

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 BIOTECHNOLOGIES ET AGRO-ECOLOGIE

Mémoire

De fin d'étude en vue de l'obtention du

Diplôme de master académique en BVP

Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

Thème

**Impact d'utilisation de quelques isolats microbiens utiles
endémiques sur la culture des fraises**

Présenté par :

Taharbouchet Wissem et Kenit Madina

Devant le jury composé de :

Mr Zouaoui A.	Président	MCA	USDB
Mme Moumene S.	Directrice	MCA	USDB
Melle Bencheikh K.	Co-directrice	Doctorante	USDB
Melle Belkhither S.	Examinatrice	MCB	USDB

Remerciements

Nous remercions en premier lieu Dieu le tout puissant pour son aide pour nous avoir donné volonté, courage et patience,

Nous adressons aussi un vif remerciement à Madame Moumene, professeur à la faculté de biotechnologie de l'Université Saad Dahleb Blida, pour l'honneur qu'elle nous a accordé en nous encadrant et pour nous avoir guidés de son mieux pour l'accomplissement de ce travail,

Nous remercions également Madame Benchikh Khadidja pour son aide pratique, sa patience et ses précieux conseils,

Nous tenons à remercier vivement Monsieur Zouaoui, président du jury, et Madame Belkhith, examinatrice, d'avoir accepté de présider et d'examiner cet humble travail,

Nous remercions aussi la directrice de l'INPV de Boufarik, Madame Amel Ababsia, ainsi que Madame Sadek Dounia, et Monsieur Bellatreche Mohamed pour l'aide apportée au sein de l'établissement.

Nous exprimons notre profonde sympathie à l'ensemble du personnel du l'INPV,

Enfin, un grand merci à toute personne ayant contribué à l'accomplissement et l'aboutissement de ce modeste travail.

Merci.

Dédicace

Mes grands remerciements sont pour Dieu qui m'a aidé et m'a donné le pouvoir, la patience et la volonté pour réaliser ce travail.

Je dédie mon travail aux joyaux de ma vie mes parents, ma joie de vivre et ma source de réussite. Je ne peux jamais les remercier assez, c'est difficile d'exprimer mes sentiments envers eux par de simples mots : Merci pour votre amour, votre affection, votre attention, vos encouragements, vos sacrifices merci pour tout. Que Dieu vous garde pour moi.

Ces dédicaces et remerciement vont également à ma sœur Rihab, mon frère Noufel qui représentent tout mon bonheur, merci pour votre soutien, merci d'être toujours à mes côtés.

À ma famille, en particulier mes tantes Nacira, Amel et Sarah, mon oncle Maamer, et ma grand-mère Yemma Zhour.

A mes chères cousines, Lydia et Wissal.

À la mémoire de nos défunts : mes grands-pères et ma grand-mère et ma chère tante Farida que Dieu ait leurs âmes.

À mes chères et meilleures amies Bourayou Cilia, Boukella Wiem, Mesbahi Ferial, Mohand said Lyna , Kouidri Bouchra d'avoir été toujours présentes.

Plus spécialement Mr TAMI Oualid

À tous les enseignants et les ingénieurs de laboratoire pendant ma carrière pour m'avoir poussé à continuer.

Ainsi que tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

KENIT Madina

Dédicace

À la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie, ma mère, qui m'a toujours apporté appui durant toutes mes années d'études, pour son sacrifice et son soutien qui m'ont donné

Confiance, courage et sécurité,

À mon cher père, mon frère et ma sœur qui m'ont toujours soutenu,

À ma chère amie Djamila qui m'a beaucoup aidé et qui a toujours été là pour moi,

À mes chères tantes et mon cher oncle qui m'ont toujours encouragé,

À tous mes amis et collègues sans exception.

TAHARBOUCHET Wissem.

Impact d'utilisation de quelques isolats microbiens utiles endémiques sur la culture de fraises

Résumé

Cette présente étude vise l'évaluation quantitative et qualitative de la production biologique de la variété « Fortuna » de fraises sous l'effet d'application d'intrants agricoles microbiens endémiques. Des suspensions préparées à partir de trois isolats bactériens et trois isolats de *Trichoderma* spp. ont été appliquées par aspersion et arrosage à raison de 20ml par plant, quatre fois durant le stade végétatif chaque quinzaine de jours. Les principaux résultats sont basés sur l'évaluation de l'impact d'utilisation des intrants biologiques microbiens sur la production en nombre et en poids ainsi que sur quelques paramètres organoleptiques, biochimiques et chimiques.

Nous affirmons l'impact positif de l'ensemble des traitements microbiens et leurs deux modes d'application sur le nombre de fraises produites par plante où, l'isolat bactérien M5 a confirmé son pouvoir phytostimulant potentiel sur la production en nombre des fraises selon le mode d'application par aspersion. Un résultat similaire a été prouvé respectivement par l'isolat T7 de *Trichoderma* sp. et en second lieu les isolats bactériens AC9, M7 et l'isolat T9 de *Trichoderma* sp. sur la production en poids des fraises

Nous relevons aussi une importante teneur en eau et en matière minérale chez les fruits produits sous l'effet de l'isolat bactérien M7 alors qu'une nette amélioration des teneurs en sucres et en vitamine C a été enregistrée sous l'effet de l'isolat T9 de *Trichoderma* sp.

Dans ce sens, d'après les performances développées sur la production et quelques facteurs de qualité des fruits, l'utilisation de l'isolat T9 comme intrant fongique endémique est recommandée pour une agriculture biologique durable de fraises.

Mots clés : Culture de fraises, intrants microbiens endémiques, rendement, Métabolites primaires, métabolites secondaires.

Impact of using some endemic beneficial microbial isolates on strawberry cultivation

Abstract

This present study foccuss on the quantitative and qualitative evaluation of the organic production of the "Fortuna" variety of strawberries under the effect of the application of endemic microbial agricultural inputs. The microbial suspensions prepared from three bacterial isolates and three isolates of *Trichoderma* spp. were applied according to aspersion and watering application modes at a rate of 20ml per plant, four times during the vegetative stage every fortnight. The main results are based on the evaluation of the impact of the use of micro-biological inputs on the production in number and weight as well as on some organoleptic, biochemical and chemical parameters.

We affirm the positive impact of all the microbial treatments and their two modes of application on the number of strawberries produced per plant where, the bacterial isolate M5 has confirmed its potential phytostimulant power on the production in number of strawberries according to the method of application by spraying. A similar result was proven respectively by the T7 isolate of *Trichoderma* sp. and secondly the bacterial isolates AC9, M7 and the T9 isolate of *Trichoderma* sp. on the production by weight of strawberries We also note a significant content of water and mineral matter in the fruits produced under the effect of the bacterial isolate M7, while a marked improvement in the contents of sugars and vitamin C was recorded under the effect of T9 isolate of *Trichoderma* sp.

In this sense, according to the performances developed on the production and some fruit quality factors, the use of the T9 isolate as an endemic fungal input is recommended for a sustainable organic strawberry farming.

Keywords: Strawberry cultivation, endemic microbial inputs, yield, primary metabolites, secondary metabolites.

أثر استخدام بعض العزلات الميكروبية المستوطنة المفيدة على زراعة الفراولة

ملخص:

الغرض من هذه الدراسة هو تقديم تقييم كمي و نوعي للإنتاج العضوي لصنف الفراولة Fortuna من خلال تطبيق المدخلات الزراعية الميكروبية المتوطنة, تم تحضير المعلقات من ثلاث عزلات بكتيرية و ثلاث عزلات من *Trichoderma spp*. يتم رشها وسقيها بمعدل 20 مل لكل نبات، أربع مرات خلال مرحلة الخضار كل أسبوعين. تستند النتائج الرئيسية الى تقييم تأثير استخدام المدخلات البيولوجية الميكروبية على الإنتاج من حيث العدد والوزن وكذلك على الخصائص العضوية والكيميائية الحيوية.

نؤكد التأثير الإيجابي لجميع العلاجات الميكروبية و طريقة تطبيقها على عدد الفراولة المنتجة لكل نبات، حيث أكدت العزلة البكتيرية المحتملة على إنتاج عدد الفراولة وفقا لطريقة التطبيق عن طريق الرش، تم إثبات نتيجة مماثلة من خلال T7 من *Trichoderma spp*, و أيضا العزل البكتيري AC9 و M7 و T9 من *Trichoderma spp* على إنتاج الفراولة حسب الوزن

نلاحظ أيضا وجود محتوى مائي و معدني مهم في الفواكه المنتجة تحت تأثير العزلة البكتيرية M7 بينما تم تسجيل تحسن واضح في مستويات السكريات و فيتامين C تحت تأثير عزل T9 من *Trichoderma spp*.

و بهذا المعنى، بناء على الأداء الذي تم تطويره على الإنتاج و بعض عوامل جودة الفاكهة، يوصى باستخدام T9 المعزول كمدخلات فطرية مستوطنة لزراعة الفراولة العضوية المستدامة.

الكلمات الدالة: زراعة الفراولة، المدخلات الميكروبية المستوطنة، المحصول.

Sommaire

Introduction1

Chapitre 1 : Etude bibliographique

1 Chapitre 1 : Etude bibliographique.....3

1.1 Généralités sur la culture de la fraise.....3

1.1.1 Origine et historique3

1.1.2 Description botanique.....3

1.1.3 Taxonomie4

1.1.4 Biologie du fraisier5

1.1.5 Exigences culturales6

1.1.6 Situation de la culture de fraises7

1.1.7 Composition biochimique de la fraise9

1.1.8 Utilisations de la fraise :10

1.1.9 Contraintes phytosanitaires de la culture de la fraise10

1.1.10 La lutte Erreur ! Signet non défini.

1.1.11 Mesures préventives Erreur ! Signet non défini.

1.1.12 Lutte biologique Erreur ! Signet non défini.

1.1.13 Lutte chimique Erreur ! Signet non défini.

1.2 Généralités sur les bio-intrants microbiens Erreur ! Signet non défini.

1.2.1 Aperçu sur les *Trichoderma*.....14

1.2.1.1 Taxonomie.....15

1.2.1.2 Morphologie.....16

1.2.1.3 Ecologie.....17

1.2.1.4 Utilisation de *Trichoderma*.....17

1.2.1.5 Mécanismes d'action des *Trichoderma*.....18

1.2.2 Généralités sur les PGPR19

1.2.3 Taxonomie19

1.2.4 L'intérêt des PGPR..... Erreur ! Signet non défini.

1.2.5 Mécanismes d'action21

Chapitre 2: Matériels et méthode

2 Chapitre 2 : Matériels et méthode.....24

2.1 Matériel biologique.....24

2.1.1 Matériel végétal24

2.1.2 Matériels microbiologique25

2.2 Mise en culture des fraises25

2.2.1 Préparation des pots26

2.2.2 Préparation des suspensions microbiennes26

2.2.3	Mode d'application des traitements	26
2.2.3.1	Mode d'application par arrosage	27
2.2.3.2	Mode d'application par aspersion.....	27
2.2.4	Préparation de la serre expérimentale.....	27
2.2.5	Evaluation de la croissance de la culture de fraisier.....	28
2.2.5.1	Paramètres de croissance des plantules de fraisiers	28
2.2.6	Evaluation quantitative et qualitative de la production des fraises en pots	28
2.2.6.1	28
2.2.6.1	Evaluation de la qualité des fruits	29
2.2.6.2	Evaluation de la teneur en eau, en matière sèche, et en cendres.....	29
2.2.6.4	Evaluation de la teneur en cendre	29
2.2.6.3	Teneurs potentiels hydrogène (pH).....	30
2.2.6.4	Teneurs en sucres solubles.....	30
2.2.6.5	Teneurs en vitamine C.....	31
2.2.6.6	Métabolites secondaires	31
2.2.6.6.1	Teneurs en polyphénols totaux.....	32
2.2.6.6.2	Teneurs en flavonoïdes	32
2.2.6.7	l'effet colonisateur des souches microbiennes	32

Chapitre 3 : Résultats et discussions

3	Chapitre 3 : Résultats et discussion	33
3.1	Production des fraises.....	Erreur ! Signet non défini.
3.1.1	Nombre de fruits	33
3.1.2	Poids des fruits	37
1.1	Evaluation qualitative des fraises.....	40
3.1.3	Teneurs en eau.....	40
3.1.4	Taux de cendres ou Taux en matière minérale	43
3.1.5	pH des fruits	46
3.1.6	Teneurs en sucres totaux	49
3.1.7	Teneurs en vitamine C.....	52
3.1.8	Teneurs en polyphénols totaux.....	55
3.1.9	Teneurs en flavonoïdes	58
	Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
	Références	59

Liste des figures

Figure1 :Morphologie générale du fraisier (<i>Fragaria vesca</i> L.) (Mascléf).....	4
Figure 2: Symptômes de la pourriture grise sur les fraises (BASF SE, 2019).....	11
Figure 3 : Symptômes de la maladie d'oïdium sur fraisiers (BASF SE, 2019).....	12
Figure4: Présence de tissage et d'acariens sur les plantes de fraises (BASF SE, 2019).....	14
Figure5 : Aspect morphologique d'un conidiophore de <i>Trichoderma longibrachiatum</i> (Samuels et al., 1994).....	16
Figure6 : Plantules de fraisiers variété "Fortuna" (2021) utilisées dans l'expérimentation.....	24
Figure7 : Dispositif expérimental de la culture de fraisier sous l'effet des traitements biologique microbiens endémiques selon les modes d'application par arrosage et par aspersion.....	27
Figure 8 : Analyse de la variance du nombre de fraises produites en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b)	33
Figure9 : fraisiers sous traitements M5(a) , traitements M7 (b).....	35
Figure 10: Analyse de la variance des poids des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).....	36
Figure 11: Analyse de la variance des teneurs en eau des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).....	38
Figure 12: Analyse de la variance des taux de cendres des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application(b).....	40
Figure 13: Analyse de la variance des taux de cendres des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application(b).....	42
Figure 14: Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).....	44
Figure 15: Analyse de la variance des teneurs en vitamine C des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).....	46

Figure 16: Analyse de la variance des teneurs en polyphenols totaux des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).....48

Figure 17: Analyse de la variance des teneurs en flavonoïdes des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).....50

Liste des tableaux

Tableau1 : production mondiale de la fraise (FAO, 2017).....	8
Tableau 2 : Composition biochimique de la fraise (Giampieri et al., 2012).....	9
Tableau 3 : Analyse de la variance du nombre de fraises produites par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.....	33
Tableau 4a' : Classement des traitements par le test de Tukey selon le nombre de fraises produites.....	34
Tableau 4b' : Classement des modes de traitements par le test de Tukey selon le nombre de fraises produites.....	34
Tableau 5: Analyse de la variance du poids des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.....	36
Tableau 6 : Classement des traitements et des modes de traitements par le test de Tukey selon le poids des fraises.....	37
Tableau 7: Analyse de la variance des teneurs en eau des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.....	38
Tableau 8: Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en eau des fraises	39
Tableau 9: Analyse de la variance des taux de cendres des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.....	40
Tableau 10: Classement des traitements par le test de Tukey selon les taux de cendres des fraises.....	41
Tableau 11: Analyse de la variance des valeurs de pH des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.....	42
Tableau 12: Classement des traitements par le test de Tukey selon les valeurs de pH des fraises.....	43

Tableau 13: Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.....	43
Tableau 14: Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en sucres totaux des fraises.....	45
Tableau 15: Analyse de la variance des teneurs en vitamine C des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.....	46
Tableau 16: Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en vitamine C des fraises.....	47
Tableau 17 : Analyse de la variance des teneurs en polyphénols totaux des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.....	48
Tableau 18 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en polyphenols totaux des fraises.....	49
Tableau 19 : Analyse de la variance des teneurs en flavonoïdes des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.....	50
Tableau 20 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en flavonoïdes des fraises.....	51

Liste d'abréviations

PGPR : Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

Introduction

Introduction

Introduction

La fraise (*Fragaria vulgaris*) est un fruit mondialement connu et très consommé pour son excellent goût et arôme mais, aussi pour son effet thérapeutique, vu sa richesse en vitamine C et, en vitamine B9. Elle représente également une source intéressante de manganèse, de calcium et de magnésium qui participent à la couverture de nos besoins en minéraux. Comme tous les fruits rouges, ce fruit regorge d'antioxydants sous la forme d'anthocyanes, d'acide ellagique et, de flavonoïdes réputés pour leurs bienfaits de santé (Amirouche, 1987).

La culture de fraisiers est parmi les cultures les plus importantes au monde, avec une production et une valeur commerciale globale de 4,1 millions de tonnes. Sur la base de ce chiffre, les fraises apparaîtraient clairement comme l'une des baies les plus consommées en Algérie, avec une production continue estimée jusqu'à 100.000 quintaux en 2015 (FAO, 2015).

En revanche, Les fraisiers peuvent être attaqués par plusieurs maladies redoutables, entre autre les maladies d'ordre fongiques telles que, la pourriture grise, l'anthracnose et l'Oïdium dont, leur agents phytopathogènes sont contrôlés par les fongicides (BASF SE 2019).

Il est important de rappeler que les molécules issues de la dégradation de ces pesticides sont susceptibles de se retrouver dans l'air, le sol, et les sédiments, ce qui percute un danger pour la santé humaine et pour l'environnement. Sachant aussi que, la majorité de leurs principes actifs s'avèrent des perturbateurs endocriniens ayant un effet toxique pour la santé humaine. Ils présentent également une incidence négative sur la biodiversité et, le déséquilibre de l'écosystème en affectant les abeilles, les insectes auxiliaires, les rongeurs, les oiseaux et les poissons ainsi que, le changement climatique.

Dans ce contexte, on propose cette présente étude qui vise la sélection d'un meilleur intrant biologique microbien endémique en vue de son application à grande échelle sur la production de la fraise en Algérie pour améliorer le rendement, la qualité et réduire surtout l'utilisation massive et non raisonnée des intrants chimiques.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

1 Etude bibliographique

1.1 Généralités sur la culture de la fraise

1.1.1 Origine et historique

Les fraises poussaient dès la plus haute antiquité à l'état sauvage en Amérique et en Asie ainsi que dans les zones Sub-alpines d'Europe occidentale (Darrow, 1966). Nos ancêtres connaissaient et utilisaient les fraises des bois, mais ne les cultivaient pas.

La culture de la fraise n'a véritablement commencé qu'autour de l'an 1300 où les Européens Transplantaient des fraisiers des bois dans leurs jardins, L'histoire n'est pas unanime sur le sujet, car certains auteurs ont souligné que c'est Jacques Cartier qui a été le premier à rapporter *Fragaria virginiana* en Europe, alors que, d'autres ont témoigné que c'était Francis Drake qui avait rapporté des fraisiers des colonies de Virginie jusqu'en Angleterre en premier. Les fraisiers sauvages ou cultivés appartiennent tous au genre *Fragaria* de la famille des Rosacées (Darrow, 1966).

Depuis l'obtention des fraisiers à gros fruits nommés : *Fragaria X ananassa*, les améliorateurs génétiques se sont orientés vers la réalisation des croisements entre les différentes variétés afin d'obtenir de nouvelles variétés possédant les critères désirés (Darrow, 1966).

Il existe actuellement environ 600 variétés différentes de fraisiers, variables selon plusieurs critères tels que, la taille, la texture, la saveur, la couleur, la résistance aux maladies, la période de production et, les teneurs en éléments nutritifs (Hebbache et al., 2013).

1.1.2 Description botanique

Les fraisiers (genre *Fragaria*) sont des Angiospermes de la classe des Dicotylédones et de la famille des Rosacées. Ils présentent des feuilles réduites en trois folioles ovales dentées, et, des cymes pauciflores. Les fleurs possèdent le calicule, le calice et la corolle. De par leur forme, les fleurs sont dites actinomorphes ou fleurs régulières, présentant une symétrie axiale (Oukala, 2014) La fraise est une plante herbacée vivace avec une tige courte (20 cm) , et une couronne de trois feuilles alternées, formant une forme de cœur. L'emboîtement serré des feuilles, rend difficile l'étude de son développement. L'inflorescence est une cyme jumelle. La fleur se compose de cinq sépales, cinq pétales, vingt étamines et d'innombrables carpelles. Après fécondation, les fruits secs et non divisés

Chapitre 1 Etude bibliographique

sont des akènes et sont plus ou moins placés dans les cellules profondes du réceptacle. Cette dernière, va se développer, sous l'action de l'auxine, pour former un fruit charnu complexe. Vivaces, les fraisiers ont subi une série de transitions profondes, qui leur permettront de continuer à survivre dans les conditions froides de l'hiver, de fleurir, puis de produire des fruits, et des stolons qui permettent la reproduction végétative (Masclef, 1987).

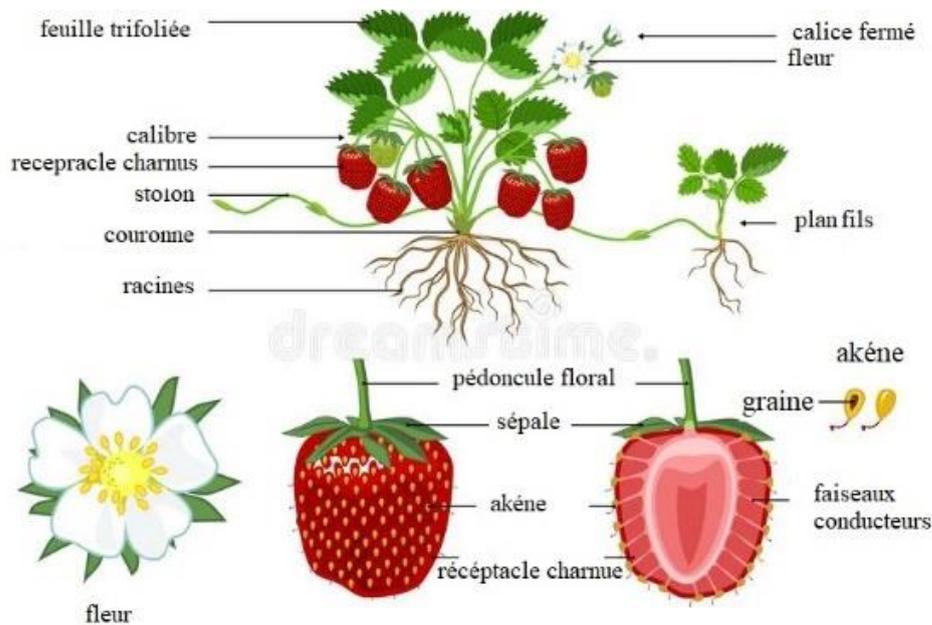


Figure 1 : Morphologie générale du fraisier (*Fragaria vesca* L.) (Masclef).

La structure de la fraise comporte de nombreux petits carpelles individuels (akènes), portés sur un réceptacle hémisphérique ou conique qui s'accroît jusqu'à devenir une masse pulpeuse, juteuse, délicieuse au goût à la maturité (Hebbache et *al.*, 2013).

1.1.3 Taxonomie

D'après (USDA, 2018) le fraisier appartient à la classification suivante :

- Règne des Plantae,
- Sous règne de Trachenobionta,
- Division de Magnoliophyta,
- Classe des Magnoliopsida,
- Sous classe des Rosidae,

Chapitre 1 Etude bibliographique

- Ordre des Rosales,
- Famille des Rosaceae,
- Genre : *Fragaria*,
- Espèce : *Fragaria ananassa*.

1.1.4 Biologie du fraisier

D'après Risser et Navatel (1997), le cycle de développement d'un fraisier passe par les quatre étapes suivantes :

- Une phase de développement et de croissance végétative avec production de stolons,
- Une phase d'initiation florale,
- Une phase de ralentissement de croissance, lorsque le plant entre en dormance, initiée par la diminution de la photopériode et de la température,
- Une phase de production de fleurs et de fruits

La période et la durée des différentes phases dépendent du comportement du fraisier.

Les fraisiers cultivés se distinguent en deux groupes suivants :

- Les fraisiers à petits fruits (*Fragaria vesca* semper florens) tels que, les fraisiers « des quatre saisons », qui fleurissent de mai à octobre et dont les stolons sont fins et nombreux (les variétés dites « Guillons » sont sans stolons).
- Les fraisiers à gros fruits (*Fragaria grandiflora*) se divisent selon les deux sous-groupes suivants :
 - Les fraisiers non remontants, qui ont une seule période de récolte et qui sont les plus cultivés,
 - Les fraisiers remontants, qui produisent deux fois les fruits (en mai et en juin, puis de la fin de juillet jusqu'aux gelées) (Michel et al., 1981).

Le fraisier actuellement cultivé (*Fragaria ananassa* Duch.), résulte d'un croisement entre un fraisier nord-américain (*Fragaria virginiana* Duch.) et un fraisier sud-américain (*Fragaria chiloensis* (L) Duch.). Ce croisement fut décrit en premier par Antoine Duchesne (Michel et al., 1981).

Les plants sont vigoureux et produisent de grosses fraises. L'obtention de *Fragaria ananassa* Duch. présente un intérêt économique plus important que *F. vesca*, *F. moschata* ou *F. virginiana* (Oukala, 2014). La découverte de nouvelles espèces a permis d'effectuer d'autres croisements mais, *Fragaria x ananassa* Duchest. est actuellement l'espèce la plus cultivée (Michel et al., 1981).

Chapitre 1 Etude bibliographique

1.1.5 Exigences culturales

La fraise est une culture herbacée pérenne qui s'adapte très bien à plusieurs types de climat. En effet, sa partie végétative est hautement tolérante à la gelée en supportant des Températures de l'ordre de -20°C . Cependant, les structures florales sont détruites à des Températures qui avoisinent 0°C , alors que des températures inférieures à 12°C durant le stade de nouaison provoquent la déformation du fruit (**bio-enligne.com, 2018**).

D'autre part, la plante de la fraise est capable de survivre à des températures estivales d'environ 55°C . Néanmoins, des hautes températures occasionnent une maturité rapide qui empêche le fruit d'atteindre un bon calibre. Une température annuelle moyenne comprise entre 15°C et 20°C est optimale pour une meilleure fructification alors que la pluviométrie minimale exigée dans les zones pluviales est d'environ 600 mm (**bio-enligne.com, 2018**).

Le fraisier est une rosacée fruitière qui nécessite le froid pour l'initiation florale et pour une bonne production. Les besoins en froid sont faibles pour les cultivars de zone chaude ou tempérées, “variétés méridionales” alors qu'ils sont élevés pour les cultivars de zones froides. Si ces besoins ne sont pas satisfaits, l'initiation florale sera très faible et la fructification médiocre. Ces basses températures doivent être subies par les plants de fraisier pour permettre leur floraison. En période florale, elles sont défavorables (couleur des fleurs) (**Fellah business, 2017**).

En ce qui concerne la température elle doit être moyenne pour une bonne floraison est de l'ordre de 10 à 15°C .

Une bonne fécondation exige une température de 20°C et une humidité relative inférieure à 60%.

La maturation normale du fruit nécessite une température au-dessus de 15°C et la température optimale de croissance se situe autour de 25°C avec un arrêt de croissance à des températures inférieures à 5°C (**Fellah business, 2017**).

Elle est également influencée par la luminosité. C'est ainsi qu'en jours longs la plante produit des stolons. Cette plante subit deux croissances, la première a lieu par temps chaud et jours long. Elle est caractérisée par une production élevée de feuilles (jusqu'à une par semaine) et un port érigé ; la seconde croissance ayant lieu au début de l'automne, confère à la plante un aspect trapu.

Chapitre 1 Etude bibliographique

L'initiation florale est déclenchée par l'apparition de jours courts, mais lorsque les jours courts sont maintenus durant un temps prolongé, ils provoquent l'entrée en dormance des plantes. Pour lever cette dormance, il faut exposer les plants à une basse température (2°C- 10°C). Les fleurs centrales sont celles qui donnent les plus grosses fraises, il faudra donc les préserver du gel. La grosseur du fruit est fonction du nombre d'akènes fécondés. Plusieurs régulateurs de croissance existent pour améliorer cette fécondation (auxines, gibbérellines, cytokinines, inhibiteurs de croissance, retardant de croissance, éthylène et produits générateurs d'éthylène). La fraise a besoin de beaucoup de soleil pour développer toutes ses saveurs.

La structure physique du sol et son contenu chimique présentent un intérêt particulier pour la culture de la fraise. Ainsi, cette culture préfère des sols équilibrés riches en matière organique, aérés, bien drainés, mais avec une certaine capacité de rétention en eau. La granulométrie optimale d'un sol dédié à la culture de la fraise est la suivante : 50% de sable, 20% d'argile, 15% de calcaire et 5% de matière organique (**bio-enligne.com, 2018**).

En ce qui concerne les exigences de la culture en sol, quoique le fraisier s'adapte à une large gamme de sols, il préfère des terres chaudes à texture légère. Ils ont besoin d'un sol fertile, humifère, sableux. Cette culture craint les sols compacts ou non drainants et redoute les chlorures même à des doses faibles de l'ordre de 0,5%. Le pH optimum du sol doit être compris entre 5,7 et 6,5 et la teneur en calcaire doit être inférieure à 2% (**Michel, 1981**).

1.1.6 Situation de la culture de fraises dans le monde

A l'échelle mondiale, la production de fraises connaît une hausse depuis 2010. Cette production atteignait plus de 8 millions de tonnes et 3 360 ha de surface cultivé en 2014, (**Plénet et al., 2016**).

Les 10 plus gros pays producteurs au monde représentent plus de 80% de la production mondiale, les trois principaux pays producteurs en 2014 sont la Chine, les Etats-Unis et le Mexique avec respectivement une production de 7 643 730 tonnes, 1 420 570 tonnes et 468 248 tonnes de fraises, juste après viendra le Mexique avec une production de 468 248 tonnes suivie de l'Egypte, la Turquie, l'Espagne, l'Allemagne et la Pologne. La France arrive en dernière avec 58737 tonnes de fraises produites malgré que ce soit la grande consommatrice de ce fruit (Tableau 1) (**FAO, 2017**).

Tableau1 : production mondiale de la fraise (FAO, 2017)

pays	Production mondiale (tonnes)
Jordanie	5 056
Afrique du Sud	7 529
Tunisie	9 759
Belgique	45 000
Australie	48 401
Iran	55 946
France	58 737
Pologne	196 972
Allemagne	143 221
Espagne	366 151
Turquie	415 150
Egypte	464 958
Mexique	468 248
Etats unis	1 420 570
Chine	7 643 730

1.1.7 Situation de la culture de fraises en Algérie

En Algérie, Selon la direction des services agricoles, la production nationale de la fraise est en augmentation continue, dont les wilayas de Jijel, Skikda, Biskra et, Tipaza sont les plus grandes localités productrices en Algérie. La région de Jijel (communes : Sidi Abdelaziz, Oued adjoul, El Ancer, Ziama mansouria) occupe la première place de cette production d'où la culture de la fraise a été lancée à titre expérimental à Jijel en 2001-2002, sur quatre (4) hectares. Ce projet a donné lieu à une production de l'ordre de 1.200 quintaux de fraises. En 2010, la superficie de cette culture a atteint 120 hectares et une production de 36.000 qtx, alors qu'en 2015, sur une superficie de 323 a été enregistrée une production de 100.000 qtx.

Chapitre 1 Etude bibliographique

Dans la région de Tipaza, commune de Bou Ismaïl, la surface agricole utilisée pour cette culture a atteint 300 ha et la production s'est échelonnée à 27500qtx en 2015.

Après vient en troisième place Skikda dans les montagnes de Tamalous, Bouchtata, Ain zouit, sur 275 ha avec un rendement de 23000qtx en 2011 et 26500qtx en 2015, en dernier vient la région de Biskra les communes et Dairas de Fouka et, Koléa avec une production de 15000 qtx sur une superficie de 97 ha en 2015 (DSA Jijel., 2019).

1.1.7 Composition biochimique de la fraise

La fraise regorge de vitamine C (antioxydants) (58.8mg), de vitamine A (sous forme de précurseur, le β -carotène) (1 mg), de glucides (7.68g), de protéines et de fibres. Elle est riche en oligo-éléments, sous forme de sels de potassium (153mg), sodium, de calcium (16mg), du magnésium, du fer, de calcium et de phosphore (Tableau 2) (Giampieri et al., 2012).

Tableau 2 : Composition biochimique de la fraise (Giampieri et al., 2012)

Type	Nutritives	Pour 100 g
Proximité	Eau (g)	90,95
	Energie (kcal)	32
	Protéine (g)	0,67
	Cendres (g)	0,40
	Lipides totaux (g)	0,30
	Glucides (g)	7,68
	Fibres alimentaires (g)	2,0
Minéraux	Calcium (mg)	16
	Potassium (mg)	153
	Manganèse (mg)	0,386
Vitamines	Vitamine C (mg)	58,8
	Vitamine B6 (mg)	0,047
	Vitamine A, RAE (mg)	1
	Vitamine K (mg)	2,2

1.1.8 Utilisations de la fraise :

La fraise est riche de bienfaits nutritionnels. Ce serait dommage de s'en priver.

Grace à leur richesse en eau, elle participe à la couverture des besoins hydriques journaliers. Elle est également riche en antioxydants, elle contient des flavonoïdes qui lui donnent sa couleur rouge et contribuent le plus à sa capacité anti-oxydante. Parmi les flavonoïdes, on retrouve les anthocyanines, qui auraient un effet protecteur contre le cancer. Ils inhiberaient également la croissance des cellules cancéreuses humaines du côlon, de la prostate et de la cavité orale (Passeport.santé.nutrition).

Ce sont des sources de fibres qui vont stimuler le transit intestinal et limiter les ballonnements. Elle représente aussi une source de manganèse qui agit comme cofacteur de plusieurs enzymes qui facilitent différents processus métaboliques. Il participe également à la prévention des dommages causés par les radicaux libres (Passeport.santé.nutrition).

Sa richesse en vitamine C lui permet de lutter contre la fatigue, stimuler le système immunitaire et lutter contre diverses infections et coups de froid hivernaux.

Comme source de vitamine B9, lui permet le bon développement du fœtus pendant la grossesse. (Passeport.santé.nutrition).

1.1.9 Contraintes phytosanitaires de la culture de la fraise

Les effets néfastes des ravageurs semblent absorber le contenu cellulaire des aliments dans les tissus verts des plantes. Ces dommages s'accompagnent généralement d'une décoloration plus ou moins intense des tissus. Ces derniers finissent par jaunir, dans les cas extrêmes se nécroser et se flétrir.

Il existe de nombreuses autres maladies qui affectent les fraises, notamment telluriques, mais les attaques par *Botrytis* (Figure 2), *Oïdium* (Figure 2) et thrips (Figure 3) sont considérés comme les principaux ennemis. Les dégâts enregistrés sur les fraises commerciales sont considérables (Schmid, 1997).

- La pourriture grise :

La pourriture grise est une maladie causée par le champignon *Botrytis cinerea*. Cette maladie occasionne des dommages importants dans plusieurs cultures partout dans le monde. L'utilisation de fongicides chimiques tels qu'employés en agriculture conventionnelle n'est pas la solution idéale

contre la pourriture grise et ce, pour plusieurs raisons. Premièrement, le champignon responsable de la maladie développe facilement une résistance aux fongicides chimiques. Deuxièmement, l'efficacité de plusieurs des fongicides homologués contre la pourriture grise est douteuse (Braun et Sutton, 1984). Troisièmement, les problèmes de résidus sur les fruits préoccupent un grand nombre de consommateurs (Mouden *et al.*, 2013).



Figure 2: Symptômes de la pourriture grise sur les fraises (BASF SE, 2019).

1.1.9.2 L'oïdium

L'oïdium est une maladie fongique ubiquiste de la fraise (*Fragaria virginiana*), dépréciant la récolte. L'agent responsable, *Erysiphe necator*, est un pathogène biotrophe obligatoire ectophyte, envoyant des structures infectieuses spécialisées dans les cellules épidermiques de l'hôte afin d'assurer le prélèvement de nutriments et assurer la croissance fongique. L'existence d'espèces résistantes au sein des fraises a permis d'étudier les différents compartiments cellulaires, responsables de la manifestation des mécanismes de défense contre l'oïdium (Schnee, 2008).



Figure 3 : Symptômes de la maladie d'oidium sur fraisiers (BASF SE 2019).

1.1.9.3 Les Acariens

Leurs attaques sont responsables de la formation de zones sèches et brunâtres sur le revers des feuilles (Figure 3) et changement de coloration de tous les tissus foliaires (deviennent bronze), amenant une réduction de l'activité photosynthétique (**Ludovic et al., 2014**).



Figure 4: Présence de tissage et d'acariens sur les plantes de fraises (BASF SE, 2019).

1.1.10 méthodes de lutte contre les bioagresseurs des fraises

Plusieurs méthodes de lutte peuvent être préconçues contre les bioagresseurs du fraisier.

1.1.10.1 Mesures préventives

Les mesures de précaution sont très importantes pour l'agriculture biologique. Elles se résument par le choix de l'emplacement, le système de culture, les cultures précédentes, le travail du sol, les engrais, la sélection des variétés et la qualité des plantes.

Les plantes de haute qualité doivent provenir de pépinières certifiées, exemptes de maladies reproductives récessives, bactériennes et virales, exemptes d'infestations d'acariens et de nématodes et d'une pureté variétale garantie.

1.1.10.2 Lutte biologique

La lutte intégrée contre les ravageurs est actuellement développée et pratiquée sur des plantes protégées (Canna, 2020)

A chaque parasite rencontré chez ces différentes espèces correspond un prédateur.

Le succès de cette technique de combat repose sur un certain nombre d'aspects

de prévention. Les principales conditions reposent sur l'observation régulière des cultures, la sélection des prédateurs en fonction des parasites à contrôler, le respect des techniques de lâchers et l'adaptation de la régulation climatique des serres (Canna, 2020).

Deux excipients *Amblyseius andersoni* et *Phytoseiulus persimilis* sont recommandés. Le premier est utilisé en prophylaxie dès l'apparition du premier individu ravageur. La deuxième introduction est locale aux colonies déclarées exercer un effet de choc (Canna, 2020).

La guêpe parasite *Aphidius colemani* est excellente pour lutter contre les pucerons. Cependant, la détection précoce des ravageurs est essentielle pour une libération en temps opportun.

L'acarien prédateur *Amblyseius swirskii* doit être introduit dès l'apparition des thrips. Les phéromones sont également utilisés pour lutter contre les ravageurs, en plaçant un piège tous les 100 mètres carrés (Canna, 2020).

Pour lutter contre les nématodes à galles et limiter leurs dégâts, plusieurs techniques sont recommandées telles que, l'exposition au soleil, la plantation de plantes insectifuges comme les soucis et la sélection de variétés de fraises résistantes (Canna, 2020).

1.1.10.3 Lutte chimique

La lutte insecticide repose habituellement sur les carbamates, les néonicotinoïdes, les acides gras ou les pyréthrinés (Fenton et *al.*, 2010; Baroffio et *al.*, 2013).

1.2 Généralités sur les bio-intrants microbiens

1.2.1 Aperçu sur les *Trichoderma*

Le terme « *Trichoderma* » a été introduit dans la mycologie en 1794 par Person. Il distingue des champignons microscopiques considérés durant 200 ans comme « Gastéromycètes ». Ces organismes cosmopolites appartiennent à un grand ensemble de champignons sans reproduction sexuée. (Mohamed-Benkada, 2006).

Selon Kullning-Grading et *al.* (2002) in Legrand et *al.* (2005), il s'agit d'un genre de Fungi imparfecti regroupant des espèces qui sont les anamorphes d'ascomycètes de la famille des Hypocreaceae (*Hypocrea* et genres voisins). En 1902, Oudermans et Koning (in Allain, 1979 in Legrand et *al.* 2005) identifièrent *Trichoderma* de la microflore des sols.

Pendant les trente années suivantes, des relevés effectués à travers le monde montrent qu'il s'agit d'un des genres les plus communément répandus à la fois dans le sol et le bois mort en décomposition. En effet, les *Trichoderma* sont des hôtes habituels du sol où leur abondance dépend entre autre du taux de matière organique. Ils pénètrent aussi grâce à leur activité cellulolytique, à l'intérieur du bois mort. Rayner(1977) a montré que le groupe *Trichoderma* spp. est le groupe champignons basidiomycètes le plus fréquemment isolé de souche de chêne et de hêtre âgés de 30 à 50 ans (Legrand et *al.* ,2005)

Effectivement, dès 1897, Vuillemin (Allain, 1979 in Legrand et *al.* ,2005) avait signalé l'antagonisme des *Trichoderma* vis-à-vis de divers autres champignons. Certaines espèces du genre voisin *Gliocladium*(en particulier *Gliocladium virens*) montraient des propriétés analogues : *Gliocladium virens* est actuellement intégré dans les *Trichoderma* sous le nom de *Trichoderma Virens*.

Chapitre 1 Etude bibliographique

Les premières manifestations d'antagonisme des *Trichoderma* vis-à-vis d'autres champignons observées par les mycologues relèvent du parasitisme. Weindling (1932) a montré qu'une espèce appelée à l'époque *Trichoderma lignorum* se comportait en parasite vis-à-vis de deux Basidiomycètes phytopathogènes : *Rhizoctoniasolani* et *Sclerotiumrolfsii*. Peu après il a démontré également des effets d'antibioses dans les mêmes associations (Weindling, 1934). Quant à l'antagonisme par compétition, on peut penser qu'il intervient également si l'on considère la vitesse de croissance élevée de nombreuses espèces de *Trichoderma* et l'efficacité de leurs complexes enzymatiques cellulolytiques (utilisés dans l'industrie) (Legrand et al., 2005)

1.2.1.1 Taxonomie

Rifai (1969) a proposé comme base de la classification 9 « agrégats » regroupant chacune des espèces très voisines ; Grams et Bissett (1998) ont réparti les espèces en sections.

Les récentes analyses multigènes de Kullning-Gradinger et al., (2002) distinguent quatre clades, dont l'un (clade B) regroupe le plus grand nombre d'espèces. Jusqu'à vers 1970, les travaux phytopathologiques consacrés au *Trichoderma* faisaient état d'une espèce « *Trichoderma lignorum* (Tode) Harz » ou « *Trichoderma viride* Pers. : Gray ». A la lumière des travaux taxonomiques récents, il semblerait que les souches soient intéressantes par leurs propriétés antagonistes appartenant surtout aux espèces dont, *T. harzianum* et à *T. hamatum*, *T. koningi*, *T. polysporum* et *T. viride*. Les travaux de recherche se sont efforcés de préciser l'identité taxonomique des isolats utilisés.

Djafer (2011) a rapporté que les *Trichoderma* se présentent sous deux formes :

- La forme parfaite dont le genre est *Hypocrea* appartenant à la classe des ascomycètes, l'ordre des Spharéiales et la famille des Hypocreaceae (Bellahcene, 1990 ; Besnard, 1992 in Djafer 2011).
- La forme imparfaite représentée par le genre *Trichoderma*, appartenant à la classe des Adelomycètes, l'ordre des Hyphales (Moniliales) et la famille des Mucédinacées (Moniliacées) (Bellahcene, 1990 in Djafer 2011).

En revanche, la biologie moléculaire nous a révélé que des espèces de *Trichoderma* génétiquement différentes, présentent des similitudes morphologiques spectaculaires. Ce qui confirme que les critères morphologiques, seuls, ne suffisent plus pour une classification incontestable et rigoureuse des formes anamorphes de *Trichoderma* spp. (Cournut, 1984; Sugiyama,

Chapitre 1 Etude bibliographique

1987). Ce qui explique leur position taxonomique actuelle. Elle se présente comme suit et se distingue en cinq sections (Bissett, 2004).

- Embranchement des Amastigomicota et/ou Eumycètes,
- Sous embranchement des Ascomycotina,
- Classe des Sordariomycètes,
- Ordre des Hypocreales,
- Famille des Hypocreaceae,
- Genre *Trichoderma*.

1.2.1.2 Morphologie

L'aspect macroscopique des *Trichoderma* est apprécié à partir de culture sur géloses nutritives appropriées, réparties en boîtes de pétri. Les colonies fongiques peuvent être légèrement floconneuses ou bien compactées en touffes. Entre ces deux extrêmes existent des aspects intermédiaires. Les colonies sont colorées en fonction des phialides.

Cinq jours après sa germination, la conidie donne naissance à un mycélium d'abord blanc et stérile en forme de cercle. Deux jours plus tard, une couleur verte est visible sur la partie aérienne du mycélium, correspondant à la conidiogénèse. D'autres cercles concentriques réguliers se forment par la suite, et entre les 16^{ème} et 20^{ème} jours, un feutrage épais se superpose à la culture.

On peut observer, au microscope optique, un mycélium composé d'hyphes jaunes, septés, ramifiés à parois lisses. Les conidiophores ont une forme conique ou pyramidale. Très ramifiés, ils portent des phialides en forme de flasques ou de quilles. À leurs tours, ces phialides portent des spores (phialidospores ou bien conidies) (Mohamed-Benkada, 2006) conidies) (Mohamed-Benkada, 2006)

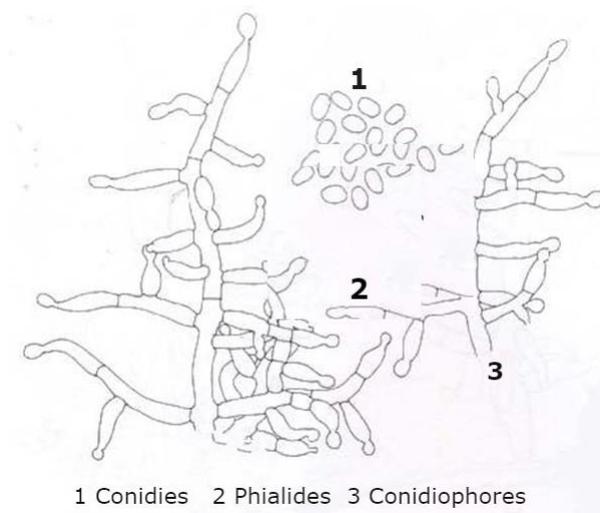


Figure 05 : Aspect morphologique d'un conidiophore de *Trichoderma longibrachiatum* (Samuels et al., 1994).

1.2.1.3 Ecologie

Grâce à sa grande capacité d'adaptation aux différentes conditions climatiques, le genre *Trichoderma* est très répandu dans la nature, aussi bien au milieu terrestre que marin (Roquebert, 1996 ; Esposito et Silva, 1998). En effet, les *Trichoderma* sont remarquables pour leur capacité à utiliser différents substrats et sont, par conséquent, l'élément majeur dans la microflore terrestre et marine (Roquebert, 1996 ; Esposito et Silva, 1998).

Dans la mer, les *Trichoderma* sont des marins facultatifs. D'après l'étude de Shaumann (1993) sur la microfonge marine des profondeurs de la Mer du Nord et de l'Atlantique Nord, les *Trichoderma* ont été identifiées à tous les niveaux. Ils ont été également isolés à partir d'algues marines : *Rhodophytasp.* Et *Phaeophytasp.* prélevées dans la côte atlantique et méditerranéenne ibérique, ainsi qu'à partir des moules au Canada (Mohamd-Benkada, 2005).

Selon Domsch et al ; (1980) in Djafer (2001), les *Trichoderma* peuvent se développer à des températures allant de 15 à 35 °C. Cependant, la température optimale de croissance est variable selon les espèces : Elle est de 28°C à 30°C pour *T. harzianum*, 22°C à 25°C pour *T. viride* (Danielson et Davey, 1973 in djafer, 2011).

Par ailleurs, Dommergues et Mangenot (1970 in Djafer, 2011) ont classé les *Trichoderma* parmi les microorganismes indifférents, se développant sur une large gamme de pH, comme *T. viride* qui se développe bien entre les pH 2 et 8. Selon Bellahcene (1990) ; les sols acides favorisent leur développement.

Cependant, des antagonismes fongiques semblent mal résister à la dessiccation. Dans le sol, les populations décroissent rapidement lorsque la teneur en eau descend au-dessous de 10 à 20% de la capacité de rétention (Davet, 1983).

D'autre part, Albouvette et al. (1983) ont affirmé que leur développement varie selon les quantités de carbone et d'azote offertes par le milieu ; l'apport de matière organique dans les sols permet donc aux *Trichoderma* et autres agents d'antagonistes d'y exprimer leurs capacités antagonistes.

1.2.1.4 Utilisation de *Trichoderma*

Les *Trichoderma* sont des champignons bénéfiques qui colonisent naturellement les sols. S'ils arrivent à coloniser les racines des plantes avant les mauvais champignons, ils protègent et donnent même un surplus de vigueur aux plantes. Mis dès la plantation, ils peuvent jouer un rôle

Chapitre 1 Etude bibliographique

prédominant dans la santé des plantes, comme un baume d'échinacée contre les rhumes et les gripes en renforçant le système immunitaire (Liette, 2002). Ils présentent non seulement un potentiel dans les cultures en serres, mais aussi un avantage incontestable dans la protection des maladies racinaires (*Pythium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* et *Phytophthora*) et des parties aériennes (*Botrytis cinerea*).

Moumene (2015) et Saddek (2021) par leurs études sur le biocontrôle du mildiou de la pomme de terre et le *Botrytis cinerea* de la tomate en Algérie, ont confirmé l'effet biofongicide des isolats algériens de *Trichoderma* spp.

1.2.1.5 Mécanismes d'action des *Trichoderma*

Trichoderma possède une batterie de mécanismes d'attaque potentiellement utilisables mais qui demeurent toutefois complexes. Il peut employer un ou plusieurs modes d'action en même temps pour maîtriser un agent pathogène. Le déploiement des modes d'action varie également selon les partenaires en présence des conditions physico-chimiques du milieu (température, humidité, etc...). *Trichoderma* est efficace lorsqu'on lui permet de s'installer avant l'arrivée des champignons pathogènes. Son action est donc préventive. Il permet, au niveau des racines, de créer un manchon protecteur autour de celles-ci et ainsi contrer l'entrée des agents pathogènes à l'intérieur des racines à pulvérisation aérienne. Une fois installé, *Trichoderma* peut avoir un effet stimulant pour la plante en absence de champignons pathogènes (Caron, 2002).

Trichoderma a la capacité d'attaquer les agents pathogènes via différents modes d'action. Il peut utiliser :

- L'**antibiose** qui résulte de la production de substances qui agissent comme des « antibiotiques » et qui inhibent la croissance de l'agent pathogène.
- La **compétition** qui se manifeste par l'aptitude de *Trichoderma* à utiliser les mêmes ressources du milieu (aires d'alimentation, sites de développement) que les champignons pathogènes mais *Trichoderma* emploie ce mode d'action surtout pour occuper les lieux avant l'arrivée des indésirables ;
- Le **parasitisme** qui se manifeste par la destruction de l'agent pathogène lorsque *Trichoderma* s'enroule autour de celui-ci soit en l'étranglant, en pénétrant à l'intérieur et/ou en lui « injectant » des substances (enzymes) qui le détruisent

1.2.2 Généralités sur les PGPR

Les PGPR ou « Plant Growth-Promoting Rhizobacteria » sont des bactéries qui se développent dans la rhizosphère, et qui ont un effet positif sur la plante, pour ces effets on les considère comme rhizobactéries promotrices de la croissance végétale (Dey *et al.*, 2004 ; Herman *et al.*, 2008 ; Microrsky, 2008).

Les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sont des bactéries bénéfiques qui colonisent efficacement la rhizosphère, elles exercent sur les plantes divers effets influençant leur croissance (Moustaine *et al.*, 2019, Orozco Mosqueda *et al.*, 2021).

Quatre potentialités ont été identifiées chez les PGPR (Glick, 2012; Souza, 2015) : la disponibilité des éléments nutritifs, la production de phytohormones, la tolérance aux stress abiotiques, l'inhibition des bio agresseurs par compétition

Ces rhizobactéries sont capables de coloniser les systèmes racinaires des plantes et de promouvoir leur croissance par des mécanismes directs ou indirects (Glick *et al.*, 1998). Elles peuvent se retrouver aux niveaux intra ou extracellulaire (Gray et Smith, 2005). Au niveau intracellulaire, les bactéries sont dites endophytiques et elles colonisent l'apoplaste. (Vessey, 2003).

Ces microorganismes rhizosphériques peuvent améliorer la croissance des plantes par une grande variété de mécanismes directes ou indirectes tels que la solubilisation des nutriments (P, K et Zn), la production de sidérophores, la fixation biologique de l'azote et la production de phytohormones (Pravin Vejan *et al.*, 2016, Odoh Chuks Kenneth 2017, V. Dhayalan *et al.* 2021)

Chez les plantes, de nombreux processus de croissance et de développement sont contrôlés par les phytohormones. (Racher Backer *et al.*, 2018; Maheshwari *et al.*, 2015).

1.2.3 Taxonomie

Le nombre de PGPR identifiées a augmenté d'une façon significative. Ces microorganismes facultatives, présentant une diversité de genre et d'espèces, appartiennent majoritairement aux trois phylum suivants (Hugenholz, 2002): les Proteobacteries, les Firmicutes, et les Actinobacteries. De nombreux genres bactériens incluent les PGPR des taxons très divers (Kloepper, 1992).

D'après Bertrand *et al.*, 2011 le phylum des proteobacteria comprend 3 classes suivantes :

- La classe des alpha-proteobacteria regroupe les bactéries ayant la capacité à fixer l'azote et à noduler les plantes. Ces souches peuvent se comporter comme PGPR quand elles

colonisent les racines des plantes non légumineuses dans une relation non spécifique. En effet, le genre *Rhizobium* contient également des souches PGPR (Sawada *et al.*, 2003). Elle comprend de nombreux genres de bactéries phototrophes pourpres non sulfureuses tels que *Rhodovulum*, *Rhodobium*, *Rhodopseudomonas*.

- La classe des beta-proteobactéria comprend quelques bactéries phototrophes pourpres non sulfureuses. Elles sont constituées de 6 ordres. (Bertrand *et al.*, 2011), Les genres les plus étudiés sont notamment *Bordetella*, *Neisseria*, *Simonsiella*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Ralstonia*, *Sphaerotilus*, *Nitrosomonas*, *Spirillum*, *Thiobacillus* et *Gallionella*.
 - La classe des Gamma-proteobacteria comprend le plus grand nombre de Proteobacteries regroupées dans 13 ordres, dont, le plus important est les Pseudomonadales comprennent deux familles : les Pseudomonadaceae avec les genres *Pseudomonas*, bactéries communes aux sols et aux eaux, et les Moraxellaceae avec les genres *Moraxella*, *Acinetobacter*, rencontrés dans les sols (Bertrand *et al.*, 2011).

1.2.4 L'intérêt des PGPR

Les PGPR permettent la stimulation de la germination des graines et favorisent le développement végétal par l'amélioration de l'absorption des éléments minéraux et l'utilisation de l'eau (Jacoud *et al.*, 1999 ; Dobbelaere *et al.*, 2002 ; Khalid *et al.*, 2004).

Ces rhizobactéries agissent également par l'induction de la résistance chez les plantes aux stress biotiques tels que les bactéries, les champignons et les nématodes phytopathogènes, ainsi qu'aux agents de stress abiotiques tels que la sécheresse, le froid, la salinité et les polluants (herbicides) (Sturz *et al.*, 2000 ; Walsh *et al.*, 2003 ; Kohler *et al.*, 2009 ; Ahemad et Khan, 2010).

Cet effet bénéfique est traduit par leur pouvoir de colonisation de la rhizosphère vis à vis d'autres bactéries inhibitrices de la germination nommées rhizobactéries délétères (DRB) qui sont des saprophytes et non pathogènes (Alström, 1991).

1.2.5 Mécanismes d'action

Les effets bénéfiques des rhizobactéries sur la croissance végétale résultent de différents mécanismes exercés par les PGPR dont les modes d'action sont directs ou indirects, Les mécanismes indirects sont, en général, ceux qui se produisent en dehors de la plante, contrairement aux mécanismes directs qui se produisent à l'intérieur de la plante et affectent directement leur métabolisme.

Les mécanismes d'action se résument par :

- La solubilisation des phosphates, la fixation de l'azote et les minéraux nutritifs, rendant ces aliments disponibles pour la plante.
- La production de phytohormones telles que l'acide d'indole-3-acetic (IAA)
- La répression des microorganismes pathogènes du sol (par la production du cyanure d'hydrogène, de sidérophores, d'antibiotiques, et/ou de la concurrence pour les nutriments) (Gupta *et al.*, 2000). De plus, les PGPR peuvent contribuer dans l'amélioration de la résistance de la plante aux stress biotiques et abiotiques (la salinité, la sécheresse et à la toxicité des métaux lourds).

Dans ce contexte, Somers *et al.* (2004) ont classé les PGPR comme biofertilisants (augmentant la disponibilité des éléments nutritifs aux plantes), phytostimulants (améliorant la croissance des plantes, habituellement par la production de phytohormones), rhizoremédiateurs (dégradant les polluants organiques) et biopesticides (principalement par la production de métabolites antibiotiques et antifongiques face aux maladies phytopathogènes).

Chapitre 2 : Matériels et méthode

2 Matériels et méthodes

La partie expérimentale a duré huit mois, elle s'est étalée du mois de novembre 2021 au mois de juin 2022. Elle repose essentiellement sur la mise en place de la culture du fraisier sous l'effet des différents traitements d'origine microbiens endémiques. Cette étape a été réalisée au niveau de la serre expérimentale de la station régionale de l'institut national de la protection des végétaux (INPV) de Boufarik, wilaya de Blida, le 22 novembre 2021. Cette culture a fait l'objet d'une évaluation de la croissance de la production des fruits et leur qualité.

L'étude nécessite l'utilisation d'un matériel biologique, elle comporte les méthodologies suivantes :

2.1 Matériel biologique

Le matériel biologique est représenté par le matériel végétal et le matériel d'origine microbienne.

2.1.1 Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de jeunes plantules de fraisiers de la variété "Fortuna" (Figure 01) âgées, Stade 5 feuilles, achetés d'un fournisseur algérien.



Figure 06 : Plantules de fraisiers variété "Fortuna" (2021) utilisées dans l'expérimentation

2.1.2 Matériels microbiologique

Le matériel microbiologique regroupe trois isolats fongiques endémiques de *Trichoderma* spp. (T7, T8, et T9), issues de la Mycothèque de Dr Moumene S. (Université de Blida 1). Les isolats fongiques âgés de trois semaines, purifiés et conservés à l'abri des contaminations ont été produits en masse sur milieu PDA et incubés à 28°C (Messgo- Moumene, 2015). Le matériel bactériologique comprend trois souches bactériennes endémiques (M5, M7, et AC9), issues de la bactériothèque de Dr Moumene S., et ayant fait l'objet d'un projet de formation universitaire en 2021.

2.2 Mise en culture des fraises

La mise en culture correspond à l'installation des plans de fraisiers en pots, sous l'effet des bio-intrants, au niveau de la serre de l'INPV.

Elle passe par les quatre étapes suivantes :

Chapitre 2 Matériels et méthodes

2.2.1 Préparation des pots

On a commencés par préparer le substrat qui consiste à mélanger 2/3 du sol avec 1/3 de tourbe et sable. L'ensemble des pots ont été remplis avec le substrat préparé à raison de 2 Kg par pot. Dans chaque substrat de pot a été plantée une plantule de fraisier. On a achevé par arrosée tous les pots avec la même quantité d'eau du robinet.

2.2.2 Préparation des suspensions microbiennes

Les trois isolats fongiques de *Trichoderma* spp. (T7, T8, et T9) ont fait l'objet de préparation de suspension conidiennes denses. Ainsi un volume de 10 ml d'eau distillée stérile a été déposé dans chacune des cultures de chaque isolat, puis raclées par des pipettes pasteur en présence de flamme de bec benzène. La suspension de culture de chaque isolat fongique a été placée séparément dans un tube à essai stérile, puis homogénéiser séparément au vortex. La concentration en spores a été évaluée à l'aide d'une cellule de Malassez sous microscope photonique. La concentration en spores de chaque isolat a été ajustée à une concentration de 10^8 spores/ml.

Par ailleurs les trois suspensions bactériennes préparées à partir de chacune des cultures bactériennes (M5, M7, et AC9) à raison d'une culture bactérienne pour 100 ml d'eau distillée stérile, jusqu'une densité optique a une longueur d'onde adapté 600 ou 650nm.

Elles ont été préparées à partir des crèmes bactériennes âgées de 24 heures et cultivées sur milieu LPGA (King et *al.*, 1954), par homogénéisation à l'aide d'un agitateur vortex à raison de 100 Tr/min dans 100 ml d'eau distillée stérile. La concentration de la suspension a été évaluée à l'aide d'un spectrophotomètre visible en se basant sur la lecture de la densité

optique de chaque suspension lue à une longueur d'onde de 600nm pour arriver a une concentration de 10^8 .

2.2.3 Mode d'application des traitements

Dix plants de fraisiers ont été pris en considération pour chaque traitement, dont deux modes d'applications, ont été retenus.

Chapitre 2 Matériels et méthodes

2.2.3.1 Mode d'application par arrosage

L'arrosage des plants de fraisiers a été réalisé séparément par chacune des suspensions des trois isolats de *Trichoderma* spp. (T7, T8, et T9), et par celles des trois suspensions bactériennes (M5, M7, et AC9), à raison de 20 ml par pot et par isolat.

Ainsi, quatre arrosages ont été appliqués durant deux mois avant floraison.

2.2.3.2 Mode d'application par pulvérisation

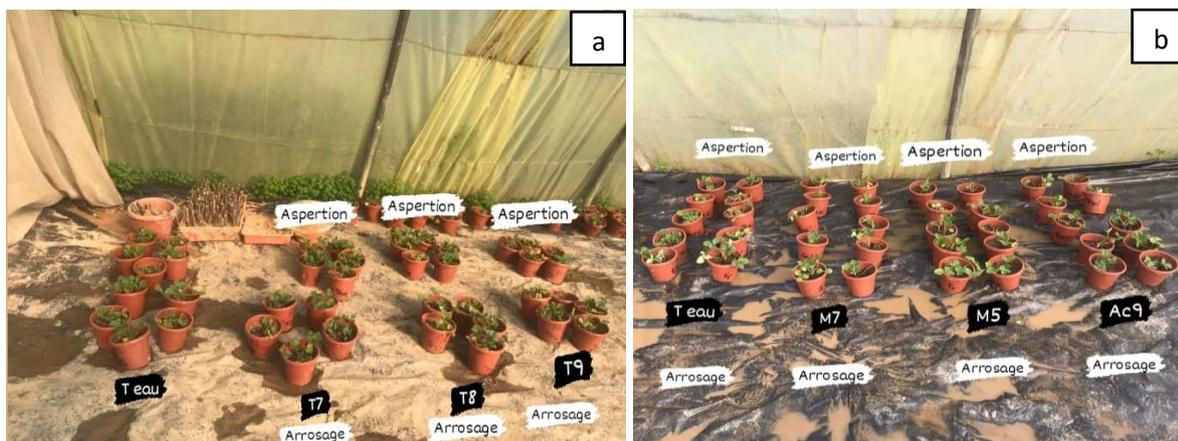
L'aspersion des plants de fraisiers a été réalisée séparément par chacune des suspensions des trois isolats de *Trichoderma* spp. (T7, T8, et T9), et celles des trois suspensions bactériennes (M5, M7, et AC9) à raison de 20 ml par pot et par isolat.

Ainsi, quatre aspersion ont été appliquées durant deux mois avant floraison.

2.2.4 Préparation de la serre expérimentale

La préparation de la serre a débuté par le désherbage manuel au niveau puis, la couverture du sol par un film plastique avant le dépôt des pots de plantules de fraises.

Le dispositif expérimental a été réparti en blocs aléatoires complets sous serre. Il contient 80 pots catégorisé en 10 pots pour chaque traitement, 5 pots pour chacun des modes d'application à raison d'un plant par pot (Figure 02). L'arrosage a été effectué tous les matins chaque deux jours à l'aide de l'eau de robinet durant huit mois de culture.



Chapitre 2 Matériels et méthodes

a : dispositif expérimental de la culture de fraisier sous l'effet des isolats fongiques (T7, T8, et T9),

b : dispositif expérimental de la culture de fraisier sous l'effet des isolats bactériens (M5, M7, et AC9).

Figure 07 : Dispositif expérimental de la culture de fraisier sous l'effet des traitements biologique microbiens endémiques selon les modes d'application par arrosage et par aspersion.

2.2.5 Evaluation de la croissance de la culture de fraisier

La culture a été suivie jusqu'à l'apparition des fruits, les paramètres de croissance ont été évalués pour l'ensemble des plants cultivés de fraisiers, selon les traitements appliqués et selon les modes d'application réalisés. Ces paramètres ont été également complétés par l'évaluation des teneurs en pigments foliaires.

2.2.5.1 Paramètres de croissance des plantules de fraisiers

Les paramètres de croissance retenus concernent la mesure de longueur de la tige, le comptage du nombre de feuilles, la mesure de la surface foliaire, le dénombrement de fleurs par plant, et le nombre de fruits produits par plant, ainsi que la longueur des racines par plant.

2.2.6 Evaluation quantitative et qualitative de la production des fraises en pots

Les plants de fraisiers cultivés selon l'application des différents isolats microbiens endémiques sous serre, ont été suivis jusqu'à la maturité des fruits.

2.2.6.1 Evaluation du rendement en fruits

L'évaluation du rendement a été réalisée par plantule de fraises. Dans ce sens, la récolte et l'échantillonnage des fraises ont été réalisés dans le but de leur évaluation quantitative.

L'état phytosanitaire a été également évalué, il a été basé sur l'observation visuelle des symptômes développés sur plants et fruits.

2.2.6.1 Evaluation de la qualité des fruits

L'évaluation quantitative des fruits repose sur les paramètres suivants :

2.2.6.2 Evaluation de la teneur en eau, en matière sèche, et en cendres

Dans une capsule séchée à l'étuve, à une température de 105°C et tarée au préalable, 1 à 2 g de chacun des échantillons de fraises à analyser ont été introduits. Chaque capsule a été placée dans une étuve à circulation d'air réglée à 105°C et, mise en incubation durant 24h.

Les capsules ont été placées au dessiccateur pour refroidir puis, mises à peser à l'aide d'une balance de précision ; Les capsules ont été remises une heure à l'étuve pour procéder à une nouvelle pesée. L'opération est poursuivie jusqu'à obtention d'un poids constant .

La teneur en MS est calculée selon la formule décrite par AFNOR, 1982 :

$$\text{MS \%} = \text{Y/X} * 100$$

Y : poids de l'échantillon après dessiccation

X : poids de l'échantillon fraise

2.2.6.4 Evaluation de la teneur en cendre

Selon AFNOR, 1982, cette méthode est basée sur la destruction totale de toutes les particules charbonneuses et la pesée de la matière minérale restante. La poudre de (2 g) est mise dans des capsules (M_1) qui sont placées dans un four réglé à 550°C pendant cinq heures jusqu'à obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre, après refroidissement on pèse les capsules (M_2).

On exprime la matière organique par la formule suivante :

$$\text{MO \%} = (\text{M}_1 - \text{M}_2 / \text{P}) \times 100$$

La teneur en cendre (cd) est calculée comme suit :

$Cd = 100 - MO\%$

Où :

MO : matière organique en %

M₁ : masse des capsules + prise d'essai

M₂ : masse des capsules + cendres

P : masse de la prise d'essai

2.2.6.3 Teneurs potentiels hydrogène (pH)

Les pH des jus de fraises préparés à partir de chacun des échantillons de fraises récoltés ont été mesurés à l'aide d'un pH mètre étalonné par des solutions tampons de pH=4 et pH=7. La méthode consiste à plonger deux sondes dans l'échantillon à raison de 2 cm de profondeur et les maintenir sur le support. Les valeurs sont lues directement sur le pH mètre.

2.2.6.4 Teneurs en sucres solubles

Les taux de sucres solubles totaux contenus trouvés dans chaque échantillon de fraises récoltés à partir de la culture en pots, ont été dosés par la méthode du Dubois et *al.* (1956). Elle consiste à prélever 100 mg de matière fraîche de chaque échantillon de fraises, dans des tubes à essais, au quels ont été ajoutés 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres, à la température ambiante pendant 48 h et à l'obscurité. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80° C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube est ajouté 20ml d'eau distillée à chaque extrait : C'est la solution à analyser de chacun des échantillons de fruit. Dans des tubes à essais stériles, on met 2 ml de chaque échantillon de fraises à analyser, auquel est ajouté 1 ml de solution aqueuse de phénol préparée à 5%. Le volume est complété rapidement avec 5 ml d'acide sulfurique à 96% tout en évitant de le verser contre les parois du tube. La solution obtenue est de couleur jaune orange à la surface. Cette dernière est mise en agitation à l'aide d'un vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. Les tubes ont été mis en incubation à la température ambiante pendant 10min. puis, ont été placées au bain-marie pendant 10 à 20 min à une température de 30°C.

Les mesures d'absorbances ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre à UV-visible à une longueur d'onde de 485 nm, Dubois et *al.* (1956).

Chapitre 2 Matériels et méthodes

La courbe d'étalonnage des sucres solubles totaux (saccharose, glucose, et fructose) est tracée selon l'équation suivante : $Y=3.868X$, la concentration en sucres solubles totaux a été calculée pour chacun des échantillons de fraises récoltés.

2.2.6.5 Teneurs en vitamine C

Le dosage de la vitamine C a été réalisé pour chacun des échantillons de fruits récoltés selon la méthode spectrophotométrique. (Kolthoff et Sandel, 1936).

Cette technique consiste à préparer une gamme de dilutions à partir d'une solution mère d'acide ascorbique de concentration connue. L'absorbance des solutions diluées est mesurée ensuite pour chaque tube.

La préparation de la solution mère d'acide ascorbique de 10 ml consiste à dissoudre 0,0176 g d'acide ascorbique dans 100 ml d'eau distillée froide à pH=5, à laquelle trois gouttes d'acide phosphorique ont été ajoutées pour stabiliser l'acide ascorbique dans sa forme réduite.

Ainsi, 0.2 g de jus de fraises a été prélevé de chaque échantillon de fraises récolté, après leur dilution avec 20 ml d'eau distillée. La densité optique de chaque échantillon a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre. D'une longueur d'onde 245 nm dans une cuvette en quartz contre un blanc réactif à l'aide d'un spectrophotomètre.

La courbe d'étalonnage de la vitamine C est tracée selon l'équation suivante :

$$Y=0.5196X-0.1009$$

X : la concentration de l'échantillon de fraise,

Y : la densité optique de la vitamine C

2.2.6.6 Métabolites secondaires

Les métabolites secondaires dont, les composés phénoliques représentés par les polyphénols totaux et les flavonoïdes ont été évalués pour chaque échantillon de fraise récolté.

Chapitre 2 Matériels et méthodes

2.2.6.6.1 Teneurs en polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux des échantillons de fraises récoltés a été effectué par spectrophotométrie selon la méthode du réactif de Folin - Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999).

Ce dosage est fondé sur la quantification de la concentration totale de groupements hydroxyles présents dans l'extrait. Une quantité de chacun des échantillons de fraises récoltés puis transformés en jus et, 200 µl de jus a été mélangé avec 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu fraîchement préparé (10 fois dilué) et 0.8 ml de Na₂CO₃ à 7.5%. L'ensemble est incubé à la température ambiante pendant 30 minutes. La lecture de l'absorbance est effectuée à 765 nm. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalent d'acide gallique par g de matière végétale.

Les teneurs en polyphénols totaux des jus de fruits récoltés ont été calculés à partir d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y = ax + b$) d'établie à partir des concentrations précises d'acide gallique comme standard de référence, dans les mêmes conditions que l'échantillon.

2.2.6.6.2 Teneurs en flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes totaux des échantillons de fraises récoltés ont été évaluées selon la méthode décrite par Djeridane *et al.* (2006).

Ce qui consiste à prélever 1,5 ml de jus de chaque échantillon de fraises récolté auquel est ajouté 1,5 ml de chlorure d'aluminium AlCl₃ préparé à 2%. Après une heure d'incubation à la température ambiante, l'absorbance est mesurée à 420nm.

La concentration en flavonoïdes, exprimée en mg d'équivalent de Quercitine (E.Q)/100g d'échantillon de jus de fraises, est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions que précédemment.

2.2.6.7 L'effet colonisateur des souches microbiennes

Les racines des plantes de fraises cultivées sous les effets des souches et celle des témoins ont été prélevées séparément puis, rincées abondamment sous un courant d'eau pour éliminer le sol.

Elles ont été découpé en petits fragments, qui ont été désinfectés à l'aide d'une solution d'un hypochlorite de sodium dilué à 2 % pendant 10 min. Ces fragments ont été rincés avec de l'eau distillée stérile à raison de trois rinçages successifs pendant 10 min. Après séchage, à l'aide

Chapitre 2 Matériels et méthodes

d'un papier filtre stérile, les fragments racinaires issus des plantes cultivées des isolats fongiques de *Trichoderma* ont été déposés dans des boîtes de Pétri contenant le milieu PDA, l'incubation faite à 28° C pendant 72 heures.

En parallèle, les plantes cultivées sous l'effet des trois souches bactériennes endémiques, ont subis les mêmes étapes décrites précédemment.

Sauf, que les racines des plantes cultivées ont été déposées dans des boîtes de pétri contenant le milieu LPGA, leur incubation a été faite à 25°C pendant 24 heures

Chapitre 3 : Résultats et discussions

Chapitre 3 Résultat et discussion

Source	ddl	Somme des carrés des écarts	Moyenne	F	P	
Traitements	6	37.23	6.205	2.55	0.034	3 Résultats et
Modes de traitements	1	22.69	22.688	9.14	0.004	

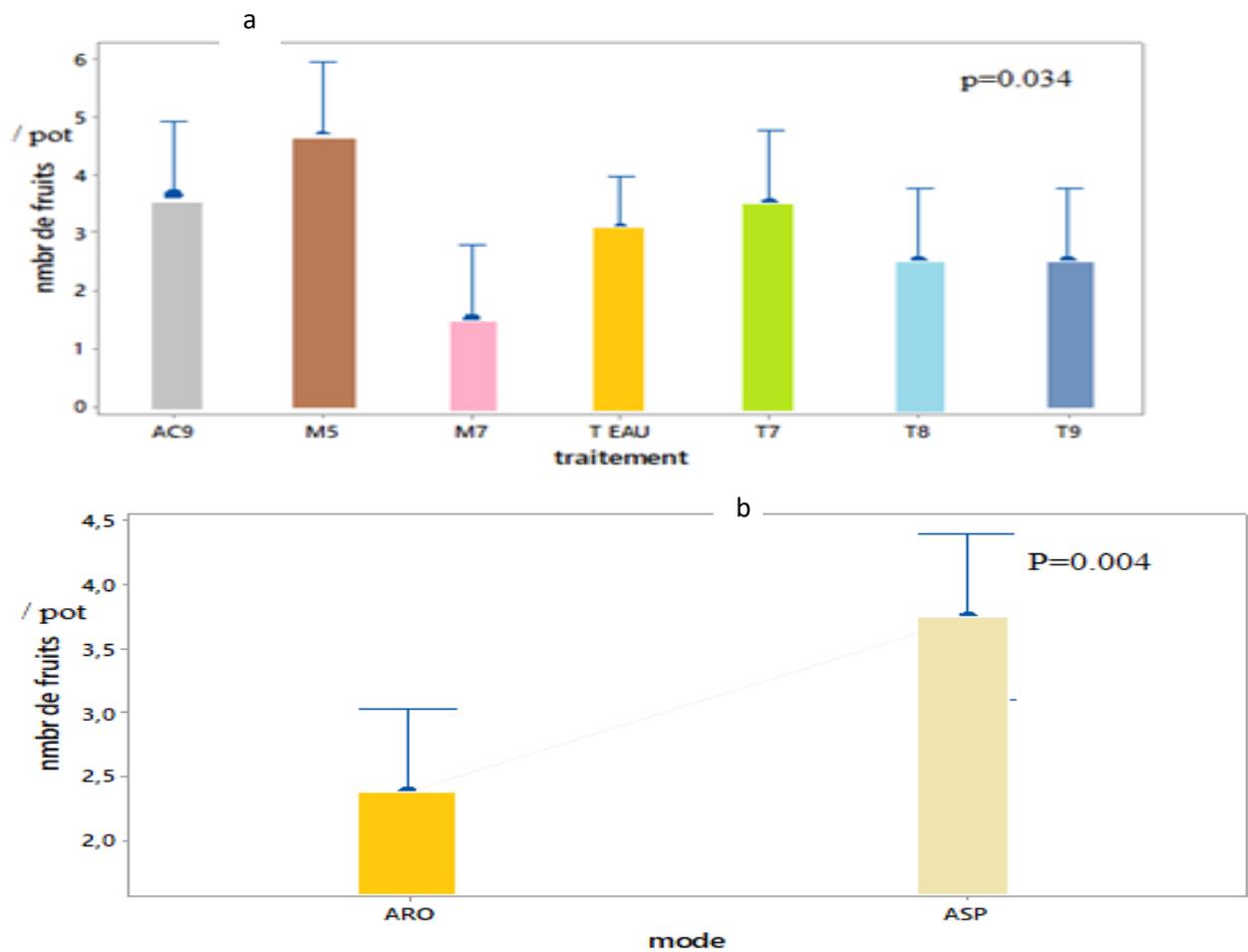
discussion

3.1 Paramètres

3.1.1 Nombre de fruits

Tableau 3 : Analyse de la variance du nombre de fraises produites par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.

L'analyse de la variance du nombre de fraises produites sous l'effet des différents intrants microbiens endémiques a montré une différence significative selon les traitements ($P=0,034$; $F=2,55$) et selon leurs modes d'application ($P=0,004$; $F=9,14$) (Tableau A).



Aro : Arrosage, ASP : aspersion , T7, T8 et T9 : isolats de *Trichoderma* sp.,

AC9, M5 et M7 : Isolats bactériens, TEau : Témoins

Figure 08 : Analyse de la variance du nombre de fraises produites en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b)

Le nombre de fraises produites variait entre 1,50 et 4,64 selon les différents traitements (Figure Aa) et entre 2,37 et 3,75 selon leurs modes d'application (Figure Ab).

Tableau 4a' : Classement des traitements par le test de Tukey selon le nombre de fraises produites.

Traitements	N	Nombre moyen fraises produites	Groupes de homogènes
M5	6	4.67	A
AC9	6	3.66	AB
T7	6	3.50	AB
Témoins	12	3.08	AB
T9	6	2.50	AB
T8	6	2.50	AB
M7	6	1.50	B

Le classement des traitements par le test de Tukey selon le nombre de fraises produites par plant a mis en évidence trois groupes homogènes suivants (Tableau Aa') :

- Groupe 1 comprend l'isolat bactérien endémique M5 ayant induit une production de 4,67 fraises par plant.
- Groupe 2 comprend l'isolat bactérien endémique AC9, le témoin et les isolats de *Trichoderma* spp. T7, T9 et T8 ayant induit une production comprise entre 2,50 et 3,66 de de fraises par plant.
- Groupe 3 comprend l'isolat bactérien endémique M7 ayant induit une production de 1,50 fraise par plant.

Modes de traitements	N	Nombre moyen fraises produites	Groupes de homogènes
ASP	24	3.75	A
ARO	24	2.37	B

Tableau 4b' : Classement des modes de traitements par le test de Tukey selon le nombre de fraises produites

Le classement des modes d'application des traitements par le test de Tukey selon le nombre de fraises produites a mis en évidence deux groupes homogènes suivants (Tableau Ab') :

- Groupe 1 correspond au mode d'application des traitements par aspersion ayant induit une production de fraises de 3,75.
- Groupe 2 correspond au mode d'application des traitements par arrosage ayant induit une production de fraises de 2,37.

a

Source	Ddl	Somme des carrés des écarts	Moyenne	F	P
Traitements	6	65.40	10.899	6.71	0.000
Modes de traitements	de 1	0,521	0,5208	0,08	0,776

b



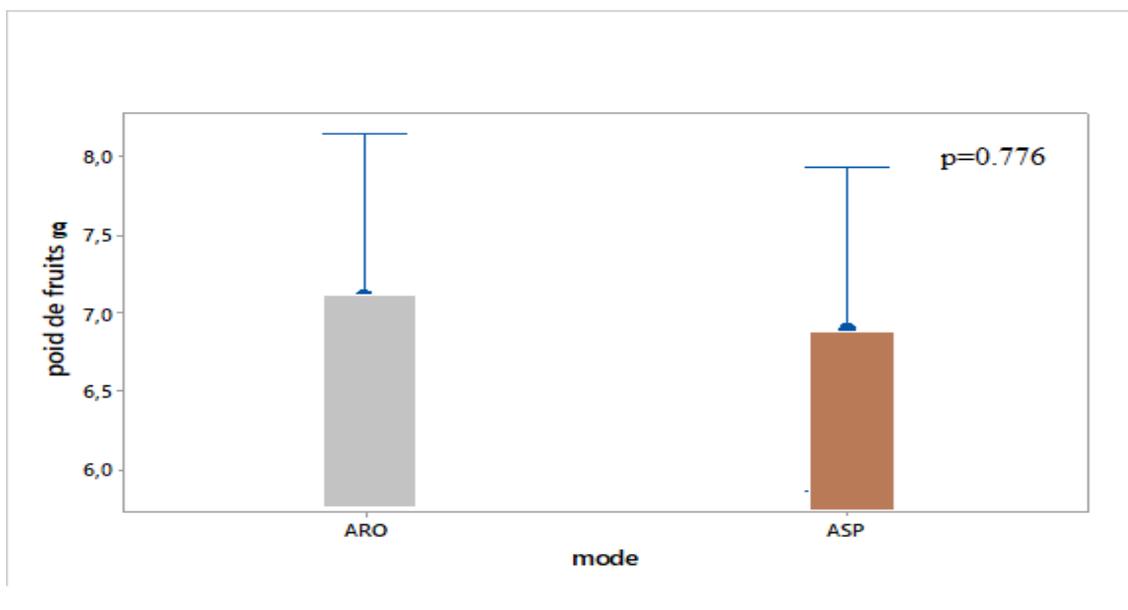
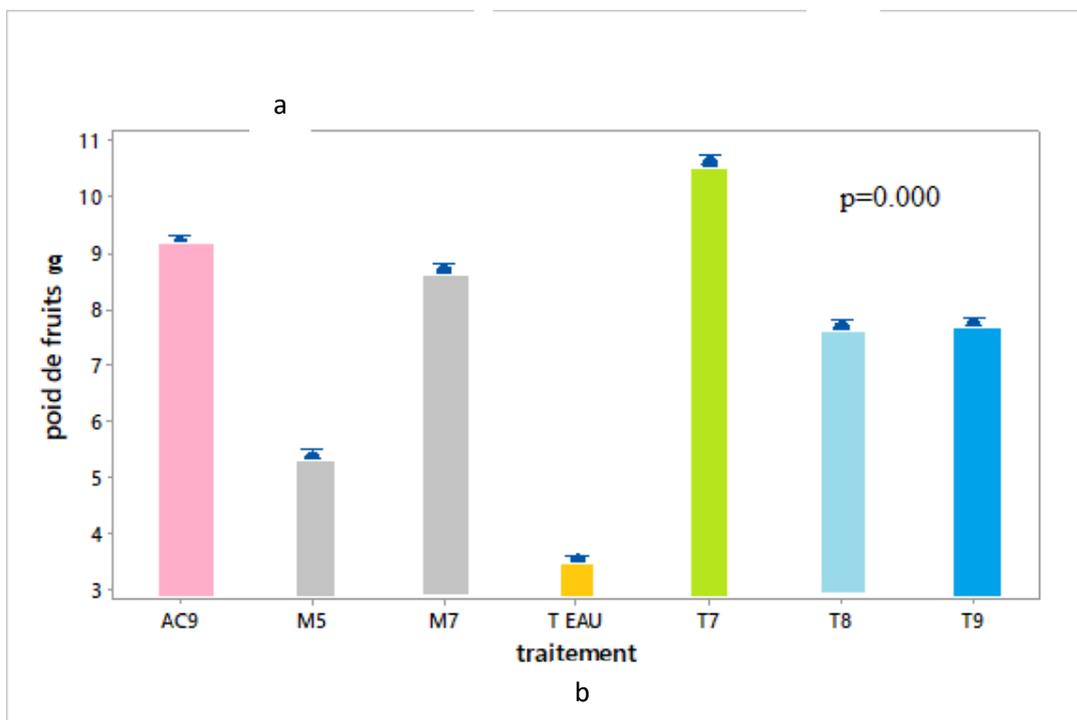
Figure 09 : fraisiers sous traitements M5(a) , traitements M7 (b)

3.1.2 Poids des fruits

Tableau 5: Analyse de la variance du poids des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.

Chapitre 3 Résultat et discussion

L'analyse de la variance du poids de fraises produites sous l'effet des différents intrants microbiens endémiques a montré une différence très hautement significative selon les traitements ($P=0,000$; $F=6,71$) et selon leurs modes d'application ($P=0,000$; $F=1,69$) (Tableau B).



Aro : Arrosage, ASP : aspersion , T7, T8 et T9 : isolats de *Trichoderma* sp.,

Chapitre 3 Résultat et discussion

AC9, M5 et M7 : Isolats bactériens, TEau : Témoins

Figure 10: Analyse de la variance des poids des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).

Le poids des fraises produites variait entre 3,50g et 10,56g selon les différents traitements (Figure Ba) et entre 6,90g et 7,11g selon leurs modes d'application (Figure Bb).

Tableau 6 : Classement des traitements et des modes de traitements par le test de Tukey selon le poids des fraises .

Traitements	N	Poids moyen du fruit (g)	Groupes homogènes
T7	6	10.56	A
AC9	6	9.16	B
M7	6	8.66	C
T9	6	7.68	D
T8	6	7.65	D
M5	6	5.33	E
Témoins	12	3.50	F

Le classement des traitements par le test de Tukey selon le poids des fraises produites a mis en évidence six groupes homogènes suivants (Tableau B') :

- Groupe 1 comprend l'isolat de *Trichoderma* sp. T7 ayant induit une production de fraises de 10,56g.
- Groupe 2 comprend l'isolat bactérien endémique AC9 ayant induit une production de fraises de 9,16g.
- Groupe 3 comprend l'isolat bactérien endémique M7 ayant induit une production de fraises de 8,66g.
- Groupe 4 comprend les isolats de *Trichoderma* sp. T9 et T8 ayant induit une production de fraises de 7,65 et 7,68g.
- Groupe 5 comprend l'isolat bactérien endémique M5 ayant induit une production de fraises de 5,33g.

Chapitre 3 Résultat et discussion

Source	Ddl	Somme des carrés	des écart	Carré des moy	F	P
Traitement	6	100.72		16.787	15.25	0.000
Modes de traitements	1	0,168		0,1680	0,05	0,819

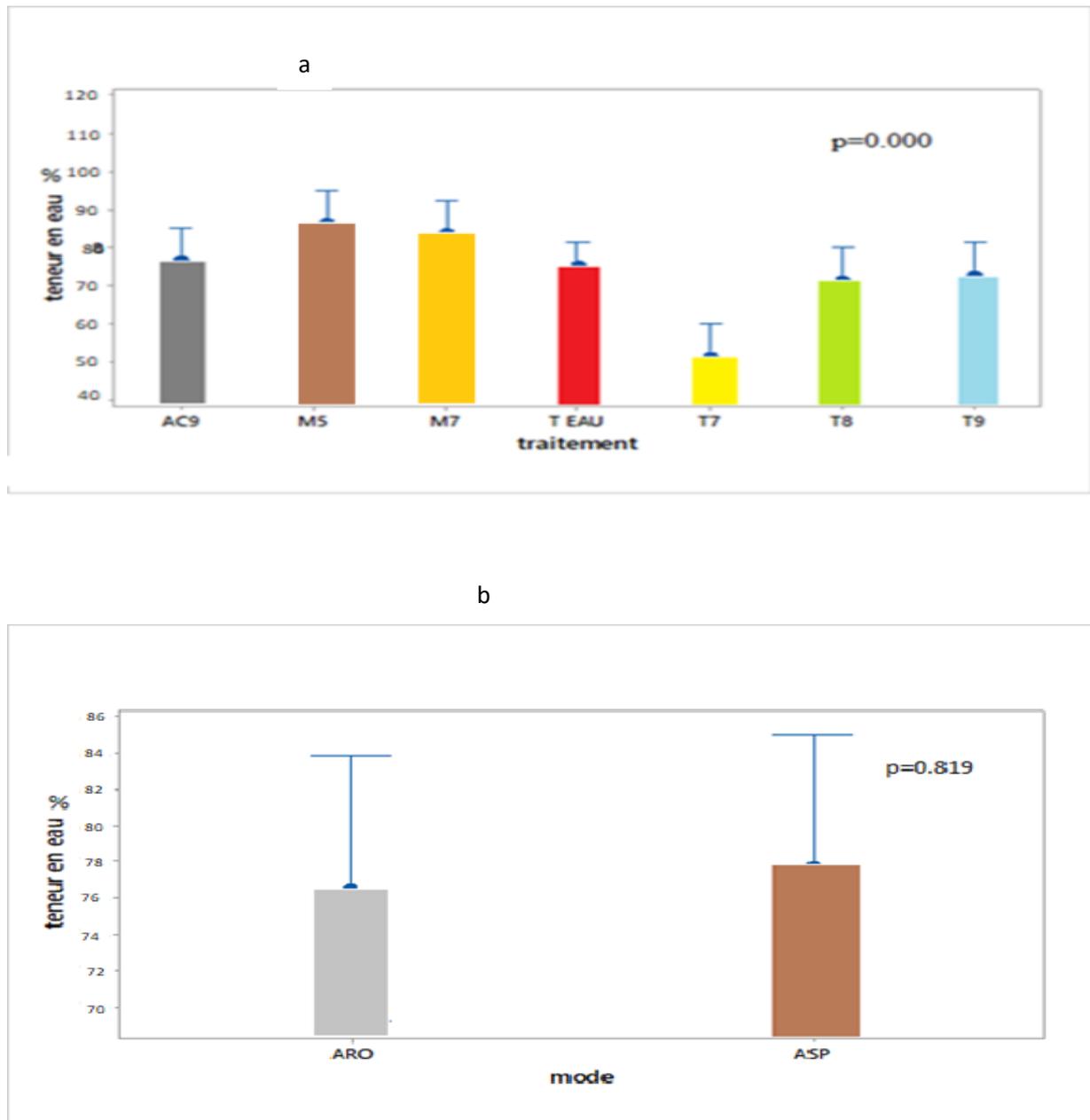
- Groupe 6 comprend les témoins ayant induit une production de fraises de 3,50g.

1.1 Evaluation qualitative des fraises

3.1.3 Teneurs en eau

Tableau 7: Analyse de la variance des teneurs en eau des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.

L'analyse de la variance des teneurs en eau des fraises produites sous l'effet des différents intrants microbiens endémiques a montré une différence très hautement significative selon les traitements ($P=0,000$; $F=15,25$) mais, une différence non significative a été enregistrée selon leurs modes d'application ($P=0,819$; $F=0,05$) (Tableau C).



Aro : Arrosage, ASP : aspersion , T7, T8 et T9 : isolats de *Trichoderma* sp.,

AC9, M5 et M7 : Isolats bactériens, TEau : Témoins

Figure 11: Analyse de la variance des teneurs en eau des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).

Chapitre 3 Résultat et discussion

Traitements	N	Teneurs moyennes en eau (%)	Groupes homogènes
M5	6	90	A
M7	6	89,7	AB
Ac9	6	76,5	B
Témoin	12	75,2	B
T9	6	72,5	B
T8	6	71,1	B
T7	6	51,3	C

Les teneurs en eau des fraises produites variaient entre 53% et 90% selon les différents traitements (Figure Ca) et entre 76,2% et 77,1% selon leurs modes d'application (Figure Cb).

Tableau 8: Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs

en eau des fraises .

Le classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en eau des fraises produites a mis en évidence quatre groupes homogènes suivants (Tableau C') :

Chapitre 3 Résultat et discussion

Source	S.C.E	ddl	Carré moyen	F	P
Traitements	6	0.19216	0.032026	29.82	0.000
Modes de traitements	1	0,000675	0,000675	0,13	0,718

- Groupe 1 comprend l'isolat bactérien endémique M5 ayant induit une production de fraises d'une teneur en eau de 90%. Groupe 2 comprend l'isolat bactérien endémique M7 ayant induit une production de fraises d'une teneur en eau de 80,97%.
- Groupe 3 comprend l'isolat bactérien endémique AC9, les isolats de *Trichoderma* sp. T9, T8 et les témoins ayant induit une production de fraises d'une teneur en eau comprise entre 71,1 et 76,5%.
- Groupe 4 comprend l'isolat de *Trichoderma* sp. T7 ayant induit une production de fraises d'une teneur en eau de 51,3%.

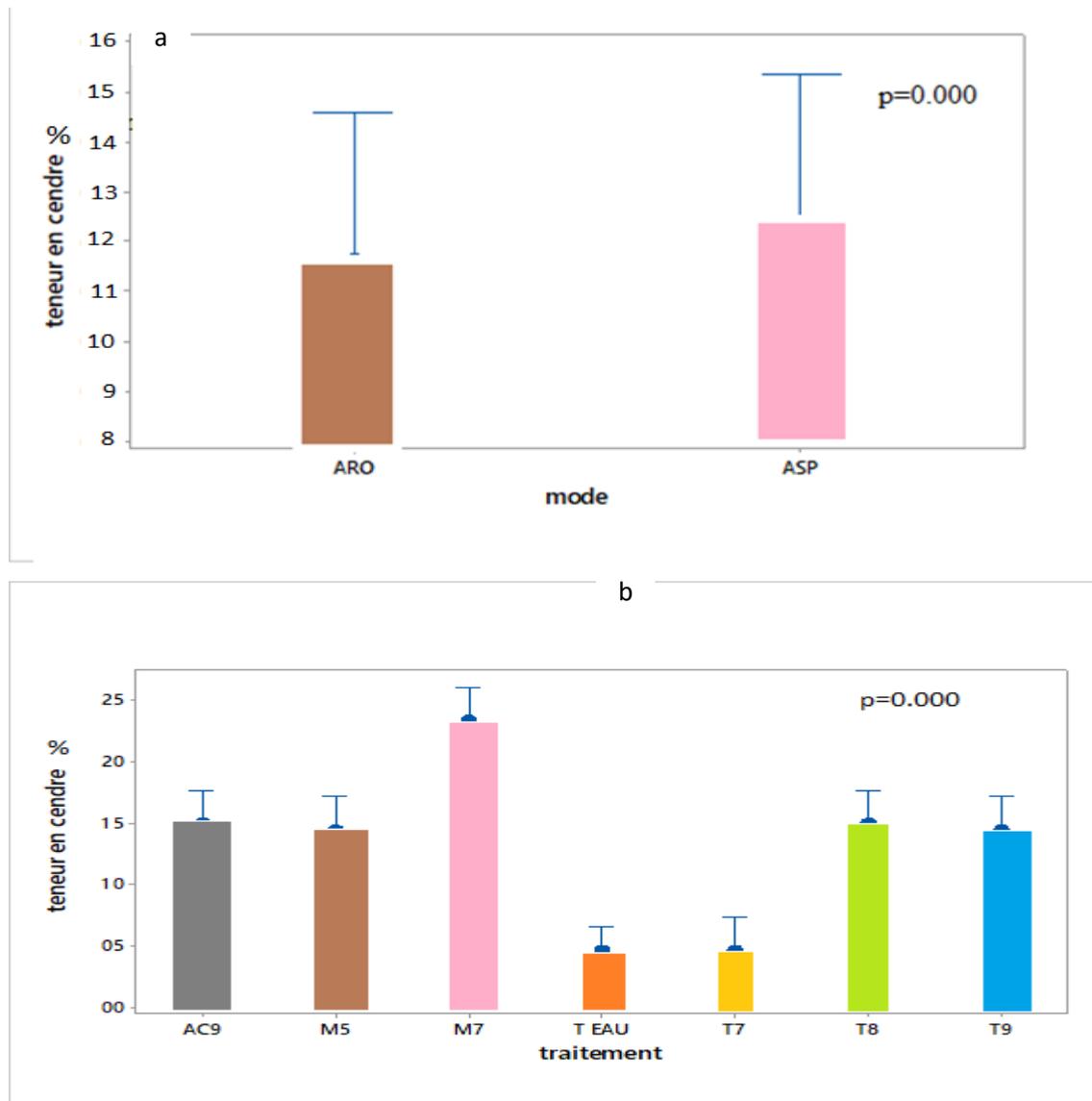
3.1.4 Taux de cendres ou Taux en matière minérale

Tableau 9: Analyse de la variance des taux de cendres des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.

L'analyse de la variance des taux de cendres des fraises produites sous l'effet des différents intrants microbiens endémiques a montré une différence très hautement significative selon les

Chapitre 3 Résultat et discussion

traitements ($P= 0,000$; $F=15,25$) mais, une différence non significative a été enregistrée selon leurs modes d'application ($P=0,718$; $F=0,13$) (Tableau D).



Aro : Arrosage, ASP : aspersion , T7, T8 et T9 : isolats de *Trichoderma* sp.,

AC9, M5 et M7 : Isolats bactériens, TEau : Témoins

Chapitre 3 Résultat et discussion

Traitements	N	Taux moyen en cendres (%)	Groupes homogènes
M7	6	23	A
T8	6	15	B
Ac9	6	15	B
T9	6	14	B
M5	6	14	B
T7	6	4	C
Témoins	12	4	C

Figure 12: Analyse de la variance des taux de cendres des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application(b).

Les taux de cendres des fraises produites variaient entre 4 et 23% selon les différents traitements (Figure Da) et entre 7,62 et 7,71% selon leurs modes d'application (Figure Db).

Tableau 10: Classement des traitements par le test de Tukey selon les taux de cendres des fraises .

Chapitre 3 Résultat et discussion

Source	ddl	Somme carré des écarts	Moyenn e	F	P
Traitements	6	1,27	0,21	9,42	0,000
Modes de traitements	1	0,016	0,36	0,016	0,553

Le classement
des
traitements
par le test de

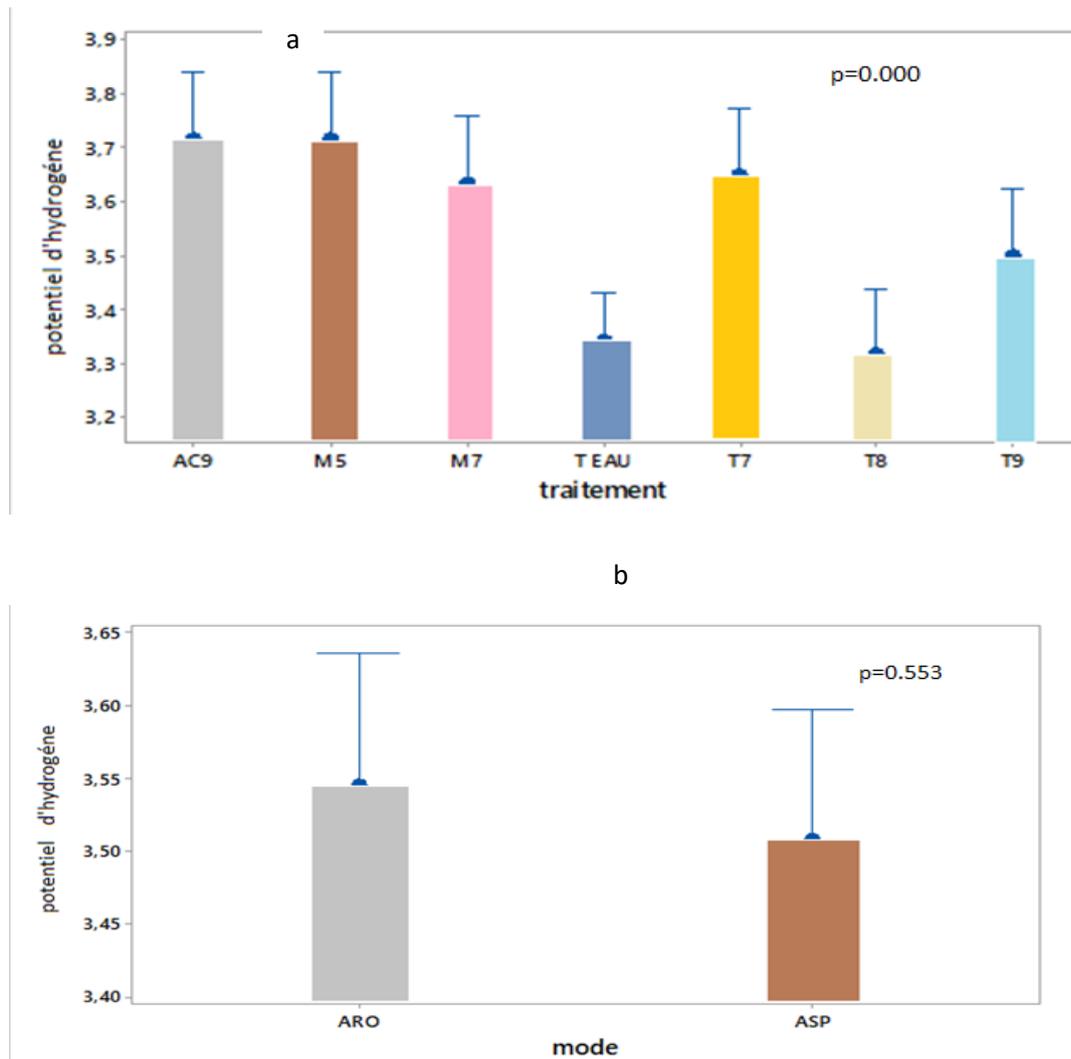
Tukey selon les taux de cendres des fraises produites a mis en évidence trois groupes homogènes suivants (Tableau D') :

- Groupe 1 comprend l'isolat bactérien endémique M7 ayant induit une production de fraises d'un taux de cendre 23%.
- Groupe 2 comprend les isolats bactériens endémiques AC9 et M5 et les isolats de *Trichoderma* sp. T8 et T9 ayant induit une production de fraises d'un taux de cendres compris entre 14 et 15%.
- Groupe 3 comprend l'isolat de *Trichoderma* sp. T7 et les témoins ayant induit une production de fraises d'un taux de cendres de 4%.

3.1.5 pH des fruits

Tableau 11 : Analyse de la variance des valeurs de pH des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application

L'analyse de la variance des valeurs de pH des fraises produites sous l'effet des différents intrants microbiens endémiques a montré une différence significative selon les traitements (P=0,000 ; F=9,42) mais, une différence non significative a été enregistrée selon leurs modes d'application (P=0,553 ; F=0,016) (Tableau E).



Aro : Arrosage, ASP : aspersion , T7, T8 et T9 : isolats de *Trichoderma* sp.,

AC9, M5 et M7 : Isolats bactériens, TEau : Témoins

Figure 13 : Analyse de la variance des taux de cendres des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application(b).

Les valeurs de pH des fraises produites variaient entre 3,31 et 3,71 selon les différents traitements (Figure Ea) et entre 3,52 et 3,55 selon leurs modes d'application (Figure Eb).

Tableau 12 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les valeurs de pH des fraises

Chapitre 3 Résultat et discussion

Traitements	N	Valeurs moyennes de Ph	Groupes homogènes
AC9	6	3,71	A
M5	6	3,71	A
T7	6	3,65	A
M7	6	3,63	A
T9	6	3,50	AB
Témoins	6	3,34	B
T8	6	3,31	B

Le classement des traitements par le test de Tukey selon les valeurs de pH des fraises produites a mis en évidence trois groupes homogènes suivants (Tableau E') :

- Groupe 1 comprend les isolats bactériens endémiques : AC9, M5 et M7 ainsi que l'isolat de *Trichoderma* sp. T7 ayant induit une production de fraises dont, les valeurs de pH sont comprises entre 3,63 et 3,71.
- Groupe 2 comprend l'isolat de *Trichoderma* sp. T9 ayant induit une production de fraises dont, la valeur de pH est de 3,50.
- Groupe 3 comprend l'isolat de *Trichoderma* sp. T8 et les témoins ayant induit une production de fraises dont, les valeurs de pH sont comprises entre 3,31 et 3,34.

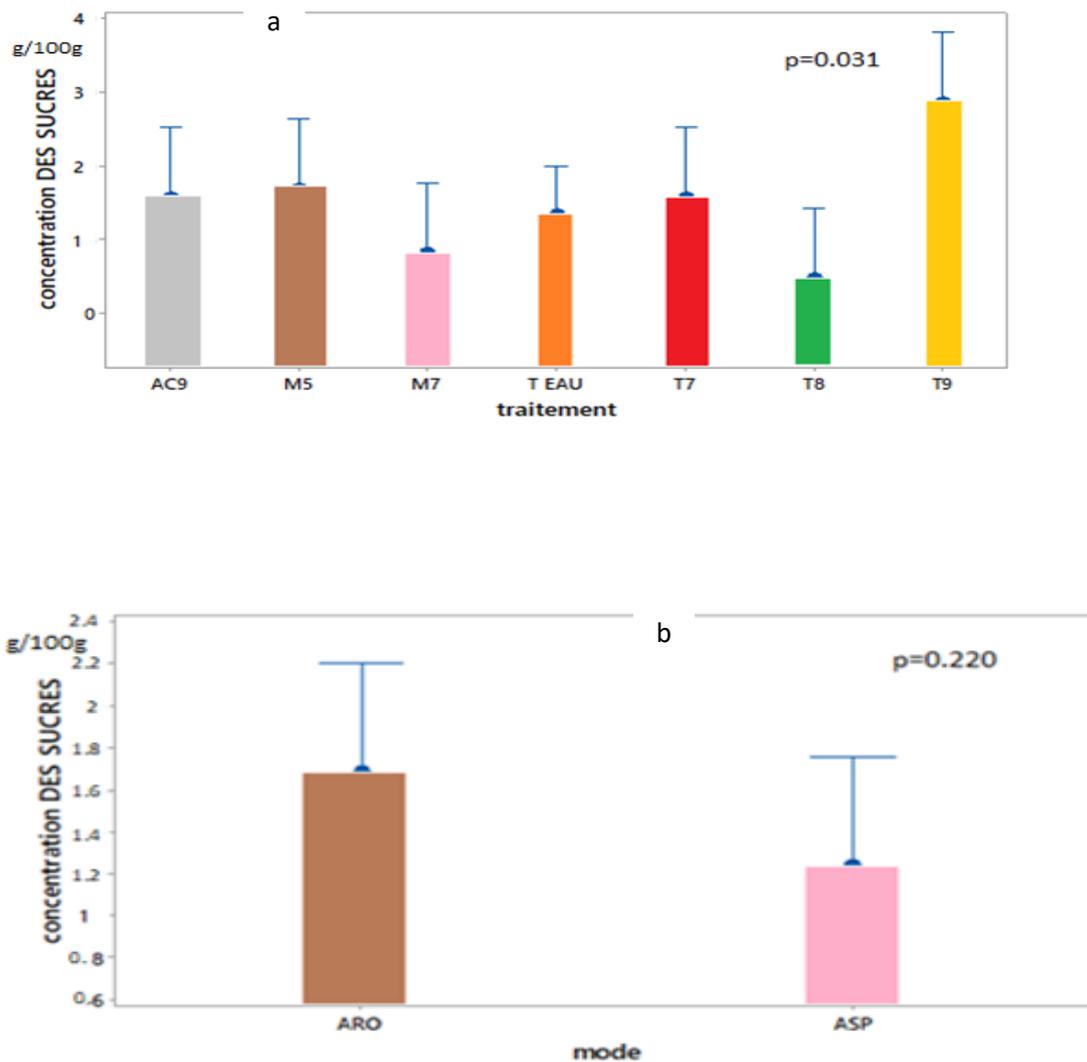
Source	ddl	Somme des écarts carré	Moyenne	F	P
Traitements	6	2064	344,0	2,61	0,031
Modes de traitements	1	242,2	242,2	1,54	0,220

3.1.6 Teneurs en sucres totaux

Tableau 13 : Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs

modes d'application.

- L'analyse de la variance des teneurs en sucres totaux des fraises produites sous l'effet des différents intrants microbiens endémiques a montré une différence significative selon les traitements (P= 0,031; F=2,61) mais, une différence non significative a été enregistrée selon leurs modes d'application (P=0,220 ; F=1,54) (Tableau F).



- Aro : Arrosage, ASP : aspersion , T7, T8 et T9 : isolats de *Trichoderma* sp.,
- AC9, M5 et M7 : Isolats bactériens, TEau : Témoins

Figure 14: Analyse de la variance des teneurs en sucres totaux des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).

Les teneurs en sucres totaux des fraises produites variaient entre 4,82 et 2,868g/100g selon les différents traitements (Figure Fa) et entre 1,212 et 1,607g/100g selon leurs modes d'application (Figure Fb).

des

Traitements	N	Teneurs moyennes en sucres (g/100g)	Groupes homogènes
T9	6	2,866	A
M5	6	1,699	AB
T7	6	1,578	AB
M7	6	8.302	AB
AC9	6	1,578	AB
Témoin	6	1,349	AB
T8	6	4.82	B

Tableau 14: Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en sucres totaux fraises .

Le classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en sucres totaux des fraises produites a mis en évidence trois groupes homogènes suivants (Tableau F') :

- Groupe 1 comprend l'isolat de *Trichoderma* sp. endémique T9 ayant induit une production de fraises d'une teneur en sucres de 2,866 g/100g.
- Groupe 2 comprend les isolats bactériens endémiques M5, AC9 et M7 et l'isolat de *Trichoderma* sp. T7 et les témoins ayant induit une production de fraises d'une teneur en sucres comprise entre 1,349 et 1,699 g/100g.
- Groupe 3 comprend l'isolat de *Trichoderma* sp. T8 ayant induit une production de fraises d'une de sucres de 4,82g/100g.

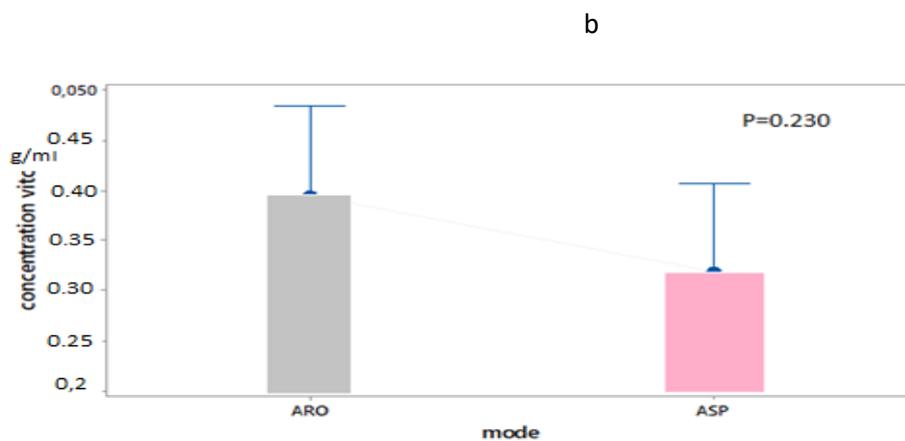
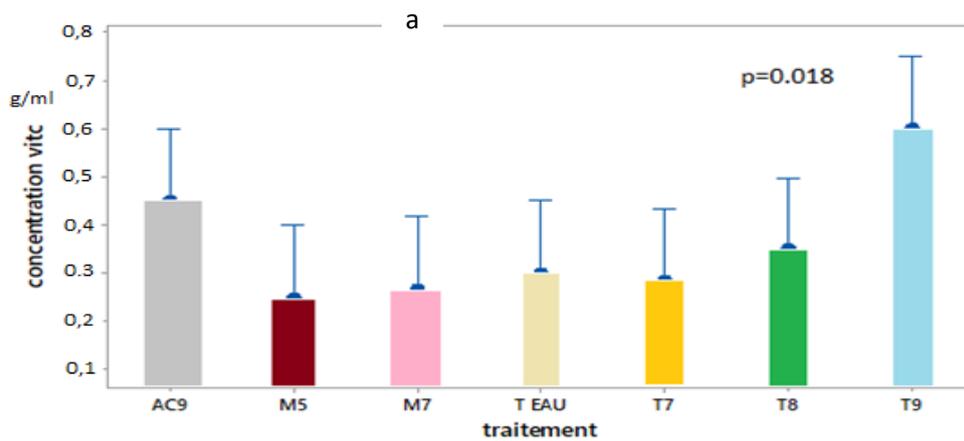
Chapitre 3 Résultat et discussion

Source	Ddl	Somme carré des ecarts	Moyenne des carrés	F	P
Traitements	6	0.005762	0.000960	2.98	0.018
Modes de traitements	1	0.000610	0.000910	1.48	0.230

3.1.7 Teneurs en vitamine C

Tableau 15 : Analyse de la variance des teneurs en vitamine C des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.

L'analyse de la variance des teneurs en vitamine C des fraises produites sous l'effet des différents intrants microbiens endémiques a montré une différence significative selon les traitements ($P= 0,018$; $F=2,98$) mais, une différence non significative a été enregistrée selon leurs modes d'application ($P=0,230$; $F=1,48$) (Tableau G).



Aro : Arrosage, ASP : aspersion , T7, T8 et T9 : isolats de *Trichoderma* sp.,

AC9, M5 et M7 : Isolats bactériens, TEau : Témoins

Figure 15: Analyse de la variance des teneurs en vitamine C des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).

Les teneurs en vitamine C des fraises produites variaient entre 0,2g/ml et 0,6 g/ml selon les différents traitements (Figure Ga) et entre 0,3 et 0,4g/ml selon leurs modes d'application (Figure Gb).

Tableau 16: Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en vitamine C des fraises .

Traitements	N	Teneur moyenne en vitamine C (g/l)	Groupes Homogènes
T9	6	0.60	A
AC9	6	0.45	AB
T8	6	0.30	AB
Témoin	6	0.30	AB
T7	6	0.26	AB
M7	6	0.26	B
M5	6	0.25	B

Le classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en vitamine C des fraises produites a mis en évidence trois groupes homogènes suivants (Tableau G') :

- Groupe 1 comprend l'isolat de *Trichoderma* sp. endémique T9 ayant induit une production de fraises d'une teneur en vitamine C de 0,60g/ml.
- Groupe 2 comprend l'isolat bactérien endémique AC9, les isolats de *Trichoderma* sp. T8 et T7 ainsi que les témoins ayant induit une production de fraises d'une teneur en vitamine C comprise entre 0,26 et 0,45g/ml.
- Groupe 3 comprend les isolats bactériens M7 et M5 ayant induit une production de fraises d'une teneur en vitamine C comprise entre 0,25 et 0,26g/ml.

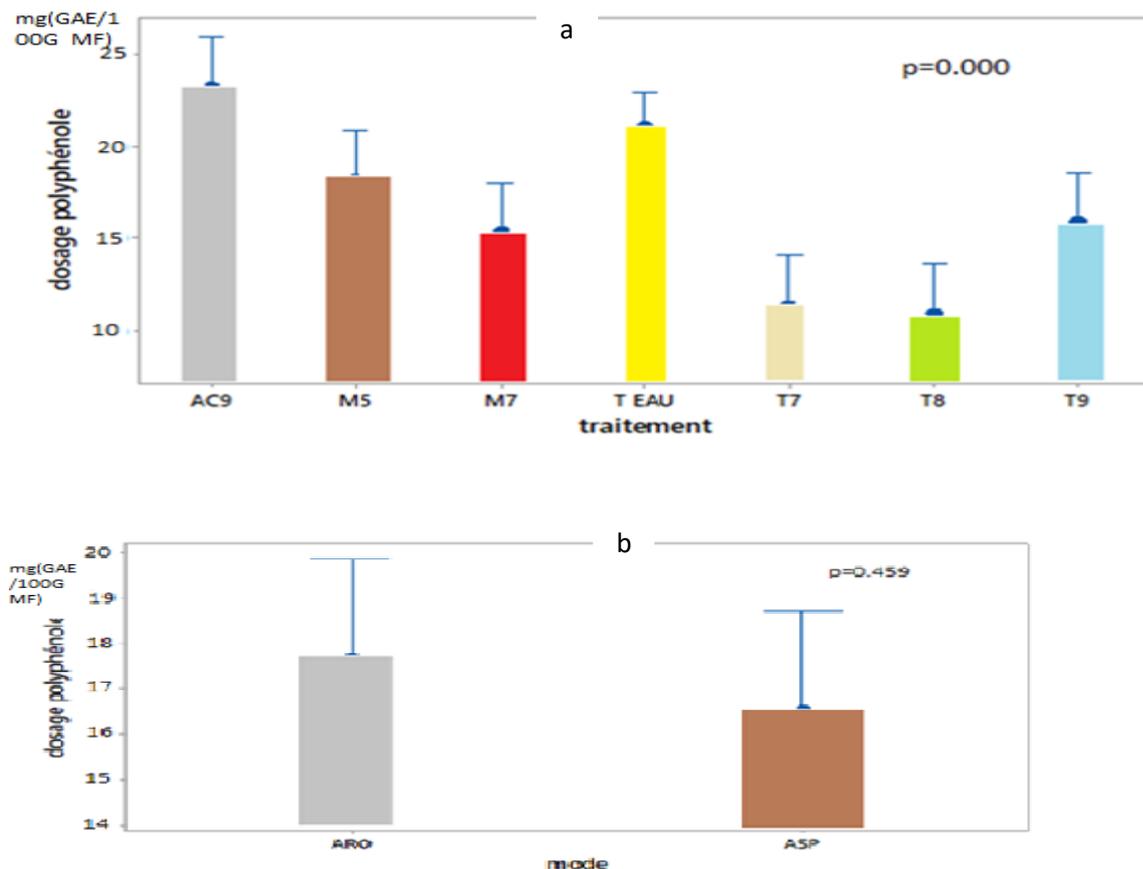
Chapitre 3 Résultat et discussion

Source	ddl	Somme des écarts carré	Moyenne	F	P
Traitements	6	86589	14432	13.26	0.000
Modes de traitements	1	1573	1573	0.56	0.459

3.1.8 Teneurs en polyphénols totaux

Tableau 17: Analyse de la variance des teneurs en polyphénols totaux des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.

L'analyse de la variance des teneurs en polyphénols totaux des fraises produites sous l'effet des différents intrants microbiens endémiques a montré une différence très hautement significative selon les traitements ($P= 0,000$; $F=13,26$) mais, une différence non significative a été enregistrée selon leurs modes d'application ($P=0,459$; $F=0,56$) (Tableau H).



Aro : Arrosage, ASP : aspersion , T7, T8 et T9 : isolats de *Trichoderma* sp.,

AC9, M5 et M7 : Isolats bactériens, TEau : Témoins

Figure 16: Analyse de la variance des teneurs en polyphénols totaux des fraises en modèle GLM selon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).

Les teneurs en polyphénols totaux des fraises produites variaient entre 10,95 mg eq AG/100g MF de fraises et 23,19 mg eq AG/100g MF de fraises selon les différents traitements (Figure Ha) et entre 16,80 et 17,90 mg eq AG/100g MF de fraises selon leurs modes d'application (Figure Hb).

Chapitre 3 Résultat et discussion

Tableau 18 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en polyphénols totaux des fraises.

Traitements	N	Teneur moyenne des polyphénols totaux (mg eq AG/100g MF de fraises)	Groupes homogènes
AC9	6	23,19	A
Témoin	12	21,02	A
M5	6	18,17	AB
T9	6	15,89	BC
M7	6	15,34	BC
T7	6	11,36	C
T8	6	10,95	C

Le classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en polyphénols totaux des fraises produites a mis en évidence quatre groupes homogènes suivants (Tableau H') :

- Groupe 1 comprend l'isolat bactérien AC9 et les témoins ayant induit une production de fraises d'une teneur en polyphénols totaux comprise entre 21,02 de 23,19mg eq AG/100g MF de fraises.
- Groupe 2 comprend l'isolat bactérien endémique M5 ayant induit une production de fraises d'une teneur en polyphénols de 18,17 mg eq AG/100g MF de fraises.
- Groupe 3 comprend les isolats bactériens M7 et l'isolat de *Trichoderma* sp. T9 ayant induit une production de fraises d'une teneur en polyphénols totaux comprise entre 15,34 et 15,89 mg eq AG/100g MF de fraises.
- Groupe 4 comprend les isolats de *Trichoderma* spp. T7 et T8 ayant induit une production de fraises d'une teneur en polyphénols totaux comprise entre 10,95 et 11,36 mg eq AG/100g MF de fraises.

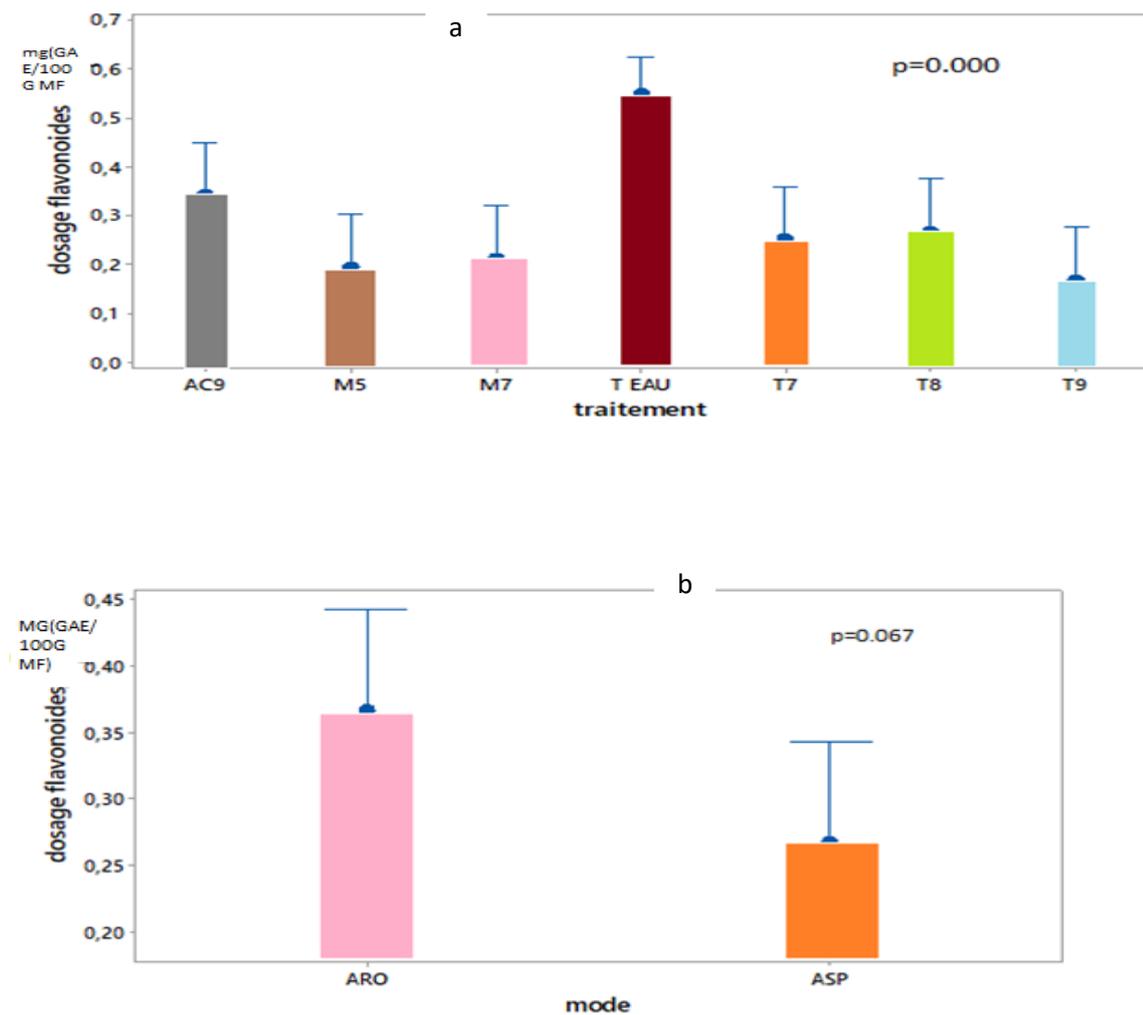
Source	ddl	Somme des carrés des écarts	Moyenne	F	P
Traitements	6	0.9799	0.16332	9.93	0.000
Modes de traitements	1	0.1175	0.11751	3.52	0.067

3.1.9 Teneurs en flavonoïdes

Tableau 19 :
Analyse de la

variance des teneurs en flavonoïdes des fraises par le test ANOVA selon les traitements et leurs modes d'application.

L'analyse de la variance des teneurs en flavonoïdes des fraises produites sous l'effet des différents intrants microbiens endémiques a montré une différence très hautement significative selon les traitements ($P=0,000$; $F=9,93$) mais, une différence non significative a été enregistrée selon leurs modes d'application ($P=0,067$; $F=3,52$) (Tableau I).



Aro : Arrosage, ASP : aspersion , T7, T8 et T9 : isolats de *Trichoderma* sp.,

AC9, M5 et M7 : Isolats bactériens, TEau : Témoins

Figure 17: Analyse de la variance des teneurs en flavonoïdes des fraises en modèle GLMselon les traitements (a) et leurs modes d'application (b).

Les teneurs en flavonoïdes des fraises produites variaient entre 0,17 et 0,55mg eq Quercetine/g de MF et 231,9mg eq Quercetine/100g de MF de fraises selon les différents traitements (Figure 1a) et entre 0,27 et 0,37mg eq Quercetine/100g MF de fraises selon leurs modes d'application (Figure 1b).

Chapitre 3 Résultat et discussion

Tableau 20 : Classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en flavonoïdes des fraises.

Traitements	N	Teneur moyenne en flavonoïdes (mg eq Quercetine /100g MF de fraises)	Groupes homogènes
Témoin	12	0.55	A
AC9	6	0.34	B
T8	6	0.26	B
T7	6	0.25	B
M7	6	0.21	B
M5	6	0.19	B
T9	6	0.17	B

Le classement des traitements par le test de Tukey selon les teneurs en flavonoïdes des fraises produites a mis en évidence deux groupes homogènes suivants (Tableau I') :

- Groupe 1 comprend les témoins ayant induit une production de fraises d'une teneur en flavonoïdes de 0,55 mg eq Quer/ 100g MF de fraises.
- Groupe 2 comprend l'ensemble des isolats bactériens : M7, M5 et AC9 et ceux de *Trichoderma* spp. T7, T8 et T9 ayant induit une production de fraises d'une teneur en flavonoïdes comprise entre de 0,17 et 0,34mg eq Quer/100g MF de fraises.

Chapitre 3 Résultat et discussion

Discussion

L'évaluation quantitative et qualitative de la production biologique de la variété « Fortuna » de fraises sous l'effet d'application d'intrants agricoles microbiens endémiques a mis en exergue une variabilité induite par l'application de ces intrants biologiques sur la production en nombre et en poids ainsi que sur quelques paramètres organoleptiques, biochimiques et chimiques.

Nous affirmons l'impact positif de l'ensemble des traitements microbiens et leurs deux modes d'application sur le nombre de fraises produites par plante en comparaison avec les témoins.

Il s'est avéré que seul l'isolat bactérien M5 avait montré une meilleure production en nombre selon le mode d'application par aspersion avec une production moyenne de l'ordre de 4 fruits par plant en comparaison avec les autres isolats microbiens dont, la production en nombre semble similaire à celle des témoins.

Dans ce sens, les isolats de *Trichoderma* spp. semblent non efficaces dans la biostimulation de la production en nombre de fraises.

Ces résultats coïncident avec ceux trouvés par Datnoff et al. (1995) qui ont démontré l'inefficacité des potentialités de *T. harzianum* sur l'amélioration du rendement de la tomate.

Quant au poids moyen de fraises produites, l'isolat T7 de *Trichoderma* sp. a révélé un poids plus important (10.56g). Ceci nous incite à faire ressortir le pouvoir phytostimulant des isolats bactériens AC9 (9.16g), M7 (8.66g) et l'isolat de *Trichoderma* sp. T9 (7.68g) appliqués selon les deux modes par arrosage et par aspersion.

Dans la même optique, les travaux de Gravel et al. (2005) ont confirmé une augmentation significative du poids des plantules de tomates ainsi que le rendement chez les plantes de tomates sous l'effet d'une souche de *T. atroviride* Karst .

Les intrants microbiens ont également influencé sur le pH des fraises produites.

Ainsi, les isolats bactériens AC9, M5 et M7 ainsi que l'isolat de *Trichoderma* sp. T7 ont induit une production de fraises ayant un pH plus important (3,63 à 3,71) que celui des témoins (3,31 à 3,34) et par degré moindre l'isolat T9 de *Trichoderma* sp. qui a montré un pH de 3,50.

Chapitre 3 Résultat et discussion

Nos résultats étaient très proches à ceux décrits par Messgo- Moumene et al. (2013) sur les échantillons de tomates produites sous l'effet de *Trichoderma* sp. qui ont montré un pH voisin de 4.

En ce qui concerne la qualité organoleptique des fraises produites, nous relevons une importante teneur en eau chez les fruits produits sous l'effet des isolats bactériens M5 (90%) et M7 (89,7%).

En effet, l'humidité nous renseigne sur les constituants biochimiques de la matière sèche. Une faible teneur en eau explique une teneur élevée en matière sèche, cette corrélation négative concorde avec les résultats enregistrés par nos échantillons où la teneur en eau la plus élevée a est celle de M5 (90%) et M7 (89.7%) (Martin et al., 2010).

Par ailleurs, la teneur en matière minérale ou en taux de cendres semble plus importante sous l'effet de l'isolat bactérien M7 (23%) et par degré moindre sous l'effet des autres isolats AC9 (15 %), T8 (15%) et M5(14%) ainsi que l'isolat T7 de *Trichoderma* sp (4%).

Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Navarro et al. (2011) dont les teneurs en cendres des fraises varient entre 4 et 23%.

Par ailleurs, une variabilité remarquable a été enregistrée sur les teneurs en métabolites primaires et secondaires.

Les teneurs en sucres des fruits ont été plus remarquables sous l'effet de l'isolat T9 de *Trichoderma* sp. (2,866g/100g de MF). alors qu'elles demeurent plus faibles sous l'effet des isolats bactériens M5 (1,699g/100g de MF), M7 (1,578g/100g de MF) et AC9 (1,578g/100g de MF) ainsi que sous l'effet de l'isolat T7 de *Trichoderma* sp. (T7g 1.578g/100g de MF) au même titre que les témoins (1,349g/100g de MF). En revanche, de plus faibles teneurs ont été enregistrées sous l'effet de l'isolat T8 de *Trichoderma* sp (0.482g/100g de MF).

Les teneurs en sucres totaux enregistrés par les fraises produites sous l'effet des intrants microbiens endémiques semblent plus importantes que ceux enregistrés par les fruits (1.38 g/100g) rapportés par la bibliographie. Les taux de sucres totaux sont liés à la réaction du brunissement non enzymatique (**Georgelis et al., 2006 ; Mehdi Ghiafeh et al., 2006**).

Les teneurs en vitamine C des fraises produites ont été également affectées. Nous notons une amélioration nette sous l'effet de l'isolat T9 de *Trichoderma* sp. (0.60g/l). alors qu'elles apparaissent plus faibles sous l'effet des isolats bactériens M7 (0.26g/l) et M5 (0.25g/l).

Chapitre 3 Résultat et discussion

Les teneurs en vitamine C enregistrées sur les fruits produits, sous l'effet de l'isolat T9 selon les deux modes d'application, étaient nettement meilleurs que ceux enregistrés par les isolats bactériens.

En effet, George et al. (2004) ont rapporté que la concentration en acide ascorbique chez 12 variétés de tomates était comprise entre 8.4 et 32.4 mg / 100g de MF.

Des teneurs similaires (9.9 à 34 mg / 100 g) à celles rapportées par nos résultats ont été confirmées par **Nour et al. (2013)** chez les cultivars de tomates dans le sud-ouest de la Roumanie.

Les teneurs en composés phénoliques des fraises produites ont aussi connu une variabilité induite par l'application des intrants microbiens. Les taux enregistrés par l'isolat bactérien AC9 était similaire à celui enregistré par les témoins (23,19 mg eq AG/100g MF de fraises).

Cependant les autres intrants microbiens avaient enregistré des teneurs plus faibles.

Les teneurs en composés phénoliques totaux demeurent plus élevées chez les fraises produites sous l'effet de la souche bactérienne AC9 que les isolats de *Trichoderma* sp. **Cieslik et al. (2006)** a révélé la teneur en polyphénols chez certains fruits comprises entre 28.1, 11.6 et 7.8 mg GAE /100 ml de jus pour le kiwi, pastèque et melon.

La variabilité des teneurs de ce composé peut être liée à certains facteurs tels que,

L'espèce végétale, la période de récolte qui est en relation avec la période de maturité du fruit où le taux de polyphénols atteint son maximum. Les conditions climatiques et, le solvant d'extraction (Raffo et al., 2002).

En outre, les teneurs en flavonoïdes enregistrés sur les fraises produites sous l'effet des traitements microbiens semblent toutes plus faibles que les témoins (21,02 mg eq Quer/100g MF de fraises).

Cependant, ces teneurs restent plus importantes que celles citées par Haddadi (2005) chez les mandarines, les pamplemousses, les pommes et, les fraises dont les teneurs sont respectivement de 3,22 ; 7,12 ; 2,10 et 17,53 mg/100g de MF. est sur les fruits produits, sous l'effet de l'isolat T9 selon les deux modes d'application, étaient nettement meilleurs que ceux enregistrés par les isolats bactériens.

En effet, George et al. (2004) ont rapporté que la concentration en acide ascorbique chez 12 variétés de tomates était comprise entre 8.4 et 32.4 mg / 100g de MF. Des teneurs similaires

Chapitre 3 Résultat et discussion

(9.9 à 34 mg / 100 g) à celles rapportées par nos résultats ont été confirmées par Nour et al. (2013) chez les cultivars de tomates dans le sud-ouest de la Roumanie.

Les teneurs en composés phénoliques des fraises produites ont aussi connu une variabilité induite par l'application des intrants microbiens. Les taux enregistrés par l'isolat bactérien AC9 était similaire à celui enregistré par les témoins (23,19 mg eq AG/100g MF de fraises). Cependant les autres intrants microbiens avaient enregistré des teneurs plus faibles.

Les teneurs en composés phénoliques totaux demeurent plus élevées chez les fraises produites sous l'effet de la souche bactérienne AC9 que les isolats de *Trichoderma* sp.

Cieslik et al. (2006) a révélé la teneur en polyphénols chez certains fruits comprises entre 28.1, 11.6 et 7.8 mg GAE /100 ml de jus pour le kiwi, pastèque et melon.

La variabilité des teneurs de ce composé peut être liée à certains facteurs tels que,

L'espèce végétale, la période de récolte qui est en relation avec la période de maturité du fruit où le taux de polyphénols atteint son maximum. Les conditions climatiques et, le solvant d'extraction (Raffo et al., 2002).

En outre, les teneurs en flavonoïdes enregistrés sur les fraises produites sous l'effet des traitements microbiens semblent toutes plus faibles que les témoins (21,02 mg eq Quer/100g MF de fraises).

Cependant, ces teneurs restent plus importantes que celles citées par Haddadi (2005) chez les mandarines, les pamplemousses, les pommes et, les fraises dont les teneurs sont respectivement de 3,22 ; 7,12 ; 2,10 et 17,53 mg/100g de MF.

Conclusion

Conclusion

Au terme de ce travail, il est important de résumer les principaux résultats résultant de l'impact d'utilisation des intrants biologiques microbiens sur la production en nombre et en poids ainsi que sur quelques paramètres organoleptiques, biochimiques et chimiques.

Nous affirmons l'impact positif de l'ensemble des traitements microbiens et leurs deux modes d'application sur le nombre de fraises produites par plante.

Il s'est avéré que l'isolat bactérien M5 est le meilleur stimulant de la production en nombre des fraises selon le mode d'application par aspersion. Il est également important de souligner le pouvoir phytostimulant sur la production en poids des fraises en premier lieu de l'isolat T7 de *Trichoderma* sp. et en second lieu les isolats bactériens AC9, M7 et l'isolat de *Trichoderma* sp.

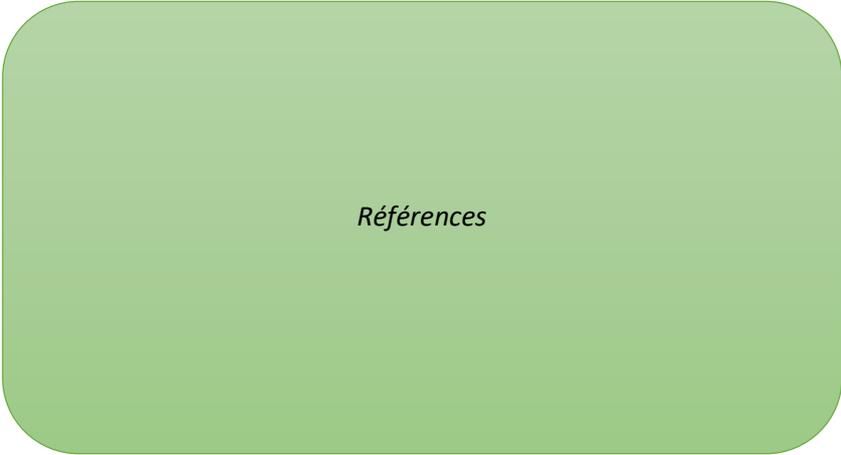
En ce qui concerne la qualité des fraises produites, nous relevons une importante teneur en eau chez les fruits produits sous l'effet des isolats bactériens M5 et M7. Cependant la teneur en matière minérale ou en taux de cendres semble plus importante sous l'effet de l'isolat bactérien M7.

Une nette amélioration des teneurs en sucres et en vitamine C a été enregistrée sous l'effet de l'isolat T9 de *Trichoderma* sp.

En revanche aucun intrant n'a pu améliorer les teneurs en polyphénols totaux ni de flavonoïdes des fraises. Vu la stabilité et les performances de production, l'utilisation de l'isolat T9 est recommandée pour une agriculture biologique de fraises.

Plusieurs portes s'ouvrent à la recherche :

- Il serait important d'évaluer l'activité anti-oxydante des fraises,
- Il est judicieux de rechercher des pigments naturels et les arômes de fraises en vue de leur valorisation industrielle.
- Il serait plus utile d'évaluer d'autres métabolites primaires et secondaires,
- On recommande également d'évaluer l'impact d'utilisation de ces bio-intrants microbiens sur la résistance au stress d'ordre biotique et abiotique
- Il serait intéressant de rechercher et d'appliquer d'autres microorganismes efficaces pour une meilleure production et une meilleure qualité de fraises biologiques pour réduire l'impact néfaste des intrants chimiques sur la santé et l'environnement.



Références

Références bibliographies:

1. **AFNOR, 1982** : Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. Ed. AFNOR: 325p.
2. **Alabouvette C., couteaudier Y., Louvet J., (1983)**. Importance des phénomènes de compétition nutritive dans l'antagonisme entre microorganisme, XXIV Colloque de la société française de phytopathologie, n°34, Bordeaux ,7-16p
3. Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compound. *Food chemistry*, 97: 654-660.
4. **Bertrand J.C., Lebaron P, Normand P., Caumette P., Matheron R., (2011)**. Écologie microbienne : Microbiologie des milieux naturels et anthropisés, Ed. *Presses universitaires de Pau et des Pays de l'Adour* ,1002p.
5. **Bissett J., (2004)**. A revision of the genus *Trichoderma*. I. Section *Pachybasium*.*Can.J.Bot.* (69): 2373-2417.
6. Braun P.G., Sutton J.C., (1984). Effectiveness of fungicides in reducing inoculum production by *Botrytis cinerea* in dead strawberry leaves. In Proceedings of the British Crop Protection Conf. Pest. Dis, 3: 971-976.
7. **Braun P.G., Sutton J.C., (1984)**. Effectiveness of fungicides in reducing inoculum production by *Botrytis cinerea* in dead strawberry leaves. In Proceedings of the British Crop Protection Conf. Pest. Dis, 3: 971-976.
8. **Clément J.M., Mahenc J.M., Nerdeux C., (1981)**. Larousse Agricole .Edition, Librairie Larousse : Canada : 540p.
9. **Davet P., (1983)** : Introduction et conservation des *Trichoderma* dans le sol. In les antagonismes microbiens. Modes d'action et application et application à la lutte biologique contre les maladies des plantes .24 proceeding du Colloq . Fr. Phytopathol., Bordeaux, INRA ,159-168 p.
10. **Dey R., Pal K.K., Bhatt D.M., Chauhan S.M., (2004)**. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea L.*) by application of plant growth-promoting rhizobacteria microbial res. 159 (4): 371-394.

11. **Djafer A., (2011).** Impact de l'utilisation des isolats algériens de *Trichoderma* sp. sur la culture de la pomme de terre *Solanum tuberosum*. Thèse de Master en Biotechnologie des plantes Aromatiques et Médicinales et Produits Naturels. Université Saad Dahlab, Blida, 78 p.
12. **Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.T., Smith F., (1956).** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3): 350-356.
13. **Espiard E., (2002).** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed., Tec amp; Doc, Paris, 360p.
14. **Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J. M., Quiles J. L., Mezzetti B., Battino M., (2012).** The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28 : 9–19.
15. **Glick B.R., Penrose D. and Li J. (1998).** A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. *Journal of Theoretical Biology*, 190: 63-68.
16. **Gray S., (2005):** Influence of land use on post-metamorphic body size of playa lake amphibians. *Journal of Wild life Management*, 69: 515-524.
17. **Hugenholtz P., (2002).** Exploring prokaryotic diversity in the genomic era. *Genome Biology*, 3(2): 0003.1-0003.8. <http://genomebiology.com/2002/3/2/reviews/0003>.
18. **Kloepper J.W., Mcinroy J.A., Bowen k.L., (1992).** Comparative identification by fatty acid analysis of soil, rhizosphere, and geocarposphere bacteria of peanut (*Arachis hypogaea* L). *Plant and soil*, 139(1): 85-90.
19. **Kolthoff I.M., Sandell E., (1936).** Textbook of quantitative inorganic analysis. Ed. Illus, New York. 749 p.
20. **Ludovic F., Fore M., Fontaine J.F., Pérotin J.M., De Blay F. (2014).** Allergie au pollen de bouleau. *Revue des Maladies Respiratoires*, 31(2) : 150-161.
21. **Moues M., (2021).** L 'Algérie championne du monde de la fraise. L'EST républicain Algerie. Le 18-03-2021.
22. **Mouden N., Benkirane R., Touhami A.O et Douira A. (2013).** Mycoflore de quelques variétés du fraisier (*Fragaria ananassa* L.), cultivées dans la région du Gharb et le Loukkos (Maroc). *Journal of Applied Biosciences*, 61 : 4490-4514.
23. **Rifai A., (1969).** A revision of the genus *Trichoderma*. *Mycological*, 116 : 1-56.
24. **Sawada L., Loret K., Martinez-Romero E., (2003).** *Sinorhizobium americanum* sp . nov. a new *Sinorhizobium speaies* nodulating native acacia spp. in Mexico . *Syst. Appl . Microbiol*, 26:54- 64.

25. **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 Til*, 72: 107- 123.
26. **Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M., (2006).** Antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology* , 299: 152-178.
27. **Schnee S. (2008).** Facteurs de résistance à l'oïdium (*Erysiphe necator* Schwein.) chez la vigne (*Vitis vinifera* L.). *Thèse de doctorat*, Biologie, Université de Neuchâtel, 144 p.
28. **Vessey J.K., (2003).** Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255:571- 586.
29. https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=fraise_nu consulté le 01-07-2022.
30. <http://blog-domi.over-blog.fr/2018/04/un-peu-de-botanique-avec-la-fraise.html>: consulté le 02-07-2022
31. https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/cultures_legumieres/maladies_des_cultures_legumieres/maladies_fraises.html consulté le 07-08-2022
32. <https://www.canna.ca/fr/articles/les-guepes-parasitoides-deuxieme-partie-ravageurs-et-maladies> consulté le 08-07-2022