
Figure 26: Échantillon de La Terre agricole / Sol standard comme substrat alternatif.....	56
Figure 27: Échantillon de Le Substrat mixte comme substrat alternatif.	57
Figure 28: Comparaison des durées de levée par type de substrat	60
Figure 29: Suivi de la croissance moyenne (cm) des plantes (p1, p2, p3) par milieu (variété margarita ; hors-sol)	62
Figure 30: Réponse de croissance de la variété Margarita sur le substrat combiné (T5).	64
Figure 31 : État des lieux de la levée sur terre agricole (T4) en condition hors-sol.	64
Figure 32 : Comparaison de l'état de surface du substrat sable à la plantation et après un mois d'irrigation.	65
Figure 33 : Aspect du substrat Terreau (T1) au moment de la plantation.	65
Figure 34: Développement végétatif de la pomme de terre sur substrat organique de sciure (T3).	66
Figure 35: État des lieux Essai en plein air (Air libre)	67
Figure 37: comparaison de la croissance des plantes de pomme de terre en plan air et dans la serre	70
Figure 38 : Cinétique de croissance phénologique dans les différents substrats	75

Résumé

. Cette étude porte sur l'évaluation de la production hors sol d'une Solanaceae, la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), variété *margarita*, en utilisant différents substrats de culture. L'expérimentation a été menée au niveau de l'Université Dr Moulay Tahar de Saïda (Algérie) afin d'identifier une alternative viable aux systèmes de culture conventionnels. Cinq types de substrats ont été testés : le terreau (T1), le sable (T2), la sciure de bois (T3), la terre agricole (T4) et un substrat mixte (T5). Le suivi phénologique a duré plus de trois mois sous condition contrôlées. Les semences ont été choisies parmi les meilleures avec un calibrage dépassant les 10 cm pour chaque pomme de terre (semence). La profondeur sous lesquelles étaient mises en terre les semences était de 10 cm en moyenne. Dans le lot de suivi phénologique nous avons pris un lot témoin (plantation dans le sol) dans la serre et un deuxième lot témoin mais à l'extérieur de la serre. Il faut noter que dans chaque expérience des répétitions ont été réalisées à hauteur de 3 et plus par substrat. Des analyses statistiques ont été effectuées. Les observations ont été effectuées à des pas réguliers ; et toutes les modifications morphologiques ont été mentionnées. Les temps de latence et les levées constatées dans chaque expérience ont été enregistrées.

Les résultats obtenus démontrent une supériorité nette du terreau (T1), qui a permis une levée rapide (7 jours) et un développement végétatif vigoureux. En revanche, la sciure de bois et le sable ont montré des limites importantes en termes de croissance et de vitesse de levée. Malgré les conditions idéales pour un développement adéquat dans des contrôlées des différences significatives ont été relevées. La tubérisation a été constatée dans les différents substrats utilisés. Dans la culture du témoin hors serre montre des résultats très significatifs, et meilleures en comparaison avec ceux de la serre.

Cette recherche souligne l'importance des propriétés physiques et chimiques du substrat dans la réussite d'un système hors sol et suggère que l'utilisation de mélanges optimisés à base de ressources locales peut constituer une solution durable pour l'agriculture algérienne.

Mots-clés : *Solanum tuberosum* L., hors sol, substrat, conditions contrôlées ; Tubérisation, phénologie

Abstract

This study focuses on evaluating the soilless production of a Solanaceae, the potato (*Solanum tuberosum* L.), Margarita variety, using different growing substrates. The experiment was conducted at Dr. Moulay Tahar University in Saïda, Algeria, to identify a viable alternative to conventional cultivation systems. Five types of substrates were tested: potting soil (T1), sand (T2), sawdust (T3), topsoil (T4), and a mixed substrate (T5). Phenological monitoring lasted more than three months under controlled conditions. Seeds were selected from the best available, with each potato exceeding 10 cm in diameter. The average planting depth was 10 cm. Within the phenological monitoring group, a control group (planted directly in the ground) was grown in the greenhouse, and a second control group was grown outside the greenhouse. It should be noted that in each experiment, replicates were performed at a rate of 3 or more per substrate. Statistical analyses were carried out. Observations were made at regular intervals, and all morphological changes were recorded. Lag times and emergence observed in each experiment were recorded.

The results obtained demonstrate a clear superiority of the potting soil (T1), which allowed for rapid emergence (7 days) and vigorous vegetative development. In contrast, sawdust and sand showed significant limitations in terms of growth and emergence rate. Despite ideal conditions for adequate development in the controlled plots, significant differences were observed. Tuberization was observed in the different substrates used. The control culture outside the greenhouse showed highly significant results, and better results compared to those in the greenhouse.

This research highlights the importance of the substrate's physical and chemical properties for the success of a soilless growing system and suggests that using optimized mixtures based on local resources could be a sustainable solution for Algerian agriculture.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., soilless growing, substrate, controlled conditions; Tuberization, phenology.

ملخص

تركز هذه الدراسة على تقييم إنتاج البطاطا (*Solanum tuberosum* L.)، صنف مارغريتا، من الفصيلة الباذنجانية، بدون تربة، باستخدام ركائز زراعية مختلفة. أُجريت التجربة في جامعة الدكتور مولاي طاهر في صيدا، الجزائر، لتحديد بديل عملي لأنظمة الزراعة التقليدية. تم اختبار خمسة أنواع من الركائز: تربة الزراعة (T1)، الرمل (T2)، نشارة الخشب (T3)، التربة السطحية (T4)، وركيزة مختلطة (T5). استمرت المراقبة الفينولوجية لأكثر من ثلاثة أشهر في ظل ظروف مُحكمة. تم اختيار البذور من أفضل البذور المتاحة، بحيث يزيد قطر كل حبة بطاطا عن 10 سم. كان متوسط عمق الزراعة 10 سم. ضمن مجموعة المراقبة الفينولوجية، زُرعت مجموعة ضابطة (مزرعة مباشرة في الأرض) في الدفيئة، وزُرعت مجموعة ضابطة ثانية خارج الدفيئة. تجدر الإشارة إلى أنه في كل تجربة، تم إجراء ثلاث تكرارات أو أكثر لكل ركيزة. أُجريت تحليلات إحصائية. أُجريت الملاحظات على فترات منتظمة، وسُجّلت جميع التغيرات المورفولوجية. كما سُجّلت فترات التأخر والإنبات في كل تجربة.

تُظهر النتائج المُتحصّل عليها تفوّقاً واضحاً لتربة الأصوص (T1)، التي سمحت بإنبات سريع (7 أيام) ونمو خضري قوي. في المقابل، أظهر نشارة الخشب والرمل قيوداً كبيرة من حيث معدل النمو والإنبات. على الرغم من توفير الظروف المثالية للنمو الكافي في قطع الأراضي المُراقبة، فقد لوحظت اختلافات كبيرة. كما لوحظ تكوّن الدرنات في الركائز المختلفة المُستخدمة. أظهرت الزراعة المُراقبة خارج الدفيئة نتائج ذات دلالة إحصائية عالية، ونتائج أفضل مقارنةً بتلك التي أُجريت داخل الدفيئة.

يُسلّط هذا البحث الضوء على أهمية الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركيزة لنجاح نظام الزراعة بدون تربة، ويُشير إلى أن استخدام خلطات مُحسّنة تعتمد على الموارد المحلية قد يكون حلاً مُستداماً للزراعة الجزائرية.

الكلمات المفتاحية: *Solanum tuberosum* L.، الزراعة بدون تربة، الركيزة، ظروف مُراقبة؛

تكوّن الدرنات، الفينولوجيا.

Table des matières

Introduction	1
I.1. Chapitre 1 : la culture hors sol	5
I.1.1. Aperçu sur la culture hors sol.....	5
I.1.2. Progression de la culture hors sol.....	5
I.1.2.1. Dans le monde.....	5
I.1.2.2. En Algérie	6
I.1.3. Culture sans substrat	6
I.1.3.1. Aquaculture	6
I.1.3.2. Culture aéroponique	7
I.1.3.3. Technique du film nutritif ou N.F.T :.....	8
I.1.3.4. Substrat ou systèmes agrégés	9
I.1.4. Différentes composantes du système hydroponique	9
I.1.4.1. Conteneurs.....	14
I.1.4.2. . Réseau de distribution	16
I.1.5. Intérêts et utilisations des cultures hors sol.....	18
I.1.5.1. Cultures légumières sous serres	18
I.1.6. Limites et inconvénients	20
I.1.7. La serre.....	20
I.1.7.1. Définition	20
I.1.7.2. Les différents types de serre.....	21
Chapitre 2 : les solanacées.....	25
II.1. Les Solanacées	25
II.1.1. Étymologie des Solanacées.....	25
II.1.2. Répartition des Solanacées	25
II.1.3. Description des Solanacées.....	26
II.1.3.1. Appareil végétatif.....	26
II.1.3.2. Appareil reproducteur des Solanacées	26
II.1.3.3. Variabilité morphologique	27
II.1.3.3.1. Le nombre de carpelles formant le gynécée :	27
II.1.3.3.2. Le nombre de locules dans l'ovaire :	28
II.1.3.3.3. Les types d'ovules et leur nombre :	28

II.1.4. Composition chimique	28
II.1.4.1. Alcaloïdes	29
II.2. Pomme de terre (<i>Solanum tuberosum</i>).....	31
II.2.1.1. Position de l'espèce dans la classification.....	32
II.2.2. Botanique	33
II.2.2.1. Description morphologique	33
II.2.2.1.1. Partie aérienne.....	33
II.2.2.1.2. Partie souterraine	33
II.2.3.1.3 - Structure du tubercule.....	35
II.2.3. Les caractéristiques du tubercule	36
II.2.3.1. La forme.....	36
II.2.3.2. La couleur	36
II.2.3.3. Composition chimique du tubercule	36
II.2.4. Appareil reproducteur de Pomme de terre (<i>Solanum tuberosum</i>)	37
II.2.4.1. Fleurs et inflorescence	37
II.2.4.2. Cycle sexué	38
II.2.4.3. Cycle végétatif	39
II.2.4.3.1. Dormance	39
II.2.4.3.2. Germination	39
II.2.4.3.3. Tubérisation	40
II.2.5. Exigences écologiques de la pomme de terre	40
II.2.5.1. Exigences climatiques.....	40
II.2.5.1.1. Température	40
II.2.5.1.2. Lumière	40
II.2.6. Exigences édaphiques	40
II.2.6.1. Structure et texture du sol	40
II.2.6.2. pH.....	41
II.2.6.3. Salinité	41
II.2.7. Maladies et ravageurs	41
II.2.7.1. Maladies cryptogamiques	41
II.2.7.2. Maladies bactériennes	42
II.2.7.3. Maladies virales	43
II.2.7.4. Insectes et ravageurs	43

II.2.8. Différentes variétés cultivées en Algérie	44
Chapitre 1 : Matériel et Méthodes	52
II.3. Objectifs de l'étude.....	52
II.4. Présentation de la Zone d'Étude	52
II.4.1. Situation Géographique	52
II.4.2. Description de l'Infrastructure (La Serre)	52
II.4.3. Conditions expérimentales de l'Essai.....	52
II.5. Matériels :	52
II.5.1. Matériel de culture et dispositif expérimental	52
II.5.1.1. Matériel technique et outillage (Fig. 20 et 21).....	53
II.5.2. Matériel végétal	53
II.5.2.1. Caractéristiques de la variété Margarita	54
II.5.2.2. Préparation des semences	54
II.5.2.3. Le Terreau (T1).....	55
II.5.2.4. Le Sable (T2)	55
II.5.2.5. La Sciure de bois (T3)	56
II.5.2.6. La Terre agricole / Sol standard (T4).....	56
II.5.2.7. Le Substrat mixte (T5).....	56
II.5.2.8. Dispositif expérimental.....	57
II.5.2.9. 3.2. Conduite de la culture (Itinéraire technique)	58
II.5.3. Chapitre II : Résultats et Discussion.....	60
II.5.4. Essai en plein air (Air libre).....	66
II.5.4.1. Substrat et caractéristiques générales.....	66
• Substrat :	66
• Profondeur moyenne de plantation :	66
• Nombre de pieds :	66
• Nombre moyen de tiges aériennes :	66
II.5.4.2. Suivi de la croissance des plants.....	66
II.5.4.3. Conditions expérimentales.....	67
II.5.4.4. Conditions climatiques observées.....	67
II.5.4.5. Observations générales	67
• Tubérisation observée :	68

II.5.5. Témoin intérieur de la serre	68
II.5.5.1. Conditions expérimentales	68
II.5.5.2. Préparation et conduite de l'essai	68
II.5.5.3. Suivi de la croissance des plants	68
II.5.5.4. Effets observés	69
II.5.6. Conclusion générale.....	70
Discussion.....	73
FAO	78

INTRODUCTION

Introduction

L'agriculture est une activité pratiquée par l'homme, depuis des milliers d'années, pour répondre à ses besoins alimentaires. Elle utilise le sol comme milieu ou substrat contenant les éléments nécessaires pour la croissance des plantes. Avec la maîtrise de cette activité et grâce au progrès scientifique et technologique qu'a connu le secteur agricole, il est devenu possible de mener cette activité en utilisant autres substrats, voire sans substrat. Ainsi est née la culture hors sol. Ce type de culture regroupe plusieurs techniques innovantes qui se différencient par le mode d'apport des éléments nutritifs dont les plantes ont besoin pour leur croissance (Essadaoui, 2013).

Les cultures hors sol représentent actuellement une mutation technique importante sur les exploitations permettant de mieux s'adapter aux données économiques du marché et en optimisant un maximum de facteurs. Elles occupent 800 ha en France, plus de 3000 ha aux Pays Bas 1 000 ha en Belgique et 30 ha en Suisse. La culture hors sol a reçu également beaucoup d'importance aux USA, en URSS, au Japon, en Inde et dans certains pays du Moyen orient. (Sedki et Mimouni, 1995).

En Algérie l'intérêt de la culture permet à l'agriculteur de s'installer dans les régions les plus défavorables, là où le sol fait défaut à condition que les substrats inertes soient disponibles, ainsi, les premiers travaux en Algérie ont été réalisés lors de la mise au point des cultures hors sol au Sahara à Béni-Abbès (Chouard, 1952). Parmi les principales raisons d'introduction de la culture hors sol en Algérie figurent l'élimination des problèmes liés aux sols tels que les maladies et la fatigue (Sedki et Mimouni, 1995).

Cependant le procédé de la culture hors sol semble être un moyen possible pour y remédier à une telle situation avec une bonne maîtrise de l'alimentation hydrique et minérale ce qui conduira l'Algérie à rehausser sa production en qualité notamment sur la majeure partie de son territoire où se trouvent les zones semi aride et aride et où les méthodes classiques ne donnent pas satisfaction en agriculture (Bouhadja, 2008). La culture hors sol relève des nouvelles technologies de production agricole où le sol naturel est remplacé par un substrat

de culture artificiel (Kouassi, 2009). Elle est réalisée sur substrat neutre et inerte (ex : fibre de coco, billes d'argile, laine de roche etc).

Le substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte les sels minéraux et nutriments essentiels à la plante. La culture hors sol est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains fruits et légumes. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nyctéméral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an (FAO, 2014).

C'est une solution lorsque le sol naturel souffre de contraintes incorrigibles (terrain rocailleux, hydromorphes, salés,...), alors que tous les autres facteurs (climat, disponibilité et qualité de l'eau, proximité et prix du marché,...) sont favorables. Contrairement à la culture conventionnelle ou traditionnelle dans laquelle le sol est utilisé comme réservoir des sels nutritifs, la culture hors sol utilise des substrats tels que : le sable, les billes d'argile, la pouzzolane et la laine de roche. Ces derniers constituent un support pour les éléments de la solution nutritive apportée aux plantes. Ce support solide inerte n'est pas indispensable puisque plusieurs technologies sans substrat sont également fonctionnelles (Essadaoui, 2013).

Face aux enjeux environnementaux et économiques actuels et au changement climatique, les petits exploitants et les agriculteurs familiaux, et plus particulièrement ceux pratiquant l'agriculture traditionnelle, peuvent représenter de véritables solutions pour la sécurité alimentaire, la conservation des ressources naturelles et le développement rural durable s'ils bénéficient de politiques et d'investissements adéquats. Les agriculteurs ont mis au point un système hors sol unique où les plantes peuvent pousser sur l'eau offrant à la population locale de nombreux avantages sociaux, économiques, agricoles et écologiques. Cette technique de culture traditionnelle respectant l'environnement exploite les ressources naturelles des terres humides pour cultiver des légumes et d'autres cultures quasiment toute l'année (FAO, 2015).

La pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) représente la troisième culture alimentaire la plus consommée au monde, jouant un rôle pivot dans la sécurité alimentaire mondiale (FAO, 2022). Cependant, les systèmes de production conventionnels font face à des défis croissants, notamment la dégradation des

sols, la rareté des ressources hydriques et la prévalence de maladies telluriques (portées par le sol) comme le mildiou ou la gale commune (Lut Aladio & Castaldi, 2009). Dans ce contexte, les systèmes de culture hors-sol incluant l'hydroponie, l'aéroponie et la culture sur substrats inertes émergent comme des alternatives technologiques prometteuses pour optimiser le rendement et la qualité des tubercules (Tierno & Lopez, 2015).

Le passage d'une culture en pleine terre à une production hors-sol repose sur l'isolation du système racinaire du sol naturel, remplacé par un milieu reconstitué. Cette déconnexion permet un contrôle précis de la fertigation (apport combiné d'eau et de nutriments), réduisant ainsi les pertes d'engrais et le stress hydrique (Raviv & Lieth, 2008). Des études ont démontré que l'utilisation de substrats comme la fibre de bois peut augmenter le rendement jusqu'à 200 % par rapport à la culture en sol, bien que la teneur en matière sèche puisse être légèrement impactée.

En Algérie, la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) s'impose comme une culture stratégique, occupant la première place des productions maraîchères avec une superficie dépassant les 150 000 hectares (MADRP, 2022). Malgré son importance pour la sécurité alimentaire nationale, la filière reste confrontée à des défis majeurs : une dépendance persistante vis-à-vis des importations de semences de base et des contraintes climatiques sévères, notamment le stress hydrique et la salinité des sols dans les régions arides. (Zitouni & Belkhodja., 2015).

Pour pallier ces obstacles, la culture hors-sol se présente comme une alternative technologique clé, particulièrement pour la production de semences de qualité. En Algérie, cette technique est déjà employée par des laboratoires spécialisés (tels que l'ITCMI, l'INRAA ou des structures privées comme SAGRODEV) (INRAA, 2019) pour la multiplication de mini tubercules sains à partir de vitro plants. Ce système permet de s'affranchir des pathologies telluriques et de contrôler rigoureusement l'alimentation hydrique et minérale de la plante (Denden., & Belhadj. 2016 ; Bedrani. 2018).

Les recherches académiques nationales soulignent l'importance de l'optimisation des paramètres de production. Des travaux menés à l'ENSA d'Alger (Ait-Mohamed. 2014) et à l'Université de Tiaret ont exploré l'impact de la densité

de plantation en système hors-sol, démontrant qu'une gestion précise du nombre de plants par mètre carré peut maximiser le rendement en tubercules de calibre G0 (Benmoussa, 2017). Par ailleurs, l'utilisation de substrats locaux, comme les fibres de palmier largement disponibles dans les régions phoenicoles, s'avère être une piste prometteuse et économiquement viable pour remplacer les substrats importés (Bibi & Hamadane, 2018).

L'objectif de ce travail est donc d'analyser les performances des systèmes de culture sur substrat hors-sol ; dans le contexte environnemental algérien. Un choix de différents substrats a été approuvé et un suivi phénologique a été réalisé sur les différentes expériences, afin de proposer des solutions durables pour l'autosuffisance en semences et l'adaptation de la culture aux zones urbaines ; marginales voir même sur les terrasses des habitations et autres d'une part et gérer l'utilisation de l'eau (substance devenue assez rare dans un environnement à tendance aride et semi-aride) d'autres part.

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE



CHAPITRE 1

LA CULTURE HORS SOL

I.1. Chapitre 1 : la culture hors sol

I.1.1. Aperçu sur la culture hors sol

Selon les historiens, la culture de plantes sur l'eau était pratiquée à l'époque des Aztèques et était utilisée pour les jardins suspendus de Babylone. C'est en 1860 que deux chercheurs allemands ont réussi à faire pousser des plantes sur un milieu composé uniquement d'eau et de sels minéraux. Cette découverte a permis de mieux connaître la physiologie de la nutrition et le rôle des éléments minéraux. La technique du hors sol a été introduite en Europe dans les années 70. La culture hors sol s'est, en effet, développée d'abord dans le nord, en Hollande, pays où elle occupe les plus grandes surfaces, ensuite en Belgique, en Espagne, en France, en Italie et en Grèce (Essadaoui, 2013).

La culture hors sol a été initialement une technique de laboratoire visant à étudier en détail le Fonctionnement des plantes. Elle a été utilisée ensuite chez les producteurs à partir des années 70. Pour s'affranchir des parasites telluriques qui devenaient une menace croissante (Titouna, 2010).

Depuis, les techniques de cultures hors sol se sont très largement développées. En Algérie l'intérêt de la culture permet à l'agriculteur de s'installer dans les régions les plus défavorables, là où le sol fait défaut à condition que les substrats soient disponibles. Les premiers travaux en Algérie ont été réalisés lors de la mise au point des cultures hors sol au Sahara à Béni-Abbes. Afin de mieux maîtriser cette technique qui semble être avantageuse en région saharienne (économie d'eau et substrat disponible en grande qualité), diverses expérimentations ont été réalisées afin de se familiariser avec cette nouvelle technique de production et de mieux cerner les problèmes rencontrés en vue de son application dans les régions présentant des défauts de production.

I.1.2. Progression de la culture hors sol

I.1.2.1. Dans le monde

En Europe, quatre pays concentrent la quasi-totalité des cultures hors sol sous serre. Ce sont les Pays-Bas, qui en possèdent les grandes surfaces, suivis de la France, la Belgique et la Grande-Bretagne. Cette approche de production en hors sol est maintenant assez courante dans de nombreux pays ; en particulier dans le bassin méditerranéen plus généralement dans les régions pénalisées par le manque

d'eau (Urban, 1997). Cette technique de culture en hors sol a pris de l'essor dans d'autres pays comme en Suisse et dans certains pays de l'Est au Japon et Afrique du sud (Thiault, 2004).

I.1.2.2. En Algérie

La situation des cultures hydroponiques en Algérie n'évolue guère si ce n'est qu'elle reste au stade expérimental dominé par quelques travaux de recherche. En Algérie, la première expérience de culture hors sol a été la mise en place d'un système hydroponique à Béni-Abbes, au Sahara. Le but de ces travaux portait exclusivement sur l'étude de substrats sableux locaux (Chouard et Renaud, 1961). Malgré le grand potentiel que nous possédons pour les cultures hydroponiques, les cultures hors sol restent peu développées. Elles se limitent à une seule entreprise (CEVIAGRO) qui produit en hors sol dépassant par les 100 ha. Il existe quelques travaux de recherche aux niveaux d'INRAA, l'ENSA et l'ITCMI, mais ces travaux ne sont pas exploités sur le terrain. D'autres entreprises ont vu le jour surtout par les encouragements de l'état qui ont soutenu les agriculteurs.

I.1.3. Culture sans substrat

Les systèmes de culture sans substrat sont considérés comme plus simple puisqu'ils mettent directement en contact la solution nutritive et les racines de la plante : ils évitent donc l'emploi de substrat et les contraintes qu'il occasionne (mise en place, renouvellement) (Morard, 1995). Cette dernière technique facilite la désinfection des installations. Cependant, on doit résoudre les difficultés d'alimentation en oxygène des racines. En effet : une solution nutritive seule ne contenant pas assez d'oxygène dissous nécessite un dispositif pour l'enrichir, pour cela, il existe trois dispositifs différents : l'aquaculture ; la technique du film nutritif (NFT), et l'aéroponique (Morard, 1995).

I.1.3.1. Aquaculture

C'est la méthode la plus ancienne qui correspondant à l'utilisation des premières solutions nutritives, mises au point vers 1860 (Morard, 1995). Initialement cette méthode était utilisée par les scientifiques comme outil de recherche pur comprendre la nutrition de la plante et le fonctionnement des

racines. La culture est mise en eau sans l'utilisation d'un substrat solide (Raviv et Lith, 2008) avec une solution nutritive non circulante. Cette solution contenue dans un bac de culture, le conteneur est un récipient en matière plastique opaque du commerce comme un bac, ou une eau (Morard, 1995).



Figure 1: schéma représentant la technique d'aquaculture (NGS). (Anonyme 2012)

I.1.3.2. Culture aéroponique

L'aéroponie est un système dans lequel les racines des plantes restent en suspension dans une chambre de croissance fermée, où elles sont pulvérisées avec un brouillard ou une brume de solution nutritive à intervalles rapprochés (généralement toutes les quelques minutes) (Anonyme, 2012).

Dans cette méthode, les racines sont alimentées par un brouillard nutritif dans une enceinte close. Ce système assure une excellente aération. La pulvérisation peut être continue ou intermittente par cycles d'un quart d'heure ou d'une demi-heure avec des arrêts de quelques minutes pendant la journée, et beaucoup plus long pendant la nuit. Cette culture est coûteuse, et est souvent limitée à la recherche, et surtout aux études relatives au système racinaire (VU, 2008).

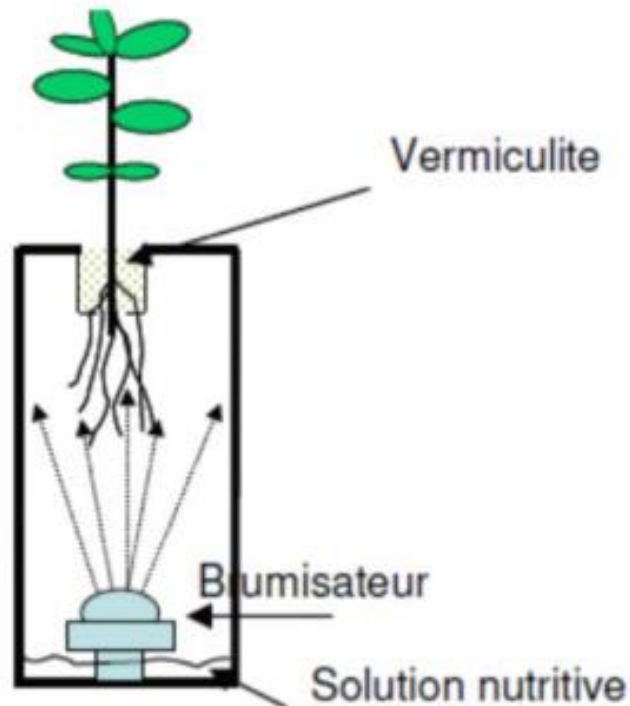


Figure 2: Schéma de culture aéroponique ((VU, 2008).

I.1.3.3. Technique du film nutritif ou N.F.T :

La technique du film nutritif est un système hydroponique actif très répandu, où un filet continu et peu profond de solution nutritive s'écoule sur les racines nues des plantes. Elle est particulièrement appréciée dans l'agriculture verticale et les serres pour son efficacité en termes d'utilisation de l'eau et de l'espace.

Ce type de culture est réalisé à l'aide de substances nutritives, sans substrat. Dans cette technique les racines des plantes sont en contact avec un milieu liquide : la solution nutritive. Cette technique consiste à nourrir les racines des plantes qui se trouvent dans du substrat (laine de roche, par exemple) ou bien dans une solution nutritive (VU, 2008).

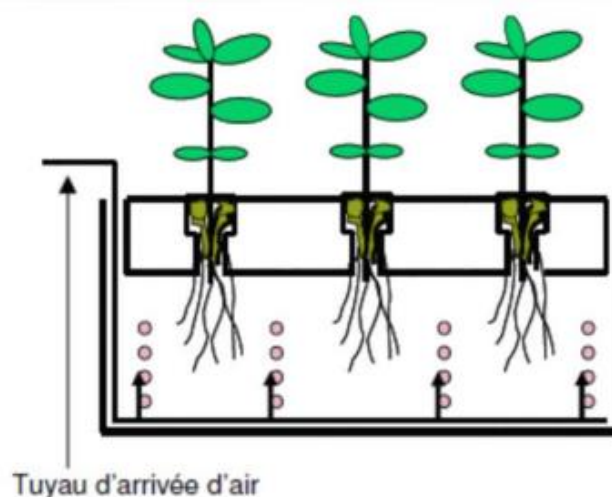


Figure 3: Schéma de culture hors sol (VU, 2008)

I.1.3.4. Substrat ou systèmes agrégés

Les systèmes de substrats ou d'agréats utilisent un milieu de culture inerte pour supporter et entourer les racines. Les plantes sont cultivées dans des sacs, des pots ou d'autres récipients remplis du substrat ou du milieu de culture, placés en rangées et irrigués avec une solution nutritive à travers le système de fertigation. Dans ce système, les substrats fournissent l'environnement de la zone racinaire dont les plantes ont besoin pour pousser, ainsi que le support physique dont les plantes ont besoin (Anonyme, 2012)

I.1.4. Différentes composantes du système hydroponique

Les systèmes hydroponiques exigent un certain nombre de composants différents pour fournir de l'eau et des nutriments aux plantes dans les bonnes doses et au bon moment, pour fournir un environnement de zone racinaire pour la plante à croître et pour fournir un support physique aux plantes. Ces composants permettent aux producteurs de réguler et de contrôler les nutriments fournis aux plantes et leur croissance et production ultérieures (Anonyme, 2012). Les travaux de Texier (2014), ont montré que Tous les systèmes hydroponiques sont plus ou moins composés des mêmes éléments : un réservoir, une pompe, un système de support, des tuyaux d'arrivée d'eau, des tuyaux d'évacuation et un conteneur de culture, qu'il s'agisse d'une rigole ou d'un plateau. Néanmoins, il existe de nombreuses façons de concevoir et d'organiser ces différents éléments. Substrats

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériau, naturel ou artificiel qui, placé en conteneur, pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support (Blanc, 1987). On entend par substrat une substance inerte chimiquement, qui remplace la terre, et qui est utilisé comme support de culture pour les plantes. Il doit protéger les racines de la lumière et leur permettre de respirer. Il véhicule aussi la solution nutritive jusqu'aux racines des plantes (Essadaoui, 2013). Selon Letard *et al.* (1995), Serge et Janice (2009) en culture hors sol, les substrats ont un rôle de support solide. Ils n'ont pas de rôle nutritionnel direct puisque l'intégralité de l'alimentation en eau et de la nutrition minérale est apportée par la solution nutritive. Le choix d'un substrat se fait donc en fonction de ses propriétés mécaniques, physiques, chimiques et biologiques.

A. Critères de choix

Le choix du substrat dans la production maraîchère hors sol est très important. Selon M'Sadek et Ben M'Barek (2014) les principales propriétés physiques et hydriques que devrait posséder un substrat de culture concernent essentiellement les caractéristiques des substrats liés à leurs propriétés physiques et chimiques. Il est nécessaire que le matériau conserve le plus longtemps possible les propriétés pour lesquelles il a été choisi.

La connaissance des proportions de particules fines et grossières contenues dans chaque mélange de substrat permet de mieux comprendre plusieurs de ses propriétés, comme :

- i- Rétention en eau,
- ii- Porosité ;
- iii- Aération.

La disponibilité de l'eau est fonction des espaces vides entre les particules de sol, appelés les pores, qui peuvent être remplis d'air ou d'eau. La grosseur de ces espaces et leurs connexions modulent la disponibilité de l'eau aux plantes. En effet, les pores de grande dimension (macro pores) vont retenir l'eau beaucoup moins fortement que ceux de faible dimension (micropores) (Valerie, 2015).

Parmi les propriétés des sols se sont principalement les propriétés chimiques, mécaniques et biologiques qui ont un poids important dans la réussite des cultures que ce soit en plein champ et/ou en hors sol.

- **Propriétés chimiques**

Elles sont susceptibles d'interférer avec la nutrition minérale. Il faut connaître le pH et la conductivité électrique de départ. Parmi les caractéristiques chimiques, celle pouvant entraîner un échange d'éléments dans les deux sens entre le substrat et la solution racinaires, sont les plus importantes. Elles définissent la « réactivité chimiques du substrat ». On distingue les réactions de dissolution, d'échange et de biodégradation, elles différencient nettement les catégories de substrats (Letard *et al.*, 1995).

- **Propriétés mécaniques**

Les propriétés mécaniques définissent la stabilité d'un substrat dans le temps : il s'agit de l'élasticité, du tassement, de la dégradation et, en conséquence, de la stabilité (Serge et Janice, 2009).

- **Propriétés biologiques**

Avant l'utilisation des supports et/ou ou en cours de culture, celui-ci ne doit pas contenir des agents pathogènes. C'est une condition essentielle pour la réussite des cultures. La désinfection du substrat entre deux cycles est de toute façon nécessaire pour se prémunir des attaques fongiques. Les matières actives utilisées pour le traitement de désinfection sont choisies en se référant à la législation en vigueur (Serge et Janice, 2009).

B. Types de substrats

En culture hors-sol, une multitude de matériaux sont disponibles afin d'élaborer un substrat de culture. Ils peuvent être de nature inorganique ou organique (Valerie 2015).

- **Origine organique**

Ce sont des matériaux d'origine végétale, essentiellement organiques : mousses, plantes vasculaires, plantes à fleurs et feuillus. Selon Morel *et al.*, (2000) à cette origine on peut donner le vocable « Tourbes ».

- **Fibre de coco**

La fibre de coco ou moelle est une ressource naturelle et renouvelable produite à partir de noix de coco. La fibre a une grande capacité de rétention d'eau et de nutriments mais à une faible capacité d'échange de cations.

- **Ecorces**

Les écorces provenant des industries du bois (scieries, papeteries) et ayant pour origine : hêtre, sapin, eucalyptus, pin..., L'écorce peut être mise à l'état frais, après broyage. Selon Chilton *et al.*, (1978) sa composition est très variable selon l'origine de l'écorce et on préfère souvent composter un mélange d'écorces broyées, additionné d'azote, de phosphore et de potasse.

- **Sciure de bois**

L'espèce d'arbre dont provient la sciure de bois détermine en grande partie sa qualité et sa valeur pour l'utilisation dans les milieux de culture. La sciure de bois a un rapport élevé de carbone à l'azote et doit être complètement composté avant utilisation pour éviter l'immobilisation de l'azote dans le compost. Il peut également contenir des résines phytotoxiques et des tanins, même après le compostage. La teneur élevée en cellulose et en lignine ainsi que l'apport insuffisant d'azote créent des problèmes d'appauvrissement qui limitent la croissance des plantes (Anonyme, 2012).

- **Origine inorganique**

- **Sables et graviers**

Ces granulats minéraux destinés à la construction et aux travaux publics peuvent être utilisés en culture hors sol, ils sont tirés des carrières (granite, basalte, calcaires durs) concassés puis calibrés pour donner des grains arrondis, d'autres sont tirés de rivières (gravières ou sablières).

- **Perlite**

C'est un sable siliceux volcanique qui, chauffé brutalement à 1000-1100°C pendant 5mn, fond et gonfle d'environ vingt fois son volume initial, par vaporisation de l'eau combinée (2 à 5 % d'eau). On obtient des perles blanches vitreuses, très poreuses. C'est un matériau très peu dense, sa masse volumique apparente ainsi que sa rétention d'eau varient selon la granulométrie, une perlite

grossière (>3mm) offre une faible disponibilité en eau et une forte aération. Sa résistance mécanique est très faible, La durabilité du matériau en culture est fonction de qualité de la perlite (Moinereau *et al.*, 1985).

➤ **Laine de roche**

Ce produit dont l'intérêt agronomique a été appréhendé au Danemark. Il est fabriqué par extrusion d'un mélange fondu à 1600°C comprenant des roches basaltiques (Diabase), du calcaire et du coke dans le rapport massique 4-1-1 (Verdure, 1981). C'est un produit très utilisé en cultures en sol de tomate, concombre, poivron, rose etc.

C. Mauvaises herbes

Normalement, le substrat de culture ne comporte pas de germes de mauvaises herbes. Toutefois, les spores des mauvaises herbes transportées par le vent peuvent germer au cours de la culture. Leurs effets ne sont pas significatifs sur le rendement en fruits (Kouassi, 2009).

D. Contraintes de mis en place

Avant l'installation de la culture, il est essentiel de soigner le profilage de la serre, afin de pallier l'hétérogénéité de la rétention en eau. On considère communément qu'une pente de 0,5 à 1 % est suffisante à l'évacuation de la solution de drainage. L'inclinaison latérale des modules de substrat est également à prendre en compte. En effet une trop forte inclinaison favorise l'évacuation de la solution vers la fente de drainage. La répartition de la solution à l'intérieur du substrat est alors variable et les racines se retrouvent alors dans un environnement hétérogène. Il convient d'éviter le dessèchement du substrat entre deux cycles. En effet, les substrats sont très difficiles à réhumecter de façon homogène et il est alors impossible de faire un nouveau gonflage en raison des fentes de drainage effectuées lors du cycle précédent. La désinfection du substrat entre deux cycles est essentielle pour se prémunir notamment des attaques fongiques. Il existe un certain nombre de produits utilisés classiquement pour la désinfection des sols (BIP, 2001).

I.1.4.1. Conteneurs

D'après Fevère (1976), les récipients qui contiennent le substrat peuvent être choisis en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire. En générale les conteneurs sont en matière plastique, chimiquement inerte, étanches, durables et dont la mise en place doit être facile.

A. Besoins en éléments nutritifs

Un élément essentiel est un élément chimique dont une plante a besoin durant son cycle de développement, qui consiste à passer de l'état de graine à la production d'une autre génération de graines (Houssine, 2006). On divise généralement les éléments essentiels à une plante en :

- Éléments majeurs ou macroéléments
- Éléments mineurs ou oligoéléments (microéléments)

Les éléments minéraux majeurs : N-P – K-Ca-Mg-S-Na-Cl et les oligo-éléments sont indispensables à la plante pour fabriquer la matière végétale. Dans les conduites ces éléments sont distribués en solution dans l'eau d'irrigation, c'est la solution nutritive (Letard *et al.*, 1995).

Parmi les nombreux éléments que l'on peut retrouver dans la composition des tissus Végétaux, dix-neuf (19) seulement se sont révélés indispensables à la croissance, au développement et à la reproduction des plantes (Anonyme 2005). Ces éléments essentiels sont (Fig. 4):

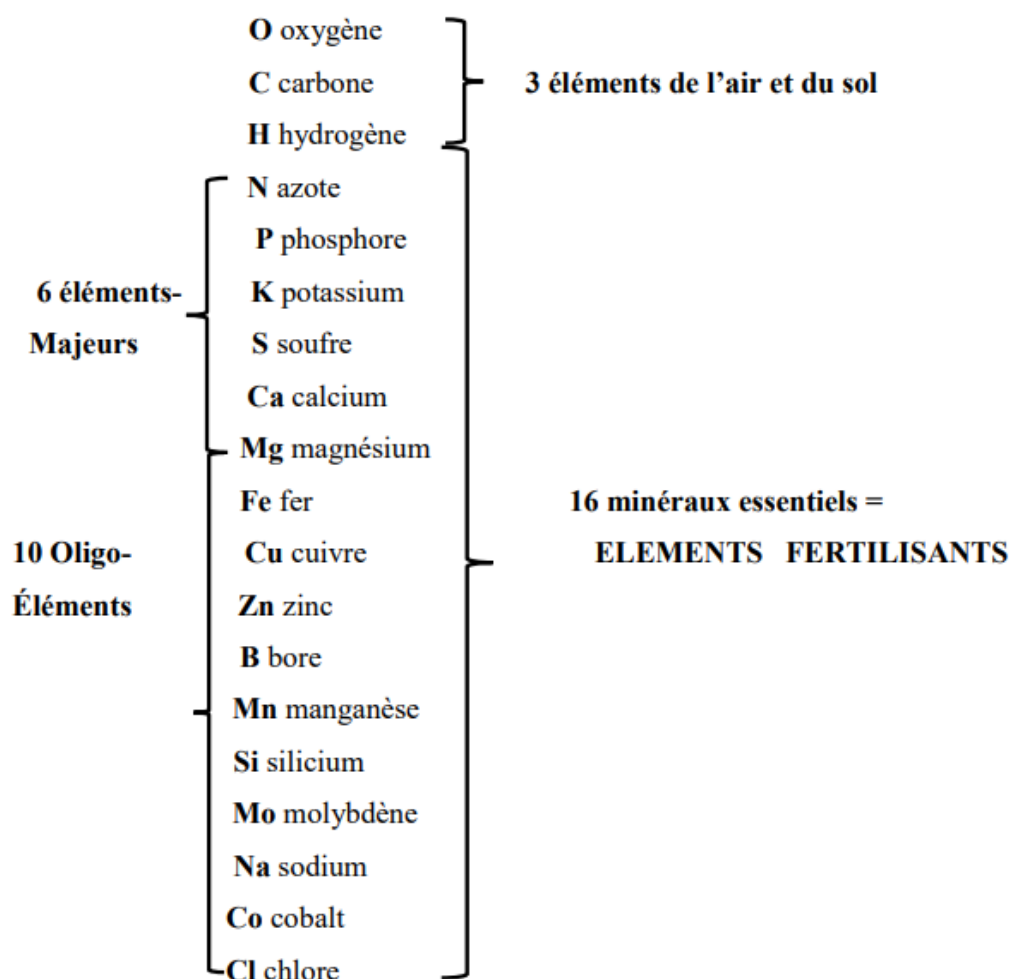


Figure 4: Classification des seize éléments minéraux essentiels et fertilisants pour la nutrition végétale (Anonyme, 2005).

B. Interactions entre les éléments minéraux dans la solution nutritive

Les éléments minéraux présents dans la solution nutritive peuvent être soumis à des interactions. On parle d'interaction lorsque l'action d'un ion est modifiée par la présence d'un autre ion.

Deux formes d'interaction existent :

– l'antagonisme entre deux ions :

L'effet de l'un est atténué par l'autre.

– la synergie entre deux ions :

L'effet de l'un est amplifié par l'autre.

L'absorption d'un ion par la plante peut être perturbée par la présence d'autres ions antagonistes. Pour éviter ces antagonismes et pour assurer l'absorption de chaque élément, il suffit de respecter des équilibres précis entre certains ions dans la solution nutritive (Serge et Janice, 2009).

I.1.4.2. . Réseau de distribution

Les systèmes actuels se différencient par le mode d'apport de la solution nutritive. On distingue :

A. Systèmes ouverts

Les installations à « solution perdue » ou en « circuit ouvert ». Pour ce type, la solution nutritive en excédent est éliminée par drainage puis rejetée en dehors du système de culture (Essadaoui, 2013).

Les systèmes ouverts sont des systèmes pour lesquels le drainage est évacué de la serre. Il est le plus souvent rejeté au fossé, mais il peut être collecté pour être réutilisé à l'extérieur (Letard *et al.*, 1995).

B. Systèmes fermés

Les installations à « solution recyclée » ou « en circuit fermé », la solution nutritive est récupérée, Recyclée (désinfectée, analysée et reconstituée) et renvoyée aux plantes. Ces installations Sont de plus en plus adoptées pour des raisons d'économie et de respect de l'environnement (Essadaoui, 2013). Dans ces systèmes, le drainage est collecté et réutilisé directement sur la culture en place (Letard *et al.*, 1995)

2.3 Fert-irrigation

Étymologie de ce terme signifie introduction de fertilisants lors de l'irrigation (Bouhadja, 2008). La fert-irrigation consiste à injecter les éléments nutritifs avec l'eau d'irrigation pour leur permettre d'être rapidement absorbés par les cultures. Le goutte à goutte permet aussi d'ajuster de façon permanente la quantité apportée (Anonyme, 2015). L'irrigation fertilisante doit fournir à la plante l'eau et les éléments minéraux de façon à satisfaire au mieux ses besoins, sans gaspillage (Letard *et al.*, 1995)

- **Système de Fert-irrigation**

La fert-irrigation est largement utilisée dans l'agriculture commerciale et l'horticulture pour les légumes cultivés sur le terrain et hydroponie. Le système de fert-irrigation fournit à la culture l'eau et les nutriments dont elle a besoin pour grandir (Anonyme 2012). Ce système contrôlé par ordinateur mélange les nutriments selon la formule prédéterminée, ajuste le pH au niveau fixé et les livre aux plantes dissoutes dans l'eau d'irrigation. Ceci est fait à la fréquence et à la durée requise pour répondre aux espèces cultivées, au stade de croissance et aux conditions climatiques.

Le type de système de fert-irrigation utilisé dépend de la taille et de la complexité de l'entreprise, du niveau de compétence des opérateurs et des niveaux de production ciblés.

Le système de fert-irrigation comprend les éléments suivants (Fig. 5) :

1. Réservoirs de stockage d'eau douce
2. Réservoirs de stockage de nutriments et de produits chimiques
3. Réservoir de mélange
4. pH mètre
5. EC mètre
6. Système de contrôle
7. Système d'irrigation
8. Pompes
9. Système de collecte et de recyclage des eaux usées

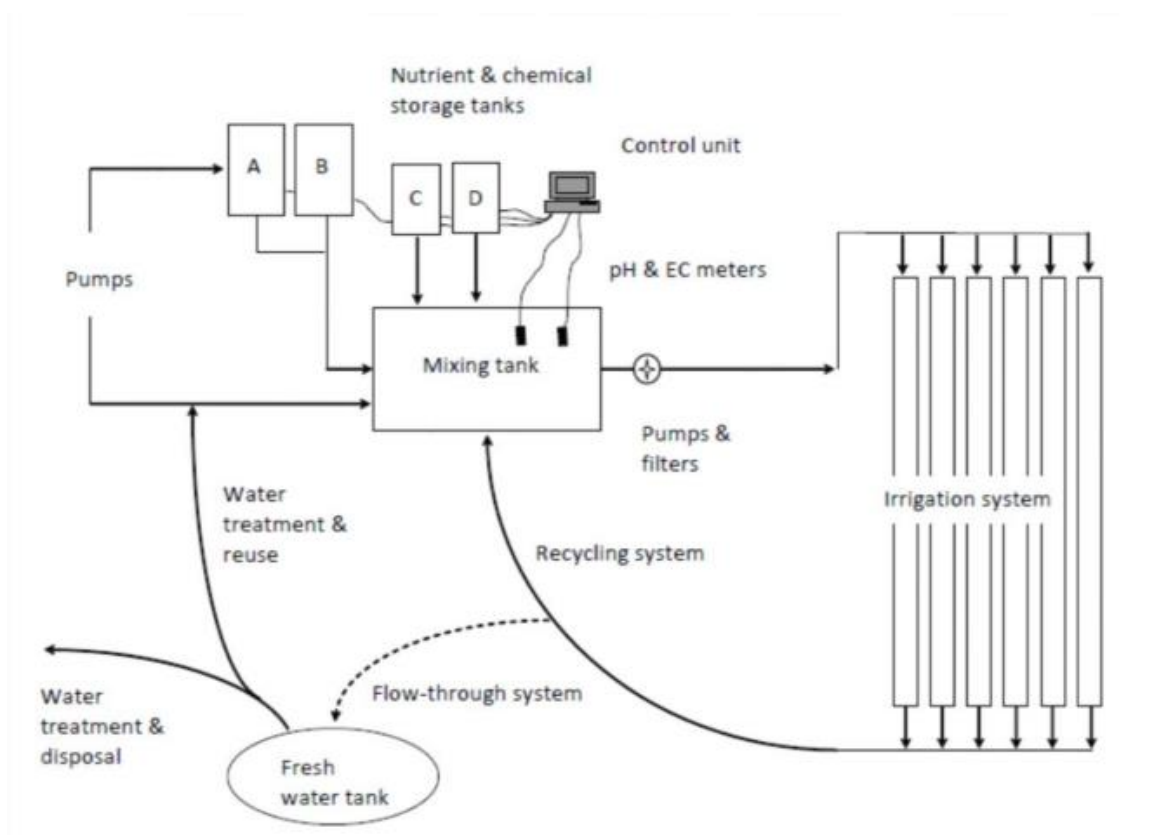


Figure 5: Les composants de base des systèmes de fert-irrigation utilisés pour la culture (Anonyme, 2012)

I.1.5. Intérêts et utilisations des cultures hors sol

La culture hors sol a remplacé progressivement la culture traditionnelle d'un certain nombre de légumes dans le monde. Cette technique est appliquée largement à l'horticulture (maraîchage, floriculture et pépinière). L'évolution de surface cultivée est très importante par rapport au début des années 80. En effet, en une vingtaine d'années, les surfaces ont été multipliées par 20. Cette progression est régulière puisque, durant la période 1992-2002, la surface mondiale a presque triplé. La principale raison de ce développement est la possibilité d'éviter certains problèmes liés au sol comme des agents pathogènes ou des sols non arables (déserts sableux, sols argileux, sols salés...) (Jeannequin *et al.*, 2005).

I.1.5.1. Cultures légumières sous serres

Le développement des techniques hors-sol date des années 75 aux Pays-Bas, et du début des années 80 en France. Parmi les cultures maraîchères la tomate est largement cultivée en hors-sol en utilisant les substrats suivants: laine

de roche, fibres de coco, hydroponique, tourbe, bois, pouzzolane, écorce de pin, mousse de polyuréthane, ... sous toutes les latitudes. Pour le concombre, l'aubergine, le poivron c'est la laine de roche qui est principalement employé dans les pays comme : les Pays-Bas, France, Belgique, Danemark et Grande-Bretagne.

Avantages de l'hydroponique

L'agriculture hors sol présente de nombreux avantages qui sont :

- Technologie innovante.
- Agriculture rurale et urbaine
- Saine, rentable et respectueuse de l'environnement.
- Moindre consommation d'eau.
- Croissance contrôlée et rapide.
- Moins d'attaques nuisibles du sol.
- Meilleure maîtrise de la précocité.
- Intense agriculture à forte production à la récolte.
- Meilleurs rendements surtout pour la culture de la tomate et autres cultures maraîchères.
- Cette technique permet de faire pousser des végétaux tout en leur permettant d'exprimer tout leur potentiel génétique.
- Moins de travail et d'entretien

La culture hors sol permet également une automatisation de la culture température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide, ventilation. En raison de son potentiel de productivité, elle permet d'obtenir d'excellents résultats tout en faisant des économies d'eau (Anonyme, 2014).

La culture hors sol permet également de modifier l'environnement racinaire pour améliorer un ou plusieurs aspects de la production végétale.

Les systèmes hydroponiques sont souvent incorporés dans des environnements de serre. Cela améliore encore la production végétale en donnant un contrôle accru sur l'environnement des plantes et la protection contre les

ravageurs, les maladies et les conditions climatiques défavorables. De nombreux systèmes hydroponiques permettent également de recycler l'eau de ruissellement, ce qui augmente considérablement l'efficacité de l'utilisation de l'eau (Anonyme, 2012).

I.1.6. Limites et inconvénients

La production de fruits et de légumes cultivés sur substrat nécessite des installations particulières, un suivi journalier des cultures et de bonnes connaissances techniques, notamment pour le calcul des solutions nutritives (Vincent, 2008). La première et la plus importante d'entre elles, c'est que les plantes n'ont pas de protection en cas d'erreur de votre part. La terre a un pouvoir tampon. Autrement dit, elle a la capacité de maintenir une certaine stabilité autour de la masse racinaire (Texier, 2014). La solution nutritive a aussi un pouvoir tampon, en particulier concernant le pH, mais cela n'a rien de comparable avec la terre. Un détail aussi trivial qu'un pH-mètre mal réglé peut avoir des conséquences dramatiques.

Autre désavantage, l'hydroponie ne convient pas à toutes les cultures. Les tubercules et légumes racines tels que les carottes ou les pommes de terre, qui s'extraient directement du sol, nécessitent des systèmes très spécifiques et d'une conception complexe. L'aspect économique n'est pas à négliger non plus. Il est vrai que les systèmes hydroponiques peuvent être onéreux ; cependant, avec la culture en intérieur, on rentre vite dans ses frais. L'hydroponie fait gagner du temps, beaucoup de temps. Et, dans ce cas, le temps, c'est vraiment de l'argent. La production de fruits et de légumes cultivés sur substrat nécessite des installations particulières, un suivi journalier des cultures et de bonnes connaissances techniques, notamment pour le calcul des solutions nutritives (Vincent, 2008).

I.1.7. La serre

I.1.7.1. Définition

C'est une enceinte destinée à la culture ou à la protection des plantes en exploitant le rayonnement solaire. Les dimensions d'enceinte permettent à un homme de travailler aisément à l'intérieur (définition de la norme française NF U57-001). Cette enceinte, constituée principalement par un matériau de

couverture transparent ou translucide, isole plus ou moins les cultures de l'environnement extérieur. Elle constitue un abri efficace contre les intempéries (vent, pluie, neige...) et réduit l'introduction des divers agents nuisibles. Elle crée à l'intérieure un microclimat particulier qui peut être facilement amélioré à l'aide de divers équipements.

Elle permet une maîtrise plus facile de l'alimentation hydrominérale et de la nutrition carbonée (enrichissement possible en gaz carbonique). Elle rend possible l'utilisation de diverses méthodes de protection sanitaire spécifiques d'un milieu clos (traitements chimiques adaptés, lutte biologique, etc.).

I.1.7.2. Les différents types de serre

Une grande variété de modèles est actuellement proposée aux producteurs. Dans la pratique, il est possible de distinguer et de classer les serres de différentes façons. On a en général : Serre en verre ; Serre en plastique.

CHAPITRE 2 :

LES

SOLANACEAES

Chapitre 2 : les solanacées

II.1. Les Solanacées

Les Solanacées (*Solanaceae* Juss) représentent une famille de plantes dicotylédones (*Magnoliopsida*) appartenant à l'ordre des Solanales (Olmstead, & Bohs, 2007), dont le nom vient du genre *Solanum*. Ce sont des plantes herbacées, des arbustes, des arbres ou des lianes à feuilles alternes, simples et sans stipules. La famille comprend une centaine de genres pour environ 2 700 espèces (Olmstead, 2013) et occupe une grande diversité d'habitat, de morphologie et d'écologie. Cette famille cosmopolite est présente partout dans le monde à l'exception de l'Antarctique, mais c'est en Amérique du Sud et en Amérique centrale que l'on rencontre le plus grand nombre d'espèces. Cette famille comprend des espèces alimentaires d'une grande importance économique telles que la pomme de terre (*Solanum tuberosum*), la tomate (*Solanum lycopersicum*), l'aubergine (*Solanum melongena*) et les piments (*Capsicum*). De nombreuses plantes ornementales très populaires appartiennent aux Solanacées : *Petunia*, *Schizanthus*, *Salpiglossis* et *Datura*. Certaines espèces, riches en alcaloïdes, sont mondialement connues pour leurs usages médicaux, leurs effets psychotropes ou pour leur toxicité : *belladone*, *morelle*, *brugmansia*, *datura*, *mandragore*, *tabac*. (Spina & Hehn, 2013).

II.1.1. Étymologie des Solanacées

Le mot Solanacées vient du latin *sōlānum* qui désignait une morelle, probablement la morelle noire (*Solanum nigrum* L.). *Sōlānum* dérive du latin *solari* (« soulager »), référence aux feuilles émollientes ou aux propriétés narcotiques de la plante, ou du latin *sōl* (soleil), peut-être en raison de la forme de la fleur (Gaffiot, 1934).

Paul-Victor Fournier y ajoute une référence au mot latin *Solanus*, « vent d'est », qui, selon lui, signifie peut-être une origine orientale (Fournier, 1947) :

II.1.2. Répartition des Solanacées

Bien que la famille des Solanacées soit présente sur tous les continents, la plus grande richesse d'espèces se rencontre en Amérique centrale et en Amérique du Sud. Deux autres centres de diversité sont l'Australie et l'Afrique. Les Solanacées occupent une grande variété d'écosystèmes, des déserts aux forêts

tropicales, et on les trouve souvent aussi dans la végétation secondaire colonisant les zones perturbées (Olmstead, 2015).

II.1.3. Description des Solanacées

II.1.3.1. Appareil végétatif

Les Solanacées sont des plantes herbacées, des sous-arbrisseaux, des arbustes, des arbres ou des lianes. Elles peuvent être annuelles, bisannuelles ou pérennes, d'un port érigé ou retombant. Elles peuvent être pourvues de tubercules souterrains. Elles ne présentent pas de canaux laticifères, ni latex, ni de suc coloré. Elles peuvent présenter une rosette de feuilles basale ou terminale ou ni l'une ni l'autre (Dupin & Smith, 2018).

Les feuilles sont généralement alternes ou alternées à opposées (c'est-à-dire, alternes à la base de la plante et opposées vers l'inflorescence). La consistance des feuilles peut être molle ou coriace, ou transformées en épines. Elles sont alternes, entières à profondément lobées et sans stipules. En général, les feuilles sont pétiolées ou subsessiles, rarement sessiles. Elles sont fréquemment inodores, parfois aromatiques voire fétides. Les feuilles peuvent être simples ou composées ; dans ce dernier cas, elles peuvent être trifoliées ou pennatifides (Särkinen *et al.*, 2018). Les nervations des feuilles sont réticulées et elles ne présentent pas de méristème basal. Les feuilles sont en général dorsiventrales, sans cavités excrétrices. Les stomates se trouvent en général confinés sur une face des feuilles, rarement sur les deux à la fois. (Särkinen *et al.*, 2015)

II.1.3.2. Appareil reproducteur des Solanacées

Les fleurs généralement hermaphrodites présentent un pistil et des étamines. Il existe des espèces monoïques, andromonoïques ou dioïques (par exemple, certains *Solanum* ou *Symonanthus*). La pollinisation est assurée par les insectes (entomophilie). Les fleurs peuvent être solitaires ou réunies en cymes terminales ou axillaires. Les fleurs, de taille moyenne, sont odorantes (comme *Nicotiana*), fétides (*Anthocercis*) ou inodores. Les fleurs sont actinomorphes (régulières), légèrement zygomorphes ou nettement zygomorphes (comme les fleurs avec corolle bilabée dans le genre *Schizanthus*). Les irrégularités dans la symétrie de la fleur peuvent être dues à l'androcée, au périanthe ou aux deux à la fois. Les

pétales sont soudés entre eux à des hauteurs variables pour donner la forme d'une étoile ou d'une trompette à la fleur.

Comme pour les pétales, les sépales sont soudés à des hauteurs variables qui forment un tube qui présente cinq lobes au sommet. Les fleurs dans leur grande majorité présentent un périanthe différencié en calice et corolle (avec cinq sépales et cinq pétales, respectivement), un androcée avec cinq étamines et deux carpelles unis formant un gynécée avec un ovaire supère (on dit alors qu'elles sont pentamères et tétracycliques). Habituellement elles présentent un disque hypogyne. Le calice est gamosépale (puisque les sépales sont unis entre eux formant un tube), avec les cinq (parfois quatre ou six) segments égaux entre eux, il est pentalobé, avec les lobes plus courts que le tube, il est persistant et peut être fréquemment accrescent. La corolle habituellement présente cinq pétales qui se trouvent également unis entre eux formant un tube (corolle gamopétale) (Gama, & Martins, 2018). La corolle peut être campanulée, rotacée, infundibuliforme (en forme d'entonnoir) ou tubulaire. Le gynécée est bi-carpellaire (rarement 3- ou 5-loculaire), d'ovaire supère et présente deux locules. Le fruit peut être charnu, c'est une baie (tomate), ou sec, c'est alors une capsule (*Datura*). Les graines sont habituellement endospermées oléagineuses (rarement amylacées), sans poil apparent. L'embryon, qui peut être droit ou courbe, présente deux cotylédons. La formule chromosomique varie de $x=7$ à $x=12$. Beaucoup d'espèces sont polyploïdes (Gama *et al.*, 2018).

II.1.3.3. Variabilité morphologique

En dépit de la description précédente, les Solanacées présentent une grande variabilité morphologique. Les exemples de la diversité de la famille sont :

II.1.3.3.1. Le nombre de carpelles formant le gynécée :

En général les Solanacées présentent un gynécée formé de deux carpelles. Toutefois, il y a des genres avec un gynécée monocarpellaire (*Melananthus*), ou avec 3 à 4 carpelles comme dans le genre *Capsicum*, ou 3 à 5 carpelles, comme dans le cas de *Nicandra*, certaines espèces de *Jaborosa* et de *Trianaea*. Enfin il existe au moins une espèce chez laquelle le gynécée possède 4 carpelles : *Ioichroma umbellatum* (Särkinen *et al.*, 2015).

II.1.3.3.2. Le nombre de locules dans l'ovaire :

Habituellement le nombre de locules est égal au nombre de carpelles. Toutefois, il existe des espèces chez lesquelles ces nombres ne sont pas égaux à cause de l'existence d'un faux septum (paroi interne qui subdivise chaque locule), comme le *Datura* et certains membres de la tribu *Lycieae* (les genres *Grabowskia* et *Vassobia*) (Oreane, 2018).

II.1.3.3.3. Les types d'ovules et leur nombre :

Chez les Solanacées, les ovules sont en général anatropes. Toutefois, il y a des genres avec des ovules *anacampylotropiques* (exemple chez *Phrodus*, *Grabowskia* ou *Vassobia*), *hémitropiques* (*Cestrum*) *hémicampylotropiques* (*Capsicum*, *Schizanthus* et *Lycium*). Selon le nombre d'ovules par locules, ceux-ci sont en général nombreux, parfois peu (deux paires dans chaque locule chez *Grabowskia*, un pour chaque locule chez les *Lycium*) et, exceptionnellement, on trouve un seul ovule, comme pour *Melenthus* (Carrizo et al., 2016).

Les fruits chez les Solanacées sont dans leur grande majorité des baies ou des capsules (dont des pyxides) et, moins fréquemment, des drupes. Les baies sont typiques des sous-familles des *Cestroideae*, des *Solanoideae* (à l'exception des genres *Datura*, *Oryctus*, *Grabowskia* et de la tribu des *Hyoscyameae*) et la tribu des *Juanulloideae* (à l'exception de *Markea*). Les capsules sont caractéristiques des sous-familles des *Cestroideae* (à l'exception des *Cestrum*) et des *Schizanthoideae*, les tribus des *Salpiglossideae*, des *Anthocercidoideae* et le genre *Datura*. La tribu des *Hyoscyameae* présente des pyxides. Les drupes sont typiques dans la tribu des *Lycieae* et chez les *Iochrominae*. (Carrizo et al., 2016)

II.1.4. Composition chimique

Certaines espèces sont utilisées dans l'alimentation humaine (pomme de terre, tomate, aubergine, piment) tandis que d'autres sont très toxiques, particulièrement les Solanacées vireuses. Parmi ces dernières, la belladone, le *Datura*, mandragore, de même que le tabac, ont été utilisées depuis des siècles pour leurs propriétés psychotropes, qu'elles doivent à leur contenu en alcaloïdes, atropine, hyoscyamine et scopolamine chez les Solanacées vireuses, nicotine chez le tabac. (Yuan & Olmstead, 2015).

Toutes les Solanacées contiennent une quantité toxique de solanine, un alcaloïde stéroïde. Les baies mûres sont les parties les moins toxiques de ces plantes, mais leur ingestion peut être mortelle dans certaines circonstances. On trouve également de la solanine dans les germes et les taches vertes de la pomme de terre. Les espèces alimentaires contiennent aussi des alcaloïdes dans les feuilles, les tiges et les racines, mais les parties comestibles (tubercules de la pomme de terre, fruits des aubergines et piments) en sont dépourvues (Milner & McGehee, 2017).

II.1.4.1. Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des bases azotées, produites par les plantes comme métabolites secondaires. Ils présentent une action physiologique sur les animaux certaine même à faible dose. Les tropanes sont les alcaloïdes les plus connus que l'on trouve chez les Solanacées. Les plantes qui contiennent ces substances ont été utilisées durant des siècles comme poisons. Cependant, malgré leur effet toxique reconnu, beaucoup de ces substances présentent des propriétés pharmaceutiques utiles.

Les Solanacées sont caractérisées pour compter de nombreuses espèces contenant différents types d'alcaloïdes plus ou moins actifs ou toxiques, comme la scopolamine, l'atropine, l'hyoscyamine et la nicotine. On les trouve dans des plantes telles que la jusquiame blanche (*Hyoscyamus albus*), la belladone (*Atropa belladonna*), la stramoine (*Datura stramonium*), la mandragore (*Mandragora autumnalis*), le tabac (Petruzzello, 2020).

Quelques-uns des principaux types d'alcaloïdes de la famille des Solanacées sont les suivants :

La solanine : *glycoalcaloïde* toxique de goût amer qui correspond à la formule brute $C_{45}H_{73}NO_{15}$. Elle est composée d'un alcaloïde, la solanidine, et d'un oligoholoside. Elle se trouve naturellement dans les feuilles, les fruits et les tubercules de plusieurs *Solanaceae*, tels que la pomme de terre et la tomate. On considère que sa production est une stratégie adaptative des plantes en tant que mécanisme de défense contre les herbivores. L'empoisonnement à la solanine se caractérise par des troubles gastro-intestinaux (diarrhée, vomissements, douleurs abdominales) et neurologiques (maux de tête et des hallucinations). La dose

toxique est de 2 à 5 mg par kilogramme de poids corporel. Les symptômes se manifestent de 8 à 12 heures après l'ingestion. La concentration de *glycoalcaloïde* dans la pomme de terre, par exemple, varie considérablement selon les conditions environnementales au cours de la culture, la durée de stockage et de la variété considérée. La concentration de *glycoalcaloïde*, en moyenne, est de 0,075 mg par gramme de pomme de terre ; (Barbero *et al.*, 2014)

Les alcaloïdes tropaniques : composés organiques dérivés du tropane, un composé azoté bicyclique de formule brute $C_8H_{15}N$. Ce type d'alcaloïdes comprend, entre autres, l'atropine, la cocaïne. Ces alcaloïdes sont observés chez plusieurs espèces de Solanacées, comme la mandragore (*Mandragora autumnalis*), la jusquiame noire (*Hyoscyamus niger*), la belladone (*Atropa belladonna*) et la stramoine (*Datura stramonium*). L'atropine, mélange racémique de L- et R-hyoscyamine, provient de la belladone. Elle est utilisée pour dilater la pupille au cours des examens oculaires. En fait, le jus de ses baies a été utilisé par les courtisanes italiennes à la Renaissance pour exagérer la taille de leurs yeux en dilatant leurs pupilles. L'atropine est aussi un stimulant du système nerveux central. Il est utilisé comme un traitement pour l'empoisonnement au gaz neurotoxique ou aux insecticides organophosphorés. La scopolamine (à partir de *Hyoscyamus muticus* et *Scopolia atropioides*) est un autre tropane utilisé à petite dose pour traiter les nausées. La scopolamine et l'hyoscyamine sont des tropanes largement utilisés en pharmacologie et en médecine en raison de leurs effets sur le système nerveux parasympathique (Kaur *et al.*, 2022). Ces alcaloïdes ne peuvent être remplacés par une autre classe de composés pour lesquels la demande se poursuit. C'est une des raisons pour le développement d'un champ fertile de la recherche dans le métabolisme des alcaloïdes, des enzymes impliquées et les gènes qui les produisent. 6-hyoscyamine β -hydroxylase, par exemple, est l'enzyme qui catalyse l'hydroxylation de l'hyoscyamine conduisant à la production de la scopolamine, à la fin de la voie de biosynthèse des tropanes. Cette enzyme a été isolée et le gène correspondant a été cloné à partir de trois espèces, *Hyoscyamus niger*, *Atropa belladonna* et *Brugmansia candida* ; (Kaur *et al.*, 2022).

La nicotine (nomenclature IUPAC (S)-3-(1-méthyl-2-pyrrolidinyl)pyridine) est un alcaloïde qui est produit en grandes quantités dans les plants de

tabac (*Nicotiana tabacum*), mais il est aussi présent dans une moindre concentration chez d'autres espèces de Solanacées telles que le piment, la pomme de terre, la tomate. Leur fonction dans ces plantes est d'agir comme un moyen de défense contre les herbivores, étant un excellent neurotoxique, en particulier contre les insectes. En fait, la nicotine a été utilisée pendant de nombreuses années comme insecticide, actuellement remplacé par des molécules synthétiques dérivées de leur structure. À faibles concentrations, la nicotine agit comme un stimulant pour les mammifères, ce qui est la cause de la dépendance des fumeurs ;

La capsaïcine (nomenclature IUPAC 8-méthyle N-vanillyle 6-nonénamide) est un alcaloïde qui n'est pas structurellement apparenté à la nicotine ou avec les tropanes. On le trouve dans les espèces du genre *Capsicum*, lesquels comprennent les piments. C'est le composé actif qui détermine la saveur piquante de cette espèce. Le composé n'est pas particulièrement toxique pour l'être humain. Toutefois, il stimule les récepteurs spécifiques à la douleur chez la majorité des mammifères, particulièrement ceux qui sont relatifs avec la perception de la chaleur dans la muqueuse orale et d'autres tissus épithéliaux. En contact avec ces muqueuses, la capsaïcine provoque une sensation de brûlure qui n'est pas sans rappeler celle d'une brûlure réelle par le feu (Barbero *et al.*, 2014)

II.2. Pomme de terre (*Solanum tuberosum*)

La pomme de terre, ou patate est un tubercule comestible produit par l'espèce *Solanum tuberosum*, appartenant à la famille des Solanacées. Le terme désigne également la plante elle-même, plante herbacée, vivace par ses tubercules mais toujours cultivée comme une culture annuelle (Gast, 2016).

Elle est une source importante de glucides, qui se présentent principalement sous forme de fécule, et selon son mode de cuisson elle peut apporter des quantités notables de protéines et de vitamines. Ses qualités nutritives et sa facilité de culture font qu'elle est devenue l'un des aliments de base de l'humanité : elle figure parmi les légumes et féculents les plus consommés et est la principale denrée alimentaire non céréalière du monde. Cultivée et consommée localement, relativement peu commercialisée sur le marché mondial sous sa forme crue, elle est recommandée par l'ONU pour atteindre la sécurité alimentaire (Zaheer & Akhtar, 2016).

C'est aussi la culture alimentaire la plus productive, produisant plus de matière sèche à l'hectare que les céréales ; 85 % de la matière sèche produite par la plante est comestible pour l'homme contre environ 50 % pour les céréales (Zaheer & Akhtar, 2016).

Le rendement moyen est d'environ dix-sept tonnes à l'hectare au niveau mondial, mais se situe entre quarante et cinquante tonnes dans certains pays développés d'Amérique du Nord et d'Europe de l'Ouest. La pomme de terre reste sous-utilisée dans certains pays du Tiers Monde, notamment en Afrique subsaharienne, mais globalement sa consommation progresse dans les pays en développement, tandis que dans les pays développés elle tend à diminuer et à basculer de plus en plus vers des formes transformées (produits appertisés, déshydratés ou surgelés) (FAO, 2008).

La fécule de pomme de terre a donné naissance à une industrie de transformation, la féculerie, aux multiples débouchés dans les secteurs agro-alimentaire, cosmétique, pharmaceutique et industriel (Burrell, 2003).

Compte tenu de son importance économique, de nombreuses études scientifiques sur la pomme de terre et les espèces apparentées, notamment dans le domaine de la génétique, sont menées par des institutions publiques ou privées de différents pays, coordonnées au niveau mondial, entre autres, par le Centre international de la pomme de terre (Devaux *et al.*, 2020).

II.2.1.1. Position de l'espèce dans la classification

La pomme de terre appartient au genre *Solanum* et plus précisément au sous-genre *Potatoe*, section *Petota*, sous-section *Potatoe*. Cette sous-section se distingue par la présence de tubercules véritables qui se forment à l'extrémité des rhizomes. Elle regroupe les espèces de pommes de terre cultivées et les espèces sauvages apparentées (Spooner, 2014).

La série *Tuberosa*, à son tour, se caractérise par ses feuilles imparipennées ou simples, sa corolle ronde ou pentagonale et ses baies arrondies.

L'espèce *Solanum tuberosum* se différencie des autres espèces de la même série taxonomique par l'articulation du pédoncule en son tiers médian, les lobes du calice courts et disposés régulièrement, les feuilles fréquemment arquées, les folioles toujours ovales à lancéolées, approximativement deux fois plus longues

que larges et les tubercules ayant une période de dormance bien marquée (Hawkes, 1990).

Tableau 1: tableau de classifications de *Solanaceae* (Olmstead *et al.*, 2008)

Rang taxonomique	Nom latin
Famille	<i>Solanaceae</i>
Genre	<i>Solanum L.</i>
SOUS-GENRE	<i>Potatoe G. Don (D'Arcy)</i>
SECTION	<i>PETOTA Dumort.</i>
SOUS-SECTION	<i>Potatoe G. Don</i>
SERIE	<i>Tuberosa (Rydb.) Hawkes</i>

II.2.2. Botanique

II.2.2.1. Description morphologique

II.2.2.1.1. Partie aérienne

Chaque plante est composée d'une ou plusieurs tiges herbacées de port plus ou moins dressé et portant des feuilles composées (Rousselle *et al.*, 1992). Comme les tiges et les feuilles, le fruit contient une quantité significative de solanine, un alcaloïde toxique caractéristique du genre. Les inflorescences sont des cymes axillaires, les fleurs sont autogames : ne contiennent pas de nectar, elles sont donc peu visitées par les insectes et la fécondation croisée est presque inexistante dans la nature (Rousselle *et al.*, 1992). Certaines fleurs sont souvent stériles. La production de fruits est généralement rare parfois nulle. On connaît des variétés de pommes de terre qui fleurissent abondamment mais qui ne fructifient pas (Soltner, 1988).

II.2.2.1.2. Partie souterraine

Le système souterrain représente la partie la plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules qui confèrent à la pomme de terre sa valeur alimentaire. L'appareil souterrain comprend le tubercule mère desséché et des tiges souterraines ou stolons (Bernhards, 1998). Le tubercule de pomme de terre n'est pas une portion de racine, c'est une tige souterraine. Comme toutes les tiges, il est constitué d'entre nœuds, courts et épaissis dans le cas présent, et porte des bourgeons « yeux » ; situés dans de petites dépressions. En se développant, les

bourgeons donnent les germes et les futures tiges aériennes. Les racines prennent naissance sur différentes parties : au niveau des nœuds enterrés des tiges feuillées, au niveau des nœuds des stolons ou encore au niveau des yeux du tubercule (Fig. 6 ; 7).

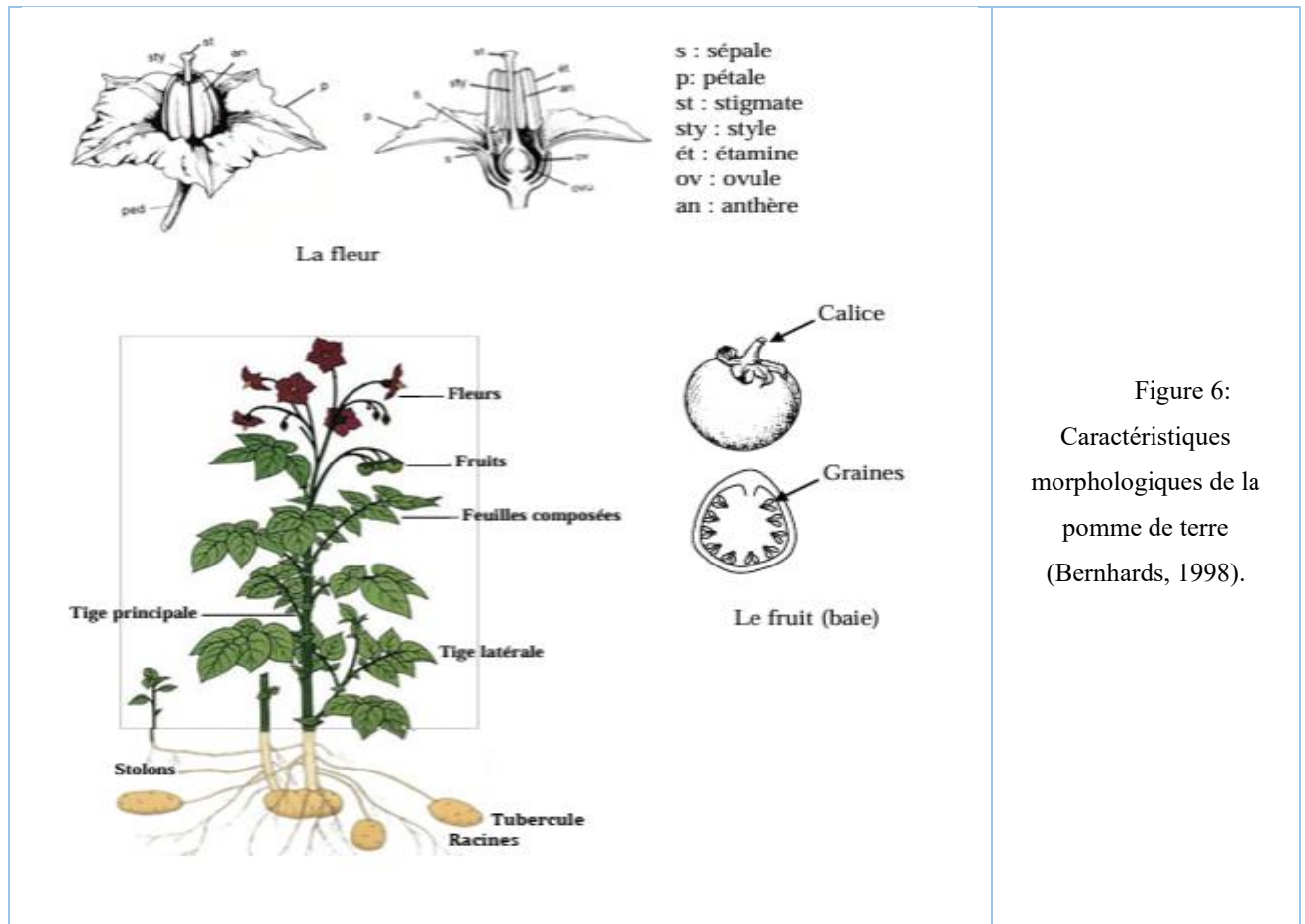


Figure 6:
Caractéristiques
morphologiques de la
pomme de terre
(Bernhards, 1998).

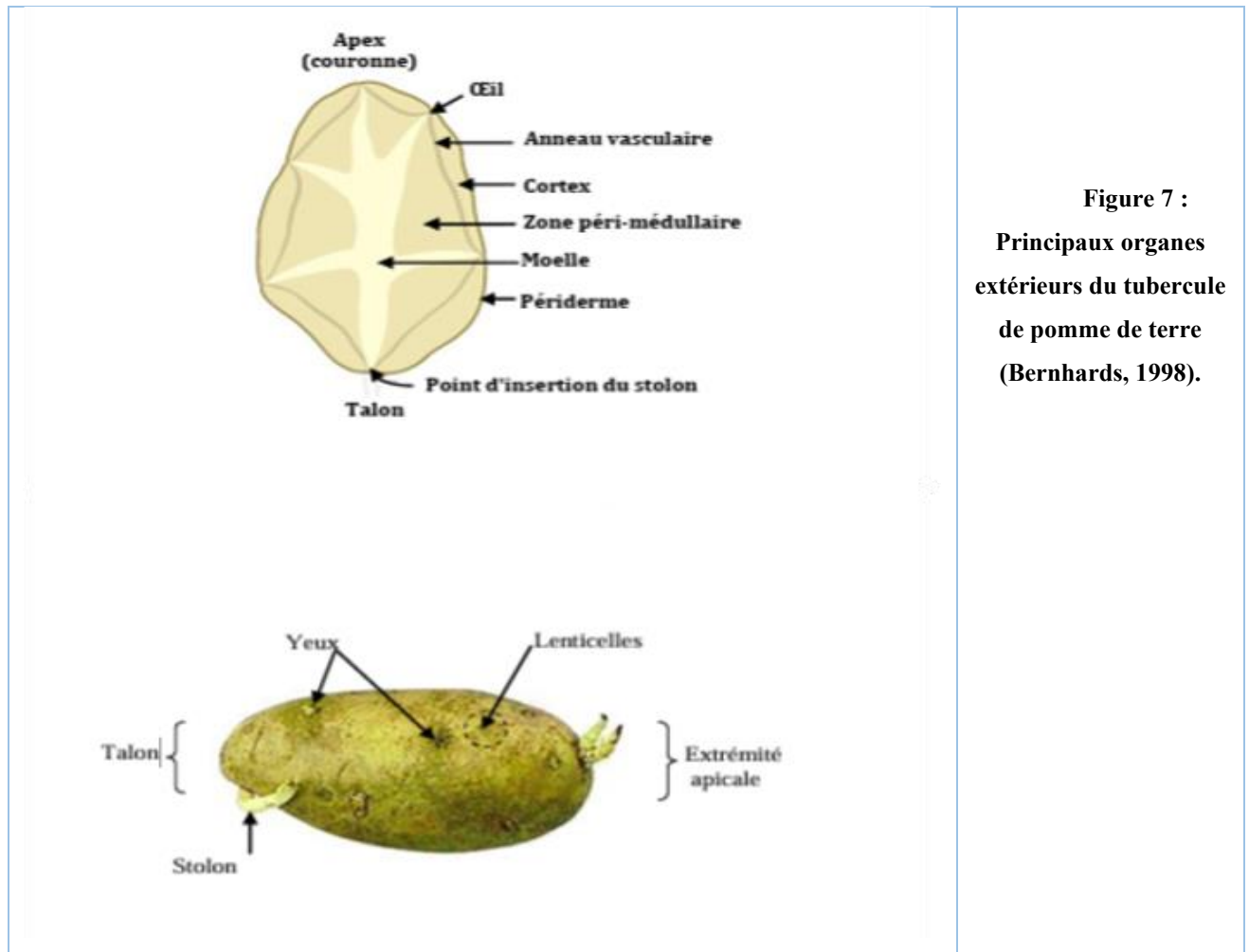


Figure 7 :
Principaux organes
extérieurs du tubercule
de pomme de terre
(Bernhards, 1998).

II.2.3.1.3 - Structure du tubercule

a) Structure externe

Le tubercule de pomme de terre est une tige souterraine avec des entre-nœuds courts et épais. Il a deux extrémités : Le talon (lien entre avec la plante- mère) et la couronne (opposée au talon) où, la plupart des yeux sont concentrés. Les yeux sont disposés en spirale et leur nombre est fonction de la surface (ou calibre) du tubercule. Chaque œil présente plusieurs bourgeons qui donnent des germes. Ces derniers produisent, après plantation, des tiges (principales et latérales), des stolons et des racines (Fig. 7) (Bernhards, 1998).

b) Structure interne**II.2.3. Les caractéristiques du tubercule****II.2.3.1. La forme**

Les tubercules sont classés en trois grands types :

Les claviformes : qui sont plus ou moins en forme de rein, ex : la ratte

Les oblongues : de forme plus ou moins allongée (un peu comme un kiwi), ex : Ostara ; Bintje ; Spunta ; etc.

Les arrondis : qui sont souvent bosselés; ce sont des variétés surtout destinées à produire de la fécule.

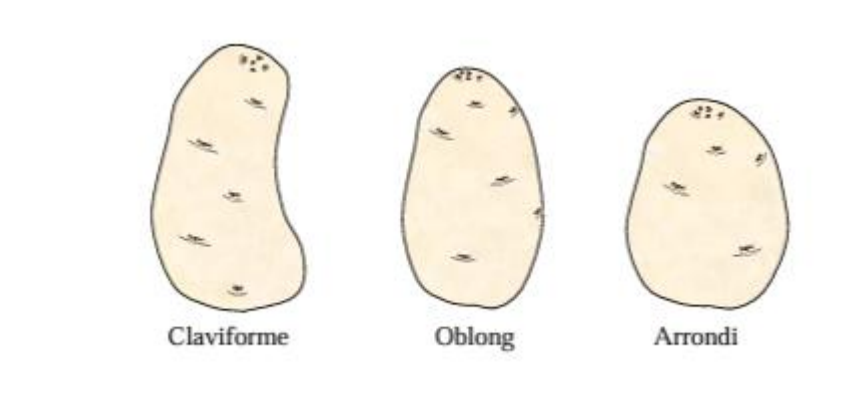


Figure 8: Les différentes formes des tubercules de pomme de terre (Bernhards, 1998).

II.2.3.2. La couleur

Il faut distinguer deux couleurs ; de la peau et de la chair

La couleur de la peau : est généralement jaune, mais peut être rouge, noire, brune ou rosée.

La couleur de la chair : elle est blanche, jaune plus ou moins foncée, rose ou violette selon les variétés (Rousselle *et al.*, 1992).

II.2.3.3. Composition chimique du tubercule

Le tubercule est constitué, principalement, d'eau (environ 75% du poids). Le reste est formé par la matière sèche : acides aminés, protéines, amidon, sucres (saccharose, glucose, fructose), vitamines (C, B1), sels minéraux (K, P, Ca, Mg), acides gras et organiques (citrique, ascorbique).

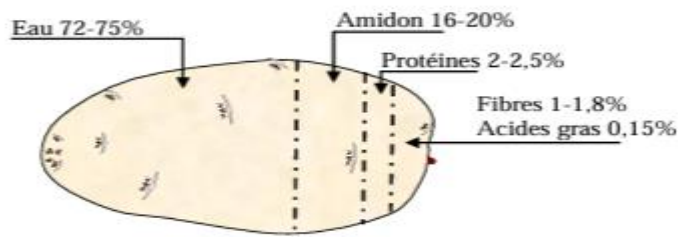


Figure 9: Composition chimique du tubercule de pomme de terre (U.S. National Nutrient Database)

II.2.4. Appareil reproducteur de Pomme de terre (*Solanum tuberosum*)

II.2.4.1. Fleurs et inflorescence

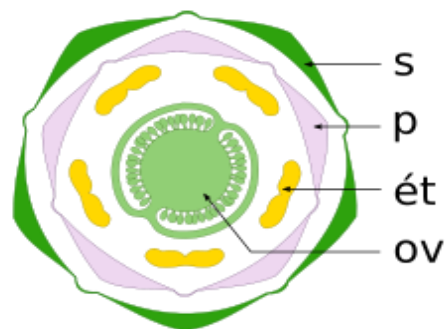
L'inflorescence est une cyme qui naît à l'extrémité de la tige. Elle compte généralement entre sept et quinze. Le nombre d'inflorescences et le nombre de fleurs par inflorescence varient fortement selon les cultivars. En général, deux ou trois fleurs s'ouvrent chaque jour. Elles restent ouvertes de deux à quatre jours si bien que chaque inflorescence présente de cinq à dix fleurs ouvertes en même temps pendant le pic de la floraison.

Les fleurs, d'un diamètre de 3 à 4 cm, sont régulières, à symétrie pentamère typique de la famille des *Solanaceae*. Le calice gamosépale est constitué de 5 sépales verts soudés à la base et la corolle gamopétale, à 5 pétales également soudés par leurs bords, a la forme d'une étoile. (Rousselle *et al.*, 1992). L'androcée comprend 5 étamines et à l'anthère à deux loges, de 5 à 7 mm de long

Le pistil, issu de deux carpelles soudés, comprend 1 ovaire supère à deux loges. Les stigmates sont plus ou moins saillants au-delà de l'anneau des anthères.



Figure 10: Inflorescence et fleurs de pomme de terre (Rousselle *et al.*, 1992).



Légende: S = sépales ; P = pétales ; ét = étamines ; ov = ovaire supère

Figure 11: Diagramme floral (Rousselle *et al.*, 1992).

La réceptivité du stigmate et la durée de production du pollen sont d'environ 2 jours. La fécondation se produit approximativement 36 heures après la pollinisation (Rousselle *et al.*, 1992). Se sont des plantes autogames et la fécondation peut être directe et/ou croisée.

II.2.4.2. Cycle sexué

Le fruit est une baie sphérique ou ovoïde de 1 à 3 centimètres de diamètre, il contient généralement plusieurs dizaines de graines (Bernhards, 1998), et peut aller jusqu'à 200 graines (Rousselle *et al.*, 1992).

La pomme de terre est très peu reproduite par graines dans la pratique agricole, cependant la graine est l'outil de création variétale. La germination est épigée et les cotylédons sont portés au-dessus du sol par le développement de l'hypocotyle. En conditions favorables, quand la jeune plante a seulement quelques centimètres de hauteur, les stolons commencent à se développer d'abord au niveau des cotylédons puis aux aisselles situées au-dessus, et s'enfoncent dans le sol pour donner des tubercules (Bernhards, 1998).

II.2.4.3. Cycle végétatif

Le tubercule n'est pas seulement un organe de réserve, c'est aussi un organe qui sert à la multiplication végétative, cette dernière se déroule en trois étapes : la dormance, la germination et la tubérisation.

II.2.4.3.1. Dormance

Après la récolte, la plupart des variétés de pommes de terre traversent une période où le tubercule ne germe pas, quelles que soient les conditions de température, d'éclairage et d'humidité. Il s'agit de la période de dormance, et sa durée dépend beaucoup de la variété et des conditions d'entreposage, et surtout de la température. Pour hâter la germination, on peut traiter chimiquement les tubercules de semence ou les exposer alternativement à des températures élevées et basses (Chaumeton *et al.*, 2006).

II.2.4.3.2. Germination

Au cours du stockage, une évolution interne du tubercule conduit d'abord à un seul germe qui se développe lentement et dans ce cas c'est toujours le germe issu du bourgeon terminal qui inhibe les autres bourgeons : ce phénomène est la dominance apicale, cela sera suivi par la croissance des autres germes (Fig. 12). Ils s'allongent lentement, se ramifient, deviennent filiformes et finalement tubérisent (Bernhards, 1998).

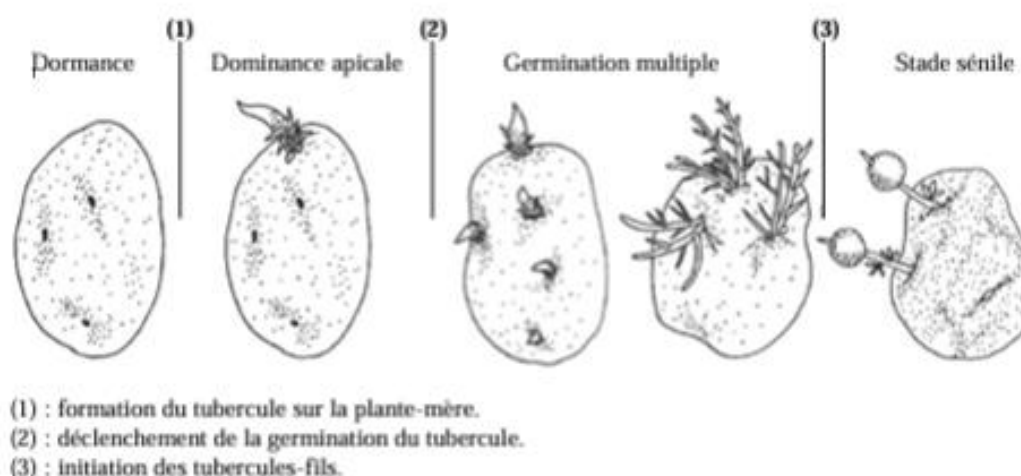


Figure 12: Evolution physiologique du tubercule de pomme de terre (Rousselle *et al.*, 1992).

II.2.4.3.3. Tubérisation

Le tubercule est la justification économique de la culture de pomme de terre puisqu'il constitue la partie alimentaire de la plante et en même temps, son organe de propagation le plus fréquent. Ce phénomène commence d'abord par un arrêt d'élongation des stolons après une période de croissance. La tubérisation est réalisée dès que le diamètre des ébauches est le double de celui des stolons qui les portent. Outre les processus de multiplication cellulaire, le grossissement des ébauches de tubercules s'effectue par accumulation dans les tissus des substances de réserve synthétisées par le feuillage. Ce grossissement ralentit puis s'arrête au cours de la sénescence du feuillage (Bernhards, 1998).

II.2.5. Exigences écologiques de la pomme de terre

II.2.5.1. Exigences climatiques

II.2.5.1.1. Température

Elle influence beaucoup le type de croissance. Les hautes températures stimulent la croissance des tiges; par contre, les basses températures favorisent davantage la croissance du tubercule (Rousselle *et al.*, 1996). La pomme de terre est très sensible au gel. Le zéro de végétation est compris entre 6 et 8°C. Les températures optimales de croissance des tubercules se situent aux alentours de 18°C le jour et 12°C la nuit. Une température du sol supérieure à 25°C est défavorable à la tubérisation.

II.2.5.1.2. Lumière

La croissance végétative de la pomme de terre est favorisée par la longueur élevée du jour (14 à 18h). Une photopériode inférieure à 12 h favorise la tubérisation. L'effet du jour long peut être atténué par les basses températures. La photopériode : Driver et Hawkes 1943 remarquent qu'il y a chez la pomme de terre des variétés de jours longs, des variétés de jours courts et des variétés indifférentes.

II.2.6. Exigences édaphiques

II.2.6.1. Structure et texture du sol

La plupart des sols conviennent à la culture de la pomme de terre à condition qu'ils soient bien drainés et pas trop pierreux. Les sols préférés sont ceux qui sont

profonds, fertiles et meubles. En général, la pomme de terre se développe mieux dans des sols à texture plus ou moins grossière (texture sablonneuse ou sablo-limoneuse) que dans des sols à texture fine et battante (texture argileuse ou argilo-limoneuse) qui empêchent tout grossissement de tubercule.

II.2.6.2. pH

Dans les sols légèrement acides (pH = 5,5 à 6), la pomme de terre peut donner de bons rendements. Une alcalinité excessive du sol peut causer le développement de la galle commune sur tubercule (Chaumeton *et al.*, 2006).

II.2.6.3. Salinité

La pomme de terre est relativement tolérante à la salinité par rapport aux autres cultures maraîchères. Cependant, un taux de salinité élevé peut bloquer l'absorption de l'eau par le système racinaire. Lorsque la teneur en sel est élevée, le point de flétrissement est atteint rapidement. On peut réduire la salinité d'un sol en le lessivant avec une eau d'irrigation douce (Anonyme, 1999).

II.2.7. Maladies et ravageurs

Comme toutes les cultures, la pomme de terre est soumise à l'attaque de plusieurs maladies et ravageurs occasionnant parfois des dégâts importants. Les principales maladies et ravageurs de la pomme de terre rencontrés en Algérie sont catalogués comme suit :

II.2.7.1. Maladies cryptogamiques

- Mildiou de la pomme de terre : l'ennemi juré du tubercule à l'échelle mondiale est dû à une moisissure aquatique, (*Phytophthora infestans*), qui détruit feuilles, tiges et tubercules (Rousselle *et al.*, 1992).

i- **Alternariose** : L'alternariose est provoquée par les champignons (*Alternaria solani*) et (*A. alternata*). La maladie provoque surtout des dégâts en climat continental, chaud et sec, mais est accentuée en culture irriguée (Gaucher, 2003) Ses symptômes sont :

- ✓ **Sur feuilles** : taches nécrotiques, bien délimitées, de taille variable, situées plutôt sur les feuilles du bas ; présence d'anneaux concentriques sur les taches importantes.

- ✓ **Sur tubercules** : pourritures brunes à noires, très sèches, assez typiques, avec une dépression.

ii- Rhizoctone noir : Il est provoqué par un champignon (*Rhizoctonia solani*), qui se développe à partir des sclérotés noirs fixés sur le tubercule-mère ou présents dans le sol. Ces sclérotés constituent la forme de conservation du champignon. Les tubercules contaminés portent à la surface de petits amas noirs très durs, appelés sclérotés, qui sont très visibles sur les tubercules lavés (Rousselle et al., 1992).

iii- Fusariose (la pourriture sèche) : Elle est provoquée par des champignons du genre *Fusarium* (notamment *Fusarium caeruleum*). Cette maladie peut exceptionnellement être observée dès la récolte mais généralement, elle se manifeste en cours de conservation, provoquant la destruction du tubercule (Gaucher, 2003). Le tubercule et la terre contaminés véhiculent le champignon et sont ses vecteurs de propagation ; grâce à sa forme de conservation, les chlamydospores, le champignon peut aussi se conserver dans les locaux de conservation et sur le matériel.

iv- Verticilliose : deux champignons (*Verticillium albo-atrum* et *Verticillium dahlia*) sont responsables de cette maladie.

Les symptômes en végétation s'expriment tardivement : dans un premier temps, il y a jaunissement des feuilles suivi par un flétrissement du feuillage qui se généralise ensuite à l'ensemble de la plante (Rousselle et al., 1992). Les feuilles flétries brunissent, tombent ou restent fixées à la tige qui conserve une couleur verte. L'inoculum provient du sol, de l'eau d'irrigation ou de ruissellement. L'infection peut se produire par les racines, les blessures et les germes.

II.2.7.2. Maladies bactériennes

i- Gale commune : (*Streptomyces scabies*) Les symptômes de la gale commune se manifestent uniquement en surface des tubercules et dépendent de divers facteurs, dont le type de souche de gale commune, la variété et les conditions climatiques (Gaucher, 2003).

ii- Flétrissement bactérien des solanacées : Il est causé par un pathogène bactérien. Il provoque de graves pertes dans les régions subtropicales et tempérées.

iii- Jambe noire de la pomme de terre : c'est une infection bactérienne (*Erwnia carotovora*) qui provoque la pourriture des racines dans le sol et durant le stockage (Rousselle *et al.*, 1992).

II.2.7.3. Maladies virales

En Algérie, les virus suivants ont été rapportés sur la pomme de terre (INPV, 2011).

-Virus Y (*polyvirus*) ou PVY

-Virus X (*potexvirus*) ou PVX

-Virus de l'enroulement ou PLRV

-Virus de la mosaïque de la luzerne AMV Les principaux symptômes et dégâts des maladies et ravageurs cités ci-dessus, ainsi que leurs moyens de lutte sont décrits dans un tableau des maladies de la pomme de terre .

II.2.7.4. Insectes et ravageurs

- Pucerons (*Mysus persicae*, *Aulacortum solani*, *Macrosiphum euphorbiae*).
- Teigne (*Photmea operculilla*).
- Noctuelles (*Spodoptera littoralis*, *Spodoptera exigna*).
- Doryphore (*Leptinotarsa decemlineata*).
- Nématodes Nématodes Gallicoles (*Meloidoyne spp*).

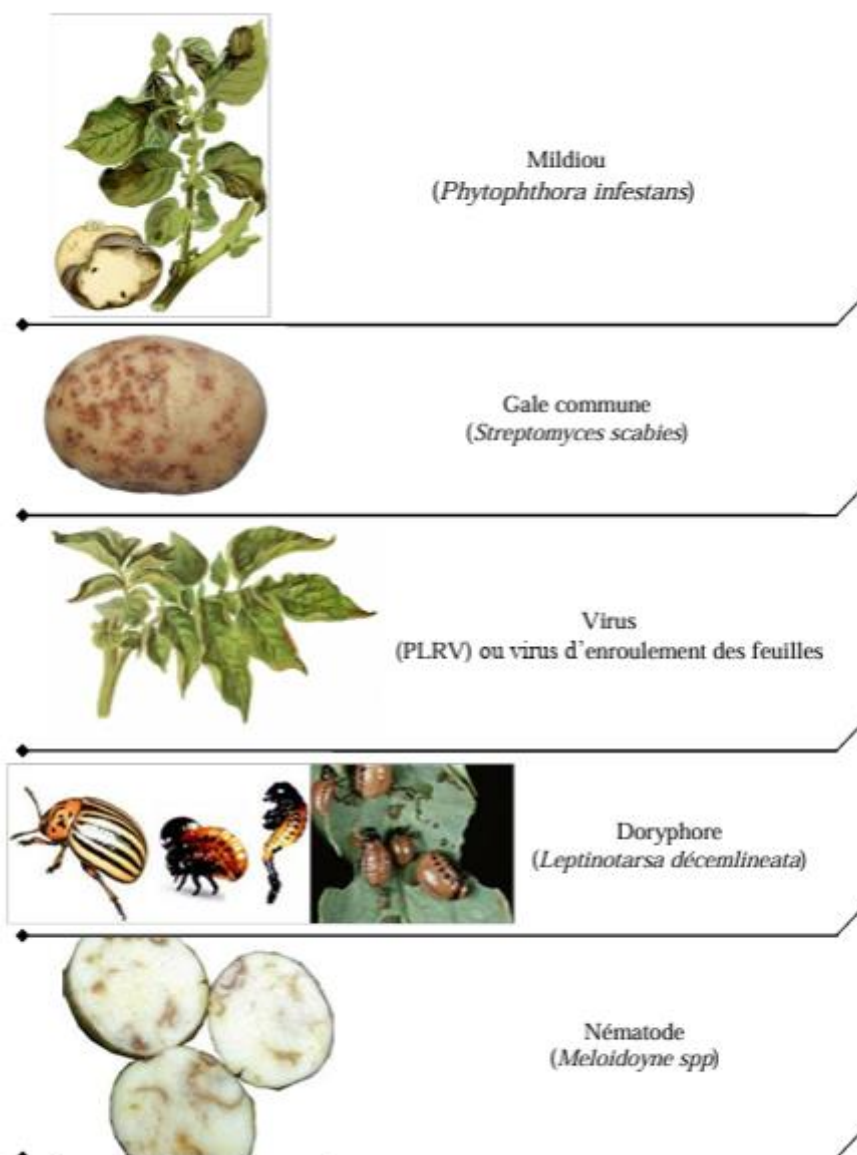


Figure 13: Les différentes maladies et ravageurs de la pomme de terre (Gaucher, 2003).

II.2.8. Différentes variétés cultivées en Algérie

Cent vingt variétés sont inscrites au catalogue algérien des espèces et variétés cultivées. Cette inscription est obligatoire pour leur commercialisation. Elle est précédée de deux ans au cours desquels sont évalués les caractères d'utilisation, le rendement, le comportement vis-à-vis des parasites par le service de Contrôle et certification des semences et plants CNCC. Les principales variétés cultivées en Algérie sont : Spunta (à chair blanche), Désirée (à chair jaune), Bartina, Lisita Les variétés sont déterminées par (Fig. 15-19):

- La forme du tubercule
- La couleur de la peau et de la chair
- La durée de conservation
- La date de mise sur le marché
- La durée de culture

Tableau 2: Liste des variétés de pommes de terre autorisées à la production et à la commercialisation en Algérie (CNCC, 2016).

Variétés oblongues allongées	Autres variétés		
1 - Alaska	1 - Accent	30 - Cosmos	59 - Obelix
2 - Aida	2 - Adora	31 - Daifla	60 - Oléva
3 - Allegro	3 - Agria	32 - Désirée	61 - Oscar
4 - Amorosa	4 - Ailsa	33 - Diamant	62 - Ostara
5 - Apolline	5 - Ajiba	34 - Ditta	63 - Pamela
6 - Arinda	6 - Ajax	35 - Escort	64 - Pamina
7 - Arnova	7 - Akira	36 - Fabula	65 - Pentland Dell
8 - Ballade	8 - Almera	37 - Famosa	66 - Pentland Square
9 - Bellini	9 - Ambo	38 - Florice	67 - Provento
10 - Cantate	10 - Anna	39 - Folva	68 - Raja
11 - Carmine	11 - Apollo	40 - Frisia	69 - Red Cara
12 - Ceasar	12 - Argos	41 - Granola	70 - Red Pontiac
13 - Coralie	13 - Armada	42 - Jaerla	71 - Remarka
14 - Cleopatra	14 - Aranka	43 - Kennebec	72 - Resy
15 - Dura	15 - Ariane	44 - Kingston	73 - Rosara
16 - Elodie	16 - Asterix	45 - Kondor	74 - Rubis
17 - Elvira	17 - Atlas	46 - Korrigane	75 - Sahel
18 - Estima	18 - Atica	47 - Kuroda	76 - Samanta
19 - Hanna	19 - Balanse	48 - Ilona	77 - Satina
20 - Hermine	20 - Baraka	49 - Isna	78 - Secura
21 - Idole	21 - Barna	50 - Labadia	79 - Simply Red
22 - Liseta	22 - Bartina	51 - Latona	80 - Slaney
23 - Monalisa	23 - Burren	52 - Lola	81 - Stemster
24 - Nicola	24 - Cardinal	53 - Maradona	82 - Superstar

25 - O.Sirène	25 - Carlita	54 - Margarita	83 - Symfonia
26 - Rodéo	26 - Claret	55 - Mirakel	84 - Tulla
27 - Safrane	27 - Chieftain	56 - Mondial	85 - Valor
28 - Spunta	28 - Concurrent	57 - Navan	86 - Vivaldi
29 - Terra	29 - Cornado	58 - Novita	87 - Xantia
30 - Timate			
31 - Ultra			
32 - Voyager			
33 - Yesmina			



Figure 14: La variété de pomme de terre Alaska (Arvalis-Institut Végétal. 2018).



Figure 15: La pomme de terre rosabelle (Gaucher, 2003).



Figure 16: La pomme de terre Michuñe (variété indigène du Chili) (Solano, J., Morales, D., & Anabalón, L. 2007).



Figure 17: Pomme de terre papa andina, variété corte à chair colorée (Andahuaylas, Pérou) (Cuesta et al., 2001).



Figure 18: Pommes de terre Amarilla peruanita (Pérou) (Cuesta *et al.*, 2001).



Pomme de Terre Amandine



Pomme de Terre Bintje



Pomme de Terre Charlotte



Pomme de Terre Nicolas



Pomme de Terre Ostara



Pomme de Terre Ratte Primeur



Pomme de Terre Rosabelle

Figure 19: Exemple de différentes variétés de pommes de terre (Gaucher, 2003)

PARITE II :
PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

Chapitre 1 : Matériel et Méthodes

II.3. Objectifs de l'étude

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer l'aptitude de différents substrats de culture alternatifs pour la production de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), variété *margarita*, dans un système de culture hors-sol simplifié (utilisation de sacs).

II.4. Présentation de la Zone d'Étude

II.4.1. Situation Géographique

L'expérimentation a été réalisée au sein de la serre (station expérimentale) rattachée à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Dr. Moulay Tahar (Saïda),

II.4.2. Description de l'Infrastructure (La Serre)

L'étude a été conduite sous une serre

Régulation thermique : La serre est équipée d'un système de ventilation dynamique (extracteurs d'air) et d'ouvertures latérales permettant de réguler la température et l'hygrométrie

II.4.3. Conditions expérimentales de l'Essai

Bien que la culture soit hors-sol, l'environnement interne de la serre a été maintenu dans des plages favorables au développement de la variété Margarita :

Température : Maintenue idéalement entre 15°C (nuit) et 25°C (jour).

Température ambiante oscillant entre 20 ° et 30° ;

Photopériode : Lumière naturelle de la région de Saïda, caractérisée par une forte insolation printanière.

II.5. Matériels :

II.5.1. Matériel de culture et dispositif expérimental

Contenants de culture : des sacs en plastique souple ont été utilisés pour contenir les substrats (Fig. 20).



Figure 20: Des sacs en plastique souple (Mellal & Serrar)



Figure 21: Outils de terrassement et de mélange (Mellal & Serrar)

Substrats testés : différents substrats alternatifs sont évalués pour tester leur influence sur la croissance de la variété *margarita*.

II.5.1.1. Matériel technique et outillage (Fig. 20 et 21)

Pour la mise en place et le suivi de l'essai, les outils suivants ont été mobilisés :

Outils de terrassement et de mélange :

- Une pelle pour le remplissage précis des sacs.
- Un piochon pour la manipulation des substrats compacts ou le travail du sol environnant.

II.5.2. Matériel végétal

Le matériel biologique utilisé dans cette expérimentation est la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). Le choix s'est porté sur la variété *margarita*, reconnue pour ses performances agronomiques.

II.5.2.1. Caractéristiques de la variété Margarita

La variété *margarita* est une variété de consommation largement appréciée pour plusieurs caractéristiques (Fig. 22) :

- **Aspect** : Elle possède des tubercules de forme ovale avec une peau lisse et une chair de couleur jaune clair.
- **Cycle de culture** : C'est généralement une variété de cycle moyen-tardif, ce qui signifie qu'elle nécessite un temps de maturation complet pour exprimer son potentiel de rendement.
- **Résistance** : Elle est connue pour sa bonne tolérance face à certaines maladies fongiques et au stress environnemental, ce qui la rend intéressante pour un essai sur différents substrats.

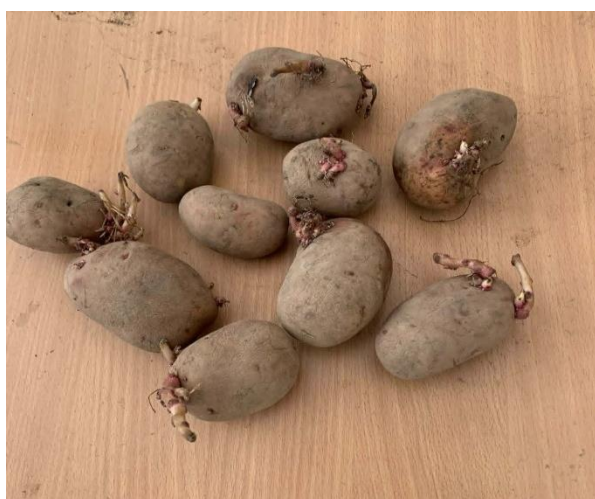


Figure 22: La variété Margarita (Mellal & Serrar)

II.5.2.2. Préparation des semences

Pour cet essai, nous avons utilisé des tubercules certifiés. Avant la plantation (effectuée le 11 mars pour les sacs et le 18 mars pour le témoin), les semences ont été sélectionnées selon les critères suivants :

- **Uniformité** : Choix de tubercules de calibre moyen pour assurer une réserve énergétique homogène.
- **État sanitaire** : Absence de blessures ou de signes de pourriture.

- **Germination** : Utilisation de tubercules ayant des germes vigoureux pour favoriser une levée rapide (ce que nous avons pu observer particulièrement dans le terreau).

2. Les substrats de culture

Le substrat est le support physique qui permet le développement du système racinaire et assure la rétention de l'eau et des nutriments. Pour cette étude, nous avons sélectionné cinq modalités de substrats présentant des propriétés physiques et chimiques distincte

II.5.2.3. Le Terreau (T1)

C'est un support de culture organique issu de la décomposition de matières végétales. Il est caractérisé par :

- Une forte capacité de rétention en eau.
- Une structure aérée favorisant une germination rapide (comme observé après une semaine).
- Une richesse naturelle en éléments nutritifs.



Figure 23: Échantillon de terreau de compostage comme substrat alternatif (Mellal & Serrar)



Figure 24: Échantillon de Sable comme substrat alternatif (Mellal & Serrar)

II.5.2.4. Le Sable (T2)

Le sable utilisé est un substrat minéral inerte. Ses propriétés sont :

- Une excellente capacité de drainage.

- Une faible rétention en nutriments (nécessitant un suivi rigoureux de l'arrosage).
- Une structure granulaire qui facilite la pénétration des racines.

II.5.2.5. La Sciure de bois (T3)

C'est un sous-produit de l'industrie du bois. Son utilisation en agriculture présente des particularités :

- Une porosité élevée mais une rétention d'eau variable.
- Un rapport Carbone/Azote (C/N) élevé, ce qui peut provoquer une "faim d'azote" pour la plante si elle n'est pas compensée.



Figure 25: Échantillon de La Sciure de bois comme substrat alternatif (Mellal & Serrar)



Figure 26: Échantillon de La Terre agricole / Sol standard comme substrat alternatif. (Mellal & Serrar)

II.5.2.6. La Terre agricole / Sol standard (T4)

Il s'agit du sol local utilisé comme base de comparaison. Il représente le témoin des conditions de culture habituelles en Algérie.

II.5.2.7. Le Substrat mixte (T5)

Ce traitement est un mélange homogène des quatre composants précédents. L'objectif de ce mélange est de combiner les avantages de chaque matériau (drainage du sable, richesse du terreau, etc.).



Figure 27: Échantillon de Le Substrat mixte comme substrat alternatif. (Mellal & Serrar)

3. Dispositif expérimental et conduite de la culture

Cette section décrit l'organisation spatiale de l'essai et l'ensemble des opérations culturales effectuées depuis la mise en place jusqu'à l'entretien de la culture.

II.5.2.8. Dispositif expérimental

L'expérimentation est divisée en deux unités distinctes pour comparer le comportement de la pomme de terre hors-sol et en conditions naturelles :

- **Le dispositif hors-sol (en sacs) :**
 - Les cultures ont été installées sur une table de culture afin de les isoler du sol.
 - Nous avons utilisé des sacs de farine recyclés (format moyen) comme contenants.
 - Le dispositif comprend 14 sacs au total, répartis selon les 5 traitements (T1 à T5) :
 - T1 (Terreau) : 2 répétitions (2 sacs).
 - T2 (Sable) : 3 répétitions (3 sacs).
 - T3 (Sciure de bois) : 3 répétitions (3 sacs).
 - T4 (Terre) : 3 répétitions (3 sacs).
 - T5 (Mélange) : 3 répétitions (3 sacs).

- **Le dispositif témoin (Plein champ) :**

- Une parcelle de contrôle a été aménagée directement au sol.
- 12 tubercules y ont été plantés pour servir de référence comparative.

II.5.2.9. 3.2. Conduite de la culture (Itinéraire technique)

A. La plantation :

- **Hors-sol :** La mise en place dans les sacs a été effectuée le 11 mars 2026. Chaque sac a reçu deux (02) tubercules (soit 28 semences au total pour la partie hors-sol).
- **Plein champ :** La plantation du témoin a eu lieu une semaine plus tard, le 18 mars 2026. Les tubercules ont été plantés à une profondeur précise de 12 cm.

B. L'irrigation :

Pour assurer l'homogénéité de l'essai, un régime d'arrosage strict a été appliqué :

- **Fréquence :** Deux fois par semaine.
- **Méthode :** L'apport d'eau a été manuel, en veillant à humidifier l'ensemble du substrat dans les sacs ainsi que la zone du témoin en plein champ.

C. Entretien :

Le suivi a été quotidien pour noter l'apparition des premières pousses (levée) ; la dynamique phénologique ; et surveiller l'état sanitaire des plantules.

4. Paramètre mesuré

Le principal paramètre observé lors de cette phase est la dynamique de levée : i- le temps d'émergence des germes à la surface du substrat ; ii- la phénologie de croissance ; iii- tubérisation.

CHAPITRE 2 :
RESULTATS
ET
DISCUSSION

II.5.3. Chapitre II : Résultats et Discussion

1. Résultats de la dynamique de levée

- **Le témoin (Plein champ) et le Terreau** : La levée a été la plus rapide. Les plantules sont apparues une semaine après la date de plantation respective (soit vers le 18 mars pour le terreau, et vers le 25 mars pour le témoin).
- **Les autres substrats (Sacs)** : La levée a été significativement retardée, prenant presque un mois. L'ordre d'émergence chronologique a été le suivant :

1. Sable ; 2- Substrat mixte (Mélange) ; 3- Sciure de bois ; 4- Terre agricole

Tableau 3: Effet des différents substrats sur la durée de levée des plantes

Traitement	Type de Substrat	Date de Plantation	Date de Levée (env.)	Durée (Jours)
T1	Terreau	11 Mars 2026	18 Mars 2026	7 jours
T2	Sable	11 Mars 2026	10 Avril 2026	~30 jours
T3	Sciure de bois	11 Mars 2026	11 Avril 2026	~31 jours
T4	Terre agricole	11 Mars 2026	12 Avril 2026	~32 jours
T5	Mélange mixte	11 Mars 2026	08 Avril 2026	~28 jours
Témoin	Plein champ	18 Mars 2026	25 Mars 2026	7 jours

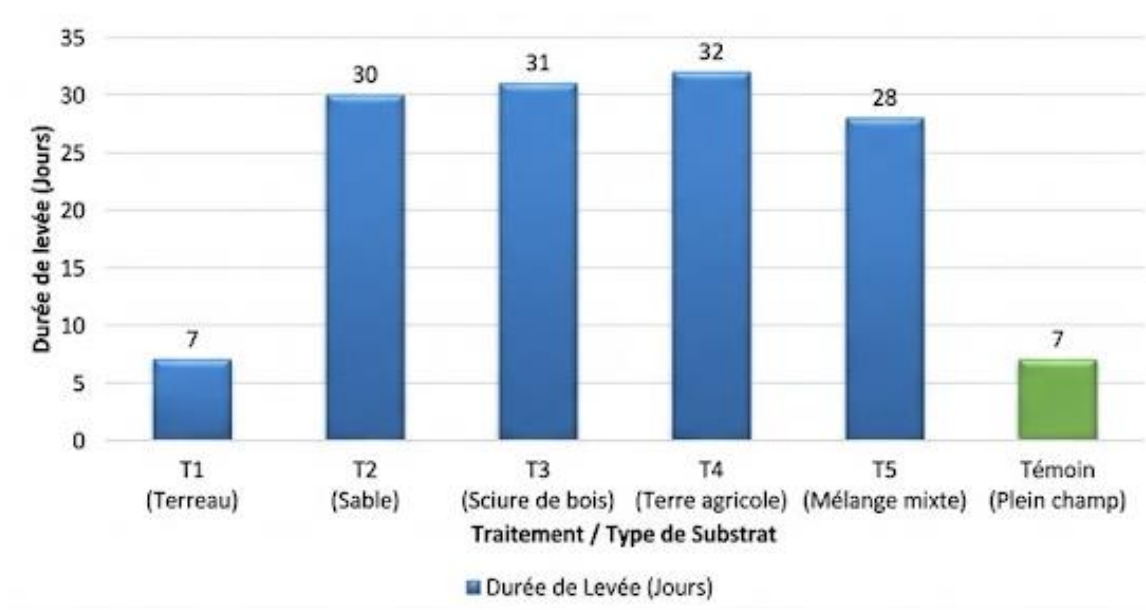


Figure 28: Comparaison des durées de levée par type de substrat

Les résultats montrent une influence importante du type de substrat sur la durée de levée des plantes. Le traitement T1 (terreau) présente la levée la plus rapide avec seulement 7 jours après la plantation. Cette rapidité peut être expliquée par les propriétés physiques et chimiques favorables du terreau, notamment sa bonne capacité de rétention d'eau, son aération et sa richesse en éléments nutritifs, favorisant ainsi une germination rapide et homogène.

Le témoin en plein champ présente également une durée de levée de 7 jours, ce qui indique que les conditions naturelles du sol étaient favorables à la germination durant la période de l'expérience.

Le traitement T5 (mélange mixte) montre une levée intermédiaire avec environ 28 jours. Cela suggère que la combinaison de plusieurs substrats améliore les conditions de germination par rapport aux substrats pauvres utilisés seuls, mais reste moins efficace que le terreau pur.

Les traitements T2 (sable), T3 (sciure de bois) et T4 (terre agricole) présentent les durées de levée les plus longues, variant entre 30 et 32 jours. Le sable possède une faible capacité de rétention d'eau et une faible teneur en nutriments, ce qui peut ralentir la germination. La sciure de bois peut provoquer une immobilisation de l'azote lors de sa décomposition, réduisant ainsi la disponibilité des éléments nutritifs nécessaires au développement des jeunes plantules. Quant à la terre agricole, ses caractéristiques physiques peuvent être moins favorables à l'aération et à l'humidité optimale nécessaires à une levée rapide.

D'une manière générale, les résultats indiquent que les substrats riches en matière organique et possédant une bonne capacité de rétention hydrique favorisent une levée plus rapide des plantes, tandis que les substrats pauvres ou déséquilibrés retardent la germination.

Tableau 4: Suivi de la croissance des plantes (P1, P2 et P3) dans différents substrats entre le 11/03 et le 30/04

Milieu	Plantes	11/03	21/03	10/04	20/04	30/04
Terreau	P1	0	13	24	35	47 cm
Terreau	P2	0	7	16	28	37
Sable	P1	0	1,8	3,5	7	12
Sable	P2	0	3	6,5	11	19
Sable	P3	0	2	4	9,5	14
Sciure	P1	0	0	3	5	9
Sciure	P2	0	0	4	6,5	11
Sciure	P3	0	0	4	7	11
Terre	P1	0	4	7,5	12	14
Terre	P2	0	2	5	8	13
Terre	P3	0	2,5	6	9,5	16
Compost	P1	0	3	5	9,5	13
Compost	P2	0	3	5,5	11	15
Compost	P3	0	3	5	10	14

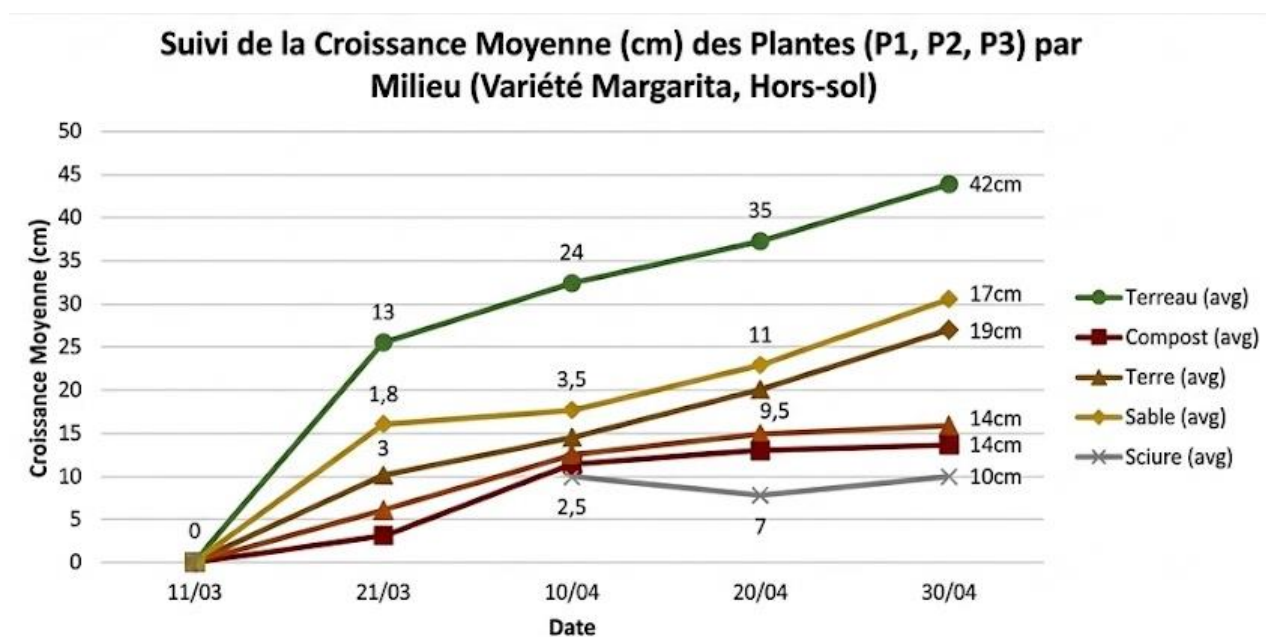


Figure 29: Suivi de la croissance moyenne (cm) des plantes (p1, p2, p3) par milieu (variété margarita ; hors-sol)

Les résultats du tableau montrent que la croissance des plantes varie considérablement selon le type de substrat utilisé. Dès les premières observations, les plantes cultivées dans le terreau présentent les valeurs de croissance les plus élevées. À la date du 30/04, la plante P1 atteint environ 47 cm, tandis que P2 atteint 37 cm. Cette forte croissance indique que le terreau offre des conditions favorables au développement des plantes grâce à sa richesse en matière organique, sa bonne aération et sa capacité élevée de rétention d'eau.

Le substrat sable montre une croissance moyenne. Les plantes ont commencé leur développement plus lentement, mais leur taille augmente progressivement au fil du temps. La plante P2 atteint environ 19 cm à la fin de l'expérience. Cependant, les valeurs restent inférieures à celles observées dans le terreau, ce qui peut être expliqué par la faible capacité du sable à retenir l'eau et les éléments nutritifs.

Dans le substrat sciure, la croissance est plus faible et plus lente. Les plantes présentent des tailles relativement réduites comparativement aux autres traitements. Cela peut être dû à la décomposition de la sciure qui entraîne une immobilisation de l'azote dans le substrat, limitant ainsi la disponibilité des nutriments nécessaires à la croissance végétale.

Les plantes cultivées dans la terre agricole montrent une croissance intermédiaire. Les valeurs augmentent régulièrement jusqu'à atteindre environ 14 à 16 cm selon les répétitions. Ce substrat semble offrir des conditions acceptables pour le développement des plantes, mais moins favorables que le terreau.

Le compost présente également une bonne croissance des plantes, avec des valeurs proches de celles obtenues dans la terre agricole. Les plantes atteignent environ 13 à 15 cm à la fin de l'expérience. Cela démontre l'importance de la matière organique dans l'amélioration de la fertilité du substrat et dans le développement des plantes.

D'une manière générale, les résultats indiquent que les substrats riches en matière organique, notamment le terreau, favorisent une croissance plus rapide et plus importante des plantes. À l'inverse, les substrats pauvres en éléments nutritifs ou présentant une faible rétention d'eau, comme le sable et la sciure, limitent le développement végétatif. Ces observations montrent l'importance du choix du substrat dans la réussite de la croissance des plantes.



Figure 30: Réponse de croissance de la variété Margarita sur le substrat combiné (T5).
(Mellal & Serrar)



Figure 31 : État des lieux de la levée sur terre agricole (T4) en condition hors-sol.
(Mellal & Serrar)



Figure 32 : Comparaison de l'état de surface du substrat sable à la plantation et après un mois d'irrigation. (Mellal & Serrar)



Figure 33 : Aspect du substrat Terreau (T1) au moment de la plantation. (Mellal & Serrar)



Figure 34: Développement végétatif de la pomme de terre sur substrat organique de sciure (T3).
(Mellal & Serrar)

II.5.4. Essai en plein air (Air libre)

II.5.4.1. Substrat et caractéristiques générales

- Substrat : **terre rouge additionnée de fumier.**
- Profondeur moyenne de plantation : **8 à 10 cm.**
- Nombre de pieds : **20.**
- Nombre moyen de tiges aériennes : 3 tiges par tubercule mère.

II.5.4.2. Suivi de la croissance des plants

Temps / Date	N1	N2	N3	N4	N5
T1 – 15/03	Mise en terre				
T2 – 28/03	1	–	2	–	1
T3 – 10/04	9	7	9,5	6	6
T4 – 18/04	17	18	17,5	15	16,5
T5 – 26/04	31	30,5	29	31,5	33
T6 – 01/05	55,5	57,5	54	58	61,5
T7 – 14/05	76	72,5	76,5	79	81

Remarque : Profondeur $\approx$ 8–10 cm



Figure 35: État des lieux Essai en plein air (Air libre) (Hasnaoui, 2026)

II.5.4.3. Conditions expérimentales

- **Préparation du terrain**

Le terrain a été préparé dans une zone favorable à la culture de la pomme de terre. Le sol a été retourné sur une profondeur d'environ 60 cm afin d'améliorer son aération et de faciliter le développement des tubercules.

- **Plantation des tubercules**

Les tubercules ont été placés en terre à une profondeur moyenne comprise entre 8 et 10 cm avec un espacement régulier de 10 à 15 cm entre les plants.

- **Arrosage**

Un premier arrosage a été effectué le jour de la plantation, le 15/03/2026.

II.5.4.4. Conditions climatiques observées

Partie I. Périodes de pluie

- 27/03 → 28/03 ; 12/04 → 13/04 ; 21/04 → 23/04 ; 02/05 → 03/05

- **Conditions d'humidité**

Présence de brouillard et de rosée avec un temps humide durant :

- 17/04 → 18/04 ; 24/04 → 25/04

II.5.4.5. Observations générales

Les conditions environnementales observées à Aïn El Houtz étaient favorables au bon développement de la pomme de terre.

- **Tubérisation observée** : 12/05/ 2026. ; **Taux de multiplication** : 1/20.

II.5.5. Témoin intérieur de la serre

II.5.5.1. Conditions expérimentales

- **Substrat** : Terre légère enrichie en matière organique.
- **Profondeur de plantation** : Les tubercules ont été plantés à une profondeur moyenne de 10 cm.
- **Conditions de culture** : La culture a été réalisée à l'intérieur d'une serre caractérisée par :
 - Une température relativement élevée ;
 - Une humidité plus faible ;
 - Une diminution de l'arrosage.
- **Nombre de plants observés**

Huit plants ont été suivis expérimentalement (P1 à P8).

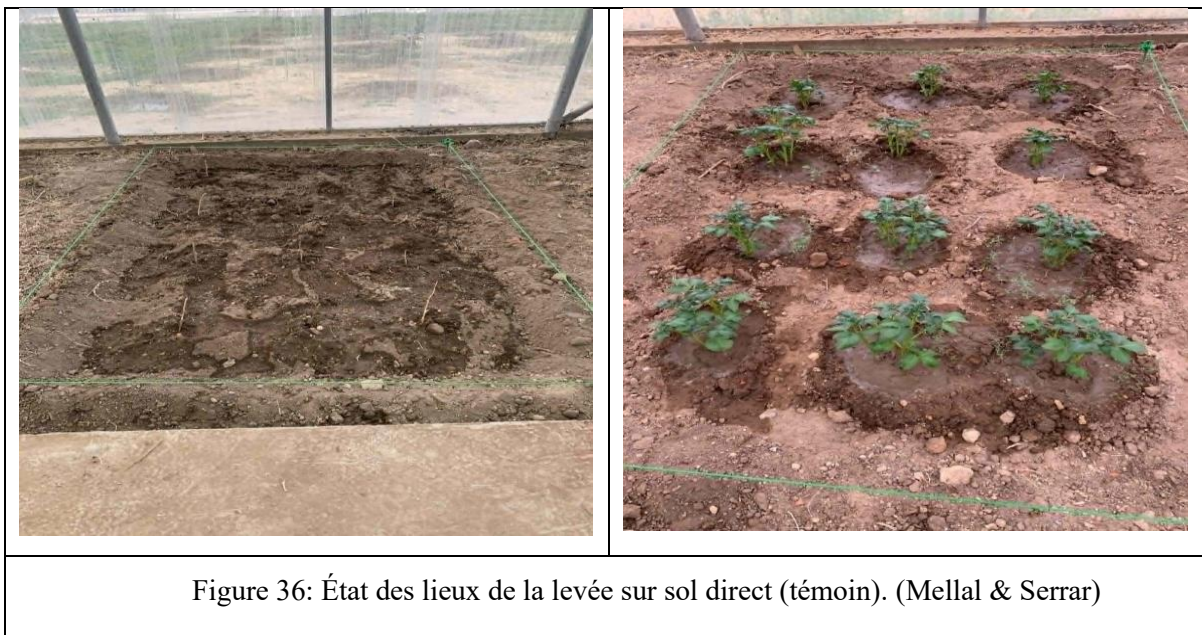
II.5.5.2. Préparation et conduite de l'essai

- **Préparation du terrain** : Le sol a été préparé manuellement afin de favoriser la croissance des plants dans un environnement contrôlé.
- **Plantation des tubercules** : Les tubercules ont été placés à une profondeur moyenne de 10 cm avec un espacement régulier entre les plants.
- **Arrosage** : L'arrosage a été volontairement réduit afin d'étudier l'effet du stress hydrique sur le développement végétatif des plants.

II.5.5.3. Suivi de la croissance des plants

Date	1	2		4	5	6	7	8
T1 – 18/03	Mise en terre							
T2 – 28/03	0	0	0	0	0	0	0	0
T3 – 07/04	1,6	1	1	1,5	1,6	1	1,5	1,6
T4 – 19/04	3	3	3	2,5	3	2,5	3	3
T5 – 29/04	6	6	6	6	7	6	6	6
T6 – 07/05	12	12	13, 5	14	14	14	13	13
T7 – 17/05	26	26	27	27,5	27	28	26,5	28

Remarque : la profondeur 10 cm



II.5.5.4. Effets observés

Les observations réalisées sous serre ont montré :

- un ralentissement modéré de la croissance ;
- une diminution de la hauteur de certains plants ;
- un développement végétatif moins important comparé aux plants cultivés à l'air libre.

Globalement et sur le plan de l'analyse mécanistique le retard constaté sur la phénologie s'explique principalement par des déficits en disponibilité hydrique et en éléments nutritifs accessibles. Le sable (T2) et la sciure (T3) présentent respectivement une rétention nulle en éléments nutritifs et un phénomène d'immobilisation de l'azote (rapport C/N élevé). La terre agricole (T4) souffre d'une structure compacte limitant l'aération racinaire. Le substrat mixte (T5) bénéficie d'un effet tampon partiel dû à la combinaison des matériaux, expliquant son avance de quelques (4) jours sur les substrats simples.

Ces résultats sont cohérents avec la littérature. Titouna (2010) et Raviv & Lieth (2008) soulignent que la phase de germination est la plus sensible aux propriétés physico-chimiques du substrat, notamment la capacité de rétention en eau et la disponibilité en azote assimilable.

II.5.6. Conclusion générale

Les résultats obtenus montrent que les conditions environnementales influencent fortement la croissance et le développement de la pomme de terre.

Les plants cultivés à l'air libre ont présenté une croissance plus importante grâce aux conditions naturelles favorables, notamment une humidité suffisante et des températures modérées.

En revanche, les plants cultivés à l'intérieur de la serre, soumis à une température plus élevée et à une réduction de l'arrosage, ont présenté un développement végétatif plus faible. Ces conditions ont entraîné un stress thermique et hydrique ayant limité la croissance des plants malgré une germination correcte.

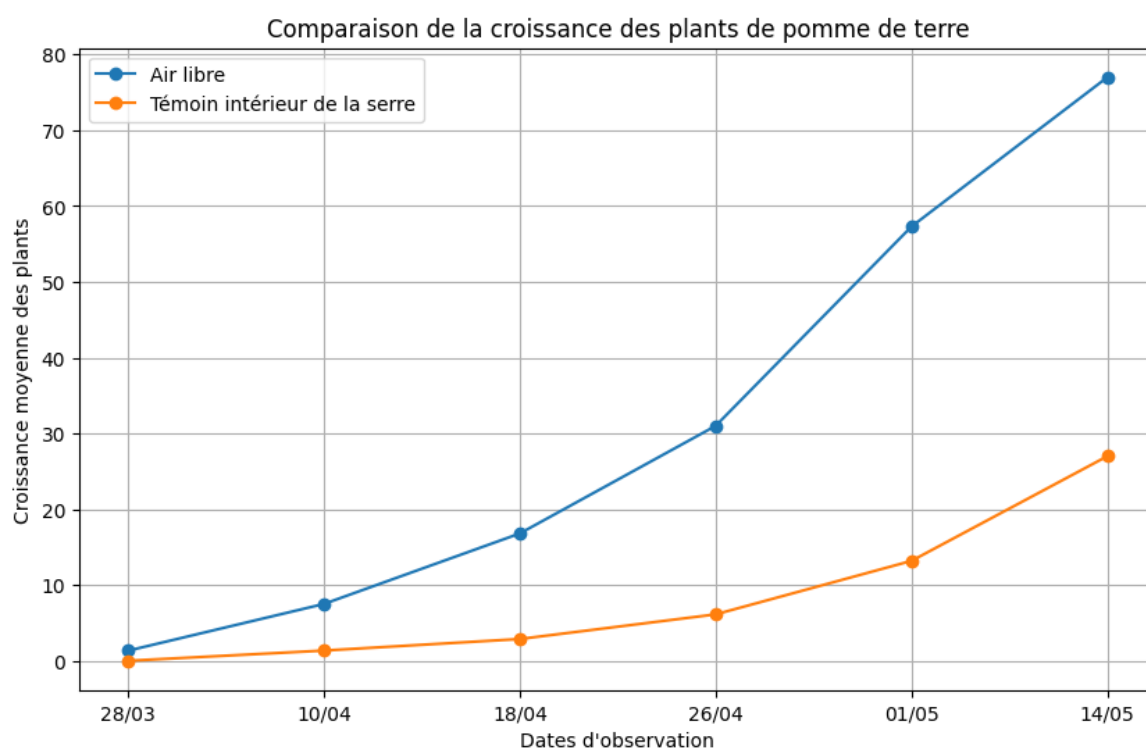


Figure 36: comparaison de la croissance des plantes de pomme de terre en plan air et dans la serre



Figure 38: Comparaison de la tubérisation de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L., variété *Margarita*) selon les différents substrats utilisés en culture hors-sol. (Mellal & Serrar, 2026).

La figure présente les tubercules de pomme de terre récoltés à la fin de l'expérimentation menée sur différents substrats de culture hors-sol. Une variabilité importante est observée entre les traitements en termes de nombre, de taille et de développement des tubercules.

Les sacs contenant un substrat riche en matière organique semblent avoir favorisé une meilleure tubérisation, caractérisée par la présence d'un nombre plus élevé de tubercules et par un calibre généralement plus important. À l'inverse, certains substrats, notamment ceux à faible capacité de rétention en eau ou pauvres en éléments nutritifs, ont produit un nombre réduit de tubercules, souvent de petite taille.

L'observation visuelle met également en évidence des différences dans le développement du système racinaire. Les traitements ayant assuré une bonne aération et une disponibilité adéquate en eau présentent un réseau racinaire plus dense et mieux développé, associé à une production plus importante de tubercules. En revanche, les substrats moins favorables montrent des racines moins abondantes et une tubérisation limitée.

Globalement, les résultats illustrent l'influence déterminante de la nature du substrat sur la croissance souterraine de la pomme de terre. La production de tubercules varie selon les propriétés physiques et chimiques des milieux de culture, notamment leur capacité de rétention hydrique, leur porosité et leur richesse en matière organique. Ces observations confirment que le choix du substrat constitue un facteur essentiel pour optimiser la production de pomme de terre en système hors-sol.

Discussion

L'évaluation de la production hors sol de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), variété *margarita*, sous serre tunnel à l'Université de Saïda, a révélé des variations hautement significatives entre les cinq substrats testés : le terreau (T1), le sable (T2), la sciure de bois (T3), la terre agricole (T4) et le substrat mixte (T5). Ces écarts mettent en évidence l'impact direct des propriétés physiques, chimiques et microbiologiques du milieu de culture sur la levée et le développement végétatif initial de cette Solanacée.

1. Analyse de la précocité et du taux de levée

La phase de levée constitue une étape critique conditionnant le rendement futur de la culture hors sol. Les résultats expérimentaux démontrent une supériorité nette du terreau (T1), ayant induit une levée rapide en seulement 7 jours. Cette performance s'explique par la texture meuble et la porosité optimale du terreau, qui offre une faible résistance mécanique à la percée des germes tout en maintenant une humidité et une température stables autour du tubercule. À l'inverse, la sciure de bois (T3) et le sable (T2) ont affiché des retards conséquents et des restrictions sévères de levée. Dans le cas du sable (T2), les arrosages répétés provoquent un compactage de surface, augmentant la densité apparente et créant une barrière physique rigide. Pour la sciure de bois (T3), le retard peut être imputé à une mauvaise régulation de la température au sein de la zone racinaire ainsi qu'à la présence potentielle de substances inhibitrices inhérentes au matériau brut.

2. Dynamique de la croissance végétative

Le suivi de la hauteur des plantes entre le 11 mars et le 30 avril corrobore la hiérarchie observée lors de la levée. Les plantes cultivées sur terreau (T1) affichent un développement vigoureux, la plante P1 atteignant une hauteur maximale d'environ 47 cm. Cette dynamique de croissance soutenue résulte de la forte teneur du terreau en matière organique stable, combinée à une excellente capacité de rétention d'eau et une aération idéale pour le système racinaire. Ces paramètres garantissent une absorption hydrique et minérale continue, évitant les stress nycthémeraux.

Le substrat mixte (T5) montre des performances intermédiaires encourageantes. En combinant différentes fractions, le mélange atténue les défauts individuels des composants purs (comme le lessivage du sable ou l'asphyxie de la terre agricole), améliorant la capacité d'échange cationique (CEC) et la porosité globale.

À l'opposé, les milieux à base de sable (T2) et de sciure de bois (T3) ont fortement limité l'élongation des tiges, la plante P2 sur sable plafonnant à seulement 19 cm à la fin de l'essai. L'analyse des propriétés du sable explique cette faiblesse par une porosité macro-capillaire excessive entraînant une percolation rapide de l'eau et un lessivage systématique des éléments nutritifs apportés par la fertigation. La plante subit ainsi des micro-stress hydriques et nutritionnels permanents entre chaque apport.

Quant à la sciure de bois (T3), la stagnation morphologique de la variété *margarita* s'explique par deux contraintes majeures largement documentées. D'une part, ce matériau présente un rapport Carbone/Azote (C/N) extrêmement élevé. En l'absence d'un compostage préalable complet, la microflore présente entre en compétition directe avec les racines pour l'assimilation de l'azote minéral disponible, déclenchant le phénomène de « faim d'azote » qui bloque la synthèse protéique et la division cellulaire. D'autre part, la sciure fraîche libère des tanins solubles et des résines phytotoxiques qui altèrent l'intégrité des membranes cellulaires racinaires, limitant drastiquement la capacité d'absorption de la plante (Fig. 39).

La cinétique de croissance moyenne durant la période d'expérimentation montre une évolution végétative de l'appareil végétatif significatif en comparaison avec les différents substrats.

Le suivi de la hauteur des plantes pour les différentes répétitions pour chaque substrat montre des valeurs présentées aux moyennes des répétitions disponibles pour chaque traitement (Fig. 39). Ce paramètre reflète la vigueur et l'efficacité nutritionnelle du substrat sur la durée. La fig. 39 concernant la croissance révèle une divergence progressive et marquée entre le terreau (T1) et les autres substrats. Dès la première mesure (21/03) le terreau affiche une hauteur de 10 cm soit 3 à 10 fois supérieure aux autres traitements. Cet écart s'amplifie au cours du temps : au 30/04

la hauteur moyenne dans le terreau atteint 42 cm contre 10,3 à 15 cm pour les autres substrats ; un rapport de 1 à 4,1.

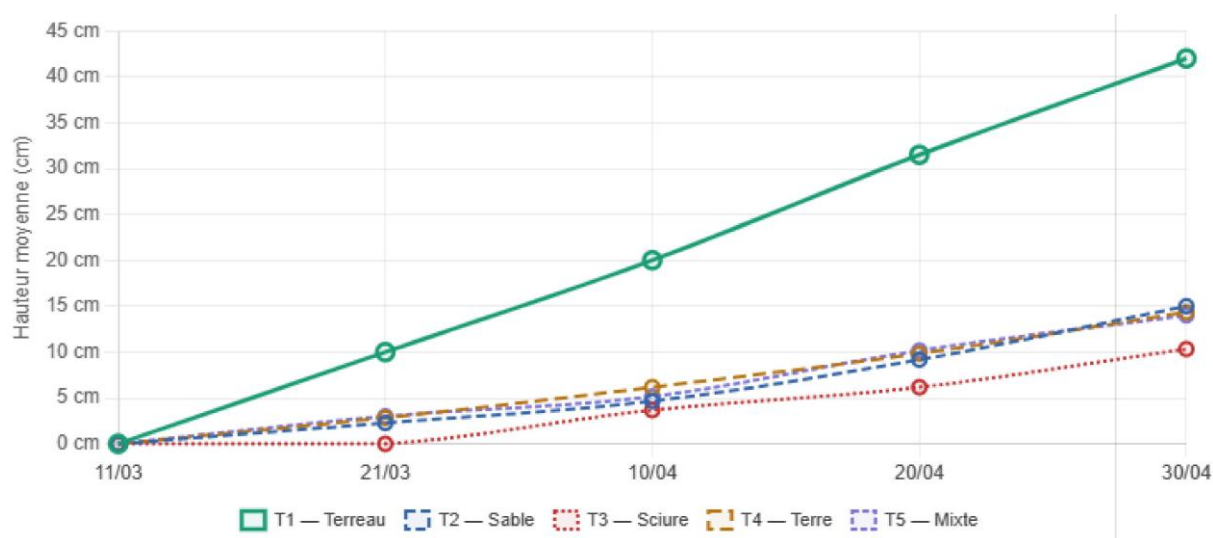


Fig. 39 : Cinétique de croissance phénologique dans les différents substrats.

Tableau N° : Croissances moyennes calculées (cm) -données brutes et moyennes

Substrat	11/03	21/03	10/04	20/04	30/04	Gain total
T1	0	10	20	31,5	42	42
T2	0	2,3	4,7	9,2	15	15
T3	0	0	3,7	6,2	10,3	10,3
T4	0	2,8	6,2	9,8	14,3	14,3
T5	0	3	5,2	10,2	14	14

Analyse comparative des substrats faibles :

Le sable (T2), la sciure (T3) et la terre (T4) présentent des vitesses de croissance similaires (10-15 cm final), mais pour des raisons différentes. Le sable échoue par absence de capacité nutritive. La sciure échoue par compétition microbienne sur l'azote ($C/N > 100$). La terre agricole, bien que chimiquement plus riche, présente une structure physique limitante en conteneur. Le substrat mixte (T5) ne surpasse pas ces trois substrats de façon significative, ce qui suggère que les volumes réduits des sacs amplifient les déficits de chaque composant plutôt qu'ils ne s'annulent.

La croissance exponentielle observée dans T 1 entre le 10/04 et le 30/04 (+22 cm en 20 jours) correspond à la phase de croissance active post-tubérisation, particulièrement sensible à la disponibilité en potassium et en azote. Cette phase est correctement soutenue par le terreau, qui maintient une disponibilité en éléments nutritifs sur toute la durée du cycle.

Conditions contraignantes lors de notre expérimentation :

Lors de notre investigation et de la prise de notre travail de recherche de nombreux paramètres contraignants sont apparus et cela malgré les différentes dispositions prises en compte pour atteindre les objectifs fixés. Les circonstances sont liées aux semences de pomme de terre d'une part et aux conditions expérimentales d'autre part.

Nous pouvons les énumérer comme suit :

- 1- Les semences de pomme de terre (*Solanum tuberosum*) : vu le moment où nous avons entamé la recherche des semences nous étions dans le mauvais moment car la saison de la plantation des primeurs était achevée et nous n'avons trouvé qu'une seule et unique variété (margarita).
- 2- Le lieu de culture : La serre. Nous avons manqué de moyens de contrôle principalement pour évaluer la température, l'aération et l'humidité. Ce sont là les paramètres les plus importants pour une bonne réussite de notre expérimentation.
- 3- Le manque de temps allouer à la recherche. Globalement la durée de culture de la pomme de terre oscille entre 60 Jours et 150. Pour notre cas nous ne disposons que 50 en moyenne entre la préparation du matériel végétal et les moyens techniques pour aboutir aux résultats escomptés. Alors que pour avoir un résultat une moyenne de « 3 » est nécessaire pour cela.
- 4- Nous n'avons pas eu recours aux moyens de lutte contre les maladies et les parasites et cela malgré la présence de conditions favorisant leurs développements.
- 5- Nous n'avons pas eu recours aux intrants c'est à dire à l'utilisation des apports nutritifs.

CONCLUSION
ET
PERSPECTIVES

Conclusion

L'étude menée sur l'aptitude de différents substrats alternatifs pour la culture hors sol de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), variété *margarita*, a permis de mettre en évidence l'influence déterminante des propriétés physico-chimiques du milieu de culture sur le développement végétatif de cette Solanacée. Les résultats obtenus démontrent que le terreau (T1) constitue le substrat le plus performant, offrant une levée rapide en 7 jours et une croissance optimale atteignant jusqu'à 47 cm. Cette performance s'explique par sa richesse en matière organique, sa porosité et sa capacité de rétention d'eau élevée, favorisant un développement racinaire précoce et vigoureux. À l'inverse, les substrats inertes ou bruts ont montré des limites significatives :

Le sable (T2), malgré un drainage satisfaisant, a limité la croissance en raison de sa faible rétention en nutriments.

La sciure de bois (T3) a engendré les performances les plus faibles (croissance limitée à 11 cm), confirmant le phénomène de « faim d'azote » lié à la décomposition du matériau.

Cependant, les performances intermédiaires du substrat mixte (T5) et du compost suggèrent qu'une combinaison judicieuse de ressources locales peut constituer une alternative économiquement viable au terreau commercial.

En conclusion, si la culture hors sol simplifiée est prometteuse pour la production de la variété *margarita* en Algérie, sa réussite repose sur l'optimisation des mélanges de substrats locaux et une gestion rigoureuse de la fertigation pour compenser les carences nutritionnelles des milieux inertes.

Perspectives :

Certes les résultats obtenus ne représentent qu'une ébauche d'une expérimentation qui mérite d'être peaufiner. Ceci doit passer par :

- 1- Un suivi rigoureux de la cinétique de croissance ;
- 2- Un protocole expérimental plus adapté aux conditions du milieu ;
- 3- Un choix des plantes plus adéquat (plantes à caractère financier plus important) etc.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Ait-Mohamed, L. (2014). Optimisation de la conduite technique de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) en système aéroponique et hydroponique sous serre [Thèse de Doctorat, École Nationale Supérieure Agronomique - ENSA]. El Harrach, Alger.

Anonyme (2012). *Hydroponics: A practical guide for the specialized plant production*. Technical Manual.

Anonyme (2012). *Hydroponics: A practical guide for the specialized plant production*. Technical Manual, Agricultural Resources.

Anonyme (2014). *Avantages et conduite des cultures hydroponiques*. Guide de l'agriculture moderne.

Anonyme. (1999). *La culture de la pomme de terre*. Bulletin technique de l'Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles (ITCMI).

Arvalis-Institut Végétal. (2018). *Fiches descriptives des variétés de pomme de terre : caractéristiques agronomiques et technologiques*. Éditions Arvalis, Paris.

Barbero, G. F., Ruiz, A. G., Liazid, A., Palma, M., Vera, J. C., & Carmona, C. G. (2014). Evolution of total and individual capsaicinoids in peppers during ripening of the fruits and their role as defense against herbivores. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(15), 3363-3370.

Bedrani, S. (2018). Les partenariats public-privé dans la filière semences en Algérie. Centre de Recherche en Économie Appliquée pour le Développement (CREAD).

Benmoussa, M. (2017). Évaluation de la performance de variétés de pomme de terre sous différents régimes de densité en culture hors-sol dans la région de Tiaret

Bernhards, R. (1998). *La culture de la pomme de terre*. Éditions Eugen Ulmer.

Bibi, M., & Hamadane, A. (2018). Valorisation des sous-produits du palmier dattier comme substrat de culture alternatif en hydroponie. *Revue des Bio-Ressources*, 8(2), 102-115.

Blanc, D. (1987). *Les cultures hors sol*. Éditions INRA, Paris, France.

Bottraud, J. C. (1980). *Propriétés physiques et hydriques des tourbes*. Rapport technique, INRA.

Burrell, M. M. (2003). Starch: the next generation. *Journal of Experimental Botany*, 54(382), 451-461.

Carrizo García, C., Barboza, G. E., Särkinen, T., Knapp, S., & Hunziker, A. T. (2016). Evolution of fruit type and seed dispersal in Solanaceae. *Annals of Botany*, 117(4), 541-558.

Chapitre 2

Chaumeton, H., Jean, M., & Lagier, J. P. (2006). *Le Guide des plantes de jardin: reconnaître et cultiver plus de 1000 espèces*. Éditions Solar.

CHOUARD, P. (1952). *Cultures sans sol*. Maison Rustique, Paris. (C'est la référence historique pour Béni-Abbès).

Chouard, P. (1952). *Cultures sans sol*. Maison Rustique.

CHOUARD, P., & RENAUD, U. (1961). *L'hydroculture au Sahara*. (Travaux du Centre de Recherches Sahariennes).

CNCC. (2016). *Catalogue Officiel des Espèces et Variétés Maraîchères*. Centre National de Contrôle et de Certification des Semences et Plants, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (Alger, Algérie).

Cuesta, X., Monteros, C., & Yumisaca, F. (2001). *Recursos fitogenéticos de papa en el Ecuador*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina.

De Boodt, M., & Verdonck, O. (1981). *Physico-chemical properties of the substrates used in horticulture*. Acta Horticulturae.

Denden, M., & Belhadj, S. (2016). Multiplication de la pomme de terre par la technique des mini-tubercules en système hors-sol en Algérie. *Journal algérien des régions arides (JARA)*, 12(1), 34-48.

Devaux, A., Goffart, J. P., Petsakos, A., Kromann, P., Ordóñez, M., Hareau, G., & Thiele, G. (2020). Global food security, contributions from sustainable potato systems. *The Potato Crop*, 3-35.

Diversité des genres et espèces : Olmstead, R. G. (2013). Phylogeny and biogeography in Solanaceae, South America and beyond. *Adansonia*, 35(2), 175-206. <https://doi.org/10.5252/a2013n2a2>

Dupin, J., & Smith, S. D. (2018). Phylogenetics of *Vaishea* (Solanaceae) and the history of endemism in the Galápagos Islands. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 122, 114-123.

ESSADAoui, M. (2013). *Contribution à l'étude de l'effet de deux types de substrats sur le comportement agronomique de la tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) cultivée en hors sol*. (Mémoire de fin d'études).

Essadaoui, M. (2013). *Effet de deux types de substrats sur le comportement agronomique de la tomate cultivée en hors sol*. Mémoire de fin d'études, Algérie.

Essadaoui, Z. (2013). Contribution à l'étude de la gestion de la nutrition minérale de la tomate en culture hors-sol : Cas de la culture sur substrat et de l'aquaponie

Ewing, E. E. (1997). The potato as a plant. In *The Potato Crop* (pp. 1-44). Springer, Dordrecht.

FAO. (2008). La pomme de terre, aliment de base pour la sécurité alimentaire mondiale. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 3-15.

FAO. (2014). Guide technique sur la culture hydroponique et la nutrition minérale des plantes.

FAO. (2015). L'agriculture familiale : Nourrir le monde, préserver la planète. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. fao.org

FAO. (2022). La pomme de terre, une culture d'avenir : Rapport de la célébration de la Journée internationale de la pomme de terre. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Gama, R., Stehmann, J. R., & Martins, T. R. (2018). Evolution of floral symmetry in Solanaceae: A phylogenetic approach. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 34, 1-10.

Gast, K. L. (2016). Potato (*Solanum tuberosum* L.). In *Vegetables I* (pp. 467-513). Springer, Cham.

Gaucher, D. (2003). *Maladies, ravageurs et désordres physiologiques de la pomme de terre*. Arvalis-Institut végétal.

INPV. (2011). *Bulletin d'information sur la situation phytosanitaire nationale*. Institut National de la Protection des Végétaux (Alger, Algérie).

INRAA. (2019). Programmes nationaux de recherche sur la pomme de terre : De la biotechnologie à la production de semences. Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie. inraa.dz

Jeannequin, B., et al. (2005). *La culture hors sol de la tomate : Intérêts, limites et évolutions*. Éditions Quae / INRA.

Kaur, M., Singh, R., & Singh, J. (2022). Nicotine: A review of its role in the management of herbivores and its potential applications. *Plant Science Today*, 9(3), 612-625.

Kohnen-Johannsen, K. L., & Kayser, O. (2019). Tropane alkaloids: Chemistry, pharmacology, biosynthesis and production. *Molecules*, 24(4), 796.

Kouassi, K. M. (2009). Production de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hors-sol sur différents substrats : Étude de la croissance, du développement et de la nutrition minérale

Letard, M., et al. (1995). *Le choix des substrats en grandes cultures de tomates et concombres*. Infos-Ctifl, n°111.

LutALADIO, N., & Castaldi, P. (2009). La pomme de terre : Pour la sécurité alimentaire mondiale. *Revue de la mondialisation*, 2(1), 12-25.

M'sadak, Y., & Ben M'barek, A. (2014). *Évaluation physique des substrats organiques à base de composts fins dans une pépinière forestière moderne*. *Revue Nature & Technologie*.

MADRP. (2022). Rapport annuel sur les performances de la production agricole. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche. Alger, Algérie.

Milner, A. M., & McGehee, D. S. (2017). Glycoalkaloids in Solanaceae: Potential for toxicity and beneficial effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(12), 2434-2442.

Milner, A. M., & McGehee, D. S. (2017). Glycoalkaloids in Solanaceae: Potential for toxicity and beneficial effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(12), 2434-2442.

MORARD, P. (1995). *Les cultures hors-sol*. Éditions Sang de la Terre. (L'ouvrage de référence pour les systèmes NFT et l'aquiculture).

Morard, P. (1995). *Les cultures hors-sol*. Éditions Sang de la Terre, Paris.

Morphologie et Alcaloïdes : Spina, R., & Hehn, A. (2013). *Les Solanacées : Une famille de plantes aux multiples facettes*. Presses Universitaires de Nancy.

Olmstead, R. G. (2013). A phylogeny of the Solanaceae. *In Biology and taxonomy of Solanaceae* (pp. 1-20). Elsevier.

Olmstead, R. G. (2015). A best-fit phylogenetic tree of Solanaceae with a focus on the backbone and under-sampled clades. *American Journal of Botany*, 102(9), 1515-1539.

Olmstead, R. G., Bohs, L., Migid, H. A., Santiago-Valentin, E., Garcia, V. F., & Collier, S. M. (2008). A molecular phylogeny of the Solanaceae. *Taxon*, 57(4), 1159-1181.

Oreane, G. L. (2018). Fruit development and diversity in the tribe Lycieae (Solanaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 187(3), 441-460.

Origine et vent d'est : Fournier, P.-V. (1947). *Les quatre flores de la France, corse comprise (générale, alpine, méditerranéenne, littorale)*. P. Lechevalier.

Ouhadja, M. (2008). Influence de la nature du substrat sur le comportement de la tomate en culture hors sol [Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah]. Ouargla, Algérie.

Petruzzello, M. (2020). Tropane alkaloid: Chemical compound. *Encyclopædia Britannica*.

Raviv, M., & Lieth, J. H. (2008). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier Science.

RAVIV, M., & LIETH, J. H. (2008). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier Science.

Real Academia Española. (2024). Patata. Dans *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/patata>

Rousselle, P., Robert, Y., & Crosnier, J. C. (1992). *La pomme de terre: production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations*. Editions Quae.

Rousselle, P., Robert, Y., & Crosnier, J. C. (1992). *La pomme de terre: production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations*. Editions Quae.

Rousselle, P., Robert, Y., & Crosnier, J. C. (1996). *La pomme de terre: production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations*. Editions Quae.

Särkinen, T., Bohs, L., Olmstead, R. G., & Knapp, S. (2015). A phylogenetic framework for evolutionary study of the nightshades (Solanaceae): a dated 1000-tip tree. *BMC Evolutionary Biology*, 15(1), 1-15.

Särkinen, T., Poczai, P., Barboza, G. E., van der Weerden, G. M., Baden, M., & Knapp, S. (2018). A revision of the Old World Black Nightshades (Morelloid clade of *Solanum* L., Solanaceae). *PhytoKeys*, 106, 1-223.

Sedki, M., & Mimouni, A. (1995). Effets de substrats locaux sur tomate en culture hors sol. *Transfert de Technologie en Agriculture*, (10), 1-4. fermedemaint.com

Sedki, M., & Mimouni, A. (1995). La culture hors-sol : Technique et conduite. *Transfert de Technologie en Agriculture*, (10), 1-4. fermedemaint.com

Solanales & Classification : Olmstead, R. G., & Bohs, L. (2007). A Summary of Molecular Systematic Research in Solanaceae: 1982–2006. *Acta Horticulturae*, (745), 255-268. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.745.11>

Solano, J., Morales, D., & Anabalón, L. (2007). Molecular characterization of Chilean highland potato (*Solanum tuberosum* L. subsp. *andigena*) germplasm using ABC-PCR markers. *Chilean journal of agricultural research*, 67(3), 233-241.

Soltner, D. (1988). *Les bases de la production végétale: phytotechnie générale*. Collection Sciences et Techniques Agricoles.

Spooner, D. M., McLean, K., Ramsay, G., Waugh, R., & Bryan, G. J. (2005). A single domestication for potato based on theoretical considerations and action of selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(41), 14694-14699.

Stevens, P. F. (2017). *Angiosperm Phylogeny Website*. Version 14. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.

Texier, W. (2014). *L'hydroponie pour tous : Tout sur l'horticulture à la maison*. Mama Éditions.

Tierno, R., & Lopez, A. (2015). Aeroponic and hydroponic systems for seed potato production. *American Journal of Potato Research*, 92(2), 235-242.

Titouna, A. (2010). *Contribution à l'étude du comportement de la tomate cultivée sur sable et sur substrat inerte*. Mémoire de Magister, ENSA Alger.

TITOUNA, A. (2010). *Influence de la nature du substrat sur le développement et la production de la tomate cultivée en hors sol*. (Mémoire de Magister).

URBAN, L. (1997). *La culture de la tomate sous serre*. Éditions Technique & Documentation.

Vincent, C. (2008). *Gestion technique et économique des cultures maraîchères sur substrat*. Rapport de recherche agronomique.

Vu, A. T. (2008). *Systèmes de culture hydroponique et aéroponique : Guide technique*. Recherche agronomique.

Yuan, Y. W., & Olmstead, R. G. (2015). Evolutionary analysis of the Solanaceae: from phylogenetic reconstruction to genetic dissection of traits. *Annals of Botany*, 115(7), 1045-1047.

Zaheer, K., & Akhtar, M. H. (2016). Potato Production, Usage and Nutrition—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(5), 711-721.

Zitouni, A., & Belkhodja, M. (2015). Problématique de la production de semences de pomme de terre en Algérie : Enjeux et perspectives. *Revue des Bio-ressources*, 5(2), 45-58.