

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Saad Dahleb-Blida 1  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biotechnologies et Agro- Ecologique



**Mémoire de fin d'études**  
Pour l'obtention  
Du Diplôme de Master académique  
Filière Biotechnologies  
Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des Plantes

**Thème**

---

**Impact d'utilisation de quelques intrants fongiques et quelques champignons mycorhiziens endémiques sur la culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.)**

---

Présenté par

***Moukaf Ahlem et Benali Ouardia Rayane***

**Devant le Jury composé de :**

<b>Mme Tadjine N.</b>	<b>M. A.B</b>	<b>USDB1</b>	<b>Présidente</b>
<b>Mme Saddek D.</b>	<b>Docteur</b>	<b>INPV</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Mme Moumene S.</b>	<b>M.C. A</b>	<b>USDB1</b>	<b>Promotrice</b>

Année Universitaire 2021-2022

## Sommaire

Remercîment .....	
Résumé .....	
Table de matière .....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux .....	
Liste des abréviations .....	
Introduction .....	1

## Chapitre 1 Partie bibliographique

1.1 Généralités sur la pomme de terre .....	3
1.1.1 Origine de pomme de terre .....	3
1.1.2 Taxonomie .....	3
1.1.3 Description Botaniques de la pomme de de terre.....	4
1.1.3.1 Système aérien .....	4
1.1.3.2. Système Souterrain.....	4
1.1.3.3 Caractéristiques des tubercules.....	6
1.1.4 Physiologie et multiplication de la pomme de terre.....	7
1.1.4.1 Cycle sexué .....	7
1.4.4.2 Cycle biologique de la pomme de terre .....	7
1.1.5 Composition Biochimique .....	9
1.1.6 Exigences culturelles .....	9
1.1.6.1 Exigences climatiques .....	9
1.1.6.2 Exigences édaphiques .....	10
1.1.6.3Exigences hydriques .....	10
1.1.7 Utilisation de la culture .....	10
1.1.7.1Utilisation alimentaire.....	11

1.1.7.2 Utilisation industriel .....	11
1.1.8 Situation de la culture de Pomme de terre .....	11
1.1.8.1 Importance de la culture dans le monde .....	11
1.1.8.2 Importance de la culture en Algérie .....	12
1.1.9 Variétés de pommes de terre .....	12
1.1.10 Problèmes phytosanitaire .....	12
1.1.11 Méthodes de lutte .....	15
1.2. Généralités sur les Bio stimulants d'origine microbienne.....	17
1.2.1. Aperçu sur les champignons mycorhiziens.....	17
1.2.1.1 Les types de mycorhizes.....	17
1.2.1.2 Généralités sur les mycorhizes à arbuscules.....	18
1.2.1.3 Taxonomie.....	18
1.2.1.4 Cycle biologique.....	19
1.2.1.5 La colonisation racinaire par les CMA .....	20
1.2.2.6 Ecologie .....	21
1.2.2.7 Intérêts bénéfiques.....	22
1.2.2 Aperçu sur les <i>Trichoderma</i> .....	24
1.2.2.1 Historique.....	24
1.2.2.2 Taxonomie.....	24
1.2.2.3Morphologie.....	25
1.2.2.4 Ecologie.....	26
1.2.2.5Utilisation de <i>Trichoderma</i> .....	27
1.2.2.6 Mécanismes d'action de <i>Trichoderma</i> .....	27

## Chapitre 2 Matériels et méthodes

2.1 Présentation et l'objectif de l'expérimentation .....	29
2.2 Matériel biologique .....	29
2.2.1 Le matériel végétal.....	29
2.2.2 Matériel fongique .....	30
2.3 Mise en culture.....	30
2.3.1 Préparation du substrat .....	30
2.3.2 Préparation de suspension conidiennes fongiques .....	31
2.3.3 Mise En culture de la pomme de terre .....	31
2.3.3.1 Mise en germination et application des traitements.....	31
2.3.3.2 Transplantation des plants.....	32
2.4 Lecture des résultats.....	33
2.4.1 Evaluation des paramètres de croissance et du rendement des plantes cultivées .....	33
2.4.2 Evaluation des Teneurs en pigments foliaires.....	34
2.4.3 Pouvoir colonisateur des isolats fongiques utiles testés.....	35
2.4.4 Pouvoir mycorrhizogène des isolats fongiques mycorhiziens.....	35
2.4.5 Evaluation de quelques critères de qualité des tubercules produits de pomme de terre.....	37
2.4.5.1 Evaluation de la teneur en eau et en matière sèche .....	37
2.4.5.2 Evaluation des teneurs en matière minérale et en matière organiques.....	38
2.4.5.3 Evaluation des teneurs en sucres totaux .....	39
2.4.5.4 Evaluation des teneurs en polyphénols totaux .....	40
2.4.5.5 Evaluation de la qualité microbiologique .....	41
2.5 Analyse statistique .....	42

## **Chapitre 3 Résultats Et Discussion**

3.1 Taux de germination des semences .....	43
3.2 Paramètres de croissance végétative.....	45
3.2.1 Nombre des tiges par plante cultivée.....	45
3.2.2 Dimensions des tiges.....	48
3.2.3 Nombre de feuilles.....	54
3.3 Teneurs en pigments foliaires.....	57
3.4 Pouvoir colonisateur racinaire des isolats de <i>Trichoderma</i> spp. Testés.....	60
3.5 Pouvoir mycorhizogène des isolats fongiques mycorhiziens étudiés.....	61
3.6 Critères de qualité des tubercules de pomme de terre.....	63
3.6.1 Paramètres de production des tubercules.....	63
3.6.2 Teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules.....	69
3.6.3 Teneurs en sucres et en poly phénols totaux.....	73
3.6.4 Qualité microbienne des tubercules de pomme de terre frais .....	76
Discussion .....	79
Conclusion .....	83
Annexe .....	88
Références.....	96

## **Remerciement :**

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu, le bon dieu (Allah) qui nous a donné la force, la volonté et le courage pour terminer ce projet de fin d'étude.*

*Nous tenons à remercier très vivement Mme Moumene Saida pour son honnêteté, sa rigueur, sa générosité, son savoir, son aide précieuse, ses critiques constructives et aussi pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de nous encadrer et mener ce travail au terme. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profond et sincère respect.*

*Nous remercions chaleureusement Mme Tadjine de nous avoir fait l'honneur de présider les jurés de cette thèse. nous la remercions pour sa compréhension. Trouvez ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Nos vifs remerciements également à Mme Saddek Dounia à avoir accepté de juger et d'examiner ce travail.*

*Nous remercions également l'ensemble des doctorants qui ont toujours été bienveillants à nos égards. Un énorme Merci Surtout pour la doctorante Imene pour son aide compétente qu'elle nous a apportée, pour ses efforts qu'elle a déployés, sa générosité infinie.*

*Nous remercions la directrice Mme Hania et tous les ouvriers qui travaillent au niveau de la station expérimentale pour leurs aides précieuses et leurs disponibilités permanentes.*

*Nos profonds remerciements pour nos parents, qui nous ont toujours soutenues moralement et financièrement durant ces longues années et qui ont su nous transmettre des valeurs qui font ce que nous sommes aujourd'hui.*

*Moi Benali Ouardia Rayane je tiens Un grand merci à ma chère binôme Ahlem pour sa compréhension, patience et les agréables moments passés ensemble.*

*Je tiens Un grand merci soeurres Fadila , Maroua et mon frère wenes pour leur soutiens au quotidien et leur mots de réconfort.*

*Merci à mes meilleurs amies Tima, Amina, Sara pour leur soutien et encouragement.*

*Moi Moulkaf Ahlem je tiens Un grand merci à mes sœurs et mes frères Lynda ,Houda ,Oussama,Abdou ,Hichem pour leur soutiens et présence.*

*Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et les collègues Farah,Manel ,Wanila, surtout ma chère warda qui m'a apporté le soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche, nous avons travaillé dur pour réaliser une bonne thèse avec beaucoup d'ambiance et très bons souvenirs.*

*Nous n'oublions pas de remercier également mes collègues Meriem et Yasmine pour l'ambiance et les bons moments passés en leur compagnie.*

*Enfin nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

**MERCI**

**Impact d'utilisation de quelques intrants fongiques et quelques champignons  
Mycorhiziens endémiques sur la culture de la pomme de terre  
(*Solanum tuberosum* L.)**

**Résumé**

Cette étude est basée sur l'évaluation des potentialités biostimulantes de trois isolats endémiques de *Trichoderma* spp. (T11 ,T5,TMS) appliqués par arrosage des plants lors de la plantation et au cours de la croissance de la culture de la pomme de terre et l'incorporation de chacun des deux isolats fongiques mycorhiziens endémiques(MO,BA) en début de phase de croissance aux alentours des racines de chaque plante de la variété « Spunta » de pomme de terre en vue de réduire l'utilisation des intrants chimiques fertilisants ou pesticides et améliorer la germination, la croissance, le rendement et la qualité des tubercules de la pomme de terre.

Les isolats fongiques et mycorhiziens endémiques (T11, MO) ont confirmé leurs potentialités agronomiques performantes pour la plupart des paramètres étudiés. Ils ont confirmé leur pouvoir biostimulant sur la germination, la hauteur des plantes, la biomasse et les teneurs en caroténoïdes foliaires, le calibre et les critères de qualité des tubercules résumés par les teneurs en eau et, en matières sèche, organique et minérale sans négliger aussi les teneurs en sucres et en polyphénols.

Dans ce sens, l'isolat endémique de *Trichoderma* sp. « T11 » ainsi que l'isolat fongique mycorhizien endémique « MO » peuvent être recommandés dans l'agriculture biologique de la pomme de terre en Algérie vu, leurs potentialités biostimulantes développées pour un meilleur rendement et une meilleure qualité des tubercules.

**Mots clés :** Culture, isolats Mycorhiziens, rendement et qualité des tubercules, *Solanum tuberosum* L., *Trichoderma* spp.

## **Impact of the use of some fungal inputs and some endemic mycorrhizal fungi on potato cultivation (*Solanum tuberosum* L.)**

### **Abstract**

This study is based on the evaluation of the biostimulant potential of three endemic isolates of *Trichoderma* spp. (T11 ,T5,TMS) applied by drenching the plants at planting and during the growth of the potato crop and the incorporation of each of the two endemic mycorrhizal fungal isolates (BA,MO) in the early growth phase around the roots of each plant of the "Spunta" cultivar of potato,in order to reduce the use of chemical fertilizers or pesticides and improve the germination ,growth ,yield and quality of potato tubers.

The endemic fungal and mycorrhizal isolates(T11,MO) confirmed their agronomic potential for most of the parameters studied. They confirmed their biostimulating power on germination, plant height, biomass and foliar carotenoid content, tuber size and quality criteria summarized by water and dry matter, organic and mineral content without neglecting also sugar and polyphenol content.

In this sense, the endemic isolate of *Trichoderma* sp. «T11» as well as the endemic mycorrhizal fungal isolate «MO» can be recommended in organic potato farming in Algeria according their biostimulant potential developed for better yield and better quality of tubers.

**Key words:** Culture, Mycorrhizal isolates, *Solanum tuberosum* L., *Trichoderma* spp., yield and quality of tubers.

تأثير إستخدام بعض المدخلات الفطرية وبعض فطريات الميكوريزا المحلية على زراعة البطاطس  
(*Solanum tuberosum* L.)

ملخص

هذه الدراسة تركز على تقييم إمكانات المحفزات الحيوية لثلاث عزلات محلية من *Trichoderma spp*.  
(T11.TMS.T5) طبقت عن طريق سقي النباتات عند الزراعة وأثناء نمو محصول البطاطس وتم دمج عزلتين فطريتين  
من الميكوريزا المحلية (BA ,MO) في البطاطس من صنف « Spunta » في بداية مرحلة النمو حول جذور كل نبتة  
للحد من استخدام الأسمدة الكيماوية أو مبيدات الآفات و لتحسين و انبات و نمو و انتاجية درنات البطاطس.  
العزلات الفطرية و عزلات الميكوريزا (T11,MO), أثبتت قدرتها الزراعية التحفيزية الحيوية على الانبات و ارتفاع  
طول النبات ,الكتلة الحيوية, محتوى الكاروتين الورقي ,حجم الدرنات ومعايير الجودة التي تلخصها نسبة المياه والمواد  
الجافة والمحتوى العضوي والمعدني للدرنات دون إهمال محتوى السكر والبوليڤينول أيضا .  
في هذا السياق يمكن التوصية بالعزلة الفطرية المحلية *Trichoderma spp* «T11» وأيضا العزلة الفطرية المحلية  
« MO » في زراعة البطاطس العضوية في الجزائر نظرا لإمكانات التحفيز الحيوي المطورة من أجل إنتاج أفضل  
وجودة أفضل للدرنات .  
الكلمات المفتاحية: *Trichoderma spp* , *Solanum tuberosum* L. , زراعة ,عزلات الميكوريزا, إنتاج و جودة  
الدرنات.

## Liste des figures

<b>Figure .1</b> morphologie de plant de pomme de terre (Boufarres, 2012) .....	5
<b>Figure .2</b> A. Structure interne du tubercule de pomme de terre mature en coupe longitudinale (Meitah 2017). B. Structure externe d'un tubercule de pomme de terre .....	6
<b>Figure. 3</b> Cycle de biologique de la pomme de terre (Soltner, 2012).....	8
<b>Figure .4</b> Représentation graphique de la composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.). (Deplace 2007) ) .....	9
<b>Figure .5</b> La production mondiale de pomme durant la campagne 2020 (FAO, 2022).....	12
<b>Figure .6</b> Diffèrent stades du cycle de développement des CMA (Akiyama ,2007). ). .....	20
<b>Figure .7</b> Etapes d'établissement de la symbiose mycorhizienne. . .....	21
<b>Figure.8</b> Aspect morphologique d'un conidiophore de <i>Trichoderma</i> spp. (Samuels et al., 1994). ).....	26
<b>Figure .9</b> Dispositif expérimental des plantes cultivées de pomme de terre dans les sacs de culture (a) après leur transplantaion et leur installation sous serre (b) (originale,2022) .....	33
<b>Figure .10</b> échelle de notation de degré de mycorhization racinaire (Trouvelot et al., 1986).36	
<b>Figure.11</b> Analyse de la variance des taux de germination des semences de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. et selon les périodes d'incubation.....	43
<b>Figure.12</b> Variabilité morphologique des plantes cultivées de pomme de terre âgées respectivement de 71 jours (a) et 91 jours (b) selon les traitements appliqués à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. et des isolats fongiques mycorhiziens.....	45
<b>Figure.13</b> Analyse de la variance du nombre de tiges par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp et selon les périodes d'incubation.46	
<b>Figure.14</b> Analyse de la variance du nombre de tiges par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base de champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation.....	47

<b>Figure .15</b> Analyse de la variance de la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. et selon les périodes d'incubation. ....	49
<b>Figure.16</b> Analyse de la variance de la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation. ....	50
<b>Figure. 17</b> Analyse de la variance du diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. et selon les périodes d'incubation. ....	52
<b>Figure.18</b> Analyse de la variance du diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base de champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation.....	53
<b>Figure. 19</b> Analyse de la variance du nombre de feuilles développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. et selon les périodes d'incubation.....	55
<b>Figure.20</b> Analyse de la variance du nombre de feuilles développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base de champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation.....	56
<b>Figure.21</b> Analyse de la variance des teneurs en pigments foliaires développées des plantes cultivées par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. et selon les périodes d'incubation. ....	58
<b>Figure.22</b> Analyse de la variance des teneurs en pigments foliaires synthétisés chez les plantes cultivées par le modèle GLM selon les traitements à base de champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation. ).....	59
<b>Figure.23</b> Pouvoir colonisateur racinaire des isolats de <i>Trichoderma</i> spp. testés (Originale, 2022). ....	62
<b>Figure.24</b> Structures mycorhiziennes développées sur les racines des plantes cultivées mycorhizées de pomme de terre (G : X 125). ....	63
<b>Figure.25</b> Paramètres de mycorization des racines des plantes cultivées de pomme de terre selon les isolats fongiques mycorhiziens. ....	64

<b>Figure .26</b> Quantité et taille globale des tubercules de pomme de terre produits par plante selon les traitements. ....	64
<b>Figure 27 :</b> Variabilité de la taille moyenne des tubercules de pomme de terre produits par selon les traitements. ....	65
<b>Figure 28:</b> Analyse de la variance des paramètres de production des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp.....	66
<b>Figure.29</b> Analyse de la variance des paramètres de production des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens. ....	67
<b>Figure.30</b> Analyse de la variance de la teneur en eau, matière organique, sèche et minérale des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. ....	71
<b>Figure .31</b> Analyse de la variance de la teneur en eau, matière organique, sèche et minérale des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens. ....	71
<b>Figure.32</b> Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. ....	75
<b>Figure.33</b> Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens. ....	75
<b>Figure.34</b> Variabilité de la qualité des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements à base de <i>Trichoderma</i> spp. (Originale, 2022) .....	78
<b>Figure.35</b> Variabilité de la qualité MICROBIOLOGIQUE des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements fongiques mycorhiziens (Originale, 2022) .....	79

## Liste des Tableaux

<b>Tableau .1</b> Principales maladies de la pomme de terre (Bouznad et al.,2008).....	13
<b>Tableau .2</b> Principaux ravageurs de la pomme de terre (Sérail, 2003). ....	15
<b>Tableau .3</b> Données sur la semence de pomme de terre étudiée. ....	31
<b>Tableau .4</b> Classement des traitements selon les taux de germination des semences de Pomme de terre par le test de Tukey et, selon les périodes d'incubation. ....	44
<b>Tableau .5</b> Classement des traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. par le test de Tukey selon le nombre de tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation. ....	44
<b>Tableau .6</b> Classement des traitements champignons mycorhiziens par le test de Tukey selon le nombre de tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation. ....	46
<b>Tableau .7</b> Classement des traitements par le test de Tukey selon la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. et selon les périodes d'incubation. ....	51
<b>Tableau .8</b> Classement des traitements champignons mycorhiziens par le test de Tukey selon la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation. ....	51
<b>Tableau .9</b> Classement des traitements par le test de Tukey selon le diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée selon les traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. et selon les périodes d'incubation. ....	54
<b>Tableau .10</b> Classement des traitements à base de champignons mycorhiziens par le test de Tukey selon le diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée selon les périodes d'incubation. ....	54
<b>Tableau .11</b> Classement des traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. par le test de Tukey selon le nombre de feuilles développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation. ....	57
<b>Tableau .12</b> Classement des traitements à base de champignons mycorhiziens par le test de Tukey selon le nombre de feuilles développées par plante cultivée selon les périodes d'incubation. ....	57

<b>Tableau .13</b> Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées selon traitements à base des isolats de <i>Trichoderma</i> spp. et selon les périodes d'incubation. ....	60
<b>Tableau .14</b> Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées selon traitements à base de champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation. ....	61
<b>Tableau .15</b> Classement des traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. par le test de Tukey selon les paramètres de production des tubercules de pomme de terre.....	69
<b>Tableau. 16</b> Classement des traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens par le test de Tukey selon les paramètres de production des tubercules de pomme de terre.....	69
<b>Tableau .17</b> Classement des traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. par le test de Tukey selon les dimensions des tubercules produits de pomme de terre. ....	69
<b>Tableau .18 Classement</b> des traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens par le test de Tukey selon les dimensions des tubercules produits de pomme de terre produits. ....	69
<b>Tableau. 19 Classement</b> des traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. par le test de Tukey selon les teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits de pomme de terre. ....	73
<b>Tableau .20</b> Classement des traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens par le test de Tukey selon les teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits de pomme de terre. ....	74
<b>Tableau .21 Classement</b> des traitements à base d'isolats de <i>Trichoderma</i> spp. Par le test de Tukey selon les teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre. ....	76
<b>Tableau .22</b> Classement des traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens par le test de Tukey selon les teneurs en sucres totaux et en poly phénols totaux des tubercules produits de pomme de terre. ....	77
<b>Tableau. 23 Variabilité</b> microbiologique des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements à base de <i>Trichoderma</i> spp. ....	78
<b>Tableau .24</b> Variabilité de la qualité des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements à base d'isolats mycorhiziens étudiés. ....	79

## Liste des abréviations

### **Abréviations      désignation**

- FAO** : Food and Agriculture Organization.
- R A P** : Réseau d'avertissements Phytosanitaires.
- PGPR** : Plant Growth-Promoting Rhizobacteria.
- CMA** : Champignon Mycorhizien a Arbusculaire.
- PDA** : Potato dextrose agar.
- KOH** : La potasse .
- LPGA** : Levure Peptone. Glucose Agar.
- MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- DSA** : Direction de Service Agricole.
- COAG** : Comité de l'agriculture.

# Introduction

La culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est une culture stratégique aux nombreux avantages, Elle joue un rôle essentiel dans l'économie mondiale actuelle. C'est la troisième culture vivrière, après le blé et le riz. Elle est largement appréciée par différentes populations grâce à sa valeur nutritionnelle et sa teneur énergétique élevée, sa consommation et sa forte demande conduit à une augmentation remarquable de sa production. Elle est passée de 30 millions tonnes au début des années 60 jusqu'à plus 388 millions de tonnes en 2020. La chine reste le pays leader avec une production de 78 183 874 millions de tonnes pour une superficie de 2 158 000 ha en 2020 **(FAO, 2022)**.

En effet, cette culture occupe une place majeure en Algérie bien qu'elle prend la 17ième place à l'échelle mondiale avec une production de 465 9482 millions tonnes en 2020 **(FAO, 2022)** .

Depuis 2018, notre pays est en tête en matière de consommation qui est estimée à 111 kg/habitant/an **(Bourenan, 2022)**.

Cependant, la culture de pomme de terre est vulnérable aux changements climatiques qui s'illustrent par une forte corrélation entre la productivité agricole et l'irrégularité de pluviométrie ainsi que, les fluctuations climatiques qui conditionnent plusieurs maladies responsables de la détérioration de la culture **(Doukpolo ,2014)**.

Par ailleurs, l'utilisation des intrants agricoles chimiques notamment, les fertilisants et les engrais chimiques est toujours importante pour satisfaire les sols et les besoins des cultures en azote, phosphore et potassium. Cependant, leur utilisation non raisonnée et répétée conduit à de nombreux problèmes de toxicité et un degré d'empoisonnement élevé responsable de la contamination environnementale qui a un impact durable d'où une perte massive de biodiversité **(Balme, 2011)** .

D'un autre côté, la majorité des pesticides utilisés dans la lutte quittent l'objet du traitement prévu,ls se dirigent vers une cible destructive sur la culture de pomme de terre par le développement de la résistance des ravageurs et une proportion de la population de plus en plus grande comme réponse à l'utilisation des fertilisants chimiques et les produits

phytosanitaire (**Vanoosthuysse, 2018**). Ce qui affecte négativement la production, réduit la qualité des produits, le rendement et augmente le risque d'infection par les agents phytopathogène (**Zeddiam, 2004**) .

Dans le cadre de développement durable et de la recherche de méthodes alternatives de la conservation de la biodiversité et la réduction de ses produits chimiques. Ce présent travail résume l'impact d'utilisation de quelques intrants biologiques fongiques endémiques dont trois isolats de *Trichoderma* spp. et deux inocula formulés de champignons mycorrhiziens sur la croissance, le rendement et, la qualité de la culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.).

Les principaux objectifs de cette étude se résument par :

- ✓ Evaluation des potentialités biostimulantes des isolats fongiques endémiques sur la production et la qualité des tubercules de la pomme de terre.
- ✓ Sélection des meilleurs bio- intrants microbiens fongiques en vue de réduire ou de substituer les intrants chimiques pour une agriculture durable de la pomme de terre respectueuse de l'environnement.

**Chapitre 1**  
**Partie**  
**Bibliographique**

## 1.1 Généralités sur la pomme de terre

### 1.1.1 Origine et historique

La culture de pomme de terre a pris naissance, il ya 7000 ans sur les rives du lac Titicaca, les Aymaras (tribus incas, vivant entre la frontière de l'actuel Pérou et la Bolivie). Les zones d'origines et de diversification s'étendent au long de la cordillère des Andes sur la côte désertique du Pérou, dans les cuvettes desséchées de Bolivie, l'Equateur et le centre de Mexique qui sont les zones les plus riches.

Cette culture a atteint l'Italie et l'Espagne par les marins espagnols à la fin du XVIème siècle, puis l'Allemagne (**Rousselle et al., 1996**). De ces localités, la pomme de terre envahit toute l'Europe. Elle a été cultivée pour la première fois en Ardèche (France) vers 1540.

En Algérie, cette culture a été introduite au **XIX<sup>ème</sup>** siècle où elle fût cultivée principalement pour l'exportation vers le marché français, et n'est devenue un produit alimentaire de base pour le consommateur algérien qu'après l'indépendance. (**Kezzabi, 2017**).

### 1.1.2 Taxonomie

La position systématique de la pomme de terre a été décrite selon **Hawkes (1990)**, comme suit :

- Règne :.....Métaphytes
- Embranchement : .....Spermatophytes
- Sous-embranchement :.....Angiospermes
- Classe :.....Dicotylédones
- Sous-classe : .....Asteridae
- Ordre :.....Polemoniales
- Famille :.....Solanaceae
- Genre :.....Solanum.
- Espèce :..... *Solanum tuberosum* L.

### 1.1.3 Description Botanique et morphologie

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est une culture a cycle annuelle dicotylédone une plante tubéreuse, vivace (Rousselle et al., 1996) produite par l'espèce *Solanum tuberosum* (Quezel et Santa, 1963), appartenant à la famille des Solanacées. C'est une plante à tige herbacée et, à feuilles découpées. Du point de vue botanique la pomme de terre n'est pas un légume racine mais un légume tige car, ses tubercules sont des tiges souterraines transformées (Dimitri, 1987). Elle comprend 1000 espèces dont plus de 200 sont tubéreuses (Hawkes, 1990 ; Doré et al., 2006). Elle comprend une partie aérienne et une partie souterraine.

#### 1.1.3.1 Système aérien

Le système aérien est composé des parties suivantes (figure 1) :

-**tiges aériennes** atteignent une longueur de 70 cm, aux nombres de 2 à 10 ayant un port plus ou moins dressé et une section irrégulière (Soltner, 1990). L'aspect de tiges est caractérisé par 3 paramètres utiles pour l'identification : la couleur verte à brunâtre, la forme et la consistance, la présence ou l'absence de côtes ou les ailes ; peu ou très développées, rectilignes ou ondulées (Bourahla, 2007).

-**Les feuilles** sont de types composées, constitués de 3 à 5 paires de folioles avec une foliole à l'extrémité. Elles sont alternes, disposées sur la tige suivant une phyllotaxie spiralée avec une spirale génératrice, tournant le plus souvent dans le sens senestre (Artschwager, 1918).

- **Les fleurs** sont autogames de couleur variée, de la blanche, bleutée, violacée selon les variétés. Les fleurs sont disposées en cyme bipaire. La fleur portée par un pédicelle présente : 5 sépales soudés, 5 pétales fusionnés à la base, 5 étamines en un seul cycle fixé sur le tube corolle (Grisson, 1983). Elles donnent après fécondation des baies sphériques vertes, contenant de nombreuses graines (Laamara et al., 2020).

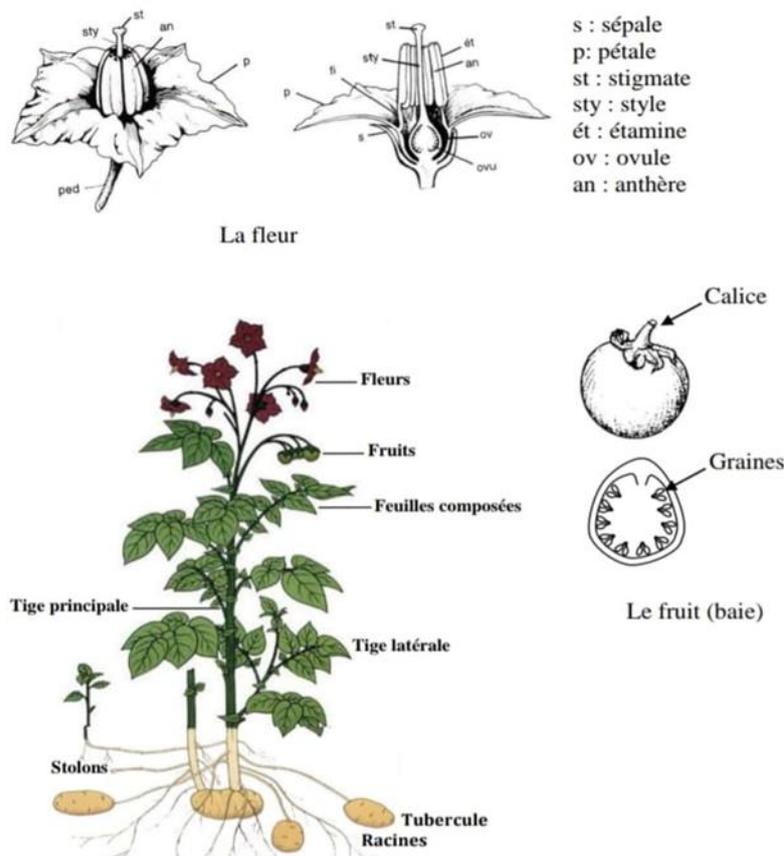
#### 1.1.3.2 Système sous terrain

Selon Bernhards (1998) la partie souterraine représente la partie la plus intéressante de la plante qui comprend :

- **Les racines** fasciculées (nombreuse, égales), fines pouvant facilement adhérer dans le sol.

- Les **tiges sous terraines ou stolons** sont les tiges latérales en forme de crochet au sommet (**Bourahla, 2007**). Elles sont issues des bourgeons latéraux du tubercule mère. Celles-ci donnent lieu à la formation de tubercules fils (**Rousselle et al., 1996**).

-Le **tubercule** comprend des entre-nœuds courts et épais. C'est le résultat de la transformation des tiges souterraines. Chaque œil a un certain nombre de germes qui donnent en développant après plantation des tiges et racines. Les tubercules représentent 75 à 85 % de la matière sèche totale (**Laamara et al.,2020**)



**Figure.1 morphologie de plant de pomme de terre (Boufarres, 2012).**

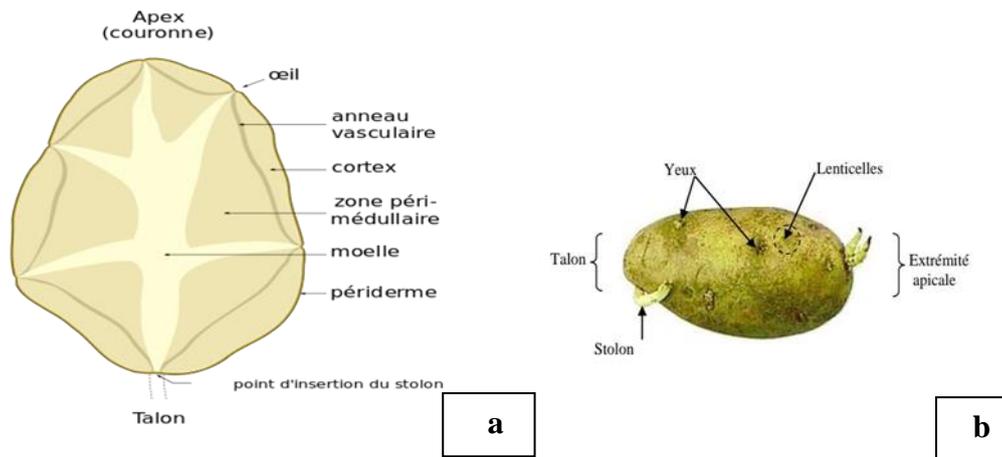
Leur structure externe contient deux extrémités (figure 2, b)

- l'extrémité apicale du tubercule (couronne) se trouve le bourgeon terminal (à cal) tandis qu'à l'opposé, du côté proximal (talon) se trouve le point d'attache du stolon.

- Les yeux sont disposés régulièrement sur le tubercule suivant une phyllotaxie spiralée, correspondent à l'emplacement des bourgeons axillaires. Des lenticelles jouent un rôle essentiel dans la respiration du tubercule (**Bernhahards, 1998**).

La structure interne de tubercule comprend de l'extérieur vers l'intérieur : le périderme, le cortex (parenchyme cortical), l'anneau vasculaire composé de phloème externe, du xylème et de parenchyme vasculaire. La zone péri médullaire ou parenchyme péri médullaire contient le phloème interne et enfin, la moelle ou parenchyme médullaire. Les différents parenchymes (cortical, péri vasculaire, péri médullaire et, médullaire) contiennent de grandes quantités de grains d'amidon (**Rousselle et al., 1996**).

La structure interne est représentée par les éléments énumérés dans la coupe longitudinale de pomme de terre mature (figure 2a).



**Figure .2 a. Structure interne du tubercule de pomme de terre mature en coupe longitudinale et b. Structure externe d'un tubercule de pomme de terre (Meitah 2017).**

### 1.1.3.3 Caractéristiques des tubercules :

Quatre principaux critères permettent de caractériser le tubercule d'après Rousselle et al., (1996) :

- La Forme : classés en 3 grandes catégories :
  - Les claviformes en formes de rein ;
  - Les oblongues, et les cylindriques allongés retrouvés chez les variétés ; Spunta; Mélène .
  - Les arrondis retrouvés surtout chez les variétés destinées à produire de la féculé.

- Enfoncement des yeux : la plupart des variétés ont des yeux superficiels, peu d'entre elles ont des yeux demis enfoncés.
- Couleur et texture de la peau : la coloration est due à la présence d'un ou plusieurs pigments dans les cellules du périoderme qui donnent à la peau une teinte jaune, rose pâle, bleu violacée et violet foncé, la chair présente toute une gamme de teintes allant du blanc au jaune.

#### 1.1.4 Physiologie et multiplication de la pomme de terre

La multiplication de la pomme de terre peut être réalisée par les graines, les tubercules ou les boutures, mais celle réalisée par les tubercules reste la plus utilisée (**Boufarres, 2012**).

Ainsi, ont été définis les deux cycles de multiplication suivants :

##### 1.1.4.1 Cycle sexué

La pomme de terre est très peu produite par graines dans la pratique agricole (**Soltner, 2005**). Ces dernières sont contenues dans le fruit représenté par une baie sphérique ou ovoïde de 1-3 cm de diamètre, de couleur vert brun violacée qui jaunissent à maturité. Leur nombre peut atteindre jusqu'à 200 graines par baie (**Rousselle et al., 1996**).

##### 1.1.4.2 Cycle biologique de la pomme de terre

Le cycle de vie de la pomme de terre dure environ trois à quatre mois, après la récolte la pomme de terre entre en **dormance** où le tubercule ne germe pas (**Boufarres, 2012**). Cette période dépend de la variété et des facteurs abiotiques, depuis la plantation jusqu'à la destruction de l'appareil végétatif (**Martin, 1982**).

En effet, le cycle biologique passe par les cinq phases suivantes (Figure 3) :

- **Phase de germination**

Cette phase dépend étroitement de la température (optimum 20 à 25 °C) et la lumière afin d'obtenir des germes courts et trapus. Entre la récolte et la transformation des yeux en germes, il s'écoule la dormance où, l'évolution du tubercule après la période de dormance conduit à la production des germes à partir des yeux (**Martin, 1982**).

- **Phase de croissance**

Lorsqu'un tubercule germé est planté en terre au stade physiologique adéquat, ses germes se transforment en dessous de sol en tiges herbacés. Les bourgeons axillaires donnent au-dessus du sol, des rameaux et en dessous des stolons (**Soltner, 2012**).

- **Tubérisation**

Ce phénomène commence par un arrêt d'élongation des stolons, suivi d'une croissance du tubercule. La tubérisation est réalisée dès que le diamètre des ébauches est le double de celui des stolons qui les portent. Le stolon souterrain une fois différencié, les cellules et les tissus augmentent de volume en emmagasinant des substances de réserves (**Bernhards, 1998**)

- **Phase de floraison et de fructification**

Durant cette phase, les tiges atteignent leur hauteur définitive et les fleurs complètent leur transformation en fruit. Les feuilles les tiges commencent à jaunir dès que la floraison s'achève, les substances de réserves migrent vers les tubercules pour achever leurs grossissements (**Bourahla, 2007**).

- **Maturation et sénescence des tubercules**

Cette phase dure environ trois semaines les tubercules se caractérisent par la formation de la peau définitive (dure), Ainsi les plantes rentrent en sénescence qui se traduit par le vieillissement de la plante, la chute des feuilles et l'affaiblissement des racines, et les tubercules atteignent leur croissance maximale (**Perennec et al., 1980**).

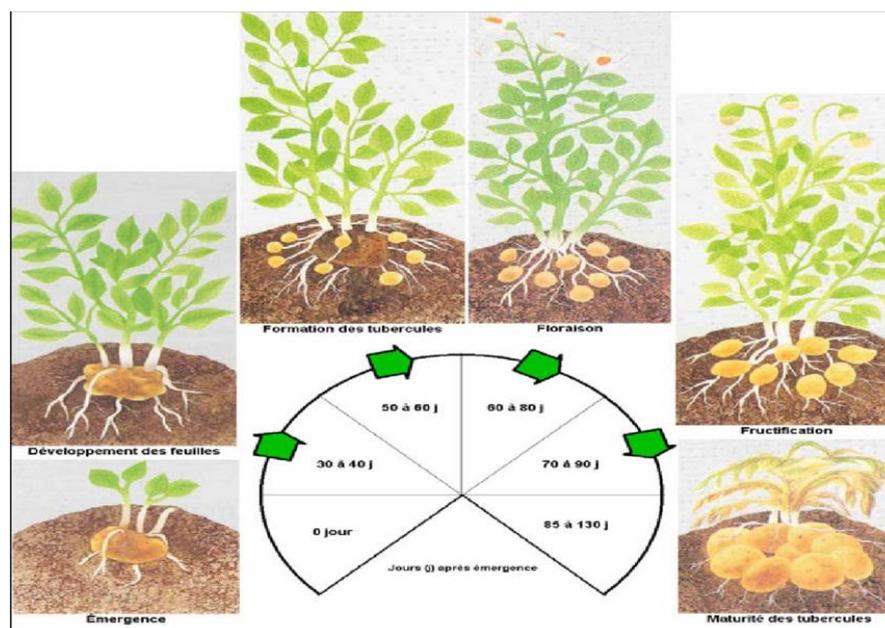
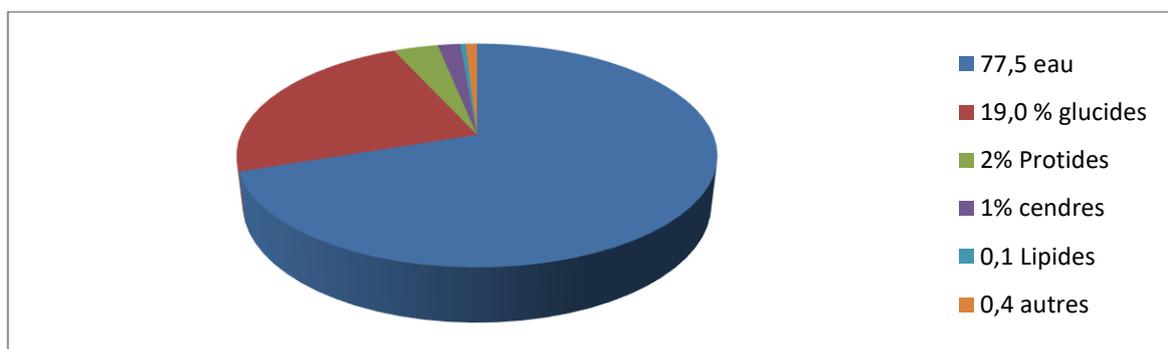


Figure .3 Cycle biologique de la pomme de terre (Soltner, 2012)

### 1.1.5 Composition Biochimique

La composition biochimique de la pomme de terre dépend de l'âge physiologique, des conditions climatiques et des techniques culturales. Celle d'un tubercule est résumée dans la figure 4, elle contient environ les trois quarts de son poids en eau (77,5 %), une quantité élevée de glucides (19,4 %) principalement l'amidon, le saccharose, le glucose, le fructose, la cellulose brute et les substances pectiques, 2 % de protides (protéines, acides aminés libres et bases azotées), 1 % de cendres (majoritairement du potassium) et 0,1 % de lipides, des acides organiques (acides citrique et ascorbique entre autres) et des substances phénoliques (acides chlorogénique et caféique, pigments, etc.) présentes en faible quantité (**Rousselle et al., 1996 ; Mattila et Hellstrom, 2007**).



**Figure. 4 Représentation graphique de la composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre (Deplace, 2007).**

### 1.1.6 Exigences culturales

La culture de la pomme de terre dépend des trois conditions suivantes :

#### 1.1.6.1 Exigences climatiques

**-La température** : la pomme de terre est une culture des régions tempérées qui ne supporte ni la sécheresse ni les fortes pluies, le développement du tubercule est fortement inhibé quand les températures sont inférieures à 10°C et supérieures à 30° (**Laumonnier, 1979**). Une température du sol supérieure à 25°C est défavorable à la tubérisation (**Toumi, 2014**). Les basses températures inférieures à -2°C provoquent le gel des tubercules.

**-La lumière :** la pomme de terre nécessite une bonne luminosité pour que la plante utilise ses capacités chlorophyllienne d'assimilation, ce qui permet le grossissement des tubercules (Laamara et al., 2020).

#### **1.1.6.2 Exigences édaphiques**

**-Texture :** les sols légers bien drainés conviennent à la pomme de terre, elle se développe mieux dans les sols profonds, frais, meubles, pas trop humidifiés. Elle préfère les sols légèrement calcaires, grossières et, pas trop pierreux (Chibane, 1999 ; Clarys, 2005).

**-Ph :** la culture de pomme de terre présente un meilleur rendement dans les sols acides (5,2 - 6,4), l'alcalinité excessive engendre le développement de la galle commune sur tubercules. (Chaumeton et al., 2006).

**-Salinité :** la pomme de terre est relativement tolérante à la salinité par rapport aux autres cultures, le flétrissement de la plante de pomme de terre atteint rapidement si la teneur en sel élevée qui cause un blocage d'absorption d'eau par système racinaire (Boufarres, 2012).

#### **1.1.6.3 Exigences hydriques**

La culture de pomme de terre nécessite beaucoup d'eau surtout au moment de la croissance et l'initiation des tubercules, ses besoins en eau varient au cours du cycle végétal. La sécheresse affecte le développement de la plante par la réduction de l'activité photosynthétique ainsi que, la densité et la durée de végétation du feuillage (Tibault, 2003).

#### **1.1.7 Utilisation de la culture**

La pomme de terre est un produit comestible qui peut être utilisé de plusieurs façons et dans plusieurs domaines, la moitié de la production des pommes de terre produites dans le monde est consommée quotidiennement par l'homme. Cependant, sous forme transformée, elle est destinée pour l'alimentation animale de la ferme et aussi en produits dérivés, fécules pour l'industrie (FAO, 2008).

### **1.1.7.1 Utilisation alimentaire**

La pomme de terre est un légume complet qui contient la plus haute teneur en protéines (environ 2,1 % en poids frais) de toute la famille des racines et tubercules, elle est riche en potassium, en magnésium et aussi en fibres. Son usage alimentaire est sous forme de tubercules frais, déshydratés comme les chips et la farine de pomme de terre qui sont obtenus par séchage. En Europe de l'Est et en Scandinavie, la pomme de terre est utilisée pour produire les boissons alcooliques après avoir subi un traitement thermique (convertir la fécule en sucres fermentés) (FAO, 2008).

### **1.1.7.2 Utilisation industrielle**

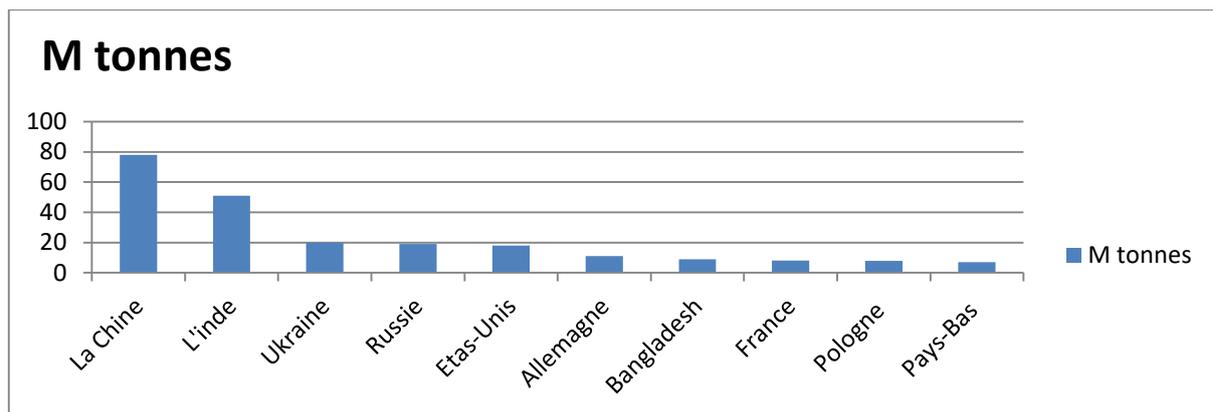
D'après la province canadienne du Nouveau-Brunswick, 5 millions de litres d'éthanol peuvent être produits à partir des déchets issus de la transformation des pommes de terre (liquéfaction des pelures de pomme de terre). La fécule de terre est un remplaçant biodégradable également utilisé dans les produits pharmaceutiques, le bois et le papier, les colles, les adhésifs, les apprêts et le mastic (FAO, 2008).

## **1.1.8 Situation de la culture de Pomme de terre**

### **1.1.8.1 Importance de la culture dans le monde**

La pomme de terre est cultivée dans 150 pays sur 20 millions d'hectares, c'est une des bases de l'alimentation humaine. Elle est considérée comme solution pour pallier la faim dans le monde. D'un autre côté, sa consommation représente plus de la moitié de la récolte mondiale (10 kg par habitant en 1961 à 22kg 2005). Elle est considérée la 3<sup>ème</sup> mondiale et la 1<sup>ère</sup> denrée non céréale évaluée par 359 tonnes en 2020 (FAO, 2022).

Le secteur de la pomme de terre a bien évolué car nous avons pu constater une forte émergence de la production et de la demande de pommes de terre venant d'Asie, d'Afrique et d'Amérique Latine. L'Asie et l'Europe sont devenues les principales régions productrices de pommes de terre fournissant un peu plus de 80% de la production mondiale (figure 6), la Chine est devenue le premier producteur mondial de pomme de terre. L'Asie consomme près de la moitié de la production mondiale (Fanambinana, 2012). Les 10 principaux pays producteurs sont la Chine, l'Inde, l'Ukraine, la Fédération de Russie, les Etats-Unis, l'Allemagne, le Bangladesh, la France, la Pologne et, les Pays-Bas (FAO, 2022).



**Figure .5 Production mondiale de la pomme de terre durant la campagne 2020 (FAO, 2022)**

### 1.1.8.2 Importance de la culture En Algérie

L'Algérie occupe la 17<sup>ième</sup> place parmi les grands pays producteurs dans le monde, cette culture est en première position en Algérie où, 149 465 Ha sont fournis en 2020 (FAO, 2022). Sa production a connu une augmentation intéressante de 54,57 % entre 1991-2007 (Belkhiher, 2013). Les wilayas produisent près de 70% de la production annuelle en 2017 : El Oued (28%), Aïn Defla (12%), Mostaganem (11%), Mascara (8%), Tiaret 4 %, Bouira 4 %, Tlemcen (4% chacune) (Bessaoud, 2018), les principaux 10 Wilayas productrices de pomme de terre Aïn Defla, El oued, Mostaganem, Mascara, Chlef, Tiaret, Tlemcen, Bouira, Skikda, Tipaza (Omari, 2009).

### 1.1.9 Variétés de pomme de terre

La pomme de terre comprend des milliers de variétés, chaque variété est différente par ses caractères dont l'usage, taille, forme, couleur, goût et même par le contenu en amidon (Delaplace, 2007). Il existe 120 variétés inscrites sur le catalogue algérien des espèces et variétés cultivées de pomme de terre, mais les plus produites en Algérie sont : « Spunta », Diamant, Nicolas, Atlas, Désirée, Kondor, Bartina, Timate et Amorosa (DSA, 2014).

### 1.1.10 Problèmes phytosanitaires

La pomme de terre peut souffrir d'un certain nombre de maladies causées par des agents pathogènes, en infectant la racine ou tubercule, provoquent des carences qui fragilisent la plante et, cause leur mortalité précoce. Selon (Bouznad et al., 2008) et (Serail, 2003) les principales maladies et ravageurs et leurs agents causaux sont résumés dans les tableaux 1 et 2.

Tableau .1 Principales maladies de la pomme de terre (Bouznad et al.,2008)

Nom de la maladie	Agent causal	Symptômes
<b>Maladies fongiques</b>		
Le mildiou de la pomme de Terre.	<i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Barry.	- <b>Sur tubercules</b> taches sur la partie externe de tubercule avec une texture granuleuse qui conduit a des pourritures.  - <b>Sur les feuilles et tiges</b> : l'apparition d'un duvet blanc à intérieure des feuilles, les tiges deviennent noirs.
Alternariose de pomme de Terre	<i>Alternaria solani</i> , <i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissel ,	<b>Sur les feuilles</b> : Des lésions typiques avec des taches nécrotiques en anneaux concentriques et halo jaunâtres  <b>Sur tubercules</b> : pourritures brune à noir sèches sur tubercule.
Rhizoctonie (rhizoctone brun)	<i>Rhizoctonia solani</i> (Kuhn.)	- <b>Sur les racines</b> , tiges et les stolons : nécroses rougeâtre sur les racines et pourriture du collet.  - <b>Sur tubercule</b> : la difformité des tubercules.des sclérotés noirs fixés sur le tubercule peut être présents dans le sol aussi.  -Sur les feuilles : l'enroulement, flétrissement et roussissement ainsi que la mort prématurée des fanes
<b>Maladies bactériennes</b>		
La jambe noire de la pomme de Terre.	<i>Erwinia carotovora</i> Sub sp. <i>atroseptica</i> (Van Hall ), <i>Erwinia</i>	- <b>sur les feuilles et tiges</b> : enroulement du sommet, jaunissement, tiges noircissent.

	<i>carotovora</i> Sub sp. <i>carotovora</i> (Johns, 1901).	- <b>sur tubercule et racine</b> : texture mou avec une couleur brunâtre conduit à une pourriture totale, pourritures des racines
Pourriture brune de la pomme de terre	<i>Ralstonia solanacearum</i> (smith, 1986)	-Flétrissement de la plante -flétrissement général ; Pourriture brune de l'anneau vasculaire. -Présence d'un mucus blanchâtre.
Gale commune de la pomme de Terre	<i>Streptomyces scabies</i> (Thaxter , 1992).	-Les symptômes se trouvent généralement sur surface des tubercules et parfois en profondeur de tubercule par des lésions.
<b>Maladies Virales</b>		
-La mosaïque plane de la pomme de terre.	Virus X de la pomme de terre (PVX)	-Mosaïques planes rigoureuse avec décoloration interne
-Le virus de la frisolée de la pomme de terre	Virus Y de la pomme de terre (PVXY)	-Mosaïques foliaires avec des frisolées et nécroses, jaunissement et flétrissement des feuilles.
-Les Viroses de la pomme de terre	Virus A de la pomme de terre (PVA) Virus D de la pomme de terre (PVS) Virus M de la pomme de terre (PVM)	-Déformation enroulement et rigidité des feuilles de la base en forme de cuillère et nanisme de la plante ,sur tubercule nécrose superficielle .

Tableau .2 Principaux ravageurs de la pomme de terre (Sérail, 2003).

Ravageurs	Symptômes et Dégâts
La Teigne de la pomme de terre ( <i>Photmea operculilla</i> )	-Le plus nuisibles dans les zones chaudes. Sur tubercule : creuse les tubercules dans le germes cause des galeries à l'intérieure -Sur les feuilles : flétrissement et mort
Nématodes à kyste <i>Globodera rostochiensis</i> , Nématode à galle <i>Meloidogyne chitwoodi</i>	-Végétation chétive, une réduction du système racinaire ; un feuillage jaunâtre, flétris ou desséché ; une floraison et une fructification réduite ; un retard dans la croissance des plants.
Doryphore ( <i>Leptinotarsa decemlineata</i> )	-Larves et adultes rongent les folioles ; transmission de virus et phytoplasmes. -Défoliation.
<b>Pucerons</b> ( <i>Aphis nasturtii</i> , <i>Aulocorhthum Solani</i> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i> )	-Pas de dégât direct sur le rendement ; transmission de virus et phytoplasmes ; Déformation ; décoloration ; Dessèchement des pousses ; Formation de fumagine sur les feuilles ; Les extrémités des pousses et les fleurs sont colonisées.

### 1.1.11 Méthodes de lutte

La lutte contre les maladies de la pomme de terre résulte de la combinaison de plusieurs méthodes, qui peuvent inclure des pratiques culturales, biologiques, physiques et chimiques.

- **La lutte culturale**

La lutte contre les maladies et les ravageurs demande une approche pour la protection des cultures qui englobe différents stratégies : mesures d'hygiène des prédateurs naturels des ravageurs, le choix variétal résistants aux maladies et ravageurs et des plants certifiés, la

rotation des cultures et le postage biologique pour améliorer la qualité des sols (FAO, 2008), la fertilisation et l'élimination des repousses et des mauvaises herbes par binage limitent et retardent la croissance des populations comme les doryphores. D'autres actions mécaniques et thermiques sont appliquées dans le concept de lutte physique pour détruire, blesser ou stresser les ennemis des cultures, ou pour les éliminer du milieu (Rousselle et al., 1996)

- **La Lutte chimique**

C'est la méthode la plus utilisée elle est basée sur l'application des insecticides, fongicides, et herbicides. L'utilisation des pesticides reste la solution la plus rapide et la plus utilisée les mieux appropriés, on obtient une réduction de quelques maladies (diminution incidence de la teigne en empêchant la fissuration de sol), mais l'utilisation excessive des produits phytosanitaires peut aggraver les problèmes liés aux maladies et ravageurs (Rouag, 2016).

- **La lutte biologique**

La lutte biologique repose principalement sur l'utilisation de divers moyens biologiques dont, les microorganismes utiles tels que les bactéries, les champignons ou les virus, les extraits végétaux ou les axillaires (Chandler et al., 2011). Les travaux sur la lutte biologique des bio agresseurs affectant la culture de pomme de terre ont rapporté l'utilisation des microorganismes mycorhiziens, bactériens tels que les bactéries PGPR dont les Bacillus, les Actinomycètes et les Pseudomonas (Audi, 2016), les Champignons (*Trichoderma*, *Gliocladium*) ont également montré leur activité antifongique contre plusieurs pathogènes du sol et contre des agents pathogènes foliaires (Dodd et al., 2003). Aussi, le chitosan a été également utilisé comme un bio fongicide naturel très efficace Contre la tavelure de la pomme de terre (*Streptomyces scabies*).

## 1.2. Généralités sur les biostimulants d'origine microbienne

Le sol constitue un environnement où, les microorganismes s'interagissent directement ou indirectement, entre eux mais aussi avec les composantes abiotiques du sol et aussi avec les racines des plantes (**Madi, 2016**).

Parmi les groupes fonctionnels qui composent la microflore tellurique, certains jouent un rôle important dans l'amélioration de la croissance et de la survie des plantes, notamment en augmentant la biodisponibilité des minéraux qui est souvent un obstacle majeur au bon développement des plantes. En conséquence, il existe des microorganismes du sol qui sont considérés comme des bio-fertilisants potentiels (**Manga et al.,2017**).

### 1.2.1 Aperçu sur les champignons mycorhiziens

Parmi les nombreux micro-organismes qui existent dans la rhizosphère, on trouve des Champignons microscopiques dont les filaments s'associent aux racines des plantes pour former un nouvel organe appelé « mycorhize » (**Smith et Read, 1997**).

Ce terme a été proposé pour la première fois par Frank en 1885, qui provient des mots grecs « mycos » qui veut dire champignon et « rhiza » qui veut dire racine (**Hoffmann et al. ; 2011**). Il décrit une association symbiotique mutualiste entre plante et champignon mycorhizien (**De Barry,1879 ; Peterson, 2004**).

#### 1.2.1.1 Types de mycorhizes

D'après les critères morphologiques on distingue quatre principaux types de mycorhizes : les ectomycorhizes, les ectendomycorhizes, endomycorhizes et les champignons à arbuscules. (**Wang et Qiu,2006**).

##### ➤ Les ectomycorhizes

Il existe environ 5000 espèces de champignons, appartenant majoritairement aux classes des Basidiomycètes et Ascomycètes qui, établissent des symbioses ectomycorhiziennes (**Bollard, 1982**).

Ce type de mycorhizes entourent l'extérieur du cortex racinaire de la plante hôte avec leur mycélium et forment un manteau et un réseau d'hyphes intercellulaire appelé réseau de Hartig, c'est le haut lieu des échanges nutritifs entre les deux partenaires (**Smith et Read, 2008**).

### ➤ Les ectendomycorhizes

Les ectendomycorhizes sont trouvées seulement chez certaines familles de plantes et appartiennent à l'embranchement des Ascomycota (**Smith et Read, 2008**).

Ce sont des formes intermédiaires entre endomycorhizes et ectomycorhizes. Elles sont caractérisées par un manchon fongique plus ou moins épais et un réseau de Hartig bien développé mais, les hyphes sont courts et pénètrent les cellules corticales (**Yu et al., 2001**).

### ➤ Les endomycorhizes

Ce type de champignon colonise les racines pour compléter leur cycle de vie. Il pénètre les cellules de la racine de la plante, formant des arbuscules, des vésicules ne se cultivent pas et ne sont pas visibles qu'après coloration. Il existe trois types d'endomycorhizes : les endomycorhizes arbutoides des Éricacées, les endomycorhizes des Orchidées et Les endomycorhizes à arbuscules (**Souza, 2015**).

#### 1.2.1.2 Généralités sur les mycorhizes à arbuscules

Ce type d'endomycorhizes est présent chez 72% des espèces végétales vasculaires terrestres (**Brundrett et Tedersoo, 2018**). Les fougères, les lycopodes, plusieurs des conifères, les monocotylédones, les dicotylédones et majorité des plantes à fleurs sont tous pourvus de mycorhizes arbusculaires (**Fortin et al., 2008**).

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) sont des symbioses obligatoires. Pour établir la mycorhization, ils doivent coloniser le système racinaire d'une plante par leur mycélium (**Hopkis, 2003**).

Le mycélium pénètre dans la cellule corticale de la racine hôte et forme des arbuscules, des vésicules et des pelotons dans la cellule végétale. Cette symbiose permet les échanges nutritifs entre les deux partenaires. Le champignon capture les éléments minéraux nécessaires à la plante en échange la plante va transmettre du sucre au champignon et des lipides pour qu'il puisse se développer et accomplir son cycle de vie (**Keymer et al., 2017**).

### 1.2.1.3 Taxonomie

Les premières descriptions de la diversité des champignons mycorhiziens étaient basées sur les caractères morphologiques des spores (couleur, forme, taille, ornementation) (**Morton et Benny, 1990**). Ces critères ont permis de regrouper tous les espèces mycorhiziens a arbuscules dans le phylum des Gloméromycetes et de distinguer quatre ordres :

Les Glomérales, les Paragloméra, les Archéospores et les Diversispora (**Oehl et al., 2011 ; Redcher et al., 2013**).

### 1.2.1.4 Cycle biologique

Pour effectuer un cycle complet de développement, les champignons mycorhiziens doivent nécessairement être associés à un partenaire végétale (**Cavgnar et al., 2001**). La plante accepte la colonisation du champignon sans réaction de rejet d'où la naissance d'une série d'interaction entre les deux organismes (**Dumas-Gaudot et al., 2000**).

La symbiose mycorhizienne arbusculaire commence par le contact entre des racines (spores asexuées ou déjà mycorhiziennes) compatibles avec les hyphes produits par les propagules CMA.

Le cycle de développement des CMA passe par les cinq étapes décrites par **Van der Heijden et al. (2015)** suivantes (figure 8 :

- **Stade 1** : correspond à la germination des spores et l'émergence d'un mycélium primaire, ou pro mycélium.
- **Stade 2** : débute par le contact racinaire et s'achève par le développement d'un hyphopode du champignon.
- **Stade 3** : se traduit par la pénétration du CMA dans la racine et la mise en place de la forme intra-racinaire du champignon. Le mycélium pénètre à l'intérieur du système racinaire, se renfle en vésicules et forme des arbuscules.
- **Stade 4** : la mycorhize ainsi formée produit un réseau extra-racinaire le long duquel sont différenciées de nouvelles spores.
- **Stade 5** : après la maturation, ces spores seront à l'origine du pro-mycélium de départ (stade 1) (**Lenoir ,2016**).

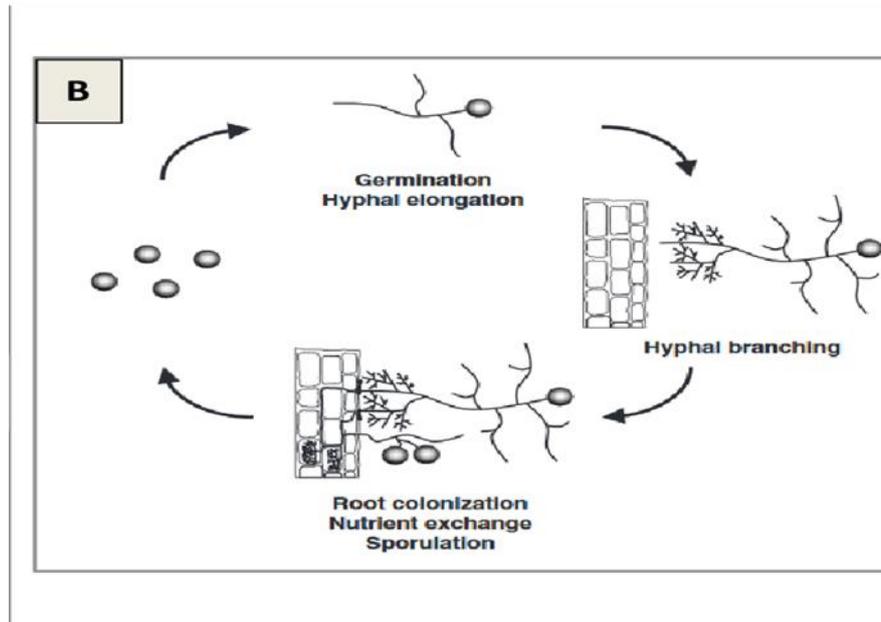


Figure .6 Différent Stades du cycle de développement des CMA (Akiyama , 2007).

### 1.2.1.5 Colonisation racinaire par les CMA

Les CMA produisent des molécules diffuses qui leur permettent d'être reconnus par la plantes. Ces molécules appelées « Mycfactors » induisent l'activation de gène chez la plante hôte relatifs à l'établissement de la symbiose (**Bonfante et Requena, 2011**).

Le champignon forme des hyphes extracellulaires appelés hyphopodium, les cellules végétales réorganisent leur cytosquette et forment un système membranaire de pré- pénétration, qui va permettre au champignon d'entrer dans la racine et d'attendre la zone corticale pour développer des structures hyper ramifiées appelées arbuscules (figure 9). Ces dernières assurent les échanges entre le champignon et la plante grâce à des transporteurs spécifiques (**Smith et Read, 2008**). Après différenciations intra-racinaires, le champignon endomycorhizien produit des spores à partir de son mycélium extra racinaire. Tous ces mécanismes de communication moléculaires sont encore peu connus mais, la recherche progresse régulièrement grâce notamment aux progrès de génomique (**Garbay, 2013**).

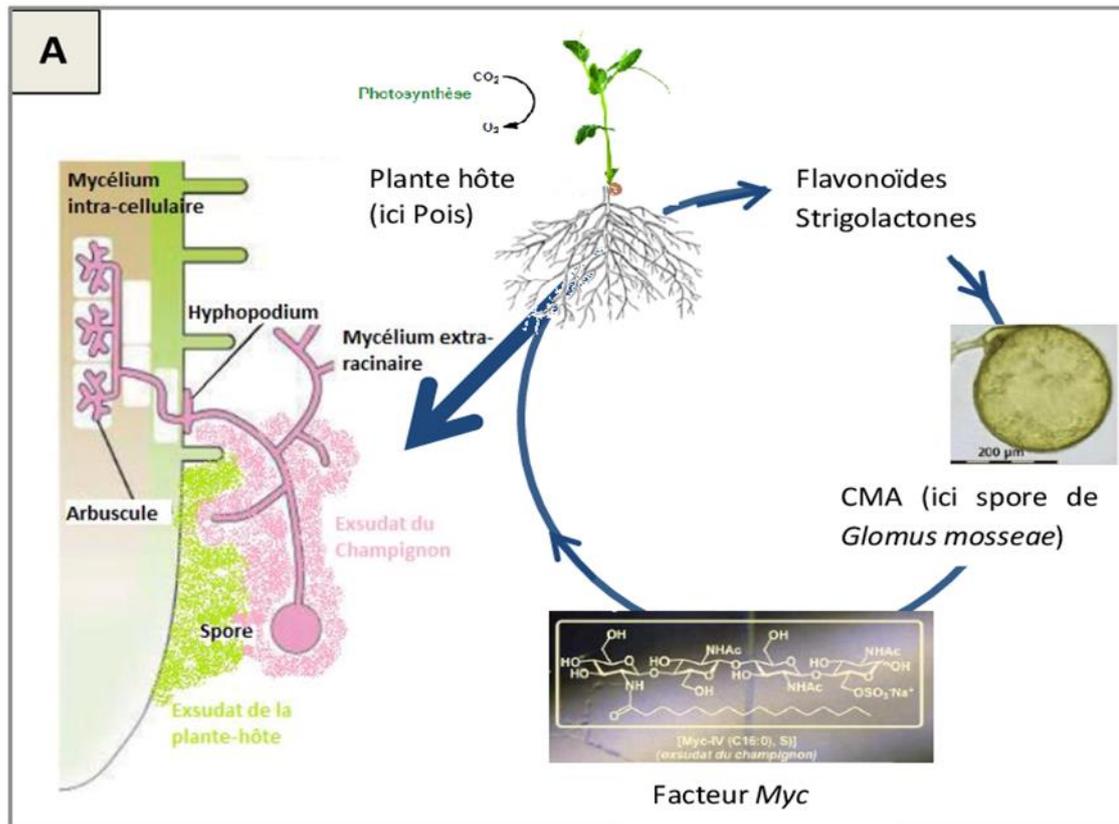


Figure .7 Etapes d'établissement de la symbiose mycorhizienne.

### 1.2.1.6 Ecologie

Les champignons mycorhiziens arbusculaires doivent évoluer dans un environnement approprié pour établir une symbiose pleinement efficace. Ainsi, certains facteurs influencent l'action de ces champignons dans leur symbiose avec les plantes (**Heinemeyer et al., 2004**)

- **La lumière**

Selon **Heinemeyer et al. (2004)**, les champignons CMA obtiennent leurs hydrates de carbone de la plante, une diminution de la photosynthèse due à un manque de lumière peut indirectement affecter la colonisation mycorhizienne, la production de spores et l'élongation du réseau d'hyphes.

- **La plante hôte**

La plante hôte fournit au champignon un abri et une protection physique contre les aléas de l'environnement, comme les variations de température et d'humidité ainsi que les attaques des agents pathogènes (**Garbay, 2013**).

- **Le pH**

Le pH du sol joue également un rôle important dans la mycorhization et la formation des spores (**Azcón Aguilar et al., 1998**). Son optimum varie selon les espèces de plantes hôtes et selon le champignon (**Requena et al., 2007**). Certains auteurs ont affirmé que la colonisation mycorhizienne est élevée pour un pH situé entre 5 et 7, mais demeure faible autour de 4 (**Coughlan et al., 2000**).

### **1.2.1.7 Intérêts bénéfiques**

De nombreux travaux ont démontré les effets bénéfiques des mycorhizes sur l'absorption de l'eau et les éléments minéraux, l'agrégation du sol, la protection contre les organismes pathogènes et la résistance aux stress biotique et abiotique (**Harley et al., 1983**).

L'effet bénéfique des mycorhizes est dû à une amélioration de la nutrition minérale de la plante hôte. L'efficacité du système racinaire mycorhizé est due principalement à une extension de la surface d'absorption et du volume de sol prospecté grâce aux hyphes fongiques (**Gilroy et Jones, 2000**).

Des travaux ont révélé que les CMA transfèrent du phosphore à la plante même sans effet significatif sur sa croissance (**Pearson et Jakobsen 1993 ; Smith et al., 2003 ; 2004**).

La symbiose mycorhizienne à arbuscules est également connue pour induire l'expression de transporteur de phosphore chez la plante (**Nagy et al., 2005 ; Xie et al., 2013 ; Walder et al., 2015**).

Les CMA prélèvent l'azote sous sa forme ammonium (**Lopez- Pedrosa et al., 2006**) et acide aminés (**Cappellazzo et al., 2008**) en utilisant des transporteurs spécifiques localisés au niveau des hyphes extra-racinaires. Une fois prélevée, l'azote est transporté dans les hyphes intracellulaires sous forme d'arginine (**Jin et al., 2005**).

### ➤ **Agrégation du sol**

Les mycelia ont la propriété d'excréter une glycoprotéine nommée « la glomaline ». Les champignons mycorhiziens qui sont très abondants dans certains sols peuvent en produire des quantités importantes, dont plusieurs études ont montré le rôle dans la stabilité structurale du sol. Cette substance assemble les particules les plus fines pour en faire des agrégats dont on connaît le rôle fondamental pour la fertilité des sols, en retenant l'eau et les éléments minéraux et en favorisant les échanges gazeux et l'aération (**Fortin et al., 2008**).

### ➤ Protection des plantes contre les agents pathogènes

Les CMA peuvent influencer sur l'incidence et la sévérité des maladies des racines. Ils influencent sur la qualité et l'abondance de la microflore au voisinage des racines et modifient l'activité microbienne de la rhizosphère globale. Ils provoquent des changements dans la structure de l'exsudation racinaire de l'hôte suite à la colonisation de l'hôte qui modifie l'équilibre microbien dans la rhizosphère. Il a été également confirmé que la colonisation racinaire par les CMA induit une résistance ou une tolérance des plantes face à divers agents pathogènes (**Akhtar et Siddiqui, 2008**).

### ➤ Résistance aux stress de l'environnement

Différents mécanismes faisant intervenir les CMA dans la protection des plants contre des stress biotiques et abiotiques ont été mis en évidence. Ces mécanismes peuvent passer par une augmentation de la nutrition minérale, des changements au niveau du système racinaire, des changements au niveau des populations microbiennes de la rhizosphère et /ou une activation des mécanismes de défense de la plante. En plus d'un avantage nutritionnel et d'une résistance accrue aux maladies (**Smith et Read, 2008 ; Pozo et Azcón Aguilar, 2007**). Les CMA offrent d'autres bénéfices aux plantes comme une meilleure tolérance à la sécheresse, à la salinité et aux métaux lourds (**Augé 2001,2004 ; et al.,2011 ; Amir et al.,2014 ;Augé et al.,2015**) .

Plusieurs mécanismes peuvent être mis en place simultanément et dépendent des conditions environnementales, du temps de l'interaction et des partenaires impliqués (**Azcón-Aguilar et al., 1997 ; Whipps, 2004**).

## 1.2.2 Aperçu sur les *Trichoderma*

### 1.2.2.1 Historique

Le terme « *Trichoderma* » a été introduit dans la mycologie en 1794 par Person. Ces microorganismes cosmopolites appartiennent à un grand ensemble de champignons sans reproduction sexuée connue (**Benkada, 2006**). Il s'agit d'un genre de champignon imparfait regroupant des espèces qui sont les anamorphes d'ascomycètes de la famille des *Hypocreaceae* (*Hypocrea* et genre voisins). En 1902, Oudermans et Koning in **Legrand et al., (2005)** identifiaient des *Trichoderma* de la microflore des sols.

En effet, les *Trichoderma* sont considérés comme des hôtes habituels du sol dont, leur abondance dépend entre autre du taux de matière organique. Ils pénètrent aussi grâce à leur activité cellulolytique, à l'intérieure du bois mort pour le décomposer (**Rayner , 1977**).

### 1.2.2.2 Taxonomie

Les travaux de recherche rapportés par la bibliographie s'efforcent de préciser l'identité taxonomique des isolats de *Trichoderma* se présentent sous les deux formes suivantes :

- La forme parfaite dont le genre est *Hypocrea* appartenant à la classe des *Ascomycètes*, l'ordre des *Spharerailes* et la famille des *Hypocréacées* (**Bellahcene, 1990 ; 1992 in Dajfer, 2011**).
- La forme imparfaite représentée par le genre *Trichoderma*, appartenant à la classe des *Adelomycetes*, l'ordre des *Hyphales* (*Moniliales*) et la famille des *Mucedinacées* (*Moniliacées*) (**Bellahcene, 1990 ; 1992 in Dajfer, 2011**).

En outre, la biologie moléculaire a révélé que des espèces de *Trichoderma* génétiquement différentes, présentent des similitudes morphologiques spectaculaires et leurs caractéristiques se chevauchent ce qui, d'une part explique la longue controverse connue par ce genre auparavant et d'une autre part, montre que les critères morphologiques seuls ne suffisent plus pour une classification incontestable et rigoureuse des formes anamorphes de *Trichoderma* spp. Ce qui explique mieux leur positionnement taxonomique actuel (**Cournut, 1984 ; Sugiyama, 1987**).

En 1991, Bissett a regroupé les espèces agrégées dans les 5 sections distinctes : *Trichoderma*, *Pachybasium*, *Hypocreanum*, *Longibrachiatum* et *Saturnisporum* (**Leuchtmann, 1996**) en se

basant sur la morphologie des conidiospores et, des phialides (**Lieckfeldt et al., 1998 ; Landreau., 2001 ; Dodd et al., 2002**).

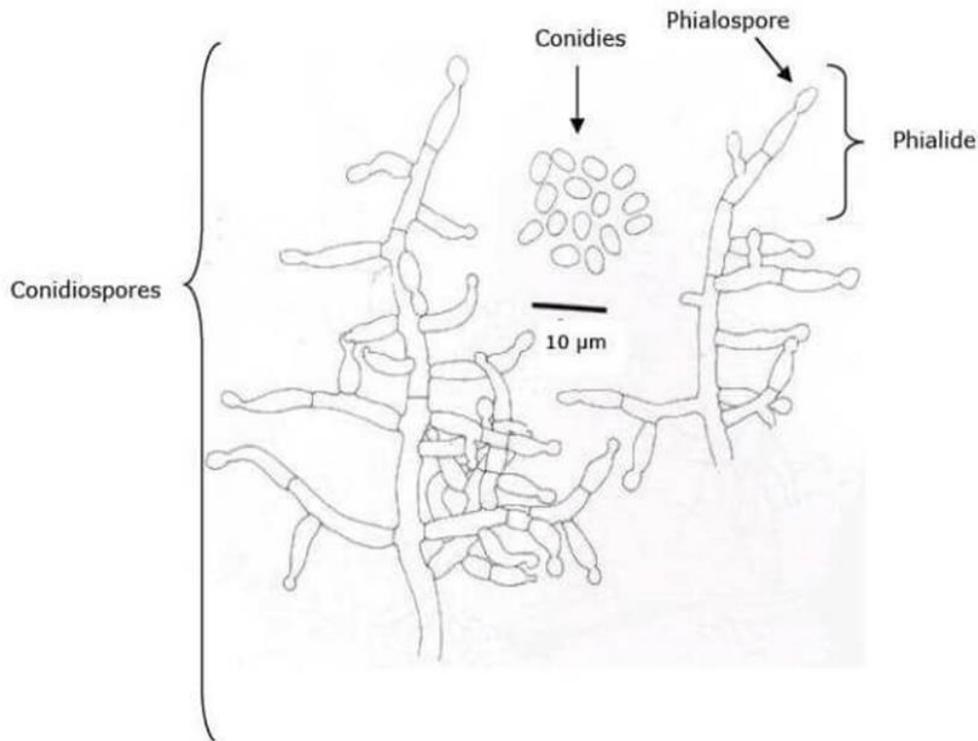
Ainsi, d'après **Bissett et al. (2004)** la position taxonomique actuelle des *Trichoderma* spp. Est la suivante :

- Embranchement : *Amastigomycota*
- Sous Embranchement : *Ascomycotina*
- Classe : *Aordariomycetes*
- Ordre : *Hypocreales*
- Famille : *Hypocraceae*
- Genre : *Trichoderma*

### 1.2.2.3 Morphologie

L'aspect macroscopique de *Trichoderma* est apprécié à partir de leur culture sur géloses nutritives appropriées, réparties en boîtes de Pétri. Les colonies fongiques peuvent être légèrement floconneuses ou bien compactées en touffes. Entre ces deux externes existent des aspects intermédiaires. Les colonies sont colorées en fonction des phialides. Cinq jours après sa germination, la conidie donne naissance à un mycélium d'abord blanc et stérile en forme de cercle. Deux jours plus tard, une couleur vert est visible sur la partie aérienne du mycélium, correspondant à la conidiogénèse. D'autre cercles concentriques réguliers se forment par la suite, et entre le 16<sup>ième</sup> et le 20<sup>ième</sup> jour, un feutrage épais se superpose à la culture (**Domsh et., 1980 in Djafar, 2011**).

Sous microscope optique, on peut observer un mycélium composé d'hyphes jaunâtres, septés, ramifiés portant des phialides en forme de flasques ou de quilles. A leur tour, ces phialides portent des spores (phialidospores ou bien conidies) (figure 10) (**Benkada, 2006**)



**Figure.8 Aspect morphologique d'un conidiophore de *Trichoderma* spp. (Samuels et al., 1994).**

#### 1.2.2.4 Ecologie

Les espèces du genre *Trichoderma* sont largement répandues dans le monde, et se rencontrent presque dans tous les sols et autres milieux organiques (Papavizas, 1985). Elles sont également remarquables pour leur croissance rapide et leur capacité à utiliser différents substrats (Widdén et Abitrol, 1980 ; Kubicek et al., 2003).

Par ailleurs, ces champignons semblent efficaces contre plusieurs agents phytopathogènes telluriques sous serre et au champ, et leur niveau d'antagonisme est étroitement lié aux conditions environnementales (Thrane et al., 2000) mais, il a été affirmé que ces agents préfèrent en générale les sol humides (Duffy et al., 1996). Selon Devet (1981), leurs populations diminuent dans les conditions sèches du sol mais, se maintiennent pour une longue période dans les sols humides. La température optimale de leur croissance est située entre 20 et 28°C. Une bonne croissance est également observée entre 6 et 32°C. Le point thermique de la mortalité dans le sol est de 49 à 55°C pendant 30min. Pour le pH, il doit être compris entre 1.5 et 9 avec un

optimum compris entre 4.5 et 5.5. Une longueur d'onde comprise entre 430 et 490 et /ou 320 et 380 nm favorise la sporulation. Une concentration élevée de sel dans le substrat inhibe la germination des conidies, mais pas la croissance du mycélium (**Subramanian, 1998**).

#### 1.2.2.5 Utilisation de *Trichoderma*

Plusieurs espèces de *Trichoderma* spp. peuvent coloniser les parties de la plante, comme le système racinaire, et les protègent entièrement des agents phytopathogènes telluriques (**Harman et al., 1989**). Selon **Zahou et Reelder (1990)**, ces microorganismes utiles agissent sur le pathogène par antagonisme ou, par l'intermédiaire de l'hôte, qui leur permet de modifier le développement des pathogènes et réduire les maladies qu'ils engendrent.

Par ailleurs, les travaux de **Baker (1988)** et de **Lynch et al., (1991)** ont montré que certaines souches de *Trichoderma* exerceraient une action stimulatrice sur la croissance de certaines plantes. Dans ce cadre, **Lynch et al. (1991)** ont étudié l'effet de *Trichoderma* sur la croissance de la laitue et son aptitude de réduire l'infection causée par *Rhizoctonia solani* kuhn. et *Phytium ultimum* Trow.

En effet, ce n'est qu'à partir de 1990 que ce champignon a été commercialisé sous forme de biopesticide où, les principales espèces utilisées *T. harziaunum* et *T. viride* ont été utilisées comme agents de biocontrôle (**Benkada, 2006**).

#### 1.2.2.6 Mécanismes d'action de *Trichoderma*

Il a été rapporté par la bibliographie que *Trichoderma* peut présenter un ou plusieurs modes d'action en même temps pour maîtriser un agent pathogène. Le déploiement de ses voies varie également selon les partenaires en présence et les conditions physico- chimiques de l'environnement (**Caron, 2002**).

Il a été signalé que *Trichoderma* est plus efficace lorsqu'il s'installe avant l'arrivée des champignons pathogènes. Il permet, au niveau des racines, de créer un manchon protecteur autour de celle-ci pour empêcher l'entrée des agents pathogènes à l'intérieur des racines.

Ce champignon peut montrer un effet phytostimulant sur la plante en absence de l'agent phytopathogène et/ou un potentiel antagoniste face aux agents phytopathogènes (**Caron, 2002**).

Dans ce sens, il a été rapporté que *Trichoderma* agit par antagonisme pour éliminer l'agent phytopathogène et réduire l'infection mais aussi comme phytostimulant selon les différents modes d'action décrits par **Meera et al. (1995)** suivants :

- **L'antibiose** traduite par la production des substances antifongiques ou antibactériennes agissant comme des antibiotiques inhibiteurs de la croissance de l'agent pathogène.
- **La Compétition** qui, se manifeste par l'aptitude de *Trichoderma* à utiliser les mêmes ressources du milieu (aires d'aliment, sites de développement) que le champignon pathogène. Dans ce cas, *Trichoderma* emploie ce mode d'action surtout pour occuper les lieux avant l'arrivée des agents microbiens pathogènes.
- **Le parasitisme** qui, se manifeste par la destruction de l'agent pathogène. Dans ce cas, *Trichoderma* s'enroule autour de celui-ci soit en l'étranglant ou, en pénétrant à l'intérieur pour digérer le contenu cellulaire par les enzymes destructrices.
- **La stimulation**

Les *Trichoderma* peuvent favoriser directement d'une part de croissance végétale ce qui permet d'améliorer le rendement, plus le contrôle direct de la maladie en améliorant la résistance de la plante aux stress biotiques et abiotique (**Meera et al., 1995**).

# **Chapitre 2**

## **Matériels et méthodes**

## 2.1 Présentation et objectifs de l'expérimentation

Ce chapitre a pour objectif de montrer la procédure expérimentale adoptée dans la culture de pomme de terre afin d'évaluer les potentialités biostimulantes de 3 isolats de *Trichoderma* spp. et 2 types de champignons mycorhiziens sur la croissance et le rendement de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). L'expérimentation de notre étude a duré 7 mois, elle a débuté au début du mois de décembre et a pris fin au mois de juin de l'année 2022. Elle repose sur deux parties essentielles : la première partie concerne la mise en culture de la pomme de terre sous l'effet des différents traitements microbiens endémiques en vue d'évaluation de l'ensemble des paramètres de croissance et de rendement de la culture étudiée, la deuxième partie vise l'étude des paramètres de qualité des tubercules de pomme de terre récoltés.

## 2.2 Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé est représenté par un matériel végétal et un matériel fongique.

### 2.2.1 Le matériel végétal

Le matériel végétal est constitué d'un échantillon de tubercules pré-germés de la variété « *SPUNTA* » de pomme de terre, certifiés importés de la Hollande et cultivés la première fois à la wilaya de Mostaganem. Cette variété est destinée à la consommation.

**Tableau .3 Données sur la semence de pomme de terre étudiée.**

L'origine génétique	Béa X U.S.D.A. 96-56
L'obteneur	J. Oldenburger (Pays-Bas)
Morphologie des tubercules	gros, allongé, régulier, des yeux très superficiels avec une peau et chair jaune
Type	Liste A
Maturité	demi précoce
Plante	taille haute, port dressé, type rameux ,feuille ovale et mi ouverte .
Repos végétatif	moyen
Floraison	abondante de couleur blanche
Teneur en matière sèche	faible 19 %

### 2.2.2 Matériel fongique

Le matériel fongique est constitué de deux types d'inoculants fongiques endémiques utiles pour l'agriculture : 3 isolats de *Trichoderma* spp. Et 2 inoculants fongiques mycorhiziens formulés.

Les isolats de *Trichoderma* spp. Utilisés dans notre expérimentation proviennent de la collection conservée dans la mycothèque de Dr Moumene S. ayant fait déjà objet de nombreux travaux de recherche. Ces isolats sont représentés par des cultures fongiques purifiées âgées de 15 jours et développées sur milieu PDA à 25 °C.

Quant aux deux inocula mycorhiziens (MO et BA), ils proviennent de la même mycothèque au laboratoire de Recherche sur les Plantes Médicinales et Aromatiques. Ils sont représentés par les propagules mycorhiziens composés d'arbuscules, de vésicules et de mycélia. Ces isolats fongiques utiles font l'objet d'un projet de recherche de formation universitaire dont le code est (D00L05UN09012210001).

### 2.3 Mise en culture

La mise en culture de la pomme de terre s'est déroulée au niveau de la serre selon deux phases. La première phase correspond à la mise en germination des semences de pommes de terre dans des sachets de culture au niveau de la serre pédagogique du département de biotechnologie et Agro-Ecologie de la faculté de Blida 01. La deuxième phase concerne la transplantation des plants dans des sacs de plus grande de capacité et leur transfert vers la serre en plastique au niveau de la station expérimentale. Ses deux étapes passent par une préparation du substrat, préparation des suspensions fongiques puis, la mise en place de la culture (plantation), son suivi et son entretien en vue d'évaluation des paramètres de croissance jusqu'à la récolte des tubercules et déterminer leurs critères de qualité.

#### 2.3.1 Préparation du substrat

Deux types de substrats ont été préparés pour les deux types d'inocula utilisés pour notre culture :

- **Le substrat de la culture réservé aux isolats fongiques de *Trichoderma* spp.** est composé d'un mélange de 2/3 de sol et 1/3 de la tourbe (Campobello et al., 2002). Le sol non utilisé a été collecté à une profondeur de 25 à 30 cm à proximité de la station expérimentale au niveau du département de biotechnologie et agro-écologie de l'Université de Blida.

Ce dernier a été tamisé à travers un tamis à pores de 3 mm de diamètre pour éliminer les grosses particules et, 40 Sacs de 5kg ont été remplis avec le substrat préparé.

- **Le substrat destiné pour les champignons mycorhiziens** est le même que celui décrit précédemment sauf qu'il a nécessité une stérilisation à la chaleur humide à 100 °C avant leur mise en sac. Chaque quantité de sol a été stérilisée à raison de trois répétitions dont la durée pour chacune était d'une heure.

### 2.3.2 Préparation des suspensions conidiennes fongiques

Pour chacun des 3 isolats fongiques de *Trichoderma* spp., les cultures sur milieu PDA, incubées à 28°C ont fait l'objet de préparation de suspension conidiennes. Dans chaque culture a été versé un volume de 20ml d'eau distillée stérile. Chaque colonie a été individuellement grattée à la surface à l'aide d'une pipette Pasteur stérile près d'une lame de bec benzène, sous hotte à flux laminaire. Les suspensions ainsi préparées pour chacun des isolats ont été séparément récoltés dans des flacons en verre stériles et soigneusement agités à l'aide d'un agitateur Vortex (Caron et al., 2002).

Par la suite, les suspensions préparées pour chacun des isolats ont fait l'objet de détermination des taux de sporulation par comptage à l'aide de la cellule de Malassez sous microscope optique au grossissement (X400). L'ensemble des taux de sporulation déterminés pour chaque isolat de *Trichoderma* spp. ont été ajustées par l'ajout d'un volume d'eau distillée stérile pour atteindre une concentration de l'ordre de  $3 \times 10^7$  spores/ml (Caron et al., 2002).

### 2.3.3 Mise en culture de la pomme de terre

La mise en culture de la pomme de terre comporte les deux étapes essentielles suivantes :

#### 2.3.3.1 Mise en germination et application des traitements

Les tubercules de pommes de terre pré-germés ont été plantés le 20 décembre 2022 dans des sacs en plastique de 5 kg à une profondeur de 5 à 6 cm. Chaque plantule a reçu séparément 40 ml de chacune des suspensions fongiques décrites précédemment (TMS, T5, T11). Cette dernière a été incorporée à la semence avant sa couverture par le substrats (Caron et al., 2002). Ainsi, 10 répétitions ont été considérées pour chaque suspension fongique, en présence d'un même nombre de répétitions (10) pour les plantules témoins.

Par ailleurs, la plantation des tubercules pré-germés de pomme de terre a été effectuée dans des sacs en plastique de 5Kg de sol stérile le 25 Décembre 2022 à une profondeur de 8 cm, en considérant 5 répétitions pour chaque traitement (MO, BA). Après la germination de toutes les plantes le 10 Janvier 2022, 5g de chaque inoculum mycorhizien formulé (MO, BA) a été incorporé individuellement près des racines développées de chaque plant de pomme de terre. Chaque traitement a été réalisé à raison de cinq répétitions. Le même nombre de répétition a été considéré pour les plantes témoins. Les quantités nécessaires en eau ont été apportées régulièrement à la demande pour chaque plante cultivée. Le développement des plantes a été évalué chaque début de semaine pour chaque type de traitement considéré.

### 2.3.3.2 Transplantation des plants

Après 40 jours de la levée, les plantes préalablement traités par les suspensions fongiques de *Trichoderma* spp. ont été attentivement transplantées dans des sacs de culture à raison de deux plantes par sac de capacité 50 Kg et une plante par sac de 25 kg, après 1 jour les plantes nouvellement transplantées ont subi le deuxième traitement tout en respectant les codes des suspensions fongiques. Ainsi, 40 ml de suspension fongique a été apportée pour chaque répétition. Le développement a été évalué pour chaque plante transplantée après une semaine de traitement *jusqu'à* la sénescence (3 mois et demi).

La transplantation des plantes de pomme de terre préalablement mycorhizées par les deux inocula « MO et BA » a été réalisée après 69 jours de la plantation. Elle a été faite à raison d'une plante par un sac de capacité 15 Kg. Le développement de chaque plante de pomme de terre mycorhizée et témoins a été suivi durant 4 mois depuis le semis jusqu'à la sénescence.

La transplantation a été réalisée en considérant le type de traitement et les témoins en évitant respectueusement toute contamination des substrats. L'ensemble des sacs ont été installés dans la serre en plastique selon une randomisation totale (Figure 11).

L'entretien des plantes se résume en 3 arrosages hebdomadaires avec l'eau de robinet avec une élimination quotidienne des mauvaises herbes. La culture a été suivie jusqu'à la sénescence pendant 111 jours pour les traitements à base suspensions fongiques à base de *Trichoderma* spp. et 114 Jours pour les plantes mycorhizées.



**Figure.9 Dispositif expérimental des plantes cultivées de pomme de terre dans les sacs de culture (a) après leur transplantation et leur installation sous serre (b) (originale, 2022).**

## 2.4 Lecture des résultats

Des notations ont été réalisées à tous les stades de la production de plants de pommes de terre traités par les suspensions fongiques des isolats de *Trichoderma* spp. et celles mycorhizées depuis la germination jusqu'au jour de la récolte.

L'impact d'application des isolats fongiques endémiques à base de *Trichoderma* spp. et ceux des champignons mycorhiziens sur la culture de la variété « SPUNTA » de pomme de terre a fait l'objet d'évaluation des paramètres d'études suivants :

### 2.4.1 Evaluation des paramètres de croissance et du rendement des plantes.

Selon **Salmi (2020)** l'évaluation des paramètres de croissance a été réalisée pour chaque répétition des plants cultivés (mycorhizés, ou traités par les suspensions fongiques) selon les stades de développement des plants cultivées de la variété « SPUNTA » par le contrôle des :

- **taux de germination des tubercules** correspondant au nombre de tubercules germés par rapport au nombre de tubercules semés exprimé en %, ont été évalués pour chaque traitement et les témoins chaque 3 jours, depuis le jour de semis jusqu'à 15 jours.

- **Le dénombrement** a porté sur les tiges ainsi que sur les feuilles des plantes cultivées pour chaque plante selon les traitements et les témoins alors que, les mensurations ont été effectuées à l'aide d'un mètre ruban sur la longueur et le diamètre des tiges. L'ensemble des

paramètres décrits précédemment ont été relevés durant les périodes de 25, 33, 41 et 50 jours d'incubation pour les isolats de *Trichoderma* spp. mais après 40, 48, 56 et 64 jours d'incubation en ce qui concerne les champignons mycorhiziens.

- Quant à la récolte des tubercules, elle a été réalisée durant le défanage de plantes cultivées. Le rendement en nombre de tubercules a été relevé pour chaque plante puis, il a été conservé en sac codé dans un endroit sec et sombre. Le poids total des tubercules produits par plante ainsi que le poids d'un tubercule ont été mesurés à l'aide d'une balance électronique.

De même, le calibre des tubercules produits par les plantes a été mesuré selon les traitements à l'aide d'une mètre ruban .

#### 2.4.2 Evaluation des Teneurs en pigments foliaires

L'extraction de la chlorophylle des végétaux permet d'obtenir une solution chlorophyllienne qui va servir pour déterminer les teneurs de la chlorophylle-a, la chlorophylle-b et les Caroténoïdes selon les traitements fongiques et mycorhiziens considérés.

Pour cela, 0,25 g de feuilles fraîches ont été récoltés séparément à partir des plantes cultivées selon chaque traitement. Le prélèvement des échantillons de feuilles a été réalisé séparément selon les deux périodes distinctes 30 jours et 51 jours à raison de trois répétitions par échantillon.

Les feuilles ont été séparément broyées dans un mortier à l'aide d'un pilon avec 5 ml d'acétone à 80 %. Chaque solution chlorophyllienne obtenue a été filtrée à travers un entonnoir renfermant du papier filtre wattman dans une fiole jaugée portant le volume 25 ml où, on a rajouté de l'acétone jusqu'à un volume de 12,5 ml.

Chaque extrait foliaire cétonique a fait l'objet de lecture d'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre respectivement aux 3 longueurs d'onde 663, 646 et 470 nm.

Les teneurs correspondant à la chlorophylle (a et b) et aux Caroténoïdes ont été calculées selon les équations décrites par **Linchtenthaler (1987)** suivantes :

- **Ca (chlorophylle-a)** =  $12.25A_{663} - 2,79A_{646}$
- **Cb (chlorophylle-b)** =  $21,5A_{646} - 5,1A_{663}$

- $Cc+x$  (Carotène) =  $(1000 A_{470} - 1,82C_a - 85,02C_b) / 198$
- $C_{abs} = 7,15A_{663} + 18,71A_{646}$

Où :

- A 663, A 646, A 470 : valeurs d'absorbance lues aux longueurs d'ondes retenues.
- C a :  $11,25A_{663} - 2,79A_{646}$
- C b :  $21,50A_{646} - 5,10A_{663}$

### 2.4.3 Pouvoir colonisateur des isolats fongiques utiles testés

Selon la méthode décrite par **Bellibel (2019)** la mise en évidence de la colonisation racinaire par chacun des isolats de *Trichoderma* spp. Étudié a été réalisée sous hotte à flux laminaire en présence d'une flamme de bec benzène. Ainsi deux répétitions ont été considérées pour chaque échantillon de plante cultivée selon les étapes suivantes :

- Prélèvement des fragments racinaires de chaque plante traitée plus le témoin,
- Rinçage des fragments à l'eau de robinet pour débarrasser des débris du sol,
- Désinfection en les émergeant dans une solution d'eau javel à 2% pendant 10 min, puis rinçage 3 fois à l'eau distillé stérile.
- Séchage des racines avec papier stérile puis leur découpage et leur prélèvement dans des boîtes Pétri contenant du milieu PDA (bouillon de pomme de terre, dextrose-agar) voir annexe 2.
- L'incubation des boîtes de Pétri a été faite dans une étuve réglée, à 25° C pendant 7 jours .

### 2.4.4 Pouvoir mycorhizogène des isolats fongiques mycorhiziens

Les racines prélevées de chaque plante cultivée selon chaque traitement considéré ont été séparément lavées à l'eau de robinet et, les plus fines ont été choisies et découpées en 30 fragments de 1 cm de longueur, puis mises dans une solution KOH à 10% dans un bain marie pendant une durée d'incubation 1 heure à 90°C pour vider le contenu cellulaire. Un deuxième rinçage a été effectué pour les immerger dans une solution lacto-glycérol.

Elles ont été par la suite, colorées avec une solution colorante à base de bleu de Trypan pendant 10 min à 90 °C dans le bain marie selon la technique de coloration des racines décrite par **Philips et Hayman (1970)**. Ainsi, six fragments de racines ont été déposés sur la lame

puis, recouverte avec une lamelle à fin d'observer à l'aide d'un microscope optique respectivement aux grossissements (X125) et (X500).

### ➤ Évaluation des paramètres de mycorhization

L'évaluation de la mycorhization a été réalisée pour les racines des plantes cultivées de pomme de terre pour chacun des isolats mycorhiziens (MO, BA) et les témoins.

Dans ce sens, l'infection Mycorhizienne et l'intensité globale de mycorhization a été évalué selon la formule décrite par Trouvelot *et al.* (1986) suivante :

- Le degré de mycorhization a été effectué selon un barème composé de classes notées de 0 à 5 (Figure 13).

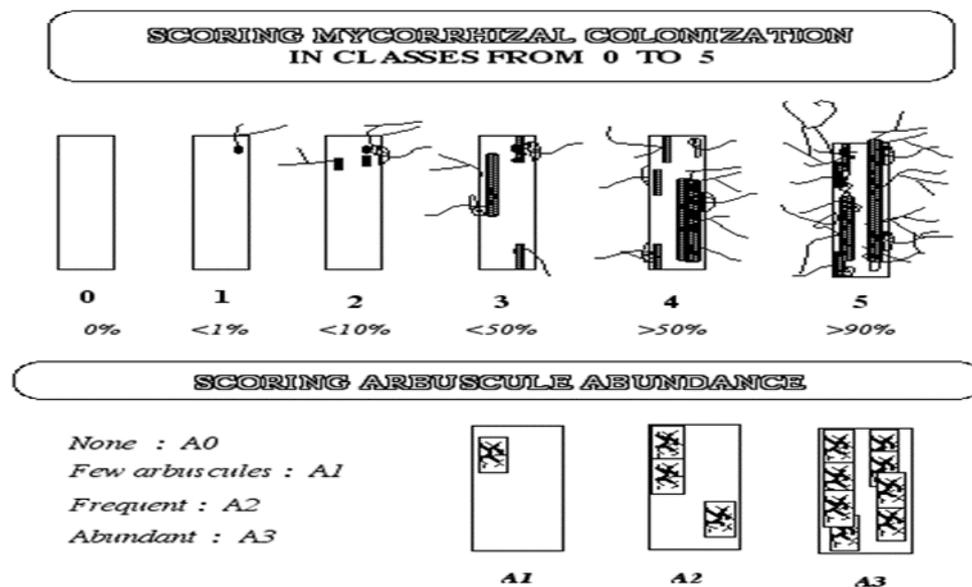


Figure.10 échelle de notation de degré de mycorhization racinaire (Trouvelot *et al.*, 1986)

### ➤ Fréquence de mycorhization

- La fréquence de mycorhization (F%)

$$F (\%) = \frac{\text{Nombre de fragments mycorhizés}}{\text{nombre de fragments observés}}$$

- **Intensité de mycorhization (M%)** correspondant à la proportion de fragments racinaires observés colonisés par les champignons mycorhiziens (CMA). Son calcul est établi selon l'équation décrite par Trouvelot *et al.* (1986) suivante :

$$M (\%) = \frac{95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2}{\text{nombre totale de fragments observés}}$$

- $n_5$  = nombre de fragments notés 5,
- $n_4$  = nombre de fragments notés 4,

- **n3**=nombre de fragments notés 3,
  - **n2**=nombre de fragments notés 2,
  - **n1**=nombre de fragments notés 1
  - **Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés ou** proportion de la partie mycorhizée du système racinaire exprimé en %).
- $$m\% = M * (\text{nombre total de fragments observés}) / (\text{nombre de fragments mycorhizés})$$

Où :

- **m%**= Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés
- **M%**= Intensité de mycorhization
- **Intensité arbusculaire (a%) de la partie mycorhizée ou teneur arbusculaire de la colonisation ramenée au système racinaire entier.**

$$a\% = (100mA3 + 50mA2 + 10mA1) / 100$$

- **mA3, mA2, mA1** : pourcentage de m respectivement affectés des notes A3, A2, A1
- **mA3** =  $(95n5A3 + 70n4A3 + 30n3A3 + 5n2A3)$
- **mA2** =  $(95n5A2 + 70n4A2 + 30n3A2 + 5n2A2)$
- **mA1** =  $(95n5A1 + 70n4A1 + 30n3A1 + 5n2A1)$

## 2.4.5 Evaluation de quelques critères de qualité des tubercules produits de pomme de terre.

Cette partie repose sur la détermination des propriétés physiques, biochimiques et, chimiques des échantillons de tubercules de pomme de terre produits sous effet des isolats fongiques et mycorhiziens endémiques étudiés comparés à ceux des témoins. Les critères de qualité évalués sont résumés ci-dessous :

### 2.4.5.1 Evaluation de la teneur en eau et en matière sèche (MS)

La détermination de la teneur en eau (% d'humidité) a été évaluée en utilisant un four à moufles de marque « ISOLABE » pour chaque échantillon frais de tubercules de pomme de terre produit sous l'effet des différents traitements à raison de trois répétitions par échantillon.

D'abord, les creusets en céramique vides ont été préalablement pesés à l'aide d'une balance de précision après les avoir lavés et séchés dans un four à moufle réglé à 120°C pendant 10min.

Dans chaque creuset a été ajouté 10g d'échantillon frais de chair de tubercule de pomme de terre. Ces derniers ont été placés dans le four à moufles réglé à 200 °C pendant 24 h. Les

creusets sont soigneusement récupérés dans un dessiccateur en verre renfermant du silicagel séché juste après leur sortie du four pour refroidir et préserver les échantillons à l'abri d'humidité avant de les peser dans leurs creusets une deuxième fois.

-La teneur en eau a été déterminée par la différence entre le poids frais d'échantillon et la matière sèche (MS), selon la formule suivante :

$$H\% = (M0 - M1) / M0 * 100$$

**Avec :**

**H%** : Teneur en eau .

**M0** : la masse initiale avant séchage.

**M1** : la masse après séchage.

- La teneur en MS est calculée selon la formule suivante :

$$MS\% = 100 - H\%$$

**Avec :**

**MS%**=Teneur en matière sèche

#### **2.4.5.2 Evaluation des teneurs en matière minérale et en matière organique**

La détermination des teneurs en matière minérale (ou taux de cendres) a été évaluée selon la méthode décrite par **Afron (1982)**, pour chacun des échantillons frais de tubercules de pomme de terre produits sous l'effet des différents traitements a raison de trois répétitions par échantillon.

En effet, les creusets contenant la matière sèche décrits précédemment ont été placés à nouveau dans le four à moufles réglé à 550°C pendant 5h jusqu'à obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre. Les creusets ont été placés à nouveau dans le dessiccateur en verre avant leur pesés à nouveau (**AOAC, 1990; 1995; 1999**) .

- La teneur en MO est déterminée selon la formule suivante :

$$MO\% = (M_1 - M_2) \div M_1 \times 100.$$

- La teneur en MO est déterminée selon la formule suivante :

$$MM\% = 100 - MO\%$$

**Avec :**

**MO%** : teneur en matière organique

**M<sub>1(g)</sub>** : masse de prise d'essai

**M<sub>2(g)</sub>** : masse de cendres

### 2.4.5.3 Evaluation des teneurs en sucres totaux

Le dosage des teneurs en sucres totaux a été réalisé selon la méthode **Dubois et al. (1956)** et **Gitin et al. (2012)**. Il nécessite la préparation des extraits éthanoliques à partir des échantillons secs de tubercules de pomme de terre. Ainsi, trois répétitions ont été considérées pour chaque échantillon de tubercules de pomme de terre produits sous l'effet des différents traitements.

Dans ce sens, deux pommes de terre de chaque traitement à base des isolats fongiques de *Trichoderma* spp. et de champignons mycorhiziens ainsi que les témoins ont été séparément lavés, pelés puis, découpés en très fines tranches, à l'aide d'une trancheuse de légumes et déposer dans des boîtes de Pétri en verre contenant du papier absorbant pour éliminer leur excès d'eau après leur incubation dans l'étuve réglée à 40°C pendant 1h à l'abri de la lumière. Les échantillons de fines lames de pomme de terre séchées ont été réduits en poudre par un broyeur électrique puis stocké individuellement dans des petits sacs codifiés.

En effet, la préparation des extraits éthanoliques réalisée selon là de **Gitin et al. (2012)**, consiste à prélever de chaque échantillon de poudre de chair de pomme de terre 1,5g pour la mettre en contact avec 7,5 ml d'éthanol à 70 %. Chaque extrait éthanolique préparé est ensuite placé dans une centrifugeuse réglée a 4000 rpm pendant 10min.

La teneur totale en sucres a été déterminée selon la méthode phénol-acide sulfurique décrite par **Dubois et al. (1956)**. Elle consiste à diluer 1 ml de chaque extrait éthanolique préparé précédemment par 5ml d'eau distillée puis, le mélanger avec 1 ml de phénol préparé à 5% et 5ml d'acide sulfurique à 98% dans les tubes à essai. Les tubes ainsi préparés sont laissés refroidir pendant une heure. La lecture de l'absorbance des extraits a été faite à la longueur d'onde de 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Les teneurs en sucres totaux ont été calculées à partir d'une courbe d'étalonnage linéaire établie à différentes concentrations de glucose comme standard de référence selon l'équation

décrite par de nombreux auteurs dont, **Dreywood (1946)**, **Dubois et al. (1956)**, et **Malik et Singh (1980)** suivante :

$$y = 0.0248x + 0.0003$$

Où:

- **y** : désigne l'absorbance à une longueur d'onde 490nm.
- **x** : la concentration des sucres totaux en mg/ml.

#### 2.4.5.4 Evaluation des teneurs en polyphénols totaux

Le dosage des teneurs en polyphénols totaux a été réalisé pour chacun des échantillons secs de tubercules de pomme de terre produits sous l'effet des différents traitements à raison de trois répétitions par échantillon selon la méthode décrite par **Singleton et al. (1999)**. Ce qui nécessite la préparation des extraits méthanoliques à partir de la poudre de chair de chaque échantillon de tubercules.

Ainsi, 3g de la poudre de tubercules de pomme de terre sont placés dans des flacons stérilisés contenant 30 ml de méthanol. Ces derniers sont placés dans un incubateur shaker de marque « INNOVA 42 » réglée à l'agitation horizontale de 120 rpm et à la température de 20°C pendant 72 heures.

Le mélange est filtré et récupéré séparément dans des boîtes de Pétri en verre puis, placées dans une étuve réglée à 40°C pendant 24h pour éliminer les traces de solvant. Après évaporation 5mg de chaque extrait méthanoliques sec est dilué par 5 ml du méthanol (**Matkowski et Piotrowski, 2006**).

Le dosage des poly phénols totaux a été réalisé selon la méthode du réactif de Folin- Cicalteu (**Singleton et al., 1999**). Ce réactif de couleur jaune est réduit en un mélange d'oxydes bleu de tungstène et de molybdène lors de l'oxydation des phénols (**Ribéreau-Gayon, 1968**). La couleur produite, dont l'absorption maximale à 765 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Boizot et Charpentier, 2006**).

Dans ce sens, 200 µl d'extrait méthanolique préparé est mélangé avec 1000 µl de réactif Folin-Ciocalteu fraîchement préparé (10 fois dilué avec l'eau distillée) et 800 µl de carbonate de sodium Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 7.5% (7.5g dans 100 ml). Le mélange obtenu a été incubé pendant 30

mn à la température ambiante. La lecture de l'absorbance a été réalisée au spectrophotomètre UV-VIS à une longueur d'onde de 765 nm.

Les différentes concentrations des polyphénols totaux contenus dans les extraits sont calculées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique, selon la formule suivante :

$$y = 0.0075x + 0.0289$$

Où :

- **y** : les absorbances lues à longueur d'onde de 765nm,
- **x** : la concentration des polyphénols ( $\mu\text{g EAG/g}$  de MS).

#### **2.4.5.5 Evaluation de la qualité microbiologique des tubercules de pomme de terre**

La qualité microbiologique a été déterminée selon l'échelle de notation décrite par **Jouve J-L, (1996)** et l'**AFSSA** pour chacun des échantillons de tubercules de pomme de terre étudiée à raison de deux répétitions par échantillon. Elle a été basée sur la détermination des unités de colonies fongiques formées par ml d'extrait cru frais de la chair de tubercule de pomme de terre.

La préparation des extraits crus frais de la chair des tubercules de pomme de terre a été réalisée dans les conditions aseptiques sous hotte en présence d'une flamme de bec benzène selon les étapes suivantes :

- Rinçage à l'eau de robinet puis, désinfection des tubercules de pomme de terre avec eau de javel à 2 % pendant 10min pour éliminer tous les contaminants microbiens,
- Rinçage 3 fois avec l'eau distillée stérile.
- Râper la chair du tubercule de la pomme de terre dans des flacons et filtration des fins fragments à travers une passoire et petites mailles (maintenir le rinçage de la passoire après chaque filtration).
- Récupérer les extraits crus séparément dans des boîtes de Pétri stériles.
- L'isolement des colonies fongiques et bactériennes a été réalisé respectivement

sur les milieux de cultures PDA (Potato-Dextrose-Agar) et LPGA (Extrait de levure-Peptone-Glucose-agar)(Compositions en annexes 2 et 1).

L'isolement consiste à verser séparément deux gouttes de chaque échantillon d'extrait cru préparé dans une boîte de pétri, dans laquelle a été coulé le milieu PDA ou le milieu LPGA puis les boîtes ont été légèrement agitées sous forme de « 8 » afin de mieux répartir les échantillons des extraits crus. L'incubation des boîtes a été réalisée après solidification des milieux dans une étuve réglée à la température de 28°C pendant 24 h pour les bactéries et 25° C pendant 7 jours pour les champignons.

La détermination de la présence des colonies fongiques et bactériennes a été faite visuellement à l'œil nu, alors que leur dénombrement a été fait à l'aide d'un compteur de colonies.

## 2.5 Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisé pour l'ensemble des paramètres évalués dont, les taux de germination, les paramètres de croissance des plants cultivés tels que le nombre, la longueur, le diamètre des tiges, la densité foliaire, teneurs en pigments foliaires, le nombre, le poids et le calibres des tubercules, les teneurs en eau, en matière sèche, matière organique, matière minérale, teneurs en sucres totaux, teneurs en composés phénoliques totaux des tubercules ainsi que les paramètres de colonisation Mycorhizienne.

Elle a été effectuée au moyen du logiciel Minitab, en déterminant la variance à l'aide de le modèle GLM alors que le test de Tukey HSD (Honestly Significant Different) a été utilisé pour classer les isolats fongiques et mycorhiziens endémiques en groupes homogènes. Les différences ont été considérées significatives pour  $P \leq 0,05$  (Philippeau, 1989).

# **Chapitre 3**

## **Résultats Et Discussion**

### 3.1 Taux de germination des semences

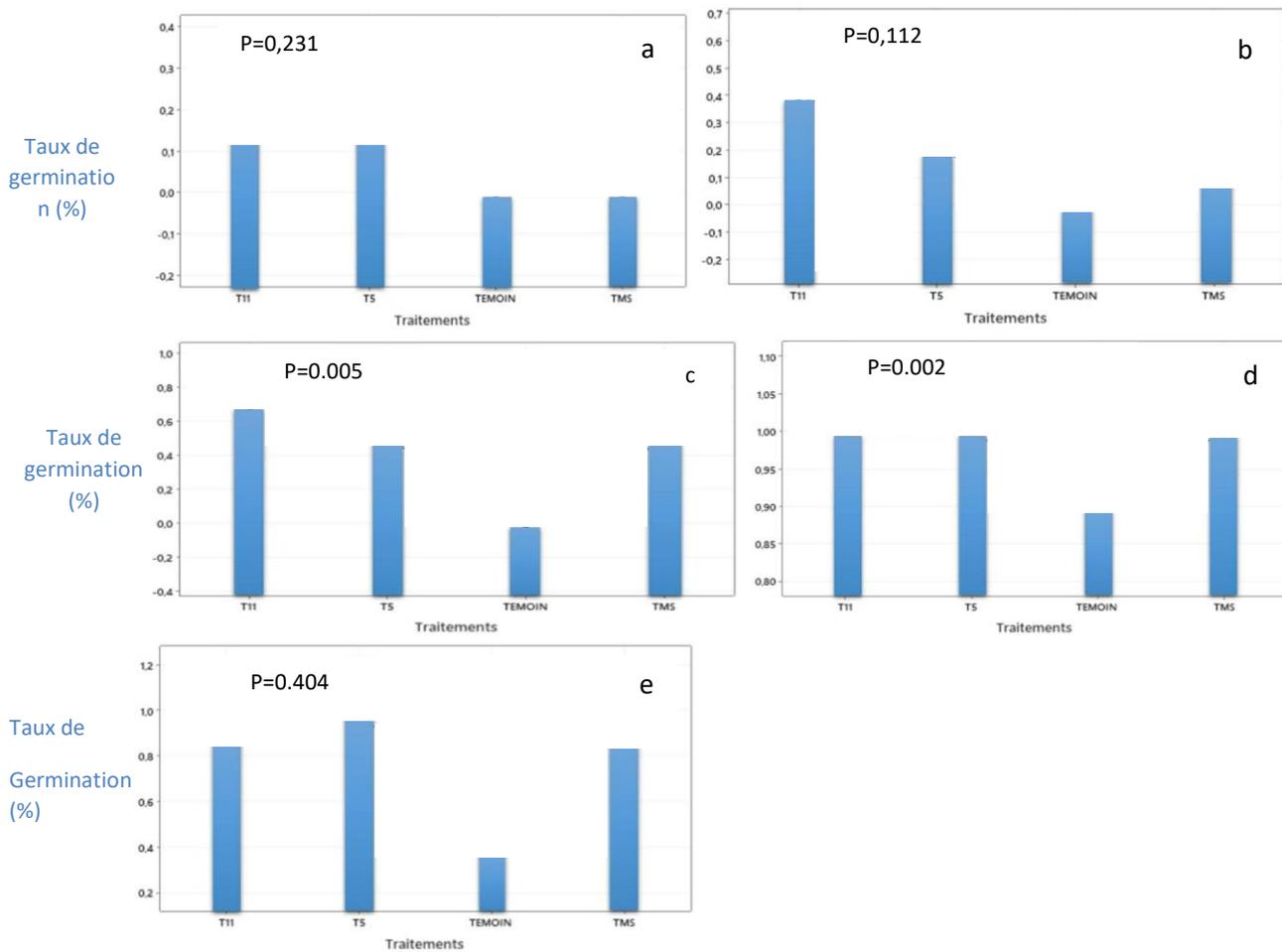
Les taux de germination n'ont montré une variabilité sous l'effet des traitements considérés seulement pour les périodes d'incubation de 9<sup>ième</sup> et 12<sup>ième</sup> jour où, des différences significatives ont été respectivement enregistrées ( $P=0,005$  ;  $F= 4,520$ ) ( $P= 0,002$  ;  $F=6,290$ ) (voir annexe 3).

Une évolution temporelle a affecté la germination. Les taux de germination enregistrés étaient compris entre 0 à 20% durant le 3<sup>ième</sup> jour, 0 à 40% durant le 6<sup>ième</sup> jour, 0 à 70% au 9<sup>ième</sup> jour, 40 à 100% au 12<sup>ième</sup> jour et 90 à 100% au 15<sup>ième</sup> jour (Figure 12).

Le test de Tukey a permis le classement des traitements en groupes homogènes selon les taux de germination enregistrés seulement au 9<sup>ième</sup> et au 12<sup>ième</sup> jour après le semis. Cependant, les traitements ont été classés dans un seul groupe avec les témoins au cours des autres périodes d'incubation (3, 6 et 15<sup>ième</sup> jour) (tableau 4) :

- ❖ Ainsi, au 9<sup>ième</sup> jour, le classement des traitements a été établi en trois groupes homogènes suivants :
  - Groupe 1 correspond à l'isolat T11 ayant montré un taux de germination le plus élevé (70%).
  - Groupe 2 renferme les deux isolats T5 et TMS dont les taux de germination sont de 50%.
  - Groupe 3 correspond aux témoins n'ayant pas encore montré de germination (0%).
- ❖ Cependant, les traitements ont été classés en deux groupes homogènes au 12<sup>ième</sup> jour :
  - Groupe 1 renferme l'ensemble des isolats de *Trichoderma* spp. T11, T5 et TMS avec des taux de germination enregistrés de 90 à 100%.
  - Groupe 2 correspond aux témoins dont, les taux de germination ont atteint 40%.

Dans ce sens, nous confirmons le pouvoir biostimulant des trois isolats de *Trichoderma* spp. testés sur la germination des tubercules de semences de la variété « SPUNTA » de la pomme de terre.



a : 3J , b : 6J, c : 9J, d : 12J, e : 15J, T5, TMS, T11 : isolats de *Trichoderma* spp.

**Figure .11 Analyse de la variance des taux de germination des semences de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d’isolats de *Trichoderma* spp. et selon les périodes d’incubation.**

**Tableau .4 Classement des traitements selon les taux de germination des semences de Pomme de terre par le test de Tukey et, selon les périodes d’incubation.**

Traitements	Répétitions	3J		6J		9J		12J		15J	
T5	10	20%	A	20%	A	50%	AB	100%	A	100%	A
T11	10	20%	A	40%	A	70%	A	90%	A	100%	A
Témoïn	10	0%	A	0%	A	0%	B	40%	B	90%	A
TMS	10	0%	A	10%	A	50%	AB	90%	A	100%	A

### 3.2 Paramètres de croissance végétative

Une variabilité a affecté la biomasse foliaire des plantes cultivées de pomme de terre sous l'application de traitements à base des isolats de *Trichoderma* spp. En comparaison avec les plantes témoins (figure 13a). Cependant, l'effet des traitements à base de champignons mycorhiziens semble plus significatif sur la taille et la biomasse végétale des plantes cultivées de pomme de terre (figure 13b).



T5, TMS, T11 : isolats de *Trichoderma* spp., MO, BA : isolats fongiques mycorhiziens.

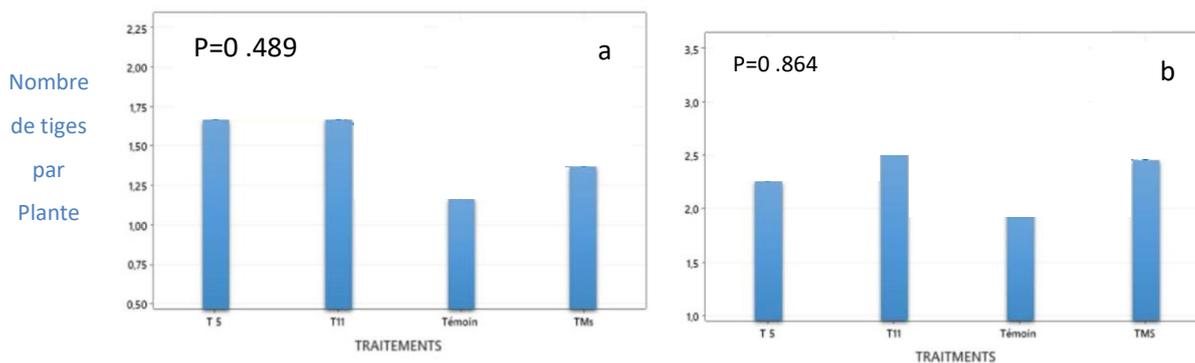
**Figure. 12** Variabilité morphologique des plantes cultivées de pomme de terre âgées respectivement de 71 jours (a) et 91 jours (b) selon les traitements appliqués à base d'isolats de *Trichoderma* spp. Et des isolats fongiques mycorhiziens.

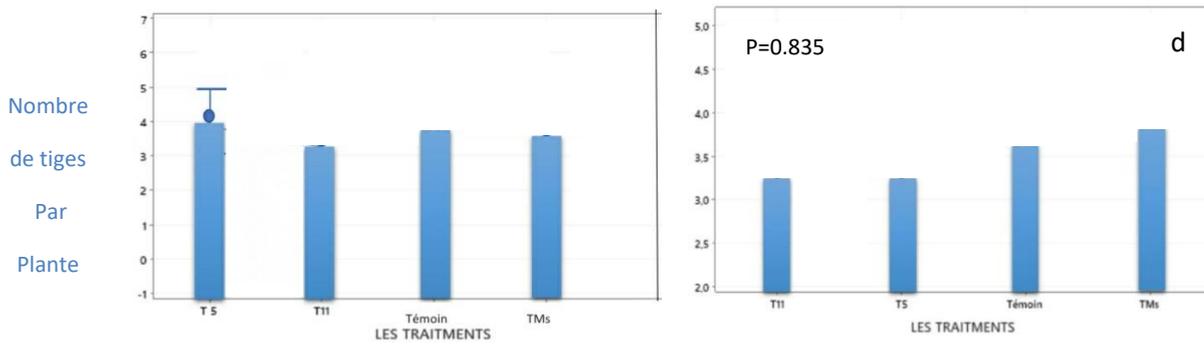
### 3.2.1 Nombre des tiges par plante cultivée

Le nombre de tiges développées par plante cultivée de pomme de terre n'a pas été affecté par l'effet des différents traitements à base des isolats de *Trichoderma* spp. Selon les différentes périodes d'incubation considérées du moment que toutes les probabilités enregistrées n'ont pas montré de différences significatives ; elles ont toutes dépassé 5% (voir annexe 4). Il en est de même pour l'effet des isolats fongiques mycorhiziens à l'exception durant la période d'incubation de 56j où, la probabilité enregistrée était significative ( $P=0,003$ ,  $F=4,61$ ) (voir annexe 5).

En effet, le nombre de tiges développées par plante était variable selon les périodes d'incubation.

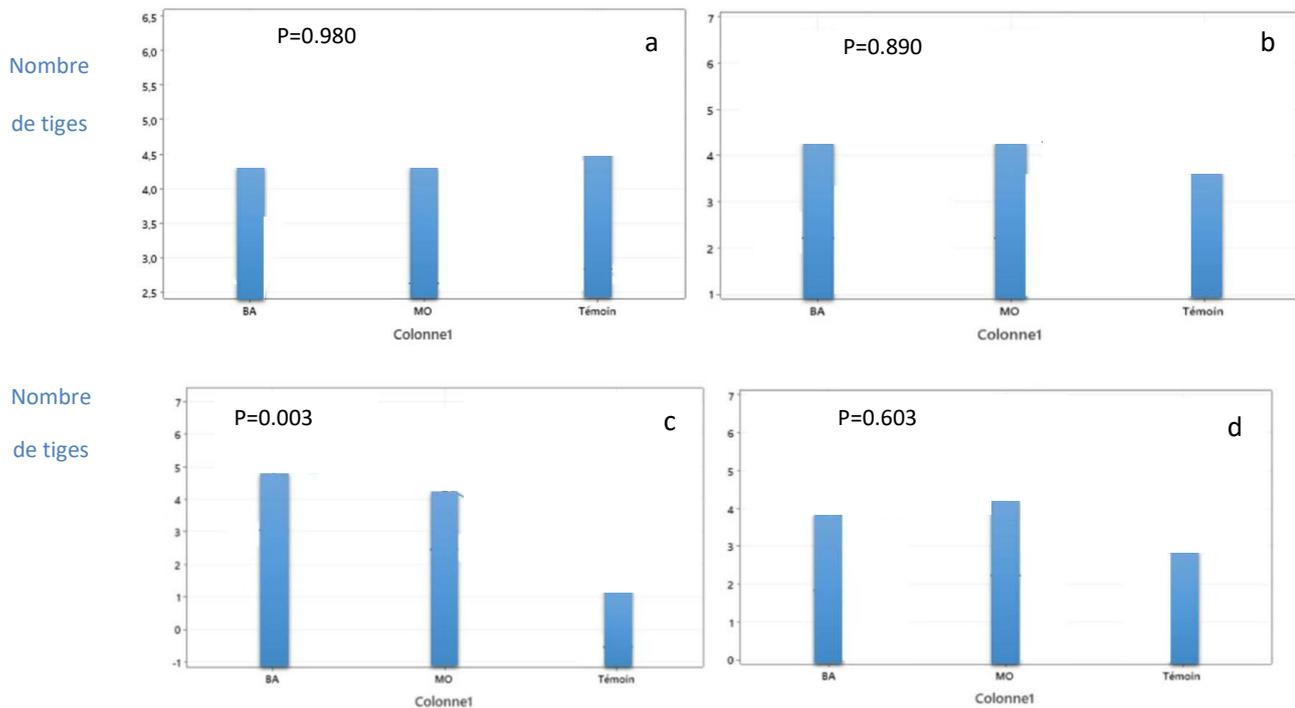
Les valeurs enregistrées pour le nombre de tiges développées sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. ont été évaluées à (1,2 à 1,7) ; (2,1-2,6) ; (3,4-3,8) et (3,3-3,9) respectivement pour les périodes d'incubation de 25, 33, 41 et 49jours (figure 14) alors que les valeurs enregistrées sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens ont été de (4,4 à 4,6) ; (3,8 à 4,4) ; (3,4 à 5) ; (3 à 4,4) respectivement durant les périodes 40, 48, 56 et 64jours (figure 15).





a : 25J , b : 33J , c : 41J , d : 49J, T5, TMS, T11 : isolats de *Trichoderma* spp.

Figure .13 Analyse de la variance du nombre de tiges par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp et selon les périodes d'incubation.



a: 40J , b : 48 , c : 56 , d : 64J, MO, BA : isolats fongiques mycorrhiziens .

Figure .14 Analyse de la variance du nombre de tiges par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base de champignons mycorrhiziens et selon les périodes d'incubation.

En effet, l'ensemble des traitements appliqués sur la culture de pomme de terre ont été classés dans un même groupe par le test de Tukey, selon le nombre de tiges, durant les différentes périodes d'incubation considérées à l'exception des traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens durant la période d'incubation de 56 jours (tableau 5 ; tableau 6). Ainsi, trois groupes homogènes distincts d'isolats mycorhiziens ont été établis comme suit (tableau 6) :

- Groupe 1 correspond à l'isolat mycorhizien BA ayant montré le plus grand nombre de tiges (5).
- Groupe 2 correspond à l'isolat mycorhizien MO ayant montré un nombre de tiges (4.4).
- Groupe 3 correspond aux témoins ayant montré le plus faible nombre de tiges (1.4).

**Tableau.5 Classement des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. par le test de Tukey selon le nombre de tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation.**

Traitement	Répétition	25J		33J		41J		49J	
T11	10	1.700	A	2.600	A	3.400	A	3.300	A
T5	10	1.700	A	2.300	A	3.889	A	3.300	A
TMS	10	1.400	A	2.500	A	3.500	A	3.900	A
Témoin	10	1.200	A	2.100	A	3.700	A	3.700	A

**Tableau.6 Classement des traitements champignons mycorhiziens par le test de Tukey selon le nombre de tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation**

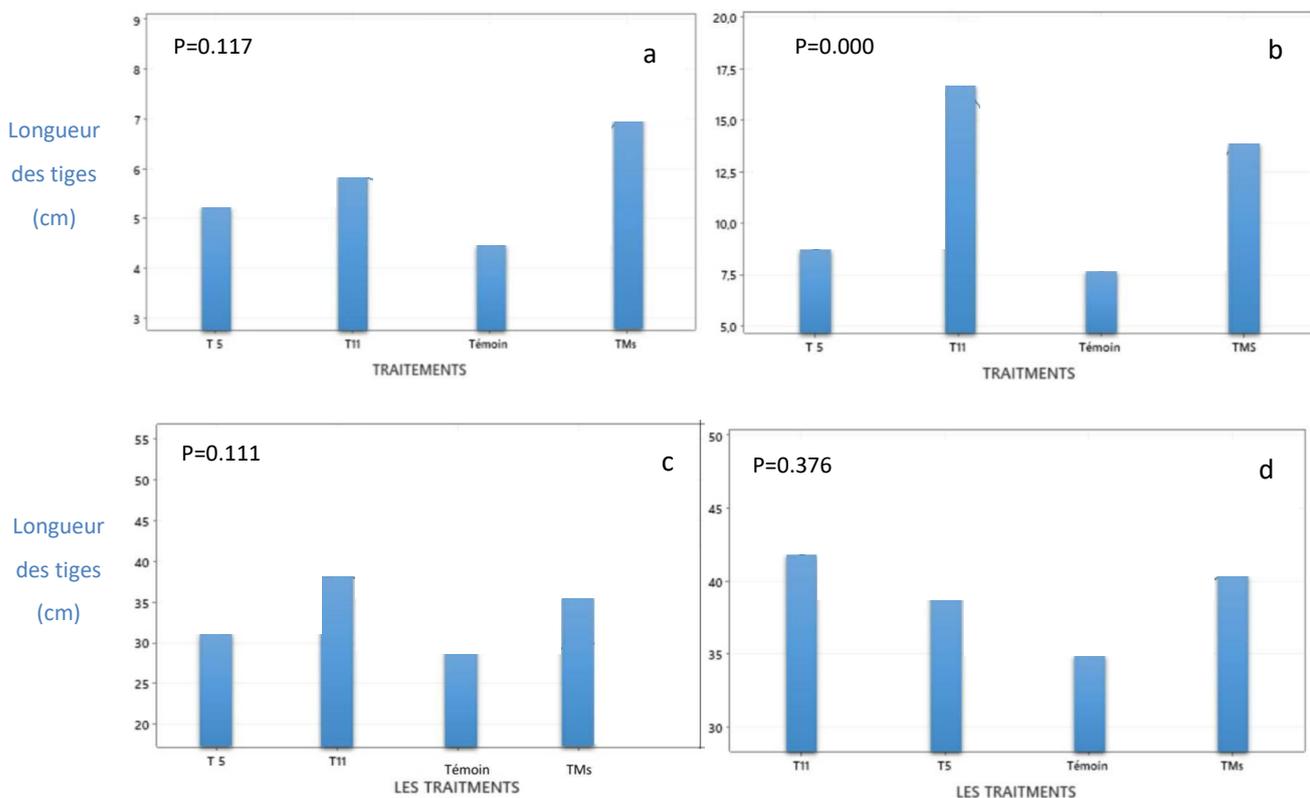
Traitement	Répétition	40J		48J		56J		64J	
MO	5	4.400	A	4.400	A	4.400	AB	4.400	A
BA	5	4.400	A	4.400	A	5.000	A	4.000	A
Témoin	5	4.600	A	3.800	A	1.400	B	3.000	A

### 3.2.2 Dimensions des tiges

La longueur des tiges développées par plante cultivée de pomme de terre n'a pas été affectée sous l'effet des différents traitements à base des isolats de *Trichoderma* spp. à l'exception durant la période d'incubation de 33j où, la probabilité enregistrée était très hautement significative ( $P=0,000$ ,  $F=12,82$ ) (voir annexe 6).

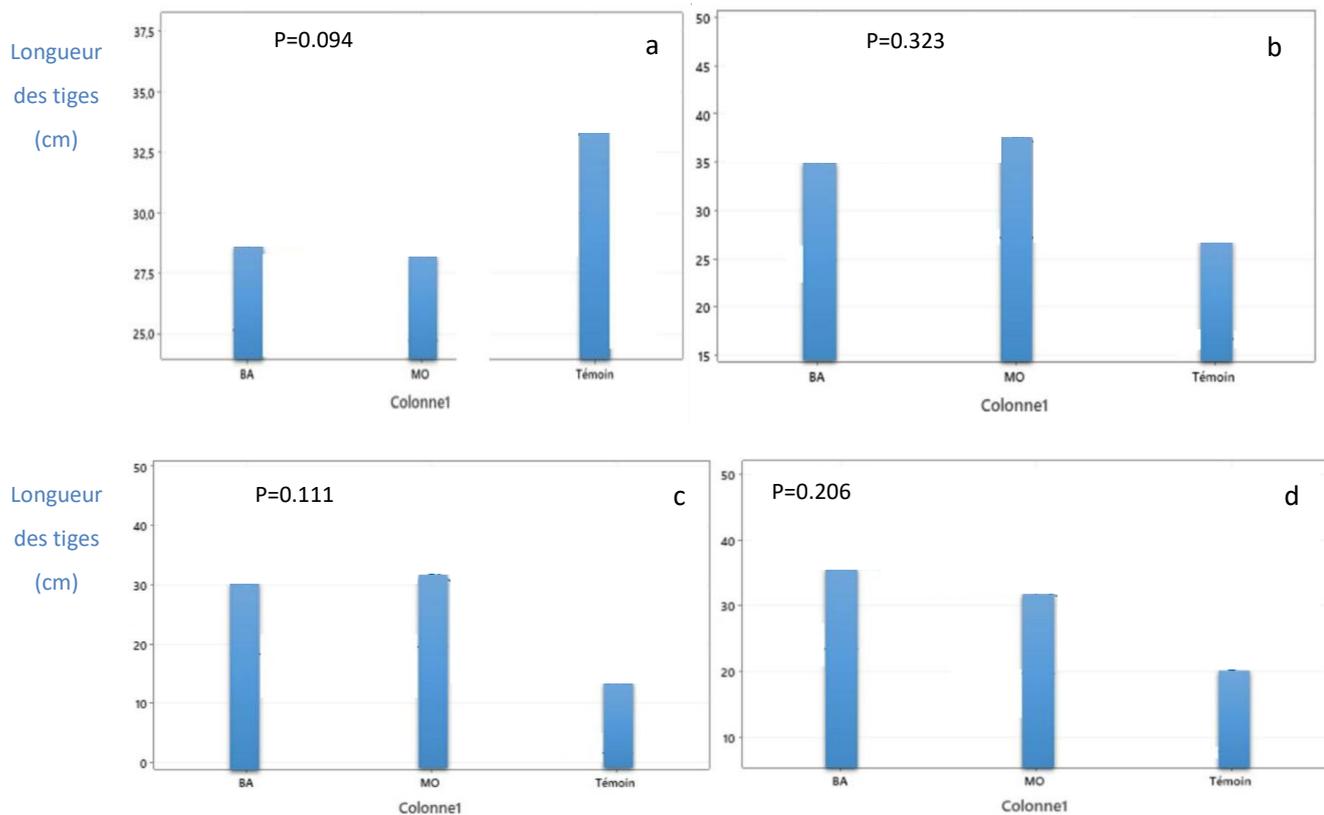
Contrairement, tous les isolats fongiques mycorhiziens ont montré une différence non significative selon les différentes périodes d'incubation considérées du moment que toutes les probabilités enregistrées ont dépassé 5% (voir annexe 7).

Les valeurs enregistrées pour la longueur des tiges développées sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. ont été évaluées à (4,5 à 7,1cm) ; (7,9-17cm) ; (29,05-39,09cm) et (35,27-42,17cm) respectivement pour les périodes d'incubation de 25, 33, 41 et 48jours (figure 16) alors que, les valeurs enregistrées sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens ont été de (28,47 à 33,47cm) ; (27,46 à 38,03cm) ; (14,4 à 32,44cm) et (20,97 à 36,45cm) respectivement durant les périodes 40, 48, 56 et 64jours (figure 17).



a : 25J , b : 33J, c : 41, d : 48J T5, TMS, T11 : isolats de *Trichoderma* spp.

**Figure .15 Analyse de la variance de la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et selon les périodes d'incubation.**



a :40J , b :48J, c :56J, d :64J, MO, BA : isolats fongiques mycorhiziens .

**Figure .16 Analyse de la variance de la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation.**

En effet, l'ensemble des traitements appliqués sur la culture de pomme de terre ont été classés dans un même groupe par le test de Tukey, selon la longueur des tiges enregistrée durant les différentes périodes d'incubation considérées à l'exception des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. durant la période d'incubation de 33 jours (tableau 7; tableau 8). Ainsi, deux groupes homogènes distincts d'isolats de *Trichoderma* spp. ont été établis comme suit (tableau7) :

- Groupe 1 renferme les isolats TMS et T11 ayant montré les plus grandes longueurs de tiges de 14,1 et 17cm.
- Groupe 2 renferme l'isolat les témoins et T5 ayant montré des longueurs de tiges respectives de 7,9 et 8,9cm.

**Tableau.7 Classement des traitements par le test de Tukey selon la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et selon les périodes d'incubation.**

Traitements	Répétitions	25j		33j		41j		48j	
TMS	10	7.100	A	14.13	A	35.75	A	40.78	A
T11	10	5.980	A	17.003	A	39.09	A	42.17	A
T5	10	5.350	A	8.950	B	31.12	A	39.53	A
Témoin	10	4.580	A	7.930	B	29.05	A	35.27	A

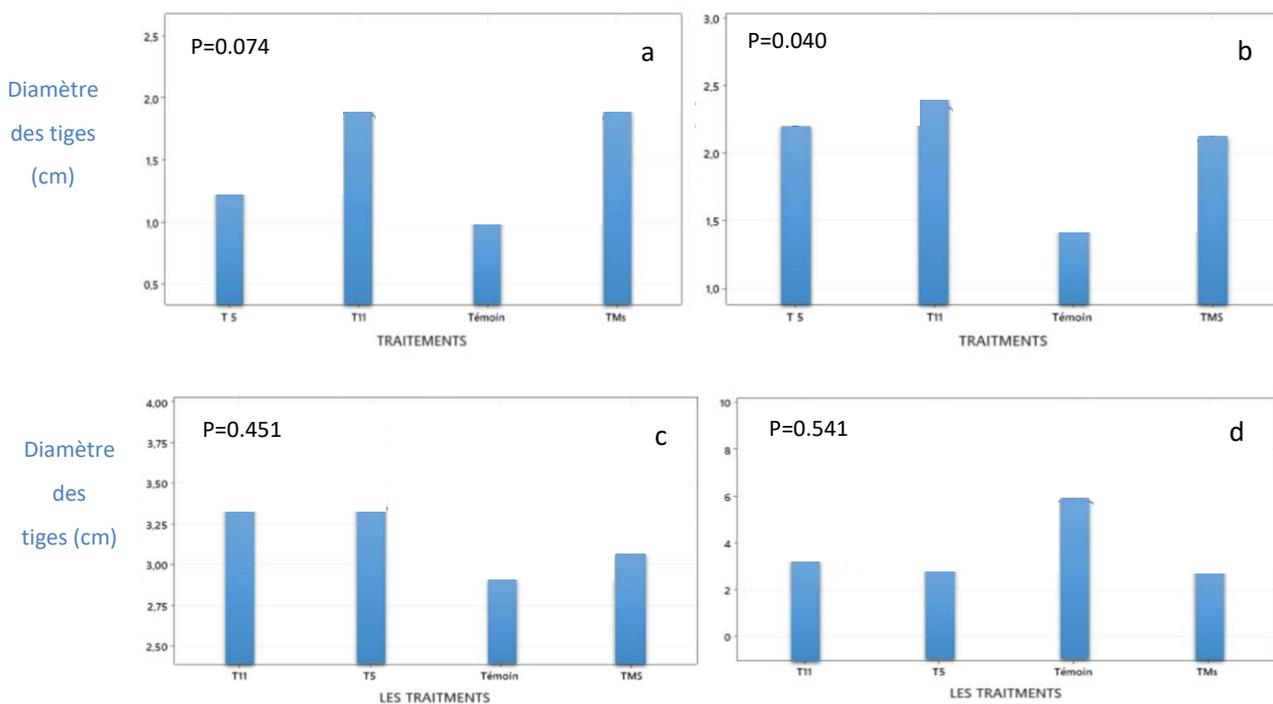
**Tableau .8 Classement des traitements champignons mycorhiziens par le test de Tukey selon la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation.**

Traitement	Répétition	40J		48J		56J		64J	
BA	5	28.87	A	35.58	A	31.15	A	36.450	A
MO	5	28.474	A	38.03	A	32.44	A	32.72	A
Témoin	5	33.474	A	27.46	A	14.4	A	20.97	A

Par ailleurs, le diamètre des tiges développées par plante cultivée de pomme de terre n'a pas été affecté sous l'effet des différents traitements à l'exception des diamètres enregistrés durant la période d'incubation de 33j pour les isolats de *Trichoderma* spp. et celle de 56j pour les

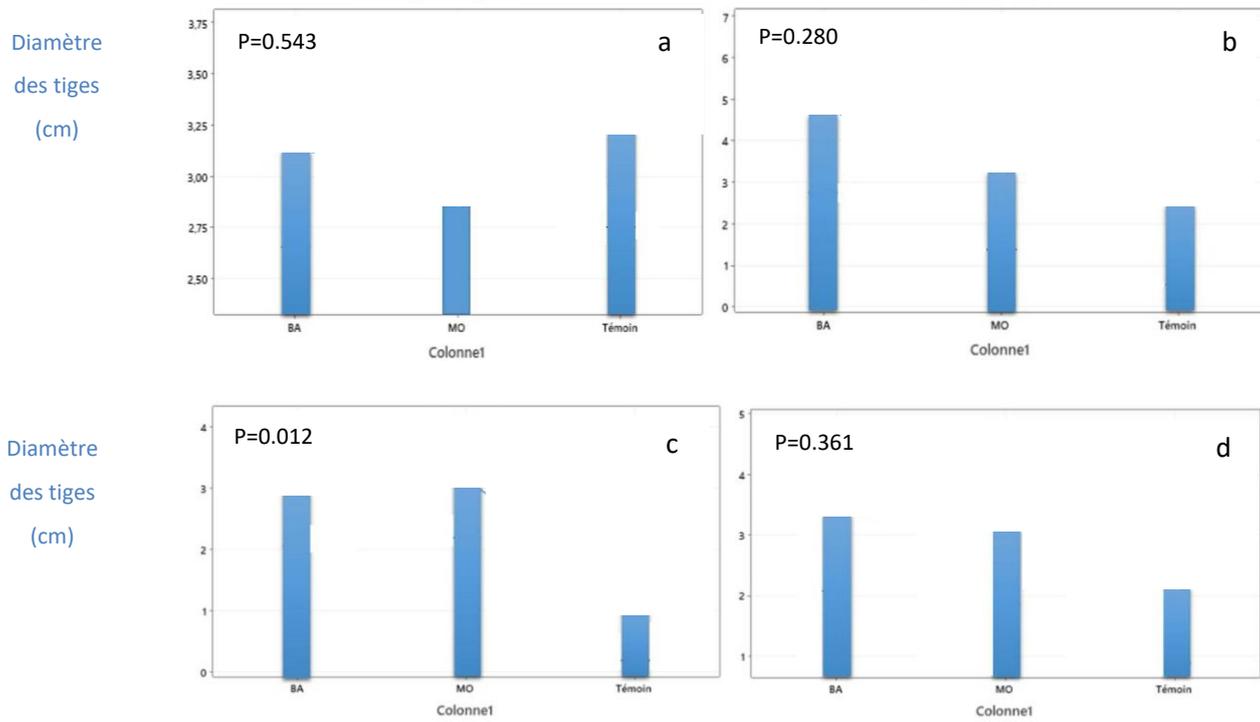
isolats fongiques mycorhiziens où, leurs probabilités étaient hautement significatives ( $P=0,04$ ,  $F=3,08$ ) (voir annexe 8) et ( $P=0,012$ ,  $F=6,58$ ) (voir annexe 9).

Les valeurs enregistrées pour le diamètre des tiges développées sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. ont été évaluées à (1,05 à 1,96cm) ; (1,48-2,44cm) ; (2,94-3,40cm) et (3,06-3,42cm) respectivement pour les périodes d'incubation de 25, 33, 41 et 48 jours (figure 18) alors que, les valeurs enregistrées sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens ont été de (2,89 à 3,24cm) ; (2,57 à 4,77cm) ; (1,13 à 3,14cm) et (1,2 à 3,4cm) respectivement durant les périodes 40, 48, 56 et 64 jours (figure 19).



a: 25J , b : 33J , c: 41 , d: 48J, T5, TMS, T11 : isolats de *Trichoderma* spp.

**Figure .17 Analyse de la variance du diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et selon les périodes d'incubation.**



a :40J, b :48J, c :56J, d :64J, MO, BA : isolats fongiques mycorhiziens .

**Figure.18 Analyse de la variance du diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base de champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation**

En effet, l'ensemble des traitements appliqués sur la culture de pomme de terre ont été classés dans un même groupe par le test de Tukey, selon le diamètre des tiges enregistré durant les différentes périodes d'incubation considérées à l'exception des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. durant la période d'incubation de 33 jours et ceux à base d'isolats fongiques mycorhiziens durant la période d'incubation de 56jours (tableau 9, tableau 10).

Ainsi, trois groupes homogènes distincts d'isolats de *Trichoderma* spp. Ont été établis comme suit (tableau 9) :

- Groupe 1 correspond à l'isolat T11 ayant montré le plus grand diamètre de 2,44cm.
- Groupe 2 renferme les isolats TMS et T5 ayant montré des diamètres des tiges respectives de 2,16 et 2,23cm.

- Groupe 3 correspond aux témoins ayant montré des diamètres de 1,48cm.  
De même, deux groupes homogènes distincts d'isolats fongiques mycorhiziens ont été établis respectivement comme suit (tableau 10) :

- Groupe 1 renferme les isolats fongiques mycorhiziens BA et MO ayant montré les plus grands diamètres de 3 et 3,14cm.
- Groupe 2 renferme les témoins ayant montré un diamètre de 1,13cm.

**Tableau .9 Classement des traitements par le test de Tukey selon le diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et selon les périodes d'incubation.**

Traitements	Répétitions	25J		33J		41J		48J	
T11	10	1.96	A	2.441	A	3.372	A	3.421	A
T5	10	1.28	A	2.237	AB	3.402	A	3.081	A
TMS	10	1.935	A	2.165	AB	3.100	A	3.066	A
Témoin	10	1.05	A	1.480	B	2.945	A	3.110	A

**Tableau .10 Classement des traitements à base de champignons mycorhiziens par le test de Tukey selon le diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée selon les périodes d'incubation.**

Traitements	Répétitions	40J		48J		56J		64J	
BA	5	3.146	A	4.770	A	3.003	A	3.408	A
MO	5	2.895	A	3.409	A	3.147	A	3.182	A
Témoin	5	3.244	A	2.573	A	1.134	B	1.200	A

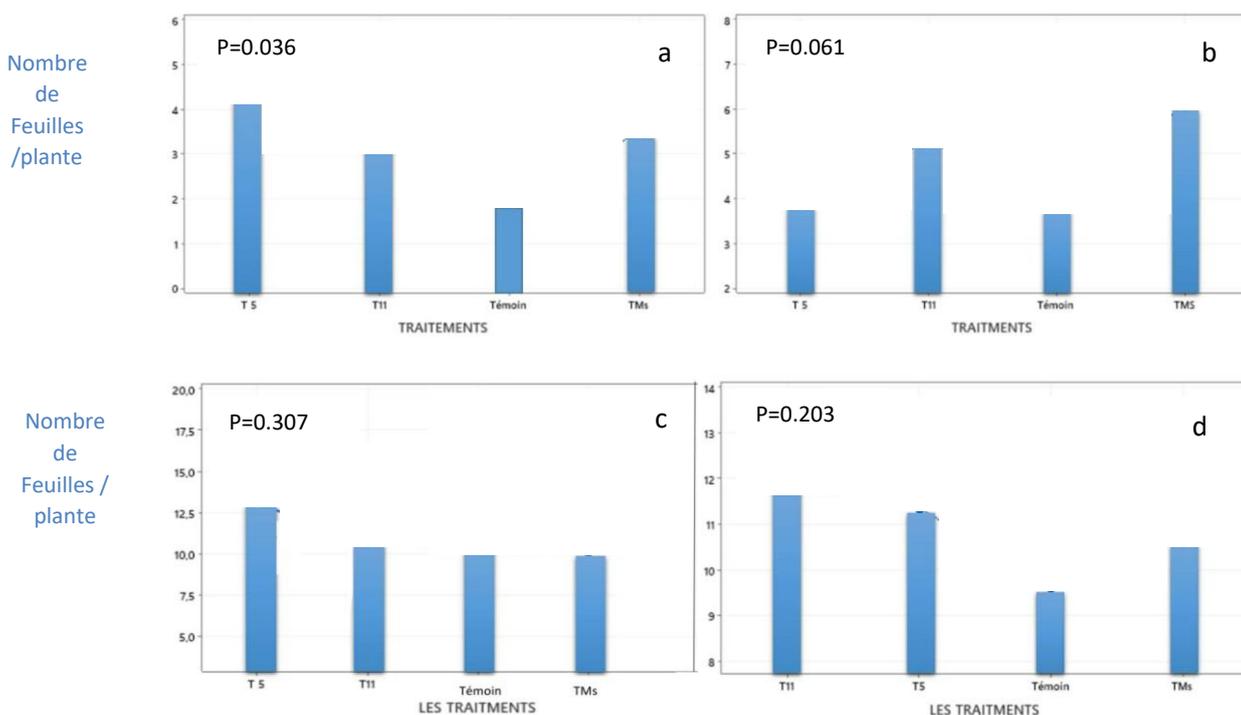
### 3.2.3 Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles développées par plante cultivée de pomme de terre n'a pas été affecté sous l'effet des différents traitements à l'exception du nombre enregistré durant la période d'incubation de 25j pour les isolats de *Trichoderma* spp. et celle de 56j pour les isolats

fongiques mycorhiziens où, leurs probabilités étaient hautement significatives ( $P=0,036$ ,  $F=3,180$ ) (voir annexe 10) et ( $P=0,012$ ,  $F=6,520$ ) (voir annexe 11).

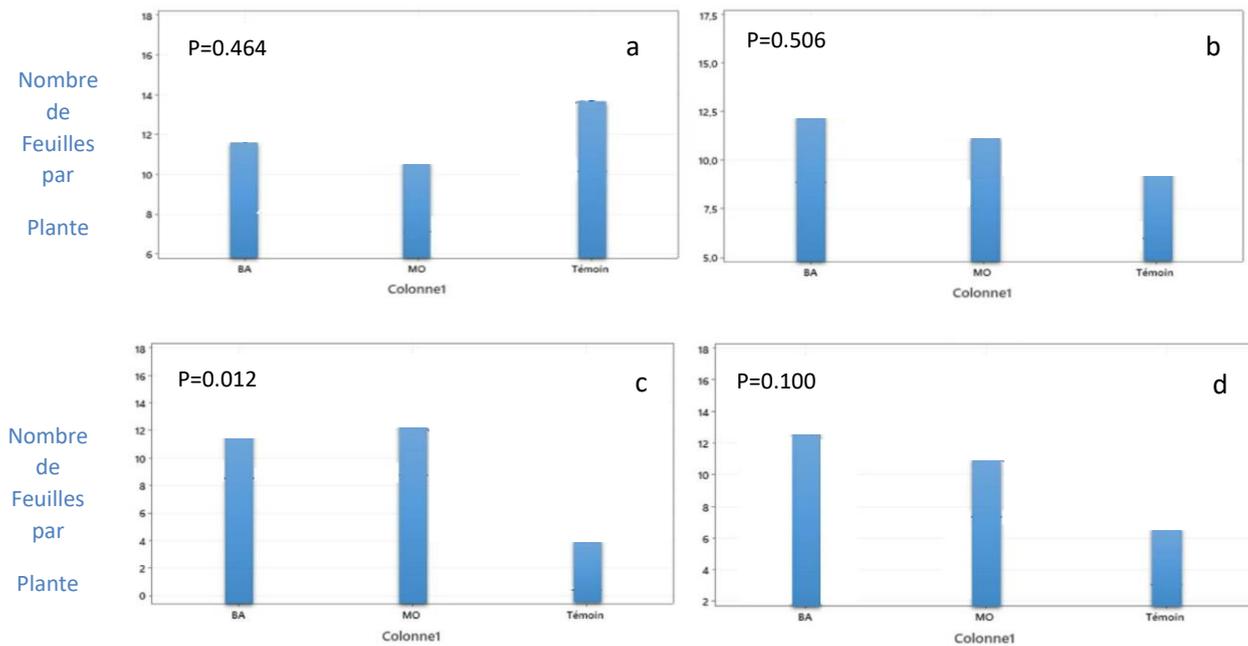
En effet, le nombre de feuilles développées par plante était variable selon les périodes d'incubation.

Les valeurs enregistrées pour le nombre de feuilles développées par plante de pomme de terre cultivée sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. ont été évaluées à (1,9-4,3) ; (3,8-6,1) ; (10,03-13,31) et (9,62-11,87) respectivement pour les périodes d'incubation de 25, 33, 41 et 48 jours (figure 20) alors que les valeurs enregistrées sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens ont été de (10,81-13,85) ; (9,7-12,60) ; (4,44-12,74) ; (7-12,89) respectivement durant les périodes 40, 48, 56 et 64 jours (figure 21).



a :25J , b :33J , c : 41J , d : 48J, T5, TMS, T11 : isolats de *Trichoderma* spp.

**Figure.19 Analyse de la variance du nombre de feuilles développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et selon les périodes d'incubation**



a : 40J , b : 48J, c : 56J, d : 64J, MO, BA : isolats fongiques mycorhizi

**Figure .20 Analyse de la variance du nombre de feuilles développées par plante cultivée par le modèle GLM selon les traitements à base de champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation**

En effet, l'ensemble des traitements appliqués sur la culture de pomme de terre ont été classés dans un même groupe par le test de Tukey, selon le nombre de feuilles enregistré durant les différentes périodes d'incubation considérées à l'exception des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. durant la période d'incubation de 25 jours (tableau 11) et ceux à base d'isolats fongiques mycorhiziens durant la période d'incubation de 56jours (tableau 12).

Ainsi, les trois groupes homogènes distincts d'isolats de *Trichoderma* spp. ont été établis comme suit (tableau 11) :

- Groupe 1 correspond à l'isolat T5 ayant montré le plus grand nombre de feuilles de 4,3.
- Groupe 2 renferme les isolats TMS et T11 ayant montré un nombre de feuilles de 3,2 et 3,5.
- Groupe 3 correspond aux témoins ayant montré un nombre de feuilles de 1,9.

De même, les deux groupes homogènes distincts d'isolats fongiques mycorhiziens ont été établis comme suit (tableau 12) :

- Groupe 1 renferme les isolats fongiques mycorhiziens BA et MO ayant montré le nombre de feuilles le plus élevé de 12,52-12,74.

- Groupe 2 correspond aux témoins ayant montré un nombre de feuilles de 4,4.

**Tableau .11 Classement des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. par le test de Tukey selon le nombre de feuilles développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation.**

Traitements	Répétitions	25J		33J		41J		48J	
T5	10	4.3	A	3.900	A	13.31	A	11.350	A
TMS	10	3.5	AB	6.100	A	10.038	A	10.638	A
T11	10	3.2	AB	5.300	A	10.95	A	11.875	A
Témoin	10	1.9	B	3.800	A	10.2	A	9.620	A

**Tableau .12 Classement des traitements à base de champignons mycorhiziens par le test de Tukey selon le nombre de feuilles développées par plante cultivée selon les périodes d'incubation.**

Traitements	Répétitions	40J		48J		56J		64J	
BA	5	13.850	A	12.600	A	12.520	A	12.897	A
MO	5	11.800	A	11.403	A	12.740	A	11.267	A
Témoin	5	10.817	A	9.700	A	4.440	B	7.000	A

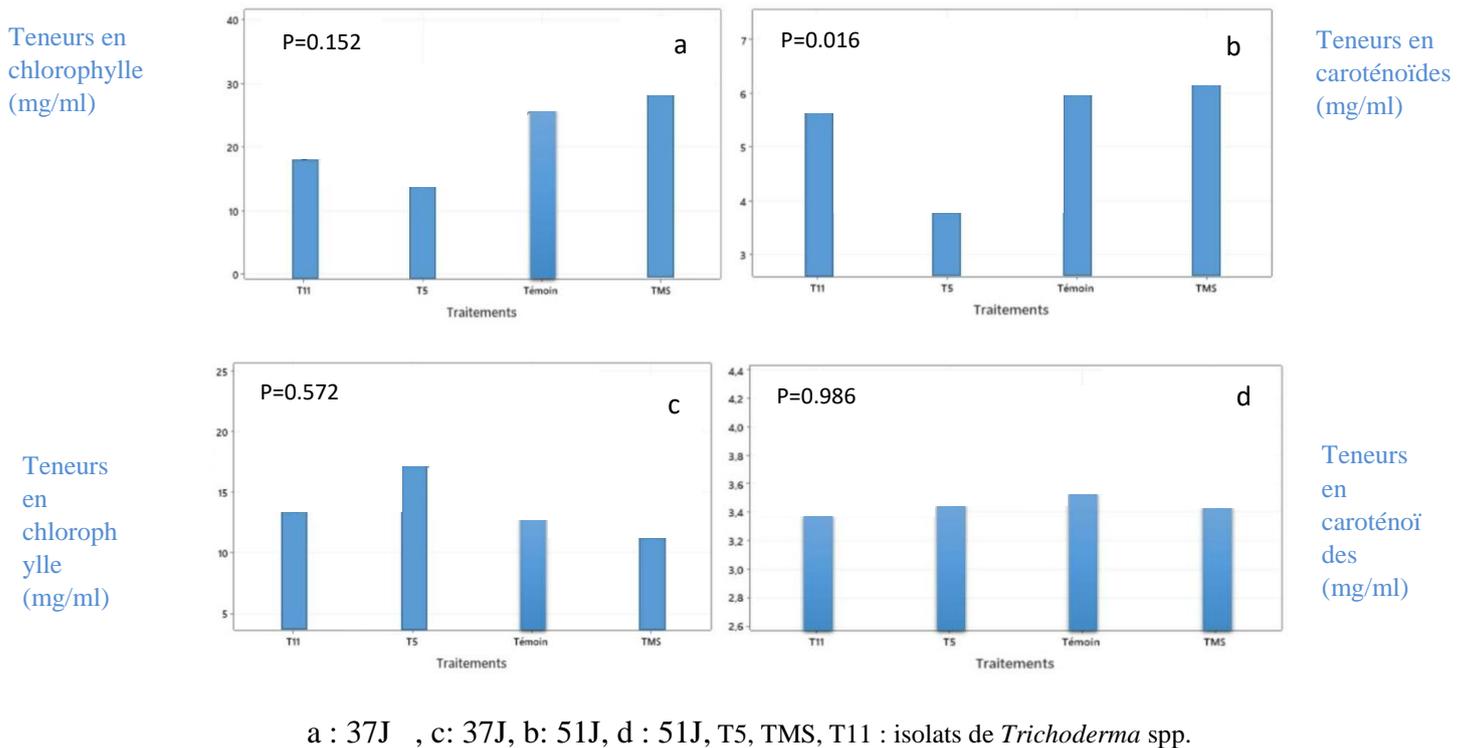
### 3.3 Teneurs en pigments foliaires

Les teneurs en pigments foliaires n'ont pas été affectées sous l'effet des différents traitements à l'exception des teneurs en caroténoïdes enregistrées durant la période d'incubation de 37j sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. (P=0,016, F=6,45) (voir annexe 12).

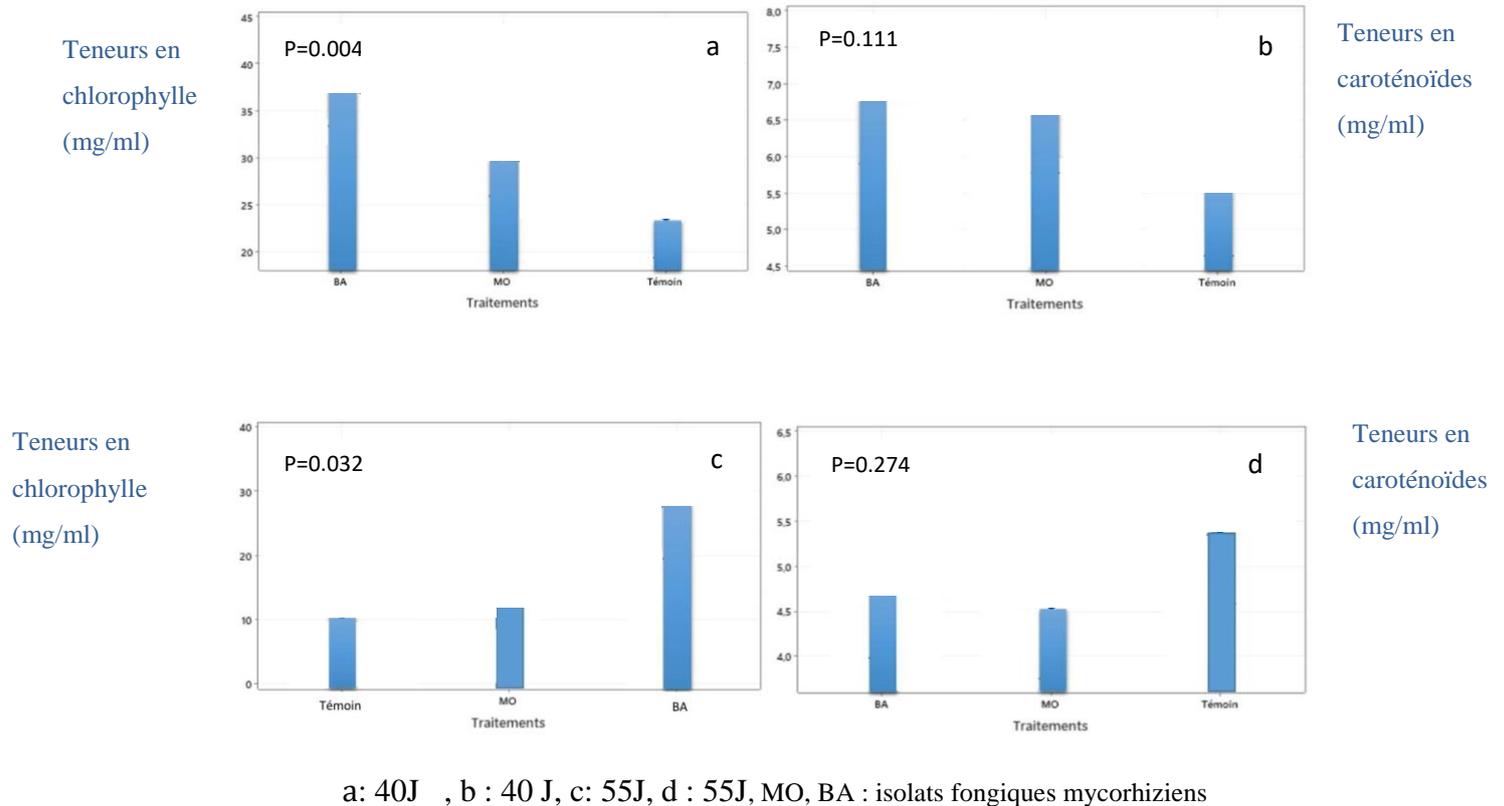
Par ailleurs, une variabilité significative a été également enregistrée sur les teneurs en chlorophylle durant les périodes respectives de 40J ( $P=0,004$ ,  $F=15,3$ ) (voir annexe 13) et 55j ( $P=0,032$ ,  $F=6,48$ ) (voir annexe 13).

Les teneurs enregistrées en pigments foliaires produits sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. ont été évaluées à (6,33-29,22mg/ml) et (11,65-17,62mg/ml) pour la chlorophylle mais, (3,86-6,28mg/ml) et (3,42-3,57mg/ml) pour les caroténoïdes respectivement pour les périodes d'incubation de 37 et 51jours (figure 22).

En outre, les valeurs enregistrées sous l'effet des isolats fongiques mycorrhiziens ont été de (23,78 à 31,71mg/ml) et (10,91-28,92mg/ml) pour la chlorophylle mais, de (5,59-6,85mg/ml) et (5,41-4,57mg/ml) pour les caroténoïdes respectivement durant les périodes 40 et 55jours (figure 23).



**Figure .21 Analyse de la variance des teneurs en pigments foliaires développées des plantes cultivées par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et selon les périodes d'incubation.**



**Figure .22 Analyse de la variance des teneurs en pigments foliaires synthétisés chez les plantes cultivées par le modèle GLM selon les traitements à base de champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation.**

En effet, l'ensemble des traitements appliqués sur la culture de pomme de terre ont été classés dans un même groupe par le test de Tukey selon les teneurs en pigments foliaires à l'exception des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. durant la période d'incubation de 51 jours pour les teneurs en caroténoïdes (tableau 13) et, ceux à base d'isolats fongiques mycorhiziens pour les teneurs en chlorophylles enregistrées durant les périodes d'incubation respectives de 40 et 55 jours (tableau 14).

Ainsi, les trois groupes homogènes distincts d'isolats de *Trichoderma* spp. suivants ont été établis pour les teneurs en caroténoïdes (tableau 13) :

- Groupe 1 renferme les témoins et l'isolat TMS ayant montré les plus grandes teneurs en caroténoïdes respectives de 6,07-6,28mg/ml.
- Groupe 2 correspond à l'isolat T11 ayant montré une teneur en caroténoïdes de 5,72mg/ml.

- Groupe 3 à l'isolat T5 ayant montré une teneur en caroténoïdes de 3,862mg/ml.

En effet, les trois groupes homogènes distincts d'isolats fongiques mycorhiziens suivants ont été établis respectivement durant la période de 40 jours selon les teneurs en chlorophylle (tableau 14) :

- Groupe 1 renferme l'isolat fongique mycorhizien BA ayant montré la plus grande teneur en chlorophylle de 31,71mg/ml.
- Groupe 2 renferme l'isolat fongique mycorhizien MO ayant montré une teneur en chlorophylle de 30,02mg/ml.
- Groupe 3 renferme les témoins ayant montré une teneur en chlorophylle de 23,78 mg/ml.

Par ailleurs, trois autres groupes homogènes distincts d'isolats fongiques mycorhiziens suivants ont été établis respectivement durant la période de 55jours selon les teneurs en chlorophylle (tableau 14) :

- Groupe 1 renferme l'isolat fongique mycorhizien BA ayant montré la plus grande teneur en chlorophylle de 28,92mg/ml.
- Groupe 2 renferme l'isolat fongique mycorhizien MO ayant montré une teneur en chlorophylle de 12,77mg/ml.
- Groupe 3 renferme les témoins ayant montré une teneur en chlorophylle de 10,91mg/ml.

**Tableau.13 Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées selon traitements à base des isolats de *Trichoderma* spp. et selon les périodes d'incubation.**

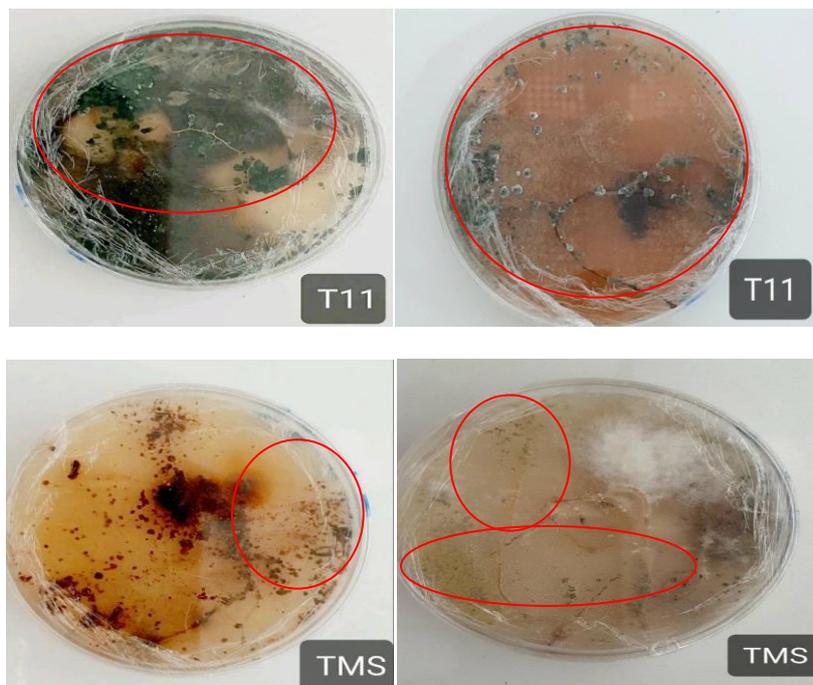
Teneurs (mg/ml)	Répétitions	Chlorophylle 37J		Caroténoïdes 37J		Chlorophylle 51J		Caroténoïdes 51J	
Traitements									
TMS	3	29.22	A	6,284	A	11,65	A	3.486	A
T11	3	18.81	A	5,726	AB	13,64	A	3,42	A
Témoin	3	26,73	A	6,079	A	13,74	A	3,572	A
T5	3	6,333	A	3,86	B	17,62	A	3,486	A

**Tableau .14 Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées selon traitements à base de champignons mycorhiziens et selon les périodes d'incubation.**

Teneur (mg /ml)	Répétitions	Chlorophylle mg/ml (40J)	Caroténoïdes mg/ml (40J)	Chlorophylle mg/ml (55J)	Caroténoïdes mg/ml (55J)
BA	3	31,71	A	6,85	A
MO	3	30,02	AB	6,72	A
Témoin	3	23,78	B	5,59	A

### 3.4 Pouvoir colonisateur racinaire des isolats de *Trichoderma* spp. Testés

Les isolements réalisés à partir des racines de plantes de pomme de terre cultivées sous l'effet des différents traitements testés ont mis en évidence le développement sur milieu de culture PDA des trois isolats de *Trichoderma* spp., confirmant ainsi leur pouvoir colonisateur racinaire. Nous affirmons la pureté de l'isolat T11 contrairement aux autres isolats qui apparaissent présents avec d'autres contaminants fongiques tels que *Fusarium* spp. (TMS et T5) (figure 24).





T5, TMS, T11 : isolats de *Trichoderma* spp.

**Figure.23 Pouvoir colonisateur racinaire des isolats de *Trichoderma* spp. testés (Originale, 2022).**

### 3.5 Pouvoir mycorhizogène des isolats fongiques mycorhiziens étudiés.

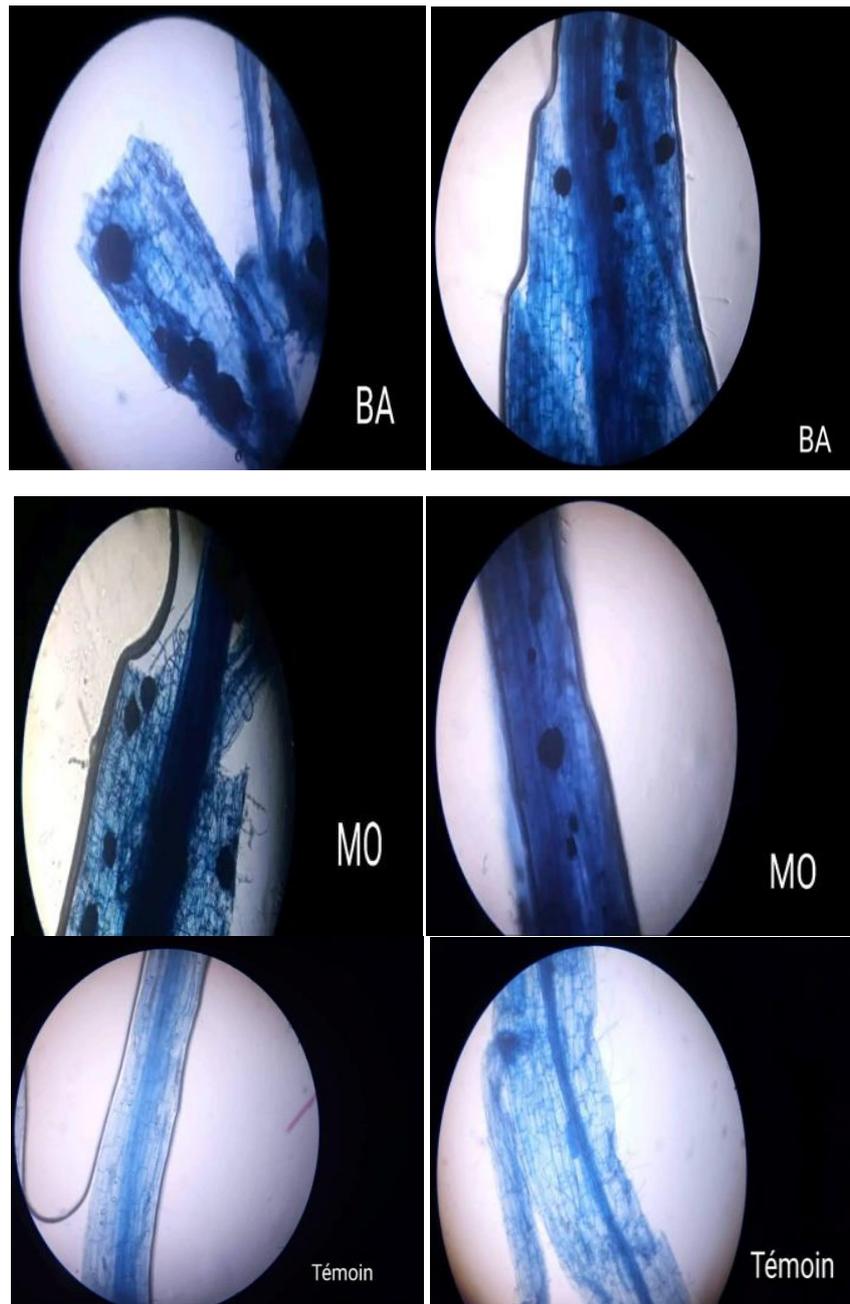
Les observations microscopiques des parties racinaires des plantes cultivées selon les inocula mycorhiziens ont tous confirmé la présence de vésicules mycorhiziennes à densités variables selon les isolats mycorhiziens étudiés (figure 25).

L'intensité de mycorhization racinaire apparait assez faible dans l'ensemble. Elle semble plus importante chez l'isolat BA (30%) que MO (20%) et nulle chez les témoins (figure 26).

En outre, l'intensité arbusculaire n'était évaluée et présente que chez l'isolat mycorhizien BA où, elle semblait modérée (50%) (figure 26).

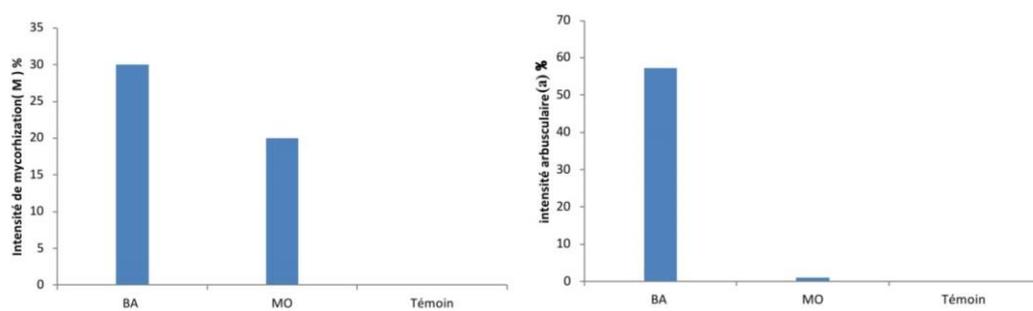
Par ailleurs, la fréquence de mycorhization apparait assez importante chez l'isolat BA (60%) mais faible chez l'isolat MO (30%) (figure 26).

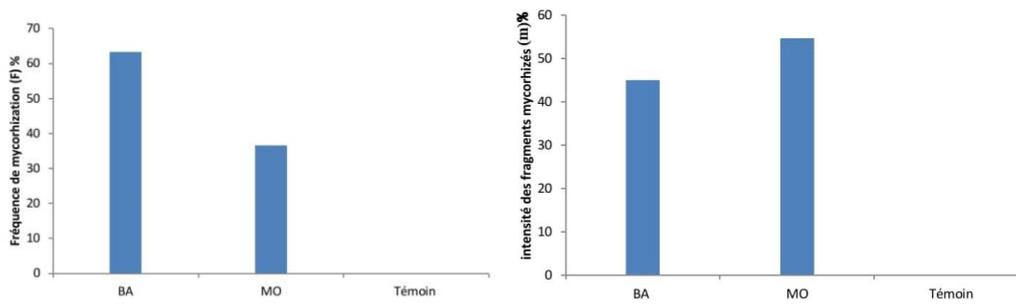
Cependant, l'intensité des fragments mycorhizés apparait modérée chez l'isolat MO (55%) mais légèrement plus faible chez l'isolat BA (45%) (figure 26).



MO, BA : isolats fongiques mycorhiziens .

**Figure.24 Structures mycorhiziennes développées sur les racines des plantes cultivées mycorhizées de pomme de terre (G : X 125).**





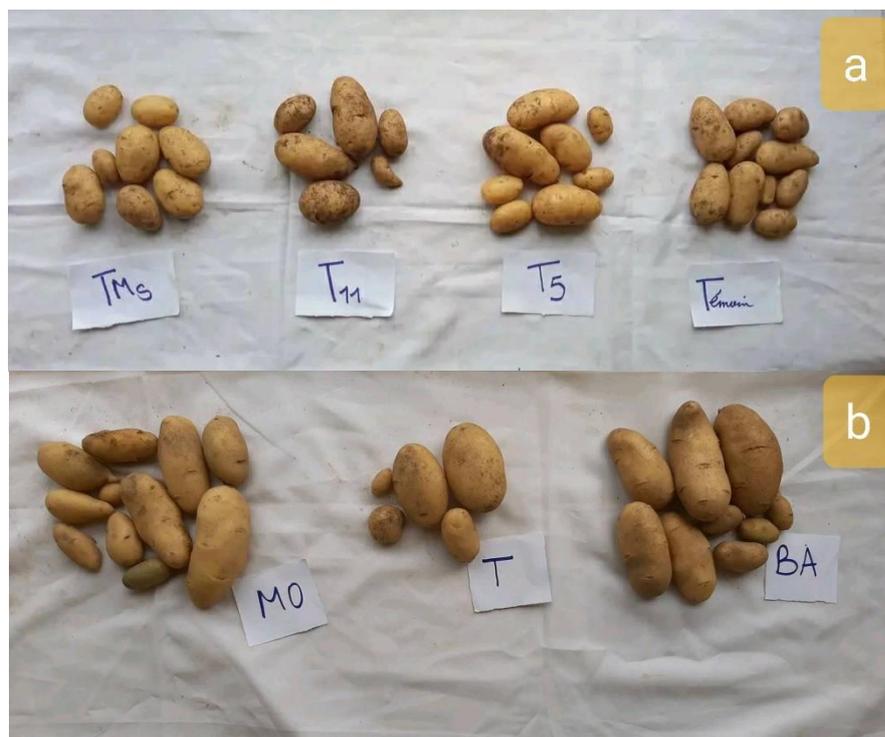
MO, BA : isolats fongiques mycorhiziens.

**Figure .25 Paramètres de mycorization des racines des plantes cultivées de pomme de terre selon les isolats fongiques mycorhiziens.**

### 3.6 Critères de qualité des tubercules de pomme de terre

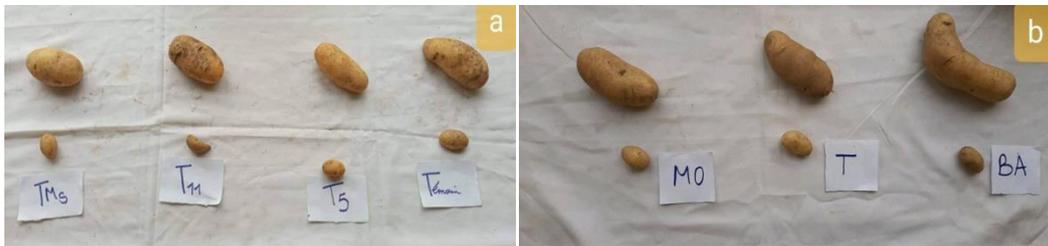
#### 3.6.1 Paramètres de production des tubercules

Une variabilité remarquable a été enregistrée sur le nombre ainsi que les dimensions des tubercules sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. Ainsi que, les isolats fongiques mycorhiziens. La qualité morphométrique des tubercules produits en nombre ainsi que leurs dimensions a été meilleurs sous l'effet d'application des isolats mycorhiziens (Figure 27 et Figure 28).



a ; traitement à base d'isolats de *Trichoderma* spp., b ; traitement à base d'isolats de mycorhizes.

**Figure .26 Quantité et taille globale des tubercules de pomme de terre produits par plante selon les traitements.**



a ; traitement à base d'isolats de *Trichoderma* spp., b ; traitement à base d'isolats de mycorhizes.

**Figure .27 Variabilité de la taille moyenne des tubercules de pomme de terre produits par selon les traitements.**

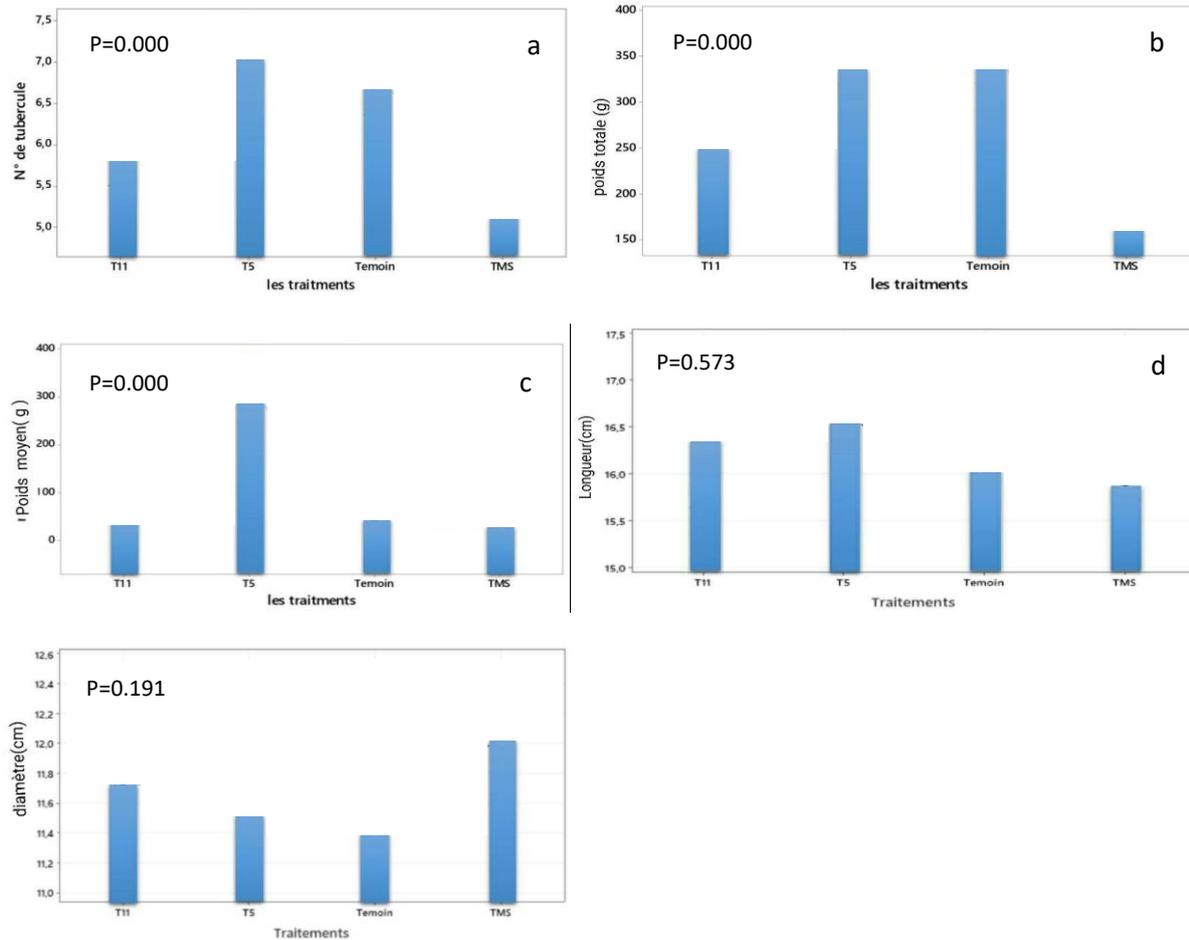
Le nombre ( $P=0,000$  ;  $F=19,78$ ), le poids global ( $P=0,000$  ;  $F=58,28$ ) des tubercules produits par plante de pomme de terre ont été significativement affectés par l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. Appliqués sur la culture en comparaison avec les témoins. La même constatation a été enregistrée sur le poids moyen ( $P=0,000$  ;  $F=9,24$ ) mais, une différence non significative a été décelée sur la longueur ( $P=0,573$  ;  $F=0,67$ ) ainsi que, le diamètre ( $P=0,191$  ;  $F=1,59$ ), d'un tubercule produit (voir annexe 14).

En revanche, une variabilité significative a été enregistrée sur le nombre ( $P=0,001$  ;  $F=14,44$ ), le poids global des tubercules produits par plante de pomme de terre ( $P=0,000$  ;  $F=68,42$ ), le poids moyen ( $P=0,000$  ;  $F=23,31$ ) ainsi que la longueur ( $P=0,000$  ;  $F=12,84$ ) et, le diamètre ( $P=0,000$  ;  $F=16,55$ ), d'un tubercule produit (voir annexe 15)

Les valeurs enregistrées pour les paramètres de production ont été comme suit :

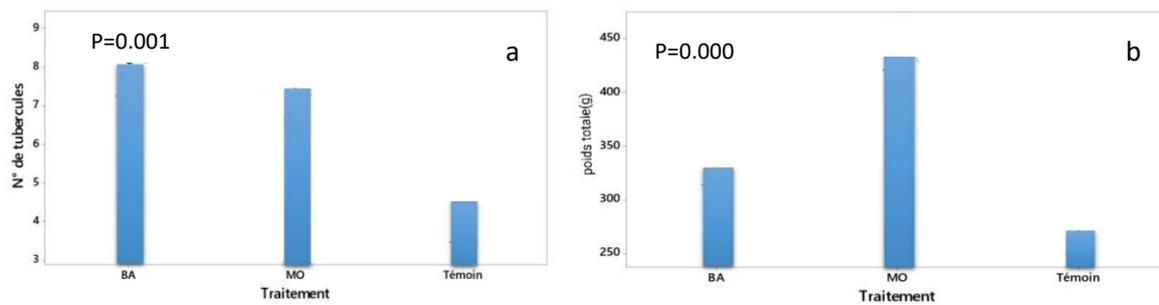
Le nombre de tubercules produit par plante variait de (5,2-7,2) et (4,6-8,2), le poids des tubercules produits par plantes était de (168,1-344,3g) et (276,6-442,2g), le poids moyen d'un tubercule était de (30,4-50,59g) et (44,72-57,22g).

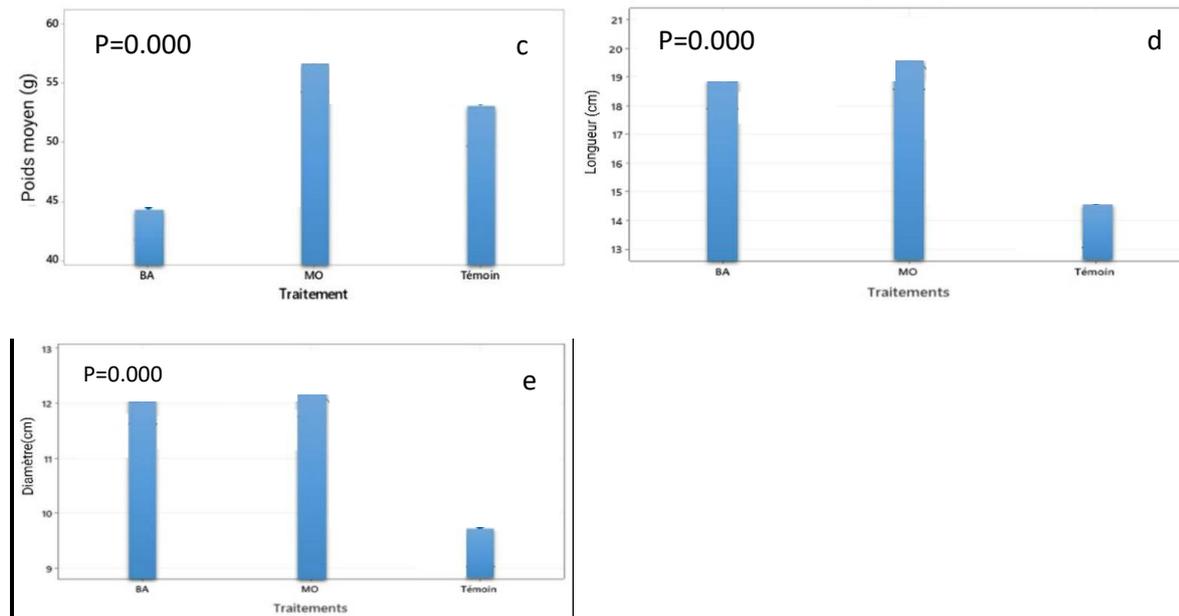
Par ailleurs les dimensions des tubercules enregistrées étaient de (15,9-16,59cm) et (14,72-19,75cm) de longueur alors que, leur diamètre était de (11,42-12,04cm) et (9,78-12,28cm) respectivement sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. et les isolats fongiques mycorhiziens (figure 29 et figure 30).



a : nombre de tubercule produit par plante, b : poids global de tubercules produits par plante,  
 c ; poids moyen d'un tubercule produit, d et e : longueur et diamètre d'un tubercule.

**Figure .28 Analyse de la variance des paramètres de production des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp.**





a : nombre de tubercule produit par plante, b : poids global de tubercules produits par plante,  
 c ; poids moyen d'un tubercule produit, d et e : longueur et diamètre d'un tubercule.

**Figure .29 Analyse de la variance des paramètres de production des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats fongiques mycorrhiziens.**

En effet, le test de Tukey a permis le classement des traitements en groupes homogènes distincts selon les paramètres de production des tubercules.

➤ **Selon le nombre de tubercules produits par plante, nous distinguons :**

• **Les deux groupes d'isolats de *Trichoderma* spp. établis comme suit (tableau 15) :**

- Groupe 1 renferme l'isolat T5 et les témoins ayant montré respectivement 7,1 et 6,7 tubercules/plante.
- Groupe 2 renferme les isolats TMS et T11 ayant montré respectivement 5,2 et 5,9 tubercules/plante.

• **Les deux groupes d'isolats fongiques mycorrhiziens établis comme suit (tableau 16) :**

- Groupe 1 renferme les isolats MO et BA ayant montré respectivement 7,6 et 8,2 tubercules/plante.
- Groupe 2 renferme les témoins ayant montré respectivement 4,6 tubercules/plante.

➤ **Selon le poids de tubercules produits par plante, nous distinguons :**

• **Les trois groupes d'isolats de *Trichoderma* spp. établis comme suit (tableau 15) :**

- Groupe 1 renferme l'isolat T5 et les témoins ayant montré respectivement un poids de tubercules/plante de (344,30-342,30g).
- Groupe 2 renferme l'isolat T11 ayant montré un poids de tubercules/plante de (255,50g).
- Groupe 3 renferme l'isolat TMS ayant montré un poids de tubercules/plante de (168,10g).
- **Les trois groupes d'isolats fongiques mycorrhiziens établis comme suit (tableau 16) :**
- Groupe 1 renferme l'isolat MO ayant montré un poids de tubercules/plante de (442,2g).
- Groupe 2 renferme l'isolat BA ayant montré un poids de tubercules/plante de (335,2g).
- Groupe 3 renferme les témoins ayant montré un poids de tubercules/plante de (276,6g).

➤ **Selon le poids d'un tubercule, nous distinguons :**

- **Les deux groupes d'isolats de *Trichoderma* spp. établis comme suit (tableau 15) :**
- Groupe1 renferme les témoins et, les isolats TMS et T11 ayant montré respectivement un poids de tubercule de (50,59-50,45-39,88g).
- Groupe 2 renferme l'isolat T5 ayant montré respectivement un poids de tubercule de (30,40g).
- **Les deux groupes d'isolats fongiques mycorrhiziens établis comme suit (tableau 16) :**
- Groupe 1 renferme l'isolat MO et les témoins ayant montré un poids de tubercule respectivement de (57,22-53,55g).
- Groupe 3 renferme l'isolat BA ayant montré un poids de tubercule de (44,72g).

En effet, les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. ont été tous classés dans un même groupe selon la longueur et même selon le diamètre des tubercules (**tableau 17**).

Cependant, seuls les isolats mycorrhiziens ont été classés en groupes homogènes distincts selon les dimensions des tubercules. Ainsi, nous distinguons :

- **Les deux groupes selon la longueur des tubercules (tableau 18) :**
- Groupe1 renferme les isolats BA et MO ayant montré respectivement une longueur de tubercules de (19,03-19,75cm).
- Groupe 2 renferme les témoins ayant montré une longueur de tubercules de (14,72cm).
- **Les deux groupes selon le diamètre des tubercules (tableau 18) :**
- Groupe1 renferme les isolats BA et MO ayant montré respectivement un diamètre de tubercules de (12,13-12,28cm).
- Groupe 2 renferme les témoins ayant montré une longueur de tubercules de (9,78cm).

**Tableau .15 Classement des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. par le test de Tukey selon les paramètres de production des tubercules de pomme de terre.**

Traitements	Répétitions	Nombre de tubercules par plante		Poids des tubercules par plante		Poids moyen des tubercules	
T5	10	7.200	A	342.300	A	30.400	B
Témoin	10	6.778	A	344.300	A	50.590	A
T11	10	5.900	B	255.500	B	50.450	A
TMS	10	5.200	B	168.100	C	39.880	A

**Tableau .16 Classement des traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens par le test de Tukey selon les paramètres de production des tubercules de pomme de terre.**

Traitements	Répétitions	Nombre de tubercules par plante		Poids des tubercules par plante		Poids moyen des tubercules	
BA	5	8.200	A	335.20	B	44.72	B
MO	5	7.600	A	442.2	A	57.222	A
Témoin	5	4.667	B	276.67	C	53.55	A

**Tableau .17 Classement des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. par le test de Tukey selon les dimensions des tubercules produits de pomme de terre.**

Traitements	Répétitions	Longueur (cm)		Diamètre (cm)	
T5	67	16.590	A	11.552	A
T11	55	16.400	A	11.753	A
Témoin	62	16.077	A	11.427	A
TMS	52	15.917	A	12.044	A

**Tableau .18 Classement des traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens par le test de Tukey selon les dimensions des tubercules produits de pomme de terre produits.**

Traitements	Répétitions	Longueur (cm)		Diamètre (cm)	
MO	36	19.750	A	12.286	A
BA	37	19.035	A	12.135	A
Témoin	18	14.722	B	9.789	B

### 3.6.2 Teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules

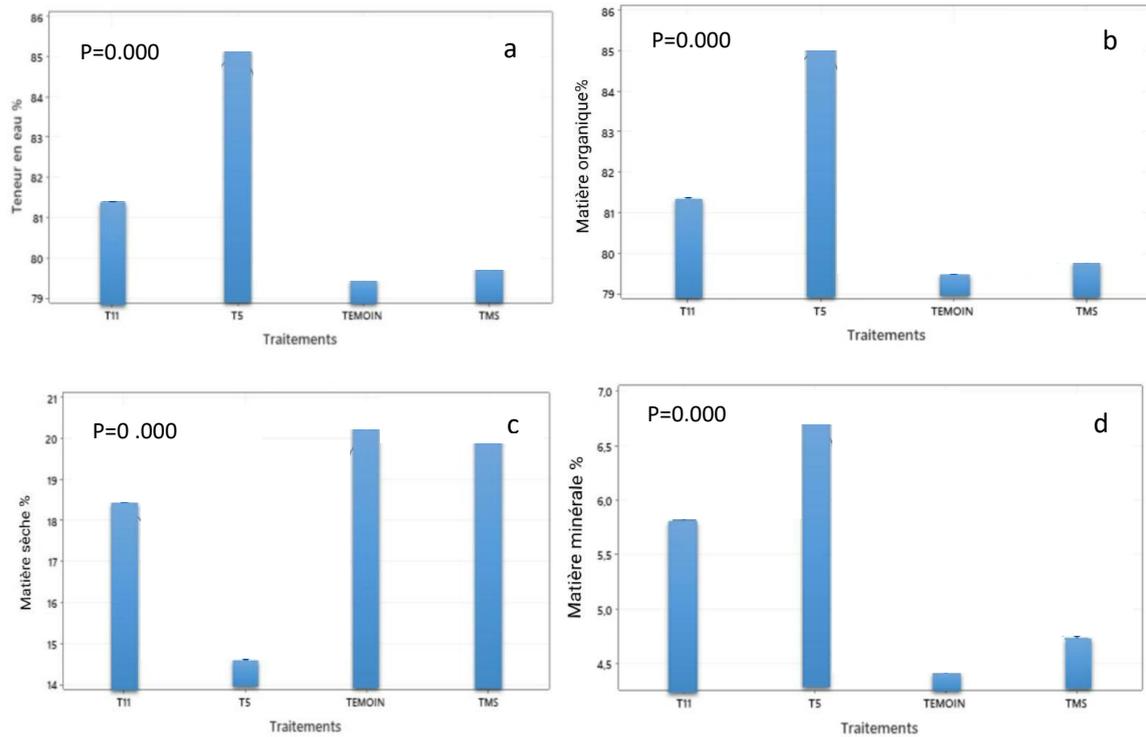
Les teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale enregistrées respectivement sur l'ensemble des échantillons de tubercules produits ont montré une variabilité très hautement significative sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. ( $P=0,000$  ;  $F=15205$  ;  $F=15205$  ;  $F=15205$  ;  $F=1528$ ) (voir annexe 16) et ceux à base d'isolats fongiques mycorhiziens ( $P=0,000$  ;  $F=478,34$  ;  $F=478,34$  ;  $F=64,11$  ;  $F=64,11$ ) (voir annexe 17).

Les teneurs enregistrées en eau étaient de (79,55-85,28%) (figure 31) et (80,62-80,98%) (figure 32) sur les échantillons de tubercules de pomme de terre produits respectivement sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et ceux d'isolats fongiques mycorhiziens.

Par ailleurs, les teneurs enregistrées en matière sèche étaient de (14,72-20,44% EAG/g de MS) (figure 31) et (19,01-19,37% de MS) (figure 32) sur les échantillons de tubercules de pomme de terre produits respectivement sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et ceux d'isolats fongiques mycorhiziens.

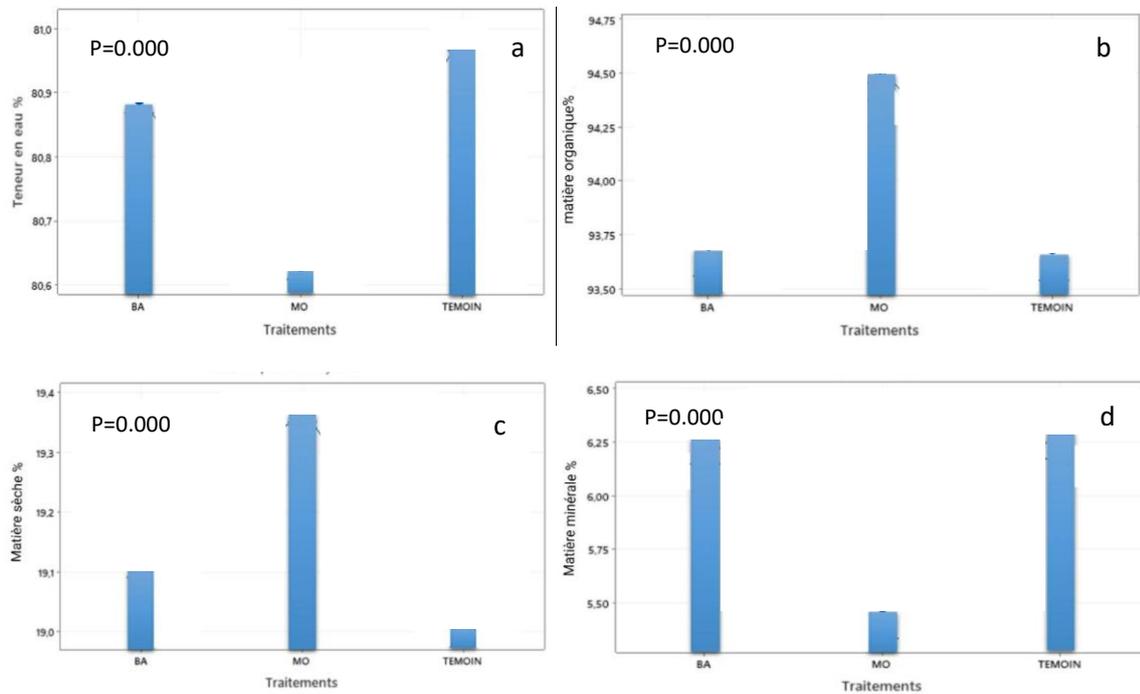
De même, les teneurs enregistrées en matière organique étaient de (79,55-85,28%) (figure 31) et (93,68-94,51%) (figure 32) sur les échantillons de tubercules de pomme de terre produits respectivement sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et ceux d'isolats fongiques mycorhiziens.

Aussi, Les teneurs enregistrées en matière minérale ou en cendres étaient de (4,47-6,83%) (figure 31) et (5,48-6,31%) (figure 36) sur les échantillons de tubercules de pomme de terre produits respectivement sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et ceux d'isolats fongiques mycorhiziens.



a ; teneur en eau, b ; matière organique, c ; matière sèche, d ; matière minérale.

**Figure .30** Analyse de la variance de la teneur en eau, matière organique, sèche et minérale des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp.



a ; teneur en eau, b ; matière organique, c ; matière sèche, d ; matière minérale.

**Figure .31 Analyse de la variance de la teneur en eau, matière organique, sèche et minérale des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens.**

En effet, le test de Tukey a permis le classement des traitements en groupes homogènes distincts selon les teneurs en eau, en matières sèche, matière organique et matière minérale des tubercules de pomme de terre produits.

➤ **Selon les teneurs en eau des échantillons de tubercules produits, nous distinguons :**

• **Les quatre groupes d'isolats de *Trichoderma* spp. établis comme suit (tableau 19) :**

- Groupe 1 renferme l'isolat T5 ayant montré une teneur en eau de (85,28%).
- Groupe 2 renferme l'isolat T11 ayant montré une teneur en eau de (81,46%).
- Groupe 3 renferme l'isolat TMS ayant montré une teneur en eau de (79,87%).
- Groupe 4 renferme les témoins ayant montré une teneur en eau de (79,55%).

• **Les trois groupes d'isolats fongiques mycorhiziens établis comme suit (tableau 20) :**

- Groupe 1 renferme l'isolat BA ayant montré une teneur en eau de (80,88%).
- Groupe 2 renferme l'isolat MO ayant montré une teneur en eau de (80,62%).
- Groupe 3 renferme les témoins ayant montré une teneur en eau de (80,98%).

➤ **Selon les teneurs en matière sèche des échantillons de tubercules produits, nous distinguons :**

• **Les quatre groupes d'isolats de *Trichoderma* spp. établis comme suit (tableau 19) :**

- Groupe 1 renferme les témoins ayant montré une teneur en matière sèche de (20,44%).
- Groupe 2 renferme l'isolat TMS ayant montré une teneur en matière sèche de (20,12%).
- Groupe 3 renferme l'isolat T11 ayant montré une teneur en matière sèche de (18,53%).
- Groupe 4 renferme l'isolat T5 ayant montré une teneur en matière sèche de (14,71%).

• **Les trois groupes d'isolats fongiques mycorhiziens établis comme suit (tableau 20) :**

- Groupe 1 renferme l'isolat MO ayant montré une teneur en matière sèche de (19,37%).
- Groupe 2 renferme l'isolat BA ayant montré une teneur en matière sèche de (19,11%).
- Groupe 3 renferme les témoins ayant montré une teneur en matière sèche de (19,01%).

- **Selon les teneurs en matière organique des échantillons de tubercules produits, nous distinguons :**
- **Les quatre groupes d'isolats de *Trichoderma* spp. établis comme suit (tableau 19) :**
    - Groupe 1 renferme l'isolat T5 ayant montré une teneur en matière organique de (85,28%).
    - Groupe 2 renferme l'isolat T11 ayant montré une teneur en matière organique de (81,46%).
    - Groupe 3 renferme l'isolat TMS ayant montré une teneur en matière organique de (79,87%).
    - Groupe 4 renferme les témoins ayant montré une teneur en matière organique de (79,55%).
  - **Les trois groupes d'isolats fongiques mycorhiziens établis comme suit (tableau 20) :**
    - Groupe 1 renferme l'isolat MO ayant montré une teneur en matière organique de (94,51%).
    - Groupe 2 renferme l'isolat BA ayant montré une teneur en matière organique de (93,70%).
    - Groupe 3 renferme les témoins ayant montré une teneur en matière organique de (93,68%).
- **Selon les teneurs en matière minérale des échantillons de tubercules produits, nous distinguons :**
- **Les quatre groupes d'isolats de *Trichoderma* spp. établis comme suit (tableau 19) :**
    - Groupe 1 renferme l'isolat T5 ayant montré une teneur en matière minérale de (6,83%).
    - Groupe 2 renferme l'isolat T11 ayant montré une teneur en matière minérale de (5,87%).
    - Groupe 3 renferme l'isolat TMS ayant montré une teneur en matière minérale de (4,79%).
    - Groupe 4 renferme les témoins ayant montré une teneur en matière minérale de (4,47%).
  - **Les deux groupes d'isolats fongiques mycorhiziens établis comme suit (tableau 20) :**
    - Groupe 1 renferme les témoins et l'isolat BA ayant montré des teneurs en matière minérale de (6,31-6,29%).
    - Groupe 2 renferme l'isolat MO ayant montré une teneur en matière minérale de (5,48%).

**Tableau .19 Classement des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. par le test de Tukey selon les teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits de pomme de terre.**

Teneurs Traitements	Répétitions	Teneur en eau %		Matière sèche%		Matière organique%		Matière minérale%	
T5	3	85.281	A	14.719	D	85.281	A	6.838	A
T11	3	81,469	B	18.530	C	81,469	B	5,876	B
TMS	3	79,874	C	20.126	B	79,874	C	4,792	C
Témoin	3	79.559	D	20.441	A	79.559	D	4,470	D

**Tableau .20 Classement des traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens par le test de Tukey selon les teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits de pomme de terre.**

Source Traitement	Répétitions	Teneur en eau %		Matière sèche%		Matière organique%		Matière minérale%	
BA	2	80,888	B	19,111	B	93,706	B	6,294	A
MO	2	80,629	C	19,370	A	94,517	A	5,482	B
Témoin	2	80,985	A	19,014	C	93,684	B	6,316	A

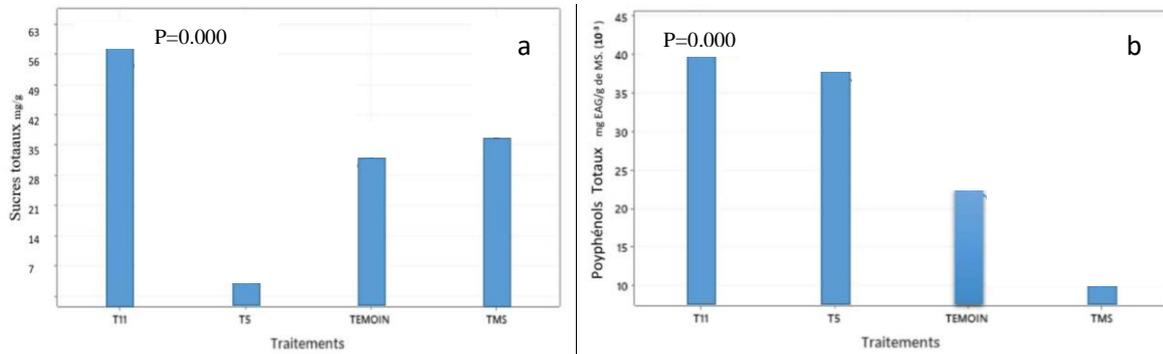
### 3.6.3 Teneurs en sucres et en poly phénols totaux

Les teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux enregistrées respectivement sur l'ensemble des échantillons d'extraits crus et des poudres des tubercules produits ont montré une variabilité significative sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. ( $P=0,000$  ;  $F=287,43$  ;  $P=0,000$  ;  $F=739,96$ ) (voir annexe 18) et ceux à base d'isolats fongiques mycorhiziens ( $P=0,000$  ;  $F=812,92$  ;  $P=0,000$  ;  $F=6090,37$ ) (voir annexe 19).

Les teneurs en sucres totaux enregistrées étaient de (4,22-56,34mg/g) (figure 33) et (15,61-84,38mg/g) (figure 34) sur les échantillons d'extraits crus de tubercules de pomme de terre produits respectivement sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et ceux d'isolats fongiques mycorhiziens.

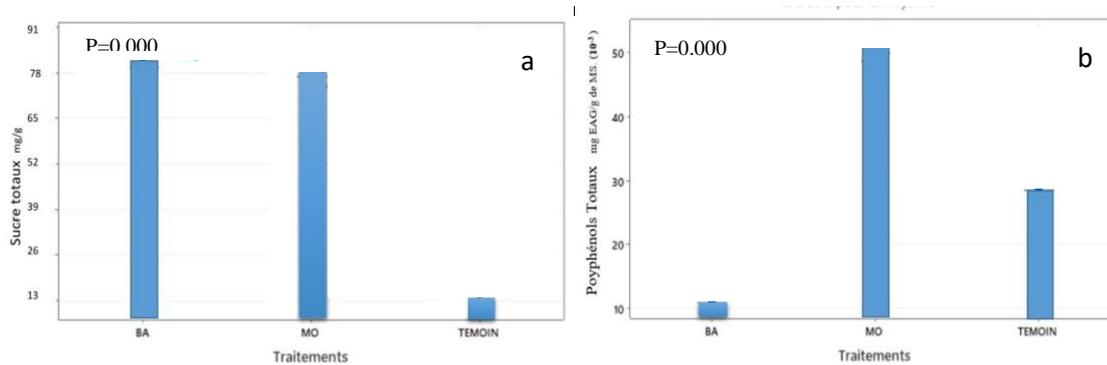
Par ailleurs, les teneurs enregistrées en polyphénols totaux étaient de (10,54-40,36mg EAG/g de MS) (figure 33) et (11,61-52,01 EAG/g de MS) (figure 34) sur les échantillons de poudres

de tubercules de pomme de terre produits respectivement sous l'effet des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et ceux d'isolats fongiques mycorhiziens.



a : teneurs en sucres totaux, b : teneurs en polyphénols totaux.

**Figure .32 Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp.**



a : teneurs en sucres totaux, b : teneurs en polyphénols totaux.

**Figure .33 Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens.**

En effet, le test de Tukey a permis le classement des traitements en groupes homogènes distincts selon les teneurs en sucres totaux et selon les teneurs en polyphénols totaux des tubercules de pomme de terre produits.

➤ **Selon les teneurs en sucres totaux des extraits crus des échantillons de tubercules produits, nous distinguons :**

- **Les trois groupes d'isolats de *Trichoderma* spp. établis comme suit (tableau 21) :**
  - Groupe 1 renferme l'isolat T11 ayant montré une teneur en sucres totaux de 56,34mg/ml.
  - Groupe 2 renferme l'isolat TMS et les témoins ayant montré respectivement des teneurs en sucres totaux de (31,76-36,04mg/g).
  - Groupe 3 renferme l'isolat T5 ayant montré une teneur en sucres totaux de 4,22mg/g.
- **Les deux groupes d'isolats fongiques mycorhiziens établis comme suit (tableau 22) :**
  - Groupe 1 renferme les isolats BA et MO ayant montré respectivement des teneurs en sucres totaux de (84,38-82,16mg/g).
  - Groupe 2 renferme les témoins ayant montré une teneur en sucres totaux de 15,61mg/g.

➤ **Selon les teneurs en polyphénols totaux des poudres des échantillons de tubercules produits, nous distinguons :**

- **Les trois groupes d'isolats de *Trichoderma* spp. établis comme suit (tableau 21) :**
  - Groupe 1 renferme les isolats T5 et T11 ayant montré des teneurs en polyphénols totaux respectivement de 38,54-40,36 mg EAG/ g de MS.
  - Groupe 2 renferme les témoins ayant montré des teneurs en polyphénols totaux de 23,12 mg EAG/ g de MS.
  - Groupe 3 renferme l'isolat TMS ayant montré une teneur en en polyphénols totaux de 10,54mg EAG/ g de MS.
- **Les trois groupes d'isolats fongiques mycorhiziens établis comme suit (tableau 22) :**
  - Groupe 1 renferme l'isolat MO ayant montré une teneur en polyphénols totaux de 52,01mg EAG/ g de MS.
  - Groupe 2 renferme les témoins ayant montré des teneurs en polyphénols totaux de 29,12 mg EAG/ g de MS.
  - Groupe 3 renferme l'isolat BA ayant montré une teneur en en polyphénols totaux de 11,61mg EAG/ g de MS.

**Tableau .21 Classement des traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. par le test de Tukey selon les teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre.**

Traitements	Répétitions	Sucres totaux mg/ml		Polyphénols totaux mg EAG/g de MS.	
T11	3	56,340	A	40.363	A
TMS	3	36,040	B	10,543	C
TEMOIN	3	31,760	B	23,127	B
T5	3	4,220	C	38,543	A

**Tableau .22 Classement des traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens par le test de Tukey selon les teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre.**

Traitement	Répétitions	Sucres totaux mg/ml		Polyphénols totaux mg EAG/ g MS	
MO	3	82,160	A	52,010	A
TEMOIN	3	15,610	B	29,123	B
BA	3	84,380	A	11,610	C

### 3.6.4 Qualité microbienne des tubercules de pomme de terre frais

En effet, aucune colonie fongique n'a été développée à partir de l'isolement des échantillons d'extraits crus de tubercules produits sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. et ceux développés sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens. Cependant, seules des colonies bactériennes ont été formées sur milieu LPGA (figure 35 et figure 36).

Dans ce sens, les unités de colonies bactériennes formées par ml d'extrait cru des échantillons de tubercules de pomme de terre produits a montré une variabilité dans la densité bactérienne isolée sur milieu LPGA qui n'a pas atteint 40% pour l'ensemble des échantillons de tubercules produits sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. (Tableau 23) et 20 % pour ceux produits sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens (Tableau 24).

Nous distinguons selon les isolats de *Trichoderma* spp. les densités suivantes (tableau 23) :

- Celle <10 correspondant aux témoins (7).

- Celle <20 correspondant aux traitements : T5(12).
- Celle <40 correspondant aux traitements : T11(37) et TMS (34,5).

Nous distinguons selon les isolats mycorhiziens fongiques, les densités suivantes (Tableau 24)

- Celle <10 correspondant aux témoins (8).
- Celle <20 correspondant aux traitements : BA (14) MO (18.5).

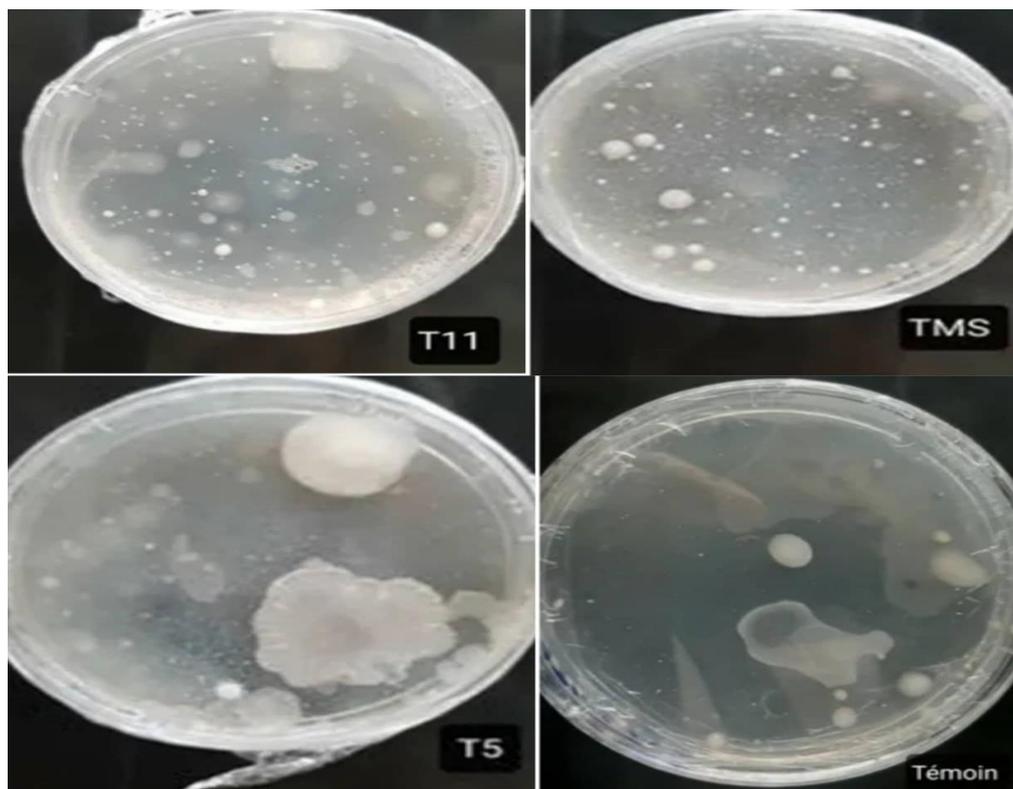
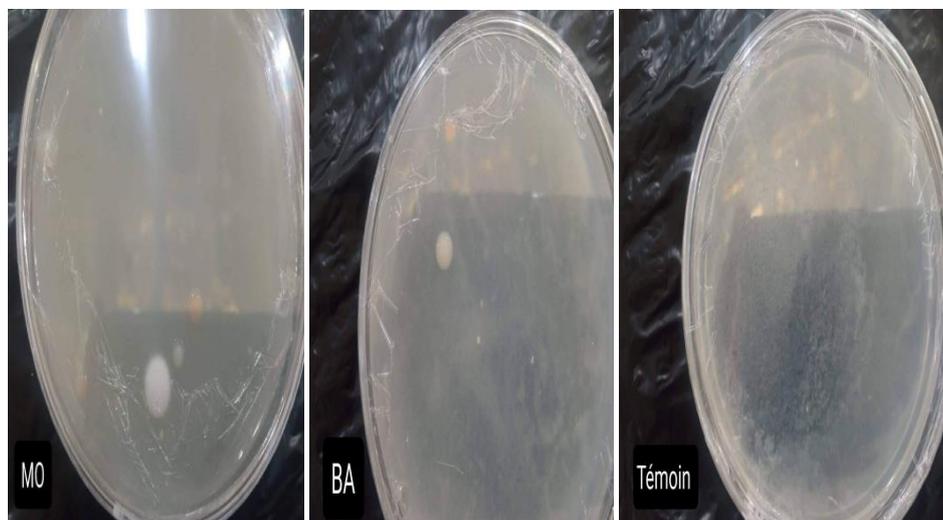


Figure .34 Variabilité de la qualité des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements à base de *Trichoderma* spp.(Originale, 2022)

Tableau 23 : Variabilité microbiologique des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements à base de *Trichoderma* spp.

Traitements	UCF /ml d'extrait cru de tubercule de pomme de terre
T11	37
TMS	34.5
T5	12
Témoin	7



**Figure .35 Variabilité de la qualité microbiologique des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements fongiques mycorhiziens (Originale, 2022)**

**Tableau .24 Variabilité de la qualité des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements à base d'isolats mycorhiziens étudiés.**

Traitements	UCF /ml d'extrait cru de tubercule de pomme de terre
MO	18.5
BA	14
Témoin	8

## Discussion

Un potentiel biostimulant important a été enregistré chez les isolats de *Trichoderma* spp. sur la germination des tubercules de semences sous l'effet des isolats T11 (70%), T5 et TMS (50%) à partir du 9<sup>ième</sup> jour et atteignant les 100% au 12<sup>ième</sup> jour.

Ces résultats coïncident avec ceux de Mukhtar (2008) qui ont prouvé l'efficacité de trois isolats de *Trichoderma harziaunum* stimulateurs de la germination des graines de gombo. Ils ont également affirmé l'efficacité de *T. viridie* et *T. koningii* dans l'augmentation de la germination des graines en comparaison avec les témoins. Phuwiwat et Soyong (1999) ont aussi traduit l'augmentation des taux de germination des graines et le poids sec des pousses et les tiges de la tomate. Il en est de même pour les travaux de Djafar (2011) sur l'effet de quelques isolats algériens de *Trichoderma* spp. sur la croissance d'une culture de pomme de terre, prouvant l'effet biostimulant de ces isolats fongiques sur la germination.

En revanche, Azarmi et al. (2011) ont signalé dans leur étude que, les taux de germination des semences de tomate n'ont pas été affectés par l'application de *Trichoderma* spp.

La longueur des tiges a connu une augmentation sous l'effet des isolats TMS et T11 (14,1 - 17cm, durant la période d'incubation de 33 jours. Nous avons également relevé une nette stimulation des teneurs en eau et en matière minérales sous l'effet de respectivement des isolats T5 (85,28% : 6,83%), T11 (81,46% : 5,87%) et, TMS (79,87% : 4,79%). Aussi, les teneurs en sucres totaux ont connu une élévation sous l'effet de l'isolat T11.

Par ailleurs, des potentialités biostimulantes ont été également enregistrées chez les isolats fongiques mycorhiziens. Le nombre de tiges a connu une augmentation sous l'effet des isolats BA (5), MO (4.4) durant 56 j d'incubation.

Les teneurs en chlorophylles ont été plus importantes sous l'effet d'application des BA (31,71mg/ml) et, MO (30,02mg/ml) durant la période de 40 jours. Il en est de même pour

Le nombre de tubercules produits par plante sous l'effet des isolats MO et BA (7,6 et 8,2) alors que, la densité de production demeure similaire ou plus faibles sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp.

Dans le même contexte que les teneurs en pigments chlorophylliens, nos résultats coïncident avec certains travaux qui ont déjà confirmé l'augmentation des teneurs en pigments chlorophylliens sous l'effet de la mycorhization qui est associée étroitement à une

amélioration globale de la plante (Allen et *al.*, 1981, Joshon, 1984 ; Brown et Beque les changement thenfalyay, 1987).

Dans le même sens, le poids de tubercules produits par plante a connu une très importante augmentation sous l'effet de MO (442,2g) et BA (335,2g) alors qu'il demeure similaire et parfois plus faible que celui enregistré sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp.

Les dimensions des tubercules produits étaient à leur tour plus importante sous l'effet des isolats mycorhiziens. Ainsi, leur longueur et le diamètre des tubercules étaient plus importants sous l'effet respectivement des isolats BA et MO (19,03-19,75cm ; 12,13-12,28cm). Cette même augmentation a été enregistrée sur les teneurs en matière sèche sous l'effet des isolats MO (19,37%), BA (19,11%).

En outre, les isolats de *Trichoderma* spp. et ceux mycorhiziens se sont montré tous les deux biostimulants sur le diamètre des tiges sous l'effet des isolats T11 (2,44cm), T5 et TMS (2,16-2,23cm) durant la période d'incubation de 33 jours et, sous l'effet des isolats BA et MO (3-3,14cm) durant la période d'incubation de 56 jours .

Le nombre de feuilles développé par plante semble plus important sous l'effet des isolats T5 (4,3), TMS et T11 (3,5-3,2) durant la période d'incubation de 25 jours mais meilleur, sous l'effet des isolats BA et MO (12,52-12,74) durant la période d'incubation de 56jours.

Le pouvoir biostimulant des isolats fongiques et mycorhiziens peuvent concorder avec certains travaux. Pertrisoiret et *al.* (2019) ont affirmé à leur tour que l'application de *Trichoderma* sur les graines de tomates a permis d'augmenter la hauteur des plantes en 4 semaines.

Les travaux de Phuwiwat et soyotong (1999) sur la stimulation des paramètres de croissance ont montré que l'application de la suspension conidienne de la souche PC 01 de *T. harzianum* à une concentration de  $53 \times 10^8$  spores /ml dans le milieu de plantation a montré une croissance et un rendement accrus en épis et en grains du radis chinois.

Ousley et *al.* (1994) ont traduit l'amélioration de la croissance de la laitue par l'application de la suspension conidienne de la souche PC 01 de *T. harzianum* par la production de métabolites thermostables à effets stimulateurs ou à pouvoir détoxifiant des substances nocives présentes dans le sol et inhibitrices de la croissance des plantes.

Mouria et *al.* (2007) dans leurs travaux ont prouvé la stimulation des paramètres de croissance de la tomate à des degrés variables sous l'effet de six souches de *T. harziaunum*.

Mohan kumar et *al.* (2013) ont également la capacité de *Trichoderma* spp. à produire des phytohormones qui est le facteur clé de l'augmentation de la hauteur des plantes de riz.

Par ailleurs, d'autres travaux sur la mycorhization des plantes ont confirmé les potentialités biostimulantes des champignons mycorhiziens sur certaines cultures.

Ainsi, Beslemes et *al.* (2018) ont révélé dans leurs travaux des hauteurs des plants d'orge plus élevées lorsqu'ils sont inoculés par les champignons mycorhiziens à arbuscules comparés aux plants témoins. Aadeyemi et *al.* (2020) ont également affirmé à leur tour que la mycorhization a considérablement augmenté la hauteur des plants, la circonférence de la tige, le nombre de feuilles et la surface foliaire de trois cultivars du soja.

Fiorilli et *al.* (2018) ont montré dans leur étude sur l'impact de l'inoculation des plants de blé par les champignons mycorhiziens à arbuscules, une augmentation affectant le rendement en poids et la taille de grains en comparaison avec les plantes témoins.

Druge et shonbech (1992) dans leur étude sur le lin cultivé (*Linum usitatissimum*) ont affirmé le changement dans les niveaux endogènes d'hormones de croissance des plantes en particulier les cytokinines, responsables du changement dans les mouvements stomatiques et dans l'appareil photosynthétiques lui-même.

Les teneurs en matière organique ont également connu une augmentation sous l'effet des isolats T5 (85,28%), T11 (81,46%) et, TMS (79,87%) mais, elles semblent plus importantes aussi sous l'effet des isolats MO (94,51%) et BA (93,70%).

Les en polyphénols se sont avérées meilleures sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. T5 et T11 (38,54-40,36 mg EAG/ g de MS) ainsi que l'isolat fongique mycorhizien MO (52,01mg EAG/ g de MS).

Dans ce sens, ces résultats sont confirmés par ceux de certains travaux. Altomar et *al.* (1999) dans leur étude sur la solubilisation des Phosphates et des micronutriments ont montré que *T. harziaunum* possède un pouvoir solubilisant de microéléments impliqués dans la stimulation de la croissance végétale. Il a été identifié chez les *Trichoderma* spp., des métabolites secondaires tel que l'harzianolide responsable de l'augmentation de la croissance des plantules de pois chiche.

Yedidia et *al.* (2001) ont rapporté que la promotion de la croissance et du rendement du concombre par *Trichoderma* spp peut être le résultat d'une augmentation de la surface des racines leur permettent d'explorer de plus grands volumes de sol pour accéder aux nutriments

et d'une solubilité accrue des composés insolubles ainsi qu'une plus grande disponibilité des micronutriments.

Par ailleurs, Beileski (1973) a rapporté que la symbiose mycorhizienne augmente l'efficacité d'absorption des plantes plus particulièrement celle de l'eau et des éléments peu mobiles dont, le phosphore.

En 2011, Farzaneh et *al.*, ont montré que la culture mycorhizée du pois-chiche par les endomycorhizes à arbuscules permettait d'augmenter le prélèvement en micro et macronutriments à partir d'un taux de mycorhization racinaire compris entre 18 et 55 %.

Il est important de souligner l'effet colonisateur racinaire confirmé chez les trois isolats de *Trichoderma* spp. testés ainsi que, le pouvoir mycorhizogène chez les deux isolats mycorhiziens malgré, leurs faibles apports aux plantes.

Ces résultats concordent avec les travaux de boyetchko et tewari 1995 sur des essais sur huit cultivars d'orge inoculés avec des espèces mycorhizienne individuelle de CMA pour chaque espèce de *Glomus* ainsi que ceux obtenus par Jensen (1982) qui a affirmé que *Glomus constictum* colonisait les racines d'orge à faible niveaux (6%) contrairement à 2 isolats de *G. fasciculum* Gerd. dont, les niveaux de colonisations étaient plus importantes (57% et 64%).

## CONCLUSION

Au terme de cette étude basée sur l'évaluation des potentialités biostimulantes de trois isolats endémiques de *Trichoderma* spp. appliqués par arrosage des plants lors de la plantation et au cours de la croissance de la culture de la pomme de terre et l'incorporation de chacun des deux isolats fongiques mycorhiziens endémiques en début de phase de croissance aux alentours des racines de chaque plante de pomme de terre, il est important de résumer les principaux résultats.

Les isolats fongiques et mycorhiziens endémiques appliqués sur les plants de pomme de terre ont confirmé leurs potentialités agronomiques qui se résument comme suit :

- La germination des tubercules de semences a connu une augmentation sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. T11 (70%), T5 et TMS (50%) à partir du 9<sup>ième</sup> jour et elle atteint les 100% au 12<sup>ième</sup> jour.
- Le nombre et le diamètre des tiges ainsi que le nombre de feuilles ont été beaucoup plus stimulés par les isolats fongiques mycorhiziens mais, ont connu également une augmentation sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. T11, T5 et TMS.
- Quant aux teneurs en chlorophylles, elles semblent importantes sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens BA (31,71mg/ml), MO (30,02mg/ml) durant la période de 40 jours.
- L'augmentation du nombre, du poids des tubercules produits par plante ainsi que, leurs dimensions ont été faites sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens MO et BA
- Les teneurs en eau ont connu une augmentation seulement sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. T5 (85,28%), T11 (81,46%) et, TMS (79,87%).
- Les teneurs en matière sèche ont connu une augmentation seulement sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens MO (19,37%), BA (19,11%).
- Les teneurs en matière organique et en matière minérale ont également connu une augmentation sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. T5 (85,28% : 6,83%), T11 (81,46% : 5,8%) et, TMS (79,87% : 4,79%) mais, celles de la matière organique semblent plus importantes sous l'effet des isolats fongiques mycorhiziens MO (94,51%) et BA (93,70%).
- L'augmentation des teneurs en sucres n'a été enregistrée que sous l'effet de l'isolat T11 de *Trichoderma* spp. mais, celles des teneurs en polyphénols totaux a été enregistrée sous

l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. T5 et T11 ainsi que l'isolat fongique mycorhizien MO (52,01mg EAG/ g de MS).

- Par ailleurs, la qualité microbiologique a été affirmée pour l'ensemble des échantillons de tubercules produits sous l'effet des isolats de *Trichoderma* spp. vu la faibles densité des unités de colonies bactériennes formées.
- Les trois isolats de *Trichoderma* spp. testés ont tous confirmé leur pouvoir colonisateur racinaire.
- Même en faibles doses, les isolats mycorhiziens apportées aux plantes, ont confirmé leur potentiel de mycorhization racinaire.

En conclusion, pour un meilleur rendement et une meilleure qualité des tubercules l'isolat de *Trichoderma* spp. T11 et l'isolat fongique mycorhizien endémique MO peuvent être recommandés dans l'agriculture biologique de la pomme de terre notamment sur certains paramètres de germination, croissance, rendement et critères de qualité vu, leurs potentialités biostimulantes sur cette culture.

En effet, plusieurs perspectives de recherches peuvent être envisagées :

- Il serait intéressant de compléter les analyses biochimiques des tubercules,
- Rechercher et doser les phytohormones,
- Etudier la résistance induite aux plantes face aux stress biotique et abiotique,
- Analyser les performances des semences de pomme de terre produites sous l'effet de ces isolats fongiques et mycorhiziens,
- Identification, caractérisation et Production en masse des isolats fongiques T11 et mycorhiziens MO performants en vue de leur utilisation à grande échelle sur terrain et sous serre et sur différentes cultures,
- Etudier leur stabilité et leurs écotoxicité.

## Références Bibliographiques

1. **Adeyemi N.O., Atayese M.O., Olubode A.A., Akan M.E., 2020.** Effect of commercial arbuscular mycorrhizal fungi inoculant on growth and yield of soybean under controlled and natural field conditions. *Journal of Plant Nutrition* ,43(4): 487-499.
2. **Afnor, 1982.** Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes. Ed. Paris, 325p
3. **Akhtar M.S., Siddiqui Z.A., 2008.** *Glomus intraradices*, *Pseudomonas alcaligenes*, and *Bacillus pumilus* : Effective agent for the control of root – rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J. Gen. Plant Pathol.*, 74 :53-60.
4. **Allala L., 2019.** Etude du virus Y de la pomme de terre en Algérie : Incidence, caractérisation biologique, serologique et moléculaire. Ecole Nationale Supérieur Agronomique El Harrach Alger, 114p.
5. **Allen M.F., Smith W., Moore T.S., Christensen M., 1981.** Comparative water relations and photosynthesis mycorrhizal an non- mycorrhizal *Bouteloua gracilis* H.B.K LAG Ex Steud. *New Phytol.*, 88: 683-693.
6. **Altomar C.,Norvell W.A., BjorkmanT., Harman G.E., 1999 .** Solubilisation of phosphates and micronutrients by the plant growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, 65:2926-2933.
7. **Amir H., Jourand P., Cavaloc Y., Ducouso M., 2014.**Rôle of mycorrhizal Fungi on the alleviation of heavy métal toxicity on plant, 241-258p. *In* :Mycorrhizal Fungi :Use In sustainable agricultura and forestry .Z.Solaiman,L. Abbott,A.Varma Eds, Soil Biology Series ,Springer, Heidelberg, Germany, Vol 41,407p.
8. **Artschwager, E. F.,1918.** Histological studies on potato leafroll. *Jour. Agr. Res*, 15, 559-570.
9. **Audy P., 2016.** Développement et utilisation de biopesticides dans le secteur de pomme de terre, Centre de Recherche et de Développement de Québec, 42p.
10. **Augé R., Tôler H., Saxton A., 2015.** Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply water condition : a meta-analysis .*Mycorhiza*, 25 :13-24.
11. **Auge R., 2004.** Arbuscular mycorrhizae and soil/ plant water relation. *Canadian journal of soil science*, 84: 373-381.

12. **Augé R., 2001.** Water relation, drought and vesicular – arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11: 3-42.
13. **Azarmi R., Hajieghrari B., Giglou A., 2011.** Effect of *Trichoderma* isolates on tomato seeding growth response and nutrient uptake. *African Journal Of Biotechnology* ,10(31): 5850-5855.
14. **Azcon-Aguilar C., Bago B., Barea J.M., 1998.** “ Saprophytic growth of arbuscular mycorrhizal fungi. In : Mycorrhiza, Structure, Function, Molecular, Biology And Biotechnology ».Varlo A., Hock B .(ds.).Springer –Verlag, Berlin, Heidelberg, 391-408p.
15. **Azcon-Aguilar C., Barea J ., 1997.** Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil–borne plant pathogens– an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza*, 6 :457- 464.
16. **Baker R.,1988.** *Trichoderma* spp. as plant-growth stimulants. *Crit .rev. Biotechnol.*, 7(2) :97-106.
17. **Balmer O., Pfiffner L., 2011.** Agriculture biologique et Biodiversité,FeuilleT ,Fibl ,2éme édition., 6p. <https://orprints.org/id/eprint/20246/1/1547-biodiversite.pdf> :consulté le 12/03/2022.
18. **Beileski R.I., 1973.** Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Ann. Rev.Bot*, 69: 2373-2417.
19. **Belkhith S., 2013.** évaluation de la résistance de la pomme de terre à l'égard du *Phytophthora infestans*(Mont.) de Bary agent du Mildiou. Thèse de magister, école doctorale de biotechnologie végétale Elharrach ,Alger.79p
20. **Bellibel N.,Chemouri Z.,2019.**Effet bénéfique des champignons du genre *Trichoderma* sur les cultures : cas de la tomate .Thèse Master en microbiologie mycologie et biotechnologie fongique , Université Frères mantouri Constantine.32P
21. **Bellahcene M., 1990.** Antagonisme de dix souches de *Trichoderma* vis-à-vis de trois formes spéciales de *Fusarium oxysporum*. Thèse de magister, Univ. D’oran Es-Senia, 77p.
22. **Benkhada M., 2006.** Evaluation des risques fongiques en zones conchylicoles : substances toxiques des souches marines du genre *Trichoderma* .thèse de doctorat : mycologie marine, *Université De Nantes Faculté. France*, 139p.
23. **Bernhards U., 1998.** La pomme de terre *Solanum Tuberosum* L. Monographie. Institut National Agronomique. Grignon, Paris. 219-230p.

24. **Bessaoud O., Lefki K., 2018.** Diagnostic du système de régulation de la pomme de terre en Algérie. Rapport de recherche. ENPARD, 46p.
25. **Bisset J., 2004.** Commentaires de l'adresse internet suivante : [http://www.Medicalglossary.org/fungi\\_mitosporic\\_fungi\\_definitions.html](http://www.Medicalglossary.org/fungi_mitosporic_fungi_definitions.html). Consulté le 05-06-2022.
26. **Bonfant P., Requena N., 2011.** Dating in the dark : how root respond to fungal signal to establish arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Curr .Opin.Plant Biol.*,14: 451-457.
27. **Boizot N., Charpentier J.P., 2006.** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre fustier. Le cahier de Technique de l'Inra, 79-82p.
28. **Boufarres K., 2012.** Comportement des trois variétés de la pomme de terre (Spunta,Désirée,Chubaek) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique, Université Aboubaker Kaid ,Tlemcen, 72p.
29. **Boullard B., 1982.** Brève réponse à une question : Que recouvre la notion de mycorhizes? *In* : Les mycorhizes, partie intégrante de la plante : Biologie et perspectives d'utilisation ,13 ième Coll., INRA, Dijon, France. 15-21p.
30. **Bounouira Y., 2020.** Activités biologiques de la diatomite sur les bioagresseurs.Thèse de doctorat .Université Aboubaker Kaid ,Tlemcen. 96p.
31. **Bourahla A., 2007.** Evaluation de la réponse de la culture pomme de terre conduite une apport d'eau limité. Thèse de Magister en sciences agronomiques. El Harrach Alger, 72p.
32. **Bourenan Y., 2022.** Le Boycott de la pomme de terre en Algérie, prix élevés. 19 Mars, journal EL-Ain, <https://al-ain.com/article/algeria-potatoes-boycott-rising-prices>.Consulté le 28/06/2022.
33. **Bouznad, Z. Ait ouada, M, Kedad, A. Mokablia, A. Siafa, A. et Yahyaoui, S.2008.** principaux ravageurs et maladies de la pomme de terre : Agents responsables dégâts. Condition de développement et méthodes de lutte. Journée d'études sur la filière pomme de terre .
34. **Boyetchko S.M., Tewari J.P., 1995.** Susceptibility of barley cutlivars to vesicular arbuscular mycorrhizal fungi .*Canadian Journal Of Plant Science* ,75(1): 269-275.
35. **Brown B. ,Bthenfalyay G.J., 1987 .** *Lycine –Glomus- Rhizobium* symbiosis. *Plant Physiol.*, 85:120-123.

36. **Brundrett M., Tedersoo L., 2018.** Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytol.* in/an/<https://doi.org/10.1111/nph.14976>. Consulté le 15-06-2022.
37. **Cappellazzo G., Lanfranco L., Fitz M., Wipf D., Bonfante P., 2008.** Characterization of an amino acid permease from the endomycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Plant Physiol.*, 147 : 429-437.
38. **Caron J., Laverdiere P., Thibdeau R., Blanger R., 2002 .**Utilisation d'une souche indigène de *Trichoderma harzianum* contre cinq agents pathogènes chez le concombre et la tomate de serre au Quebec. *Phytoprotection*, 83 :73-87P.
39. **Cavagnaro T ., Gao L., Smith F .,Smith E., 2001.** Morphology of arbuscular mycorrhizas is influenced by fungal identity. *New Phytol*, 151: 469-475.
40. **Chandler D., Bailey A.S., Tatchell G.M., Davidson G., Greaves J., Grant WP., 2008.** The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B.*, 366(1573) : 1987-1998.
41. **Chaumeton H., Jutier S., Fragnaud C., 2006.** La culture des pommes de terre. 93p.
42. **Chibane A., 1999.** Technique de production de la pomme de terre au Maroc. Bulletin de liaison et d'information du PNTTA. Transfert de technologie en agriculture,52, 4p.
43. **Clarys L .,2005 .** La pomme de terre contre saison dans le Sud Est Malgache.Inter aide,Programme Agricole Manakara ,3P .
44. **Compobello E.W.A., Drenth H.H. et Leifrink R.S., 2002 :** Culture professionnelle de pomme de terre, plantation. 2eme édition. Nivva . 22P
45. **Cournut B., 1984.** Le genre *Trichoderma hyphomycètes*. Thèse doctorat en Pharmacie, Marseille, France, 77p.
46. **Coughlan, A., 2000.** *Soil pH-induced changes in root colonizattion ,diversity of symbiotic arbusscular mycorrhizal fungi from healthy and declining maple forests. Canadian journal of forest research*, 30: 1543-1554.
47. **Davet P., 1981.** Effet de quelques pesticides sur la colonisation d'un substrat par *Trichoderma harziamnum* Rifai en présence des autres champignons du sol. *Soil Biol. Biochem*, 13 :513-517.
48. **Delaplace P., 2007.** Caractérisation physiologique et biochimique du processus de vieillissement du tubercule de pomme de terre. Thèse doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique . Faculté universsitaire des sciences Agronomique de Gembloux, Belgique,171p.

49. **Dimitri M.J., 1987.** Descripción de plantas cultivadas, (Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería), Buenos Aires, ACME S.A.C.I. Argentine, 313p.
50. **Djafer A., 2011.** Impact de l'utilisation des isolats algériens de *Trichoderma* sp. sur la culture de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L.en Algérie. Master II en sciences Agronomiques Université de Blida, 74p.
51. **Dodd S., Lieckfeldt E., Garry S.J., 2003.** *Hypocrea atroviridis* sp. nov., the teleomorph of *Trichoderma atroviride*. *Mycologia*, 95: 24-40.
52. **Dodd S., Lieckfeldt E., Chavarr IP., Overton B.E., Garry S.J., 2002.** Taxonomy and phylogenetic relationships of two species of *Hypocrea* with *Trichoderma anamorphs*. *Mycological Progress*, 1 :409-428.
53. **Domsh K., Gams W., Anderson T., 1980.** Compendium of Soil Fungi, Volume 1. , Academic Press, London. 866p.
54. **Dreywood R.,1946.** Qualitative test for carbohydrate material. *Industrial and Engineering Chemistry, Analytical Edition* 18, 499
55. **Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J., 2006.** L'agronomie Aujourd'hui. Quae, Versailles, 367 p.
56. **Drüge U., Schönbeck F., 1992.** Effect of vesicular–arbuscular mycorrhizal infection on transpiration, photosynthesis and growth of flax (*Linum usitatissimum* L.) in relation to cytokinin levels. *J. Plant Physiol.*, 141 ,P48.
57. **DSA, 2014.** Bulletin statistique ,Direction de services Agricoles,Statistiques, 27p.
58. **Dubois M., Gilles K., Hamilton J., Rebers P., Smith F., 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and substances. *Anal. Chem.*, **28** : 350-356.
59. **Duffy B., Simon A., Weller D., 1996.** Combination of *Trichoderma koningii* with *Fuorescent Pseudomonas* for contrôle of take –all on wheat. *Phytopathology*, 77 :182-189.
60. **Dumas-Gaudot E ., Gollette A ., Cordier C., Gianinazzi S., Gianinazzi P ., 2000.** Modulation of host defence systems. *In* : Kapulnik Y., Doude DDJ (eds) .arbuscular mycorrhizas :physiology and function .Kluwer ,The Netherlands, 173-200p.
61. **Egger K., Peterson R., 2001.** Ectendomycorrhizal associations-characteristics and function. *Mycorrhiza*, 11 :167-177.
62. **Fanambinana R., 2012.** Analyse et modélisation des effets des pratiques culturales sur les épidémies du mildiou de pomme de terre. Adaptation du modèle SIPPOM, Toulouse, France,149p.

63. **FAO, 2008.** Année internationale de la pomme de terre, Compte rendu de fin d'année. 148p <https://www.fao.org/3/i0500f/i0500f.pdf> :Consulté le 14/03/2022.
64. **FAO, 2022.** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et Agriculture . Statistiques mondiale de pomme de terre. [www.fao.org/FAOSTAT/fr](http://www.fao.org/FAOSTAT/fr): Consulté le 30/05/2022.
65. **Fiorilli V., Vannini C., Ortolanni F., Garcia –Seco D., Chiapello M., Novero M., Moulin L., 2018.** Omics approaches revealed how arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances yield and resistance to leaf pathogen in wheat. *Scientific reports*, 8(1): 1-18.
66. **Fortin J., Plenchette C., Piche Y., 2008.** Les Mycorhizes : La Nouvelle, Révolution Verte. Ed. Multimondes. Ed. Quae., 131p.
67. **Garbaye J ., 2013.** La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons . *Ed.Quae* ,Versailles, 25p.
68. **Ghoumari S., 2014.** Production de variants de pommes de terre. Thèse de Doctorat en Biotechnologie Végétale, Université Abd Elhamid Ibn Badis Mostaghanem, 98p.
69. **Gilroy S., Jones D., 2000.**Through form to function : root hair development and nutrient uptake.*Trends in Plant Science*, 5 :56-60.
70. **Gitin L., Dinica R., Parnavel R., 2012.** The influence of extraction method on the apparent content of bioactive compounds in Romanian *Allium* spp. *Notulae Botanicae Horti. Agrobotanici. Cluj-Napoca*, 40(1) : 93-97.
71. **Grison C., 1993.** La Pomme De Terre. Caractéristiques Et Qualité Alimentaire. APRIA (Association Pour La Promotion Industrie Agriculture), 9p.
72. **Harman G., Taylor A., Stasz T., 1989.** Combining effective strains of technique phytosanitaires 2001.INPV, Londres, 362-371p.
73. **Hawkes J., 1990.** The potato evaluation, biodiversity and Genetic Resources. Londres : Belhaven Press, 259p.
74. **Heinemeyer A., 2004.** Impact of soil warming and shading on colonization and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of a native grassland community. *Global Change Biology*, 10 :52-64.
75. **Hoffmann D., Vierheilig H., Schausber P., 2011.** Mycorrhiza-induced trophic cascade enhances fitness and papulation growth of an acarine predator. **Oecologia**, 166(1) :141-149.
76. **Hopkins W., 2003.** Physiologie végétale 2<sup>eme</sup> Édition américaine, de Boeck et Lancier SA, Paris, 514p.

77. **Jin Z ., Homola E ., Goldbach P .,Choi Y ., Brill J ., Carmppbell S., 2005.** *Drosophila Myt1* is a ;Cdk1 inhibitory kinase that regulates multiple aspects of cell cycle behavior during gametogenesis. *Development*, 132(18) :4075-4085
78. **Joshson C.R., 1984.** Effect of phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*. *Plant soil*, 80:35-42.
79. **Jouve J.L., 1996.** La qualité microbiologique des aliments. Maitrise et critères. 2é édition ,Polytechnica. Paris. France. 561p.
80. **Keymer A., Pimprikar P., Wewer A., 2017.** Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. *Life Sciences*, 6:e29107. <https://doi.org/10.7554/eLife.29107> consulté le 03-06-2022.
81. **Kezzabi A.,2017 .**Une histoire de pomme de terre.Le quotidien d’Oran <https://www.djazairess.com/fr/lqo/5242015> :consulté le 13/05/2022.
82. **Kubicek C., Bissett J., Druzhinina I., Kullnig – Gradinger C., Szakacs G., 2002.** Genetic and metabolic diversity of *Trichoderma* : a case study on South East Asian isolates. *Fungal Genet. Biol.*, 38: 310-319.
83. **Laamara M., Alahoum R., 2020.** Bioécologie de la teigne de la pomme de terre sur quelques variétés de pomme de terre et essais de lutte . Université Mouloud Maameri,Tizi Ouzou, 111p.
84. **Landreau A., 2001.** Métabolites d’une souche de *Trichoderma koningii* Oudemans isolée du milieu marin : Etude chimique, biologique et risques pour les coquillages en culture. Thèse Doct. Pharmacie. Univ. Nantes, France, 201p.
85. **Laumonier R., 1979 .**Cultures légumières et maraîchères. Ed. Baillière, tome3, Paris, 92-105p.
86. **Légrand P., Guillaumin J., Lung-Escarmant B., Botton B., 2005.** L’armillaire et le pourridié –agaric des végétaux ligneux. Inra, France, 504p.
87. **Leuchtamann A., Pertini O., Samuel G., 1996.** Isozyme subgroups in *Trichoderma* section *longibrachiatum*. *Mycologia* , 88 :384-394.
88. **Liechfeldt E., Samuel G.J., Borner T., Gams W., 1998.** *Trichoderma koningii* : neatypification and *Hypocrea teleamorph*. *Can .J.of Bot.*, 76 :1507-1522.
89. **Linchtenthaler H., 1987.** chlorophyls and carotenoids :pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.*, 148: 350-382 .
90. **Lopez-Pedrosa A., Gonzalez–Guerrero M., Valderas A., Azcon–Aguilar C., Ferrol N., 2006.** Gint AMT1 encodes a functional high – affinity ammonium

- transporter that is expressed in the extraradical mycelium of *Glomus intraradices*. *Fungla Genet .Biol*, 43: 102-110.
91. **Lynch J.M., Wilson K.L., Ousley M.A., Whipps J.M., 1991.** Response of lettuce to *Trichoderma* treatment. *Lett. Appl. Microbiol.*, 12: 59-61.
  92. **Madec P., Prennec P., 1980.** Age physiologique du plant de pomme de terre. Incidence sur la germination et répercussions sur le comportement des plantes. *Potato. Res.*, 23 : 183-199.
  93. **MADR , 2021.** Statistiques de Pommes de terre en Algerie. Ministère de l’agriculture et développement rural <https://madr.gov.dz/> [consulté](#) le 22/06/2022.
  94. **Malik C.P., Singh M.B., 1980** .Plant Enzymology and Histo Enzymology .Kalyani Publishers, New Delhi, 286p.
  95. **Matkowski A., Piotrpwska P., 2006.** Antioxydant and free radical scavenging activities of somme medicinal plants from the Lamiaceae. *Fitoterapia*, 77(5) : 346-353.
  96. **Martin C., Vernog R., Paynot M., 1982.** Photopériodisme, tubérisation, floraison et phénalanides. C.R.AC. 6 ième édition, France, 138p.
  97. **Mattila P., Hellstorm J., 2007.** Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20 : 152-160.
  98. **Meera MS., Shivanna MB., Kageyama K., Hykumachi M., 1995.** Persistence of induced systemic resistance in cucumber in relation to root colonization by plant growth promoting fungal isolates. *Crop Prot.*, 14:123-130.
  99. **Meitah M.,2019.** Etude de comportement variétal de trois variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L) dans la région de Biskra .Science agronomique, Université Mohamed Khider.65P.
  100. **Mohamed A., 2020.Madi N., 2016.** Association de culture olivier /vesce/avoine : performance et influence sur le K (HNO3) de la rhizosphère. Université Mouloud Mammeri de Tizi – Ouzou, 78p.
  101. **Morton J., Benny J., 1990.** Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order Glormales. Two new soborders Glominae and Gigasporinae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an amediation of Glomaceae. *Mycotaxon*, 37: 471-491.
  102. **Mouria B., Ouazzani-Touhami A., Dounia A., 2007.** Effet de diverses souches du *Trichoderma* sur la croissance d’une culture de tomate en serre et leur aptitude à coloniser les racines et le substrat. *Phytoprotection*, 88(3):103-110.

103. **Mukhtar I., 2008.** Influence of *Trichoderma* species on seed germination in okra. *Mycopath.*, 6(1-2):47-50.
104. **Nagy R., Karandashov V., Chague V., 2005.** The characterization of novel mycorrhiza-specific phosphate transporters from *Lycopersicon esculentum* and *Solanum tuberosum* uncovers functional redundancy in symbiotic phosphate transport in solanaceous species. *Plant J.*, 42: 236-250.
105. **Oleh F., Alves Da Silva G., Goto B., Costa Maia L., Sieverding E., 2011.** Glomeromycota :two new classes and new order. *Mycotaxon*, 116:365-379.
106. **Omari C., 2009.** La filière pomme de terre en Algérie . In Revue Filaha-innové. Ed. Magvet. N°1111-4762, 19p.
107. **Ousley M.A., Lynch J.M., Whipps J.M., 1994.** Potential of *Trichoderma* spp. as consistent plant growth stimulators. *Biology and fertility of soils*, 17(2):85-90.
108. **Papaviza G., 1985.** *Trichoderma* and *Gliocladium* : Biology , Ecology and potential for biocontrol. *Annual Review of Phytopathology*, 23: 23-54.
109. **Pearson J., Jakobsen I., 1993.** The relative contribution of hyphae and root to phosphorus uptake by arbuscular mycorrhizal plants , measured by dual labelling with <sup>32</sup>p and <sup>33</sup>p. *New Phytologist*, 12: 489-494.
110. **Perennec P., Madec P., 1980.** Age physiologique du plant de pomme de terre. Incidence sur la germination et répercussions sur le comportement des plantes., *Potato research*, 23 : 183-199.
111. **Pertrisor C., Paica A., Burnichi F ., 2019.** Physiological and Growth Response of Tomato Plants after *Trichoderma* spp. seed Treatment. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Chemai*, 64 : 567-577
112. **Philippeau G., 1989.** How to interpret the results of a principal component analysis. Technical Institute of Cereal and Feeds (ITCF), Paris, France, 63 p.
113. **Philips J.M., Hayman D.S., 1970.** Improved procedures for cleaning roots and staining. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 55:158-160.
114. **Phuwawat W., Soyong K., 1999.** Growth and Yield Response of Chinese Radish to application of *Trichoderma harzianum* . *Science and Technology Asia*, 4(1) : 68-71.
115. **Pozo M., Azon –Aguiliar C., 2007.** Unraveling mycorrhiza-induced resistance . *Current Opinion In Plant Biology*, 10: 393-398.
116. **Quezel, P., Santa S., 1962 .** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. 2 tomes. Ed. C.N.R.S. Paris, 1170P.

117. **Redecher D., Schubler A., Stockinger H., Stumer S.L., Morton J.B., Walker C., 2013.** An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). *Mycorrhiza*, 23 :515-531.
118. **Requna N., Serrano E., Ocon A., Breuninger M., 2007.** Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment. *Phytochemistry*, 68: 33-40.
119. **Ribéreau-Gayon J., 1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Dunod, Paris, 254p.
120. **Rousselle P., Robert Y., Crosnier J.C., 1996.** La pomme de terre production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation. INRA, Paris, 607p.
121. **RIP , 2015.** *Bulletin d'information*, Québec: Ministère d'Agricultures ,des pecherie et de l'Alimentation, 12p. [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_90100.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_90100.pdf). Consulté le 15/06/2022.
122. **Rouag N., 2016.** Méthodes de lutte et risque. Polycopié, Département sciences agronomiques, Université Abbes Farhat Sétif, 35p.
123. **Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R.M., 1999.** Analysis of total phenol and other oxidants substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299 : 152-178.
124. **Serail H., 2003.** Sources principales : Mémento du producteur. Pomme de Terre Maladies et ravageurs des légumes de plein champ en Bretagne. Ed Chambres d'Agricultures de Bretagne, 65p.
125. **Smith S.E., Smith F.A., Jackson I., 2004.** Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses : the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake. *New Phytologist*, 133:16-20.
126. **Smith S.E., Read D., 2008.** Mycorrhizal Symbiosis, Third Edition .Academic Press., London,301-310p.
127. **Smith S.E., Smith F.A., Jackson I., 2003.** Mycorrhizal Fungi Can Dominate Phosphate Supply to Plants Irrespective Of Growth Responses. *Plant Physiology*, 133 :16-20.
128. **Soltner D.,2005.** Les bases de la production végétale. Collection sciences et techniques agricole éd .France, 472P .
129. **Soltner D., 1990.** Les grandes productions végétales. Collection sciences et techniques agricole éd .France, 646p.

130. **Soltner D., 2012.** Les grandes productions végétales: céréales, plantes sarclée, prairies, sciences et technique Agricoles, 472p.
131. **Souza T., 2015.** Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. 1er edition, Springer Internationale Publishing, Switzerland, 87-128p.
132. **Subramanian C., 1998.** .Hyphomycetes. Taxonomy and Biology. London: Academic Press Inc ., 340-347, 502p.
133. **Sugiyama J., 1987.** Pleomorphic fungi : the diversity and its taxonomic implantations. Fifth edition , USA Elsevier, 325p.
134. **Thrane C., Funck J., Tronsmo A., 2000.** Colonisation du substrat, la concurrence souche, la production enzymatique *in vitro*, et de la lutte biologique par *Phythium ultimum* *Trichoderma* spp. *European Journal Of Plant Pathology* ,106 : 215-225.
135. **Tibault P., 2003.** importance d'une irrigation adéquate dans la culture de pomme de terre. Procceeding du Colloque sur la pomme de terre : CRAAO, Québec ,5p.
136. **Toumi I., 2014.** Etude des ravageurs insectes de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L .dans la Région d'ElOued, Algérie sud. Thèse doctorat, Université Biskra Mohamed Khider, 2p.
137. **Trouvelot A., Kough J., Gianinazzi P., 1986.** Estimation of vesicular arbuscular mycorrhizal infection levels. Research for methods having a functional significance. *In* physiological and Genetical Aspects of mechorizae, INRA éd .Paris, 217-221p.
138. **Van Der Heijden M., Martin, F., Selosse M ., Sanders I., 2015.** Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205(4):1406-1423.
139. **Vanoosthuyse F., Firlej A., Cormier D., 2018.** La résistance des insectes et des acariens aux pesticides état de la situation pour les espèces agricoles présentes au Québec .État de la situation pour les espèces Feuillet ,IRDA, 12p.
140. **Vincent C., Panneton B., 2001.** Les méthodes de lutte physique comme alternatives aux pesticides. Centre de recherche et de développement en horticulture, Agriculture et agro-alimentaire, Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, <https://journals.openedition.org/vertigo/4093>. consulté le 12 juillet
141. **Whipps J., 2004.** Prospects and limitation for Mycorrhiza in biocontrol of root pathogens. *Can. J. Bot.*, 82 :1198-1227.

142. **Widden P., et Abitrol J., 1980** .Seasonality of *Trichoderma* species in a spruce –forest soil. *Mycologia*, 72 :775-784.
143. **Wunsch J., 2004**. Effet de la differenciation des produits sur la conduite de la culture de pomme de terre de conservation dans les exploitations agricoles de Picardie, s.l.: institut agronomique Paris-Grignon,151p.
144. **Xie X., Huang W., Liu F ., 2013**. Functional analysis of the novel mycorrhiza-specific phosphate transporter AsPTI and PHTI family from *Astaragalus sinicus* during the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.*, 198 :836-852.
145. **Yedidia I., Srivastva A.K.Y., Chet I., 2001**. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. *Plant and soil*, 235(2): 235 -242.
146. **Zeddami J.L., Barragan A., Pollet A., Léry X., Gallegos J., 2007**. Améliorer la sécurité alimentaire des agriculteurs des Andes équatoriennes grâce à la lutte intégrée contre la teigne de pomme de terre. Recueil des séminaires et ateliers Scientifiques : IRD, Equateur, 102p.
- Zhou T., Reelder R., 1991**. Colonization of bean flowers by *Epicoccum purpurascens*. *Phytopathology*, 81:774-778.

# **Annexe**

**Annexe1 : Composition du milieu LPGA (Lelliott et stead., 1987) 1000ml d'eau distillée,**

- 15 g d'agar,
- 10 g de glucose
- 5g de peptone
- 5g d'extrait de levure

Stérilisation à l'autoclave à 120°C pendant 20mn.

**Annexe2 : composition du milieu PDA 1000ml d'eau distillée**

- 15g d'agar
- 10g de glucose
- bouillon de 200g de pomme de terre
- 15g d'extrait de levure

Stérilisation à l'autoclave à 120°C pendant 20mn

**Annexe3 : Analyse de la variance des taux de germination des semences de pomme de terre par le test ANOVA selon les traitements et selon la durée d'incubation**

Source / Durée de Germination (Jours)	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
3	3	0.400	0.133	1.500	0.231
6	3	0.875	0.291	2.140	0.112
9	3	2.675	0.891	4.520	0.005
12	3	2.200	0.733	6.290	0.002
15	3	0.075	0.025	1.000	0.404

**Annexe 4 : Analyse de la variance du nombre de tiges développées par plante par le test ANOVA selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp.**

Source / Période D'incubation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
25J	3	1.800	0.600	0.820	0,489
33J	3	1.475	0.491	0.250	0,864
41J	3	1.711	0.427	0.140	0.968
50J	3	2.700	0.900	0.290	0.835

**Annexe 5 : Analyse de la variance du nombre de tiges développées par plante traités par les champignons mycorhiziens par le test ANOVA.**

Source / Période D'incubation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
40J	2	0.133	0.066	0.020	0,980
48J	2	1.200	0.600	0.120	0,890
56J	2	37.200	18.600	4.610	0.003
64J	2	5.200	2.600	0.530	0.603

**Annexe 6 : Analyse de la variance de la longueur moyenne des tiges développées par plante selon les traitements champignons à base d'isolats de *Trichoderma* spp. par le test ANOVA.**

Source / Période incubation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
25J	3	34.040	11.348	2.110	0.117
33J	3	554.500	184.850	12.820	0.000
41J	3	617.700	154.440	2.040	0.111
48J	3	266.000	88.680	1.070	0.376

**Annexe 7 : Analyse de la variance de la longueur moyenne des tiges développées par plante selon les traitements à base de champignons mycorhiziens par le test ANOVA.**

Source / Période d'incubation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
40J	2	85.820	42.910	2.890	0.094
48J	2	306.300	153.200	1.250	0.323
56J	2	1012	506.200	2.900	0.111
64J	2	653.000	326.500	1.810	0.206

**Annexe 8 : Analyse de la variance du diamètre moyen des tiges développées par plante selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. par le test ANOVA.**

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Période D'incubation					
25J	3	6.391	2.130	2.520	0.074
33J	3	5.217	1.739	3.080	0.040
41J	3	1.455	0.484	0.900	0.451
48J	3	64.680	21.560	0.730	0.541

**Annexe 9 : Analyse de la variance du diamètre moyen des tiges développées par plante selon les traitements à base de champignons mycorhiziens par le test ANOVA.**

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Période incubation					
40J	2	0.324	0.162	0.640	0.543
48J	2	12.27	6.133	1.420	0.280
56J	2	12.61	6.304	6.58	0.012
64J	2	4.103	2.051	1.11	0.361

**Annexe 10 : Analyse de la variance du nombre de feuilles développées par plante traitée par les isolats de *Trichoderma* spp. par le test ANOVA.**

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Période incubation					
25J	3	37.480	12.492	3.180	0.036
33J	3	29.880	9.958	2.690	0.061
41J	3	63.710	15.930	1.250	0.307
48J	3	28.640	9.546	1.610	0.203

**Annexe 11 : Analyse de la variance du nombre de feuilles développées par plante traitée par les champignons mycorhiziens par le test ANOVA.**

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Période d'incubation					
40J	2	23.950	11.980	0.820	0.464
48J	2	21.240	10.620	0.720	0.506
56J	2	223.700	111.850	6.520	0.012
64J	2	92.720	46.360	2.810	0.100

**Annexe 12 : Analyse de la variance des teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées par le test ANOVA selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp. et selon la durée d'incubation.**

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Teneurs en pigments (mg/ml)					
Chlorophylle (37J)	3	412.5	137.5	2.32	0.152
Caroténoïde (37J)	3	11.067	3.689	6.450	0.016
Chlorophylle (51J)	3	56.210	18.740	0.710	0.572
Caroténoïde (51J)	3	0.035	0.011	0.050	0.986

**Annexe 13 : Analyse de la variance des teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées par le test ANOVA selon les traitements à base de champignons mycorhiziens et selon la durée d'incubation.**

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Teneurs en pigments (mg/ml)					
Chlorophylle (40J)	2	291,550	145,773	15,300	0,004
Caroténoïde (40J)	2	2,876	1,438	3,160	0,111
Chlorophylle (55J)	2	588 ,500	294,250	6,480	0.032
Caroténoïde (55J)	2	1,112	0,5559	1,62	0.274

**Annexe 14 : Analyse de la variance des paramètres de production des tubercules produits de pomme de terre par le test ANOVA selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp.**

Source / Paramètres	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Nombre de tubercules produits par plante	3	21.97	7.322	19.780	0.000
Poids des tubercules produits par plante (g)	3	20701	69006	58.280	0.000
Poids moyen d'un tubercule (g)	3	47896	15965	9.240	0.000
Longueur (cm)	3	16.530	5.509	0.670	0.573
Diamètre (cm)	3	12.230	4.077	1.590	0.191

**Annexe 15 : Analyse de la variance des paramètres de production des tubercules produits de pomme de terre par le test ANOVA selon les traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens.**

Source / Paramètres	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Nombre de tubercules produits par plante	2	25.026	12.512	14.44	0.001
Poids des tubercules produits par plante (g)	2	5758	28793	68.420	0.000
Poids moyen d'un tubercule (g)	2	406.020	203.100	23.310	0.000
Longueur (cm)	2	323.600	161.810	12.840	0.000
Diamètre (cm)	2	85.030	42.514	16.550	0.000

**Annexe 16 : Analyse de la variance des teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits de pomme de terre par le test ANOVA selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp.**

Source / Teneurs	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
en eau%	3	62.099	20.699	15205	0,000
Matière sèche%	3	62.099	20.699	15205	0,000
Matière organique%	3	62.099	20.699	15205	0,000
Matière minérale%	3	10.480	3.493	1528	0,000

**Annexe 17 : Analyse de la variance des teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits de pomme de terre par le test ANOVA selon les traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens.**

Teneurs \ Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
en eau %	2	0,202	0,101	478,340	0,000
Matière sèche%	2	0,202	0,101	478,340	0,000
Matière organique%	2	1,353	0,676	64,110	0,000
Matière minérale%	2	1,353	0,676	64,110	0,000

**Annexe 18 : Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre par le test ANOVA selon les traitements à base d'isolats de *Trichoderma* spp.**

Teneurs \ Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Sucres totaux mg/g des extraits crus de tubercules	3	9500,510	3166,840	287,430	0,000
Polyphénols mg EAG/g de MS de tubercules	3	1777,250	592,415	739,960	0,000

**Annexe 19 : Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux et en poly phénols totaux des tubercules produits de pomme de terre par le test ANOVA selon les traitements à base d'isolats fongiques mycorhiziens.**

Teneurs \ Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Sucres totaux mg/g des extraits crus de tubercules	2	20790	10395	812,920	0,000
Polyphénols mg EAG/g MS	2	2462,680	1231,340	6090,370	0,000

**Annexe 20 : Courbe d'étalonnage des sucres totaux.**

Concentration mg/ml	0	0.0021	0.005	0.007	0.009
DO	<b>0</b>	<b>0.556</b>	<b>1.349</b>	<b>1.998</b>	<b>2.5</b>

**Annexe 21 : Courbe d'étalonnage de polyphénol totaux.**

Concentration µl EAG/ml	200	125	100	62.5	50	31.25	25	12.5
DO	<b>1,485667</b>	<b>1,007</b>	<b>0,780667</b>	<b>0,513667</b>	<b>0,387333</b>	<b>0,250667</b>	<b>0,216667</b>	<b>0,096667</b>

