

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des sciences et de la technologie
Département Agroalimentaire



Projet de Fin d'Etudes

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Science Agronomique

Spécialité : Protection des végétaux

**Contribution à l'étude de l'application des mycorhizes sur
les cultures maraichères : cas de la pomme de terre
*Solanum tuberosum L.***

Présenté Par :

SISSOKO Mohamed Salif

Devant le jury composé de :

Dr Ilias Faiza	MCA	U.Ain Témouchent	Président
Dr Louerrad Yasmina	MCA	U.Ain Témouchent	Examinatrice
ABDELLAOUI Houria Hadjira		U.Ain Témouchent	Encadrant (e)
BELKEBIR Sabrina		U.Ain Témouchent	Co-Encadrant(e)

Année Universitaire 2023/2024

Dédicace.

Je dédie ce modeste travail,

A mes chers parents pour leurs aides, leurs encouragements et surtout

leurs immenses sacrifices qui ont été derrière la réussite de mes études.

Qu'ils trouvent dans ce travail, un témoignage de leur bonne éducation, le

fruit de leur espoir ainsi que la grande affection que je porte envers eux.

*A ma sœur adorée **Moussou Sissoko***

*A mon frère jumeau **N'Kamakan Sissoko***

Et enfin à tous ceux que j'ai connu et aimé.

Remerciements

Après avoir remercié ALLAH Le tout puissant.

*Mes vifs remerciements vont en particulier à **M. DARDEK Lahbib** pour ses contributions et conseils précieux durant ce travail.*

*Je remercie également **Mlle ABDELLAOUI Houria Hadjira**, maitre de Conférences à l'université d'Ain Temouchent, d'avoir accepté de m'encadrer et de diriger ce travail par ses précieux conseils et ses encouragements. Je remercie aussi **Madame BELKEBIR Sabrina** consultante privée à Ain Temouchent, pour son Co-encadrement et ses orientations tout au long de la réalisation de ce travail.*

Je remercie toute ma famille pour leur amour et leur soutien constant.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*Je remercie également mes examinateurs, présidente : **Dr Ilias Faiza** et examinatrice **Dr Louerrad Yasmina** d'avoir accepté d'évaluer et d'examiner ce travail et de m'avoir aidé à acquérir un savoir durant mon cursus universitaire.*

*Ainsi que mes chaleureuses gratitude s'adressent à tous les techniciens et les ingénieurs du laboratoire SNV et Génie civile de l'université Ain Temouchent Belhadj Bouchaib qu'ils ont mis à ma disponibilité tout le matériel nécessaire notamment **Mr Keddou, Mr DRIF , Mme Kawter , Mme Nedjet et Mme Choukriya** pour toutes leurs interventions et aides, leur disponibilité.*

Mes remerciements vont aussi à tous nos professeurs du département des Sciences de la nature et de la vie particulièrement les enseignants de la filière protection des végétaux chacun par son nom. Merci beaucoup pour tout ce que vous avez faits pour moi.

Merci.

Résumé

L'utilisation de champignons mycorhiziens arbusculaires dans la culture de la pomme de terre offre une option prometteuse pour réduire l'usage d'engrais chimique dans les cultures. Elle contribue également à la protection des plantes contre la sécheresse et les maladies. Dans cet optique, notre étude a été réalisée au niveau de l'université Ain Temouchent Belhadj Bouchaib pour déterminer l'impact des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) sur le développement et le rendement de *Solanum tuberosum L.*, variété Arizona qui ont été conduit en hors-sol avec différents programmes de fertilisation. Les résultats obtenus montrent qu'à partir de l'ensemble des paramètres mesurés, ont révélé que l'inoculation mycorhizienne (CMA) dans la production de la pomme de terre a eu des effets bénéfiques et sur le développement de la biomasse aérienne et racinaire et sur le rendement de la pomme de terre des résultats meilleurs avec des valeurs supérieures par rapport aux plants des lots non inoculés.

Mots clés : *Solanum tuberosum L.*, Champignon CMA, Engrais chimique, fertilisation

Abstract

The use of arbuscular mycorrhizal fungi in potato cultivation presents a promising alternative to reduce the use of chemical fertilizers in agriculture. It also aids in protecting plants from drought and diseases. With this perspective, our study was conducted at Ain Temouchent Belhadj Bouchaib University to determine the impact of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth and yield of *Solanum tuberosum L.*, Arizona variety, which was grown in soilless conditions with different fertilization programs. The results showed that, based on all measured parameters, mycorrhizal inoculation (AMF) in potato production had beneficial effects on the development of both aerial and root biomass and on the potato yield, with better outcomes and higher values compared to the non-inoculated plant lots.

Key words: *Solanum tuberosum L.*, mycorrhizes AMF, Chemical fertilizer, yield

ملخص

الزراعة في الكيمائية الأسمدة استخدام لتقليل واعدًا بديلاً البطاطس زراعة في الأربوسكولارية الميكوريزية الفطريات استخدام يُعد، بوشعيب بلحاج تموشنت عين جامعة في دراستنا أجريت، المنظور هذا من. والأمراض الجفاف من النباتات حماية في يساعد أنه كما، *Solanum tuberosum L.* نوع من البطاطس وإنتاجية نمو على (AMF) الأربوسكولارية الميكوريزية الفطريات تأثير لتحديد للتلقيح كان، المقاسة المعايير جميع إلى استنادًا، أنه النتائج أظهرت. مختلفة تسميد برامج مع زراعتها تم والتي، أريزونا صنف محصول وعلى والجزرية الهوائية الحيوية الكتلة من كل تطوير على إيجابية تأثيرات البطاطس إنتاج في (AMF) الميكوريزي ”الملقحة غير النباتات بقطع مقارنة أعلى وقيم أفضل نتائج مع، البطاطس

الكلمات: *Solanum tuberosum*، الكيماوية الأسمدة، تجاري ميكور هيزي تطعيم، الشجرية الميكور هيزية الفطريات: المفتاحية الكلمات

Sommaire

Résumés

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....	1
Chapitre I Synthèse bibliographique.....	
1 Généralités sur la pomme de terre.....	3
1.1 Historique et Origine.....	3
1.2. Importance économique de la pomme de terre.....	3
1.2.1 Production mondiale.....	3
1.2.2 Production au niveau des pays nord africains.....	4
1.2.3 Production en Algérie.....	5
1.3 Les caractéristiques de la pomme de terre.....	7
1.3.1 Les caractéristiques botaniques.....	7
1.3.2 Taxonomie	7
1.3.3 Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre	8
1.3.3.1 Partie Aérienne.....	8
a) -Les feuilles.....	9
b) -Les fleurs.....	9
c) -Les fruits	9
1.3.3.2 Système souterrain	9
a) -Les racines	9
b) -Les tubercules	10
c) -Les rhizomes ou tiges souterraines	10
1.4 Composition biochimique du tubercule.....	10
1.5 Cycle du développement de la pomme de Terre.....	11
1.5.1 Cycle végétatif (asexuée)	11
a) -Le repos végétatif.....	11
b) -La germination.....	11
c) -La croissance	12

d) -La tubérisation	12
e) Stade maturation des tubercules et de sénescence de la plante.....	12
1.5.2 Cycle sexuée.....	13
1.6 Exigences de la pomme de terre	13
1.6.1 Exigences climatiques	13
a) –Température.....	13
b) –Lumière.....	14
c) -Besoins hydriques	14
1.6.2 Exigences édaphiques	14
a) -Structure et texture du sol	14
b) - Potentiel Hydrogène(pH)	14
c) -Salinité	14
d) -Les besoins en éléments fertilisants	14
1.7 Variétés	15
1.8 La conduite de la culture de la pomme de terre	15
1.8.1 Préparation du sol.....	15
1.8.2 Fertilisation.....	15
1.8.3 Plantation.....	16
1.8.4 Irrigation.....	16
1.8.5 Le buttage de la pomme de terre.....	16
1.8.6 Le désherbage	17
1.8.7 La protection phytosanitaire	17
1.8.8 Récolte et conservation.....	17
1.9 Les maladies et les ravageurs de la pomme de terre.....	18
2 Généralités sur les mycorhizes.....	20
2.1 Les différentes symbiose mycorhizienne.....	21
2.1.1 La symbiose ectomycorhize	21
2.1.2 Les ectendomycorhizes	21
2.1.3 Les endomycorhizes	21
2.2 La mycorhization.....	22

2.3 Les mycorhizes à arbuscules.....	22
2.3.1 Structure des mycorhizes arbusculaires.....	22
2.3.2 Colonisation des racines par les champignons mycorhiziens arbusculaires.....	24
2.3.3 Taxonomie des espèces de champignons mycorhiziens à arbuscules	25
2.3.4 Cycle de développement des champignons mycorhiziens à arbuscules.....	27
2.3.5 Importance des champignons mycorhiziens à arbuscules	30
a) -Bénéfiques pour le champignon mycorhiziens à arbuscules	30
b) -Bénéfiques pour la plante	31
3 Impact de l'agriculture moderne sur les mycorhizes	33
3.1 La fertilisation.....	34
3.2 Le travail du sol.....	34
3.3 Les rotations de cultures.....	34
3.4 Les pesticides.....	34
Chapitre II Partie Expérimentale.....	
Matériel et Méthodes	35
1. Objectif du travail.....	35
2. Présentation de la zone d'étude (Wilaya Ain Temouchent).....	35
2.1 Description géographique du site expérimental.....	35
2.2 Climat.....	36
2.3 La végétation dans la région Ain Temouchent.....	37
2.4 Présentation de la station d'étude.....	37
3. Matériel végétal.....	38
4. Matériel fungique.....	38
5. Dispositif expérimental.....	39
6. Matériels utilisés	39
7. Conduite culturale.....	40
7.1. Préparation du substrat.....	40
7.2 Plantation	41
7.3. Irrigation.....	42
7.4. Entretien phytosanitaire de la culture.....	43

8. Mesure des paramètres morphométriques.....	43
9. Paramètres liés aux mycorhizes.....	45
10. Analyse physico- chimique du sol de l'UAT.....	47
11 Analyse de l'eau de l'UAT	48
Résultats et discussions.....	49
Résultats.....	49
1. Paramètres morphométriques.....	49
1.1. Stade tubérisation.....	49
a) -Partie aérienne.....	49
b) -Partie souterraine.....	50
1.2 Stade récolte.....	51
2. Paramètre physico-chimique du sol.....	55
3. Analyse de l'eau de l'UAT.....	55
4. Observation microscopique des champignons mycorhiziens.....	55
Discussions.....	58
Conclusions et recommandations.....	60
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des Figures

Figure 1 : Production mondiale de la pomme de terre (période de 2018 à 2021) (atlasBig 2018-2021).....	4
Figure 2 : Production de la pomme de terre en Algérie de 2018 à 2021	6
Figure 3 : Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre.....	8
Figure 4 : la composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre (<i>Solanum tuberosum</i>) Ciqual, 2013).	11
Figure 5 : Cycle de vie de la pomme de terre. Source (Soltner, 2005).....	12
Figure 6 : Cycle de la pomme de terre par reproduction sexuée (Rousselle et al., 1996).....	13
Figure 7 : Principales formes de mycorhizes associées aux racines des plantes supérieures (Hallé, 2008, figure modifiée d'après Le Tacon, 1985).....	20
Figure 8 : Schématisation de l'établissement de la symbiose mycorhizienne (A) et du cycle de vie des CMA (B) (Akiyama, 2007).....	25
Figure 9 : Arbre phylogénique des Glomeromycota (Schüßler et Walker, 2001).....	26
Figure 10 : Cycle de développement des CMA (Akiyama, 2007).....	27
Figure 11 : Formation de l'appareil présymbiotique (Parniske, 2008).....	28
Figure 12 : Schéma des différentes étapes de colonisation des champignons MA (Bonfante & Genre 2010).....	29
Figure 13 : Les deux types de colonisation racinaires. A : Type Arum B : type Paris. 1 : hyphe extra racinaire ; 2 : appressorium ; 3 : arbuscule ; 4 : vésicule ; 5 : hyphe intra racinaire ; 6 : hyphe intra racinaire ; 7 : peloton (Portail du Jardinier 2017).....	30
Figure 14 : Schéma récapitulatif des principaux processus d'échanges de nutriments dans l'ensemble des symbioses mycorhiziennes (Bonfante & Genre, 2010).....	31
Figure 15 : Carte géographique de la wilaya d'Ain Temouchent. (Bardadi 2023).....	35
Figure 16 : Températures moyennes à Ain Temouchent (Meteoblue, 2023).....	36
Figure 17 : Niveaux de confort selon l'humidité à Ain Temouchent (Meteoblue, 2023).....	37
Figure 18 : Localisation de la zone d'étude Université Ain Temouchent (GPS 2024).....	38
Figure 19 : semence de pomme terre « Arizona » germée (photo originale, 2024).....	38
Figure 20 : Les différents Lots utilisé (photo originale, 2024).....	39
Figure 21 : Photo du mélange terre végétale + compost (photo originale, 2024).....	41
Figure 22 : Plantation de la pomme de terre (photo originale, 2024).....	41
Figure 23 : Entretien phytosanitaire sur le mildiou (photo originale, 2024).....	43
Figure 24 : Les paramètres mesurés à la phase tubérisation (photo originale, 2024).....	44

Figure 25 : Mesures de la quantité et du poids des tubercules (photo originale, 2024)	44
Figure 26 : Les différentes mesures prises après la récolte (photo originale, 2024)	45
Figure 27 : Matériels utilisés pour la détection de mycorhize au laboratoire (photo originale, 2024)	46
Figure 28 : Les adventices qui ont servi au prélèvement des mycorhizes (photo originale, 2024)	47
Figure 29 : Mesures de la teneur en matière organique et de la granulométrie au laboratoire (photo originale, 2024)	48
Figures 30 : Analyse du pH et de EC de l'eau (photo originale, 2024)	48
Figure 31: Comparaison du rendement de la pomme de terre des différents lots	51
Figure 32 : Comparaison de la moyenne des quantités de tubercules de pomme de terre des différents lots	52
Figure 33 : Comparaison des moyennes du poids des tubercules des différents lots	52
Figure 34 : Comparaison de la moyenne du calibre des tubercules de pomme de terre des différents lots	53
Figure 35 : Comparaison de la moyenne de longueur des tubercules de pomme de terre des différents lots	53
Figure 36 : Comparaison de la longueur des racines de pomme de terre des différents lots	54
Figure 37 : Comparaison du nombre de stolons dans les différents lots	54
Figure 38 : Identification de mycorhize dans le lot 3 grossissement X40 (photo originale, 2024)	56
Figure 39 : Identification de mycorhize dans le lot 4 grossissement X40 (photo originale, 2024)	57
Figure 40 : Identification de mycorhize dans le lot 1 grossissement X40 (photo originale, 2024)	57

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Production mondiale de la pomme de terre durant la période allant de 2018 à 2021 (atlasBig 2018-2021).....	4
Tableau 2 : La production de la pomme de terre dans les pays arabes (Fao.2020).....	5
Tableau 3 : Production de la pomme de terre en Algérie de 2018 à 2021. (FAOSTAT, 2023)...	6
Tableau 4 : Production et superficie de pomme de terre de Ain Temouchent 2022/2023.....	7
Tableau 5 : Principales maladies et ennemies qui touchent la pomme de terre, leurs symptômes et les moyens de lutte (ROUSSELLE et al.,1996).....	18
Tableau 6 : Principales structures et fonctions de l'AMF (Souza, 2015).....	23
Tableau 7 : Classification des Gloméromycota (Redecker & Schüßler, 2014)	26
Tableau 8 : Paramètres mesurés au stade tubérisation.....	49
Tableau 9 : Moyenne du poids et poids total des tubercules de pomme de terre au stade tubérisation.....	50

Liste des abréviations

ATP : Adénosine Triphosphate

C : Degrés Celsius

Ca : Calcium

CMA : Champignons Mycorhizien à Arbuscules

cm : Centimètre

cm³ : Centimètre Cube

DSA : Direction des Services Agricoles

EC : Conductibilité électrique

FAO : Food and Agriculture Organisation

FAOSTAT : Food and Agriculture Organisation Statistiques

Fig : Figure

g : gramme

ha : hectare

hab/km² : Habitant par kilomètre au carré

ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles

K⁺ : Ion de potassium

Kg : Kilogramme

Km : Kilomètre

km² : Kilomètre carré

MA : Mycorhize Arbusculaire

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

Mg : Magnésium

Mm : Millimètre

Na⁺ : Ion de soude

NaCl : Chlorure de sodium

NPK : Nitrate Phosphore Potassium

pH : potentiel d'hydrogène

PPA : PrePenetration Apparatus

ppm : Partie Par Million

Qx : Quintaux

S : Soufre

SAU : Surface Agricole Utile

U : Unité

µm : micromètre

T : Tonne

X40 : grossissement x 40

% : Pourcentage

GLOSSAIRE

- **ARBUSCULE** = Structure typique de la symbiose des champignons mycorhiziens à arbuscules qui se développe dans les cellules pénétrées par le mycélium du champignon et au niveau de laquelle ont lieu les échanges entre la plante et le champignon. Cette structure doit son nom à sa forme qui rappelle celle d'un arbuste (**Pierart, 2012**)
- **ASCOMYCETE** = champignon chez lequel les spores sexués (ascospores) se forment à l'intérieur de cellules spécialisées appelées asques (**Garbaye, 2013**)
- **BASIDIOMYCETE** = champignon chez lesquels les spores (basidiospores) se forment à l'extérieur de cellule spécialisées appelées basides (**Garbaye, 2013**)
- **BIOINDICATEUR** = « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées » (**Blandin, 1986**)
- **DIAGEOTROPE** : Un organe **diagéotrope** fait un angle déterminé avec la verticale dans sa position ordinaire en raison d'un tropisme vers la terre
- **GLOMEROMYCETE** = Embranchement du règne fongique regroupant des champignons archaïques au mycélium invisible à l'œil nu et ne formant pas de fructification (carpophore). La totalité des espèces de cet embranchement sont inféodées à la symbiose endomycorhizienne (**Pierart, 2012**)
- **HYPHE** = Filaments cellulaires constituant le mycélium des champignons supérieurs (**Pierart, 2012**)
- **MYCELIUM** = Ensemble des filaments constituant le corps d'un champignon (**Garbaye, 2013**)
- **MYCORHIZE** = (du grec 'mukês' pour champignon et 'rhiza' pour racine) Association symbiotique d'un champignon avec les racines d'une plante (**Pierart, 2012**).
- **PLANTE 'PIEGE'** = Plante utilisée pour 'piéger' les CMA présents dans différents sols que l'on souhaite comparer. Après récolte, on mesure le taux de mycorhization des systèmes racinaires.
- **SPORE** = organe de stockage et de propagation des CMA. Elle germe et donne naissance à des filaments mycéliens (Harley et Smith, 1983 ; Bonfante-Fasolo, 1984 cités par (**Hamza Nabila, 2014**))

- **STRIGOLACTONES**= ce sont un groupe de composés chimiques produits par les racines d'une plante
- **SYMBIOSE** = Relation entre deux organismes hétérospécifiques (espèces différentes) qui se traduit par des effets bénéfiques aussi bien pour l'un que pour l'autre (**Frank 1977, De Bary 1879 cité par Wipf, 2013**)
- **VESICULE** = structure de stockage à paroi fine, à contenu lipidique qui apparaît généralement dans les espaces intercellulaires (**Hamza Nabila, 2014**).

Introduction
Générale

Introduction Générale

La révolution verte a permis de multiplier par trois la production alimentaire au cours des 50 à 75 dernières années, mais l'augmentation de la production agricole a nécessité une augmentation de l'utilisation d'engrais chimique (**Childers et al., 2011**) dont les répercussions désastreuses sont considérables sur l'environnement et la santé humaine.

La pomme de terre, considérée comme l'une des principales ressources alimentaires et financières des populations à l'échelle mondiale, et en l'occurrence Algérienne où elle occupe la deuxième position après le blé (**FAO, 2020**).

Plusieurs contraintes empêchent l'augmentation de la production agricole. La sécheresse est le principal facteur limitant affectant le rendement dans les zones arides et semi-arides (**Sarr et al.;2005**), seulement, les plantes ont plusieurs stratégies d'adaptation à ce stress hydrique notamment la capacité à s'associer avec des micro-organismes symbiotiques dont les champignons. Ces derniers constituent des mycorhizes avec les plantes, le plus répandu est celui des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). Ils sont bénéfiques et permettent aux plantes de multiplier leur surface de contact avec le sol tout en augmentant leur champs de prospection pour un meilleur transport des nutriments nécessaires à leur développement (**Sharma et al.;2016 ; Yaseen et al.;2011**) sans pour autant nuire à la santé et à l'environnement, Ils sont considérés comme une alternative éco-efficace pour diminuer les apports élevés en engrais chimiques (**Adesemoye et al., 2008**).

Durant les vingt dernières années, les champignons mycorhiziens à arbuscules ont suscité beaucoup d'intérêt à cause de leur effet favorable principalement sur l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs (**Kormanik et al.,1982 ; Fontana, 1985 ; Strullu, 1990 ; Oihabi & Meddich, 1996 ; Plenchette & Strullu, 1996**). Les plants de pomme de terre nécessitent un apport élevé en eau et en certains éléments minéraux, tels que N, P, K, Ca, Mg et S pour assurer un bon développement (**White et al.,2008**). Cependant, leur absorption est limitée faute d'un système racinaire réduit (**Struik, 2007**), par conséquent, l'inoculation des CMA appropriés permet une vaste infiltration dans le sol pour une meilleure absorption (**Adesemoye et al., 2008**).

C'est dans cette optique que nous avons mené notre étude ; pour évaluer dans un premier temps l'efficacité d'un inoculum commercial sur la croissance des plants de pomme de terre et dans un second temps déterminer si l'inoculation de champignons mycorhiziens arbusculaires permettait une augmentation du rendement en pomme de terre.

Notre travail est divisé en deux parties :

- **Chapitre 1**, Synthèse bibliographique
- **Chapitre 2**, Partie expérimentale (englobe les matériels et méthodes, résultats et discussions)
- **Conclusion et recommandations**

Chapitre I

Synthèse bibliographique

1. Généralités sur la pomme de terre

1.1 Historique et Origine

La pomme de terre (*Solanum tuberosum*) est la plante alimentaire et économique la plus importante de la famille des Solanaceae. Sa culture a commencé en Amérique du Sud au Pérou, dans les Andes. Les Incas dépendaient d'elle, en même temps que du maïs et de quelques autres produits de base. Les Espagnols l'ont introduite en Europe vers 1570, mais il a fallu un certain temps avant que sa valeur nutritive ne soit pleinement reconnue. A partir de la seconde moitié du 18^e siècle, des efforts de promotion systématiques ont été entrepris, mais ce n'est qu'à la fin du 19^e siècle que des missionnaires anglais l'ont introduite au Kenya (**Purseglove, 1987 et Marty, 1992**).

Aujourd'hui, elle occupe le troisième rang mondial en termes de consommation alimentaire. Actuellement il existe plus de 5000 variétés améliorées et variétés paysannes/locales, dont beaucoup sont cultivées et consommées par les peuples autochtones qui vivent dans le principal centre de diversité génétique de cette plante, les hauts plateaux andins (FAO 2024).

En Algérie, la pomme de terre a probablement été introduite la première fois au XVI^e siècle par les Maures andalous, qui ont étendu les autres cultures dans la région telles que la tomate, le poivron, le maïs et le tabac. Cependant la pomme de terre a été délaissée car elle n'a pas suscité d'intérêt. A la fin du XIX^e siècle, les colons vont la cultiver pour leur propre usage, car les Algériens y sont réticents malgré les multiples disettes. C'est la dernière grande famine des années 30/40 qui viendra à bout de cette opposition (**Meziane, 1991**).

1.2. Importance économique de la pomme de terre

1.2.1 Production mondiale

La pomme de terre peut présenter une solution aux problèmes de déficit alimentaire mondial (**Rajnchapel, 1987**). Cette dernière joue un rôle indéniable dans le système alimentaire mondial. Cette denrée alimentaire non céréalière est la plus importante à l'échelle mondiale ; elle se classe en quatrième position après le blé, le riz et le maïs qui forment la base de l'alimentation humaine (**FAOSTAT, 2015**).

Elle est cultivée aujourd'hui dans plus de 150 pays et la Chine occupe la première place des pays producteurs dans le monde (**Tableau 1 et figure 1**). L'Algérie est classée la 16^{ème} place avec une production estimée de 4 360 880 Tonnes en 2021(**FAOSTAT, 2023**).

Tableau 1 : Production mondiale de la pomme de terre durant la période allant de 2018 à 2021
(Atlas Big 2018-2021)

Pays	Superficie (Ha)	Production(T)	Rendement (Kg /Ha)
Chine	4 813 542	90 321 442	18 764
Inde	2 151 000	48 529 000	22 561,1
Ukraine	1 319 900	22 503 970	17 049,8
Fédération de Russie	1 313 495	22 939 496	17 049,9
Etats-Unis d'Amérique	414 115	20 607 342	49 762,4

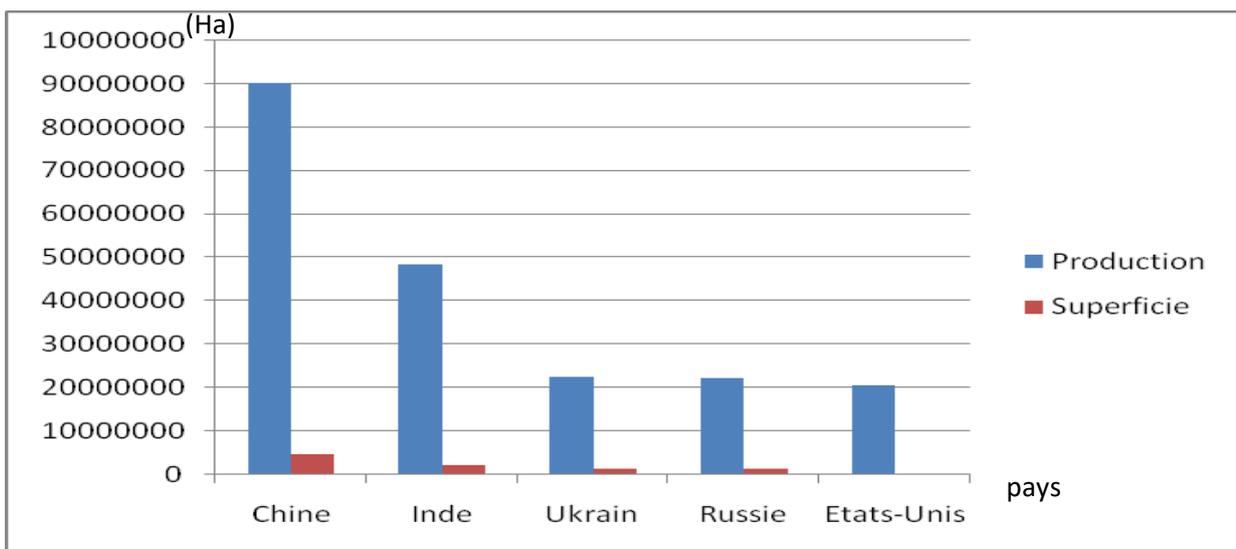


Figure1 : Production mondiale de la pomme de terre période allant de 2018 à 2021
(Atlas Big 2018-2021)

1.2.2 Production au niveau des pays nord africains

Selon les statistiques de la FAO de 2020, l'Algérie occupe la deuxième place, après l'Égypte, dans la production de la pomme de terre en Afrique.

Tableau 2 : Production de la pomme de terre dans les pays arabes (FAO, 2020)

Pays	Superficie (mille ha)	Production (millions de tonnes)	Rendement (Qx/ha)
Algérie	149	4,6	31,1
Egypte	178	5,2	29,2
Maroc	57	1,7	29,8
Tunisie	26	0,45	17,3

D'après les données présentées dans le tableau 2, indiquant que la production des pays arabes situés en Afrique a dépassé le seuil de quatre millions de tonnes au cours de l'année 2020. La pomme de terre en Algérie est cultivée sur une superficie estimée à 149 000 hectares avec un rendement moyen de 31,1 tonnes/ha. Quant à l'Égypte la superficie de cette culture est 178 000 hectares avec une production annuelle estimée à 5.2 millions.

1.2.3 Production en Algérie

En Algérie, la pomme de terre est devenue un produit essentiel pour la consommation locale après l'indépendance et joue un rôle essentiel dans le régime alimentaire. L'intérêt pour cette culture a donc augmenté qui est la première culture maraîchère en termes de superficie et de production (**Chéhat, 2008 in Agronomie Info, 2019**). Elle représente la principale culture maraîchère en matière de superficie et production. La production de la pomme de terre a enregistré une diminution considérable durant ces dernières années (Tableau 3). Elle est passée de 4 653 322,15 tonnes en 2018 à 4 360 880 tonnes en 2021 sur une superficie de 136 855has (**Tableau 3**)(**FAOSTAT, 2023**).

La production est répartie selon quatre zones géographiques : littoral, sublittoral, atlas tellien et hautes plaines comme suit ;

- **Saison** : Ain.Defla, Mascara, Mila, Souk Ahras, Boumerdes, Mostaganem, Sétif, Tizi Ouzou, Tiaret, M'sila, Tlemcen, Batna, Chlef, Bouira, El.Oued, (Correspond à près de 50 000 ha en année).
- **Arrière-saison** : Ain.Defla, Mascara, Guelma, Chlef, El oued, Tlemcen, Mostaganem, Djelfa (la surface consacrée est de 55 000 ha).
- **Primeur** : Boumerdes, Tipaza, Skikda, Alger, Mostaganem, Tlemcen (Ne concerne que plus de 5 000 ha) (**MADR,2015**)

Tableau 3 : Production de la pomme de terre en Algérie de 2018 à 2021 (FAOSTAT, 2023).

Année	Superficies (Ha)	Production (T)	Rendement (kg /ha)
2018	149 665	4 653 322,15	310 916
2019	157 864	5 020 249	3 180 011
2020	149 465	4 659 482	311 744
2021	136 855	4 360 880	318 649

Durant les années 2018, 2019 l’Algérie a enregistré une bonne production de la pomme de terre et cela est dû à l’augmentation de la superficie. Par contre en 2020 à 2021 la production nationale a diminué en raison de la régression des superficies plantées (Figure 2).

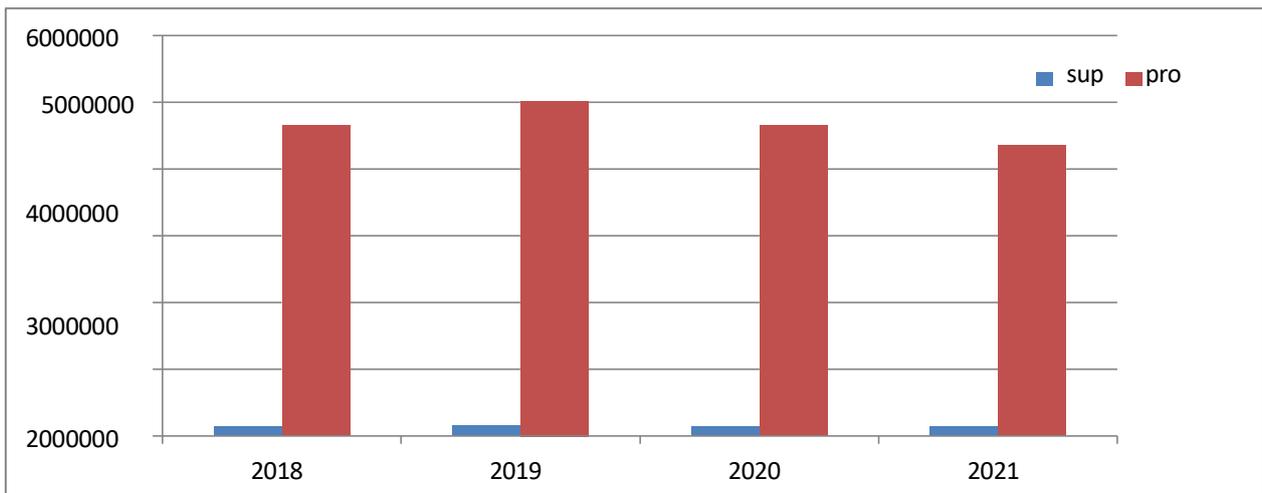


Figure 2 : Production de la pomme de terre en Algérie de 2018 à 2021 (MADR 2022)

Cas production dans la wilaya d’Ain Témouchent

La superficie totale de la pomme de terre dans la Wilaya d’Ain Temouchent est 121 Ha avec une production de 35 650 Qx/an. Le tableau 4 stipule que la culture de la pomme de terre de saison occupe une superficie importante soit 67 Ha comparativement aux cultures et arrière-saison 48 Ha et Primeur 6Ha(**Tableau 4**).

Tableau 4 : Production et superficie de pomme de terre de Ain Temouchent 2022/2023

Type de Pomme de terre	Arrière-Saison		Primeur		Saison		Total	
	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
Total des Exploitations	48	14 670	6	1 800	67	19 180	121	35 650

1.3 Caractéristiques de la pomme de terre

1.3.1 Caractéristiques botaniques

La pomme de terre est une plante herbacée vivace (FAO, 2008), dicotylédone de la famille des Solanacées qui regroupe diverses espèces cultivées comme la tomate, le poivron, l'aubergine, le tabac, le piment, etc. (Chelha, 2000). Cette plante se propage par multiplication végétative et qui est cultivée comme une espèce annuelle (Rousselle et al., 1992). La plante comporte à la fois des tiges aériennes et des tiges souterraines (Debelley, 1967). Toutes ces espèces forment un ensemble avec un nombre chromosomique de base de 12 et allant du diploïde au hexaploïde (Khaldi et Seghiri 2006).

1.3.2 Taxonomie

Selon Kolev (1979), Gonde et Jussiaux (1980) et Soltner (1988), l'espèce de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. appartient à :

Embranchement	Spermaphyte
Sous-embranchement	Angiosperme
Classe	Dicotylédone
Sous-classe	Asterideae
Ordre	Polimoniales
Famille	Solanaceae
Genre	Solanum
Espèce	<i>Solanum tuberosum</i> L.

1.3.3 Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre

La pomme de terre est une plante annuelle dicotylédone qui se propage essentiellement par voie végétative (Harchouche, 1999). Elle comprend deux importantes parties, aérienne et souterraine (Rousselle et al., 1992). (Voir figure 3)

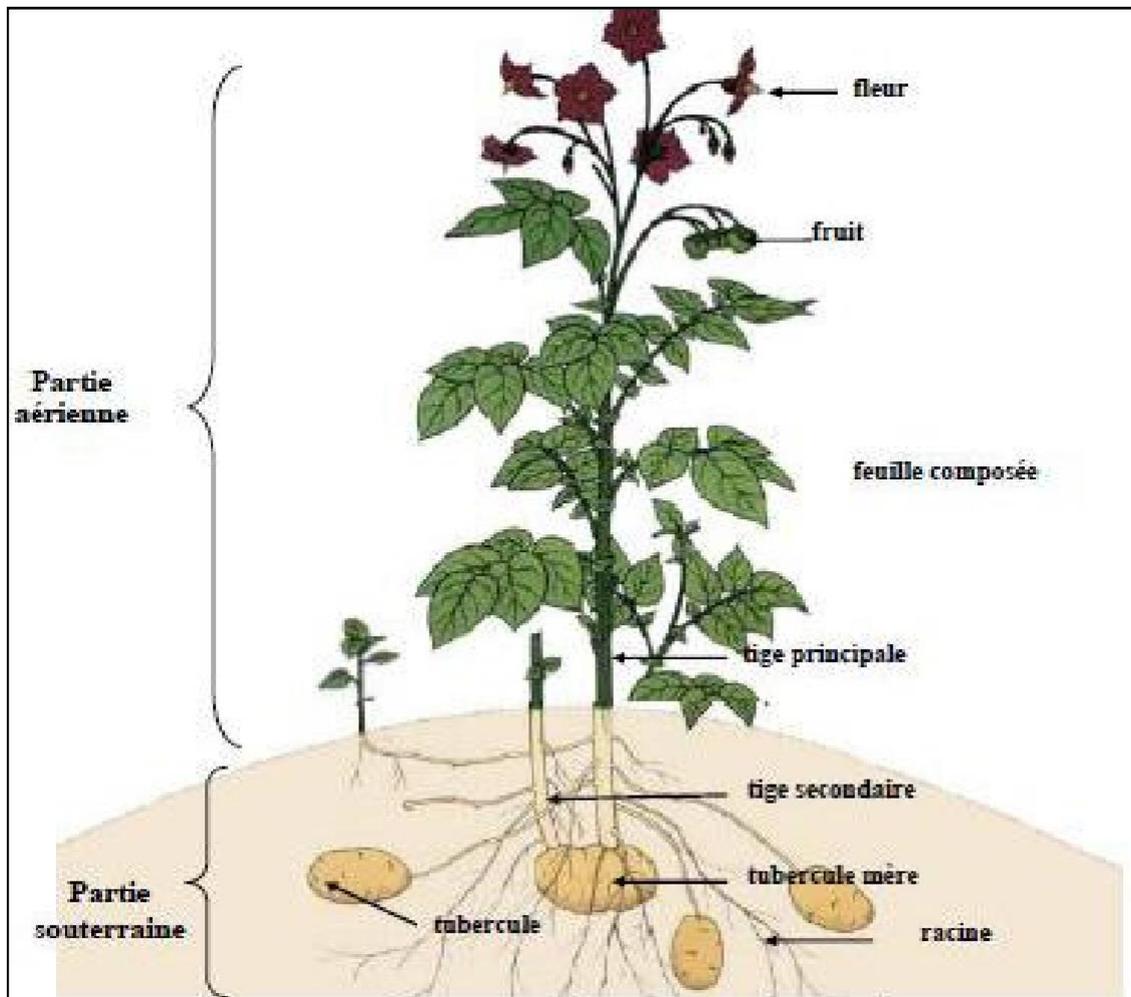


Figure 3 : Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre (Soltner, 1986)

1.3.3.1 Partie Aérienne

La plante possède des tiges aériennes herbacées, formées d'une ou plusieurs tiges secondaires avec un port plus ou moins dressé et des feuilles vertes, issues du développement des yeux du tubercule-mère, qui sont généralement de 2 à 10 (Soltner, 1986). Le nombre de tiges est influencé par le calibre du plant, son âge physiologique, ainsi que les conditions de conservation et de germination (Grison, 1983).

a) - Feuilles

Feuilles à grandes folioles latérales primaires, insérées le long du rachis qui se termine par une seule foliole. Le sommet de la plante est couvert de folioles, y compris les folioles primaires, les folioles secondaires, les folioles intercalaires et enfin les folioles qui s'insèrent sur la base des folioles primaires. Les feuilles sont nervées de manière réticulée, avec une densité de nervures plus élevée vers le bord du limbe (**Rousselle et al., 1996**).

b) - Fleurs

Les fleurs sont simples, de 3 à 4 cm de diamètre et se présentent à l'extrémité des tiges. Elles sont composées de 5 sépales, 5 pétales et 5 étamines, peuvent être blanche, la rose ou la violette (**Grisson, 1983**).

Dans la nature, les fleurs sont autogames, sans nectar, ce qui signifie qu'elles sont peu fréquentées par les insectes et que la fécondation croisée est pratiquement inexistante (**Rousselle et al, 1992**).

c) - Fruits

Le fruit est une baie sphérique ou ovoïde d'un diamètre de 1 à 3 centimètres vert ou brun violacé, jaunissant à maturité, qui renferme habituellement plusieurs dizaines de graines et peut atteindre 200graines (**Rousselle et al, 1992**). Les graines de la pomme de terre ne sont utilisées qu'en amélioration génétique (**Bamouh, 1999**). En général, le fruit renferme de nombreuses dizaines de graines, petites, plates, réniformes, qui se trouvent dans une pulpe mucilagineuse issue de la transformation de l'endocarpe du pommeau (**Rousselle et Robert, 1996**).

1.3.3.2 Système souterrain

La partie la plus captivante de la plante est le système souterrain, où se trouvent les tubercules qui donnent à la pomme de terre sa valeur alimentaire. Le tubercule mère desséché et les tiges souterraines ou stolons forment l'appareil souterrain (**Rousselle et Robert, 1996**). Les racines se forment sur diverses parties : aux nœuds enterrés des tiges feuillées, aux nœuds des stolons ou encore aux yeux du tubercule (**Boufares, 2012**).

a) - Racines

La pomme de terre possède un système racinaire bien développé, la majorité des racines sont situées à une profondeur de 30 à 40 cm. Au niveau des nœuds enterrés des tiges feuillées, au niveau des nœuds des stolons et directement sur les tubercules au niveau des yeux, émergent de nombreuses racines adventives, fasciculées (**Rousselle et al, 1996**).

b) - Tubercules

La partie du stolon est conçue pour le stockage de réserves. Un tubercule a deux extrémités, l'extrémité apicale dite « couronne » et le « talon » fixé sur le stolon. Les yeux sont alignés de manière régulière, sur la totalité du tubercule et plus souvent dans la région de la couronne (**Rousselle et al, 1996**). Le fruit en baie renferme une grande quantité de solanine, un alcaloïde toxique présent dans le genre. La pomme de terre est un fruit ovoïde ou sphérique de 1 à 3 centimètres de diamètre, vert ou brun violacé, jaunissant à maturité. En général, il renferme de nombreuses dizaines de graines, petites, plates, réniformes, qui se trouvent dans une pulpe mucilagineuse issue de la transformation de l'endocarpe du pommeau (**Rousselle et Robert, 1996**).

c) -Rhizomes ou tiges souterraines

Selon **Soltner (1986)**, les rhizomes ou stolons sont courts, ramifiés, avec des extrémités renflées qui forment des tubercules dans leurs régions subapicales. Les stolons sont diagéotropes mais ont parfois tendance à s'enfoncer dans le sol, en forme de crochet au sommet, avec des feuilles réduites à des écailles, réparties en spirale comme les feuilles des tiges aériennes (**Rousselle et al. 1996**).

1.4 Composition biochimique du tubercule

La pomme de terre possède une bonne valeur énergétique, qui est rapidement assimilée par l'organisme, pauvre en protéines et en lipides mais riche en glucides (**Rousselle et al., 1992**).

La pomme de terre crue contient une grande quantité de micronutriments, c'est-à-dire des vitamines et des minéraux essentiels à la santé. Une pomme de terre moyenne contient une quantité importante de potassium et représente près de la moitié des besoins quotidiens en vitamine C d'un adulte. De plus, elle renferme une abondance de vitamine B et de minéraux tels que le phosphore et le magnésium (**Diouf, 2009**) (**voir figure 4**).



Figure 4: Composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) (Ciquel 2013)

1.5. Cycle du développement de la pomme de Terre

On distingue chez la pomme de terre : le cycle asexuée (végétatif) et le cycle sexué.

1.5.1 Cycle végétatif (asexuée)

Il comprend plusieurs étapes à savoir (voir figure 5).

a) - Repos végétatif

À la suite de la récolte, la plupart des pommes de terre connaissent une période de non-germination du tubercule appelée. La durée de cette période varie considérablement en fonction de la variété et des conditions d'entreposage, et surtout de la température environnante. Afin de favoriser la germination, il est possible de traiter chimiquement les tubercules de semence ou de les exposer à des températures élevées et basses de manière alterne (Chaumeton et al., 2006)

b) -Germination

Lorsqu'il est stocké, une évolution interne du tubercule entraîne d'abord la croissance lente d'un seul germe appelle la dominance apicale. Ensuite, se développent un petit nombre de germes à croissance

rapide. Entraînant 'une diminution progressive de la domination apicale. Les germes s'allongent progressivement, se ramifient, dévient filiformes et enfin se tubérisent (**Bernhards, 1998**).

c)- Croissance

Des tiges feuillées, puis des stolons et des rameaux se forment à partir des germes produits par le tubercule. La germination, qui se produit après la plantation, reflète cette évolution complète et se déroule en trois grandes étapes : phase de croissance lente, phase de croissance active et phase de croissance ralentie (**Bernhards, 1998**).

d)- Tubérisation

Au bout d'un temps variable selon, la variété et le milieu, les extrémités des stolons cessent de croître et se renflent pour former les ébauches de tubercules. Les tubercules continuent de grossir tant que la partie végétative de la plante n'est pas entrée en sénescence (**Perennec et Madec, 1980**).

e) Stade maturation des tubercules et sénescence de la plante

Cette phase dure environ trois semaines ; le tubercule se caractérise par la formation de la peau définitive et leur durcissement et aussi la sénescence de la plante, par la chute des feuilles et l'affaiblissement du système racinaire et les tubercules atteignent leur maximum de développement (**Perennec et Madec, 1980**).

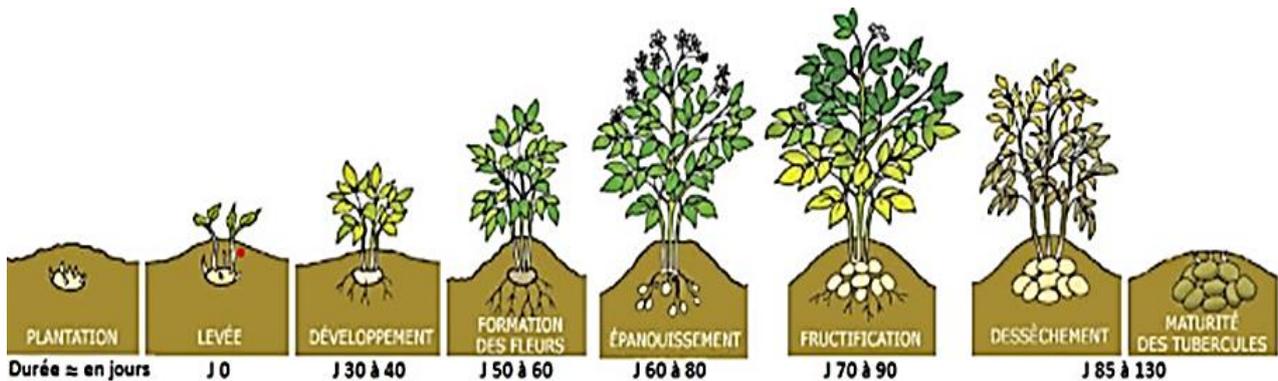


Figure 5 : Cycle de vie de la pomme de terre par reproduction asexuée (Soltner, 2005).

1.5.2 Cycle sexuée

La pomme de terre est très peu reproduite par graines dans la pratique agricole, cependant la graine est l'outil de création variétale (Soltner, 2005). (Figure 6)

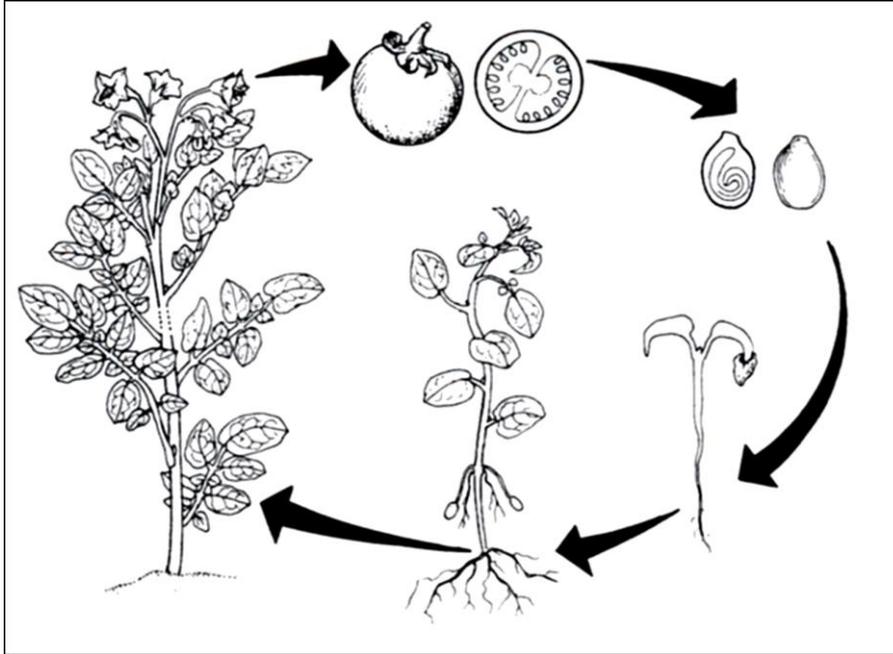


Figure 6 : Cycle de la pomme de terre par reproduction sexuée (Rousselle et al., 1996)

1.6. Exigences de la pomme de terre

1.6.1. Exigences climatiques

a) -Température

Elle influence beaucoup sur 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 °C 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 (Toumi, 2014)..

b) -Lumière

A la prégermination, un éclairage suffisant favorise le développement des germes courts et vigoureux (2-3 cm) et bien colorés (Soltner, 1999). La croissance végétative de la pomme de terre est favorisée par la longueur du jour élevée (14 à 18 heures), une photopériode inférieure à 12 favorise la tubérisation (Chibane, 1999).

c) -Besoins hydriques

Les besoins en eau de la pomme de terre varient au cours du cycle végétatif. Ils sont importants au moment de l'initiation des tubercules. Un stress hydrique se manifestant à ce stade peut entraîner une réduction du nombre d'ébauches formées par plante et une réduction du nombre de stolons formés par tige (Rousselle et al., 1996)

1.6.2 Exigences édaphiques

a) -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 sablonneuse ou sablo-limoneuse; les sols à texture argileuse ou argilo-limoneuse empêchent tout grossissement de tubercule (Toumi, 2014).

b) - Potentiel Hydrogène(pH)

Les sols légèrement acides (pH = 5,5 à 6) peuvent être favorables aux rendements de la pomme de terre. L'excès d'alcalinité du sol peut entraîner la formation de la galle commune sur les tubercules (Chaumeton et al., 2006).

c) -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, le point de flétrissement est atteint rapidement (Bamouh, 1999).

d) - Besoins en éléments fertilisants

La pomme de terre se classe parmi les plantes très exigeantes en azote, phosphore et potassium. L'azote est le facteur déterminant du rendement de la culture. Il favorise dans un premier temps le développement du feuillage, puis la formation et le grossissement des tubercules. L'acide phosphorique est un facteur de précocité et favorise le développement racinaire. Les besoins en

calcium, magnésium et soufre sont généralement notables. La pomme de terre est sensible à une carence en magnésium (**Rousselle et al., 1996**).

1.7. Variétés

Bien que les pommes de terre cultivées dans le monde entier appartiennent à la même espèce botanique, *Solanum tuberosum L*, il existe des milliers de variétés, qui sont très différentes de par leur taille, leur forme, leur couleur, leur usage culinaire et leur goût (**Diouf, 2009**).

Il existe deux types de pomme de terre :

- **Pomme de terre de consommation destinée au marché du frais** : un nombre élevé de Tubercules d'un calibre moyen à grand, sans toutefois dépasser le calibre supérieur. Les variétés les plus utilisées sont Désirée, Spunta, Diamant, Lisetta et Kondor...
- **Pomme de terre de consommation destinée à la transformation industrielle** : un rendement Élevé en tubercules et amidon (**Belguendouz, 2012**). En Algérie les variétés inscrites aux catalogues sont : Spunta (B), Fabula(B), Nicola(B), Diamant(B), Timate (B), Atlas (B), Bartina (R), Désirée (R), Kondor (R) B=Blanche, R=rouge (**ITCMI, 2010**).

1.8. Conduite de la culture de la pomme de terre

1.8.1 Préparation du sol

La préparation du sol permet d'assurer un contact optimal entre le tubercule et le sol. Un sol mal préparé engendre un retard de la levée et du développement du système racinaire.

- Aménager le sol sur une profondeur d'au moins 25-30 cm. La présence d'une couche meuble de cette nature permet l'aération du sol, favorise le développement des racines et facilite le buttage.
- Épandage de la fumure organique et des engrais phospho-potassiques. (**Bamouh, 1999**)

1.8.2 Fertilisation

Étant donné la courte durée du cycle végétatif (03 à 04 mois), la rapidité de croissance et le manque de profondeur du système racinaire, la fertilisation reste l'un des éléments essentiels pour une production optimale de pommes de terre. Pour prévenir les risques de carence, il est essentiel de compléter la fumure organique avec de la fumure minérale, qui contient les éléments essentiels pour

la plante : N - P - K - Mg et Ca. Chaque élément minéral majeur a une action distincte sur le développement des organes de la plante (**Bamouh, 1999**).

Le phosphore permettrait l'apparition de nombreux et petits tubercules, tandis que le potassium favoriserait la production de glucides dans les feuilles et leur migration vers les tubercules. L'azote encourage la croissance des feuilles, puis la formation et la croissance des tubercules. Initialement, elle est conservée dans le feuillage de la plante, puis elle se déplace dans le tubercule au fur et à mesure de sa croissance. Il est important de placer l'azote au niveau des billons, en évitant tout contact direct entre les tubercules et l'engrais (**Bamouh, 1999**).

1.8.3 Plantation

Elle dépend de la zone de production, de la nature des sols, des conditions climatiques et de la variété choisie ; la pomme de terre est cultivée durant l'année en trois saisons différentes (**Bouafares, 2012**).

- Primeurs : plantation 15 novembre - 15 janvier.
- Saison : plantation 15 janvier -15 mars.
- Arrière-saison : 15 août -15 septembre

1.8.4 Irrigation

D'après **Bamouh (1999)**, la pomme de terre est extrêmement sensible au manque d'eau et à l'excès d'eau. La production peut être sérieusement impactée par une courte période de sécheresse. L'excès d'eau provoque également l'asphyxie des racines et la pourriture des tubercules. Le développement du mildiou est également favorisé par une forte humidité. Les besoins hydriques de la pomme de terre s'évaluent entre 400 et 600 mm selon, les conditions climatiques, le type de sol et la longueur du cycle.

1.8.5 Buttage de la pomme de terre

Le buttage a pour but essentiel d'assurer une bonne nutrition du plant, de favoriser le grossissement des tubercules et de faciliter l'arrachage mécanique contribue également à protéger les tubercules contre les attaques de mildiou et de teigne.

Un buttage définitif peut être effectué dès la plantation particulièrement en terre sableuse se réchauffant rapidement. Mais en générale, deux buttages sont nécessaires au cours du cycle végétatif de la culture surtout en terre argileux ou limoneux. Le dernier buttage doit être réalisé au plus tard lorsque la végétation a atteint 15 à 20 cm de hauteur (**ITCMI, 2001**).

1.8.6. Désherbage

Le désherbage peut être manuel, mécanique et/ou chimique

- Désherbage manuel : Il consiste à détruire les mauvaises herbes en réalisant des opérations de binage buttage
- Désherbage mécanique : les mauvaises herbes sont détruites lors de la réalisation des buttages mécaniquement.
- Désherbage chimique : Il s'effectue en répandant sur la parcelle des produits chimiques recommandés selon le cas avant la levée ou au plus tard au moment de la levée.

Les traitements doivent être réalisés par temps calme (sans vent) pour éviter de répandre le produit sur un seul des deux flancs de la butte **(ITCMI, 2001)**.

1.8.7. Protection phytosanitaire

Les traitements sont toujours préventifs, c'est à dire qu'ils sont effectués avant l'apparition des premiers symptômes. Le premier traitement se fait sur avis des services de la protection des végétaux. Les traitements suivants doivent se faire avant toute période d'humidité saturante. Leur périodicité est fonction de la persistance d'action du produit utilisé. Elle est de l'ordre de 7 jours (produits de contact ou pénétrant), de 10 à 12 jours (produits systémiques) **(ITCMI, 2001)**.

1.8.8. Récolte et conservation

Les variétés les plus cultivées ont un cycle d'environ 03 à 04 mois. Le jaunissement des feuilles inférieures, le dessèchement des tiges et la fermeté de la peau de tubercule sont des signes de maturité. Afin d'assurer une bonne conservation, il est nécessaire de conserver uniquement les tubercules non blessés.

Les conditions idéales de conservation sont les suivantes :

- Température : 02 à 04°C pour la pomme de terre de semences, 04 à 08°C pour la pomme de terre de consommation.
- Humidité relative : 90 à 95% tout en évitant l'accumulation de CO₂ par ventilation **(Bamouh, 1999)**

1.9. Maladies et ravageurs de la pomme de terre

La pomme de terre est l'une des plantes cultivées les plus touchées par les maladies. Dans la plupart des cas, les maladies cryptogamiques, bactériennes et virales se manifestent par des blessures, causées par des ravageurs ou lors de la récolte. Certains ravageurs peuvent également les transmettre directement (**Bamouh, 1999**). (**Voir tableau 5**)

Tableau 5 : Principales maladies et ennemies qui touchent la pomme de terre, leurs symptômes et les moyens de lutte (**Rousselle et al.,1996**)

Nom de la maladie	Symptômes	Méthodes de lutte
Maladies fongiques		
Mildiou (<i>Phytophthora infestans</i>)	-Des lésions d'aspect humide sur le feuillage deviennent brunes lors qu'elles sont séchées. -une sporulation blanche sur la face inférieure des feuilles -Noircissement des tiges. -La plante entière détruite en quelque jour. Coloration brune de tubercules	-Employer des cultivars résistants. -Application des fongicide organique et cupriques. -L'emploi d'un « adhésif » et la pulvérisation de la face inférieure des feuilles.
Alternaria (<i>Alternaria solani</i>)	-Taches brunes arrondies sur les feuilles de la base puis s'étendre au reste de la plante -la contamination des tubercules est assez rare mais possible	-élimination des tubercules malades. -détruire les fanes avant l'arrachage -maintenir des conditions défavorables à la conservation. -L'emploi des fongicides organiques et cupriques comme moyen préventif
Insectes et ravageurs		
Teigne (<i>Photmea operculilla</i>)	S'attaque aux feuilles et aux tiges qu'elle perce pour finalement rejoindre les tubercules en creusant une galerie cireuse qui favorise le développement des champignons.	-la réalisation d'un bon buttage -il est recommandé de garder une certaine humidité jusqu'à l'arrachage

Maladies bactériennes		
Pourriture brune (<i>Pseudomonas Solanacearum</i>)	-Flétrissement localisé au sommet de plants. - Un liquide bactérien visqueux de couleur blanchâtre dans les tiges	-Rotation des cultures.
Galle commune (<i>Streptomyces scabies</i>)	-Des besoins superficiels et réticulaires sur les tubercules, parfois profonde ou en cratère ou encore protubérantes	-Employer des plants sains ou distincts. Rotation des cultures : betteraves, carottes
Maladies virales		
Virus de l'enroulement ou PLRV	-Enroulement des feuilles avec une couleur Jaune pâle ou pourpre rougeâtre - Nécrose du système vasculaire. -Chlorose marginale et interne	-Epuration des touffes malades. -Application d'insecticide systémique.
Virus Y et virus A (PVY et PVA)	-Mosaïque sur les feuilles. -Recourbement des feuilles.	-Sélection clonale. -Epuration des touffes malades
Les nématodes		
Nématodes à kystes <i>Globotera Spp</i>	-Croissance peu vigoureuse, rabougrissement, jaunissement et vieillissement précoce de la partie aérienne. -Des sphères minuscules blanches sur les racines et les tubercules (femelles de nématodes)	-Longue rotation parvient à réduire les populations. -Traitement par nématocide.
Nématodes gallicoles <i>Meloidoggne Spp</i>	-Une croissance réduite du plant. - Des feuilles vert pâle, petites, peu nombreuses. -Présence des nœuds ou des galles sur les racines. -Des tubercules galleux, déformés	-Traitement de sol avec des nématocide ou des fumigeant. -Rotation des cellules et la jachère.

2. Généralités sur les mycorhizes

Il y a de cela environ 400 millions d'années, les premières plantes quittaient les milieux aquatiques pour venir coloniser la terre ferme. Ce changement a fait appel à d'autres organisme en occurrence les champignons. C'est grâce à cette association que les plantes ont réussi à survivre dans des milieux offrant peu d'humidité et de nutriments. Cette association, ou symbiose, se nomme mycorhize (**Figure 7**).

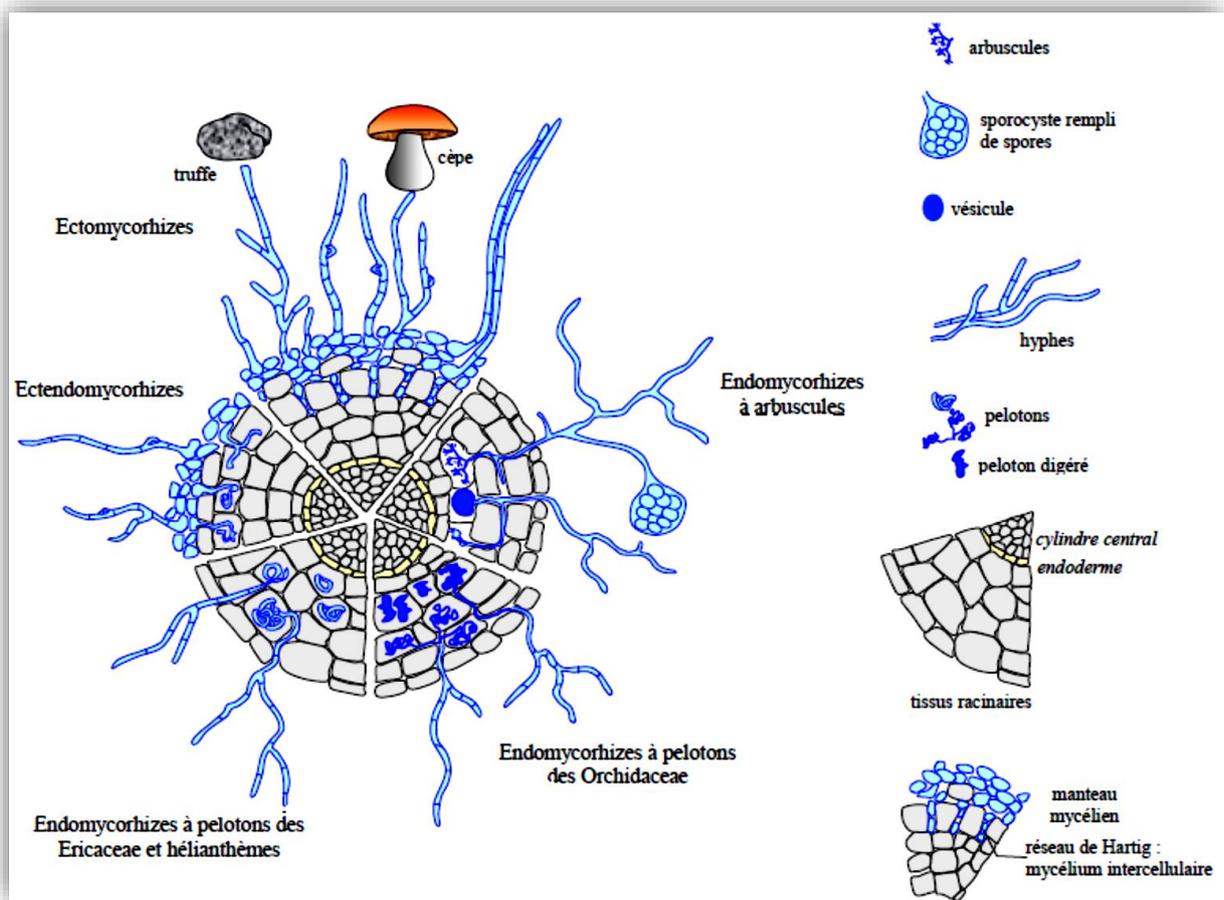


Figure 7 : Principales formes de mycorhizes associées aux racines des plantes supérieures (Hallé, 2008, figure modifiée d'après Le Tacon, 1985)

2.1 Différentes symbiose mycorhizienne

Les mycorhizes sont des interactions entre les racines des végétaux supérieurs et les mycéliums des champignons (Nultsch, 1998). Selon Demay (1991), le champignon absorbe des substances organiques produites par la plante et facilite l'absorption de l'eau et des minéraux par les racines. Les champignons mycorhiziens absorberont les composés organiques azotés et phosphorés, les minéralisant ainsi avant de les transmettre à la plante (Gobat et al., 2010). On retrouve souvent des associations mycorhiziennes dans pratiquement tous les écosystèmes naturels et touchent environ 95% des plantes (Redon et Milou 2009).

Le monde des champignons est très varié : le nombre d'espèces fongiques existant aujourd'hui sur la planète est estimé à 1,5 million, mais à peine 100 000 (soit à peine 7%) ont été décrites et nommées. Toutefois, l'association symbiotique avec les plantes ne concerne que trois groupes de champignons: les Basidiomycètes, les Ascomycètes et les Gloméromycètes (Garbaye 2015).

2.1.1 Ectomycorhizienne

Les espèces ectomycorhizées occupent de très grandes superficies géographiques, par exemple, les forêts conifériennes circumboréales. Environ 5% des espèces végétales vasculaires vivent en symbiose avec des champignons ectomycorhiziens totalement différents des mycorhizes arbusculaires. Les champignons ectomycorhiziens appartiennent aux ascomycetes et, surtout, aux basidiomycètes. Ces champignons se situent à l'extérieurs de la paroi cellulaire mais ne pénètrent pas à l'intérieurs de la cellule. Ces champignons supérieurs, ne forment des mycorhizes qu'avec des plantes ligneuses, arbres ou arbustes dont la structure mycorhizée peut être simple, ou sous forme d'un racème ou encore ramifiée dichotomiquement chez les pins (Garbaye et Guehl.,1997).

2.1.2 Ectendomycorhizes

Caractérisées à la fois par la présence du manteau mycélien et le développement d'hyphes inter et intracellulaires. Elles se rencontrent chez les Arbutacées, les Monotropacées et sont formées par des Basidiomycètes (Cortinarius, Boletus...) (Mikola, 1988).

2.1.3 Endomycorhizes

Contrairement aux ectomycorhizes, les hyphes des endomycorhizes pénètrent à l'intérieur des cellules où leur prolifération entraîne la formation d'arbuscules ou de pelotons. Il existe plusieurs types d'endomycorhizes qui diffèrent en de nombreux points, dont les plus connus sont les endomycorhizes à arbuscules, les endomycorhizes éricoïdes et les endomycorhizes orchidoïdes. Les mycorhizes à

arbuscules sont le type mycorhizien le plus ancien et le plus abondant dans la flore actuelle (**Smith & Read, 1997**).

Les mycorhizes endotrophiques ou mycorhizes vésiculaires-arbusculaires ont d'abord été identifiées et définies au cours des dernières décennies du XIXe siècle (**Redecker & Schüßler, 2014**).

Les plantes vasculaires aquatiques et les membres des familles Brassicaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae, Juncaceae, Caryophyllaceae, Cruciferaeae, Polygonaceae, Portulacaceae, Urticaceae ne forment pas d'associations mycorhiziennes (**Smith & Read, 1997**).

2.2. La mycorhization

Selon **Hopkins, (2003)** ; **Smith & Read, (2008)**, la mycorhization est le processus par lequel le mycélium des champignons mycorhiziens à arbuscules colonise le système racinaire d'une plante.

Les mycorhizes arbusculaires partagent les nutriments entre la plante et le champignon au niveau d'un seul arbuscule. À l'intérieur des cellules corticales des racines de la plante, le champignon forme cet organe très ramifié en forme de petit arbuste. La surface importante des structures facilite les échanges de nutriments. Ensuite un vaste réseau mycélien extra-racinaire occupe le sol en relation avec les arbuscules. De ce fait le champignon génère également des spores dans le mycélium et crée des structures de stockage au niveau de la racine. Les champignons peuvent survivre sans les hyphes (à l'extérieur et à l'intérieur des racines), les vésicules et les spores de la plante hôte.

Par conséquent, toutes ces structures sont considérées comme des propagules capables de produire de nouveaux mycorhizes. Certains champignons mycorhiziens arbusculaires qui se développent sous forme de sporocarpes produisent des fruits à la surface du sol, mais leur croissance est principalement limitée (**Redecker & Schüßler, 2014**).

2.3. Les mycorhizes à arbuscules

Selon **Schüßler et al., (2001)**, les endomycorhizes sont les mycorhizes à arbuscules, le genre de mycorhizes le plus ancien et le plus commun. Ce sont plus de 200 espèces de champignons microscopiques du phylum des Glomeromycota qui sont impliquées.

Les mycorhizes arbusculaires sont présentes dans les fougères, les lycopodes, plusieurs des conifères, les monocotylédones, les dicotylédones et la plupart des plantes à fleurs (**Fortin et al., 2008**). Les racines d'environ 80 % des plantes vasculaires de la planète sont en symbiose avec ces champignons (**Smith et al., 2003 ; Fortin et al., 2008**).

Les champignons arbusculaires mycorhiziens sont des symbiotes nécessaires, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas se développer sans une plante hôte.

2.3.1 Structure des mycorhizes arbusculaires

Le tableau ci-dessous montre des différentes structures et fonctions des champignons mycorhiziens arbusculaires :

Tableau 6 : Principales structures et fonctions du CMA (Souza, 2015).

Structure	Fonction
Arbuscules (intracellulaires)	(1) Interaction avec la plante hôte
	(2) Régulation biochimique et échanges de carbone, d'énergie et de nutriments.
	(3) Les structures varient en fonction des ordres existants (Archaeosporales, Diversisporales, Glomerales et Paraglomerales)
Vésicules (intra-radiculaires)	(1) Stockage de composés lipidiques riches en énergie pendant le développement des mycorhizes.
	(2) Responsable du maintien et de la croissance du champignon après l'arrêt de la fonction métabolique des racines.
Cellules auxiliaires (extra-radiculaires)	(1) Cellules fragiles responsables du stockage des lipides.
	(2) Les macromolécules fournissent le carbone nécessaire à la formation des spores lors de la sporulation.
Hyphe (intra-radiculaire)	Établir les "unités d'infection" dans les racines de la plante hôte.
Hyphe (extra-radiculaire)	(1) Responsable de l'absorption des nutriments et de l'eau de la rhizosphère
	(2) Fournit de nouveaux points d'entrée le long de la racine de la plante hôte.
	(3) Responsable de la production de nouvelles spores.
Spores	(1) Structures de survie et de résistance
	(2) Responsable de la dispersion et de l'établissement des AMF.
	(3) Valeur taxonomique pour l'identification des espèces d'AMF.
Parois de spores	(1) Importantes pour la croissance, la survie et la dispersion des spores dans le sol.

	(2) Les couches extérieures sont responsables des interactions avec d'autres microorganismes.
Murs germinatifs	Directement impliqués dans les événements de germination.
Structures germinatives	Fournit la base structurelle permettant au tube germinatif de se développer et de traverser les parois des spores.

2.3.2 Colonisation des racines par les champignons mycorhiziens arbusculaires

La symbiose entre la plante et le champignon mycorhizien se produit par échange de signaux moléculaires (**Figure 8**). Le champignon et la plante-hôte sont reconnus par les exsudats racinaires et fongiques. Les flavonoïdes et les strigolactones, des substances chimiques émises par la plante-hôte, stimulent l'activité métabolique du champignon (**Stevenin et al., 2012 ; Gavériaux, 2012**). Elles provoqueront l'expression de gènes Myc chez le CMA et ensuite des facteurs Myc. Ces facteurs provoqueront des déformations dans les cellules de l'hôte pour établir la symbiose et la croissance des hyphes colonisant les racines (**Stevenin et al., 2012**).

Le mycélium se développe vers la racine une fois qu'une spore de champignon se développe. Lorsque le champignon apprend que la plante hôte est présente, il manifeste une réaction caractéristique de ramification intense des hyphes appelée « branchement ». Par la suite, les hyphes se fixent aux parois externes des cellules de la racine, formant un hyphopodium. Ensuite, ils sont perforés par des enzymes qui détruiront les pectines, les hémicelluloses et la cellulose qui les composent. Les hyphes se divisent en deux hyphes de diamètre de plus en plus petit après avoir atteint l'intérieur de la cellule ; à partir d'un hyphe initial de 10 µm de diamètre, les dernières ramifications peuvent atteindre moins de 1 µm de diamètre. Un petit arbre ressemble à toutes ces branches : les arbuscules, où les échanges symbiotiques ont lieu, ce qui a donné le nom à ces champignons (**Gavériaux, 2012 ; Garbaye, 2013**).

Les arbuscules sont des organismes spécialisés dans le transfert de nutriments et d'eau entre les champignons et les plantes. En ce qui concerne le phosphore, il est transféré sous forme d'ions ortho phosphatés via des transporteurs spécialisés qui sont insérés à l'interface Plante-Champignon dans les membranes cellulaires. Les sucres provenant de la plante sont transportés dans le sens inverse par des canaux spécialisés appelés transporteurs d'hexoses (**Karandashov & Bucher, 2005 ; Garbaye, 2013**).

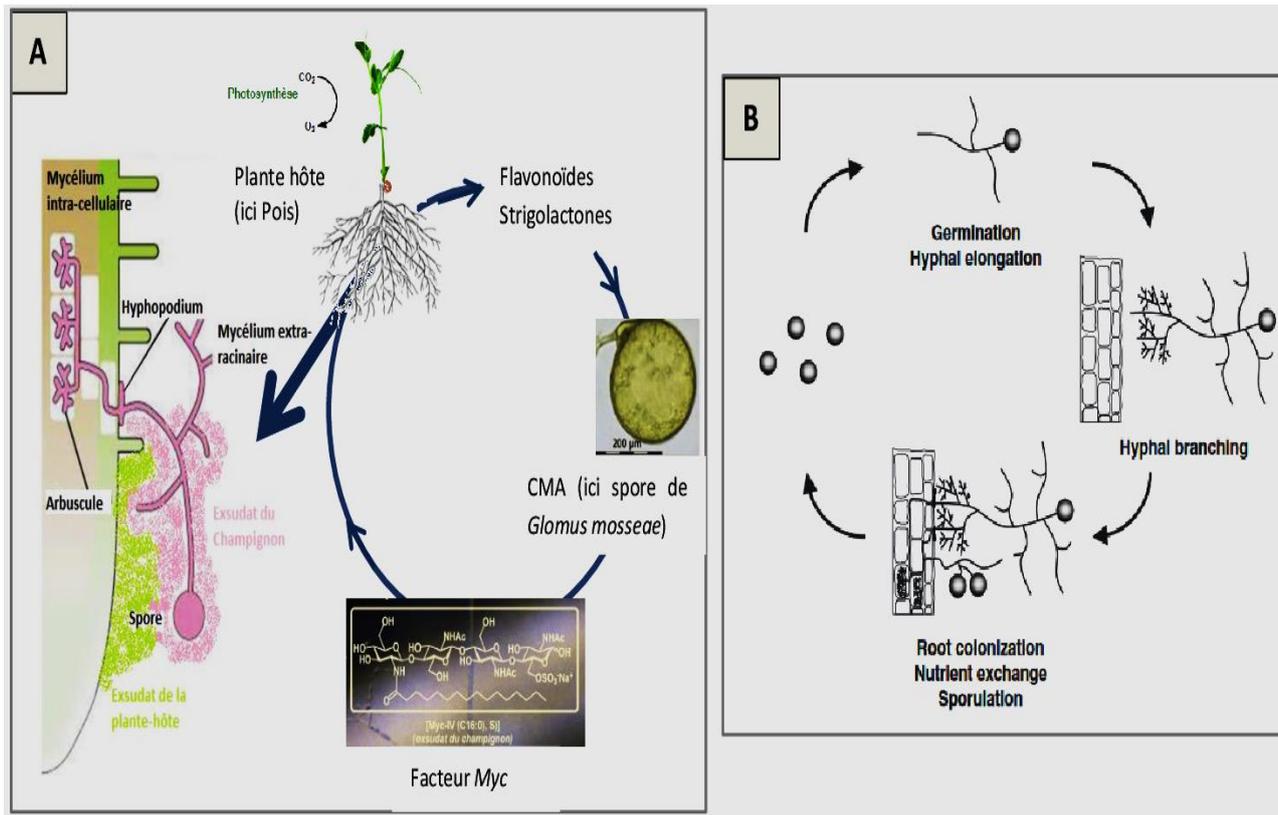


Figure 8 : Schématisation de l'établissement de la symbiose mycorhizienne (A) et du cycle de vie des CMA (B) (Akiyama, 2007)

2.3.3 Taxonomie des espèces de champignons mycorhiziens à arbuscules

En utilisant des analyses moléculaires, les CMA appartenant au phylum des Basidiomycètes ont été transférés dans un nouveau phylum, les Gloméromycètes (Schüßler & Walker, 2010). (Voir figure 9)

Plusieurs indicateurs d'identification sont proposés en fonction des caractéristiques morphologiques des spores. Les clés de Trappe (1982), Hall & Fish (1979) et Schenck & Perez (1989) étaient les plus significatives. Une nouvelle terminologie a été suggérée par Walker (1983) pour décrire les espèces en se basant sur les différents types de parois formés par les spores. Morton et Benny (1990) ont proposé une classification fondée sur les caractéristiques phénotypiques (morphologie des spores et caractéristiques de mycorhization) qui a été la première à introduire l'ordre des Glomales dans les zygomycètes (Tableau 7).

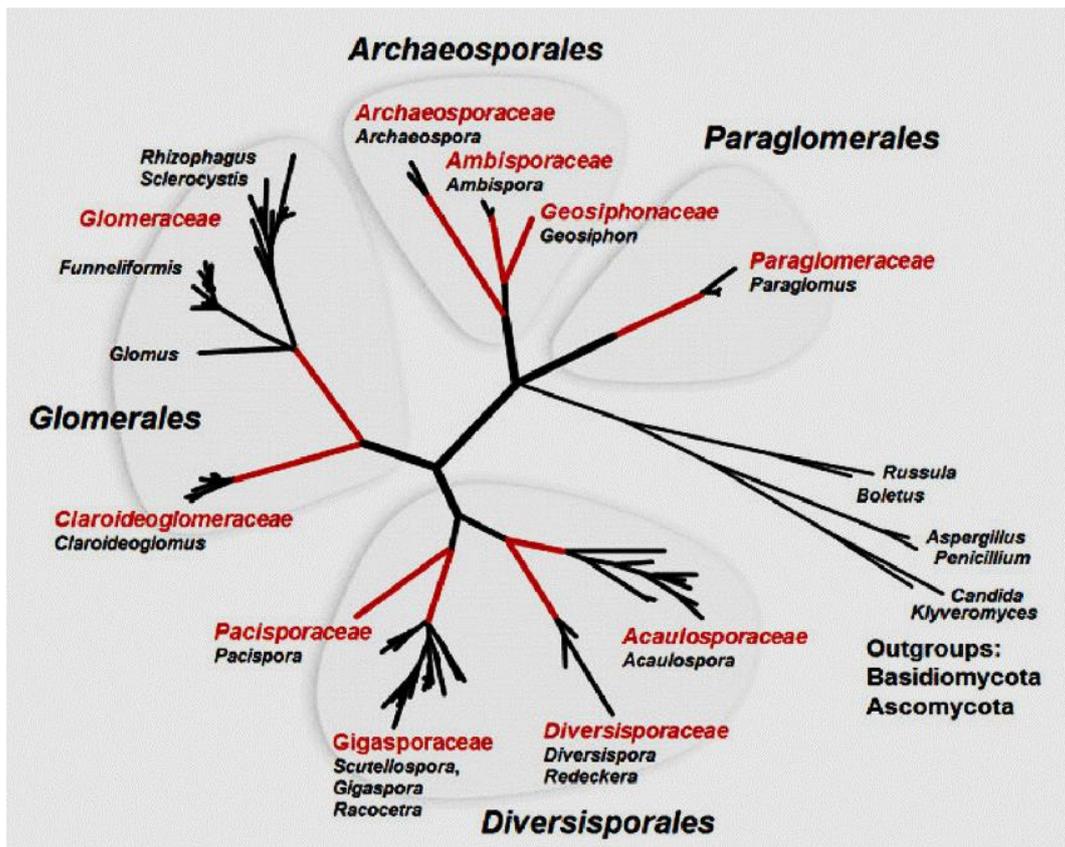


Figure 9 : Arbre phylogénique des Glomeromycota (Schüßler et Walker, 2001)

Tableau 7 : Classification des Gloméromycota (Redecker & Schüßler, 2014)

Ordres	Familles	Nombre approximatif d'espèces
Glomerales	<i>Glomeraceae</i>	108
	<i>Claroideoglomeraceae</i>	6
Diversisporales	<i>Diversisporaceae</i>	10
	<i>Gigasporaceae</i>	53
	<i>Acaulosporaceae</i>	38
	<i>Pacisporaceae</i>	7
Archaeosporales	<i>Archaeosporaceae</i>	2
	<i>Ambisporaceae</i>	9
	<i>Geosiphonaceae</i>	1
Paraglomerales	<i>Paraglomeraceae</i>	3
Familia incertaesedis	<i>Entrophosporaceae</i>	3

2.3.4 Cycle de développement des champignons mycorhiziens à arbuscules

Le développement des CMA se divise en deux phases :

- (i) **La phase présymbiotique** avec la germination des spores, la ramification et le développement des hyphes germinatives,
- (ii) **La phase symbiotique** avec la prolifération des hyphes à l'intérieur des racines de l'hôte et leur expansion en dehors des racines accompagnée de la formation des spores.

En plus ces deux étapes, lorsque les conditions sont propices, les spores des CMA peuvent se développer spontanément sans l'intervention d'une plante hôte, sans nécessiter l'utilisation de leurs réserves lipidiques (Bécard et al., 2004). (Figure 10)

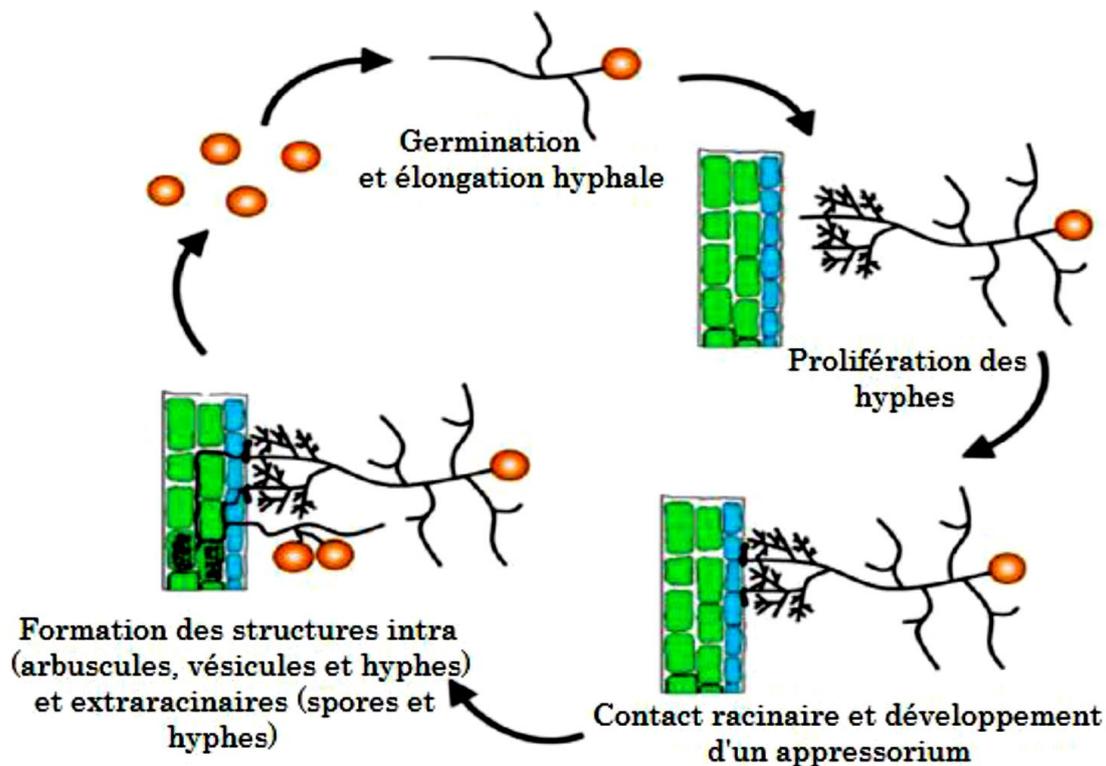


Figure 10 : Cycle de développement des CMA (Akiyama, 2007)

- **Le stade asymbiotique**

Selon Koske, (1981) atteste que pendant la phase asymbiotique, le développement du tube germinatif est très limité. Le protoplasme se rétracte dans la spore après un certain temps, et celle-ci entre en dormance. Il est intéressant de noter que plusieurs spores peuvent se reproduire jusqu'à dix

fois, ce qui suggère que les spores des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) préservent leurs ressources énergétiques pendant cette phase pour garantir leur potentiel de croissance et leur capacité de survie (Logi et al., 1998).

- **Stade présymbiotique**

L'interaction plante-CMA est initiée dans la rhizosphère par un dialogue chimique entre les symbiotes (Figure 11). La perception des signaux diffus par les deux partenaires leur permet de détecter leur présence respective avant tout contact physique et conduit au développement des structures fongiques (Bonfante & Genre, 2010).

Au stade de pré-contact, une reconnaissance mutuelle est marquée par des réactions de ramification hyphale provoquées par les strigolactones végétales (Akiyama et al., 2005) et l'expression des gènes de la plante provoquée par des molécules diffuses de signal fongique : les facteurs Myc (Kosuta et al., 2003 ; Kuhn et al., 2010).

D'après Akiyama et al., (2005) affirme qu'au cours de cette étape, les branches du tube germinatif connaissent une croissance significative. Cela augmente la probabilité de contact avec les racines, ce qui conduit à la symbiose. Les signaux émis par la plante, les signaux émis par les champignons (Myc factors) et la détection des Myc factors émis par les champignons caractérisent cette étape (Akiyama et al., 2005 ; Besserer et al., 2006).

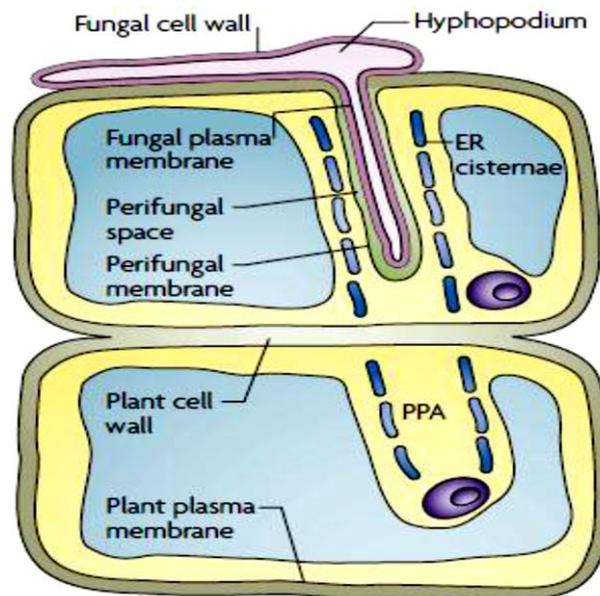


Figure 11 : Formation de l'appareil présymbiotique (Parniske, 2008)

- **Stade symbiotique**

La colonisation du champignon par l'hyphe de la racine se produit dans un ordre séquentiel clair et simple. Les hyphes du CMA ont une forme arrondie et aplatie sur la paroi de la racine, créant une structure appelée « hyphopodium » ou appressorium. Un appareil de pré-pénétration (Pre Pénétration Apparatus ou PPA) se forme pendant les 4 à 6 premières heures qui suivent la formation de l'hyphopodium (Genre et al., 2005).

Le PPA est une structure sous-structurale qui définit l'évolution du champignon à travers la cellule végétale de la racine. L'appareil de pré-pénétration (PPA) se forme avant la migration des noyaux des cellules végétales vers le point d'entrée du champignon, Ensuite, les noyaux se déplacent vers l'avant du PPA pour diriger sa croissance à l'intérieur de la cellule. La PPA est constituée d'un épais pont cytoplasmique qui traverse la cellule végétale. L'intérieur du PPA est constitué de microtubules cytosquelettiques et de microfilaments qui forment un tube creux avec le réticulum endoplasmique. Les hyphes fongiques ne peuvent pénétrer dans les cellules de la racine jusqu'aux cellules corticales internes, où le champignon développe des structures intracellulaires très ramifiées en forme d'arbuscules, qui sont la structure la plus importante des CMA (Parniske, 2008). (Figure 12)

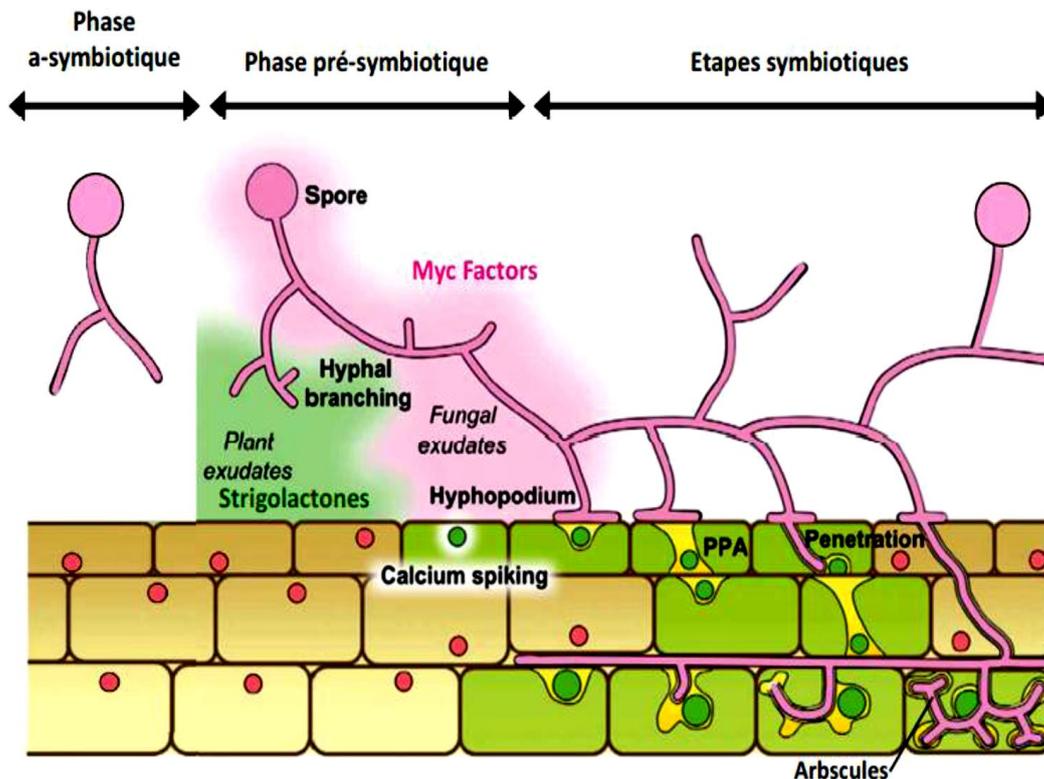


Figure 12 : Schéma des différentes étapes de colonisation des champignons MA (Bonfante & Genre 2010)

Selon les plantes où elles ont été initialement décrites, les structures symbiotiques intra-racinaires sont divisées en deux catégories : Paris et Arum. Le champignon se développe le long de la racine dans les espaces intercellulaires, et l'arbuscule pénètre dans les cellules via les axes qui en résultent lors de la colonisation de type Arum. Dans le type Paris, le champignon se propage de cellule à cellule et, dans de nombreux cas, les pelletons d'hyphes sont formés sans ou avec des arbuscules (**Figure 13**) (**Bonfante & Genre, 2008**). Les plantes forment la plupart du temps une structure intermédiaire entre ces deux modèles, ce qui a donné lieu à l'expression « type Arum-Paris continuum » (**Dickson, 2004**).

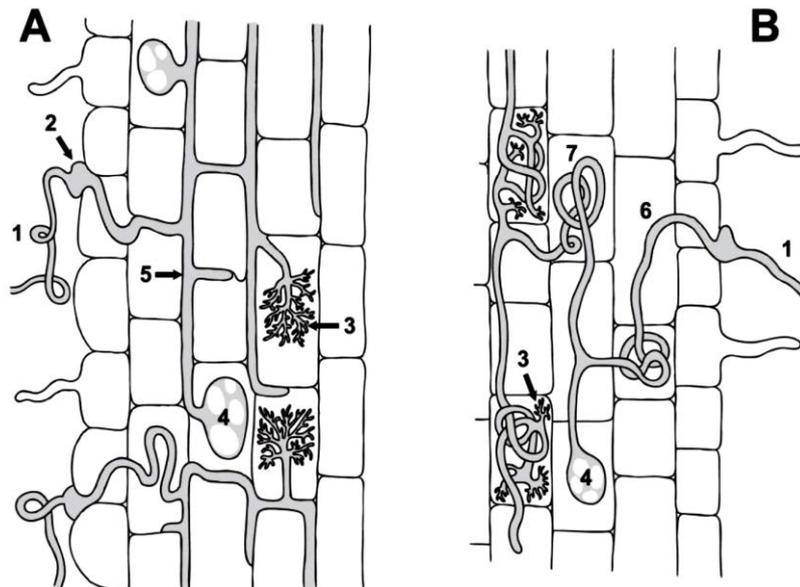


Figure 13 : Les deux types de colonisation racinaires. A : Type Arum B : type Paris. 1 : hyphe extra racinaire ; 2 : appressorium ; 3 : arbuscule ; 4 : vésicule ; 5 : hyphe intra racinaire ; 6 : hyphe intra racinaire ; 7 : peloton (**Portail du Jardinier 2017**)

2.3.5 Importance des champignons mycorhiziens à arbuscules

a) Bénéfices pour le champignon mycorhiziens à arbuscules

Les CMA se distinguent par un flux de nutriments dans deux directions. Le champignon mycorhizien (hétérotrophe) absorbe les molécules carbonées provenant de la plante (autotrophe) grâce à la photosynthèse (**Figure 14**). Celui-ci lui fournit en contrepartie les minéraux (phosphore, azote) et l'eau ainsi que d'autres nutriments extraits du sol (ammonium, certains oligoéléments comme le cuivre et le zinc...). La dépendance des CMA pour le carbone repose entièrement sur leurs partenaires et leur cycle de vie ne peut être complétée en dehors de la compatibilité. En utilisant le ^{14}C marqué, des

recherches réalisées dans les années 1970 ont démontré qu'une partie du ^{14}C marqué se déplace des racines des plantes mycorhizées vers les structures fongiques, puis vers les hyphes extra-racinaires. (Ho & Trappe, 1973 ; Bevege & Bowen, 1975; Hirrel & Gerdemann, 1979).

La mise en place de la symbiose mycorhizienne avec des arbuscules entraîne un coût énergétique pour l'hôte : on estime que près de 20 % du carbone fixé par la plante pendant la photosynthèse est transféré au partenaire fongique sous forme de différents hexoses tels que glucose, mannose, galactose, fructose, xylose, saccharose (Jakobsen & Rosendahl, 1990 ; Schüßler et al., 2006 ; Helber et al., 2011 ; Doidy et al., 2012).

Le caractère sélectif adaptatif bénéfique d'une telle perte énergétique ne peut être que par un apport efficace en eau et minéraux fournis par le champignon (Walder et al., 2012).

Afin d'éviter qu'un des partenaires ne prenne l'avantage sur l'autre, la plante régule minutieusement les échanges et l'invasion des tissus par le champignon (Kiers et al., 2011 ; Balzergue et al., 2011).

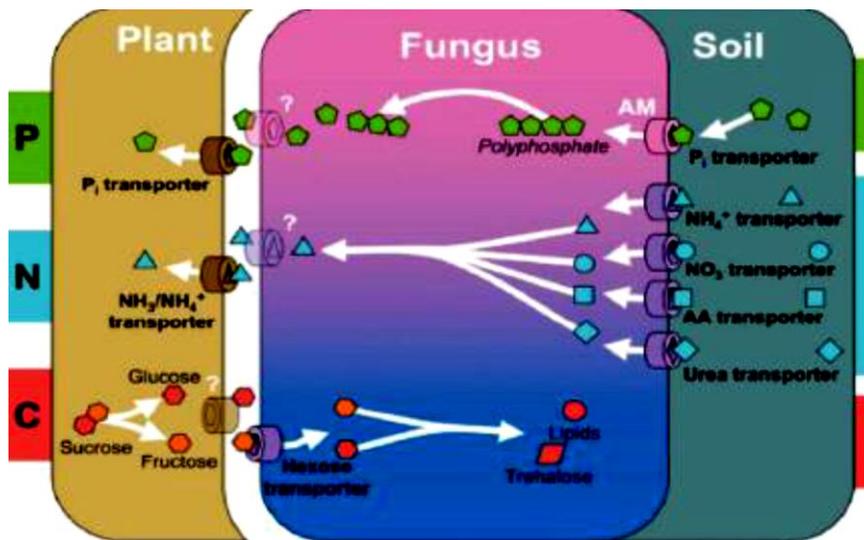


Figure 14 : Schéma récapitulant les principaux processus d'échanges de nutriments dans l'ensemble des symbioses mycorhiziennes (Bonfante & Genre, 2010).

b) Bénéfices pour la plante

• Optimisation du développement et de la nutrition des plantes

La symbiose avec les champignons mycorhiziens à arbuscules est la méthode naturelle de l'acquisition des nutriments par les plantes terrestres. Le rôle du réseau hyphale externe des CMA est crucial pour l'absorption des nutriments, en particulier ceux qui sont peu mobiles dans le sol, tels que le phosphore.

Ledit réseau joue le rôle d'un prolongement des racines de la plante hôte, ce qui améliore son aptitude à explorer le sol (**Gilroy & Jones, 2000**).

- Phosphore et Azote

Les hyphes peuvent mesurer jusqu'à 111 m/cm³ de sol, ce qui permet d'accroître la surface d'échange entre la plante et son environnement (**Miller et al., 1995**). Selon **Holford (1997)**, la croissance des plantes est influencée par la présence de phosphore inorganique dans la rhizosphère de la plante. Le phosphore joue un rôle essentiel dans la synthèse de l'adénosine triphosphate (ATP) dans les acides nucléiques et les phospholipides membranaires. Il participe également à la phosphorylation des protéines. Selon **Barber et al. (1962)** la concentration du phosphore dans la solution du sol dépasse rarement 8µM, pour améliorer son absorption, les plantes ont souvent recours aux CMA (**Smith et al., 2000**).

Ce dernier est rapidement absorbé par les hyphes mycorhiziennes extra-racinaires et transporté vers les structures mycorhiziennes dans les racines, où il sera libéré dans l'espace péri-arbusculaire situé près des cellules corticales racinaires (**Smith & Smith, 1990**). Plusieurs chercheurs ont prouvé que les mycorhizes jouent un rôle dans l'amélioration de l'absorption du phosphore (**Fraga-Beddiar & Le Tacon, 1990 ; Marschner & Dell, 1994 ; Smith et al., 2011**).

L'azote joue un rôle crucial dans la survie de la plante tels que les phospholipides, les coenzymes, les nucléotides et les acides aminés. Les CMA transforment l'azote en ammonium (**López-Pedrosa et al., 2006**) ainsi qu'en acides aminés (**Cappellazzo et al., 2008**) en utilisant des transporteurs spécifiques localisés au niveau des hyphes extra-racinaires.

La dégradation de la matière organique peut également être accélérée pour augmenter sa biodisponibilité pour les plantes (**Hodge et al., 2001**). Lorsque l'azote est prélevé, il est transporté dans les hyphes intra-racinaires sous forme d'arginine (**Jin et al., 2005**)

- Autres nutriments :

Un effet positif sur l'acquisition des nutriments peu mobiles a aussi été rapporté, tels que le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le fer (Fe), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu) chez les plantes soumises à des stress environnementaux défavorables. L'absorption de ces éléments s'accompagne d'une réduction de l'absorption d'ions toxiques tels que le Na⁺ dans les plantes inoculées (**Talaat et Shawky, 2013**).

L'inoculation par les CMA réduit le rapport Na/K grâce à une amélioration significative de l'absorption des ions K⁺, ce qui conduit au maintien de l'activité enzymatique et d'autres voies

métaboliques importantes. Les plantes ont tendance à absorber plus d'ions Na^+ lorsque la concentration de NaCl est élevée dans le sol et que le pouvoir d'absorption des ions K^+ est diminué, assurer des rapports K^+/Na^+ , $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ et $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ plus élevés dans les tissus, par les CMA permet d'orienter le fonctionnement des processus métaboliques chez la plante (Hashem et al., 2018).

- **Prévention du stress biotique et abiotique.**

Malgré son rôle principal dans l'amélioration de la nutrition minérale des plantes, la symbiose mycorhizienne est également réputée pour son rôle dans l'amélioration de la résistance des plantes aux stress biotiques et abiotiques. Les CMA ont joué un rôle important dans la protection des plantes contre les stress abiotiques tels que la salinité (Giri et al., 2008), la température (Abdel Latef & Chaoping, 2011), le calcaire (Labidi et al., 2011), la sécheresse (Ruiz-Sánchez et al., 2010) et le compactage du sol (Miransari et al., 2008).

Les polluants tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Verdin et al., 2006 ; Debiane et al., 2008 et 2009), les fongicides (Campagnac et al., 2010) et les éléments traces métalliques (Firmin et al., 2015) jouent également un rôle dans la réduction des effets néfastes. De la même manière, les CMA contribuent à améliorer la résistance à certaines maladies cryptogamiques (Dalpé 2005).

- **Bio stabilisation du sol**

Étant donné la présence importante des hyphes des champignons mycorhiziens à arbuscules dans les sols, (Miller et al., 1995), ils ont la capacité d'influencer la macro-agrégation des composants du sol, ce qui entraîne sa stabilité (Tisdall, 1991). Effectivement, ces hyphes produisent une glycoprotéine appelée « glomaline », ce qui facilite l'incorporation de micro agrégats de diamètre inférieur à $250\mu\text{m}$ en macro agrégats stables de diamètre supérieur à $250\mu\text{m}$ (Tisdall, 1994 ; Wright & Upadhyaya, 1998). Selon Rilling et al. (2002), la quantité de glomaline présente dans les sols varie en fonction de la plante hôte et du champignon associé. Grâce à la stabilité du sol obtenue, il est possible de combattre l'érosion, la perte de nutriments et la lixiviation de la matière organique, qui sont responsables d'une diminution de la productivité agricole (Schreiner & Bthlenfalvay, 1995).

3. Impact de l'agriculture moderne sur les mycorhizes

L'agriculture moderne a tendance à s'intensifier au détriment des mycorhizes (**Van der Gast et al., 2011**). La formation des mycorhizes a été affectée par différentes pratiques telles que la fertilisation, le travail du sol, les rotations de cultures et l'utilisation de pesticides.

3.1. La fertilisation

Les agriculteurs utilisent fréquemment des engrais minéraux phosphatés assimilables par la plante afin d'améliorer la croissance et le rendement des cultures. Cet apport accroît la quantité de phosphore disponible pour les plantes et réduit considérablement leur dépendance aux mycorhizes. Par conséquent, dans les sols riches en phosphore, on observe une diminution de la colonisation des racines des plantes, voire une inhibition de celle-ci (**Grant et al., 2005; Hijri et al., 2006**). La combinaison phosphore- azote agit sur la germination des spores, la croissance et la longueur des racines colonisées (**Bressan, 2001**).

3.2. Le travail du sol

Les charrues sont fréquemment utilisées pour le travail des sols. Les labours ont diverses fonctions, notamment de niveler les terres, de gérer les mauvaises herbes et d'incorporer les engrais (**Chiffлот, 2008**). Le labour a cependant un impact négatif car il détruit le réseau mycélien des champignons et en enfouissant en profondeur les propagules ; selon **Oehl et al. (2005)**, ces perturbations physiques diminuent la quantité de CMA présentes dans la couche supérieure du sol, où se trouvent principalement les racines des plantes hôtes.

3.3. Les rotations de cultures

Selon **Burrows & Pflieger (2002)**, les systèmes agricoles conventionnels, qui reposent principalement sur la monoculture, conduisent à la sélection d'un nombre limité d'espèces de CMA. Selon **Jansa et al. (2003)**, la densité des spores et des hyphes de CMA et leur aptitude à coloniser les racines sont plus élevées dans les sols où les plantes interagissent avec les CMA par rapport à ceux où les plantes ne sont pas mycorhiziennes.

3.4. Les pesticides

En raison de l'intensification de l'agriculture, de nombreux pesticides ont été utilisés, leurs impact varient en fonction du produit, de la quantité et de leur durée d'action. Différents pesticides, notamment les fongicides, peuvent influencer directement sur la colonisation et la sporulation des CMA, voire même entraîner leur disparition (**Fortin et al., 2008**). Il est probable que les fongicides utilisés pour enrober les semences sont les plus nocifs pour les mycorhizes (**Plenchette et al., 2005**).

Chapitre II
Partie expérimentale

Matériels et méthodes

1. Objectif du travail

Ce travail a été réalisé dans le but de démontrer l'impact des mycorhizes sur le développement et le rendement de la pomme de terre. Pour cela, nous avons inoculé un produit composé de trois champignons mycorhiziens à arbuscules sur la pomme de terre à différents stades de son développement.

2. Présentation de la zone d'étude (Wilaya Ain Temouchent)

2.1. Description géographique du site expérimental

La wilaya d'Ain Temouchent a été créée à la suite de la division territoriale en 1984. Située au nord-ouest de l'Algérie, elle a une latitude nord de $35^{\circ}18'45$, une longitude ouest de $1^{\circ}8'43$ et une altitude de 248 mètres (Mohammed et Samir, 2020).

Délimitée par la mer méditerranée au Nord-Ouest, la wilaya de Sidi Bel Abbas à 63 km au Sud-est, la wilaya d'Oran à 72 km à l'Est et la wilaya de Tlemcen à 69 km au Sud-ouest, elle possède une superficie de 2376,89 km² et une densité de 170 hab/km².

Elle est composée de quatre daïras : Béni Saf, El Maleh, Hammam BouHadjar, Ain Kihal. Elle comprend 28 villes, également connues sous le nom de régions principales, telles que Aghlal, Ain ElArbaa, Ain Kihal, Ain Tolba, Aougbellil, BéniSaf, Bouzedjar, Chaabet El Ham, CHENTOUF, El Amria, El Emir Abdelkader, El Malah, El Messaid, Hammam Bouhadjar, Hassasna, Hassi El Ghella, Oued Berkeches, Oued Sabah, Ouled Boudjema, Ouled Kihal, Oulhaca, El Gheraba, Sidi Ben Adda, Sidi Boumedienne, Sidi Safi, Tadmaya, Tamzoura et Terga (Figure 15).

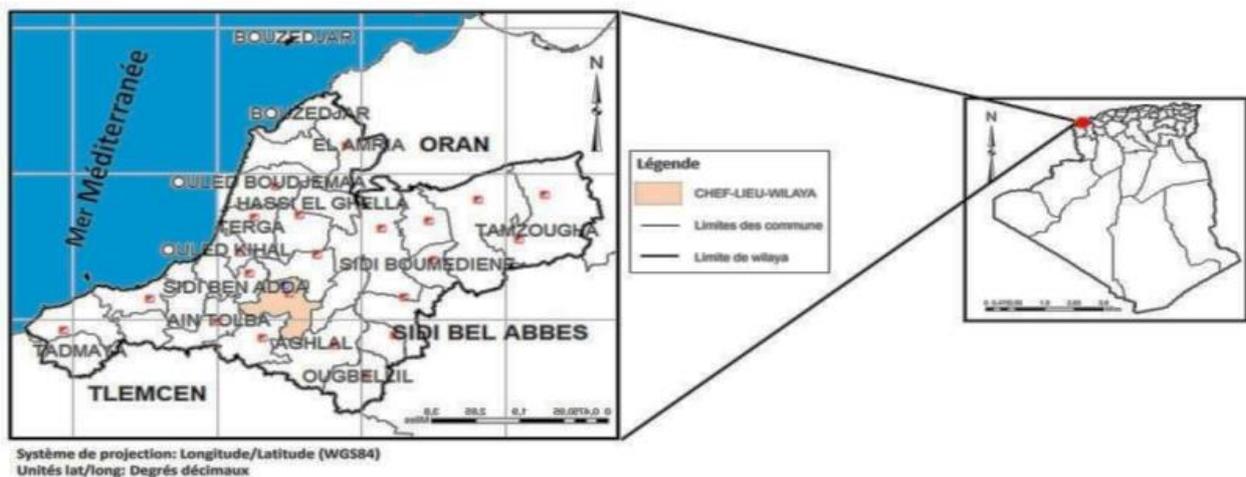


Figure 15 : Carte géographique de la wilaya d'Ain Temouchent (Bardadi 2023)

2.2 Climat :

Le climat d'Ain Temouchent est semi-aride, avec des précipitations faibles et irrégulières, des étés chauds et humides et des hivers relativement froids et doux. La température moyenne annuelle est de 19,1°C, avec une maximale enregistrée entre juillet et août (35°C) et une minimale enregistrée entre décembre et janvier (6°C). La pluviométrie est de 316,2 mm/an, avec le mois le plus pluvieux étant novembre (50 mm), comme le montre la figure 16.

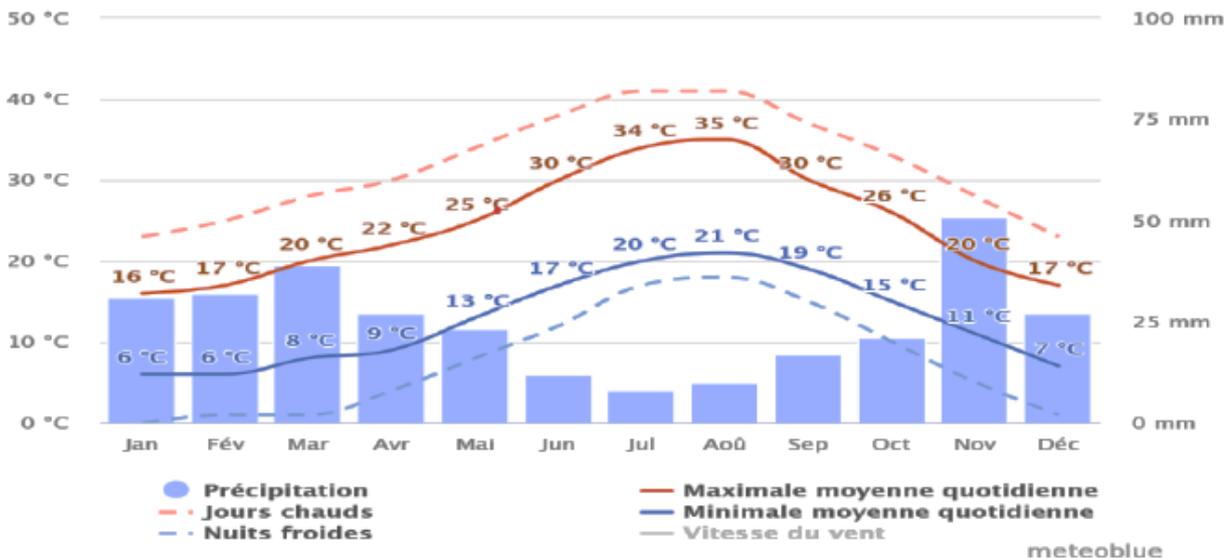


Figure 16 : Températures moyennes à Ain Temouchent (Meteoblue, 2023).

D'après **Meteoblue (2023)**, les points de rosée fluctuent plus lentement que la température, qui varie considérablement entre le jour et la nuit. La Wilaya d'Ain Temouchent a des fluctuations saisonnières significatives en ce qui concerne l'humidité perçue. La saison la plus difficile de l'année s'étend sur une période d'environ 3,6 mois, du 17 juin au 5 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante d'au moins 13 % du temps. Le mois d'août est celui qui compte le plus de jours difficiles, avec 15,4 jours difficiles ou plus intenses. Le 14 février est le jour le moins lourd de l'année, avec un climat lourd presque inexistant (**Figure 17**).

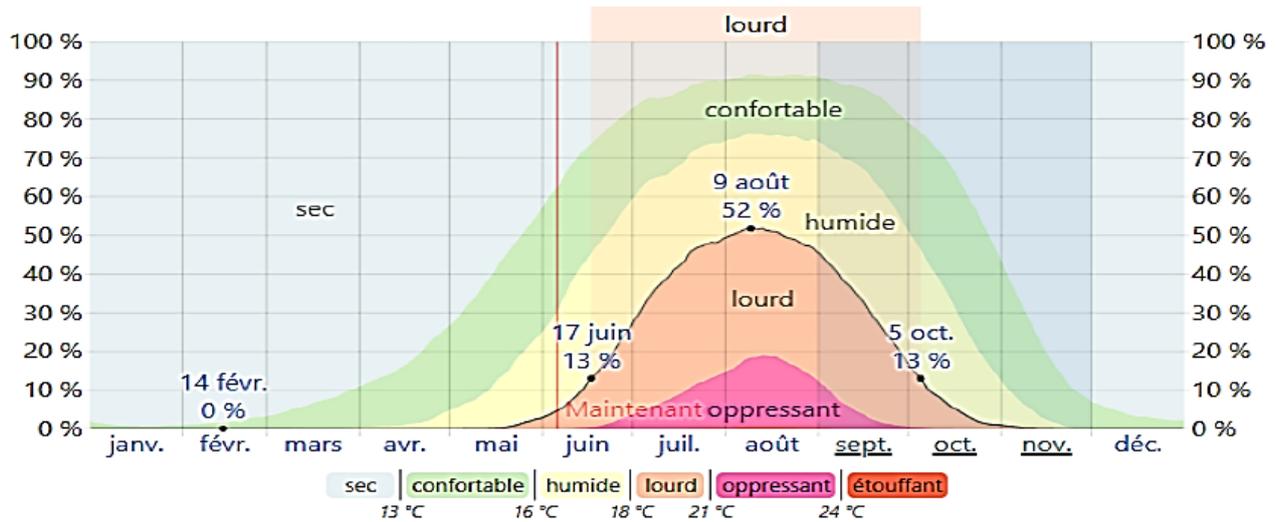


Figure 17 : Niveaux de confort selon l'humidité à Ain Temouchent (Meteoblue, 2023)

2.3. La végétation dans la région Ain Temouchent

D'après la DSA (2021), la wilaya est à vocation agricole, avec des cultures essentielles telles que les céréales, le maraichage, la vigne et l'arboriculture. La superficie agricole utilisée de 180 994 hectares, soit plus de 89 % de la superficie totale (237 689 hectares), est irriguée à seulement 10 000 hectares, soit 5,54 % de la SAU. De plus, la wilaya possède 8 090 exploitations agricoles.

La surface forestière est quant à elle estimée à 29 556 hectares, soit environ 12,6% de la superficie totale (Bentayeb, 2019).

2.4. Présentation de la station d'étude

L'expérimentation a été réalisée dans l'enceinte de l'université d'Ain Temouchent dont les coordonnées GPS du site sont les suivantes : 35°17'33.3 de latitude nord et 1°07'16.3 de longitude ouest (Figure 18).

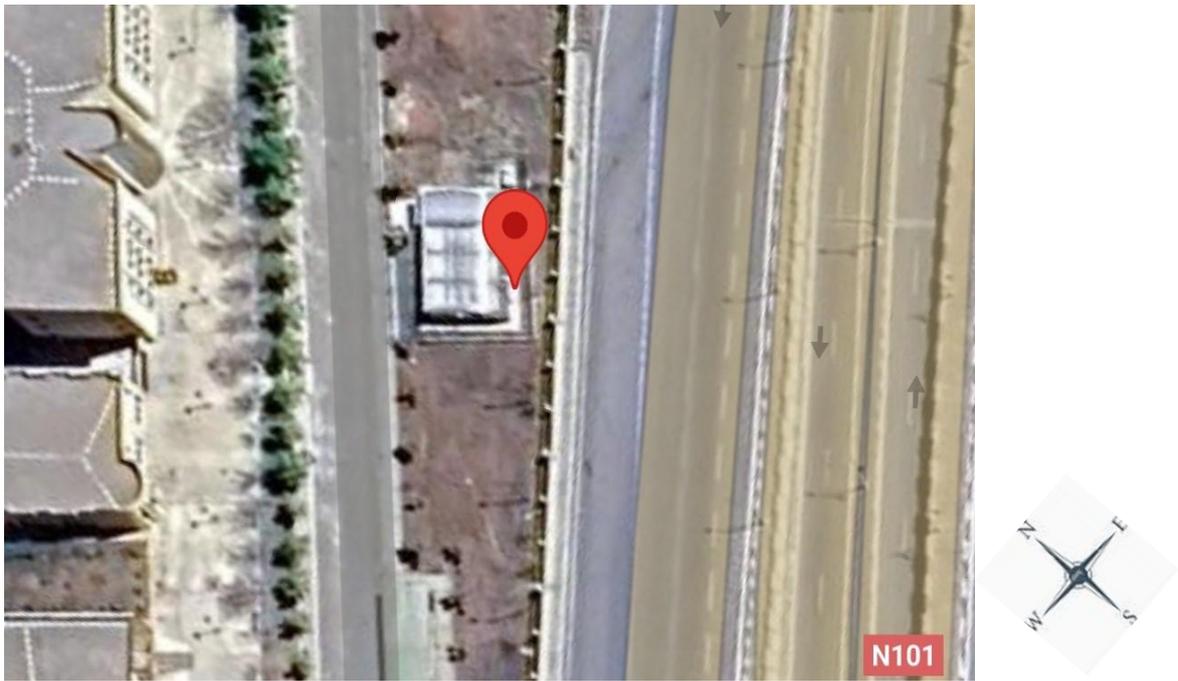


Figure 18 : Localisation de la zone d'étude Université Ain Temouchent (GPS 2024)

3. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est une semence de pomme de terre, variété « Arizona », calibre 30/55mm, de classe A et importée des Pays Bas (étiquette en annexe). (**Figure 19**)

L'Arizona est une variété semi précoce, à peau jaune et à chair jaune et de calibre et nombre de tubercules moyen, mais le rendement est élevé (voir fiche technique en annexe).



Figure 19 : semence de pomme terre « Arizona » germée (photo originale, 2024)

4. Matériel fongique

Le matériel inoculé est un produit importé sous le nom commercial « ML45 », il est composé principalement de trois champignons : *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* et *Glomus etunicatum*. Ces champignons sont de types arbusculaire (fiche technique en annexe)

5. Dispositif expérimental

Le dispositif est constitué de 4 lots à 3 répétitions chacun, chacun des seaux contient 2 semences de pomme de terre prégermées : (voir figure 20)

- **Le lot 1** : représente le témoin (substrat 100% terre végétale)
- **Le lot 2** : représente les plants fertilisés au compost (Fertilisation Organique au Bacosol- substrat : 2/3 terre végétale, 1/3 Bacosol)
- **Le lot 3** : représente les plants fertilisés chimiquement (F.C) (NPK 20-20-20 -substrat : 100% terre végétale)
- **Le lot 4** : représente les plants inoculés (ML 45- substrat : 100% terre végétale)

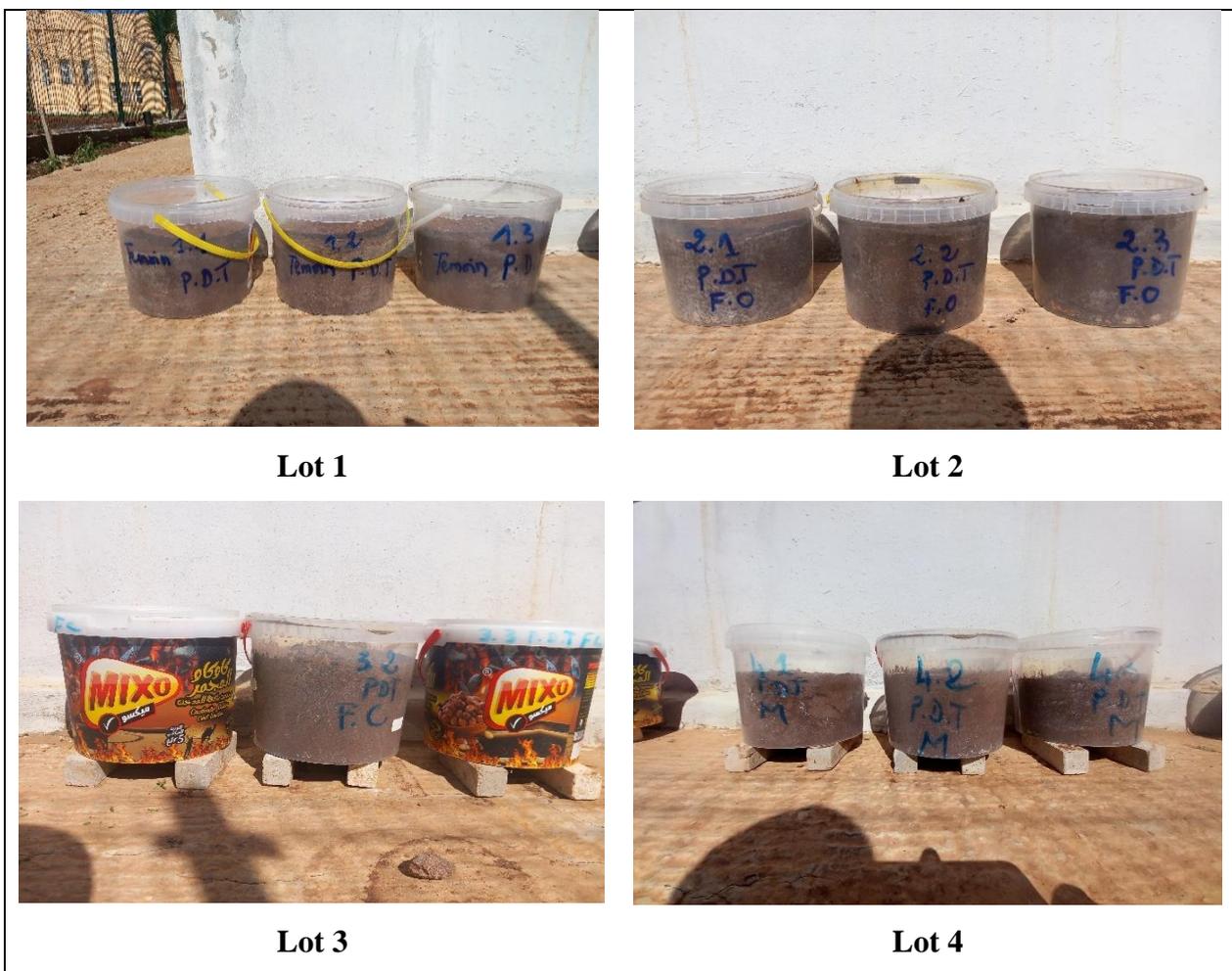


Figure 20 : Les différents Lots utilisés (photo originale, 2024)

6. Matériels utilisés :

Notre expérimentation s'est déroulée en deux phases :

Phase I : sur terrain

Le matériel utilisé est le suivant :

- Terre végétale de l'université
- Semence de la pomme de terre variété « Arizona »
- Inoculum ML45
- Fertilisant organique « Bacosol »
- Seaux en plastique
- Fertilisant chimique « NPK :20-20-20 »
- Pelle, gant, masque, balance, pulvérisateur, produits phytosanitaire, pH mètre et EC mètre

Phase II : Au laboratoire

Pour l'analyse de la texture et la matière organique du sol, le matériel utilisé est le suivant :

- Four à moufle
- Colonne de tamis
- Éprouvette
- Densimètre
- Creuset
- Balance
- Solution lavante
- Eau

Pour la détermination des mycorhizes, le matériel utilisé est le suivant :

- Fragments de racines de plants de pomme de terre
- Bleu de méthylène
- Acide acétique
- Microscope, lame, lamelle
- Bain marie
- KOH (10%),
- Eau distillée, bécher, pipette, pomme, pissette, éprouvette graduée, pince et boîtes de pétries

7. Conduite culturale :

7.1. Préparation du substrat :

Nous avons utilisé de la terre végétale de l'université pour les quatre lots sauf pour le lot 2 à qui on a rajouté le compost bacosol à raison d'un tier (1/3) du volume totale



Figure 21 : Photo du mélange terre végétale + Bacosol (photo originale, 2024)

7.2. Plantation :

La plantation a été réalisée manuellement le 20 février 2024. Les seaux ont été rempli à moitié avec le substrat végétal, deux pommes de terre prégermées sont déposées et complétés par la suite par le reste du mélange



Plantation de pommes de terre prégermées



Saupoudrage de semences aux mycorhizes

Figure 22 : Plantation de la pomme de terre (photo originale, 2024).

7.3. Irrigation

L'apport d'eau a été effectué une fois tous les 5 jours à raison de 1,5 litres par pots. Cependant la fréquence d'arrosage a été revue en baisse, une fois tous les 3 jours, en raison des fortes chaleurs enregistrées tout en gardant le même volume.

Le tableau ci-dessous résume la conduite culturale menée au cours de notre expérimentation

7.4. Entretien phytosanitaire de la culture

Au cours de notre visite quotidienne, nous avons observé un début d'attaque de mildiou sur le lot 3, une pulvérisation au fongicide systémique a été appliqué mettant fin à ladite maladie.



Ortiva (Anti mildiou)

Symptôme d'attaque de mildiou

Manipulation du produit

Figure 23 : Entretien phytosanitaire sur le mildiou (photo originale, 2024).

8. Mesure des paramètres morphométriques

A la phase tubérisation (78 jours), nous avons pris un plant de chaque lot pour évaluer l'état de développement des plants. Pour cela, nous avons mesuré la taille de la plante, le diamètre du collet, la taille et le nombre des feuilles comme le montrent les photos ci-dessous.



Mesure de la taille de la feuille



Mesure de la longueur du plant



Mesure du diamètre du collet



Mesure du nombre de feuilles

Figure 24 : Les paramètres mesurés à la phase tubérisation (photo originale, 2024).

Pour la production, nous avons mesuré le poids et la quantité de tubercule par pot et par lot.



Quantifier les tubercules



Mesure du poids des tubercules

Figure 25 : Mesure de la quantité et du poids des tubercules (photo originale, 2024).

Pour la récolte (102 jours), nous avons mesuré le poids, le calibre, la longueur et la quantité des tubercules par pot et par lot afin de déterminer les différences des rendements comme le résume la figure 26



Quantifier les tubercules



Mesure du poids du tubercule



Mesure du calibre des tubercule



Mesure de la longueur du tubercule

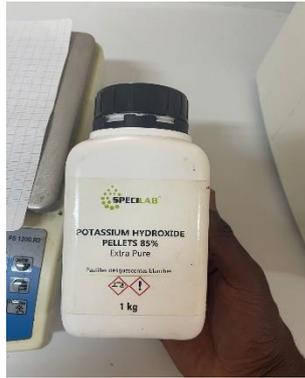
Figure 26 : Les différentes mesures prises après la récolte (**photo originale, 2024**).

9. Paramètres liés aux mycorhizes

Afin de détecter la colonisation des racines par les CMA, il est essentiel de procéder à un traitement et à une coloration préalable des racines. On a utilisé la technique de **Philips et Hayman (1970)** qui implique de traiter les racines préalablement lavées avec de la potasse (KOH) à 10 % afin de vider les cellules, puis de les colorer à chaud avec du bleu Trypan (0,03 %) pendant une demi-heure dans le bain marie. Les fragments sont disposés entre lame et lamelle et observé sous microscope



Fragments de racines



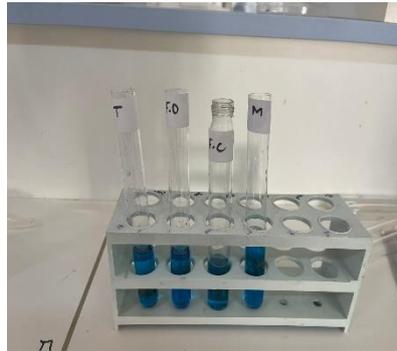
KOH (10%)



Tube à essai dans le bain
marie



Acide acétique



Fragments de racines dans
du bleu de méthylène



Observation sous microscope

Figure 27 : Matériels utilisés pour la détection de mycorhize au laboratoire
(photo originale, 2024).

- **Mise en évidence des mycorhizes dans le sol de l'UAT**

Le potentiel mycorhizien traduit la richesse du sol en propagules (spores, mycéliums, fragments de racines colonisés) aptes à générer une mycorhization. Quelques adventices ont été prélevé du sol notamment l'oxalis (*Oxalis corniculata* de la famille Oxalidaceae), le chiendent (*Elymus repens* de la famille des Poaceae) et le chardon marie (*Silybum maruanum* de la famille des Asteraceae) ont servi à déterminer ce potentiel en utilisant la technique de coloration de **Philips et Hayman (1970)** décrite précédemment (voir **figure 28**).



Chiendent

Chardon Marie

Oxalis

Figure 28 : Les adventices qui ont servi au prélèvement des mycorhizes (photo originale, 2024)

10. Analyse physico- chimique du sol de l'UAT

Un prélèvement d'environ un (1) kg de terre sur 20 cm de profondeur a été effectué pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques.

Les paramètres mesurés sont :

- La granulométrie déterminée par voie sèche (AFNOR, 1992) et par sédimentation (AFNOR, 1995)
- La teneur en matière organique dans le sol déterminée par incinération (AFNOR, 1998)



Incinération des échantillons



Colonne de tamis

Figure 29 : Mesures de la teneur en matière organique et de la granulométrie au laboratoire (photo originale, 2024).

11. Analyse de l'eau de l'UAT

Pour optimiser l'absorption de l'engrais chimique une analyse de la conductibilité électrique et du potentiel d'hydrogène a été effectué.



Analyse du potentiel d'hydrogène (pH)



Analyse de la conductibilité électrique (EC)

Figures 30 : Analyse du pH et de EC de l'eau (photo originale, 2024).

Résultats et Discussions

Résultats et discussions

Résultats

1. Paramètres morphométriques

Les mesures des paramètres morphométriques ont été effectuées à deux stades du cycle de développement de la pomme de terre et les résultats obtenus sont les suivants.

1.1. Stade tubérisation (78 jours depuis la plantation)

Au stade tubérisation, nous avons pris un plant de chaque lot et procédé à une série de mesures afin de suivre l'évolution des différents lots

a) Partie aérienne

Les résultats obtenus au stade tubérisation montrent une bonne évolution de la partie aérienne (longueur de la plante et diamètre du collet) du lot 4 suivie du lot 3 et du lot 1, par contre pour la longueur et la taille des feuilles c'est le lot 3 qui est légèrement supérieur au lot 4 mais tous deux sont largement supérieurs au lot 1 témoin

Le lot 2 présente de meilleurs résultats mais ne peut être comparé avec les autres lots dû au retard enregistré au stade levé, décalage de 20 jours l'excluant ainsi des mesures et de l'étude comparative.

Tableau 9 : Paramètres mesurés au stade tubérisation

<u>Lot 1 : Témoin</u>		
• Hauteur de la plante	41 cm	
• Diamètre du collet	5 mm	
• Nombre de tiges	3U	
• Nombre de feuilles	5U	
• Hauteur de feuille	7,5 cm	
<u>Lot 3 : Fertilisation Chimique</u>		
• Hauteur de la plante	50 cm	
• Diamètre du collet	10 mm	
• Nombre de tiges	3U	

<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de feuilles 12U • Hauteur de feuille 14 cm 	
<p>Lot 4 : Inoculé</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hauteur de la plante 54 cm • Diamètre du collet 13 mm • Nombre de tiges 3U • Nombre de feuilles 11U • Hauteur de feuille 11,5 cm 	

b) Partie souterraine

Pendant la phase de tubérisation, le lot 3 a enregistré une quantité de tubercules de 2,5 supérieures à celles des lots 1 et 4. Cependant le poids moyen des tubercules du lot 4 est plus élevé que celui du lot 1 tandis que celui du lot 3 reste le prédominant comme le montre le tableau ci-dessous

Tableau 10 : Moyenne du poids et poids total des tubercules de pomme de terre au stade tubérisation

Lots	Moyenne du poids de tubercules	Poids total des tubercules	Photo
Lot 1 témoin	12,9g	64,7g	

Lot 3 F.C	27,2g	163,3g	
Lot 4 inoculé	15,8g	63,2g	

1.2 Stade récolte (102 jours depuis la plantation)

Après l'opération de défanage, le rendement par lot, le poids moyen, le calibre et la longueur de la pomme de terre ont été calculés et les tubercules dénombrés

- **Rendements**

Nous constatons dans la figure 31, un rendement nettement élevé du lot 3 par rapport aux autres lots, vient juste après le lot 4 avec un poids de 116,85g ; de 70% plus élevé que le lot 1.

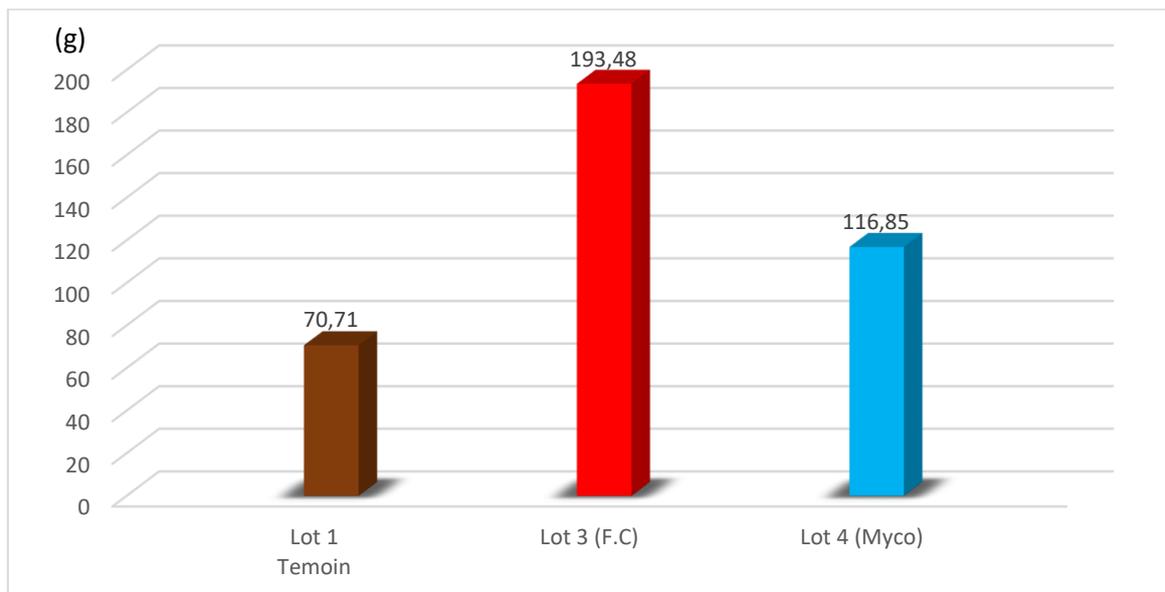


Figure 31 : Comparaison du rendement de la pomme de terre des différents lots

- **Quantité de tubercules**

La quantité de tubercules la plus importante est enregistré dans le lot 3 avec une moyenne de 6 tubercules suivie du lot 4 et lot 1 respectivement (voir figure ci-dessous)

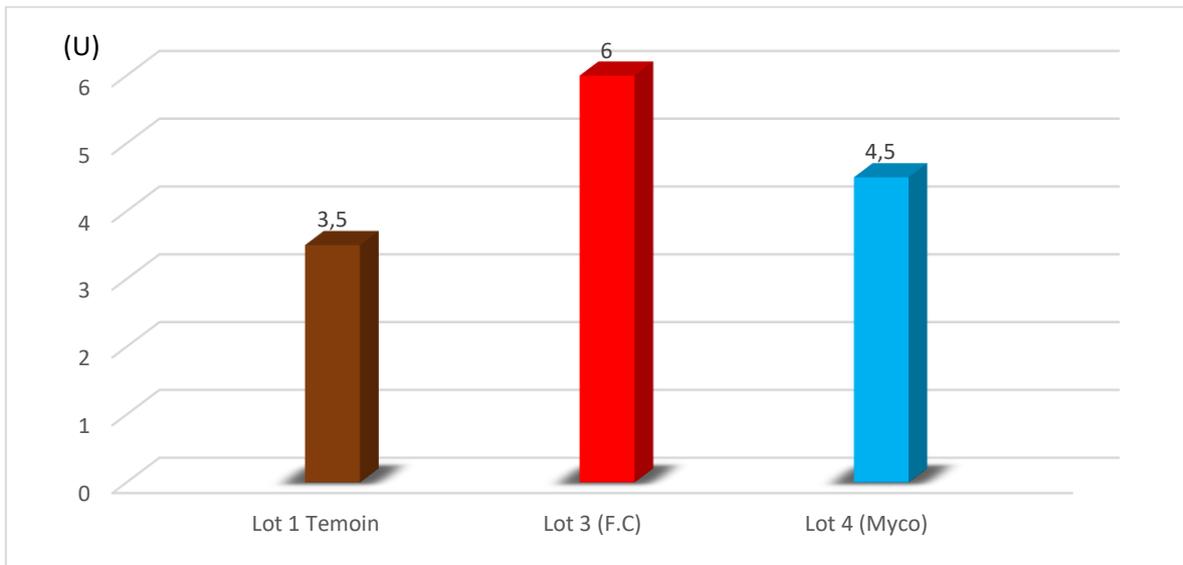


Figure 32 : Comparaison de la moyenne des quantités de tubercules de pomme de terre des différent lots

- **Poids moyen des tubercules**

Dans la figure 33, nous observons un poids moyen de tubercules plus élevé dans le lot 3 suivi du lot 4 qui est de 60% supérieur au lot 1.

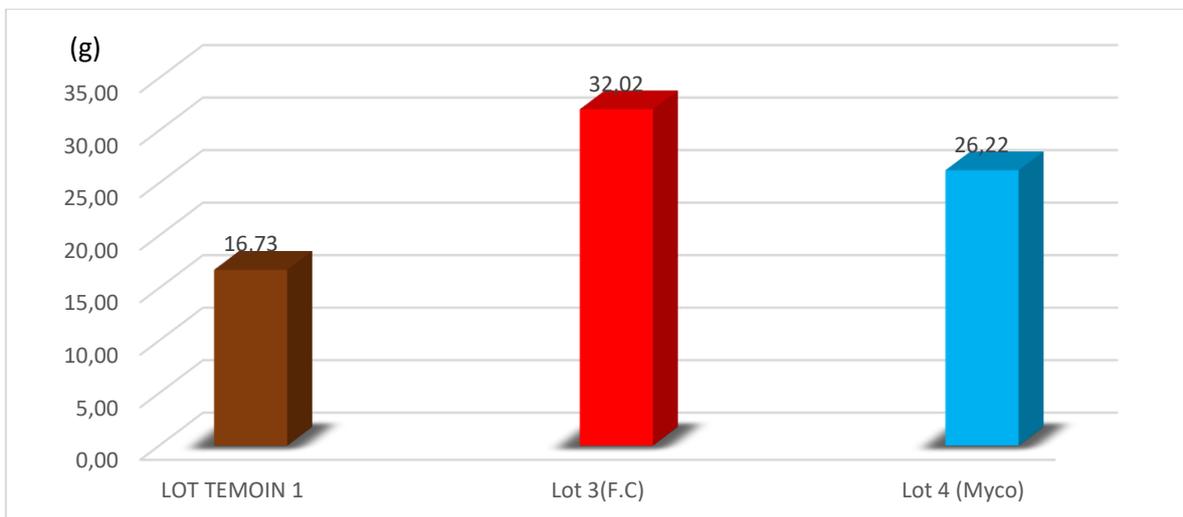


Figure 33 : Comparaison des moyennes du poids des tubercules des différents lots

- **Calibre des tubercules**

Le calibre moyen des tubercules ne présente pas une grande différence entre les différents lots; le lot 3 enregistre un calibre de 10,46cm suivi du lot 4 et du lot 1 avec les valeurs respectives de 9,81 et 8,08cm (figure 34)

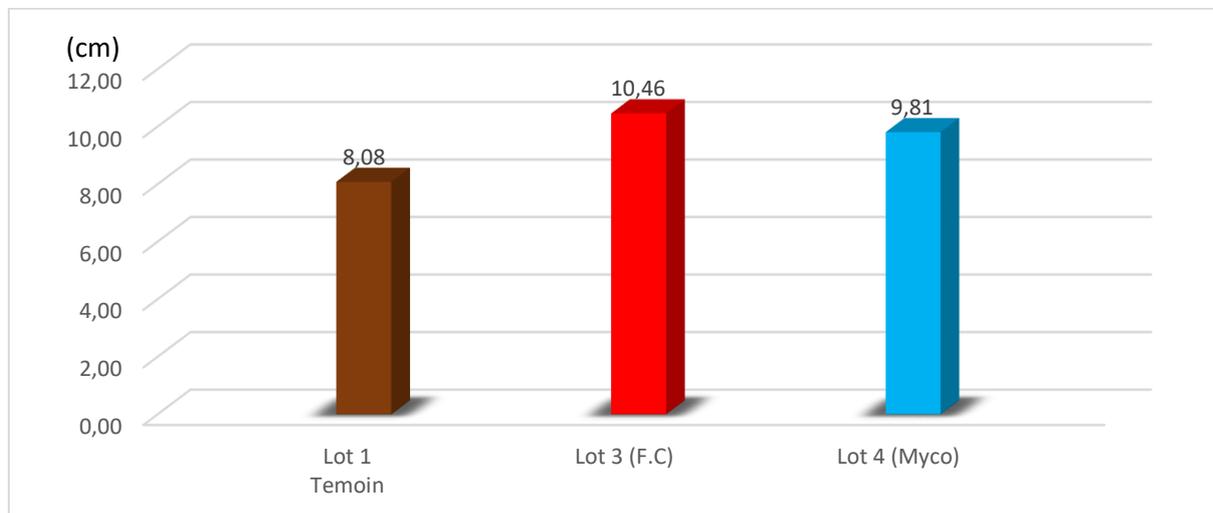


Figure 34 : Comparaison de la moyenne du calibre des tubercules des différents lots

- **Longueur du tubercule**

La longueur moyenne des tubercules est plus élevée dans le lot 3 suivie du lot 4, ensuite du lot 1, comme l'illustre la figure 35.

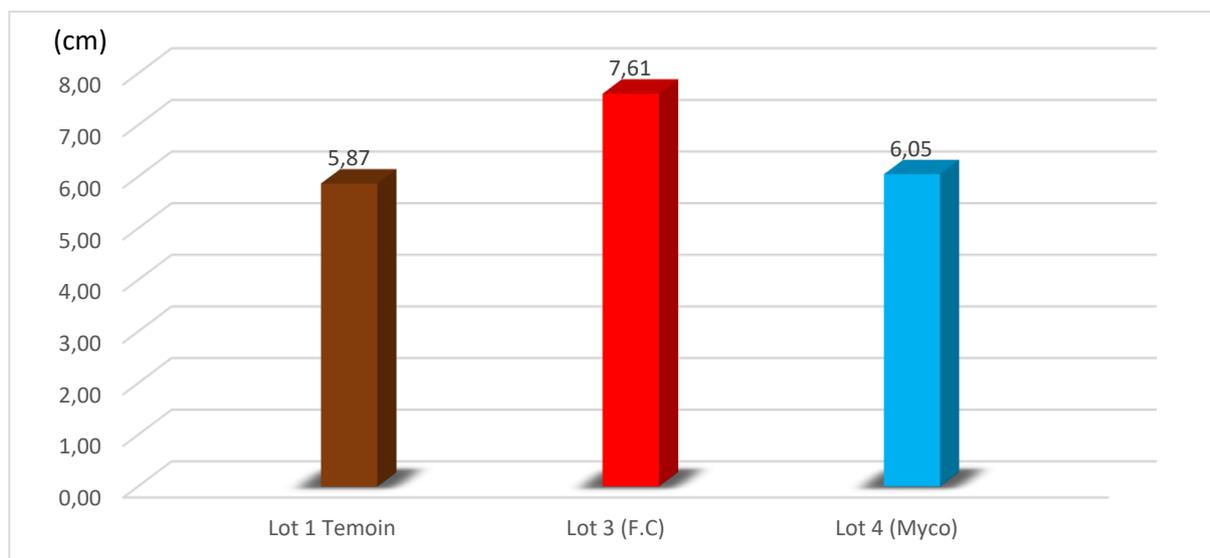


Figure 35 : Comparaison de la moyenne de longueur des tubercules de pomme de terre des différents lots

- **Longueur des racines**

La longueur des racines du lot 4 sont plus important que les lots 1 et 3 comme le montre la figure 36

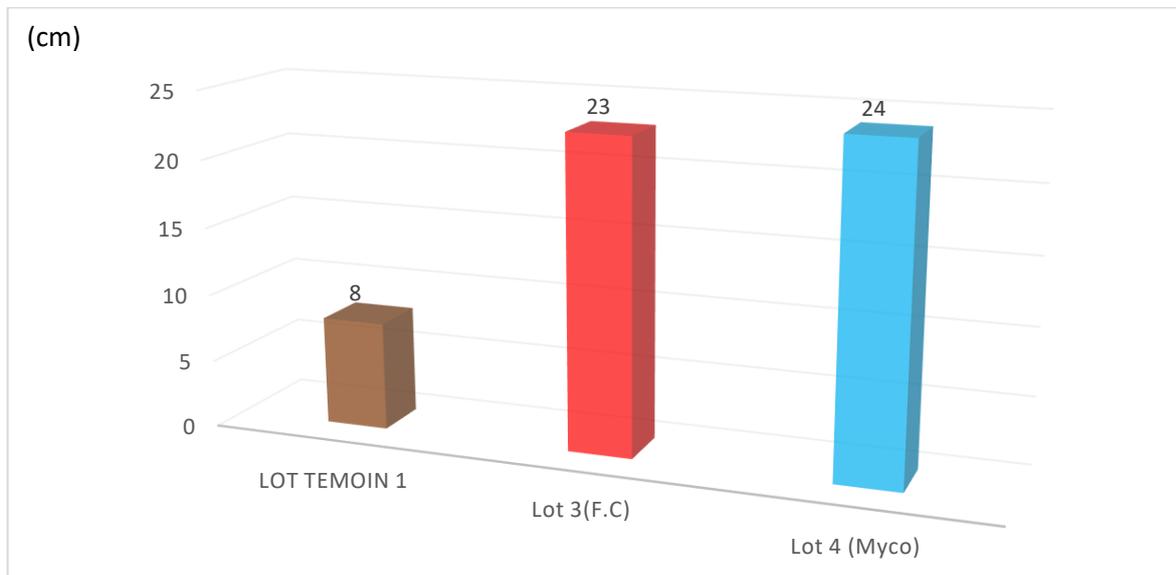


Figure 36 : Comparaison de la longueur des racines de pomme de terre des différents lots

- **Nombre de Stolons**

Dans la figure 37, le lot 4 marque la quantité la plus importante de stolons comparé au lot 3. Cependant, aucun stolon n'a été observé dans le lot 1.

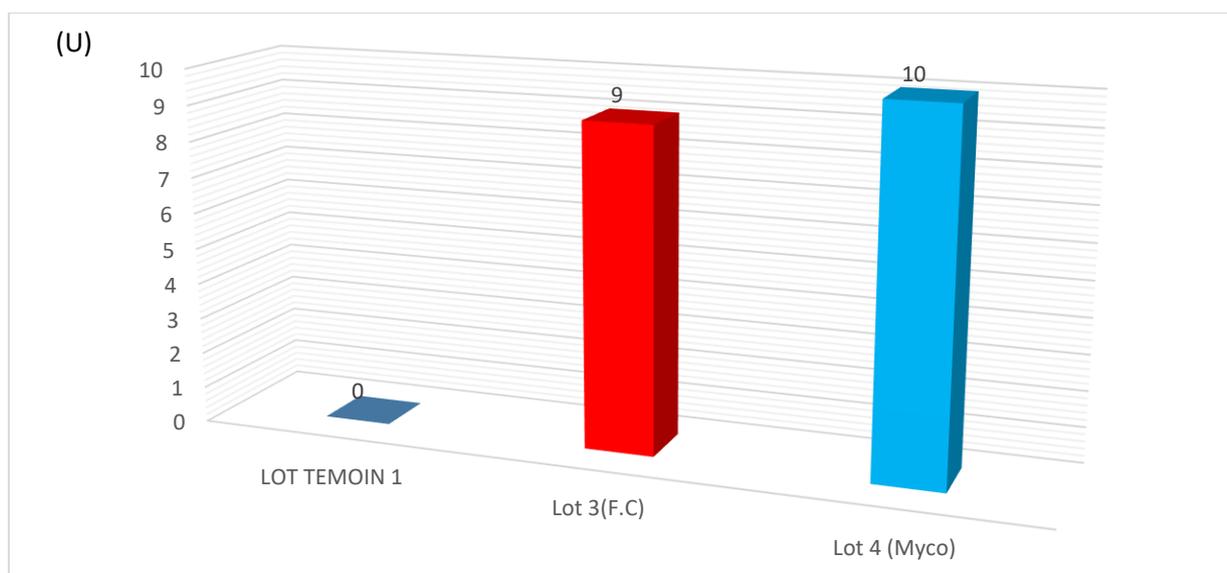


Figure 37 : Comparaison du nombre de stolon dans les différents lots

2. Paramètre physico-chimique du sol

L'analyse granulométrique effectuée au niveau du laboratoire génie civile de l'université Belhadj Bouchaib indique une texture Argilo-limoneuse avec un taux de matière organique de 3,2%, conditions favorables à la mise en place de notre expérimentation (installation et développement des CMA).

3. Analyse de l'eau de l'UAT :

L'analyse de la qualité de l'eau à travers la mesure du pH et de l'EC a été effectuée au sein de l'université dans le but de les corriger et ainsi optimiser l'assimilation du fertilisant chimique utilisé dans le lot3, les valeurs enregistrées sont les suivantes :

pH : 9,36 EC : 545ppm

4. Observation microscopique des champignons mycorhiziens

L'observation microscopique des fragments de racines des différents lots a permis l'identification des différents composants du mycorhize à savoir les mycéliums (hyphes), les vésicules et les arbuscules présents dans les lots 4 3 et 1 (voir figures 38, 39 et 40)

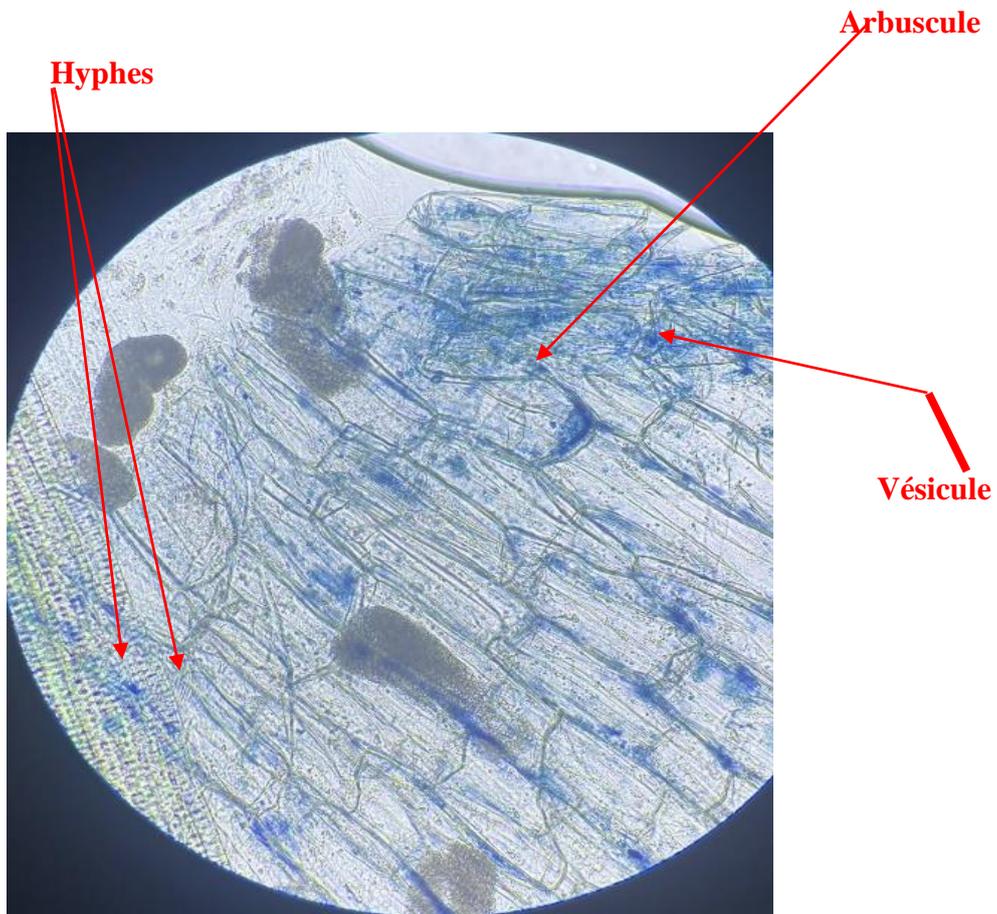


Figure 38: Identification de mycorhize dans le lot 3 grossissement X40 (photo originale, 2024).

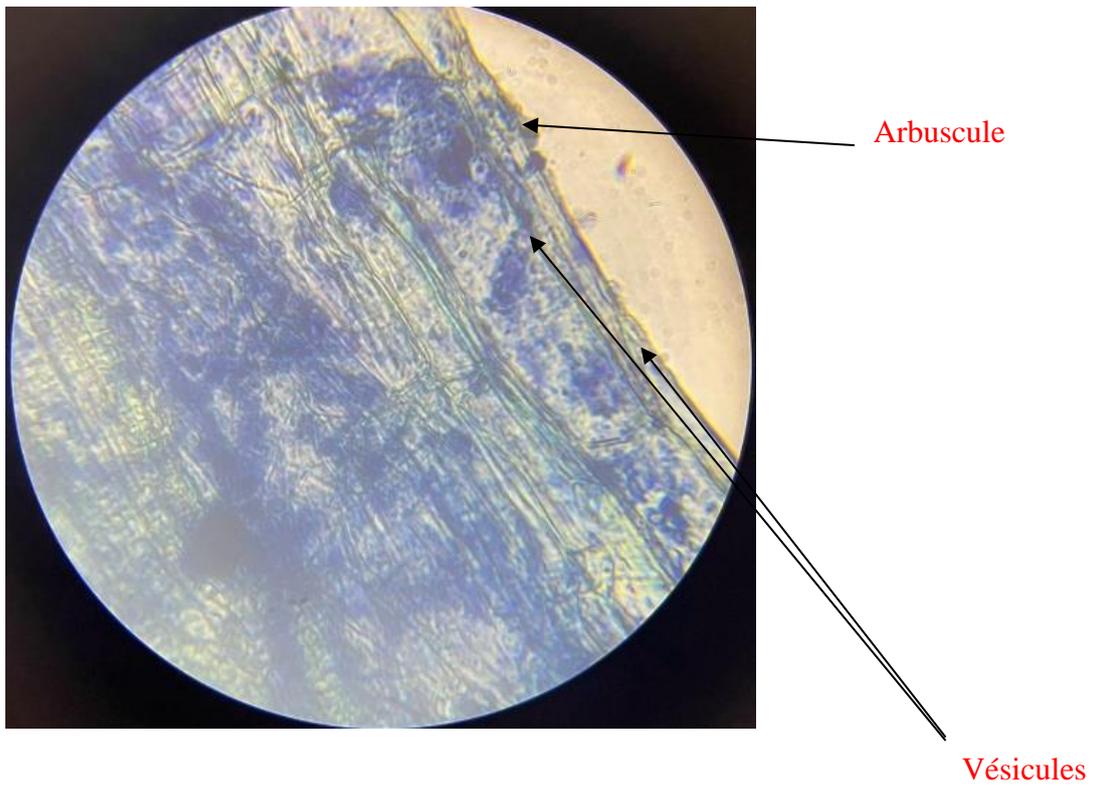


Figure 39 : Identification de mycorhize dans le lot 4 grossissement X40
(photo originale, 2024).

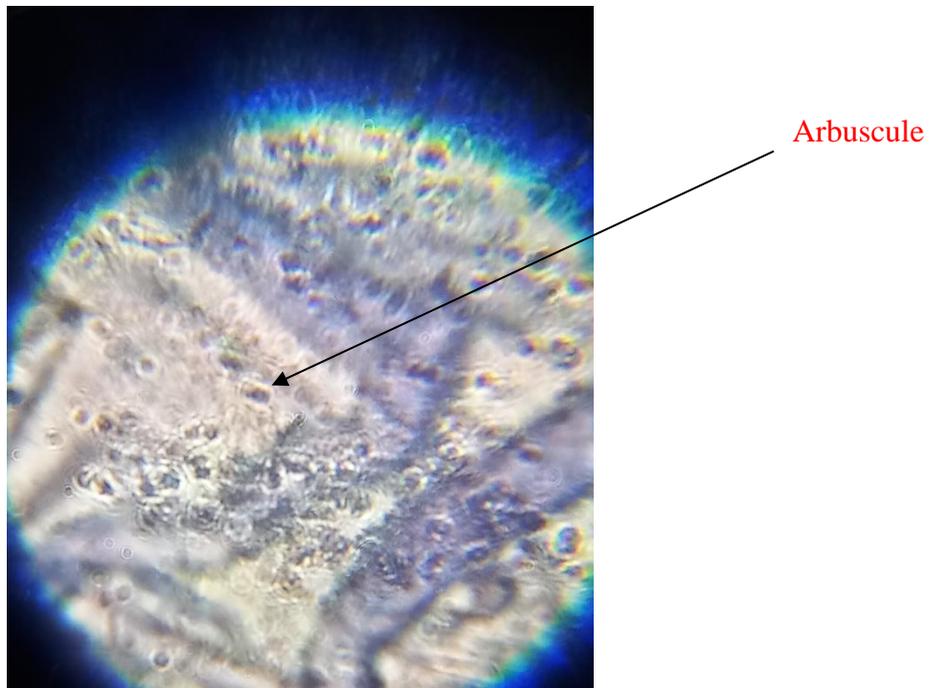


Figure 40 : Identification de mycorhize dans le lot 1 grossissement X40
(photo originale, 2024)

Discussions

Dans cette étude, nous avons évalué l'impact de l'application des engrais fongiques de types mycorhizes arbuscules de commerce « ML45 » sur le rendement et la biomasse (aérienne et souterraine) de la pomme de terre *Solanum tuberosum L.*, cultivé en hors sol sans abris et en condition normale.

Nous avons noté un développement végétatif, à savoir la hauteur de la plante et le diamètre du collet durant le stade tubérisation, plus marquant chez le lot 4 inoculé. En effet l'inoculation a permis un bon développement des plants et ceci à cause de l'absorption intense de l'eau et des éléments minéraux essentiels par les racines mycorhizées (**Sanders et al 1974, Vestberg, 1992 et Leye et al 2009**).

Quant au nombre de tiges qui a été identique pour l'ensemble des lots en raison du choix monovariétale et caractéristique de la pomme de terre ARIZONA. Cependant le nombre et la taille de feuilles du lot 3 est supérieur aux lot 4 et 1 respectivement et ce en raison de l'apport des engrais chimiques facilement assimilables. Nous avons, cependant, constaté que l'inoculation par les CMA (Lot 4) a eu un impact positif sur le développement des parties aériennes et racinaires de la plante. Ceci correspond aux travaux de **Ziane et al, (2018)** qui a montré que les plantes inoculées ont eu une meilleure croissance des deux parties aérienne et souterraine de la culture de tomate par rapport aux lots non inoculées. Ce qui est aussi en accord avec les résultats de **Chen et al., (2013)** sur le concombre (**Baslam et al., (2013b)**), la laitue (**Kaya et al., 2009**) le poivron (**Copetta et al., 2011**) et la tomate.

L'effet bénéfique des champignons mycorhiziens arbusculaires a été aussi observé sur le développement de plantes forestières qui a été largement démontré par **Alexander et al, 1992 ; McHargue et al, 1981**.

En matière de développement racinaire, nous avons constaté que la pomme de terre du lot 4 inoculé CMA était très dense (enchevêtré) et développé en longueur par rapport au lot 3 (FC) et lot1 témoin (non inoculé) qui ont présenté des racines peu développées et moins denses. Ces résultats sont confirmés par des études sur la tomate (**Ziane, 2018**), la pastèque (**Hamza, 2014**), la laitue (**Baslam et al., 2013**) et le poivron (**Kaya et al., 2009**). Nos résultats sont aussi en accord avec ceux de **Zhong-Qun et al., (2007) et Tahat et al., (2008)** qui ont montré que les niveaux de colonisation des racines sont positivement corrélés avec la croissance de la tomate.

Ces champignons CMA forment une symbiose avec les racines développées des plantes ce qui peut améliorer la nutrition minérale et hydrique des plantes, ainsi que leur résistance aux stress environnementaux (**P. Gosling et al 2006**). En effet, les plants de pomme de terre nécessitent un apport élevé de certains éléments minéraux tels que N, P, K, Ca, Mg et S pour assurer un bon développement (**White et al., 2008**). Cependant, les plantes de pomme de terre sont peu efficaces à extraire ces nutriments du sol (**Struik, 2007**).

En ce qui concerne l'effet de la mycorhization sur le rendement, les résultats ont révélé non seulement un rendement total élevé mais aussi le nombre et le poids des tubercules pour les lots 4 et 3 comparés au lot témoin qui a enregistré un faible rendement. Ces résultats corroborent avec ceux de **Douds et al., 2007** qui ont montré que l'utilisation des champignons mycorhiziens à arbuscules dans la production de pomme de terre peut entraîner un accroissement intéressant des rendements. De même pour (**Aouissi et al., 2018**), où la culture de la pomme a répondu positivement à l'inoculation mycorhizienne en termes de rendement (nombre de tubercules/plant, rendement total/parcelle).

Quant au calibre, on a noté que les lots 3 et 4 ont présenté des pommes de terre de différents calibres comparativement au lot témoin qui a donné des pommes de terre à faible calibre. Nos résultats sont en accord avec d'autres auteurs tels que **Niemira et al., 1995** ; **Aouissi et al., 2018** qui ont également observé une augmentation du nombre de tubercules, en particulier celles de petits calibres. De même pour **Duffy et al., 2000** et **Hijri, 2006** qui ont constaté que la mycorhization avec un inoculum de commerce, a augmenté la croissance et le rendement à petit calibre sur plusieurs champs de culture de pomme de terre.

Aussi, la texture du sol agit sur le calibre des tubercules, confirmé par **Toumi, 2014**, où la texture argileuse ou argilo-limoneuse des sols empêchent leur grossissement comparativement aux sablonneux et sablo-limoneux.

Conclusion et recommandations

Conclusion et recommandations

L'agriculture est l'interface la plus importante entre l'homme et l'environnement. Par conséquent, la seule façon de protéger l'environnement est de réconcilier la production agricole avec l'intégrité environnementale. Cela nécessite la création de stratégies de gestion agricole qui optimisent la fertilité des sols, la diversité biologique et la production des cultures, tout en créant des agrosystèmes qui respectent les processus écologiques naturels afin d'assurer une productivité raisonnée sur le long terme.

De nombreuses études ont été menées sur les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) dans le but de comprendre leur fonctionnement fondamental et appliqué. Les pays développés utilisent depuis plusieurs années déjà cette biotechnologie à grande échelle, ce qui leur permet d'augmenter les rendements agricoles, de réduire les besoins en intrants minéraux phosphatés et à leur dépendance de leurs cultures et d'assurer la durabilité des systèmes agricoles. Ces réussites ont inspiré notre étude.

Ainsi, ce travail a été réalisé à l'Université Belhadj Bouchaib située dans la wilaya d'Ain Témouchent qui a duré 102 jours sur la culture de la pomme de terre *Solanum tuberosum L.* variété Arizona sur quatre lots, à trois répétitions chacun: lot1 Témoin (substrat : 100% terre végétale brute, sans aucun apport), Lot2 : fertilisation organique (substrat : 2/3 terre végétale+1/3 engrais organique, Bacosol), lot 3 : fertilisation chimique (substrat : 100% terre végétale, engrais chimique NPK) et lot 4 : (100% terre végétale, inoculé aux Champignons Mycorhiziens Arbusculaires CMA :*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* et *Glomus etunicatum*) conduit en hors-sol sans abris avec différents programmes de fertilisation pour les lots 3et 4.

Nous nous sommes intéressés à la culture de *Solanum tuberosum L.* parce qu'elle est mondialement reconnue comme l'une des plus exigeantes en amendements chimiques. Avec son pauvre système racinaire, elle est limitée au niveau de l'absorption des nutriments et de l'eau, en plus d'être vulnérable à diverses maladies. L'inoculation mycorhizienne des plants a permis de contrer cela en maximisant l'absorption et en les protégeant contre les agents pathogènes.

Les résultats de nos essais relatifs à la croissance des différents organes des plants de *Solanum tuberosum L.* ont été estimés par la mesure de la biomasse des parties aériennes et racinaires (fraiche) ainsi que la hauteur de la tige principale, qui ont été affectés positivement par la mycorhization. En effet, les plants inoculés présentent des résultats meilleurs avec des valeurs atteignant parfois le double par rapport aux plants des lots non inoculés. En matière de rendement la pomme de terre du lot 4 inoculé a donné une production considérable (nombre de tubercules/plant,

rendement total/lot), on n'a aussi enregistré une différence concernant le calibre et le nombre des tubercules.

À la lumière des divers constats enregistrés lors de cette étude, nous avons montré l'intérêt de l'utilisation de l'inoculation mycorhizienne dans la production de la pomme de terre, ces micro-organismes présentent un potentiel actuel pour réduire les applications d'engrais minéraux chimiques. Par conséquent, l'inoculation avec CMA appropriée est considérée comme une alternative éco-efficace pour diminuer les apports élevés d'engrais chimiques.

Afin de compléter et de poursuivre ce travail, des recommandations à la fois fondamentales et appliquées peuvent être envisagées :

- Etablir une étude plus approfondie sur l'effet de l'inoculation de la production de la pomme de terre tout en étudiant l'impact d'autres paramètres abiotiques pouvant influencer la mycorhization tels que la température, l'hygrométrie, le stress hydrique, les éléments nutritifs minéraux ainsi que le type du substrat de culture.
- Faire l'identification moléculaire des champignons mycorhiziens arbusculaires natifs présents dans les sols agricoles afin d'éviter l'introduction d'espèces végétales ou CMA exotique
- Avoir des connaissances acquises sur l'écologie de la symbiose mycorhizienne en privilégiant les ressources naturelles environnementales (ressources végétales et microbiennes).
- Déterminer l'intérêt de la symbiose mycorhizienne à arbuscules dans la phytoremédiation des sols contaminés.
- Prévoir une étude relative à la combinaison entre les fertilisants chimiques et organiques à différentes doses afin de voir leur impact sur le potentiel de mycorhization sur la pomme de terre.

Références

Bibliographiques

Liste des références bibliographiques

A

Alexander I.J., Norani A. and Lee S.S., (1992) ‘The Role of Mycorrhizas in the Regeneration of Some Malaysian Forest Trees’, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B 335, pp. 379 – 388.

Abdel Latef, A.A.H., & Chaoxing, H. (2011). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae*. 127, 228–233

Abdessallam, (1990). Contribution à l’étude de trois amendements organiques (fumier AIT OUADA., BOUZNAD, Z., M., KEDAD, A., MOKABLIA, A, SIAFA, A. et YAHIAOUI S. (2008). Principaux ravageurs et maladies de la pomme de terre : Agents responsables, dégâts, conditions de développement et méthodes de lutte. Une Journée d’étude sur la filière pomme de terre situation actuelle et perspectives, 18 juin 2008. INA EL-HARRACH, Alger.

AFNOR, (1992). NF P 94-057 Analyse granulométrique des sols.

AFNOR, (1995). XP P 94-041 Identification granulométrique.

AFNOR, (1998). XP P 94-047 Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d’un matériau.

Akiyama, K., Matsuzaki, K., & Hayashi, H. (2005). Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*. 435, 824–827.

Akiyama, K. (2007). Chemical identification and functional analysis of apocarotenoids involved in the development of arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 71, 1405–1414.

Anonyme.(1993). Fiches techniques de pomme de terre. Recueil des fiche technique. Août. I.T.D.A.S. Biskra

AOUISSI N., 2018 : Biotechnologie de l’inoculation mycorrhizienne : Production et application en cultures maraîchères : Cas de la pomme de terre. Mém. Doct. Biologie Végétale., 69p

B

Balergue, C., Puech-Pagès, V., Bécard, G., & Rochange, S.F. (2011). The regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate in pea involves early and systemic signalling events. *Journal of Experimental Botany*. 62, 1049–1060.

BAMOUEH A. (1999). Techniques de Production de la Pomme de Terre au Maroc. Bulletin de liaison de l'information du Programme National de Transfert de technologie en Agriculture (PNTTA), N° 52. 4p.

Barber S.A., Walker J.M., & Vasey E.H. (1962). Principles of ion movement through the soil to the plant root. Transaction Joint Meeting Commission IV and V International Soil Science, New Zealand. 121-124 pp.

Baslam, M., Esteban, R., García-Plazaola, J.I., & Goicoechea, N. (2013a). Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of major carotenoids, chlorophylls and tocopherol in green and red leaf lettuces. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97: 3119–3128.

Baslam, M., Garmendia, I., & Goicoechea, N. (2013b). The arbuscular mycorrhizal symbiosis can overcome reductions in yield and nutritional quality in greenhouse-lettuces cultivated at inappropriate growing seasons. *Scientia Horticulturae*, 164: 145–154.

Bécard, G., Kosuta, S., Tamasloukht, M., Séjalon-Delmas, N., & Roux, C. (2004). Partner communication in the arbuscular mycorrhizal interaction. *Canadian Journal of Botany*. 82, 1186–1197.

BELAID C, OUALI C., 2022 : Étude de l'importance de filière pomme de terre en Algérie. Mém. Ing. Biotechnologie Microbienne.,Univ A.MIRA-BEJAIA., 32p

Belguendouz A., (2012)- Essai de substitution des milieux de culture en micro propagation et la physiologie de la micro tubérisation de la pomme de terre (*Solanumtuberosum*. L). Thèse de magister : Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen. 184 P

Bernhards U. (1998). La pomme de Terre *Solanumtuberosum* l. monographie institut national agronomique paris- grignon

Besserer, A., Puech-Pagès, V., Kiefer, P., Gomez-Roldan, V., Jauneau, A., Roy, S., Portais, J.-C., Roux, C., Bécard, G., & Séjalon-Delmas, N. (2006). Strigolactones stimulate arbuscular mycorrhizal fungi by activating mitochondria. *PLoS Biology*. 4.

Bevege, D.I. & Bowen, G.D. (1975). Endogone strain and host plant difference in development of vesicular-arbuscular mycorrhizas. In: *Endomycorrhizas* (Ed. by F. E. Sanders, B. Mosse & P. B. Tinker), Academic Press, New York and London. 149-174 pp.

Bonfante, P., & Genre, A. (2010). Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications*. 1, 48.

Bonfante, P., & Genre, A. (2008). Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary developmental perspective. *Trends in Plant Science*. 13, 492–498.

BOUFARES K. (2012). Comportement de trois variétés de pommes de terre (Spunta, Désirée et Chubaek) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en agronomie. Université Aboubekr BELKAÏD TLEMCEN. 108p.

Brundrett, M.C. (2009). Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil*. 320, 37–77.

C

Campagnac, E., Lounès-Hadj Sahraoui, A., Debiane, D., Fontaine, J., Laruelle, F., Garçon, G., Verdin, A., Durand, R., Shirali, P., & Grandmougin-Ferjani, A. (2010). Arbuscular mycorrhiza partially protect chicory roots against oxidative stress induced by two fungicides, fenpropimorph and fenhexamid. *Mycorrhiza*. 20, 167–178

Cappellazzo, G., Lanfranco, L., Fitz, M., Wipf, D., & Bonfante, P. (2008). Characterization of an amino acid permease from the endomycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Plant Physiology*. 147, 429–437.

Chaumeton H., Jutier S., Fragnaud C., (2006)- La culture des pommes de terre. P 93.

Chelha M., 2000 : Essai sur l'évolution de résistance de quelques variétés de pomme de terre vis-à-vis de *phthorimaea operculella* (lepidoptera : gelechidea). *MémIng. Agro., INA.Elharrach.* Alger., 71 p.

Chen, S., Jin, W., Liu, A., Zhang, S., Liu, D., Wang, F., Lin, X., & He, C. (2013). Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) increase growth and secondary metabolism in cucumber subjected to low temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 160 : 222–229.

Chibane A., (1999) : Technologie de production de la pomme de terre au Maroc in transfert de technologie en agriculture. Bull. Liai. Info., P.N.T.T.A, n° 52 :1-20.

Chiffot V. (2008). Étude moléculaire des champignons mycorhiziens arbusculaires dans un système agrisylvicole. Maîtrise en agroforesterie, Université de Laval, 101p.

Ciquial A. (2013). La pomme de terre. Un trésor nutritionnel. Cnipt pomme de terre de France.

Copetta, A., Bardi, L., Bertolone, E., & Berta, G. (2011). Fruit production and quality of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) are affected by green compost and arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Biosystems*, 145 : 106–115

D

Dalpe, Y. (2005). Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée. *Phytoprotection*, 86, 53–59.

Demay F., Serres-Cousiné H., et Demougin J., 1991 : Encyclopédie Larousse édition : Paris.

Dickson, S. (2004). The Arum–Paris continuum of mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*. 163, 187–200.

Diouf J., 2009- Année internationale de pomme de terre. Eclairage sur un trésor enfoui. Compte rendu de fin d'année, Rome. 134P

Doidy, J., van Tuinen, D., Lamotte, O., Corneillat, M., Alcaraz, G., & Wipf, D. (2012). The *Medicago truncatula* sucrose transporter family: Characterization and implication of key members in carbon partitioning towards arbuscular mycorrhizal fungi. *Molecular Plant*. 5, 1346–1358.

Douds Jr., D.D., & Johnson, N.C. (2007). Contributions of arbuscular mycorrhizas to soil biological fertility. In: *Soil biological fertility: a key to sustainable land use in agriculture*, pp : 129-162. L.K., Abott, D.V., Murphy (eds.). Springer, Berlin, Allemagne.

Duffy E.M. & Cassells A.C. (2000). The effect of inoculation of potato (*Solanum tuberosum* L.) microplants with arbuscular mycorrhizal fungi on tuber yield and tuber size distribution. *Appl. Soil Ecol.* 15: 137-144.

F

FAOSTAT., 2015- Food and Agriculture Organisation, Annuaire statistique de la FAO

Faostat. (2020). Food and Agriculture Organisation. Statistiques mondiales de pomme de Terre

Firmin, S., Labidi, S., Fontaine, J., Laruelle, F., Tisserant, B., Nsanganwimana, F., Pourrut, B., Dalpé, Y., Grandmougin, A., Douay, F. Shirali, P., Verdin, A., & Lounès-Hadj Sahraoui A. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungal inoculation protects *Miscanthus × giganteus* against trace element toxicity in a highly metal-contaminated site. *Science of The Total Environment.* 527–528, 91–99.

Fortin J. A., Plenchette C. & Piché Y. (2008). Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. Multi Monde Quac. (Eds.), Quebecs, 131 p

Fraga-Beddiar, A., & Le Tacon, F. (1990). Interactions between a VA mycorrhizal fungus and *Frankia* associated with alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaetn.). *Symbiosis.* 9, 247-258.

G

Garbaye J et Guehl. M. J., (1997). Le rôle des ectomycorhizes dans l'utilisation de l'eau par les arbres forestiers. *Rev.For.Fr.* XLIX.

Garbaye J., (2013). La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons. Ed. Quae, Versailles, 251 p

Garbaye J., (2015). La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons. Ed. Quae, Versailles, 219 p

Gavériaux J.P., (2012). Les Glomeromycota – Mycorhizes VAM et *Geosiphon pyriformis* (Kützing) Wettstein, *Bull. Soc. Mycol. Nord Fr.*, n° 92, pp. 1-17

Genre, A., Chabaud, M., Timmers, T., Bonfante, P., & Barker, D.G. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi elicit a novel intracellular apparatus in *Medicago truncatula* root epidermal cells before infection. *The Plant Cell*. 17, 3489–3499.

GHRISSI B, CHERFIM, 2019 : Etude du comportement variétal de la pomme de terre vis à vis une technique fertigation dans la région d'El Oued (projet hollandais). Mém. Ing. Agro., Univ. Echahid Hamma Lakhdar –El- OUED. Algérie., 48p

Gilroy, S., & Jones, D.L. (2000). Through form to function: root hair development and nutrient uptake. *Trends in Plant Science*. 5, 56–60.

Giri, C., Zhu, Z., Tieszen, L.L., Singh, A., Gillette, S., & Kelmelis, J.A. (2008). Mangrove forest distributions and dynamics (1975–2005) of the tsunami-affected region of Asia. *Journal of Biogeography*. 35, 519–528.

Gobat J.M., Aragno M. et Matthey W., 2010 : Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols, 3eme édition; suisse, p819.

Gonde R et Jussiaux M ., 1980 : Cours d'agriculture moderne. 9eme édition, nouvelle leçons d'agriculture. Ed. La maison rustique. France., 616 p.

Gosling, P., Hodge, A., Goodlass G., & Bending, G.D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113: 17–35.

Grant, C., Bittman, S., Montreal, M., Plenchette, C. & Morel, C. (2005). Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Canadian Journal of Plant Science*, 85 : 3-14

Grison. (1983). Conservation. In la pomme de terre, caractéristiques et qualités alimentaires doit être mieux apria. 292p.

H

Hall, I.R., & Fish, B.J. (1979). A key to the Endogonaceae. *Transactions of the British Mycological Society*. 73, 261–270.

Hamza Nabila, 2014. Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*). Magister en Biologie et physiologie végétale, Université Ferhat Abbas

Sétif 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Algérie, pp. 83. Disponible sur <http://www.univsetif.dz/MMAGISTER/images/facultes/SNV/2014/HAMZA%20Nabila.pdf>.

Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Alqarawi, A. A., & Egamberdieva, D. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant stress tolerance. In *Plant Microbiome : Stress Response* (pp. 81-103). Springer, Singapore.

Harchouche T., 1999 : Contribution à l'étude du comportement physiologique de la pomme de terre de semence (*Solanum tuberosum* L.) pendant la consommation et le stockage en système traditionnel et moderne. These Mag. INA., El harrach. Alger., 90 p.

Hawkes J.G., 1990 : The potato. Evolution, biodiversity and genetic resources. Londres ; Belhaven Press., 259 p

Helber, N., Wippel, K., Sauer, N., Schaarschmidt, S., Hause, B., & Requena, N. (2011). A versatile monosaccharide transporter that operates in the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus* sp is crucial for the symbiotic relationship with plants. *The Plant Cell*. 23, 3812– 3823

Hijri I., Sykorova Z., Oehl F., Ineighen K. Mader P., Wiemken A. & Redecker D., (2006). Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils are not necessarily low in diversity. *Molecular Ecology*,15: 2277–2289.

Hirrel, M.C., & Gerdemann, J.W. (1979). Enhanced carbon transfer between onions infected with a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytologist*. 83, 731–738.

Ho, I., and Trappe, J.M. (1973). Translocation of ¹⁴C from *Festuca* Plants to their Endomycorrhizal Fungi. *Nature*. 244, 30–31.

Hodge, A., Campbell, C.D., & Fitter, A.H. (2001). An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature* 413, 297–299.

Holford, I.C.R. (1997). Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Soil Research*.. 35, 227–240.

Hopkins, 2003. *Physiologie végétale*. Edition de Boeck, 514 p.

I

ITCMI, (2001). *Guide Pratique du plant de pomme de terre*

J

Jakobsen, I., & Rosendahl, L. (1990). Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytologist*. 115, 77–83.

Jansa, J., Mozafar, A., Kuhn, G., Anken, T., Ruh, R., Sanders IR., & Frossard, E.. (2003). Le travail du sol affecte la structure communautaire des champignons mycorrhiziens dans les racines de maïs. *Wiley N°4*. 13p.

Jin, H., Pfeffer, P.E., Douds, D.D., Piotrowski, E., Lammers, P.J., & Shachar-Hill, Y. (2005). The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*. 168, 687–696

K

Karandashov V. & Bucher M., (2005). Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Plant Science*, 10 (1) :.22-29

Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Aydemir, S., Tuna, A.L., & Cullu, M.A. (2009). The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. *Scientia Horticulturae*, 121 : 1–6

Khaldi A et Seghiri A.A., 2006 : Contribution à l'étude de l'effet calibre et densité de plantation chez deux variétés de pomme de terre (*solanumtuberosum* L.) dans les conditions agro-climatiques de la région de Sétif – Mezloug. *Mém. Ing. Agro., Univ. M'sila. Algérie., 57p*

Kebaili L, Benchaib A et Boukchida A, 2017 : Etude comparative de la production des semences de prébase G0 de quatre variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). *Mém. Ing. Agro., Univ. Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A., 44p*

Kiers, E.T., Duhamel, M., Beesetty, Y., Mensah, J.A., Franken, O., Verbruggen, E., Fellbaum, C.R., Kowalchuk, G.A., Hart, M.M., & Bago, A. (2011). Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. *Science*. 333, 880–882.

Kolev N., 1979 : Les cultures maraichères en Algérie. T (3). C.N.P.A : 95-120

Koske, R.E. (1981). Labyrinthula inside the spores of a vesicular: arbuscular mycorrhizal fungus. *Mycologia*. 73, 1175–1180.

Kosuta, S., Chabaud, M., Lougnon, G., Gough, C., Dénarié, J., Barker, D.G., & Bécard, G. (2003). A diffusible factor from arbuscular mycorrhizal fungi induces symbiosis-specific MtENOD11 expression in roots of *Medicago truncatula*. *Plant Physiology*. 131, 952.

Kuhn, H., Küster, H., & Requena, N. (2010). Membrane steroid-binding protein 1 induced by a diffusible fungal signal is critical for mycorrhization in *Medicago truncatula*. *New Phytologist*. 185, 716–733

L

Labidi, S., Calonne, M., Ben Jeddi, F., Debiane, D., Rezgui, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Grandmougin-Ferjani, A., & Sahraoui, A.L.-H. (2011). Calcareous impact on arbuscular mycorrhizal fungus development and on lipid peroxidation in monoxenic roots. *Phytochemistry*. 72, 2335–2341.

Logi, C., Sbrana, C., & Giovannetti, M. (1998). Cellular events involved in survival of individual arbuscular mycorrhizal symbionts growing in the absence of the host. *Applied Environmental Microbiology*. 64, 3473–3479.

López-Pedrosa, A., González-Guerrero, M., Valderas, A., Azcón-Aguilar, C., & Ferrol, N. (2006). GintAMT1 encodes a functional high-affinity ammonium transporter that is expressed in the extraradical mycelium of *Glomus intraradices*. *Fungal Genetics and Biology*. 43, 102– 110.

M

Madec et Perennec. (1962). Les relations entre l'induction de la tubérisation et la

MADR., 2015- Statistiques du Ministère de l'Agriculture et du développement rural

Mahouachi, J., Socorro, A.R., & Talon, M. (2006). Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. *Plant and Soil*. 281, 137–146

Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. London: Academic Press.

Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*. 159, 89–102.

McAinsh, M.R., & Pittman, J.K. (2009). Shaping the calcium signature. *New Phytologist*. 181, 275–294.

McHargue L.A. (1981), ‘VA Mycorrhizae Improve Growth and Nodulation of two Tropical Leguminous Trees’. P. 52 in Program and Abstracts of 5th North American Conference of Mycorrhizae, University Laval, Quebec,

MEITAH M., 2019 : Etude de comportement variétal de trois variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L) dans la région de Biskra. *Mém. Ing. Agr., Univ. Biskra.*, 36p

Meziane F., 1991 : Histoire de la pomme de terre. *Détritique*. n°25 : 29.

Mikola, P. (1988). Ectendomycorrhiza of conifers. *Silva Fenn* 22:19–27

Miller, R.M., Jastrow, J.D., & Reinhardt, D.R. (1995). External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. *Oecologia*. 103, 17–23.

Milou C. 2009 : Fertilité des sols ; Mycorrhizes un axe de recherche pour réduire l’apport d’engrais.

Miransari, M., Bahrami, H.A., Rejali, F., & Malakouti, M.J. (2008). Using arbuscular mycorrhiza to alleviate the stress of soil compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth. *Soil Biology and Biochemistry*. 40, 1197–1206

Morton, J.B., & Benny, G.L. (1990). Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*. 37, 471–491.

N

Niemira B A, Safir G R, Hammer Schmidt R & Bird G W (1995). Production of pre-nuclear mini-tubers of potato with peat-based arbuscular mycorrhizal fungal inoculum. *Agro. J.*, 87, 942- 946

Nultsch W., 1998 : Botanique générale, édition, de Boeck, paris, P 603.

O

Oehl F, Souza FA, Sieverding E. 2008. Revision of Scutellospora and description of five new genera and three new families in the arbuscular mycorrhiza forming Glomeromycetes. *Mycotaxon* 106: 311–360

P

Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*. 6, 763–775.

Phillips JM et Hayman DS (1970) Procédures améliorées pour nettoyer les racines et colorer les champignons mycorrhiziens vésiculaires-arbusculaires parasites pour une évaluation rapide de l'infection. *Transactions de la British Mycological Society*, 55, 158-161.

Plenchette C., Clermont-Dauphin C., Meynard J.M. & Fortin J.A., (2005). Managing arbuscularmycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 65: 31–40.

Pierart A., 2012. Interactions entre mycorhization, nutrition en phosphore et adaptation de la plante à la toxicité du nickel sur substrat ultramafique. Vers une optimisation de la mycorhization d'*Alphitonia neocaledonica*. Mém. Ingénieur Gestion Durable du Végétal en Horticulture et Aménagement Paysager, Agrocampus Ouest Angers, Univ. Nouvelle Calédonie, 42 p. [Agricultural sciences, Archives ouvertes HAL]

R

Rajnachapel, M. J., 1987- la pomme de terre fait peau neuve. *Biofutur*, pp. 25-33

Redecker, D., & Schüßler, A. (2014). 9 *Glomeromycota*. In *Systematics and Evolution*, D.J. McLaughlin, & J.W. Spatafora, eds. (Springer Berlin Heidelberg), pp. 251–269

Redon P.O. 2009 : Rôle de champignons mycorrhiziens à arbuscules dans le transfert du cadmium (Cd) du sol à la luzerne (*Medicago truncatula*). Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy I. P198.

Reust W., 1982 : Influence de la durée de pré germination et de l'époque de la plantation sur le rendement et la qualité techno pomme de terre. *Potato. Res.*25(2) :189-199.

Ruiz-Sánchez, M., Aroca, R., Muñoz, Y., Polón, R., & Ruiz-Lozano, J.M. (2010). The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 167, 862–869.

Rousselle P, Robert Y et Crosnier J.C., 1992 : Utilisation des paramètres génétiques dans l'amélioration de la pomme de terre problèmes posés. 10eme Conf. trisannuelle d'EARP. Danemark : 241-242

Rousselle P., Robert Y., Crosnier J C.,(1996). La Pomme De Terre – Production, Amélioration, Ennemis Et Maladies, Utilisations. 1 Ed. Paris : INRA Editions. P278

Robert D, Dumas C, Bayon C., 1998 : La reproduction. Edt. Doun initiatives santé : 373

S

Sanders F.E and Tinker P.B. (1971). 'Mechanism of Absorption of Phosphate from Soil by Endogone Mycorrhizas', *Nature*, Vol. 232, pp. 278 – 279.

Schenck, N.C., & Perez, Y. (1989). Manual for the Identification of Va Mycorrhizal Fungi Gainesville, USA, Synergistic Publications.

Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*. 105, 1413–1421.

Schüßler, A., Martin, H., Cohen, D., Fitz, M., & Wipf, D. (2006). Characterization of a carbohydrate transporter from symbiotic glomeromycotan fungi. *Nature*. 444, 933–936.

Schüßler, A., & Walker, C. (2010). The Glomeromycota: A species list with new families and new genera. Libraries at The Royal Botanic Garden Edinburgh, The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University

Schreiner, R.P., & G.J. Bethlenfalvay. (1995). Mycorrhizal interactions in sustainable agriculture. *Critical Reviews in Biotechnology*. 15 : 271-285

Smith, S.E., & Read, D.J. (1997). Introduction. In: *Mycorrhizal symbiosis (Second Edition)*, S.E.S.J. Read, ed. (London: Academic Press), pp. 1–8.

Smith, F.A., Jakobsen, I., & Smith, S.E. (2000). Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. *New Phytologist*. 147, 357–366

Smith, S.E., Smith, F.A., & Jakobsen, I. (2003). Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. *Plant Physiology*. 133, 16–20.

Smith, S.E., Jakobsen, I., Grønlund, M., & Smith, F.A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: Interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiology*. 156, 1050–1057.

Soltner, 1986 Les bases de la production végétale

Soltner D., 1988 : Les grandes productions végétales. Ed. Coll. Sci. Tech. Agri. 16emeédition. Paris., 239-274.

Soltner D., 1999 : Les grandes productions végétales. Ed. Coll. Sci. Tech. Agri. 19emeédition. Paris. 239-274.

Souza, T. (2015). Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Springer.

Stévenin A, Boyer F-D, Beau J-M (2012) Highly selective formation of b-glycosides of Nacetylglucosamine using catalytic iron(III) triflate. *Eur J Org C*

Struik, P. C. (2007). Above-ground and below-ground plant development. Pages 219-236 in D. Vreugdenhil, J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, D. K. L. Mackerron, M. A. Taylor, H. A. Ross, eds. *Potato biology and biotechnology: Advances and perspectives*. Elsevier Science B.V., Amsterdam

T

Talaat, N. B., & Shawky, B. T. (2013). Modulation of nutrient acquisition and polyamine pool in saltstressed

wheat (*Triticum aestivum* L.) plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Acta physiologiae plantarum*, 35(8), 2601-2610.

Trappe JM (1982) Synoptic key to the genera and species of zygomycetous mycorrhizal fungi. *Phytopathology*. 72,1102–1108.

Tisdall, J.M. (1991). Fungal hyphae and structural stability of soil. *Soil Research* 29, 729–743

Tisdall, J.M. (1994). Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil*. 159, 115–121.

Toumi I., 2014 : Identification et Biodeversité de L'entamofaune de La Pomme de Terre (*Solanum tuberosum* L.) dans la Région d'El oued p 2.

V

Van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., & Sanders, I.R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*. 396, 69–72.

Van der Gast, C. J., Gosling, P., Tiwari, B. & Bending, G. D. (2011). Spatial scaling of arbuscular mycorrhizal fungal diversity is affected by farming practice. *Environmental Microbiology*, 13 (1) : 241-249.

Vestberg M. (1992), ‘The Effect of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Inoculation on the Growth and Root Colonization of Ten Strawberry Cultivars’, *Agricultural Science in Finland*, Vol. 1, pp. 527 – 535.

W

Walder, F., Niemann, H., Natarajan, M., Lehmann, M.F., Boller, T., & Wiemken, A. (2012). Mycorrhizal networks: common goods of plants shared under unequal terms of trade. *Plant Physiology*. 159, 789–797.

Walker, C. (1983). Taxonomic concepts in the Endogonaceae: spore wall characteristics in species descriptions. *Mycotaxon*. 18, 443-455.

White J.A., Tallaksen J. & Carvat I. (2008). The effects of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation at a roadside prairie restoration site. *Mycologia*, 100 : 6-11

Wipf D., 2013. Les mycorhizes, une alliance plante-champignon découverte en 1885 et encore mal connue ? Conférence lors de la 10ème rencontre Bourgogne Nature. Dijon, 15-16 Nov. 2013

Willis, A., Rodrigues, B. F. & Harris, P. J. C. (2013). The Ecology of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32 : 1-20

Wright, S.F., & Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*. 198, 97–107

Z

Ziane, (2018). Application des champignons mycorrhiziens à arbuscules dans la culture de la tomate industrielle. Thèse de Doctorat Biologie, Univ. Badji Mokhtar Annaba.

➤ Sites

-Guide de la Journée internationale de la pomme de terre 2024.pdf. Disponible sur le site : <https://openknowledge.fao.org/items/a78eed92-b30b-4fe3-9a68-80e69187fd9d> (Date d'accès :25/04/2024)

-La pomme de terre histoire d'un succès FAO.pdf. Disponible en ligne sur : https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Culture-plantes-alimentaires/FICHES_PLANTES/pomme-de-terre/La%20pomme%20de%20terre%20histoire%20d-un%20succes%20FAO.pdf (Date d'accès :25/04/2024)

-Portail du Jardinier 2017. Disponible sur le site : <http://kertesportal.hu/cikkek/mikorrhiza-i> Date d'accès (22/05/2024)

Annexes

Annexe 1

Etiquette commercial de la variété Arizona



Annexe 2 : Fiche Descriptive de la variété Arizona

- Dénomination: 'Arizona' Nom botanique : <i>Solanum tuberosum</i>
- Requérant/Titulaire: Agrico Cooperatie u.a.P.O. Box70, Duit 15 Emmeloord8300 AB Pays-Bas Sélectionneur: Agrico Research B.V., Pays-Bas
- Mandataire au Canada: Parkland Seed Potatoes Ltd.#26, 2908 Ellwood Drive, South West Edmonton, Alberta T6X 0A9
- Description de la variété
- Variété de référence: 'challenger'

- **Description:**
- ✓ **Germe :** ovoïde, moyen à gros, à fréquence faible d'émergence de racines, à ramifications latérales courtes.
- ✓ **Base du germe :** à pigmentation anthocyanique de moyenne intensité comportant une proportion de bleu nulle ou faible, à pubescence nulle à clairsemée.
- ✓ **Sommet du germe :** de grosseur moyenne par rapport à la base, à port fermé, à pigmentation anthocyanique nulle ou de très faible intensité, à pubescence clairsemée.
- ✓ **Plante :** semi-dressée à étalée, de type intermédiaire entre rameux et feuillu (feuillage de densité moyenne cachant partiellement les tiges); maturation tardive.
- ✓ **Tiges :** non anthocyanées.
- ✓ **Feuilles :** moyennes à grandes, à silhouette ouverte, à dessus vert moyen; dessus de la nervure médiane à pigmentation anthocyanique nulle ou de très faible intensité et de très petite étendue; folioles secondaires en nombre élevé; fréquence moyenne de coalescence de la foliole terminale avec une foliole latérale.
- ✓ **Folioles latérales (deuxième paire) :** grandes, plus longues que larges à aussi longues que larges.
- ✓ **Folioles :** à marge faiblement ondulée, à nervures moyennement enfoncées; dessus mat; feuilles de la rosette apicale à limbe pubescent.
- ✓ **Inflorescences :** de grandeur moyenne, moyennement nombreuses.
- ✓ **Pédoncule :** à pigmentation anthocyanique de petite étendue.
- ✓ **Boutons floraux :** à pigmentation anthocyanique nulle ou de très petite étendue.
- ✓ **Corolle :** moyenne à grande.
- ✓ **Corolle (face interne) :** à pigmentation anthocyanique nulle ou de très faible intensité et de très petite étendue, comportant une proportion de bleu nulle ou faible.
- ✓ **Tubercule :** ovale; chair jaune clair.
- ✓ **Yeux :** peu profonds; peau jaune à la base des yeux.
- ✓ **Peau :** jaune, non anthocyanée ou très faiblement anthocyanée en présence de lumière.
- **Origine génétique:** 'arizona' est issue d'un croisement entre la sélection 'uk 150-19022' et la variété 'mascotte', réalisé en 1997 dans le cadre d'un programme d'amélioration d'agrico research, à brant, aux pays bas. les graines issues de ce croisement ont été semées en serre en 1998, et les tubercules ainsi obtenus ont été plantés au champ en 1999. 'arizona' a été sélectionné parmi cette descendance en 1999 pour ses caractères agronomiques et sa résistance à diverses maladies.

Annexe 3 : Fiche technique du champignon

CULTURE	TAUX D'APPLICATION	MÉTHODE D'APPLICATION	REVENDECTIONS
Groupe 1 de l'UE sur les biostimulants (Broadacre)			
Céréales (blé, orge, avoine, seigle, maïs, seigle, sorgho, riz, millet, doux maïs, maïs soufflé, triticale)	100g/ha ou maximum 3g/kg de semences	Appliquer comme traitement des semences ou application dans un sillon.	<ul style="list-style-type: none"> • Améliore la disponibilité des nutriments confinés dans le sol et la rhizosphère • Améliore l'établissement des semis • Améliore la croissance des racines et des plantes • Améliore l'efficacité de l'utilisation des nutriments • Améliore la tolérance des cultures au stress abiotique • Augmente le rendement - et le potentiel de qualité du rendement
Légumineuses (haricot sec, haricot vert, soja, pois, lentilles, lupins, trèfle, luzerne (Lucerne), trèfle, kudzu, vesce, Arachides, pois chiches, fèves, guar, pois d'Angole)	100g/ha ou maximum 3g/kg de semences	Appliquer comme traitement des semences ou application dans un sillon.	
Graines oléagineuses (tournesol, lin)	100g/ha ou maximum 3g/kg de semences	Appliquer comme traitement des semences ou application dans un sillon.	
Groupe 2 de l'UE sur les biostimulants (noix et arbres fruitiers)			

À l'établissement

Fruits à pépins et à noyau (pommes, poires, kakis, cerises, prunes, pêches, nectarines, coings, abricots, pruneaux)	200g/600 arbres	Dissoudre les 200g de Biocult Mycorrhizae WS dans 30L d'eau. Appliquer 50 ml de suspension par plante, directement sur les racines avant de fermer le trou de plantation Remarque: Maintenir la suspension dans une agitation constante	<ul style="list-style-type: none"> Améliore la disponibilité des nutriments confinés dans le sol et la rhizosphère Améliore l'établissement Améliore la croissance des racines et des plantes Améliore l'efficacité de l'utilisation des nutriments Améliore la tolérance des cultures au stress abiotique
Agrumes (citron, clémentine, tangelo, nadorcott, pomelo, raisin, mandarine Satsuma (mandarine), orange, calamondin, citron d'agrumes, Chaux, Kumquat)	200g/600 arbres	Dissoudre les 200g de Biocult Mycorrhizae WS dans 30L d'eau. Appliquer 50 ml de suspension par plante, directement sur les racines avant de fermer le trou de plantation Remarque: Maintenir la suspension dans une agitation constante	
Grenades	200g/1200 plantes	Dissoudre les 200g de Biocult Mycorrhizae WS dans 30L d'eau. Appliquer 25ml de suspension par plante, directement sur les racines avant de fermer le trou de plantation Remarque: Maintenir la suspension dans une agitation constante	
Vignes (raisins de table, raisins de cuve, kiwis, fruits de la passion, granadilla)	200g/1200 Vignes	Dissoudre les 200g de Biocult Mycorrhizae WS dans 30L d'eau. Appliquer 25ml de suspension par plante, directement sur les racines avant de fermer le trou de plantation Remarque: Maintenir la suspension dans une agitation constante	
Olives	200g/600 arbres	Dissoudre les 200g de Biocult Mycorrhizae WS dans 30L d'eau. Appliquer 50 ml de suspension par plante, directement sur les racines avant de fermer le trou de plantation Remarque: Maintenir la suspension dans une agitation constante	
Arbres à noix (amandier, pécane, macadamia, noisette, pistaches, noix, pignons de pin, châtaignes, noix de cajou)	200g/600 arbres	Dissoudre les 200g de Biocult Mycorrhizae WS dans 30L d'eau. Appliquer 50 ml de suspension par plante, directement sur les racines avant de fermer le trou de plantation Remarque: Maintenir la suspension dans une agitation constante	
Baies (framboises, baies noires, cassis, fraises, groseilles à maquereau, baies de Goji)	200g/1200 plantes	Dissoudre les 200g de Biocult Mycorrhizae WS dans 30L d'eau. Appliquer 25ml de suspension par plante, directement sur les racines avant de fermer le trou de plantation Remarque: Maintenir la suspension dans une agitation constante	
Houblon	200g/1200 plantes	Dissoudre les 200g de Biocult Mycorrhizae WS dans 30L d'eau. Appliquer 25ml de suspension par plante, directement sur les racines avant de fermer le trou de plantation Remarque: Maintenir la suspension dans une agitation constante	
Fruits tropicaux et subtropicaux (mangues, avocats, litchis, goyave, figue, datte, fruit du dragon, figue de barbarie)	200g/600 arbres	Dissoudre les 200g de Biocult Mycorrhizae WS dans 30L d'eau. Appliquer 50 ml de suspension par plante, directement sur les racines avant de fermer le trou de plantation Remarque: Maintenir la suspension dans une agitation constante	

Vergers établis

Fruits à pépins et à noyau (pommes, poires, kakis, cerises, prunes, pêches, nectarines, coings, Abricots, pruneaux)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement au début d'une nouvelle saison de croissance (2 semaines avant la première chasse attendue des pousses) et répéter l'application après un mois ou après la récolte.	<ul style="list-style-type: none"> Améliore la disponibilité des nutriments confinés dans le sol et la rhizosphère Améliore la croissance des racines et des plantes Améliore l'efficacité de l'utilisation des nutriments Améliore la tolérance des cultures au stress

		Appliquer le premier traitement au début d'une nouvelle saison de croissance (2 semaines avant la première chasse attendue des pousses) et répéter l'application après un mois ou après la récolte.	abiotique
Vignes (raisins de table, raisins de cuve, kiwis, fruits de la passion, granadilla)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement au début d'une nouvelle saison de croissance (2 semaines avant la première chasse attendue des pousses) et répéter l'application après un mois ou après la récolte.	
Olives	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement au début d'une nouvelle saison de croissance (2 semaines avant la première chasse attendue des pousses) et répéter l'application après un mois ou après la récolte.	

Groupe 3 de l'UE sur les biostimulants (légumes, fleurs et cultures médicinales)

Légumes-bulbes (oignon, frites, ail, oignons verts, citronnelle, ciboulette, oignon vert)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol aérien. Appliquer le traitement 10 jours après la levée	<ul style="list-style-type: none"> • Améliore la disponibilité des nutriments confinés dans le sol et la rhizosphère • Améliore l'établissement des semis • Améliore la croissance des racines et des plantes • Améliore l'efficacité de l'utilisation des nutriments • Améliore la tolérance des cultures au stress abiotique
Légumes-racines et légumes-tiges (carottes, radis, raifort, racine de chou, gingembre, navets, panais, artichaut, sucre Betteraves, betteraves, asperges)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol aérien. Appliquer le traitement 10 jours après la levée	
Légumes-feuilles (laitue, épinards, chou frisé, roquette, fenouil, bette à cardé, persil, céleri, cresson, basilic, aneth) *À l'exclusion des cultures de Brassica	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol aérien. Appliquer le traitement 10 jours après la levée	
Cucurbitacées (citrouilles, pastèques, melons, noyers cendrés, courges, moelle pour bébé, patty pan, concombre,	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol aérien. Appliquer le traitement 10 jours après la levée	
Légumes-fruits (aubergines, tomates, okra, pépino, capsicum, poivrons, piments)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol aérien. Appliquer le traitement 10 jours après la levée	
Plantes ornementales (fleurs coupées, feuilles de fleuriste (feuillages décoratifs), bulbes, bulbes, rhizomes, tubercules et racines, boutures et greffons, et matériel de pépinière)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol aérien. Appliquer le traitement 10 jours après la levée	

Sur le terrain ou en transplantation

Légumes-bulbes (oignon, frites, ail, oignons verts, citronnelle, ciboulette, oignon vert)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement directement après le repiquage ou 10 jours après la levée et répéter l'application après un mois.	<ul style="list-style-type: none"> • Améliore la disponibilité des nutriments confinés dans le sol et la rhizosphère • Améliore l'établissement des semis • Améliore la croissance des racines et des plantes • Améliore l'efficacité de l'utilisation des nutriments • Améliore la tolérance des cultures au stress abiotique • Augmente le rendement - et le potentiel de qualité du rendement
Légumes-racines et légumes-tiges (carottes, radis, raifort, racine de chou, gingembre, navets, panais, artichaut, sucre Betteraves, betteraves, asperges)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement directement après le repiquage ou 10 jours après la levée et répéter l'application après un mois.	
Légumes-feuilles (laitue, épinards, chou frisé, rocket, fenouil, bette à cardé, persil, céleri, cresson, basilic, aneth) *À l'exclusion des cultures de Brassica	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement directement après le repiquage ou 10 jours après la levée et répéter l'application après un mois.	
Cucurbitacées (citrouilles, pastèques, melons, noyers cendrés, courges, moelle osseuse, patty pan, concombre)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement directement après le repiquage ou 10 jours après la levée et répéter l'application après un mois.	
Légumes-fruits (aubergines, tomates, okra, pépino, capsicum, poivrons, piments)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement directement après le repiquage ou 10 jours après la levée et répéter l'application après un mois.	
Tubercules (pommes de terre, patates douces)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement directement après le repiquage ou 10 jours après la levée et répéter l'application après un mois.	
Plantes ornementales (fleurs coupées, feuilles de fleuriste (feuillages décoratifs), bulbes, bulbes, rhizomes, tubercules et racines, boutures et greffons, et matériel de pépinière)	200g/ha	Appliquer via l'irrigation ou comme trempage de sol. Appliquer le premier traitement directement après le repiquage ou 10 jours après la levée et répéter l'application après un mois.	

Biocult® est une marque déposée d'AECI Limited.

Annexe 4 : Bacosol



Annexe 5 : L'engrais chimique NPK (20-20-20)



Annexe 6 : Les différents paramètres mesurés après la récolte

		Quantité (U)	Poids (g)	Calibre (cm)	Longueur (cm)
LOT TEMOIN 1	1	3	70,04	8,67	6,00
	2	4	71,38	7,50	5,75
Lot 2 (F.O)	1	6	93,92	6,83	5,25
	2	4	71,9	8,50	5,13
Lot 3 (F.C)	1	6	186,8	10,17	5,90
	2	6	200,16	10,75	6,32
Lot 4 (Myco)	1	5	115,61	9,80	5,20
	2	4	118,1	9,83	6,90

Annexe 7: Récapitulatif des opérations effectuées au cours de l'expérimentation

Lot	Lot 1 (Témoin)			Lot 2 (F.O)			Lot 3 (F.C)			Lot 4 inoculé		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Préparation du substrat 20/02/2024	Terre végétale UAT			1/3 bacosol + 2/3 terre végétale			Terre végétale UAT			Terre végétale UAT		
Dose de semis	2 plants prégermés/seau/lot											
Plantation 20/02/2024	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1^{er} apport 20/02/2024	Aucun apport			Aucun apport			Aucun apport			Saupoudrage 1g de ML45/seau		
1^{ere} irrigation 20/02/2024	1,5L eau/pot			1,5L eau/pot			1,5L eau/pot			1,5L eau/pot		
2^{eme} apport 18/03/2024	1,5L eau/pot			1,5L eau/pot			3g de NPK/seau			2g de ML45/seau		
							Dilué dans 1,5L d'eau			Dilué dans 1,5L d'eau		
3^{eme} apport 24/03/2024	1,5L eau/pot			1,5L eau/pot			3g de NPK/seau			2g de ML45/seau		
							Dilué dans 1,5L d'eau			Dilué dans 1,5L d'eau		
4^{eme} apport 28/03/2024	1,5L eau/pot			1,5L eau/pot			3g de NPK/seau			2g de ML45/seau		
							Dilué dans 1,5L d'eau			Dilué dans 1,5L d'eau		
01/04/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
07/04/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
13/04/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
16/04/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
21/04/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
28/04/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
30/04/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
06/05/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
09/05/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
22/05/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
26/05/2024	Arrosage à l'eau clair (1,5L d'eau/ seau)											
28/05/2024	Opération de défanage											
02/06/2024	Récolte de la pomme de terre											

Résumé

L'utilisation de champignons mycorhiziens arbusculaires dans la culture de la pomme de terre offre une option prometteuse pour réduire l'usage d'engrais chimique dans les cultures. Elle contribue également à la protection des plantes contre la sécheresse et les maladies. Dans cet optique, notre étude a été réalisée au niveau de l'université Ain Temouchent Belhadj Bouchaib pour déterminer l'impact des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) sur le développement et le rendement de *Solanum tuberosum L*, variété Arizona qui ont été conduit en hors-sol avec différents programmes de fertilisation. Les résultats obtenus montrent qu'à partir de l'ensemble des paramètres mesurés, ont révélé que l'inoculation mycorhizienne (CMA) dans la production de la pomme de terre a eu des effets bénéfiques et sur le développement de la biomasse aérienne et racinaire et sur le rendement de la pomme de terre des résultats meilleurs avec des valeurs supérieures par rapport aux plants des lots non inoculés.

Mots clés : *Solanum tuberosum L.*, Champignon CMA, Engrais chimique, fertilisation

Abstract

The use of arbuscular mycorrhizal fungi in potato cultivation presents a promising alternative to reduce the use of chemical fertilizers in agriculture. It also aids in protecting plants from drought and diseases. With this perspective, our study was conducted at Ain Temouchent Belhadj Bouchaib University to determine the impact of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth and yield of *Solanum tuberosum L*, Arizona variety, which was grown in soilless conditions with different fertilization programs. The results showed that, based on all measured parameters, mycorrhizal inoculation (AMF) in potato production had beneficial effects on the development of both aerial and root biomass and on the potato yield, with better outcomes and higher values compared to the non-inoculated plant lots.

Key words: *Solanum tuberosum L.*, mycorrhizes AMF, Chemical fertilizer, yield

ملخص

الزراعة في الكيمائية الأسمدة استخدام لتقليل واعدًا بديلاً البطاطس زراعة في الأربوسكولارية الميكوريزية الفطريات استخدام يُعد“
بوشعيب بلحاج تموشنت عين جامعة في دراستنا أجريت، المنظور هذا من. والأمراض الجفاف من النباتات حماية في يساعد أنه كما
، *Solanum tuberosum L* نوع من البطاطس وإنتاجية نمو على (AMF) الأربوسكولارية الميكوريزية الفطريات تأثير لتحديد
للتلقيح كان، المقاسة المعايير جميع إلى استنادًا، أنه النتائج أظهرت. مختلفة تسميد برامج مع زراعتها تم والتي، أريزونا صنف
محصول وعلى والجزرية الهوائية الحيوية الكتلة من كل تطوير على إيجابية تأثيرات البطاطس إنتاج في (AMF) الميكوريزي
”الملقحة غير النباتات بقطع مقارنةً أعلى وقيم أفضل نتائج مع، البطاطس

، *Solanum tuberosum*، الكيماوية الأسمدة، تجاري ميكوريزي تطعيم، الشجيرة الميكوريزية الفطريات: **المفتاحية الكلمات**