

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'étude
Pour l'obtention
Du Diplôme de Master académique
Filière Biotechnologies
Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des Plantes

Thème

**Evaluation des potentialités biostimulantes de quelques intrants bactériens
endémiques sur la culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.)**

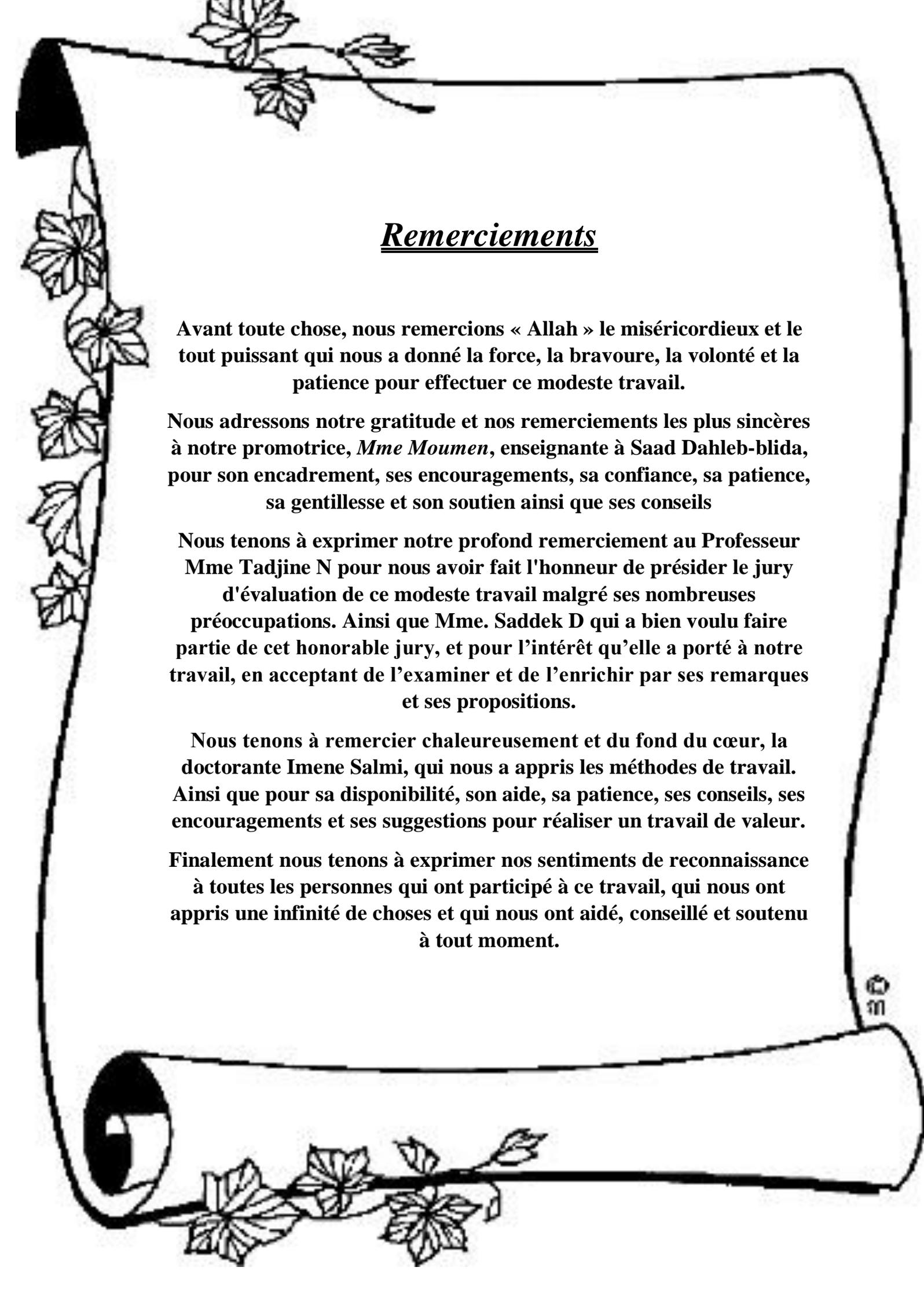
*Réalisé par
Hamou Amina, Ihaddadene Yasmine et Settah Youcef*

Devant le jury composé de :

Mme Tadjine N.	M.A.B.	USDB1	Président.
Mme Saddek D.	Docteur	INPV	Examinatrice.
Mme Moumene S.	MCA	USDB1	Promotrice.

Année Universitaire

2021-2022



Remerciements

Avant toute chose, nous remercions « Allah » le miséricordieux et le tout puissant qui nous a donné la force, la bravoure, la volonté et la patience pour effectuer ce modeste travail.

Nous adressons notre gratitude et nos remerciements les plus sincères à notre promotrice, *Mme Moumen*, enseignante à Saad Dahleb-blida, pour son encadrement, ses encouragements, sa confiance, sa patience, sa gentillesse et son soutien ainsi que ses conseils

Nous tenons à exprimer notre profond remerciement au Professeur *Mme Tadjine N* pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury d'évaluation de ce modeste travail malgré ses nombreuses préoccupations. Ainsi que *Mme. Saddek D* qui a bien voulu faire partie de cet honorable jury, et pour l'intérêt qu'elle a porté à notre travail, en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par ses remarques et ses propositions.

Nous tenons à remercier chaleureusement et du fond du cœur, la doctorante *Imene Salmi*, qui nous a appris les méthodes de travail. Ainsi que pour sa disponibilité, son aide, sa patience, ses conseils, ses encouragements et ses suggestions pour réaliser un travail de valeur.

Finalement nous tenons à exprimer nos sentiments de reconnaissance à toutes les personnes qui ont participé à ce travail, qui nous ont appris une infinité de choses et qui nous ont aidé, conseillé et soutenu à tout moment.

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma chère mère **NOURA ALISAHRAOUI**

Les mots ne suffisent pas pour exprimer ma gratitude pour tous ce que tu m'as donnée le soutien, affection, et la tendresse, n'importe quel obstacle j'ai affronté t'étais toujours là pour moi,
Merci maman

A mon cher père t'étais toujours mon soutien j'aimerais que ce travail exprime ma gratitude pour toi.

A mes très chères sœurs et frère **WAFAA, WISSAME, AYMEN**
A mes meilleures amies que j'ai rencontrées au long chemin de mon étude **Meriem, nesrine, chamsou, ishak et riadh**

A la meilleure doctorante que j'ai connue **Imene Salmi**

A mes chers collègues mon trinôme qui on fait face à de nombreux et durs obstacles et leurs courages donne la force d'affronter n'importe quelle défis **Hamou Amina, Settah Youcef**

A tous ma grande famille, mes enseignants, mes amies, et tous ceux que j'ai connu durant mon cycle d'étude.

YASMINE IHADDADENE

Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

A mes chers parents, pour tous leur amour, leur tendresse, leur soutien et leur prière tout au long de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer notre respect, notre considération et nos profonds sentiments envers eux.

A mes chers frère **Mouhamed, Yacine**
A ma cousine **Nesrine** et à tous ma famille.

A tous mes amis **Warda, Ahlem, Abed el Malak, Chems eddine, Ryan, Riadhe, Adlane, Ayoub** qui je souhaite plus de succès.

A mes chers collègues **Yasmine** et **Youcef** pour ses soutien moral, ses patiences, et ses compréhensions tout au long de ce projet.

AMINA HAMOU

Dédicace

Je dédie ce travail

Mes chers parents,
Que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour leur patience illimitée, leurs encouragements contenus, leurs aides, en témoignant de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

Mes frères et ma sœur pour leurs soutiens qu'ils trouvent ici l'expression de mon haute gratitude toute ma famille mes ami (es) qui m'encourage et m'ont aidé au long de la période de réalisation du travail.

A mes chers camarades de la promotion et surtout mon trinôme
HAMOU Amina et IHADDADENE Yasmine.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation d ce travail.

YOUCEF SETTAH

Evaluation des potentialités biostimulants de quelques intrants bactériens sur la culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.)

Résumé

Notre présente étude vise essentiellement la sélection des isolats bactériens utiles endémiques à potentialités biostimulants 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.

Elle repose essentiellement sur l'application de 15 isolats des suspensions bactériennes par arrosage sur les tubercules de semences lors de leur plantation puis sur les jeunes germes de la variété « Spunta » de pomme de terre dès leur levée et au cours de leur croissance végétative.

Les résultats obtenus ont confirmé des potentialités agronomiques performantes de certains isolats bactériens étudiés notamment « M2, M3, M5, M7 et M10 » 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.

L'utilisation de ces isolats bactériens endémiques est recommandée à comme intrants biologiques agricoles en vue de développer l'agriculture biologique de la pomme de terre en Algérie.

Mots clés : *Solanum tuberosum* L., isolats bactériens endémiques, culture, croissance et rendement, qualité des tubercules.

Evaluation of the biostimulant potential of some bacterial inputs on potato cultivation (*Solanum tuberosum* L.)

Abstract

Our present study essentially aims to the selection of useful endemic bacterial isolates with biostimulant potential in order to reduce the use of chemical fertilizers and pesticides, also to improve the germination, growth, yield and quality of potato tubers.

It is essentially based on the application of 15 isolats of the bacterial suspensions by watering on the seed tubers during their planting and then on the young germs of the potato variety "Spunta" as soon as they emerge and during their vegetative growth.

The results obtained confirmed the high-performance of agronomic potential of certain bacterial isolates studied, in particular "M2, M3, M5, M7 and M10" 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. The use of these endemic bacterial isolates is recommended as agricultural biological inputs in order to develop organic potato farming in Algeria.

Key words: *Solanum tuberosum* L., endemic bacterial isolates, cultivation, growth and yield, tuber quality.

تقييم قدرة المحفز الحيوي لبعض المدخلات البكتيرية في زراعة البطاطس
(*Solanum tuberosum* L.)

الملخص:

تهدف دراستنا الحالية بشكل أساسي إلى اختبار العزلات البكتيرية المحلية والمفيدة ذات القدرة على التحفيز الحيوي من أجل تقليل استخدام الأسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية، وكذلك لتحسين نسبة إنبات درنات البطاطس ونموها وإنتاجيتها وجودتها.

تعتمد دراستنا بشكل أساسي على تطبيق 15 عزلة بكتيرية عن طريق سقي الدرنات أثناء زراعتها ثم على الشتلات الصغيرة من صنف (Spunta) لمجرد ظهورها وأثناء نموها الخضري. أكدت النتائج التي تم الحصول عليها على الأداء العالي للقدرة التحفيزية لبعض العزلات البكتيرية المدروسة، خاصة M2، M3، M5، M7، و M10 لمعظم المتغيرات المدروسة. وأكدوا قدرتها التحفيزية الحيوية على الإنبات وارتفاع طول النبات والكتلة الحيوية ومحتوى الكاروتين الورقي وحجم الدرنات ومعايير الجودة التي تلخصها نسبة المياه والمواد الجافة والمحتوى العضوي والمعدني للدرنات دون إهمال محتوى السكر والبوليڤينول أيضاً. يوصى باستخدام هذه البكتيرية المعزولة محلياً كأسمدة بيولوجية زراعية من أجل تطوير زراعة البطاطا العضوية في الجزائر.

الكلمات المفتاحية:

العزلات البكتيرية المحلية ، الزراعة ، النمو والحاصل ، جودة الدرنات. *Solanum tuberosum* L.

LISTE DES ABREVIATIONS

- MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- FAO : Food and Agriculture Organization.
- FAOSTAT : Base de données statistique de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- INPV : Institut national de la protection des végétaux.
- HSD : Honestly significative different.
- DSA : Direction de Service Agricole.
- H% : Taux d'humidité.
- MS : Matière sèche.
- MF : Matière fraîche.
- MO : Matière organique.
- CNCC : Centre nationale de contrôle et certification des semences et des plantes.
- PGPR : Plant Growth Promoting Rhizobacteria.
- ISR : Induction systemic resistance.
- ASR : Acquired systemic resistance.
- AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments.
- DO : Densité optique.
- UV-VIS : Ultraviolet Visible.
- PDA : milieux de culture Potato dextrose agar.
- LPGA : milieux de culture (Levure, Peptone, Glucose, Agar).
- ANOVA : Analyse de la variance.
- COAG : Comité de l'agriculture.
- LRPMA : Laboratoire de recherche des plantes médicinales et aromatiques.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Morphologie de la plante de pomme de terre.....	5
Figure 2 : Structure externe d'un tubercule de pomme de terre.....	6
Figure 3 : coupe longitudinale d'un tubercule de pomme de terre.....	6
Figure 4 : Cycle végétatif de pomme de terre.....	9
Figure 5 : les principaux bassins de production en 2017.....	12
Figure 6 : Plantes cultivées de pomme de terre après leur transplantation dans les sacs de Culture (a) et leur installation sous serre (b).....	25
Figure 7 : germination des semences de pomme de terre après 18J de plantation.....	33
Figure 8 : Le taux de germination des semences de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements et selon les périodes d'incubation.....	34
Figure 9 : Variabilité morphologique des plantes cultivées de pomme de terre âgées de 91 jours selon les traitements appliqués.....	36
Figure 10 : Le nombre de tiges développées par plante par le modèle GLM selon le traitement appliqué et selon les périodes d'incubation.....	37
Figure 11 : La longueur moyenne des tiges développées par plante par le modèle GLM selon les traitements appliqués et selon les périodes d'incubation.....	39
Figure 12 : Le diamètre moyen des tiges développées par plante par le modèle GLM selon les traitements et selon les périodes d'incubation.....	41
Figure 13 : Le nombre de feuilles développées par plante par le modèle GLM selon les traitements appliqués et selon les périodes d'incubation.....	43
Figure 14 : les teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées par le modèle GLM selon les traitements et selon les périodes d'incubation.....	45
Figure 15 : Ré isolement des colonies bactériennes à partir des racines des plantes cultivées de pomme de terre sous effet des suspensions bactériennes endémiques sur milieu LPGA après 24h d'incubation à 28°C.....	47

Figure 16 : Quantité et taille globale des tubercules de pomme de terre produits par plante selon les traitements.....	48
Figure 17 : Variabilité de la taille moyenne des tubercules de pomme de terre produits par plante selon les traitements.....	49
Figure 18 : Les paramètres de production des tubercules de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements.....	51
Figure 19 : Les dimensions des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements.....	52
Figure 20 : Les teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements.....	56
Figure 21 : Les teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements.....	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principales maladies de la pomme de terre.....	14
Tableau 2 : Principaux ravageurs de la pomme de terre.....	15
Tableau 3 : Principales potentialités agronomiques des PGPR.....	20
Tableau 4 : Données sur la semence G1 de pomme de terre utilisée dans l'expérimentation..	22
Tableau 5 : Classement des traitements selon les taux de germination des semences de pomme de terre par le test de Tukey, selon les périodes d'incubation.....	35
Tableau 6 : Classement des traitements par le test de Tukey selon le nombre de tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation.....	38
Tableau 7 : Classement des traitements par le test de Tukey selon la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation.....	40
Tableau 8 : Classement des traitements par le test de Tukey selon le diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation.....	42
Tableau 9 : Classement des traitements par le test de Tukey selon le nombre de feuilles développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation.....	44
Tableau 10 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées selon les traitements et selon les périodes d'incubation.....	46
Tableau 11 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les paramètres de production des tubercules de pomme de terre.....	52
Tableau 12 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les dimensions des tubercules produits de pomme de terre.....	53
Tableau 13 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits de pomme de terre.....	57
Tableau 14 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre.....	59
Tableau 15 : Variabilité de la qualité bactérienne des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements.....	60

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Composition du milieu LPGA.

Annexe 2 : Composition du milieu PDA

Annexe 3 : 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.

Annexe 4 : Analyse de la variance du nombre de tiges développées par plante par le test ANOVA.

Annexe 5 : Analyse de la variance de la longueur moyenne des tiges développées par plante par le test ANOVA.

Annexe 6 : Analyse de la variance du diamètre moyen des tiges développées par plante par le test ANOVA.

Annexe 7 : Analyse de la variance du nombre de feuilles développées par plante par le test ANOVA.

Annexe 8 : Analyse de la variance des teneurs en pigments foliaires des plante cultivés par le test ANOVA selon les traitements et selon la durée d'incubation.

Annexe 9 : Analyse de la variance des paramètres de production des tubercules produits de pomme de terre par le test ANOVA selon les traitements.

Annexe 10 : 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.

Annexe 11 : 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.

Annexe 12 : Courbe d'étalonnage des sucres totaux.

Annexe 13 : Courbe d'étalonnage de polyphénol totaux.

SOMMAIRES

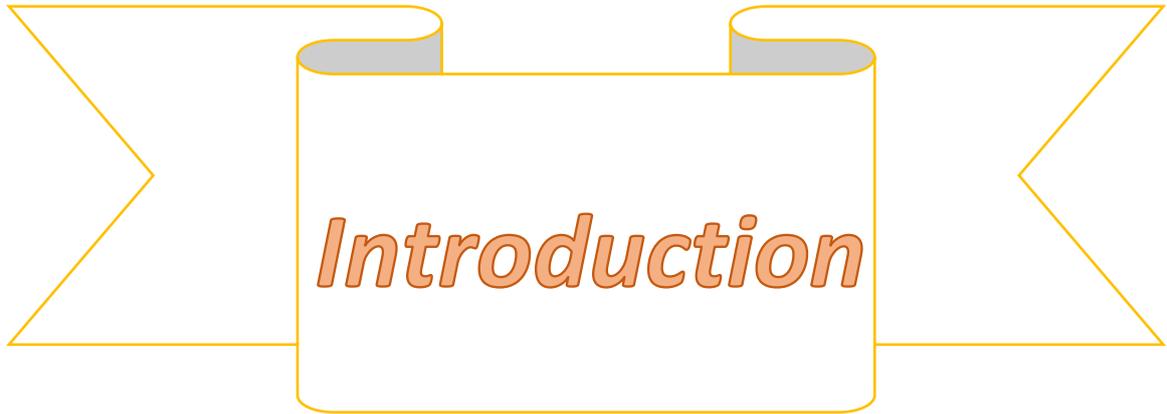
Introduction.....	1
--------------------------	----------

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Généralités sur la plante.....	3
1.1.1 Histoire de pomme de terre.....	3
1.1.2 Taxonomie.....	3
1.1.3 Description botanique et morphologique.....	4
1.1.3.1 Partie aérienne.....	4
1.1.3.2 Partie souterraine.....	4
1.1.3.3 Caractéristique du tubercule.....	7
1.1.4 Physiologie et multiplication de la pomme de terre.....	7
1.1.4.1 Cycle sexué.....	7
1.1.4.2 Cycle végétatif.....	8
1.1.5 Exigence écologique de la pomme de terre.....	9
1.1.6 Utilisation de pomme de terre.....	10
1.1.7 Situation actuelle de la culture de la pomme de terre.....	10
1.1.7.1 Importance de la culture dans le monde.....	10
1.1.7.2 Importance de la culture en Algérie.....	11
1.1.7.3 Principales régions productrices de la pomme de terre en Algérie.....	11
1.1.7.4 Variétés cultivées en Algérie.....	12
1.1.8 Problèmes phytosanitaires et moyens de lutte.....	12
1.2. Généralités sur les PGPR.....	16
1.2.1 Taxonomie.....	16
1.2.2 Modalités d'action des PGPR.....	18
1.2.2.1 Modalités directes.....	18
1.2.2.2 Modalités d'action indirectes.....	19
1.2.3 Utilisation des PGPR dans l'agriculture.....	20

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

2.1 Aperçu sur l'expérimentation.....	22
2.2 Matériel biologique.....	22
2.2.1 Matériel végétal.....	22
2.2.2 Matériel bactériologique.....	23
2.3 Mise en culture de la pomme de terre.....	23
2.3.1 Préparation du substrat et des sachets de culture.....	23
2.3.2 Préparation des suspensions bactériennes.....	23
2.3.3 Mise en culture de la pomme de terre.....	24
2.3.3.1 Mise en germination et application des traitements.....	24
2.3.3.2 Transplantation et application des traitements.....	24
2.4 Lecture des résultats.....	25
2.4.1 Evaluation des paramètres de croissance et du rendement des plantes cultivées	
2.4.2 Pouvoir colonisateur des isolats bactériens utile testés.....	26
2.4.3 Evaluation des teneurs en pigments foliaires.....	26
2.4.4 Evaluation de quelques critères de qualité des tubercules de pomme de terre	
2.4.4.1 Evaluation des teneurs en eau et en matière sèche.....	27
2.4.4.2 Evaluation des teneurs en matière minérale et en matière organique...28	
2.4.4.3 Evaluation des teneurs en sucre totaux.....	29
2.4.4.4 Evaluation des teneurs en polyphénols totaux.....	30
2.4.4.5 Evaluation de la qualité microbiologique.....	31
2.5 Analyse statistique.....	32
Chapitre 3 : Résultats et discussion.....	33
Chapitre 4 : Conclusion.....	69



Introduction

Introduction

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est une plante vivace de la famille des solanacées. Elle joue un rôle clé dans le système alimentaire mondial (FAO, 2020). Elle occupe la troisième position après le blé, le maïs et le riz dans le monde (FAO, 2021).

C'est une culture prometteuse qui offre de nombreux atouts ; d'un point de vue agronomique, sa culture est aisée, son potentiel de rendement est important (20 à 30 t/ha). D'un point de vue nutritionnel, elle se classe parmi les plantes à tubercules les plus nutritives avec une teneur énergétique élevée. D'un point de vue commercial, elle est très appréciée par les populations et elle constitue une culture de rente pour de nombreux agriculteurs (Yekhlef, 2014).

Actuellement, sa superficie cultivée est de 20.7 millions d'hectare, ce qui représente une production mondiale estimée à 359 millions de tonnes (FAOSTAT, 2020).

Aujourd'hui, la pomme de terre est produite dans plus de 150 pays et elle est consommée dans le monde entier. Elle joue un rôle important en matière de sécurité alimentaire et nutritionnelle dans de nombreux pays. Elle représente également la base d'une vaste industrie qui produit plusieurs types de produits transformés (COAG, 2022).

En Algérie, la production annuelle totale est de 50 Millions de quintaux pour une superficie cultivée de près de 150 000 ha (MADR, 2021). Dans sept wilayas Algérienne, la production atteint près de 70% de la production annuelle (Bessaoud et Lefki, 2018). La région d'El-Oued est la première Wilaya productrice au niveau nationale. Elle contribue plus de 30 % à la production nationale (DSA, 2020).

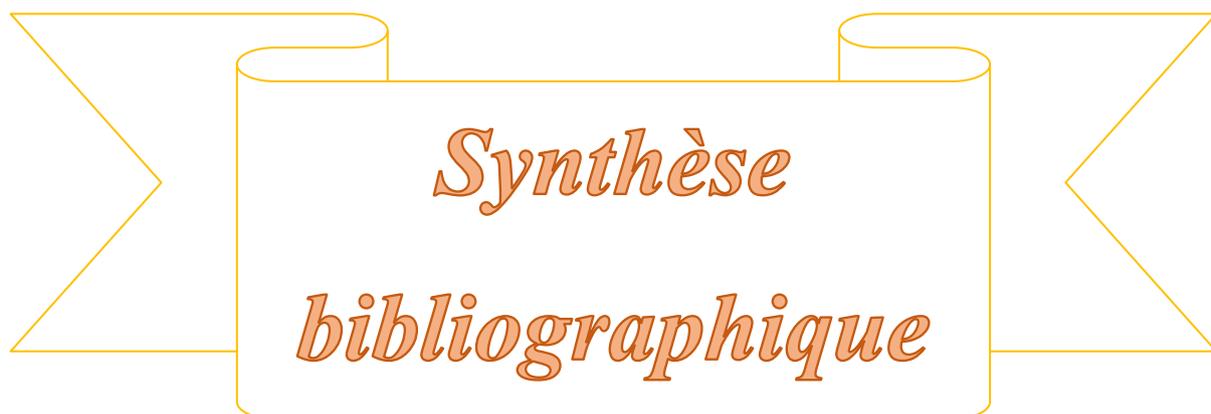
En revanche, cette culture stratégique est sujette à de nombreuses attaques d'origine parasitaire. De même les aléas climatiques notamment l'irrégularité de la pluviométrie et les fluctuations des températures sont responsables des dégâts limitant sa croissance et sa production (Amphoux et al., 2003).

De même, certains engrais de ferme et certaines matières fertilisantes contiennent des teneurs relativement importantes en éléments de trace métallique, et leurs applications massives et répétées, conduisent à la pollution des sols et la biomasse par les substances nocives qu'ils renferment (Giroux, 2005).

Dans le même contexte, plusieurs chercheurs ont rapporté les conséquences d'utilisation et la gestion des produits phytosanitaires et des fertilisants chimiques sur la durabilité de la production agricole. Ils ont cité les effets indirects néfastes sur l'environnement ainsi que, la présence des résidus de pesticides dans les aliments (**Cunnif, 1995**) et les eaux des nappes phréatiques (**Dicorcia, 1992**).

En Algérie, l'usage des insecticides, des fertilisants, des engrais et, d'autres produits phytosanitaires se répand de plus en plus avec le développement de l'agriculture, notamment dans les régions sahariennes là où la culture de pomme de terre est développée telle que, Oued souf (**Bouziati, 2007**).

Dans cette optique, notre présente étude s'est orientée sur l'évaluation des potentialités biostimulantes d'une collection d'intrants biologiques bactériens endémiques sur la culture de la pomme de terre. Elle vise essentiellement la recherche et la sélection des isolats bactériens à potentialités biostimulantes en vue d'améliorer la germination, la croissance, le rendement et la qualité des tubercules de la pomme de terre.



Synthèse
bibliographique

1.1 Généralités sur la plante

1.1.1 Historique de la pomme de terre

La pomme de terre est entrée dans l'histoire il y'a environ 8000 ans du Lac Titicaca, à 3800 mètres d'altitude dans la cordillère des Andes, à la frontière entre la Bolivie et le Pérou.

Selon **Grisson (1993)**, elle semble avoir pris naissance et avoir vécu à l'état spontané dans les rivages d'ouest de l'Amérique latine. Sa consommation par la population indienne date des temps immémoriaux. Son introduction en Europe a eu lieu, vers les deuxièmes moitiés de XVI^{ème} siècle par les navigateurs, les pirates et les conquistadors espagnols. Ils pensaient apporter de l'or au Pérou en Europe (**Oswaldo, 2010**). Il faut rappeler son utilisation dans l'alimentation humaine comme solution à la famine qui frappait régnait périodiquement.

Au début du XVIII^{ème} siècle, les émigrants Irlandaise ont propagé le tubercule aux Etats-Unis, d'où a pris naissance la dénomination de la pomme de terre Irlandaise, et ce n'est qu'au XVIII^{ème} siècle que la culture de la pomme de terre s'est implantée en Europe. Ce n'est qu'au XIX^{ème} siècle, qu'elle a connu un réel succès, grâce à son rôle déterminant dans la révolution industrielle. Ainsi, cet aliment bon marché et abondant convenait parfaitement aux ouvriers (**Oswaldo, 2010**).

En Algérie, la pomme de terre a probablement, été introduite une première fois au XVI^{ème} siècle par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures comme la tomate, poivron, tabac puis elle est tombée dans l'oubli n'ayant pas suscite d'intérêt. Dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, les colons vont la cultiver pour leur usage, car les algériens y sont réticents malgré les disettes successives. C'est la dernière grande famine des années 30/40 qui viendra à bout de cette opposition (**Meziane, 1991**).

1.1.2 Taxonomie

Selon Boumlik (1995), la classification de la pomme de terre a été rapportée comme suit :

- Embranchement : Angiospermes,
- Classe : Dicotylédones,
- Sous classe : Gamopétales,
- Ordre : Polémoniales,
- Famille : Solanacées,
- Genre et espèce : *Solanum tuberosum* L.

1.1.3 Description botanique et morphologique

La pomme de terre est une plante dicotylédone tubéreuse, herbacée, cultivée pour les qualités nutritives de son tubercule telle que, sa richesse en amidon. Elle appartient à la famille des *Solanacées*, le genre *Solanum* avec au moins 2000 autres espèces, entre autres la tomate, le tabac, le pétunia, le piment et, l'aubergine. Cette plante vivace à multiplication végétative est cultivée comme une espèce annuelle (**Rousselle et al., 1992**). 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**).

Les plantes de pomme de terre présentent une partie aérienne et une partie souterraine décrites comme suit :

1.1.3.1 Partie aérienne

Le système aérien est annuel, il est composé des parties suivantes (figure 1).

- Les tiges aériennes, au nombre de 2 à 10 et parfois plus, elles ont plusieurs caractéristiques utiles pour l'identification, notamment : l'intensité et la distribution de leur pigmentation ; leur épaisseur ; leur dureté ; leur apparence ; la longueur des entre-nœuds ; la grosseur des nœuds ; le degré de ramification ; la structure des ailes (**Diehl, 1938**).
- les feuilles alternent de façon composée, formant 7 à 9 grandes folioles, s'appuyant sur un pétiole terminé par une foliole unique. Elles ont des poils ou trichomes (poils glandulaires courts) à leur surface (**Neggaz, 1991**).
- Les fleurs sont du type pentamère (5 pétales fusionnés à la base, 5 sépales soudés, 5 étamines et, 1 style) (**Diehl, 1938**). Les fleurs sont autogames. Leur couleur est variable, elle peut être blanche, rose, bleu ou lilas violacé. Elles donnent après fécondation des baies contenant des graines plates et blanchâtres (**Rousselle et al., 1992**).

1.1.3.2 Partie souterraine

Selon Schilperoord (2014), le système souterrain porte des tubercules vivaces et les parties suivantes :

- Les racines sont nombreuses, fines, fasciculées et peuvent pénétrer profondément dans le sol.

- Les stolons souterrains recourbent leur extrémité en forme de crochet, protégeant ainsi le point de croissance.
- Les tubercules sont le résultat de la transformation des tiges souterraines d'où le nom de tubérisation. Ce phénomène se traduit par l'épaississement des extrémités des stolons justes derrière le point de croissance et, l'arrêt de la croissance longitudinale.

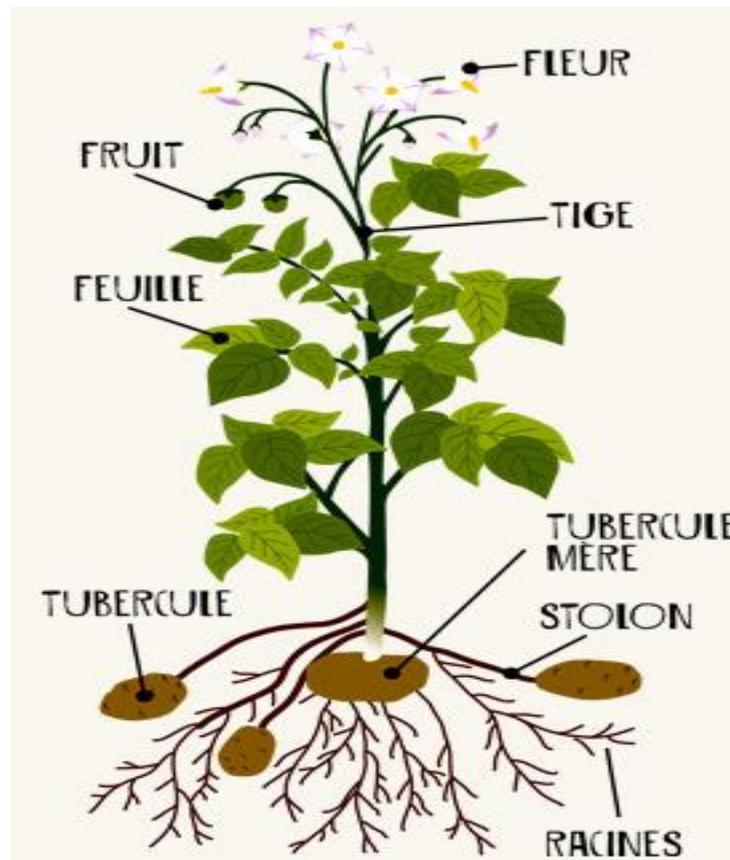


Figure 1 : Morphologie de la plante de pomme de terre (Darpoux, 1967).

Les tubercules représentent environ 75 à 85% de la matière sèche totale de la pomme de terre (Rousselle et al., 1996).

Ils représentent une portion de stolon adaptée au stockage des réserves et ils ont les caractéristiques morphologiques d'une tige (Bourahla, 2007).

Leur structure externe contient deux extrémités (figure 2) :

- le talon (ou hile) rattaché à la plante-mère par le stolon.
- la couronne (extrémité apicale opposée au talon) où, la plupart des yeux sont concentrés.

- Les yeux sont disposés sur le tubercule suivant la même phyllotaxie spiralée que les écailles sur le stolon.

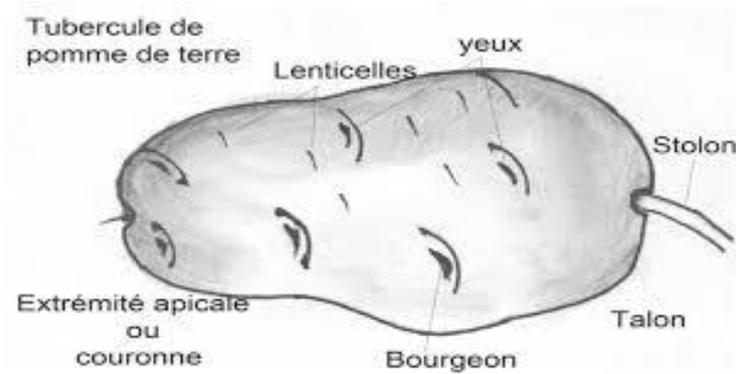


Figure 2 : Structure externe d'un tubercule de pomme de terre

(Vanderhofstadt et Jouan, 2009).

Leur structure interne est représentée dans la coupe longitudinale d'un tubercule mature par les éléments suivants (figure 3) :

Nous distinguons de l'extérieur vers l'intérieur : le péricorème, le cortex et, l'anneau vasculaire comprenant le phloème externe, le xylème et le parenchyme vasculaire. On peut également remarquer la zone péri-médullaire contenant le phloème interne et en fin la moelle (parenchyme médullaire). Les différents parenchymes renferment tous de grandes quantités de granules d'amidon (7 à 32 μm de diamètre) ovoïdes ou sphériques **(Rousselle et al., 1996).**

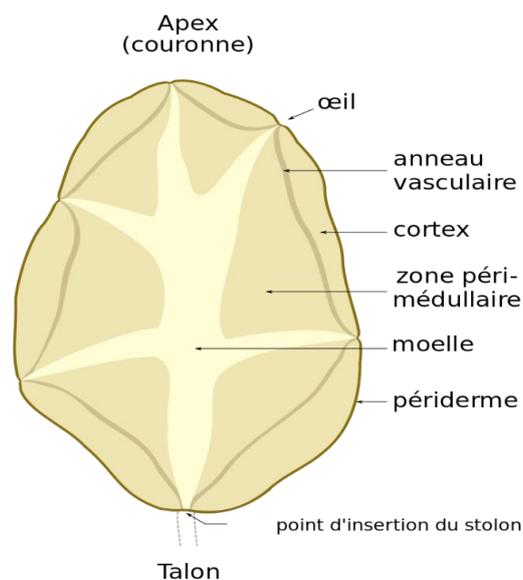


Figure 3 : coupe longitudinale d'un tubercule de pomme de terre (Rousselle et al., 1996).

1.1.3.3 Caractéristiques des tubercules

D'après Rousselle et *al.* (1992), les tubercules comprennent les trois principales caractéristiques suivantes :

- La forme qui à permet leur distinction eu 3 catégories :
 - Tubercules claviformes en forme de rein ;
 - Tubercules oblongs (cylindriques, ovoïdes, ellipsoïdes) ; comme chez les variétés : Ostara, Bintje et, Spunta ;
 - Tubercules ronds, souvent bosselés, retrouvés surtout chez les variétés destinées à produire de la fécula.
- La couleur de la peau qui est généralement jaune, mais peut être rouge, noire, brune ou rosée. Quant à la couleur de la chair ; elle est blanche, jaune plus ou moins foncée, rose ou violette selon la variété.
- La composition chimique des tubercules a révélé principalement, l'eau représentée environ à 80% du poids. Le reste est formé par la matière sèche. 100g de pomme de terre cuit à l'eau contient 2g de protéines, 19g de glucides, 0.1g de lipides, les vitamines B1, B3, B6 et 13mg de vitamine C, les sels minéraux (K, P, Zn, Mg, Cu, Fe), les acides gras et les acides aminés, 1g de fibres, 1% de cendres.

1.1.4 Physiologie et multiplication de la pomme de terre

La multiplication de cette culture se fait par semences en vue de l'obtention de nouvelles variétés mais, par boutures ou bien par tubercules semblent les plus courants (**Vreugdenhil et al., 2007**).

Le développement de la culture de pomme de terre connaît les deux types de cycle suivants :

1.1.4.1 Cycle sexué

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

1.1.4.2 Cycle végétatif

Le cycle de développement de la pomme de terre varie de 58 à 165 jours, selon que la variété soit précoce ou, semi tardive. Ce cycle passe par les 4 phases suivantes (figure 4) (**Madec et Pérennec, 1980**) :

1.1.4.2.1 Phase de repos végétatif (ou de dormance)

Après ou bien avant d'avoir été récoltés, les tubercules entrent en phase de repos végétatif ou dormance pendant lequel même placée dans des conditions optimales de température et d'humidité, leurs bourgeons sont incapables de germer. Le repos végétatif s'étend depuis la récolte jusqu'au développement des yeux, la longueur de cette période dépend de la variété, du degré de maturité à la récolte, de la température au cours de la conservation et d'autres facteurs (**Moule, 1982**).

1.1.4.2.2 Phase de germination

Cette phase correspond au stade où, le tubercule devient capable d'émettre des germes après une évolution physiologique interne. Le germe amorce alors sa croissance et exerce une dominance apicale sur les autres germes, aux points parfois de les empêcher de germer à leur tour (**Soltner, 1990**).

1.1.4.2.3 Phase de croissance végétative

Selon **Larousse Agricole (2002)**, dans cette phase les racines commencent leur élongation et leur ramification. La plante est sous la dépense des réserves du tubercule mère. Les germes poursuivent leur croissance au-dessus du sol en donnant des tiges feuillées. Les bourgeons de ces tiges donnent des rameaux, tandis que les bourgeons souterrains produisent généralement des stolons.

1.1.4.2.4 Phase de tubérisation

La tubérisation est l'accumulation des produits de la photosynthèse qui a un lien avec une hyperplasie souvent spectaculaire (**Martin et al., 1982**). Environ quinze jours après la tubérisation, les tubercules commencent à croître rapidement, donc dès ce moment-là la plus grande partie de la matière sèche produite est acheminée vers les tubercules et que la croissance des fanes et des racines est ralentie (**Vander Zaag, 1980**).

Benniou (1988) a montré que le rythme de grossissement des tubercules est variable selon le type de sol et la qualité des eaux d'irrigation. Il existe un véritable antagonisme entre croissance aérienne et tubérisation chez la pomme de terre (**Moule, 1982**).

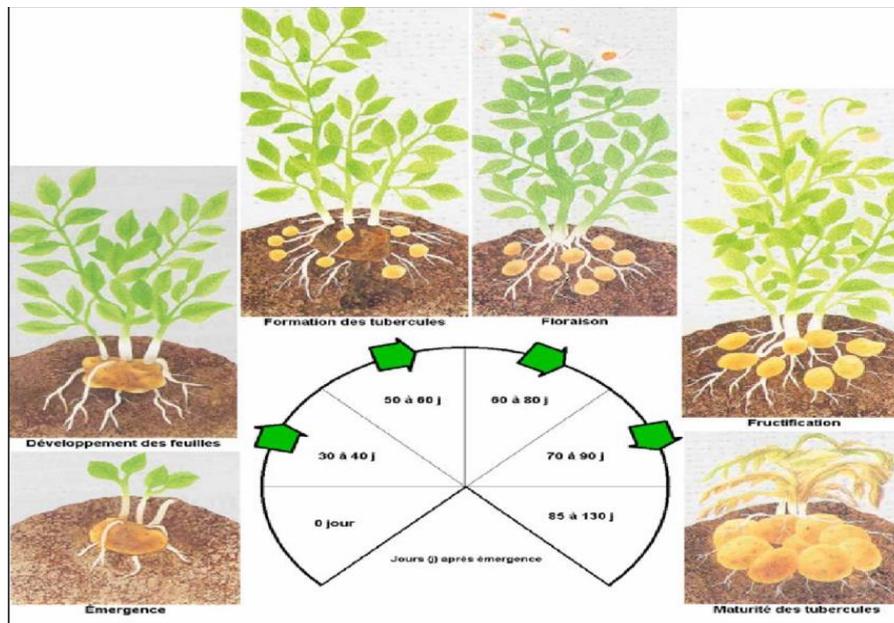


Figure 4 : Cycle végétatif de pomme de terre (Kotchi , 2004).

1.1.5 Exigences écologiques de la pomme de

La culture de la pomme de terre est conditionnée par les exigences climatiques et les exigences édaphiques suivantes :

➤ **Les exigences climatiques dont les facteurs sont résumés comme suit :**

- La température optimale pour la végétation semble se situer entre 15,5 et 21°C. La croissance est ralentie à moins de 10°C, ces parties foliacées gèlent à moins de 1°C. Les hautes températures stimulent la croissance des tiges, alors que les basses températures favorisent la croissance du tubercule (**Mansouri, 2003**).
- La lumière affecte la croissance de la pomme de terre par l'intensité des conditions photosynthétiques et par les effets photo cycliques qui interfèrent avec l'induction de la formation des tubercules. La croissance végétative est favorisée par la longueur du jour élevée. La photopériode inférieure à 12h favorise la tubérisation (**Chibane, 1999**).
- L'humidité optimale du sol doit être maintenue à 80%. Il est important de maintenir ce taux au cours de toute la végétation jusqu'à ce que les tubercules soient complètement formés (**Kolev, 1979**).

➤ **Les exigences édaphiques dont les facteurs sont résumés comme suit :**

- La culture de pomme de terre est assez exigeante, elle pousse dans des sols très profonds, bien drainés et fertiles. Le sol peut être sableux ou limoneux (**Nyabyenda, 2005**). Elle préfère les sols meubles et aérés mais frais, poussant mieux dans les sols semi-légers et silico-argileux (**Belaid, 1996**).
- Le pH idéal pour cette culture est compris entre 5 et 6,5. Par contre, elle craint les sols très argileux, très acides et compacts (**Laummonier, 1979 ; Soltner,1990**).
- Cette culture est relativement tolérante à la salinité par rapport aux autres cultures maraichères. Cependant, un taux de salinité élevé peut bloquer l'absorption de l'eau par le système racinaire. La croissance de la plante diminue à la concentration de 3g /l (**Soufi, 2011**).

1.1.6 Utilisation de pomme de terre

La pomme de terre peut être utilisée de diverses manières dans l'agriculture où, elle peut être réutilisée comme semences la prochaine saison agricole, en consommation alimentaire ou transformée pour l'industrie.

En effet, la moitié de la production mondiale de pomme de terre est consommée en frais vu sa richesse en glucides, en potassium, en magnésium et en fibres. Elle possède également la plus haute teneur en protéines de toute la famille des racines et tubercules (**FAO, 2008**).

Par ailleurs, le reste de la production de la pomme de terre est transformé en ingrédients alimentaires pour nourrir les animaux, en féculés et d'autres sous-produits sont destinés à l'industrie pharmaceutique, textile, du bois et les papeteries comme adhésif, liant, apprêt et mastic (**Zoghلامي, 2009**).

1.1.7 Situation actuelle de la culture de la pomme de terre

1.1.7.1 Importance de la culture dans le monde

La pomme de terre joue un rôle clé dans le système alimentaire mondial. Elle a classé la troisième production vivrière mondiale (après le riz, le blé, le maïs) mais première production non céréalière. Elle est actuellement cultivée sur plus de 20.7 millions d'hectare, ce qui représente une production mondiale estimée à 359 millions de tonnes (**FAOSTAT, 2020**). Elle est consommée par des milliards de personnes en tant qu'aliment de base. Aujourd'hui, la pomme de terre est produite dans plus de 150 pays et elle est consommée dans le monde entier. Elle joue un rôle important en matière de sécurité alimentaire et nutritionnelle dans de

nombreux pays. Elle représente également la base d'une vaste industrie qui produit plusieurs types de produits transformés (COAG, 2022). Comme elle est facile à cultiver et que sa teneur énergétique est élevée, elle s'avère une culture commerciale précieuse pour des millions d'agriculteurs. Certains l'appellent l'aliment du futur. Selon la FAO (2020), au cours des vingt prochaines années, la population mondiale devrait croître de plus de 100 millions d'habitants par an, dont plus de 95% dans les pays en développement, où la pression sur la terre et l'eau est déjà très forte. Le défi principal que doit relever la communauté internationale consiste, par conséquent, à garantir la sécurité alimentaire des générations présentes et futures, tout en protégeant la base des ressources naturelles et donc la pomme de terre sera un élément important des efforts déployés pour relever ces défis.

1.1.7.2 Importance de la culture en Algérie

En Algérie, La pomme de terre peut être plantée et récoltée dans n'importe quelle région, en fonction des saisons.

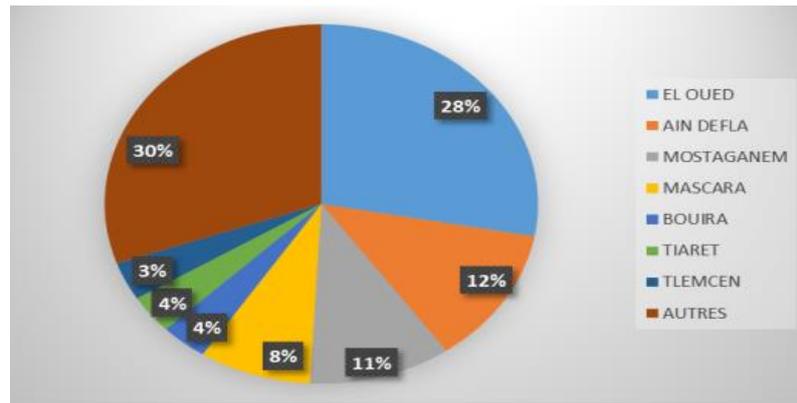
Durant la campagne 2000/2017, sa production est devenue 4 fois plus élevée à raison du facteur de doublement de la superficie consacrée à sa culture qui passe de de 64694 ha à 129821 ha. Ainsi, le doublement du rendement passe approximativement de 160 quintaux/ha à plus de 320 quintaux/ha (FAOSTAT, 2020).

Cette augmentation a entraîné sa plus grande disponibilité pour le consommateur. Dans ce sens, la pomme de terre est actuellement le légume le plus consommé. Il est présent quotidiennement dans la majorité des plats algériens et sous différentes formes.

La consommation a été multipliée par 2,5 entre les années 1988-2002 et les années 2012-2017 pour passer approximativement de 40kg/habitant à plus de 100kg/ habitant par an (Bessaoud et Lefki, 2018).

1.1.7.3 Principales régions productrices de la pomme de terre

La superficie occupée par les cultures maraîchères varie chaque année entre 380.000 et 400.000 ha, dont 100.000 à 130.000 ha emblavés en pommes de terre, soit 26% de la superficie maraîchère totale. Pour l'année 2017, 7 willayas produisent près de 70% de la production annuelle (figure 5) (Bessaoud et Lefki, 2018).



Source : MADRP-DRDPA

Figure 5 : les principaux bassins de production en 2017 (Bessaoud et Lefki, 2018).

1.1.7.4 Variétés cultivées en Algérie

Cent vingt variétés sont inscrites au catalogue algérien des espèces et variétés cultivées. Cette inscription est obligatoire pour leur commercialisation. Elle est précédée de deux ans au cours desquels sont évalués les caractères d'utilisation, le rendement, le comportement vis-à-vis des parasites par le service de Contrôle et certification des semences et plants (CNCC).

Les variétés sont déterminées selon la forme du tubercule, la couleur de la peau et de la chair, la durée de conservation, la date de mise sur le marché et, la durée de culture. Les variétés les plus demandées en production sont : Désirée, Kondor, Bartina et Amorosa (pour la peau rouge) et Timate, Spunta, Diamant, Nicolas et Atlas (pour la peau blanche) (Galfout, 2014).

1.1.8 Problèmes phytosanitaires et moyens de lutte

La culture de la pomme de Terre (*Solanum tuberosum*) est sujette à de nombreux pathogènes et ravageurs, notamment les insectes, les acariens, les champignons, les protistes fongiformes, les bactéries, les virus et les nématodes.

Les contraintes biotiques et leurs principales méthodes ont été résumées dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1 : Principales maladies de la pomme de Terre (Serail, 2003).

Nom de la maladie	Agent causal	Symptômes	Moyens de lutte
Maladies fongiques			
Le mildiou de la pomme de Terre.	<i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Barry.	<ul style="list-style-type: none"> -Des taches foliaires avec des bordures jaunes et feutrage blanc à la face des feuilles. - Des nécroses des feuilles et des tiges. -Des pourritures sur tubercules 	<ul style="list-style-type: none"> -Détruire les fanes infectées deux semaines avant la récolte afin de réduire l'infection des tubercules. -Appliquer les fongicides foliaires à des intervalles de 7 à 10 jours à partir du début de juillet jusqu'à la sénescence des feuilles, ou bien au moment du défanage ou immédiatement après.
Alternariose de pomme de Terre	<i>Alternaria solani</i> , <i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissel.	<ul style="list-style-type: none"> -Des lésions typiques avec des taches nécrotiques en anneaux concentriques et halo jaunâtres. -Des pourritures sèches sur tubercules 	<ul style="list-style-type: none"> -laisser les tubercules atteindre leur pleine maturité avant la récolte. -n'arrache jamais les pommes de terre lorsque le sol est humide. -éviter les blessures durant la récolte. -L'application des fongicides foliaires homologués contre l'alternariose.

Rhizoctonie (rhizoctone brun)	<i>Rhizoctonia solani</i> (Kuhn.)	<ul style="list-style-type: none"> -le manque à la levée, -des nécroses brun rougeâtre sur les racines, les tiges et les stolons -l'enroulement, flétrissement et roussissement des feuilles ainsi que la mort prématurée des fanes et la difformité des tubercules. 	<ul style="list-style-type: none"> -Rotation de la pomme de terre avec les céréales ou les graminées fourragères. -Récolte précoce et l'arrachage des fanes à la main pour enlever les stolons et les racine contribuent à diminuer l'incidence de la rhizoctonie.
Maladies bactériennes			
La jambe noire de la pomme de Terre.	<i>Erwinia carotovora</i> Sub sp. <i>atroseptica</i> (Van Hall), <i>Erwinia carotovora</i> Sub sp. <i>carotovora</i> (Johns, 1901).	<ul style="list-style-type: none"> -Sur feuillages nécrose plus au moins sèches. -Pourriture humide à la base de tige ; jaunissement flétrissement et/ou enroulement des feuilles. -Sur tubercule pourriture molle interne. 	<ul style="list-style-type: none"> - utiliser les semences exempts de la maladie de la jambe noire. -observer les mesures d'hygiène préciser à chaque fois avant le tranchage des tubercules. -planter la pomme de terre dans des sols humides dont, la température est égale ou supérieure à 10°C. -Eviter l'excès d'irrigation.
Pourriture brune	<i>Ralstonia solanacearum</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Flétrissement des folioles les plus jeunes ; flétrissement général ; Pourriture brune de l'anneau vasculaire. -Présence d'un mucus blanchâtre. 	Considéré comme parasite de quarantaine dans la plupart des pays, l'agent pathogène doit être éradiqué en cas de présence avérée de la bactérie.

Gale commune de la pomme de Terre	<i>Streptomyces scabies</i> (Thaxter , 1992).	-Développement des lésions superficielles ou profondes ; parfois ses lésions couvrent la surface entière des tubercules.	-Utiliser des variétés résistantes. -Eviter les terres alcalines qui ont été chaulées. -Irriguer au moment de la formation du tubercule ou peu après.
Maladies virales (Kerr, 2014)			
Rattle du tabac	<i>Tabacco rattle virus</i> (TRV).	Marbrure et déformation des feuilles et retard de croissance ; arcs bruns et bouchés et boutons dans la chair du tubercule.	-Utiliser le blé, l'orge et l'avoine dans la rotation des pommes de terre. -Eviter une irrigation excessive au moment de la formation des tubercules.

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

Ravageurs	Symptômes et Dégâts	Moyens de lutte
Taupin (<i>Agriotes</i> spp.).	-Seules les larves sont nuisibles ; Perforation des tubercules ; Les dégâts sont accentués dans les sols humides qui font remonte les larves vers la surface.	-Eviter la mise en culture d'anciennes prairies ; Bonnes rotations ; Retourner et travailler superficiellement les sols pour destruction mécanique et dessèchement des larves.
Nématodes à kyste <i>Globodera rostochiensis</i> ,	-Végétation chétive, différents symptômes sur racines, petits tubercules ; une réduction du système racinaire ; un feuillage jaunâtre, flétris ou desséché ; une	-Rotation longue (5 ans minimum).

Nématode à galle <i>Meloidogyne chitwoodi</i>	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.	- Faire un traitement chimique généralisé, les larves sont facilement détruites par la plupart des insecticides mais les adultes sont très résistants.
Pucerons (<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.	-Produits homologués à base de pyrèthrine et huile de colza -Favoriser les Auxiliaires naturels. - Les méthodes de lutte passent alors par une surveillance des populations de pucerons par piégeage (pièges jaunes disposés en parcelle ou pièges

1.2 Généralités sur les PGPR

Le terme PGPR est défini en anglais « Plant Growth Promoting Rhizobacteria ». Il désigne les rhizobactéries naturelles qui colonisent les racines en contribuant à la croissance et la santé des plantes. En échange, la plante fournit des sources de carbone aux PGPR par ses exsudats racinaires (Nabti, 2007 ; Abnatura, 2013).

Actuellement, de nombreux genres bactériens sont inclus dans les PGPR, révélant ainsi, des taxons très divers (Kloepper, 1992) mais, parfois les « PGPR » désignent également un acronyme générique regroupant certaines bactéries souvent inconnues (Banerjee et al., 2006).

1.2.1 Taxonomie

Ces microorganismes cultivables, présentant une diversité de genres et d'espèces. Ils appartiennent majoritairement aux trois phyla suivants : protéobactéries, firmicutes et, actinobactéries (Hugenholtz, 2002).

1.2.1.1 *Proteobacteria*

Le phylum de *Proteobacteria* comprend les trois classes suivantes :

Alphaproteobacteria

Cette classe ressemble à la majorité des protéobactéries capables de se développer même si la quantité de nutriments disponibles est très faible. Les PGPR appartenant à cette classe sont les *Rhizobia*, ils sont classés selon leur capacité à fixer l'azote et à produire des nodules au niveau du système racinaire des plantes. Ces souches peuvent se comporter comme des PGPR quand elles colonisent les racines des plantes légumineuses dans une relation spécifique. En effet, le genre *Rhizobium* comprend des souches PGPR, qui sont ensuite identifiées comme de nouveaux genres suivants : *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* et *Mesorhizobium* (Sawada et al., 2003).

- *Betaproteobacteria*

Cette classe comprend la famille des *Burkholderiaceae*, dont le genre *Burkholderia* forme un groupe monophylétique. Il est composé de diverses espèces ayant des propriétés physiologiques et écologiques variées. Elles sont isolées à partir des sols et des plantes. Quelques souches ont la capacité de fixer de façon symbiotique l'azote. *Ralstonia* est un genre attribué également à cette famille (Moulin et al., 2001).

- *Gammaproteobacteria*

C'est la classe de bactéries la plus nombreuse. Elle comprend des microorganismes très diversifiés sur le plan physiologique. La famille des *Pseudomonaceae* renferme le genre *Azotobacter* comprenant des bactéries qui favorisent la croissance des plantes à cause de leur capacité à fixer l'azote sans production de nodules (Sturz et Christie, 2003). Cette famille comprend également le genre *Pseudomonas*.

1.2.1.2 *Firmicutes*

Dans ce phylum, *Bacillus* est le genre le plus prédominant. Il représente environ 95% de la flore isolée (Cherif, 2014). Ce sont des bactéries aérobies ou aéro-anaérobies facultatives formant des endospores. Les caractéristiques distinctives entre les espèces du genre *Bacillus* et les autres bacilles sporulant sont : la nature du type respiratoire, aérobie stricte ou facultative, la forme bacillaire et la production de la catalase.

1.2.1.3 *Actinobacteria*

Dans ce phylum le genre *Frankia* est le microorganisme le plus important par son potentiel fixateur symbiotique d'azote. Ces bactéries sont associées à des plantes actinorhiziennes pionnières de la colonisation des sols pauvres ou dégradés (Gray et Smith, 2005).

1.2.2 Modalités d'action des PGPR

Les PGPR influencent sur la santé et la productivité des plantes par divers mécanismes qui impliquent la solubilisation des minéraux, l'apport d'éléments nutritifs, la stimulation de la croissance des racines et, la suppression des maladies racinaires (**Martinez-Viveros et al., 2010**).

Ces mécanismes influencent sur la croissance des plantes selon les deux modalités d'action suivantes (**Kloepper, 1992 ; Glick et al., 1998 ; Vessey, 2003 ; Martinez-Viveros et al., 2010**) :

1.2.2.1 Modalités directes

Les modalités d'action directes sur la croissance des plantes peuvent se produire selon les quatre processus décrits ci-dessous :

- Fixation d'azote

L'azote constitue le plus souvent le facteur limitant de la croissance des plantes. En effet, il existe des bactéries fixatrices d'azote qui vivent différemment dans la rhizosphère.

Nous distinguons celles qui vivent librement telles que les genres : *Azotobacter*, *Bacillus*, *Acetobacter*, *Clostridium*, *Klebsiella*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter*, *Diazotrophicus* et *Pseudomonas* (**Vessey, 2003**), en symbiose comme le genre *Rhizobium* ou en association symbiotique avec certaines plantes comme le genre *Azospirillum* (**Okon et Kapulnik, 1986 ; Gray et Smith, 2005**).

- Solubilisation du phosphate

Après l'azote, le phosphate est considéré comme le deuxième facteur limitant de la croissance des plantes (**Vessey, 2003**). Les bactéries solubilisant le phosphate sont communes dans la rhizosphère, La sécrétion d'acide organique et la production de la phosphatase facilitent la conversion de la forme insoluble du phosphate en une forme soluble (**Kim et McDonald, 1998 ; Richardson, 2001**).

Les espèces du genre *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Aspergillus* et *Penicillium* ont la capacité de solubiliser le phosphate dans le sol (**Qureshi et al., 2012**).

- Production des sidérophores

Le fer est un élément capital aussi bien pour les bactéries que les champignons et les plantes. Il est abondant dans le sol souvent sous une forme insoluble (le fer ferrique « Fe³⁺ ») (Compant *et al.*, 2005 ; Weyens *et al.*, 2010). En effet, plusieurs bactéries utiles produisent des molécules appelées sidérophores. Ces dernières fixent le fer ferrique et le transforment en sa forme soluble qui est le fer ferreux (Fe²⁺).

Dans ce sens, les sidérophores sont utilisés dans la lutte biologique contre les champignons phytopathogènes (Glick et Pasternak, 1998) et, une grande variété de sidérophores est produite (Sayed et Patel, 2011), à titre d'exemple : *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas* et, *Rhizobium* (Zahir *et al.*, 2004).

- Production des régulateurs de croissance

Il existe cinq catégories de régulateurs de la croissance végétale : les auxines, les Gibbérellines, les cytokinines, l'éthylène et l'acide abscissique (Zahir *et al.*, 2004).

L'auxine ou l'acide indole-3-acétique est la phytohormone la plus répandue, elle est connue par son implication directe dans l'initiation de la croissance des racines, la division cellulaire et l'élargissement de la cellule (Vessey, 2003).

Quant à l'acide abscissique, elle intervient dans la régulation de la germination des graines. Il en est de même pour l'activité de l'éthylène à des concentrations modérées (Glick *et al.*, 2007).

1.2.2.2 Modalités d'action indirectes

Les PGPRs agissent également selon les trois modes d'action indirects suivants :

- Compétition

La compétition est un mécanisme important dans la lutte biologique : Nous citons

L'antagonisme des deux agents pathogènes et utiles ainsi que les bactéries associées aux plantes, colonisatrices des niches écologiques similaires en utilisant les mêmes nutriments (Weyens *et al.*, 2010). De nombreux PGPR, en particulier les *Pseudomonas*, produisent des sidérophores qui lient le fer disponible, ce qui peut limiter la croissance d'autres bactéries de la rhizosphère et des champignons (Weyens *et al.*, 2010).

- Antibiose

L'antibiose est traduite par la production et la libération des molécules à activité biocide ou inhibitrices de croissance de l'agent pathogène cible. Ce mécanisme s'avère le plus efficace par lequel ces bactéries peuvent contrôler les maladies des plantes par la production d'enzymes (Harman et Shores, 2007 ; Weyens *et al.*, 2010).

Les PGPR empruntent la voie enzymatique pour l'amélioration de la croissance et l'augmentation de la résistance des plantes aux stress biotique et abiotique (Nadeem *et al.*, 2013). Certaines souches bactériennes peuvent produire certaines enzymes telles que la cellulase, la chitinase (Nadeem *et al.*, 2013).

- Résistance systémique induite

Certaines souches de PGPR peuvent protéger les plantes d'une façon indirecte par stimulation de mécanismes de défense inductibles dans la plante en rendant la plante hôte beaucoup plus résistante aux futures agressions des agents pathogènes. Ce phénomène est connu sous le nom de « Résistance systémique induite » ou ISR signifiant : « Induced Systemic Resistance » (Van Loon *et al.*, 2007). Cette résistance induite assure la protection des plantes contre des attaques subséquentes des virus, bactéries et des champignons pathogènes (Jourdan *et al.*, 2008).

1.2.3 Utilisation des PGPR dans l'agriculture

Ces bio-intrants microbiens à potentialités agronomiques présentent plusieurs intérêts pour l'agriculture. Nous citons leurs pouvoirs biofertilisant, biostimulant et biopesticide résumés dans le tableau présenté ci-dessous.

Tableau 3 : Principales potentialités agronomiques des PGPR (Martinez-Viveros *et al.*, 2010)

Potentiel des PGPR	Rôles	Modes d'action	Références bibliographiques
Biofertilisant	L'application de ces bactéries utiles sur les graines, sur les plantes ou dans le sol, colonisent la rhizosphère ou l'intérieur de la plante et agissent sur la croissance par l'augmentation de la disponibilité des principaux nutriments pour la plante hôte.	- La fixation biologique de l'azote. - L'utilisation des formes insolubles du phosphore.	Vessey, 2003 ; Somers <i>et al.</i> , 2004 ; Fuentes-Ramírez <i>et Caballero-Mellado</i> , 2006.
Phytostimulant	Ces microorganismes ont la capacité de produire ou de changer la concentration des	- Production des phytohormones,	Lugtenberg <i>et al.</i> , 2002 ; Somers <i>et al.</i> , 2004.

	régulateurs de la croissance des plantes.	- Réduction de la concentration de l'éthylène à l'intérieur de la plante.	
Biopesticide ou agent de biocontrôle	Ces microorganismes qui limitent ou inhibent la croissance des agents phytopathogènes.	<ul style="list-style-type: none"> - Production des antibiotiques, - Production des enzymes qui dégradent les membranes des cellules fongiques, - Compétition - Les mécanismes de résistance induite chez les plantes par ces bactéries utiles : ISR (Induced Systemic Resistance) et ASR (acquired systemic resistance) 	Vessey, 2003 ; Somers et al.,2004 ; Chandler et al., 2008.



*Matériel et
Méthodes*

2.1 Aperçu sur l'expérimentation

Notre expérimentation repose essentiellement sur l'application des isolats bactériens endémiques sur la culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) en vue d'évaluer leurs potentialités biostimulants. Elle s'est échelonnée sur une période de six mois. Elle comprend deux parties essentielles : La première étape consiste à la mise en culture de la pomme de terre suivie de l'évaluation des paramètres de croissance et du rendement. La deuxième étape se résume l'évaluation de quelques critères de qualité des tubercules de pomme de terre produits.

2.2 Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé dans cette étude est composé d'un matériel végétal et d'un matériel bactériologique.

2.2.1 Matériel végétal

Le matériel végétal est représenté par un échantillon de semences certifiées de la variété « *SPUNTA* » de pomme de terre. Cette variété est très prisée par les agriculteurs en Algérie et elle est également la plus consommée en Algérie. Les informations relatives à cette dernière sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Données sur la semence de pomme de terre utilisée dans l'expérimentation.

Origine	Importées des Pays-Bas et cultivées dans la wilaya de Mostaganem
Espèce	<i>Solanum Tuberosum</i> L.
Catégorie	Consommation
Maturité	Demi-précoce
Type	Liste A
Tubercule	Forme oblongue – allongée, gros, des yeux peu profonds, avec une peau lisse de couleur jaune et couleur jaune clair de chair.
Germe	Blanc, long, radicelles abondantes et nombreuses
Plante	Taille haute, port dressé
Tige	Vert-marron, gros
Feuille	Vert franc, ovale, foliole moyenne, mi ouverts.
Fleur	Blanche

2.2.2. Matériel bactériologique

Le matériel bactériologique est représenté par une collection de 15 isolats bactériens utiles endémiques provenant de la Bactériothèque de Dr Moumene S. (LRPMA), à partir des quels a été validé le projet de formation universitaire (2021/2023) (D00L05UN09012210001) dont, plusieurs thèmes de doctorat et de Master ont été proposés.

2.3 Mise en culture de la pomme de terre

La mise en culture de la pomme de terre a été réalisée en deux étapes. La première étape consiste à la mise en germination des semences de pomme de terre dans des sachets de culture au niveau de la serre pédagogique du département de Biotechnologies et Agro-Ecologie. La seconde étape correspond à la transplantation des jeunes plantules dans des sacs de plus grande capacité et leur transfert au niveau de la serre en plastique au niveau de la station expérimentale. La réalisation des deux étapes précitées nécessite toutes les deux une préparation du substrat et des sachets pour la plantation d'une part et la transplantation d'autre part.

2.3.1 Préparation du substrat et des sachets de culture

Le sol humifère non utilisé a été prélevé à une profondeur de 25 à 30cm de la jachère située au de la station expérimentale du département de Biotechnologies et Agro-Ecologie. Ce dernier a été tamisé pour éliminer les grosses particules terreuses puis, il a été mélangé à la tourbe à raison de 2/3 de sol avec 1/3 de tourbe pour remplir les sachets de culture d'une capacité de 5 kg.

2.3.2. Préparation des suspensions bactériennes

La préparation des suspensions bactérienne a été réalisé selon la méthode de **Ourak A et Benbrahim S., (2019)**. La collection composée des 15 isolats bactériens purifiées et conservées à l'abri des contaminations ont été cultivées sur milieu LPGA (composition en annexe) et incubées dans une étuve réglée à 28°C pendant 24 heures. A partir des cultures de chacun des isolats bactériens, a été prélevée séparément la crème bactérienne à raison de 4 à 5 colonies à l'aide d'une pipette Pasteur. Cette dernière a été introduite dans un tube contenant 9 ml d'eau physiologique stérile. Les tubes ont été portés séparément à l'agitation à l'aide d'un agitateur vortex jusqu'à leur homogénéisation.

La standardisation de la suspension bactérienne a été effectuée au moyen d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 620nm dans le but d'obtenir une densité optique

avoisinant 0,08 à 0,1, équivalent à 10^7 UFC/ml. Ce qui nous a permis d'avoir la même charge bactérienne pour chacune des suspensions bactériennes.

2.3.3 Mise en culture de la pomme de terre

La mise en culture s'est déroulée selon les deux étapes décrites suivantes :

2.3.3.1 Mise en germination et application des traitements

La plantation des tubercules de pomme de terre a été réalisée dans les sacs de 5kg le 12 décembre 2021. Ainsi, chaque suspension bactérienne préparée a été incorporée à la semence avant sa couverture par le substrat. Cette opération a été réalisée en considérant, 5 répétitions pour chaque suspension bactérienne. De même, 5 plantes témoins arrosés par l'eau de robinet ont été considérées pour notre expérimentation.

Après 12 jours de croissance, Les jeunes plantules traitées précédemment ont subi un deuxième traitement avec les mêmes suspensions nouvellement préparées comme décrites précédemment le 23 décembre 2021. Toutes les plantes traitées ont été arrosées avec 20 ml de suspension bactérien pour la deuxième fois.

L'entretien des plantes se résume par 3 arrosages hebdomadaires avec de l'eau du robinet et l'élimination quotidienne des mauvaises herbes.

2.3.3.2 Transplantation et application des traitements

Après une durée de croissance de 34 jours, les plantes développées ont été soigneusement transplantées dans des sacs de culture à raison de deux plantes par sac de capacité de 50 kg et une plante par sac de capacité de 25 kg.

Cette opération a été réalisée avec précaution en respectant le type de traitement et les témoins en évitant respectueusement toute contamination des substrats. Ainsi, pour chaque traitement 3 sacs de culture ont été considérés. L'ensemble des sacs ont été installés dans la serre en plastique selon une randomisation totale.



Figure 6 : Plantes cultivées de pomme de terre après leur transplantation dans les sacs de culture (a) et leur installation sous serre (b) (originale, 2022).

Après une semaine d'incubation (30/01/2022), les plantes nouvellement transplantées ont subi le troisième traitement tout en respectant les codes des suspensions bactériennes. Le traitement a été effectué par arrosage des plantes à raison de 60 ml pour chaque suspension bactérienne et la plante cultivée. La culture a été suivie pendant 109 jours jusqu'à la sénescence des plants.

2.4 Lecture des résultats

Durant l'expérimentation, le développement des plantes a été enregistré chaque début de semaine, depuis la plantation jusqu'au jour de la récolte.

L'impact d'application des isolats bactériens endémiques 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 cultivées

Selon les méthodes modifiées de **Ameziane T.E. (1986)**, et de **Bradbeer, J.W. (1988)**, les paramètres ont été évalués selon les différents stades de développement des plantes cultivées de la variété « SPUNTA » comme suit :

- Les taux de germination des tubercules de semences exprimés en % ont été évalués pour chaque traitement et pour les témoins chaque trois jours, depuis le premier jour jusqu'au 18ème jour du semis.
- 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 37, 44, 51 et 58 jours d'incubation.

- La récolte des tubercules a été réalisée durant le défanage après 109j de la plantation. Le rendement en nombre de tubercules a été relevé pour chaque plante puis, il a été mis en sac codé et conservé dans un endroit sec et sombre. Le poids total des tubercules produits par plante ainsi que le poids d'un tubercule ont été relevés à l'aide d'une balance électronique. Le calibre des tubercules produits par les plantes selon les traitements et ceux des témoins a été également mesuré à l'aide d'une mètre ruban.

2.4.2 Pouvoir colonisateur des isolats bactériens utiles testés

Selon la méthode modifiée de **(Nautiyal et Das Gupta, 2007)**. La mise en évidence de la colonisation des isolats Rhizobactériens dans le système racinaire des plantes cultivées de pomme de terre passe par les étapes suivantes :

- Prélèvement des fragments racinaires séparément à partir des plantes cultivées préalablement traitées et/ou témoins,
- Leur rinçage à l'eau de robinet pour les débarrasser des débris du sol,
- désinfection par l'eau de javel à 2% pendant 2 min puis, rinçage 3 fois par l'eau distillée stérile,
- séchage dans du papier filtre stérile puis, leur découpage en petits fragments,
- dépôt séparément et soigneusement de chaque type de fragment dans des boîtes de Pétri contenant du milieu de culture LPGA (Extrait de levure, peptone, glucose –agar) en présence d'une flamme de bec benzène sous hotte à flux laminaire.

Pour chaque type de traitement, deux répétitions ont été prises en considération. L'incubation des boîtes de Pétri a été faite dans une étuve réglée, à 30°C pendant 48 h.

2.4.3 Evaluation des teneurs en pigments foliaires

L'extraction et le dosage des pigments foliaires ont été réalisés selon la méthode décrite par **Lincenthaler (1987)**.

Elle consiste à prélever séparément 0,25 g de feuilles fraîchement récoltées à partir des plantes de pomme de terre cultivées sous l'effet de 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.

Chaque échantillon a été ajouté séparément à un volume de 5ml d'acétone à 80% pour être broyé dans un mortier jusqu'à sa dissolution en extrait. L'ensemble des extraits cétoniques foliaires préparés ont été séparément collectés dans une éprouvette de 50ml et complétés avec l'acétone à 80% jusqu'à atteindre un volume de 12,5 ml pour être filtré dans un tube à essai à travers un entonnoir contenant un papier filtre wattman.

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

Ainsi, les teneurs en chlorophylle totale et en caroténoïdes totaux ont été calculées pour chaque extrait foliaire et selon les deux périodes citées précédemment selon les formules décrites par Linchenthaler (1987) suivantes :

Teneur en chlorophylle totale (mg/ml) : $C_{a+b} = (7.15A_{663} + 18.71A_{646})$

Teneur en caroténoïdes totaux (mg/ml) : $C_{x+c} = (1000A_{470} - 1.82C_a - 85.02C_b) / 198$

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 : $21.50A_{646} - 5.10A_{663}$

2.4.4 Evaluation de quelques critères de qualité des tubercules produits de pomme de terre

Cette partie d'étude vise la caractérisation biochimique, chimique et microbiologique des tubercules de pomme de terre produits sous l'effet des isolats bactériens utiles en comparaison avec les témoins. Dans ce contexte, l'évaluation a porté sur les critères de qualité suivants :

2.4.4.1 Evaluation des teneurs en eau et en matière sèche

Selon la méthode (Von Scheele et al., 1937). L'évaluation de la teneur en eau (% d'humidité) a été déterminée à l'aide d'un four à mouffles de marque « ISOLABE » pour chacun des échantillons frais de tubercules de pomme de terre produits sous l'effet des différents traitements à raison de trois répétitions par échantillon.

Elle consiste d'abord à laver puis sécher les creusets en céramique vides dans un four à moufles réglé à une température de 120°C durant 10 min pour les peser vides à l'aide d'une balance de précision.

Dans chaque creuset a été ajouté 10 g d'échantillon frais de tubercule de pomme de terre. L'ensemble des creusets renfermant les échantillons de tubercules à analyser ont été placés dans un four à moufle réglée à 105°C pendant 24 heures. Ainsi, les creusets contenant la matière sèche a été taré après refroidissement dans un dessiccateur.

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

$$H\% = (M_H - M_1) / M_H \times 100.$$

Où:

- **H%** : Taux d'humidité exprimé en pourcentage.
- **M_H (g)** : masse de l'échantillon avant séchage
- **M₁ (g)** : masse de l'échantillon après séchage
- La teneur en matière sèche est déterminée selon la formule suivante :

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

- **MS%** : teneur en matière sèche

2.4.4.2 Evaluation des teneurs en matière minérale et en matière organique

La teneur en matière minérale (ou taux de cendres) a été évaluée pour chacun des échantillons frais 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 **Afnor (1982)**. En effet, les creusets contenant la matière végétale sèche décrits précédemment ont été réintroduits à nouveau dans un four à moufles réglé à la température de 550°C pendant 5 heures jusqu'à l'obtention d'une couleur grise. Le pesage des échantillons obtenus après incinération a été fait après le refroidissement des creusets dans un dessiccateur.

La formule suivante exprime la teneur de matière organique des tubercules :

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

La teneur en matière minérale (C%) est calculée comme suit :

$$C\% = 100 - MO\%$$

Où :

- **MO%** : la teneur en matière organique
- **M₁ (g)** : masse de prise d'essai
- **M₂ (g)** : masse des cendres

2.4.4.3 Evaluation des teneurs en sucres totaux

Le dosage des teneurs en sucres 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. Il nécessite le séchage de la chair des tubercules ainsi que, la préparation des extraits éthanoliques à partir de chaque échantillon sec de tubercules à analyser.

Les tubercules ont été pelés, coupés en tranches très minces puis placés sur un plateau sur lequel a été déposée une feuille de papier filtre. Ce dernier a été mis à sécher dans une étuve réglée à 40°C à l'abri de la lumière. Après deux jours de séchage, les échantillons ont été broyés en poudre à l'aide d'un broyeur électrique. La poudre issue de chaque échantillon de tubercules produits sous l'effet de chacun des traitements, a été récupérée séparément et stockée dans des petits sacs en papier codifiés.

La préparation des extraits éthanoliques a été réalisée selon la méthode de **Gitin et al. (2012)**.

Elle consiste à prélever à partir de chaque échantillon de tubercule de pomme de terre étudié, 1,5g de poudre qui a été mélangé avec 7,5 ml d'éthanol diluée (70 :30 éthanols / eau distillée), puis centrifugé à l'aide d'une centrifugeuse réglée à 4000 rpm pendant 10min.

Le dosage des sucres totaux a été déterminé selon la méthode de **Ibrahim et al. (2021)**.

Il consiste à mélanger 1ml d'extrait dilué de chaque échantillon d'extrait éthanolique préparé et décrit précédemment (1ml d'extrait éthanolique + 5 ml d'eau distillée) avec 1ml de phénol préparé à 5% et 5 ml d'acide sulfurique.

La lecture de l'absorbance de chaque extrait a été réalisée à l'aide un spectrophotomètre à UV-Visible à la longueur d'onde de 490nm. 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 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.

2.4.4.4 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. Il nécessite la préparation des extraits méthanoliques à partir de la poudre de chair de chaque échantillon de tubercule à analyser.

Ceci consiste à dissoudre dans des flacons sombres stérilisés, 3g de poudre de pomme de terre dans 30 ml de méthanol. Les flacons ainsi préparés et fermés ont été placés dans un incubateur shaker de marque « INNOVA 42 » réglé à l'agitation de 120rpm, à la température de 20°C. Après une durée d'incubation de 72 heures. Chaque extrait a été filtré séparément à travers un entonnoir contenant du papier filtre et récupéré séparément dans des boîtes de pétri en verre. Les boîtes ont été toutes placées dans une étuve réglée à la température de 40°C pour éliminer les traces de solvant. Ainsi, 5mg d'extrait méthanolique sec obtenu après évaporation ont été prélevés puis dilués avec 5ml du méthanol pur (**Matkowski et Piotrowski, 2006**).

Le dosage des polyphénols 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 bleus 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, un volume de 200 µl de chaque extrait méthanolique préparé a été mélangé avec 1000µl de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué dix fois avec l'eau distillée) et 800 µl de carbonate de sodium (Na₂CO₃) préparé à 7.5% (p/v). Le mélange a été incubé à une température ambiante pendant 30 min. La lecture de l'absorbance pour les polyphénols totaux a été faite à l'aide d'un spectrophotomètre UV-VIS à une longueur d'onde de 765nm.

La courbe d'étalonnage a été établie pour l'acide gallique préparé à différentes concentrations. Les teneurs en polyphénols totaux ont été calculées selon l'équation suivante :

$$y = 0.0075x + 0.0289$$

Où :

- **y** : les absorbances lues à longueur d'onde de 765nm,
- **x** : la concentration de polyphénols (μg EAG/g de MS).

2.4.4.5 Evaluation de la qualité microbiologique

La qualité microbiologique a été déterminée pour chacun des échantillons de tubercules de pomme de terre étudié à raison de trois répétitions par échantillon. Elle a été basée sur la détermination des unités de colonies bactériennes 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 à flux laminaire en présence d'une flamme de bec benzène. Elle passe par les étapes suivantes :

- Désinfection des tubercules avec la solution d'eau de javel à 2% pendant 10mn pour éliminer tous les contaminants microbiens en contact avec la peau des tubercules,
- Rinçage 3 fois avec l'eau distillée stérile,
- Râpage et filtration des fins fragments de chair de tubercules à travers une passoire à petites mailles,
- Collecte individuelle des échantillons d'extraits crus dans des boîtes de Pétri stériles.

Par ailleurs, l'isolement des colonies fongiques et bactériennes a été réalisé respectivement sur les milieux de cultures PDA (pomme de terre-dextrose-agar) et LPGA (Extrait de levure-peptone-glucose-agar) (composition voir annexes).

Ce qui consiste à verser séparément deux gouttes de chaque échantillon d'extrait cru préparé dans une boîte de pétri, dans laquelle a été coulé séparément chacun des deux milieux de cultures cité précédemment. Les boîtes ainsi préparées 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.

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.

La qualité microbiologique de chaque échantillon a été estimée selon l'échelle de notation décrite par Jouve J-L, (1996) et l'AFSSA.

2.5 Analyse statistique

L'analyse statistique a porté sur les taux de germination et les critères morphométriques de croissance végétative ainsi que les critères de rendement dont, le nombre, le poids et le calibre des tubercules produits tout en considérant la durée d'incubation. Il en est de même pour les critères de qualité évalués tels que les teneurs en eau, en matière sèche, matière minérale, matière organique, teneur en pigments foliaires, teneur en sucre totaux et en polyphénols totaux. L'analyse statistique de ces paramètres a été étudiée au moyen du logiciel Minitab, en déterminant la variance à l'aide de l'outil d'ANOVA et, du modèle GLM ainsi que, le test de Tukey HSD (Honestly Significant Different) pour classer les isolats bactériens endémiques en groupes homogènes. Les différences ont été considérées significatives pour $P \leq 0,05$ (**Philippeau, 1989**).



Résultats et discussion

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Paramètres de croissance végétative

3.1.1 Taux de germination des semences

L'ensemble des plants cultivés de pomme de terre ont montré une variabilité dans la levée selon les différents traitements considérés (Figure 7).

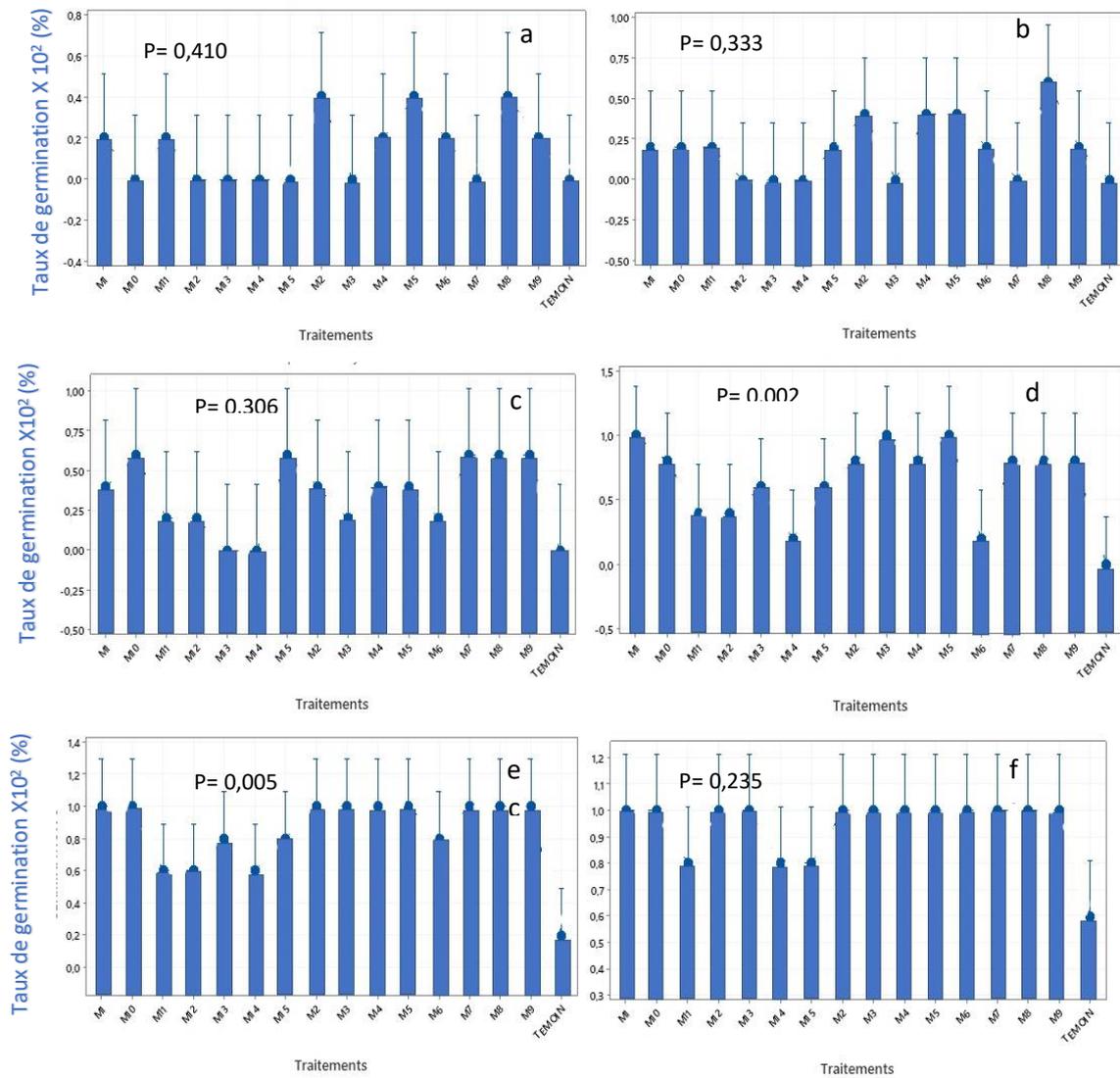


Figure 7 : germination des semences de pomme de terre après 18J de plantation.

Les traitements appliqués sur les plants cultivés de pomme de terre ont affecté les taux de germination des tubercules de semences de la variété « Spunta » de pomme de terre.

Dans ce sens, l'analyse de la variance des taux de germination enregistrés n'a pas pu montrer une différence significative que durant les périodes 12 et 15 jours après le semis ($P=0,002$, $F=2,78$) et ($P=0,005$; $F=2,58$) alors qu'une différence non significative a été enregistrée respectivement pour les périodes d'incubation de 3, 6, 9 et 18 jours ($P=0,410$, $F=1,06$) ; ($P=0,333$, $F=1,15$) ; ($P=0,306$, $F=1,18$) et ($P=0,235$, $F=1,29$) (Annexe 3).

Les taux de germination étaient variables selon les traitements et selon les périodes d'incubation. Ils étaient compris entre 0 et 40%, 0 et 60%, 20 et 100% ainsi que 60 et 100% respectivement pour les périodes d'incubation de 3j, 6 et 9j, 12j, 15j, 18j (Figure 8).



a : 3J , b : 6J , c : 9J , d : 12J , e : 15J , f : 18J.

Figure 8 : Le taux de germination des semences de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements et selon les périodes d’incubation.

Le test de tukey n’a permis le classement des traitements étudiés selon les taux de germination enregistrés, en trois groupes homogènes seulement selon pour les deux périodes d’incubation de 12 j et de 15j respectivement comme suit (Figure 8d et Figure 8e) :

- Après 12j d’incubation, nous citons :
 - Le groupe 1 renferme les isolats M1, M3 et M5 dont le taux de germination enregistré est de 100%.
 - Le groupe 2 renferme l’ensemble des isolats : M2, M4, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14 et M15 dont, les taux de germination enregistrés sont compris entre 20 et 80%.
 - Le groupe 3 correspond aux témoins qui n’ont enregistré aucune germination.

- Après 15j d’incubation, nous citons :
 - Le groupe 1 renferme les isolats M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8 et M9 dont le taux de germination enregistré est de 100%.
 - Le groupe 2 renferme l’ensemble des isolats : M6, M10, M11, M12, M13, M14 et M15 dont, les taux de germination enregistrés sont compris entre 40 et 80%.
 - Le groupe 3 correspond aux témoins qui ont enregistré un taux de germination de 20%.

Tableau 5 : Classement des traitements selon les taux de germination des semences de pomme de terre par le test de Tukey, selon les périodes d’incubation.

Traite Ment	Ré pét iti on	3J		6J		9J		12J		15J		18J	
M8	5	40%	A	60%	A	60%	A	80%	AB	100%	A	100%	A
M5	5	40%	A	40%	A	40%	A	100%	A	100%	A	100%	A
M2	5	40%	A	40%	A	40%	A	80%	AB	100%	A	100%	A
M9	5	20%	A	20%	A	60%	A	80%	AB	100%	A	100%	A
M6	5	20%	A	20%	A	20%	A	20%	AB	80%	AB	100%	A
M4	5	20%	A	40%	A	40%	A	80%	AB	100%	A	100%	A
M11	5	20%	A	20%	A	20%	A	40%	AB	60%	AB	80%	A
M1	5	20%	A	20%	A	40%	A	100%	A	100%	A	100%	A
Témoin	5	0%	A	0%	A	0%	A	0%	B	20%	B	60%	A
M7	5	0%	A	0%	A	60%	A	80%	AB	100%	A	100%	A
M3	5	0%	A	0%	A	20%	A	100%	A	100%	A	100%	A
M15	5	0%	A	20%	A	60%	A	60%	AB	80%	AB	80%	A
M14	5	0%	A	0%	A	0%	A	20%	AB	60%	AB	80%	A
M13	5	0%	A	0%	A	0%	A	60%	AB	80%	AB	100%	A
M12	5	0%	A	0%	A	20%	A	40%	AB	60%	AB	100%	A
M10	5	0%	A	20%	A	60%	A	80%	AB	100%	A	100%	A

3.2 Paramètres de croissance morphométriques

Les traitements appliqués sur les jeunes plantules de pomme de terre ont montré une variabilité sur les paramètres morphométriques retenus à savoir le nombre et les dimensions des tiges ainsi que la densité foliaire développés par plant (figure 9).



De M1 jusqu'à M15 : Codes des isolats bactériens endémiques

Figure 9 : Variabilité morphologique des plantes cultivées de pomme de terre âgées de 91 jours selon les traitements appliqués.

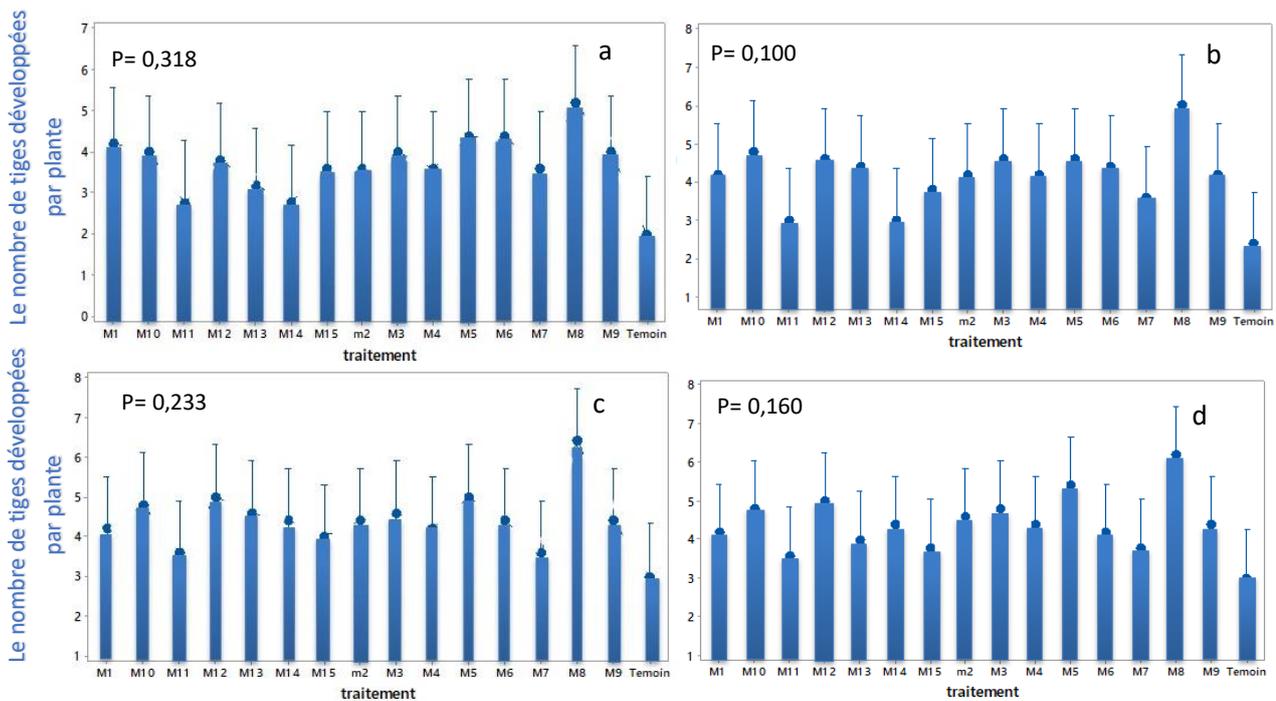
3.2.1 Nombre de tiges

Le nombre de tiges développées par plante cultivée n'a pas montré de variabilité significative selon les différentes périodes d'incubation respectivement de 37, 44, 51 et 58j, ($P=0,318$, $F=1,17$) ; ($P=0,100$, $F=1,60$) ; ($P=0,233$, $F=1,29$) et ($P=0,160$, $F=1,43$) (Annexe 4).

Le nombre de tiges enregistré selon les traitements (Figure 10, Tableau 6) a atteint les valeurs suivantes :

- 3 à 5 tiges par plante cultivée après une durée d'incubation de 37j,
- 3 et 6 tiges par plante cultivée après une durée d'incubation respectivement de 44j, 51j et 58j.

Par ailleurs, l'ensemble des traitements demeurent classés dans un même groupe selon les périodes d'incubation retenues (Tableau 6).



a : 37J , b : 44J , c : 51J , d : 58J

Figure 10 : Le nombre de tiges développées par plante par le modèle GLM selon le traitement appliqué et selon les périodes d'incubation.

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

Traitement	répétition	37J		44J		51J		58J	
M8	5	5.200	A	6.000	A	6.400	A	6.200	A
M10	5	4.000	A	4.800	A	4.800	A	4.800	A
M5	5	4.400	A	4.600	A	5.000	A	5.400	A
M3	5	4.000	A	4.600	A	4.600	A	4.800	A
M12	5	3.800	A	4.600	A	5.000	A	5.000	A
M6	5	4.400	A	4.400	A	4.400	A	4.200	A
M13	5	3.200	A	4.400	A	4.600	A	4.000	A
M9	5	4.000	A	4.200	A	4.400	A	4.400	A
M4	5	3.600	A	4.200	A	4.200	A	4.400	A
M2	5	3.600	A	4.200	A	4.400	A	4.600	A
M1	5	4.200	A	4.200	A	4.200	A	4.200	A
M15	5	3.600	A	3.800	A	4.000	A	3.800	A
M7	5	3.600	A	3.600	A	3.600	A	3.800	A
M14	5	2.800	A	3.000	A	4.400	A	4.400	A
M11	5	2.750	A	3.000	A	3.600	A	3.600	A
TEMOIN	5	2.000	A	2.400	A	3.000	A	3.000	A

3.2.3 Dimensions des tiges développées par plante cultivée.

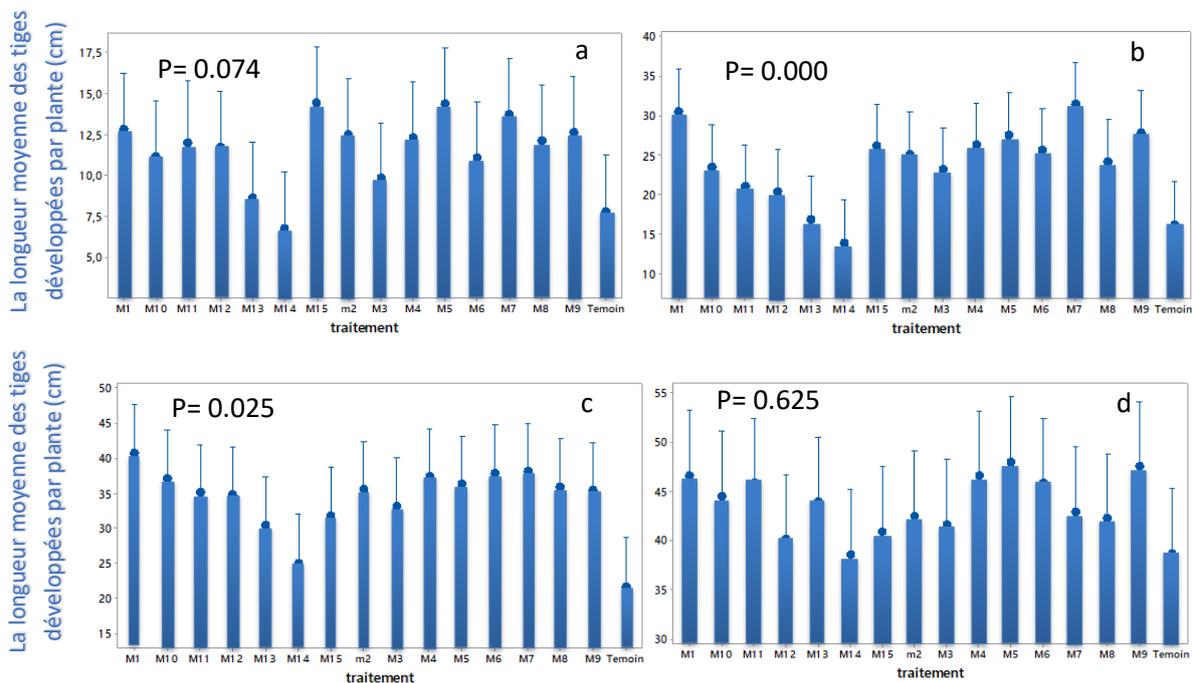
La longueur des tiges n'a pu montrer une variabilité entre les traitements seulement pour les périodes d'incubation de 44j ($P=0,000$, $F=3,47$) et 51j ($P=0,025$, $F= 2,05$). Cependant, une différence non significative a été enregistrée sur les valeurs des longueurs des tiges des plantes cultivées selon les différents traitements durant les périodes d'incubation de 37j ($P= 0,074$, $F= 1,7$) et 58j ($P= 0,625$, $F= 0,85$) (Annexe 5).

Les valeurs de la longueur des tiges varient selon les traitements pour les périodes d'incubation de 37j, 44j, 51j et 58j (Figure 11, Tableau 7). Elles ont atteint les valeurs suivantes :

- 14,43 et 6,38cm après une durée d'incubation de 37j,
- 14 et 31,39cm après une durée d'incubation de 44j,
- 21,79 et 40,75cm après une période d'incubation de 51j,
- 38,63 et 48,06cm après une durée d'incubation de 58j.

Ainsi, l'ensemble des traitements n'ont pu être classés en groupes homogènes distincts que pour les deux périodes d'incubation de 44j et 51j. Dans ce contexte, le test de tukey a établi leur classement en 5 puis en 3 groupes homogènes respectivement selon les périodes de 44j et 51j (Tableau 7) :

- Selon la période de 44j, nous distinguons :
 - Groupe 1 renferme les traitements M7 et M1 ayant montré une longueur de tiges comprise entre 31,39 et 30,55cm.
 - Groupe 2 renferme les traitements M5 et M9 ayant montré une longueur de tiges comprise entre 27,86 et 27,56cm.
 - Groupe 3 renferme les traitements M2, M3, M4, M6, M8, M10, M11, M12 et M15 ayant montré une longueur de tiges comprise entre 20,46 et 26,28cm.
 - Groupe 4 renferme les traitements M13 et les témoins ayant montré une longueur de tiges comprise entre 16,27 et 16,90cm.
 - Groupe 5 renferme le traitement M14 ayant montré une longueur de tiges de 14cm.
- Selon la période de 51j, nous distinguons :
 - Groupe 1 renferme le traitement M1 ayant montré une longueur de tiges de 40,75cm.
 - Groupe 2 renferme les traitements M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14 et M15 ayant montré une longueur de tiges comprise entre 38.11 et 25.11cm.
 - Groupe 3 renferme les témoins ayant montré une longueur de tiges de 21,79cm.



a : 37J , b : 44J , c : 51J , d : 58J

Figure 11 : La longueur moyenne des tiges développées par plante par le modèle GLM selon les traitements appliqués et selon les périodes d’incubation.

Tableau 7 : Classement des traitements par le test de Tukey selon la longueur moyenne des tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d'incubation.

traitements	répétitions	37J		44J		51J		58J	
M7	5	13.76	A	31.39	A	38.11	AB	42.96	A
M1	5	12.82	A	30.55	A	40.75	A	46.66	A
M9	5	12.67	A	27.86	AB	35.42	AB	47.55	A
M5	5	14.38	A	27.56	AB	36.28	AB	48.06	A
M4	5	12.35	A	26.28	ABC	37.41	AB	46.61	A
M15	5	14.43	A	26.13	ABC	31.87	AB	40.94	A
M6	5	11.11	A	25.62	ABC	37.91	AB	45.87	A
M2	5	12.50	A	25.13	ABC	35.53	AB	42.58	A
M8	5	12.14	A	24.23	ABC	35.95	AB	42.27	A
M10	5	11.16	A	23.55	ABC	37.15	AB	44.58	A
M3	5	09.86	A	23.17	ABC	33.24	AB	41.69	A
M11	5	12.02	A	21.05	ABC	35.14	AB	45.87	A
M12	5	11.78	A	20.46	ABC	34.80	AB	40.16	A
M13	5	08.64	A	16.90	BC	30.55	AB	43.96	A
TEMOIN	5	07.83	A	16.27	BC	21.79	B	38.73	A
M14	5	06.83	A	14.00	C	25.11	AB	38.63	A

Les diamètres des tiges n'ont pu montrer une variabilité entre les traitements seulement pour les périodes d'incubation de 51j ($P=0,007$, $F=2,45$) et de 58j ($P=0,002$, $F= 2,82$). Cependant, une différence non significative a été enregistrée sur les valeurs des diamètres de tiges des plantes cultivées selon les différents traitements durant les périodes d'incubation de 37j ($P= 0,183$, $F= 1,38$) et de 44j ($P= 0,496$, $F= 0,97$) (Annexe 6).

Les valeurs des diamètres de tiges varient selon les traitements et selon les périodes d'incubation de 37j, 44j, 51j et 58j comme suit (Figure 12, Tableau 8) :

- 2,10 et 2,70cm après une durée d'incubation de 37j,
- 2,70 et 3,21cm après une durée d'incubation de 44j,
- 2,90 et 3,82cm après une période d'incubation de 51j,
- 2,54 et 3,62cm après une durée d'incubation de 58j.

Ainsi, l'ensemble des traitements ont été classés en groupes homogènes distincts seulement pour les deux périodes d'incubation de 51j et 58j. Dans ce contexte, par le test de tukey, nous relevons pour les traitements testés 5 puis 3 groupes homogènes respectivement selon les périodes de 51j et 58j (Tableau 8) :

- Selon la période de 51j, nous distinguons :
 - Groupe 1 renferme le traitement M11 ayant montré un diamètre de tiges de 3,82cm.
 - Groupe 2 renferme le traitement M6 ayant montré un diamètre de tiges de 3.75cm.
 - Groupe 3 renferme les traitements M1, M2, M4, M5, M7, M8, M9, M10, M12, M13, M14 et les témoins ayant montré un diamètre de tiges compris entre 3,11 et 3,67cm.
 - Groupe 4 renferme le traitement M3 ayant montré un diamètre de tiges de 2,99cm.
 - Groupe 5 renferme le traitement M15 ayant montré un diamètre de tiges de 2,90cm.
- Selon la période de 58j, nous distinguons :
 - Groupe 1 renferme le traitement témoin ayant montré un diamètre de tiges de 3,62cm.
 - Groupe 2 renferme les traitements M1, M2, M4, M5, M6, M11, M13, M14 et M15 ayant montré un diamètre de tiges compris entre 2,89 et 3,15cm.
 - Groupe 3 renferme les traitements M3, M7, M8, M9, M10 et M12 ayant montré un diamètre de tiges compris entre 2,54 et 2,83cm.

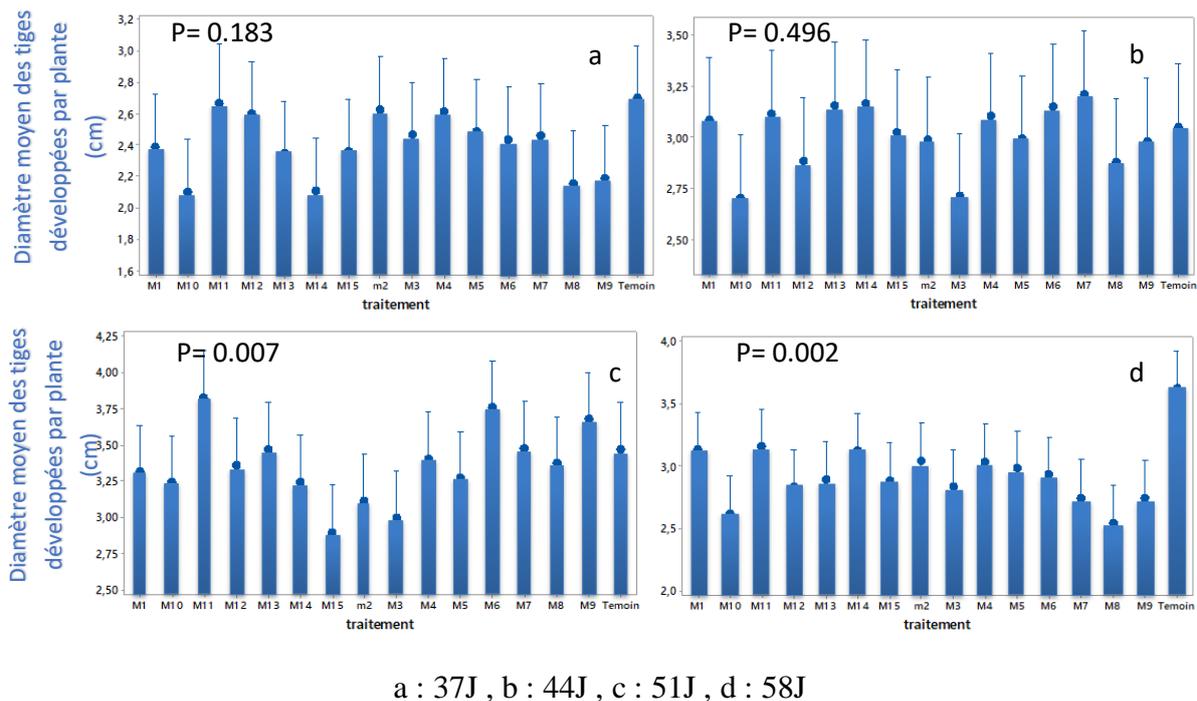


Figure 12 : Le diamètre moyen des tiges développées par plante par le modèle GLM selon les traitement et selon les périodes d’incubation

Tableau 8 : Classement des traitements par le test de Tukey selon le diamètre moyen des tiges développées par plante cultivée et selon les périodes d’incubation.

traitement	répétition	37J	44J	51J	58J

M11	5	2.671	A	3.118	A	3.826	A	3.158	AB
M6	5	2.438	A	3.152	A	3.757	AB	2.985	AB
M9	5	2.192	A	2.983	A	3.676	ABC	2.747	B
M7	5	2.462	A	3.212	A	3.480	ABC	2.748	B
TEMOIN	5	2.700	A	3.053	A	3.472	ABC	3.627	A
M13	5	2.350	A	3.158	A	3.472	ABC	2.898	AB
M4	5	2.618	A	3.106	A	3.406	ABC	3.040	AB
M8	5	2.159	A	2.883	A	3.371	ABC	2.548	B
M12	5	2.602	A	2.889	A	3.361	ABC	2.835	B
M1	5	2.393	A	3.086	A	3.314	ABC	3.134	AB
M5	5	2.487	A	2.997	A	3.270	ABC	2.985	AB
M14	5	2.110	A	3.170	A	3.247	ABC	3.125	AB
M10	5	2.105	A	2.708	A	3.243	ABC	2.622	B
M2	5	2.632	A	2.992	A	3.114	ABC	3.047	AB
M3	5	2.471	A	2.716	A	2.995	BC	2.835	B
M15	5	2.363	A	3.027	A	2.900	C	2.892	AB

3.2.4 Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles n'a pu montrer une variabilité entre les traitements seulement après 37j ($P=0,036$, $F=1,93$) et 44j ($P=0,004$, $F= 2,63$). Cependant, une différence non significative a été enregistrée sur les valeurs des nombres des feuilles cultivées selon les différents traitements après les périodes d'incubation de 51j ($P= 0,593$, $F= 0,88$) et de 58j ($P= 0,116$, $F= 1,54$) (Annexe 7).

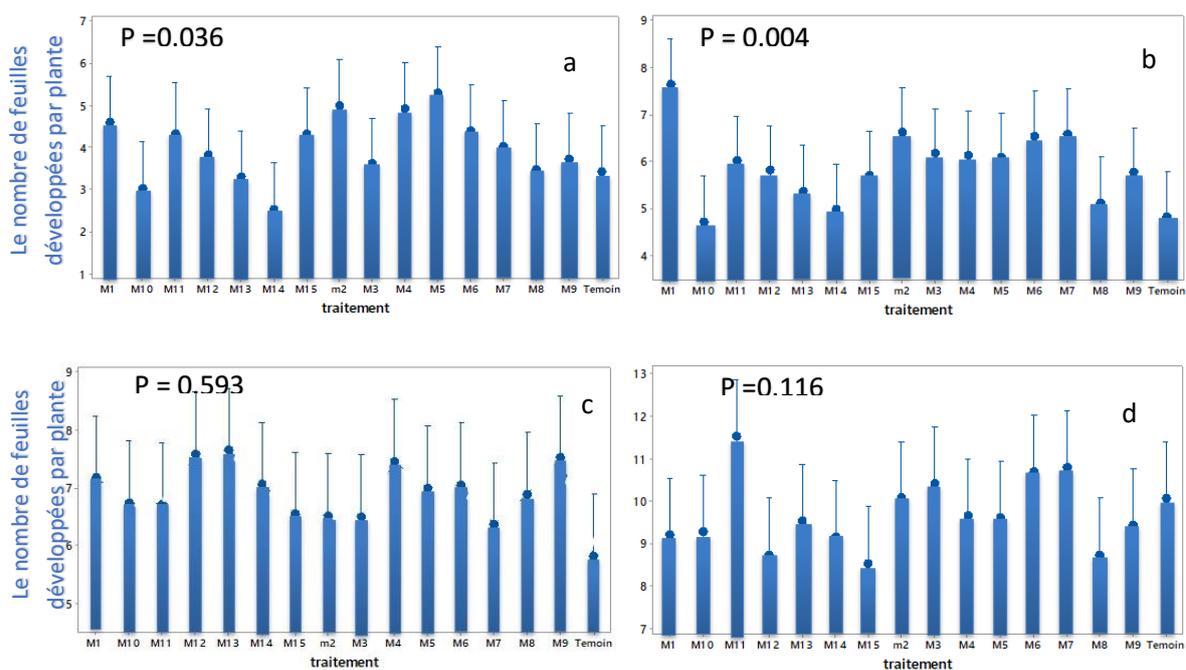
Le nombre de feuilles développées par plante cultivée de pomme de terre variait selon les traitements pour les périodes d'incubation de 37j, 44j, 51j et 58j (Figure 13, Tableau 9). Il a atteint les valeurs suivantes :

- 2,55 et 5,31 après une durée d'incubation de 37j,
- 4,73 et 7,65 après une durée d'incubation de 44j,
- 5,81 et 7,64 après une période d'incubation de 51j,
- 8,55 et 11,53 après une durée d'incubation de 58j.

Ainsi, l'ensemble des traitements ont été classés en groupes homogènes distincts seulement pour les deux périodes d'incubation de 37j et 44j. Dans ce contexte, par le test de Tukey, nous relevons pour les traitements testés 3 groupes homogènes pour chacune des périodes de 37j et de 44j (Tableau 9) :

- Selon la période de 37j, nous distinguons :

- Groupe 1 renferme le traitement M5 ayant montré un nombre de feuilles développées de 5,31.
- Groupe 2 renferme les traitements M1, M2, M3, M4, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M15 et les témoins ayant montré un nombre de feuilles développées compris entre 3,03 et 5,00.
- Groupe 3 renferme le traitement M14 ayant montré un nombre de feuilles développées de 2,55.
- Selon la période de 44j, nous distinguons :
 - Groupe 1 renferme le traitement M1 ayant montré un nombre de feuilles développées de 7,65.
 - Groupe 2 renferme les traitements M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M11, M12, M13 et M15 ayant montré un nombre de feuilles développées compris entre 5.38 et 6,63.
 - Groupe 3 renferme les traitements M8, M10, M14 et les témoins ayant montré un nombre de feuilles développées compris entre 4,73 et 5,13.



a : 37J , b : 44J , c : 51J , d : 58J

Figure 13 : Le nombre de feuilles développées par plante par le modèle GLM selon les traitements appliqués et selon les périodes d’incubation.

Tableau 9 : Classement des traitements par le test de Tukey selon le nombre de feuilles développées par plante cultivée et selon les périodes d’incubation.

Traitement	Répétition	37J		44J		51J		58J	
M1	5	4.610	AB	7.650	A	7.170	A	9.223	A
M10	5	3.033	AB	4.731	B	6.743	A	9.310	A
M11	5	4.330	AB	6.017	AB	6.713	A	11.53	A
M12	5	3.844	AB	5.822	AB	7.582	A	8.747	A
M13	5	3.317	AB	5.383	AB	7.646	A	9.550	A
M14	5	2.550	B	4.983	B	7.063	A	9.180	A
M15	5	4.330	AB	5.710	AB	6.550	A	8.550	A
M2	5	5.007	AB	6.631	AB	6.519	A	10.093	A
M3	5	3.627	AB	6.177	AB	6.503	A	10.430	A
M4	5	4.943	AB	6.137	AB	7.450	A	9.673	A
M5	5	5.317	A	6.083	AB	6.993	A	9.627	A
M6	5	4.417	AB	6.543	AB	7.057	A	10.703	A
M7	5	4.027	AB	6.593	AB	6.367	A	10.81	A
M8	5	3.495	AB	5.134	B	6.892	A	8.754	A
M9	5	3.745	AB	5.774	AB	7.522	A	9.448	A
TEMOIN	5	3.433	AB	4.833	B	5.817	A	10.083	A

3.3 Teneurs en pigments foliaires

Les teneurs en pigments foliaires ont montré une différence significative selon les traitements seulement pour les caroténoïdes et ceci qu'après une durée d'incubation de 51j ($P= 0,020$, $F=2,38$).

Cependant une différence non significative a été enregistrée pour les teneurs en chlorophylle totale selon les traitements et en fonction des durées d'incubation de 30 et 51j respectivement ($P= 0,635$, $F= 0,83$) ($P= 0,084$, $F= 1,78$). Il en est de même pour les teneurs en caroténoïdes enregistrées après une durée d'incubation de 37j ($P= 0,157$, $F= 1,52$) (Annexe 8).

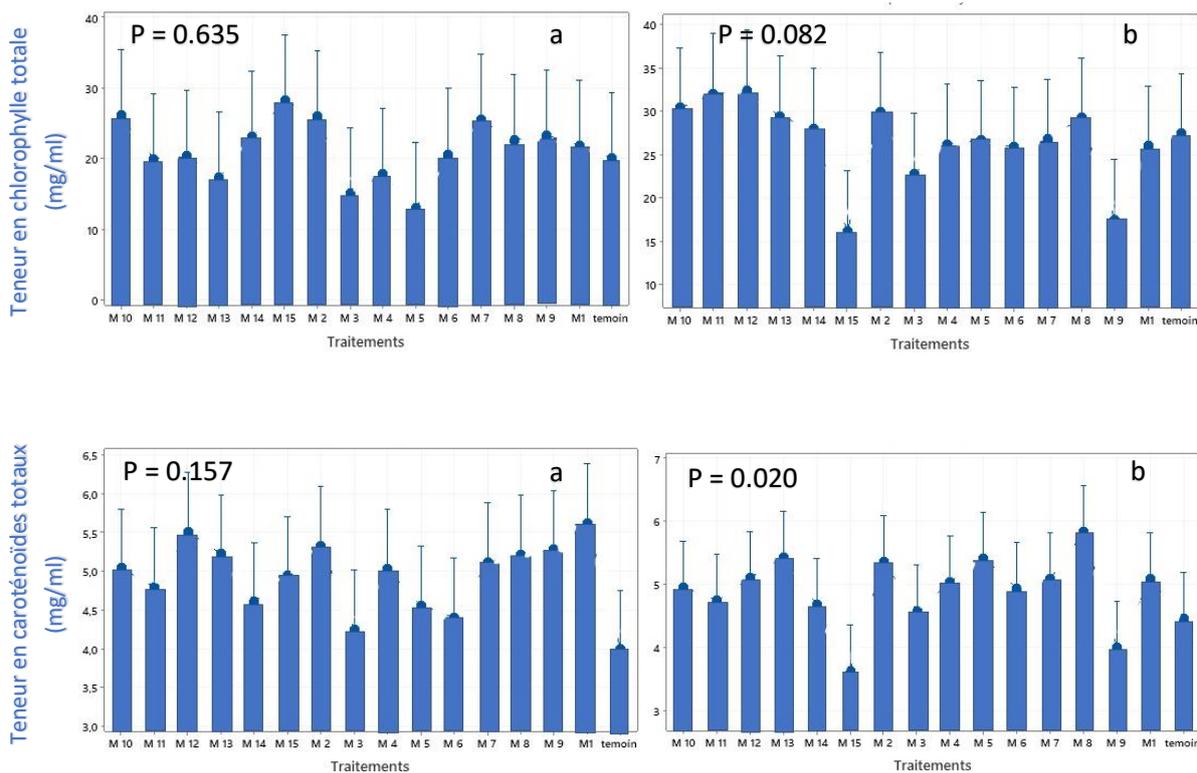
En effet, les teneurs en chlorophylle totale et en caroténoïdes enregistrées sur les feuilles des plantes cultivées de pomme de terre variaient selon les traitements et selon les périodes d'incubation de 30j et 51j (Figure 14, Tableau 10). Elles ont atteint les valeurs suivantes :

- 12,95 et 28,19 mg/ml de chlorophylle totale et 3,99 et 6,06 mg/ml de caroténoïdes après une durée d'incubation de 30j,
- 16,14 et 32,36 mg/ml de chlorophylle totale 3,62 et 5,83 mg/ml de caroténoïdes après une période d'incubation de 51j,

Ainsi, l'ensemble des traitements ont été classés dans un même groupe selon les teneurs en chlorophylle totale pour les périodes de 30j et 51j. Il en est de même pour leur classement selon les teneurs en caroténoïdes mais, seulement pour la période de 30j.

Cependant, le classement des traitements a été établi pour la période de 51j par le test de tukey selon les teneurs en caroténoïdes en 3 groupes homogènes distincts suivants (Tableau 10) :

- Groupe 1 renferme le traitement M8 ayant montré une teneur en caroténoïdes de 5,83 mg/ml.
- Groupe 2 renferme les traitements M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15 et les témoins ayant montré des teneurs en caroténoïdes compris entre 3,98 et 5,42mg/ml.
- Groupe 3 renferme le traitement M15 ayant montré une teneur en caroténoïdes de 3,62 mg/ml.



a : 30J , b : 51J

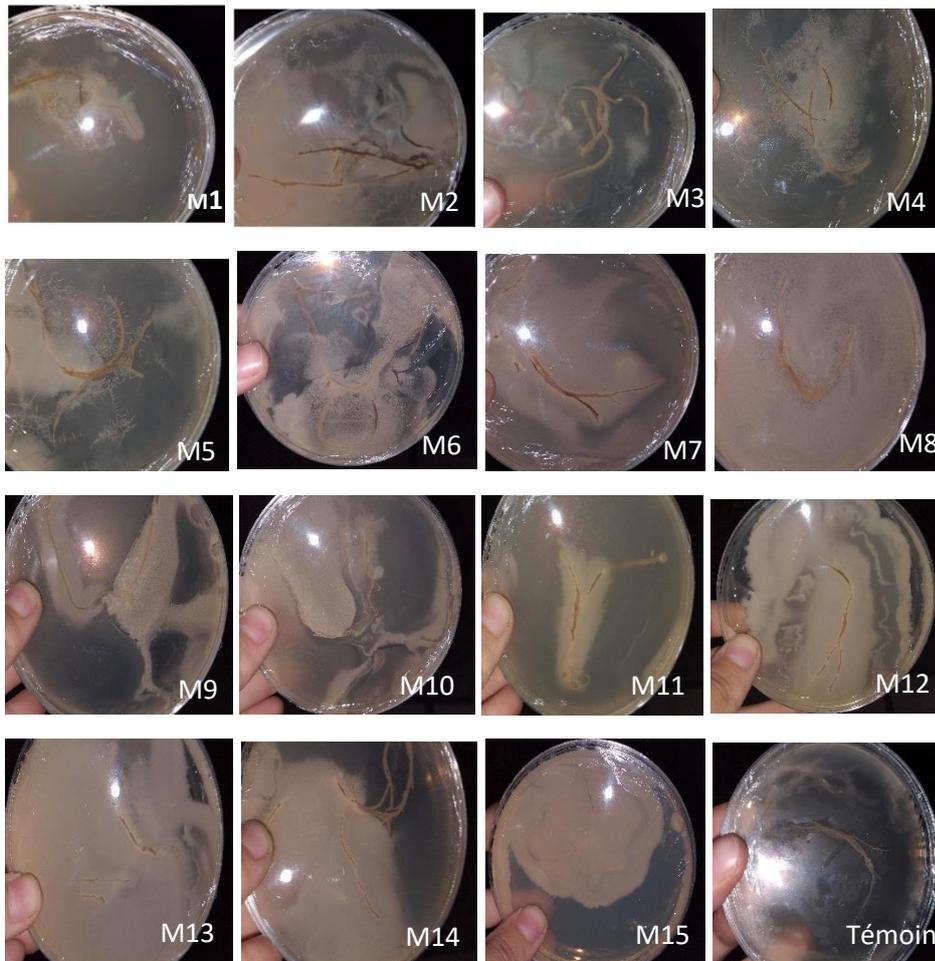
Figure 14 : les teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées par le modèle GLM selon les traitements et selon les périodes d'incubation.

Tableau 10 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en pigments foliaires des plantes cultivées selon les traitements et selon les périodes d'incubation.

Teneurs (mg/ml) traitements \ répétition		Chlorophylle 30J		Caroténoïdes 30J		Chlorophylle 51J		Caroténoïdes 51J	
M15	3	28.19	A	4.942	A	16.14	A	3.628	B
M10	3	26.05	A	5.039	A	30.37	A	4.949	AB
M2	3	25.87	A	5.330	A	29.87	A	5.355	AB
M7	3	25.40	A	5.117	A	26.73	A	5.086	AB
M9	3	23.24	A	5.277	A	17.50	A	3.987	AB
M14	3	23.06	A	4.608	A	27.94	A	4.679	AB
M8	3	22.52	A	5.214	A	29.22	A	5.830	A
M1	3	21.79	A	6.064	A	25.97	A	5.079	AB
M6	3	20.56	A	4.406	A	25.85	A	4.934	AB
M12	3	20.26	A	5.512	A	32.36	A	5.101	AB
Témoin	3	19.97	A	3.991	A	27.40	A	4.453	AB
M11	3	19.87	A	4.798	A	32.02	A	4.733	AB
M4	3	17.75	A	5.038	A	26.13	A	5.034	AB
M13	3	17.34	A	5.225	A	29.39	A	5.425	AB
M3	3	15.03	A	4.246	A	22.81	A	4.570	AB
M5	3	12.95	A	4.559	A	26.62	A	5.404	AB

3.4 Pouvoir colonisateur racinaire des bactéries testées

Le ré isolement des colonies bactériennes purifiées sur milieu LPGa à partir des fragments racinaires issus des plantes cultivées sous l'effet d'arrosage des différentes suspensions bactériennes endémiques et leur absence marquée chez les témoins a confirmé l'effet colonisateur de l'ensemble des rhizobactéries utiles endémiques étudiées (Figure 15).



M1 jusqu'à M15 : Codes des bactéries utiles endémiques testés

Figure 15 : Ré isolement des colonies bactériennes à partir des racines des plantes cultivées de pomme de terre sous effet des suspensions bactériennes endémiques sur milieu LPGA après 24h d'incubation à 28°C.

3.5 Critères de qualité des tubercules de pomme de terre

3.5.1 Paramètres de production des tubercules

L'évaluation de la production en nombre et en poids par plante cultivée de pomme de terre ne semble pas significative selon l'effet d'application des isolats bactériens utiles endémiques. Les tubercules sont parfois peu nombreux mais de petite taille alors que d'autres sont moins nombreux mais de taille plus importante (Figure 16).

En revanche, les dimensions des tubercules ont révélé une variabilité significative selon l'effet des traitements en comparaison avec les témoins (Figure 17).



Figure 16 : Quantité et taille globale des tubercules de pomme de terre produits par plante selon les traitements.

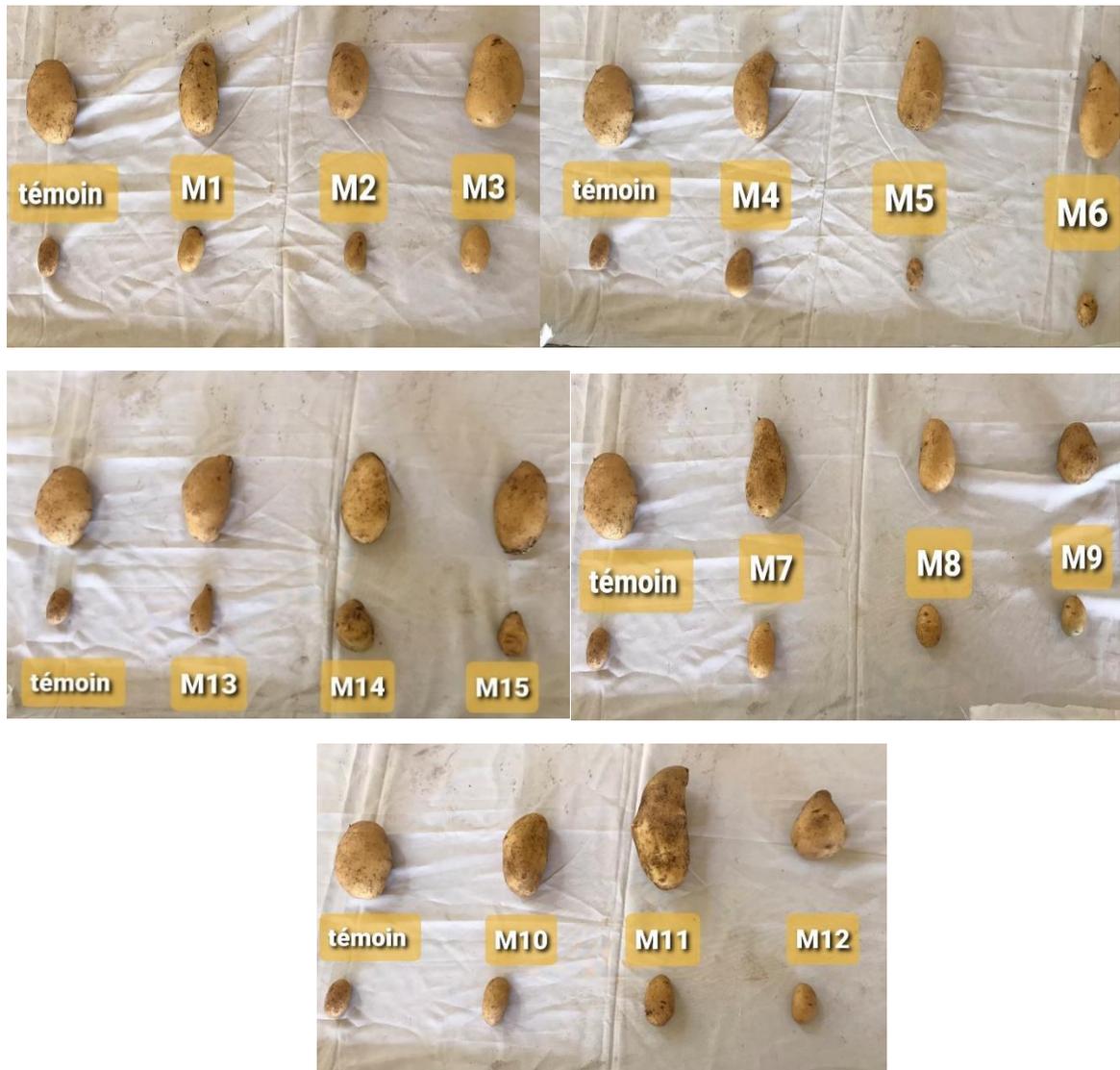


Figure 17 : Variabilité de la taille moyenne des tubercules de pomme de terre produits par plante selon les traitements.

L'analyse de la variance des paramètres de production des plantes cultivées de pomme de terre par le test ANOVA n'a pas montré de différence significative selon l'effet des traitements concernant le nombre ($P= 0,460$, $F= 1,01$), le poids de tubercules produits par plante ($P=0,994$, $F=0,30$), ainsi que le poids moyen d'un tubercule produit ($P= 0,096$, $F=1,61$). Cependant une différence hautement et très hautement significative a été enregistrée respectivement sur les dimensions des tubercules à savoir la longueur ($P= 0,001$, $F=2,65$), et le diamètre ($P= 0,014$, $F= 2,00$) (Annexe 9).

En effet, les valeurs enregistrées sur les paramètres de production ont été très voisines selon les traitements étudiés. Le nombre a atteint les valeurs comprises entre 5 et 8 alors que les valeurs correspondant au poids global des tubercules produits étaient comprises entre 344,6 et 468g. Par ailleurs, le poids moyen d'un tubercule était compris entre 43,28 et 93,92g (Figure 18, Tableau 11).

Par ailleurs, les dimensions enregistrées sur les tubercules de pomme de terre frais produits sous l'effet des différents traitements ont enregistré des valeurs variant de 15,44 à 19,63cm pour la longueur et, 11,14 à 13,47cm pour le diamètre (Figure 19, Tableau 12).

Ainsi, les traitements ont été classés par le test de tukey en 5 et 3 groupes homogènes distincts respectivement selon la longueur et le diamètre d'un tubercule (Tableau 12).

- Selon les valeurs enregistrées sur la longueur d'un tubercule, Nous distinguons :
 - Groupe 1 comprend le traitement M7 ayant enregistré une longueur de 19,63cm.
 - Groupe 2 comprend le traitement M11 ayant enregistré une longueur de 19,54cm.
 - Groupe 3 comprend les traitements M1, M2, M4, M5, M6, M8, M10, M12, M13, M14, M15 et les témoins ayant enregistré des longueurs comprises entre 16,04 et 18,49cm.
 - Groupe 4 comprend le traitement M9 ayant enregistré une longueur de 15,54cm.
 - Groupe 5 comprend le traitement M3 ayant enregistré une longueur de 15,44cm.
- Selon les valeurs enregistrées sur le diamètre d'un tubercule, Nous distinguons :
 - Groupe 1 comprend le traitement M7 ayant enregistré un diamètre de 13,47cm.
 - Groupe 2 comprend les traitements M1, M2, M3, M4, M5, M6, M8, M9, M11, M13, M14, M15 et les témoins ayant enregistré des diamètres compris entre 11.43 et 12.79 cm.
 - Groupe 3 comprend les traitements M10 et M12 ayant enregistré des diamètres compris entre 11,14 et 11,24cm.

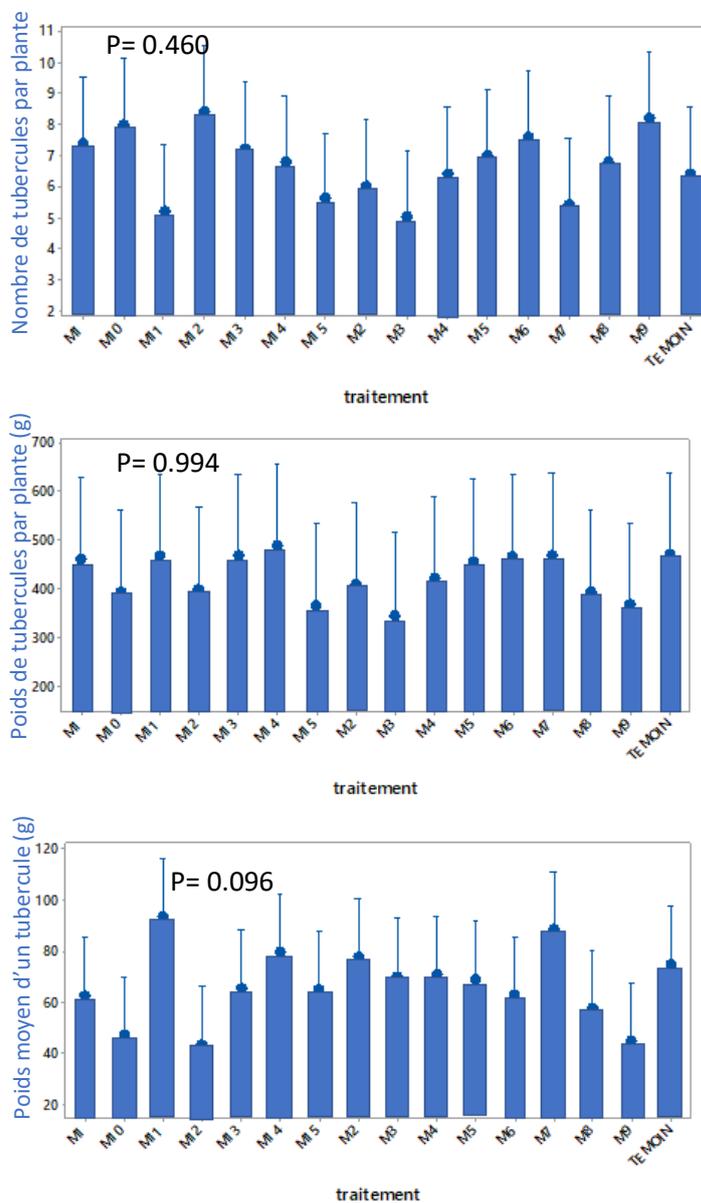


Figure 18 : Les paramètres de production des tubercules de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements.

Tableau 11 : Classement des traitements 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
M12	5	8.40	A	43.28
M9	5	8.20	A	44.67
M10	5	8.00	A	47.41
M6	5	7.60	A	63.30
M1	5	7.40	A	62.42
M13	5	7.200	A	65.8
M5	5	7.00	A	69.1
M8	5	6.800	A	57.59
M14	5	6.80	A	79.8
TEMOIN	5	6.40	A	75.1
M4	5	6.400	A	70.8
M2	5	6.00	A	77.8
M15	5	5.600	A	65.0
M7	5	5.400	A	88.65
M11	5	5.200	A	93.9
M3	5	5.000	A	70.28

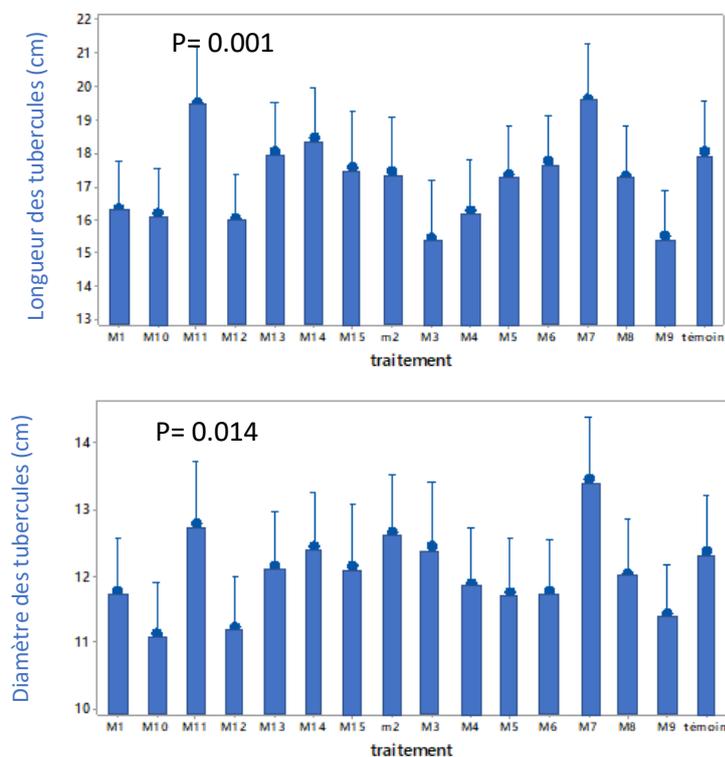


Figure 19 : Les dimensions des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements

Tableau 12 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les dimensions des tubercules produits de pomme de terre.

Traitements	Répétitions	Longueur (cm)		Diamètre (cm)	
M7	27	19.633	A	13.474	A
M11	26	19.540	AB	12.792	AB
M14	34	18.497	ABC	12.450	AB
M13	36	18.097	ABC	12.158	AB
TEMOIN	32	18.063	ABC	12.378	AB
M6	38	17.763	ABC	11.779	AB
M15	27	17.600	ABC	12.159	AB
M2	30	17.497	ABC	12.657	AB
M5	35	17.354	ABC	11.769	AB
M8	34	17.338	ABC	12.041	AB
M1	37	16.380	ABC	11.789	AB
M4	32	16.278	ABC	11.894	AB
M10	40	16.200	ABC	11.145	B
M12	42	16.048	ABC	11.240	B
M9	41	15.544	C	11.434	AB
M3	25	15.448	BC	12.452	AB

3.5.2 Teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits

L'analyse de la variance de l'ensemble des teneurs en eau ($P=0,000$, $F=9,52$), en matière sèche ($P=0,000$, $F=27,06$), en matière organique ($P=0,000$, $F=81,47$) et en matière minérale ($P=0,000$, $F=159,08$) des tubercules produits par les plantes cultivées de pomme de terre par le test ANOVA ont toutes montré une différence significative selon les traitements considérés (Annexe 10).

En effet, les teneurs enregistrées sur les tubercules de pomme de terre frais produits sous l'effet des différents traitements ont enregistré des valeurs variantes entre 75,04 et 83,94% pour l'eau, entre 16,06 et 24,96% pour la matière sèche, entre 85,84 et 96% pour la matière organique et comprises entre 4 et 14,15% pour la matière minérale (Figure 20, Tableau 13).

Par ailleurs, les traitements ont été tous classés par le test de Tukey en 7, 10, 6 et 9 groupes homogènes distincts respectivement selon les teneurs enregistrées en eau, en matière sèche, en matière organique et en matière minérale (Tableau 13).

- Selon les teneurs en eau, Nous distinguons :
 - Groupe 1 comprend les traitements M1, M14 et M15 ayant enregistré des teneurs en eau comprises entre 83,34 et 83,94%.

- Groupe 2 comprend le traitement M9 ayant enregistré une teneur en eau de 82,69%.
- Groupe 3 comprend les traitements M6 et M13 ayant enregistré des teneurs en eau comprises entre 80,74 et 80,33%.
- Groupe 4 comprend les traitements M2, M5 et M7 ayant enregistré des teneurs en eau comprises entre 78,74 et 80%.
- Groupe 5 comprend les témoins ayant enregistré une teneur en eau de 77,51%.
- Groupe 6 comprend les traitements M4, M8, M10, M11 et M12 ayant enregistré des teneurs en eau comprises entre 75,89 et 77,02%.
- Groupe 7 comprend le traitement M3 ayant enregistré une teneur en eau de 75,04%.

- Selon les teneurs en matière sèche, Nous distinguons :
 - Groupe 1 comprend les traitements M10 et M3 ayant enregistré des teneurs en matière sèche comprises entre 24,10 et 24,96%.
 - Groupe 2 comprend les traitements M8, M11 et M12 ayant enregistré des teneurs en matière sèche comprises entre 23,27 et 24,06%.
 - Groupe 3 comprend le traitement M4 ayant enregistré une teneur en matière sèche de 22,98%.
 - Groupe 4 comprend les témoins ayant enregistré une teneur en matière sèche de 22,49%.
 - Groupe 5 comprend le traitement M7 ayant enregistré une teneur en matière sèche de 21,26%.
 - Groupe 6 comprend le traitement M5 ayant enregistré une teneur en matière sèche de 20,22%.
 - Groupe 7 comprend le traitement M2 ayant enregistré une teneur en eau de 20%.
 - Groupe 8 comprend les traitements M1, M6 et M13 ayant enregistré des teneurs en matière sèche comprises entre 19,17 et 19,54%.
 - Groupe 9 comprend les traitements M9 et M15 ayant enregistré des teneurs en matière sèche comprises entre 17,31 et 17,32%.
 - Groupe 10 comprend le traitement M14 ayant enregistré une teneur en matière sèche de 16,06%.

- Selon les teneurs en matière organique, Nous distinguons :
 - Groupe 1 comprend les traitements M11, M10, M12 et M13 ayant enregistré des teneurs en matière organique comprises entre 95,78 et 96%.

- Groupe 2 comprend le traitement M7 ayant enregistré une teneur en matière organique de 94,96%.
- Groupe 3 comprend les traitements M1, M4, M5, M8, M9, M15 et le témoin ayant enregistré des teneurs en matière organique comprises entre 93,9 et 94,05%.
- Groupe 4 comprend le traitement M2 ayant enregistré une teneur en matière organique de 93,11%.
- Groupe 5 comprend les traitements M3 et M6 ayant enregistré des teneurs en matière organique comprises entre 91,99 et 92,06%.
- Groupe 6 comprend le traitement M14 ayant enregistré une teneur en matière organique de 85,84%.

- Selon les teneurs en matière minérale, Nous distinguons :
 - Groupe 1 comprend le traitement M14 ayant enregistré une teneur en matière minérale de 14,15%.
 - Groupe 2 comprend les traitements M6 et M3 ayant enregistré des teneurs en matière minérale comprises entre 7,97 et 8%.
 - Groupe 3 comprend les traitements M2, M5, M8 et les témoins ayant enregistré des teneurs en matière minérale comprises entre 6,05 et 6,89%.
 - Groupe 4 comprend les traitements M1, M9 et M15 ayant enregistré des teneurs en matière minérale comprises de l'ordre de 6%.
 - Groupe 5 comprend le traitement M4 ayant enregistré une teneur en matière minérale de 5,94%.
 - Groupe 6 comprend le traitement M7 ayant enregistré une teneur en matière minérale de 5,03%.
 - Groupe 7 comprend le traitement M13 ayant enregistré une teneur en matière minérale de 4,99%.
 - Groupe 8 comprend le traitement M12 ayant enregistré une teneur en matière minérale de 4,04%.
 - Groupe 9 comprend les traitements M10 et M11 ayant enregistré une teneur en matière minérale de 4%.

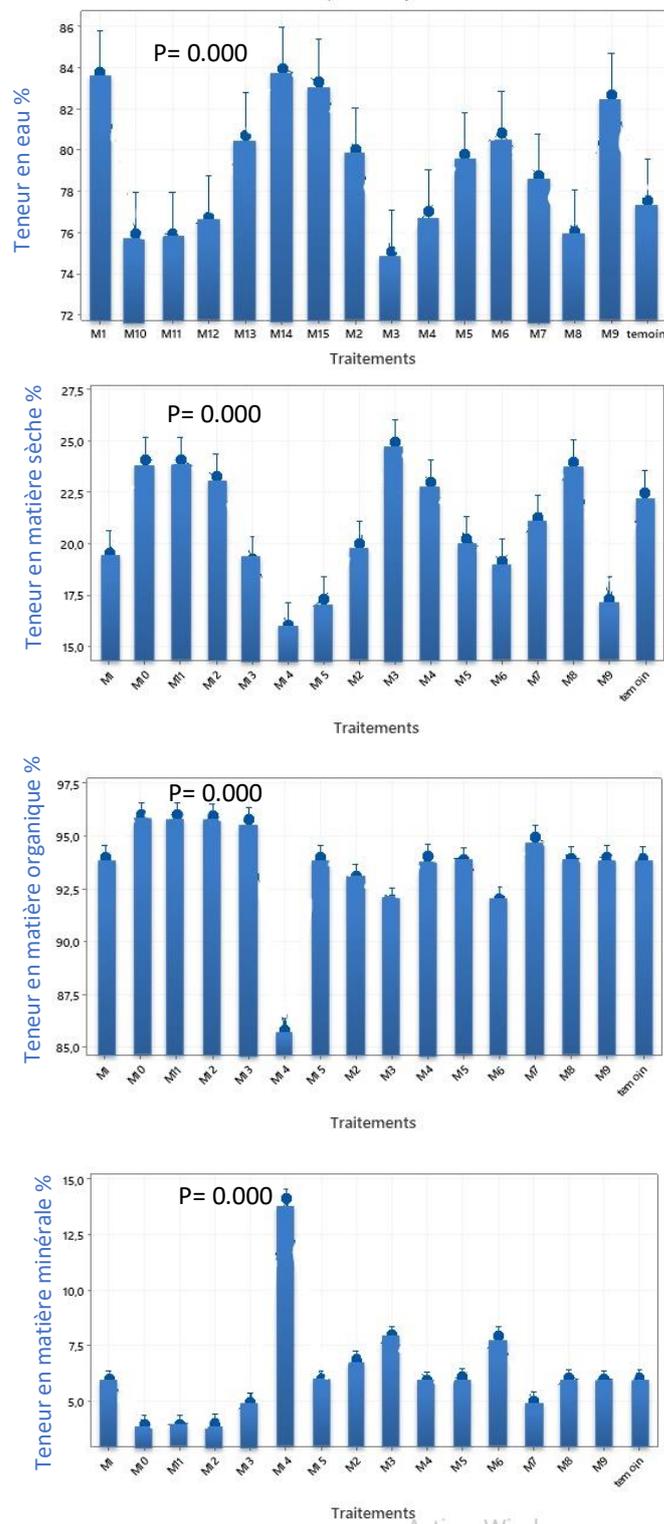


Figure 20 : Les teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements.

Tableau 13 : Classement des traitements 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	répé- titio- ns	en eau %		Matière sèche%		Matière organique%		Matière minérale%	
M14	3	83.94	A	16.06	G	85.84	E	14.15	A
M1	3	83.79	A	17.31	FG	93.99	BC	06.01	CD
M15	3	83.34	A	17.32	FG	94.00	BC	06.00	CD
M9	3	82.69	AB	19.17	EF	94.00	BC	06.00	CD
M6	3	80.83	ABC	19.26	EF	92.02	D	07.97	B
M13	3	80.74	ABC	19.54	EF	95.78	A	04.99	EFG
M2	3	80.00	ABCD	20.00	DEF	93.11	CD	06.89	C
M5	3	79.77	ABCD	20.22	CDE	93.90	BC	06.10	C
M7	3	78.74	ABCD	21.26	BCDE	94.96	AB	05.03	DEF
Témoin	3	77.51	BCD	22.49	ABCD	93.93	BC	06.06	C
M4	3	77.02	CD	22.98	ABC	94.05	BC	05.94	CDE
M12	3	76.01	CD	23.27	AB	95.95	A	04.04	FG
M8	3	75.89	CD	23.98	AB	93.94	BC	06.05	C
M11	3	75.93	CD	24.06	AB	96.00	A	04.00	G
M10	3	75.89	CD	24.10	A	96.00	A	04.00	G
M3	3	75.04	D	24.96	A	91.99	D	08.00	B

3.5.3 Teneurs en sucres et en polyphénols totaux

Les teneurs en sucres et en polyphénols des tubercules produits par les plantes cultivées de pomme de terre ont montré des différences très hautement significatives selon les différents traitements étudiés ($P= 0,000$, $F= 57,82$; $P= 0,000$, $F= 23,57$) (Annexe 11).

Les teneurs en sucres totaux enregistrées variaient entre 11.58 et 221.4 mg/g d'extrait de tubercule alors que celles enregistrées pour les polyphénols totaux étaient comprises entre 8,52 et 129,9µg/g MS (Figure 21, Tableau 14).

Les traitements ont été classés par le test de Tukey en 9 groupes homogènes distincts respectivement selon les teneurs enregistrées en sucres totaux et selon celles enregistrées en polyphénols totaux (Tableau 14).

- Selon les teneurs en sucres totaux, Nous distinguons :
 - Groupe 1 comprend le traitement M10 ayant enregistré une teneur en sucres totaux de 221,4 mg/g.
 - Groupe 2 comprend le traitement M15 ayant enregistré une teneur en sucres totaux de 122,3mg/g.

- Groupe 3 comprend le traitement témoins ayant enregistré une teneur en sucres totaux de 99,06mg/g.
 - Groupe 4 comprend le traitement M4 ayant enregistré une teneur en sucres totaux de 83,08mg/g.
 - Groupe 5 comprend les traitements M6 et M3 ayant enregistré des teneurs en sucres totaux comprises entre 62,74 et 60,80 mg/g.
 - Groupe 6 comprend les traitements M7 et M8 ayant enregistré des teneurs en sucres totaux comprises entre 54,67 et 54,50 mg/g.
 - Groupe 7 comprend les traitements M13, M5 et M1 ayant enregistré des teneurs en sucres totaux comprises entre 40,86 et 28,93mg/g.
 - Groupe 8 comprend les traitements M11 et M14 ayant enregistré des teneurs en sucres totaux comprises entre 20,80 et 19,26mg/g.
 - Groupe 9 comprend les traitements M2, M12 et M9 ayant enregistré des teneurs en sucres totaux comprises entre 16,99 et 11,58mg/g.
-
- Selon les teneurs en polyphénols totaux, Nous distinguons :
 - Groupe 1 comprend le traitement M4 ayant enregistré une teneur en polyphénols totaux de $129,9 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS.
 - Groupe 2 comprend le traitement M11 ayant enregistré une teneur en polyphénols totaux de $82,88 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS.
 - Groupe 3 comprend le traitement M12 ayant enregistré une teneur en polyphénols totaux de $74,61 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS.
 - Groupe 4 comprend le traitement M2 ayant enregistré une teneur en polyphénols totaux de $51,01 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS.
 - Groupe 5 comprend le traitement M3 ayant enregistré une teneur en polyphénols totaux de $49,9 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS.
 - Groupe 6 comprend le traitement M10 ayant enregistré une teneur en polyphénols totaux de $45,19 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS.
 - Groupe 7 comprend les traitements M1, M5, M6, M7, M9, M14 et, M15 ayant enregistré des teneurs en polyphénols totaux comprises entre 35,37 et $22,52 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS.
 - Groupe 8 comprend le traitement M13 ayant enregistré une teneur en polyphénols totaux de $16,83 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS.
 - Groupe 9 comprend le traitement M8 et les témoins ayant enregistré des teneurs en polyphénols totaux comprises entre 8,74 et $8,52 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS.

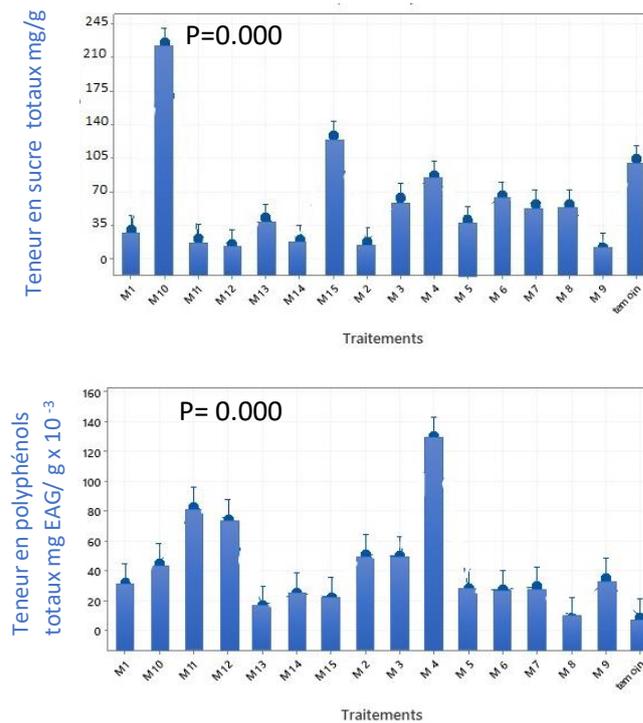


Figure 21 : Les teneurs en sucres totaux et en polyphénols totaux des tubercules produits de pomme de terre par le modèle GLM selon les traitements.

Tableau 14 : Classement des traitements 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) pour 1g de MS		Polyphénols totaux × 10 ⁻³ mg EAG/g de MS	
M10	3	221.4	A	45.19	CDE
M15	3	122.3	B	22.52	DEF
TEMOIN	3	99.06	BC	08.52	F
M4	3	83.08	CD	129.9	A
M6	3	62.74	DE	27.45	DEF
M3	3	60.80	DE	49.90	BCDE
M7	3	54.67	DEF	29.72	DEF
M8	3	54.50	DEF	08.74	F
M13	3	40.86	EFG	16.83	EF
M5	3	38.70	EFG	27.99	DEF
M1	3	28.93	EFG	31.81	DEF
M11	3	20.80	FG	82.88	B
M14	3	19.26	FG	25.63	DEF
M2	3	16.99	G	51.01	BCD
M12	3	14.92	G	74.61	BC
M9	3	11.58	G	35.37	DEF

3.5.4 Qualité microbienne des tubercules frais de pomme de terre

Les unités de colonies bactériennes formées par ml de jus frais de tubercules de pomme de terre produits sous l'effet des différents traitements ont montré une variabilité dans la densité bactérienne isolée sur milieu LPGA (Tableau 24).

Nous distinguons les densités suivantes :

- Celle ≤ 10 correspondants aux traitements : M1 (10), M3 (8), M5 (6), M15 (6) et les témoins (7).
- Celle < 50 correspondants aux traitements : M6 (22), M7(18), M8 (23), M11 (48) et M14 (32).
- Celle ≥ 50 correspondants aux traitements : M2 (64), M4 (55), M12 (91), M10 (102), M13 (146) et M9 (137).

Tableau 15 : Variabilité de la qualité bactérienne des tubercules produits de pomme de terre selon les traitements.

Traitements	UCF /ml de jus de tubercule
M1	10
M2	64
M3	8
M4	55
M5	6
M6	22
M7	18
M8	23
M9	137
M10	102
M11	48
M12	91
M13	146
M14	32
M15	6
Témoin	7

Discussion

En effet, la discussion des résultats obtenus à partir de notre étude repose essentiellement sur ceux cités par les travaux suivants :

L'étude réalisée par Ameer (2009) sur les effets de la biotisation des semences et des plants de la pomme de terre par les *Pseudomonas* spp. fluorescens sur la promotion de sa croissance et sa protection.

Les travaux de Kebdani et Missat (2014) dans leur étude sur l' « Influence de type de la fertilisation et l'apport de fumure sur la culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) et, l'étude de Sedkaoui (2018) sur l'effet de la fertilisation organique et minérale sur la qualité et le rendement chez deux variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) « Liseta et Spunta ».

Le travail réalisé par Bengeugga et Be (2019) sur l'Effet de rhizoctone brun et les glucosides sur la valeur nutritionnelle et la teneur des molécules bio-actives de la pomme de terre « *Solanum tuberosum* L. », dans la région d'Oued souf.

- **Taux de germination des semences**

Les isolats bactériens endémiques M1, M3 et M5 (100%) s'avèrent les plus performants et par degré moindre tous les autres isolats (20-80%) contrairement aux témoins qui n'ont montré aucune germination après 12j d'incubation.

Après 15j d'incubation, la germination était maximale (100%) sous l'effet des isolats bactériens M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8 et M9 dont le taux de germination enregistré a atteint 100% et assez importante sous l'effet des isolats M6, M10, M11, M12, M13, M14 et M15 contrairement aux témoins qui n'ont enregistré un taux de germination de 20%.

Dans ce sens, la germination des semences de pomme de terre des témoins de notre expérimentation semble plus précoce et plus intéressante que celle rapportée par les travaux de Kebdani et Missat (2014) qui ont montré que l'apparition des germes de pomme de terre a commencé 21 jours après la plantation avec un taux germination de 10.4% et, ces taux de levée ont atteint 94.37 % à 41 jours après plantation.

Il en ressort donc une biostimulation de la germination des tubercules de la variété

« Spunta » de pomme de terre sous l'effet de l'ensemble des isolats bactériens endémiques testés notamment les isolats M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8 et M9. Dans ce sens, nos résultats ne concordent pas avec ceux obtenus par Ameer (2009) qui n'ont pas montré d'augmentation

des taux de levée sous l'influence de la biotisation des tubercules de semences de pomme de terre par les souches endémiques de *Pseudomonas fluorescens*.

- **Paramètres de croissance végétative**

- Nombre de tiges**

En effet, les isolats bactériens testés dans notre expérimentation n'ont pas montré d'effet sur la ramification des plantes. Le nombre de tiges n'a pas augmenté selon les traitements ni selon les durées d'incubation. Il a atteint 3 à 5 par plante après une durée d'incubation de 37j, et 3 à 6 par plante respectivement après une durée d'incubation de 44j, 51j et 58j.

Nos résultats sur la ramification des plantes concordent avec ceux obtenus par l'étude menée par Sedkaoui (2018) sur le nombre moyen de tiges produit par plante cultivée de la variété « Liseta » sous l'effet de traitements à base d'engrais (4,43) et de fumier (4,06).

- Dimensions des tiges développées par plante cultivée.**

En effet, l'ensemble des traitements n'ont montré leur effet sur la longueur des tiges que durant les périodes d'incubation de 44j et, 51j

Seuls les isolats bactériens M7 et M1, M5, M9, M2, M3, M4, M6, M8, M10, M11, M12 et M15 (20,46-31,39cm) ont montré une augmentation de la longueur des tiges contrairement à l'isolat M13 qui a enregistré des valeurs similaires à celles des témoins (16,27-16,90cm) et l'isolat M14 qui a montré des valeurs plus faibles durant la période de 44j. Cependant, tous les isolats bactériens ont montré une longueur plus importante des tiges (25.11-40,75 cm) que celle enregistrée par les témoins (21.79cm) durant la période de 51j.

Par ailleurs, les valeurs des diamètres de tiges variaient selon les périodes d'incubation. Elles ont atteint 2,10 à 2,70cm après une durée d'incubation de 37j, 2,70 à 3,21cm après une durée d'incubation de 44j, 2,90 à 3,82cm après une période d'incubation de 51j et, 2,54 à 3,62cm après une durée d'incubation de 58j.

En outre, seuls les isolats bactériens M6 et M11 (3.75-3,82cm) ont montré un diamètre plus important des tiges que celui enregistré par les autres isolats dont les valeurs du diamètre enregistré étaient similaires à celle des témoins (3,11 et 3,67cm). De plus, les isolats M3 et M15 ont révélé un plus faible diamètre des tiges durant la période de 51j. Cependant, tous les isolats bactériens ont montré un diamètre des tiges plus faible (2,54-3,15 cm) que celui enregistré chez les témoins (3,62cm) durant la période de 58j.

Nous pouvons donc confirmer le pouvoir biostimulant des isolats bactériens sur la longueur des tiges des plantes cultivées de la pomme de terre mais, les valeurs enregistrées restent plus faibles que celles rapportées par les résultats des travaux cités par Kebdani et Missat (2014) et Sedkaoui (2018).

Kebdani et Missat (2014) ont relevé une hauteur des plants cultivés de 56,18 cm en fertilisation classique et 64,48 cm en fertigation alors que la hauteur maximale était de 71,33 cm sous l'effet du traitement à base de fumure et 53,33 cm sous l'effet du traitement fertilisant classique sans apport de fumure minérale.

De même, Sedkaoui (2018) a mentionné dans ses résultats une hauteur moyenne maximale des tiges enregistrées par plant sous l'effet du traitement d'engrais sur la variété Liseta (50,87 cm) et une valeur minimale (38,93 cm) sous l'effet de l'engrais sur la variété Spunta.

En revanche, nos résultats coïncident avec ces d'Ameur (2009) qui a confirmé aucune influence de la biotisation des plants de pomme de terre par les souches endémiques de *Pseudomonas fluorescens*. Les résultats n'ont pas montré d'augmentation dans la hauteur des plants après 30j d'incubation. Les plants semblent tous identiques aux témoins. La hauteur maximale moyenne (36,00 cm) a été notée chez les plantes bactérisées avec la souche S20 comparée à celle enregistrée par les témoins (29,00 cm).

Nombre de feuilles

En effet, le nombre de feuilles développées par plante cultivée de pomme de terre variait selon les traitements pour les périodes d'incubation de 37j, 44j, 51j et 58j. Il a connu une évolution temporelle. Les valeurs ont atteint 2,55 à 5,31 après une durée d'incubation de 37j ; 4,73 à 7,65 après une durée d'incubation de 44j ; 5,81 à 7,64 après une période d'incubation de 51j, 8,55 à 11,53 après une durée d'incubation de 58j.

L'isolat bactériens M5 (5) a montré le plus grand nombre de feuilles par plante alors que, le nombre de feuilles enregistré sous l'effet des autres isolats était similaire à celui des témoins (3et 4). Cependant, un plus faible nombre de feuilles par plante a été enregistré sous l'effet de l'isolat M14 durant la période de 37j.

En outre, les isolats M8, M10, M14 ont enregistré un nombre de feuilles similaire à celui enregistré chez les témoins (4 et 5) alors que, les autres révélés un nombre de feuilles plus important (5 à 7) durant la période de 44j. Ainsi, nous pouvons conclure que le nombre de feuilles composées par plante a été augmenté sous l'effet de la majorité des isolats bactériens.

Dans ce sens le nombre de feuilles évalué par plante lors de notre expérimentation coïncide avec celui enregistré en faible proportion (6,31) chez la variété Liseta cultivé sous l'effet du fumier contrairement au nombre plus important de feuilles (8,01) enregistré sous l'effet des engrais organiques (Sedkaoui, 2018).

- **Teneurs en pigments foliaires**

En effet, les teneurs en chlorophylle totale et en caroténoïdes enregistrées sur les feuilles des plantes cultivées de pomme de terre variaient selon les périodes d'incubation. Elles ont atteint les valeurs 12,95 à 28,19 mg/ml pour la chlorophylle totale et 3,99 et 6,06 mg/ml pour les caroténoïdes après une durée d'incubation de 30j alors que des teneurs de 16,14 à 32,36 mg/ml et de 3,62 à 5,83 mg/ml ont été enregistrées respectivement pour la chlorophylle totale et les caroténoïdes après une période d'incubation de 51j.

En effet, aucun effet biostimulant n'a été marqué sur les teneurs en pigments foliaires durant la période d'un mois de croissance des plantes cultivées, même durant la période de 51j pour les teneurs de chlorophylle.

Cependant, seul l'isolat bactérien M8 a montré une augmentation de la teneur en caroténoïdes (5,83 mg/ml) en comparaison avec les témoins et l'ensemble des isolats bactériens (3,98 et 5,42mg/ml) à l'exception de l'isolat M15 qui a révélé une teneur plus faible (3,62 mg/ml) en caroténoïdes durant la période d'incubation de 51j.

Dans ce sens, nos résultats sur les teneurs en caroténoïdes concordent avec ceux des teneurs en chlorophylle révélés par Kias et Ouadi (2017) dans leur étude sur l'effet des PGPR de quelques isolats de *Streptomyces* sp. sur les caractères morpho-biochimiques de la tomate *Lycopersicon esculentum*. Ils ont confirmé une augmentation des teneurs en de chlorophylle chez les plantules traitées par le mix des souches d'actinomycètes. Cependant, les teneurs en chlorophylle enregistrées chez nos plantes ne confirment pas l'effet biostimulant de nos isolats bactériens endémiques.

- **Paramètres de production des tubercules**

- **Nombre de tubercules par plant**

En effet, le nombre de tubercules produits par plante a atteint les valeurs comprises entre 5 et 8. Cette densité de production semble voisine à celle enregistrée sous l'effet du fertilisant classique mais, s'avère plus faible que celle enregistrée sous l'effet de la fumure apportée aux

plantes (10.00). Ainsi, l'augmentation du nombre des tubercules produit par plant suggère l'intérêt d'une augmentation de la dose de la fumure azotée et potassique et l'avantage du recours à la fertigation (Kebdani et Missat, 2014).

Dans le même contexte, Sedkaoui (2018) a montré un plus grand nombre de tubercules (10,18) produits sous l'effet d'application du fumier sur la variété « Spunta » mais, demeurant plus faible (1,06) sous l'effet d'application des engrais.

Poids des tubercules par plant

En effet, nos résultats ont révélé des valeurs correspondant au poids global des tubercules produits par plante étaient comprises entre 344,6 et 468g.

Nos valeurs semblent plus importantes que celles enregistrées sous l'effet d'application du fumier sur la variété « Liseta » (140,37g) ainsi que celles révélées sous l'effet des engrais sur la variété « Spunta » (16,25g) (Sedkaoui, 2018). En revanche, nos valeurs apparaissent plus faibles que, celles enregistrées sur les tubercules (524,16 g) selon la fertilisation classique et en fertigation (601,66 g). Ceci confirme l'amélioration du poids de tubercules produits par plante sous l'effet de la fumure azotée et potassique ainsi que, la fertigation (Kebdani et Missat, 2014).

Par ailleurs, le poids moyen d'un tubercule enregistré par notre étude était compris entre 43,28 et 93,92g. Ces valeurs concordent avec celles évaluées chez les plants bactérisés par les souches endémiques de *Pseudomonas fluorescens* qui ont affiché une valeur moyenne de 40 g ainsi qu'une valeur moyenne maximale de 99,80g et la minimale moyenne de 70g (Ameur, 2009).

Cependant, les valeurs moyennes du poids d'un tubercule présentées dans nos résultats apparaissent plus importantes que celles enregistrées sur la variété « Liseta » sous l'effet du fumier (40,538g) ainsi que sur la variété « Spunta » sous l'effet des engrais (Sedkaoui, 2018).

Calibre

Par ailleurs, les dimensions enregistrées sur les tubercules de pomme de terre frais produits sous l'effet des différents traitements ont atteint des valeurs variant de 15,44 à 19,63cm pour la longueur et, 11,14 à 13,47cm pour le diamètre.

Ainsi, les isolats bactériens M7 et M11 ont montré la plus grande longueur (19,54-19,63cm), alors que, les autres ont enregistré une longueur similaire à celle des témoins (16,04 et 18,49cm) contrairement aux isolats M9 et M3 ayant enregistré une longueur plus faible.

De même, l'isolat bactérien M7 a également augmenté le diamètre (13,47cm) alors que, les autres ont tous montré un diamètre similaire à celui des témoins (11.43 et 12.79cm) contrairement, aux isolats M10 et M12 ayant enregistré un diamètre plus faible.

Ainsi l'isolat M7 a confirmé son pouvoir biostimulant sur les dimensions des tubercules produits. Cependant les valeurs enregistrées sur les dimensions des tubercules produits dans notre étude coïncident avec celles enregistrées sur les tubercules de la variété « Spunta » produits sous l'effet des engrais (17,66mm) mais, sont plus faibles que ceux enregistrées sous l'effet du fumier (35,50mm) (Sedkaoui, 2018).

- **Teneurs en eau, en matières sèche, organique et minérale des tubercules produits**

En effet, les teneurs enregistrées sur les tubercules de pomme de terre frais produits sous l'effet des différents traitements ont enregistré des valeurs variantes entre 75,04 et 83,94% pour l'eau, entre 16,06 et 24,96% pour la matière sèche, entre 85,84 et 96% pour la matière organique et comprises entre 4 et 14,15% pour la matière minérale.

Ainsi, les isolats bactériens M1, M14 et M15, M9, M6, M13, M2, M5 et M7 ont pu augmenter les teneurs en eau (78,74 -83,94%) comparés aux témoins (77,51%) et, contrairement aux autres isolats qui ont enregistré des teneurs en eau plus faibles.

Par ailleurs, les isolats bactériens M10, M3, M8, M11, M12 et M4 ont pu augmenter les teneurs en matière sèche (22,98 – 24,96%) comparés aux témoins (22,94%) et, contrairement aux autres isolats qui ont enregistré des teneurs plus faibles.

Également, les isolats bactériens M11, M10, M12, M13 et M7 (94,96-96%) ont pu augmenter les teneurs en matière organique comparés aux isolats M1, M4, M8, M9 M15 qui semblent similaires aux témoins (93,9-94,05%) et, contrairement aux isolats M2, M3, M6 et M14 dont leurs teneurs (85,84- 93.11,06%) demeurent plus faibles.

Dans le même contexte, les isolats bactériens M14 (14,15%), M6 (7,97%) et M3 (8%) ont montré une augmentation dans les teneurs en matière minérale alors que, les isolats M2 M5, M8 semblaient similaires aux témoins (6,05 et 6,89%), contrairement aux restes des isolats dont les teneurs étaient plus faibles, comprises entre 4 et 6%.

Ainsi les teneurs enregistrées en eau, en matières sèche, organique et minérale ont été stimulé par de nombreux isolats bactériens endémiques. Ces dernières concordent avec les teneurs révélées par quelques travaux de recherche (Rousselle et *al.*, 1996 ; Mattila et Hellström, 2007 ;

Sedkaoui, 2018) mais, s'avèrent plus importantes que celles énoncées par Benguegga et Be (2019).

En effet, l'analyse biochimique des tubercules de pomme de terre a montré une teneur en eau de 60%, une teneur en matière sèche de 40 % et 12% de matière minérale (Benguegga et Be, 2019). Aussi, d'autres teneurs proches à nos résultats ont été évaluées à 77,5% et 22,5% respectivement pour les teneurs en eau et la matière sèche des tubercules de pomme de terre (Rousselle et *al.*, 1996 ; Mattila et Hellström, 2007).

Cependant, des teneurs plus faibles en matière sèche de 20,46 et 17,17% ont été enregistrées respectivement chez les tubercules de la variété « Liseta » produits sous l'effet du fertilisant organique et le fertilisant minéral.

- **Teneurs en sucres et en polyphénols totaux**

Les teneurs en sucres totaux enregistrées chez nos plantes cultivées de pomme de terre variaient entre 11,58 et 221,4mg/g d'extrait de tubercule alors que celles enregistrées pour les polyphénols totaux étaient comprises entre 8,52 et $129,9 \times 10^{-3}$ mg EAG/g MS.

En effet, seuls les traitements M10 (221,4mg/g) et M15 (122,3mg/g) ont montré une augmentation des teneurs en sucres totaux comparés aux témoins (99,06mg/g). Les autres isolats bactériens ont révélé des teneurs plus faibles (11,58 à 83,08mg/g).

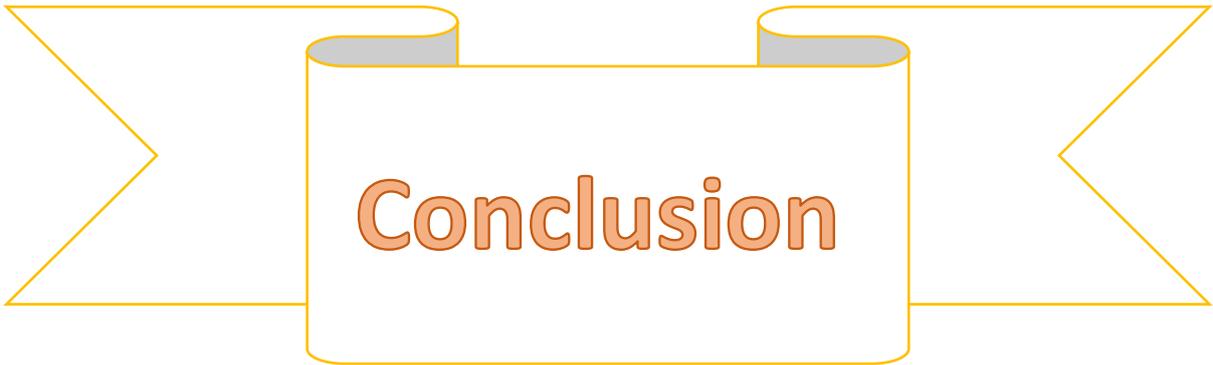
De même, l'ensemble des isolats bactériens endémiques à l'exception de l'isolat M8 similaire aux témoins ($8,74 \times 10^{-3}$ et $8,52 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS), ont tous augmenté les teneurs en polyphénols totaux ($16,83 \times 10^{-3}$ - $129,9 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS).

Certaines teneurs en sucres totaux enregistrées par quelques échantillons des plantes cultivées sous l'effet de quelques traitements sont assez proches de ceux de Benguegga et Be (2019) qui ont révélé des teneurs en sucres totaux de 32.4 mg/g de MF. Cependant, les teneurs plus élevées de sucres totaux confirment l'effet biostimulant de nombreux isolats bactériens testés. Par contre les teneurs en polyphénols des échantillons sont assez plus faibles que ceux de Benguegga et Be (2019) qui ont révélé des teneurs de 0.56 mg EAG/g de MF chez les tubercules sains. Les mêmes constatations ont été faites en se basant sur la composition biochimique des tubercules de pomme de terre décrite par Rousselle et *al.* (1996) ainsi que Mattila et Hellström (2007) dont, les teneurs ont été évaluées pour les glucides totaux (principalement amidon, saccharose, glucose, fructose, cellulose brute et substances pectiques) à 19,4 % et, les substances phénoliques (acides chlorogénique et caféique, pigments, etc), en faible quantité dans le tubercule.

- **Qualité microbienne des tubercules frais de pomme de terre**

Dans ce sens, nous notons une augmentation du nombre de bactéries sous l'effet de certains isolats bactériens. Cependant, la densité des colonies bactériennes formées par ml de jus frais de tubercules était variable sous l'effet des différents traitements. Seuls les isolats bactériens M1 (10), M3 (8), M5 (6), M15 (6) étaient comparables aux témoins (7) ayant tous montré une densité inférieure à 10 UFC.

En effet, en se basant sur les Norme Québec 2009, traitant la qualité microbiologique des aliments J.L. Jouve/AFSSA saisie 2007-SA-0174 et, rapportant pour les fruits et les légumes l'acceptation des échantillons présentant la densité bactérienne représenté par cet intervalle : $5 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^6$ UFC/g. Ainsi, l'ensemble des échantillons de tubercules répondent aux normes de qualité du Québec.



Conclusion

CONCLUSION

Au terme de cette présente étude visant l'évaluation des potentialités biostimulants d'une collection d'intrants biologiques bactériens endémiques sur la culture de la pomme de terre, il est important de résumer les principaux résultats.

Les isolats bactériens endémiques appliqués sous forme de suspensions par arrosage des plants lors de la plantation et au cours de leur croissance ont mis en évidence leur pouvoir colonisateur des racines ainsi que leurs potentialités agronomiques qui se résument comme suit :

- Les isolats M1, M3, M5, M2, M4, M7, M8 et M9 s'avèrent les plus performants dans l'augmentation de la germination (100%) après 15j d'incubation.
- Tous les isolats bactériens ont montré une augmentation de la longueur des tiges à partir de la période de 44j mais, elle devient plus importante durant la période de 51j. Par ailleurs, seuls les isolats bactériens M6 et M11 (3,75-3,82cm) ont montré un diamètre plus important des tiges durant la période de 51j. Par ailleurs, seul l'isolat bactérien M5 (5) a pu montrer le plus grand nombre de feuilles par plante durant la période de 37j alors que, tous les isolats à l'exception de M8, M10, M14 ont stimulé la biomasse foliaire durant la période de 44j.
- En ce qui concerne les pigments foliaires, seul l'isolat bactérien M8 a pu révéler une augmentation de la teneur en caroténoïdes (5,83 mg/ml) durant la période d'incubation de 51j.
- L'utilisation des isolats bactériens n'a pas montré d'impact sur les paramètres de production en nombre et en poids global des tubercules produits par plante ni de poids moyen d'un tubercule de pomme de terre. Cependant, leurs dimensions ont été affectées. Ainsi, les isolats bactériens M7 et M11 ont pu augmenter leur longueur (19,54-19,63cm) mais seul, l'isolat bactérien M7 a augmenté le diamètre (13,47cm).
- En ce qui concerne les critères de qualité, ces derniers ont également connu une amélioration sous l'effet d'application des isolats bactériens. Ainsi, l'augmentation des teneurs en eau a été induite par M1, M14, M15, M9, M6, M13, M2, M5 et M7 (78,74 - 83,94%), celle en matière sèche (22,98 - 24,96%) par les isolats bactériens M10, M3, M8, M11, M12 et M4, celle en matière organique (94,96-96%) par les isolats bactériens M11, M10, M5, M12, M13 et M7 et l'augmentation des teneurs en matière minérale les isolats bactériens M14 (14,15%), M6 (7,97%) et M3 (8%).
- Pour les teneurs en sucres totaux et les composés phénoliques enregistrées chez les tubercules produits, les isolats M10 (221.4mg/g) et M15 (122.3mg/g) ont montré une augmentation des teneurs en sucres totaux alors qu'à l'exception de l'isolat M8, tous les

autres isolats ont augmenté les teneurs en polyphénols totaux ($16,83 - 129,9 \times 10^{-3}$ mg EAG /g MS).

- Aussi, l'ensemble des échantillons de tubercules répondent aux normes de qualité du Québec en ce qui concerne la qualité microbiologique.

En conclusion, certains isolats bactériens endémiques de la collection étudiée peuvent être recommandés dans l'agriculture biologique de la pomme de terre notamment sur certains paramètres de germination, croissance et critères de qualité vu, leurs potentialités biostimulants.

En effet, plusieurs perspectives s'ouvrent à la recherche :

- Il serait intéressant de compléter les analyses biochimiques des tubercules,
- Rechercher et doser les phytohormones,
- Rechercher et doser les métabolites ainsi que les enzymes de résistance induite par chacun des isolats testés face au stress abiotique et à l'attaque des bioagresseurs,
- Analyser les performances des semences de pomme de terre produites sous l'effet de ces isolats,
- Identification des isolats bactériens,
- Production en masse les isolats performants et les appliquer sur terrain,
- Etudier leur stabilité et leurs modes d'action,

Référence

- Abnatura R.D., 2013.** Les Rhizobactéries PGPR. Bulletin Technique, 4. Issue. Http://www.abnatura.com/ESW/Files/abnatura_bulletin (Consulté le 01.04.14).
- AFNOR, 1982.** Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes. Ed. Paris, 325p.
- Ameziane T.E. (1986),** Growth studies in *Lolium multiflorum* in a mediterranean environment, PhD thesis, University of Reading, England. 277p.
- Ameur Dj., 2009.** Effets de la biotisation des semences et des plants de la pomme de terre par les *Pseudomonas spp. fluorescents* sur la promotion de sa croissance et sa protection. Thèse Magister en Phytopathologie. USDB., Algérie. 149p.
- Amphous M., Jaouen G., P.V., 2003.** Les impacts du changement climatique sur l'agriculture ENPC département VET, Paris, 30p.
- Banerjee M.R., Yesmin L. et Vessey J.K., 2006.** Plant-growth promoting rhizobacteria as Biofertilizers and biopesticides," in *Handbook of Microbial Biofertilizers*, M.K. Rai, (Ed.), *Food Products Press*, Binghamton, NY, USA, p137–181.
- Belaid H., 1996.** Contribution à la production de plante de la pomme de terre (*Solanum Tuberosum.L.*, variété diamant) par culture *in vitro*. Mémoire d'ingénieur. UMMTO, 60p.
- Bengeugga S., Boukhezza M., 2019.** Effet de rhizoctone brun et les glucoalcaloïdes sur la valeur nutritionnelle et la teneur des molécules bio-actives de la pomme de terre «*Solanum tuberosum .L* », dans la région du souf. Mémoire de Mastère en Toxicologie. UEHL El-Oued. Algérie. 59p.
- Benniou R., 1988.** Etude de l'influence de quelques caractéristiques physiques du sol sur la production de quatre variétés de la pomme de terre (*solanum tuberosum L.*) cultivées en région sétifienne. Thèse Magister. INA., El Harrach. Alger., 81 p.
- Bernhard U., 1998.** La pomme de terre *Solanum Tuberosum L.* Monographie. Institut National Agronomique. Grignon, Paris. p219-230.
- Bessaoud O., Lefki K., 2018.** Diagnostic du système de régulation de la pomme de terre en Algérie. Rapport de recherche. ENPARD, 46p.
- Boizot N. et 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, p79-82.
- Boumlik M., 1995.** Systématique des spermaphytes. Edition Office des publications Universitaire, Ben Aknoun, Alger, 80p.

- Bourahla A., 2007.** Evaluation de la réponse de la culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) conduite en apport d'eau limité, Thèse Magister. en Hydraulique Agricole, El Harrach. Alger, 72p.
- Bouziati M., 2007.** L'usage immodéré des pesticides : de graves conséquences sanitaires, le Guide de médecin et de la santé en Algérie.
<http://www.santetropicale.com/santemag/algerie/poivue51.htm> (consulté le 15/07/2022)
- Bradbeer, J.W., 1988.** Seed Dormancy and germination, Blackie, Grassgrow and London, RU, 146 p.
- Chandler D., Bailey A.S., Tatchell G.M., Davidson G., Greaves J., Grant W.P., 2008.** The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B., 366(1573), 1987-1998.
- Cherif H., 2014.** Amélioration de la croissance du blé dur en milieu salin par inoculation avec *Bacillus* sp. et *Pantoea agglomerans* isolées des sols arides. Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie, 162p.
- 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 N°52, 4p.
- COAG, 2022.** Proposition relative à la proclamation d'une journée internationale de la pomme de terre. Comité De l'Agriculture. FAO. 5p. <https://www.fao.org/3/nj015fr/nj015fr.pdf>. (Consulté le 20/07/2022)
- Compant S., Duffy B., Nowak J., Clément C. et Ait Barka E., 2005.** Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71 : 4951-4959.
- Cunnif P., 1995.** Official methods of analysis of AOAC International. 16th Edition. Editeur Arlington, VA, USA, Virginia, 107p.
- Darpoux R., 1967.** Les plantes sarclées. Ed. Maison rustiques, Paris France, 399p.
- Diehl R., 1938.** La Pomme De Terre. Caractère Et Description Des Variétés. INRA, Paris, 157p.
- Di Corcia A., 1992.** Method Development for Monitoring Pesticides in Environmental Waters : Liquid-Solid Extraction Followed by Liquid chromatography. *Environ. Sci. Technol.* Italie. Vol 26. p 66-74.
- Dimitri Milan J., 1987.** *Descripción de plantas cultivadas*, (Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería), Buenos Aires, ACME S.A.C.I. Argentine, 313p.
- DSA., 2020 :** Direction des services agricoles. Rapport sur la récolte de pomme de terre saison agricole 2021/2020. P 40,42

- Dubois M., gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.T., Smith F., 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and substances. *Anal. Chem.*, **28** : 350-356.
- FAO, 2020.** The state of food and agriculture. Food and Agricultural Organisation, Rome, 128p. <https://www.fao.org/3/i0100e/i0100e.pdf> : Consulté le 12/08/2022.
- FAOSTAT, 2018.** Food and Agriculture Organization. Statistique mondiale de pomme de terre. www.fao.org/FAOSTAT/fr : Consulté le : 09/03/2020.
- FAOSTAT, 2020.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistique de produits par pays. https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country. Consulté : 29/06/2022.
- Fuentes-Ramirez, L., Caballero-Mellado, J. 2006.** Bacterial Biofertilizers. In PGPR : Biocontrol and Biofertilization ed. Siddiqui, Z. Dordrecht, The Netherland : Springer, 143-172p.
- Galfout A., 2014.** Contribution à l'étude des nématodes du genre *Globodera* (Skarbilovich, 1959) sur pomme de terre et Gestion intégrée contre ce bio-agresseur. Thèse Mag. En Sciences agronomique, I.N.A., El Harrach, Alger, 84p.
- Gitin L., Dinica R., Parnavel R., 2012.** The influence of extraction method on the apparent content of bioactive compounds in Romainian *Allium* spp. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici. Cluj-Napoca*, 40(1) : 93-97.
- Giroux M.A., 2005.** Étude sur les teneurs, la distribution et la mobilité du cuivre et du zinc dans un sol fertilisé à long terme avec des lisiers de porcs au Québec. *Agrosol*, 16 (1) : 23-32.
- Glick B.R., Cheng Z., Czarny J., 2007.** Promotion of plant growth by ACC deaminas-producing soil bacteria. *Eur. J. Plant Pathol.*, 119 : 329-339.
- Glick B.R., Pasternak J.J., 1998.** Plant growth promoting bacteria in molecular biotechnology principles and applications of recombinant DNA. 2ndEd., ASN press, Washington DC .glutamine synthetase expression and accumulation. *Environmental and experimental Botany*, 60 : 121-126.
- Gray E.J., Smith D.L., 2005.** Intracellular and extracellular PGPR : commonalities and distinctions in the plant–bacterium signalling processes. *Soil. Biol. Biochem.*, 37 : 395- 412.
- Grison C., 1993.** La Pomme De Terre. Caractéristiques Et Qualité Alimentaire. APRIA (Association Pour La Promotion Industrie Agriculture), 9p.
- Harman G.E., Shores M., 2007.** The Mechanisms and Applications of Symbiotic Opportunistic Plant Symbionts.. In Vurro M. and Gressel J. (eds.), Novel Biotechnologies for Biocontrol Agent Enhancement and Management. Springer, United kingdom, 131-155p.
- Hawkes J.G., 1990.** The potato. Évaluation, biodiversité And Genetic Resources. Londres : Belhaven Press, 259p.

- Hughenoltz P., 2002.** Exploring prokaryotic diversity in the genomic era. *Genome. Biol.*, 3: 35-37.
- Ibrahim H., Ne'ma Z., Bahaaaldin M., Abdou A., Mohamed A., Mohamed Ali., 2021.** Storage Behavior of "Seddik" Mango Fruit Coated with CMC and Guar Gum-Based Silver Nanoparticles. *Horticulturae*, 7 :21-23p
- Jourdan E., Ongena M., Thonar P., 2008.** Caractéristiques moléculaires de l'immunité des plantes induites par les rhizobactéries non pathogènes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 4 : 437-449.
- Jouve J.L., 1996.** La qualité microbiologique des aliments. Maîtrise et critères. 2^e édition : Polytechnica. Paris. France. 561p.
- Kebdani B., Missat L., 2014.** Etude de l'influence de type de la fertilisation et l'apport de fumure sur la culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum*. L). Mémoire Mastère en Production et amélioration végétales. Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen. Algérie. 53p.
- Kerr J., 2014.** Plants de pomme de terre : Guide-ONU sur les maladies parasites et défauts des plants de pomme de terre. 10^e-ème édition, New York et Genève, 112p.
- Kim K.Y., McDonald G.A., 1998.** Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. *Fert. Soils.*, 26 : 79-87.
- Kloepper, J.W., 1992.** Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents. In : FB Metting Jr, ed, Soil Microbial Ecology : Applications in Agricultural and Environmental Management. *Marcel Dekker Inc.*, New York, 255-274 p.
- Kolev N., 1979.** Les cultures maraichères en Algérie (3). C.N.P.A, 95-120 p.
- Kotchi O.S., 2004.** Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge. Application à la culture de la pomme de terre. Mémoire de maîtrise, Université LAVAL. Québec, 95p.
- Laummonier R., 1979.** Culture légumière et maraichère. Tome 3, Ed. J.B, Baillier, France, 209-247p.
- Lelliott R.A., Stead D.E., 1987.** Methods for the diagnosis of bacteriel diseases of plants. *Methods in Plant Pathology*. Blachwell Scientific Publication vol 2. Oxford, 216p.
- Linchenthaler H.K., 1987.** Chlorophylls and carotenoids : pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.*, 148 : 350-382.
- Larousse agricole, 2002.** Larousse Agricole. Ed. Larousse, Paris, 498-501p.
- Lugtenberg BJJ, Chin-A-Woeng TFC, Bloemberg GV., 2002.** Microbial-plant interactions : principes and mechanisms. *Antonie van Leeuwenhoek* 81 : 373-383
- Madec P., Prennec P., 1980.** Age physiologique du plant de pomme de terre. Incidence sur la germination et répercutions sur le comportement des plantes. *Potato. Res.*, 23 : 183-199.

- Mansouri R., 2003.** Influence de la vitesse et la profondeur de travail sur les plantes et la qualité des tubercules de la pomme de terre l'hors d'une récolte mécanisée. Mém.Ing. INA.El Harrach. Alger, 76p.
- Martin C., Vernog R., Paynot M., 1982.** Photopériodisme, tubérisation, floraison et phénalanides.C.R.Ac.6 ième édition, France, 138p.
- Martínez-Viveros O., Jorquera M.A., Crowley D.E., Gajardo G., Mora M.L., 2010.** Mechanisms and practical considerations Involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 10 : 293 – 319.
- Mattila P., Hellström J., 2007.** Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20 : 152-160.
- Matkowski A., Piotrpwska P., 2006.** Antioxydant and free radical scavenging activities of somme medicinal plants from the Lamiaceae. *Fitoterapia*, 77(5) : 346-353.
- Meziane D., 1991.** Histoire de la pomme de terre. *Détritique*, 25, 29p.
- Moule C., 1982.** Les plantes sarclées. Ed. Maison rustique, Paris, 246 p.
- Moulin L., Munive A., Dreyfus B., Boivin-Masson C., 2001.** Nodulation of legumes by members of the β -subclass of Proteobacteria. *Nature*, 411(6840) : 948-950.
- Nabti E., 2007.** Restauration de la croissance d'*Azospirillum brasilense* et de Blé dur et leur osmo protection par *Ulva lactuca* en Milieux Salés. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 147p.
- Nadeem S.M., Naveed M., Zahir Z.A., Asghar H.N., 2013.** Plant–Microbe Interactions for Sustainable Agriculture. *In* : Arora N.K. (Eds.), *Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances Fundamentals and Recent Advances*. Springer, India, 51-84p.
- Nautiyal C. S., DasGupta S. M. (2007).** Screening of plant growth-promoting rhizobacteria, in *Advanced Techniques in Soil Microbiology*, eds Varma A., Oelmüller R. New York, Springer, 363–375.
- Neggaz N., 1991.** L'influence de cinq doses d'azote sur la croissance et le rendement de la pomme de terre variété claustra. Thèse d'ingénieur en Sciences Agronomiques, Université de Chlef.
- Nyabyenda P., 2005.** Les plants cultivés en régions tropicales d'altitudes d'Afrique. Les Presses Agronomiques de Gembloux, A.S.B.L. 223p.
- Okon Y., Kapulnik Y., 1986.** Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots. *Plant Soil.*, 90 : 3-16.
- Oswaldo T., 2010.** Hommage à la pomme de terre. Polycopie Information et communication agricole. Haute école de santé suisse, 11p.

- Ourak A., Benbrahim S., 2019.** Evaluation de l'activité antibactérienne des extraits aqueux obtenus par trois méthodes d'extraction à partir des feuilles d'*Olea Europea.L.* Mémoire de Master en Microbiologie Appliquée. Université Mohamed Khider. Algérie. 34p.
- Philippeau G., 1989.** How to interpret the results of a principal component analysis. Technical Institute of Cereal and Feeds (ITCF), Paris, France, 63 p.
- Qureshi M.A., Ahmad Z A., Akhtar N., Iqbal A., Mujeeb F., Shakir M.A.,2012.** Role of phosphate solubilizing bacteria (psb) in enhancing P availability and promoting cotton growth. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 22(1) : 204-210.
- Ribéreau-Gayon J., 1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Dunod, Paris, 254p.
- Richardson A.E., 2001.** Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Aust.J. Plant Physiol.*, 28 : 897-906.
- Rousselle P., Robert Y., Crosnier J.C., 1996.** La pomme de terre production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation. INRA, Paris, 607p.
- Rousselle P., Rousselle B.G., Ellisseche D., 1992.** La pomme de terre in Amélioration des espèces végétales cultivées. INRA, Paris, 504p.
- Sadkaoui T., 2018.** Effet de la fertilisation organique et minérale sur la qualité et le rendement chez deux variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum. L*) Liseta et Spunta. Mémoire Mastère en Production végétales. UMMTO. Algérie. 65p.
- Sawada H., Kuykendall L.D., Young J.M., 2003.** Changing concepts in the systematics of bacterial nitrogen-fixing legume symbionts. *Journal of general and applied microbiology*, 49(3) : 155-179.
- Schilperoord P., 2014.** Plantes Cultivées En Suisse – Pomme De Terre, Association pour la culture de céréales de montagne 15ième édition, Suisse, 42p.
- Sayyed R.Z., Patel P.R., 2011.** Biocontrol Potentiel of Sidérophore Producing Heavy Métal Resistant *Alcaligenes* sp. and *Pseudomonas aeruginosa* RZS3 against Organophosphorus Fungicide. *India J. Microbiol.*, 51(3) : 266-272.
- 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.
- Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R.M., 1999.** Analysis of total phenol and other oxidants substrates and antioxydants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299 : 152-178.
- Soltner D., 1990.** Les bases de la production végétale. 20ième édition.collection sciences et techniques agricoles, France, 457p.

- Soltner D., 1990.** Les grandes productions végétales. 17-ème édition. Collection sciences et technique agricoles. France. 506p.
- Somers E, Vanderleyden J, et Srinivasan M., 2004.** Rhizosphere bacterial signaling : a love paradebeneath our feet. *Crit. Rev. Microbial.* 304 : 205-240.
- Soufi R., 2011.** La réponse physiologique de la pomme de terre (variété Spunta) à la salinité en présence de fertilisant organique (fumier de volailles) cas de Ouargla. Mémoire d'ingénieur en Sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah Ouragla, 91p.
- Sturz A.V., Christie B.R., 2003.** Beneficial microbial allelopathies in the root zone : the Management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil and Tillage Research*, 72(2): 107-123.
- Van Loon L.C., 2007.** Plant responses to plant growth –promoting rhizobacteria. *Eur J. Plant. Pathol.*, 119 : 243-254.
- Vander Z., 1980.** La pomme de terre et sa culture au Pays-Bas. Inst. Consultatif Néerlandais sur la pomme de terre, 90p.
- Vanderhofstadt B., Jouan B., 2009.** Culture de la pomme de terre en Afrique de l'ouest. Guide technique. Centre de Recherches Agronomiques, Belgique LE HINGRAT Yves, FNPPPT, France, 80p.
- Vessey J.K., 2003.** Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant soil*, **255** : 571-586.
- Vreugdenhil D, Bradshaw J, Gebhardt C, Govers F, Taylor M, MacKerron D, et Ross H. 2007.** Potato biology and biotechnology: Advances and perspectives .1st Edition.. Laboratory of Plant Physiology Wageningen University and Research Centre Wageningen, The Netherlands: Elsevier Science .856 p. <https://www.elsevier.com/books/potato-biology-and-biotechnology/vreugdenhil/978-0-444-51018-1> . (Consulté le 26/07/2022).
- Von Scheele C., Svensson G., Rasmussen J. 1937.** Determination of the starch content and dry matter of potatoes with the aid of specific gravity. *Landwirtsch. Vers-Stat.*, 127 : 67-96.
- Weyens N., Monchy S., Vangronsveld J., Taghari S., Lelie D.V., 2010.** Plant- Microbe Partnerships (ed.), Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer, Berlin. 2545-2574p.
- Yekhlef S., 2014.** Suivi des maladies fongiques de pomme de terre *Solanum tuberosum* L. dans la région d'El-Oued. Mémoire Master en Sciences Agronomiques spécialité Protection des Plantes Cultivées, Université Kasdi Merbah Ouargla. 45p.
- Zahir Z.A., Arshad M., Frankenberger W.T.J., 2004.** Plant growth promoting rhizobacteria : application and perspectives in agriculture. *Adv. Agro.*, 81 :97-198.

Zoghلامي S, 2009. Bulletin de veille. Quelques sous-produits de la pomme de terre.1. 5p
<https://www.agrireseau.net/pdt/documents/bulletin-1-3-pomme-d-terre.pdf> . (Consulté le
12/08/2022).

Annexe

Annexe 1 : 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.

Annexe 2 : Composition du milieu PDA 1000ml d'eau distillée,

- Bouillon de pomme de terre
- 20g d'agar
- 15g de glucose

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

Annexe 3 : 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	15	1.887	0.1258	1.06	0.410
6	15	2.587	0.1725	1.15	0.333
9	15	3.887	0.2529	1.18	0.306
12	15	7.287	0.4858	2.78	0.002
15	15	4.087	0.2725	2.56	0.005
18	15	1.088	0.0725	1.29	0.235

Annexe 4 : Analyse de la variance du nombre de tiges développées par plante par le test ANOVA.

Source Période Incubation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
37J	15	42.35	2.824	1.17	0,318
44J	15	53.55	3.570	1.60	0,100
51J	15	42.19	2.812	1.29	0.233
58J	15	42.59	2.839	1.43	0.160

Annexe 5 : Analyse de la variance de la longueur moyenne des tiges développées par plante par le test ANOVA.

Source Période incubation	Ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
37J	15	369.6	24.64	1.7	0.074
44J	15	1852	123.46	3.47	0.000
51J	15	1796	119.76	2.05	0.025
58J	15	697.1	46.47	0.85	0.625

Annexe 6 : Analyse de la variance du diamètre moyen des tiges développées par plante par le test ANOVA.

Source Période incubation	Ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
37J	15	2.896	0.1930	1.38	0.183
44J	15	1.734	0.1156	0.97	0.496
51J	15	4.784	0.3189	2.45	0.007
58J	15	4.839	0.3226	2.82	0.002

Annexe 7 : Analyse de la variance du nombre de feuilles développées par plante par le test ANOVA.

Source Période incubation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
37J	15	43.45	2.896	1.93	0.036
44J	15	44.63	2.975	2.63	0.004
51J	15	18.93	1.362	0.88	0.593
58J	15	51.33	3.422	1.54	0.116

Annexe 8 : : Analyse de la variance des teneurs en pigments foliaires des plante cultivés par le test ANOVA selon les traitements et selon la durée d'incubation

Source Teneurs en pigments (mg/ml)	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Chlorophylle (37J)	15	777.3	51.82	0.83	0.635
Caroténoïde (37J)	15	9.634	0.6422	1.52	0.157
Chlorophylle (51J)	15	937.3	62.49	1.78	0.084
Caroténoïde (51J)	15	13.7	0.9133	2.38	0.020

Annexe 9 : Analyse de la variance des paramètres de production des tubercules produits de pomme de terre par le test ANOVA selon les traitements.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Paramètres					
Nombre de tubercules produits par plante	15	85.99	5.732	1.01	0.460
Poids des tubercules produits par plante (g)	15	161839	10789	0.30	0.994
Poids moyen d'un tubercule (g)	15	15706	1047.0	1.61	0.096
Longueur (cm)	15	768.8	51.25	2.65	0.001
Diamètre (cm)	15	178.1	11.877	2.00	0.014

Annexe 10 : 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.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Teneurs					
En eau%	15	425.33	28.355	9.52	0.000
Matière sèche%	15	349.77	23.3178	27.06	0.000
Matière organique%	15	269.797	17.9864	81.47	0.000
Matière minérale%	15	261.512	17.4341	159.08	0.000

Annexe 11 : 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.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F Value	P value
Teneurs					
Sucres totaux mg/ml du jus de tubercules	15	277776	18518.4	57.82	0,000
Polyphénols µg EAG/g de MS de tubercules	15	44482	2965.5	23.35	0,000

Annexe 12 : Courbe d'étalonnage des sucres totaux.

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

Annexe 13 : Courbe d'étalonnage de polyphénol totaux.

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