

***Rôle des PGPR « Plant Growth Promoting Rhizobacteria » dans la croissance végétale et la lutte contre les phanérogames parasites***

Par :

**KIRDI Billal**

Directeur ZERMANE N. Maître de conférences ENSA

Soutenu le 04/10/2011

JURY Président ABDELKRIM H. Professeur ENSA Examineur ABDELGUERFI A. Professeur ENSA Examineur CHAOUCH F/Z. Maître de conférences USDB



# Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Dédicace . . .   | 5  |
| Remerciements . . .  | 6  |
| Résumé . . .   | 7  |
| Summary . . .  | 8  |
| ص. خ. ل. م . . .   | 9  |
| Liste des abréviations . . .   | 10 |
| INTRODUCTION . . .   | 11 |
| DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES . . .   | 13 |
| 1. Généralités sur la rhizosphère . . .  | 13 |
| 2. Les bactéries rhizosphériques ou les rhizobactéries . . .   | 13 |
| 3. Rhizobactéries stimulatrices de la croissance végétale . . .  | 14 |
| 3.1. Effets des PGPR . . .   | 14 |
| 3.2. Effets indirects des PGPR sur les plantes . . .   | 16 |
| 3.3 Formulation . . .  | 18 |
| 4. Les phanérogames parasites . . .  | 19 |
| 4.1 Le genre <i>Orobanche</i> . . .  | 20 |
| 4.2 Le genre <i>Cuscuta</i> . . .  | 21 |
| 4.3. Biocontrôle des phanérogames parasites . . .  | 23 |
| MATERIELS ET METHODES . . .  | 25 |
| 1. Echantillonnage et procédures d'isolement . . .   | 25 |
| 1.1 Echantillonnage . . .  | 25 |
| 1.2 Isolement des rhizobactéries . . .   | 25 |
| 2. Evaluation des souches rhizobactériennes pour leur activité stimulatrice de la croissance végétale . . .  | 26 |
| 2.1 Préparation de l'inoculum . . .  | 26 |
| 2.2 Le bio-test de laitue ( <i>Lactuca sativa</i> L.) . . .  | 26 |
| 2.3 Evaluation <i>in vitro</i> des souches rhizobactériennes sur la germination et la longueur des radicules des graines germées de quelques espèces cultivées . . .                                     | 27 |
| 2.4 Evaluation de l'effet des deux souches rhizobactériennes codées FKS560 et FKF5100 sur la croissance de quelques espèces cultivées en pots . . .  | 28 |
| 3. Evaluation de l'activité antagoniste des souches codées FKS560, FKF5100 et BRS983 à l'égard d' <i>Orobanche crenata</i> Forsk. et de <i>Cuscuta campestris</i> Yuncker . . .                          | 29 |
| 3.1 Evaluation de l'activité antagoniste des souches codées FKS560, FKF5100 et BRS983 à l'égard de <i>Cuscuta campestris</i> . . .   | 30 |
| 3.2 Evaluation de l'effet des trois souches rhizobactériennes codées FKS560, FKF5100 et BRS983 sur la germination des graines d' <i>Orobanche crenata</i> Forsk. et la longueur du tube germinatif . . . | 32 |
| 4. Test de production de cyanide . . .   | 33 |
| 5. Analyses statistiques . . .   | 34 |
| RESULTATS ET DISCUSSIONS . . .   | 35 |
| I. Résultats . . .   | 35 |
| 1 Isolement et purification des rhizobactéries . . .   | 35 |

|  |    |
|--|----|
| 2 Sélection des souches stimulatrices de la croissance végétale . .  | 35 |
| 3. Effet des deux souches rhizobactériennes sélectionnées, codées FKF5100 et FKS560 sur la croissance de quelques espèces cultivées en pots . .  | 51 |
| 4. Effet antagoniste des souches rhizobactériennes codées BRS983,FKS560 et FKF5100 à l'égard des adventices parasites <i>Orobanche crenata</i> Forsk. et <i>Cuscuta campestris</i> Yuncker . . | 56 |
| II. Discussion . .   | 60 |
| CONCLUSION . .   | 65 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . .  | 67 |

## Dédicace

*Je dédie ce travail à Ma mère et mon père Mes sœurs et mon frère Toute ma famille Tous mes amis Billal*

## Remerciements

Je remercie « Allah » le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience de mener au terme ce travail.

Je tiens à remercier M<sup>elle</sup> Zermane N. maître de conférences à l'ENSA - EL HARRACH, directeur du mémoire, de m'avoir accueilli dans son laboratoire des plantes parasites, qu'elle trouve ici mes reconnaissances les plus sincères pour la confiance et l'intérêt qu'elle m'a accordé le long de cette étude.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes vifs remerciements au Professeur ABDELKRIM H. (ENSA – EL HARRACH), de me faire l'honneur de présider le jury de soutenance, pour ces encouragements et sa disponibilité illimitée, durant la réalisation de mon travail. Acceptez monsieur mes hautes considérations.

Je remercie infiniment M<sup>eme</sup> CHAOUCH F/Z., maître de conférences, (Université de SAAD DAHLAB – Blida), pour le privilège et l'honneur qu'elle me fait en acceptant d'examiner et de juger mon travail.

Mes vifs remerciements au Professeur ABDELGUERFI A. (l'ENSA – EL HARRACH), d'avoir accepté de faire partie du jury de soutenance et pour ses encouragements. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je saisis l'occasion pour remercier l'ensemble des enseignants intervenants à ma formation à l'Ecole Doctorale d'Amélioration des Productions Végétales et des Ressources Génétiques, ils n'ont épargné aucun effort à m'encourager, m'épauler et me soutenir. Mes remerciements vont aussi aux enseignants et personnel du département de Phytotechnie et de Botanique de m'avoir facilité mes travaux.

Je ne saurai oublier tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, notamment par leur précieux soutien moral : M<sup>r</sup> BOUZAR Mohamed et tous mes collègues qui m'ont généreusement aidé, ALIA Y., MAHDJOUBI D., ZEROUMDA M., LAKEHAL A., BANI M., LAZALI M., LAMINE S., BERGOUG H., ZEAROURI B., DJELLA A., HADJOUT S., TITOUH K.,...

En fin, il me tient au cœur de remercier tous les agriculteurs qui ont contribué à notre travail par leur accueil chaleureux et inconditionné à leurs propriétés agricoles et les informations précieuses qu'ils nous ont fait bénéficier ; particulièrement ceux des régions de ZERALDA, FOUKA et TAGOURAIT de la wilaya de TIPAZA. Avec leur grandeur d'âme, leur sympathie mais notamment leur confiance en *Science*, ils m'étaient une source inépuisable de persévérance et détermination pour participer à résoudre la problématique des plantes parasites des cultures en Algérie.

---

## Résumé

Les phanérogames parasites constituent une contrainte majeure pour la production de plusieurs cultures stratégiques en Algérie et dans les pays du bassin méditerranéen. La lutte biologique par l'utilisation des rhizobactéries promotrices de la croissance végétale, ou PGPR, peut être un outil prometteur pour l'amélioration de la production végétale et la gestion intégrée des phanérogames parasites des cultures. Dans cette optique, 101 souches rhizobactériennes ont été isolées d'échantillons de sols rhizosphériques prélevés dans les régions de Zeralda, Fouka et Tagouraït de la wilaya de Tipaza. Un bio-test de laitue (*Lactuca sativa* L.) mené en deux étapes, a permis dans la première étape de sélectionner 25 souches stimulatrices de la croissance végétale (ou PGPR). Dans la seconde étape, ce dernier caractère a été maintenu pour 12 souches. Une évaluation *in vitro* de ces dernières sur le taux et la vitesse de germination et la longueur des racines des graines germées de sept plantes cultivées comportant la fève, le pois chiche, le petit pois, le blé, l'orge, la luzerne et la tomate, a révélé d'une façon générale un effet accélérateur de la vitesse de germination et un effet stimulateur de la longueur des racines des graines germées. Les meilleurs taux de stimulation ont été obtenus avec les souches FKP424 (427,5% sur fève et 370,5% sur pois chiche), BRS98 (368,8% sur tomate), BRS895 (276,5% sur luzerne et 89,3% sur orge), et FKF5100 (146,6% sur blé et 129,2% sur petit pois). Par ailleurs, deux des souches les plus performantes, codées FKS560 et FKF5100, ont été évaluées en pots sur la croissance de la fève, du pois chiche, du blé et de l'orge. Les deux souches ont été appliquées sous forme de suspensions bactériennes ou de formulations appelées « pesta ». La formulation de la souche FKF5100 a causé les meilleurs taux d'émergence des plantules qui étaient de l'ordre de 95% chez la fève, le pois chiche et l'orge et 97% chez le blé. La même souche a donné les meilleurs taux d'accroissement de la longueur des tiges des espèces cultivées testées (82,2% et 94% chez la fève et le pois chiche, respectivement avec la formulation, et 27,8% et 35,7%, respectivement chez l'orge et le blé avec la suspension bactérienne). Elle a assuré également les meilleurs taux d'accroissement du poids sec des parties aériennes des espèces cultivées testées avec 100% et 126,4% de stimulation, respectivement sur la fève et l'orge avec la formulation et 110% et 248,5% sur le pois chiche et le blé, respectivement avec la suspension. Ces deux souches, en plus de la souche codée BRS983, ont été évaluées pour leur activité antagoniste à l'égard de l'orobanche (*Orobanche crenata* Forsk.) et de la cuscute (*Cuscuta campestris* Yuncker). La souche FKF5100 a causé les taux de réduction les plus élevés de la germination des graines de la cuscute (49,9% lors de la confrontation directe et 88,6% lors de la confrontation indirecte). Elle a donné également les meilleurs taux de réduction de la germination des graines de l'orobanche *in vitro* et de la longueur des tubes germinatifs qui étaient de l'ordre de 68,3% et 61,3%, respectivement comparativement au témoin non inoculé.

**Mots clés** : PGPR « Plant Growth Promoting Rhizobacteria », lutte biologique, *Orobanche crenata* Forsk., *Cuscuta campestris* Yuncker, Formulation, Pesta.

## Summary

Parasitic weeds constitute a major constraint for the production of several strategic crops in Algeria and the Mediterranean countries. Biological control using Plant Growth Promoting rhizobacteria, PGPR, can be a promising tool for improving crop production and integrated management of parasitic weeds. To this end, 101 rhizobacterial strains were isolated from rhizosphere soil samples collected in the regions of Zeralda, Fuka and Tagouraït in the wilaya of Tipaza. A bio-test using pregerminated lettuce (*Lactuca sativa* L.) seeds was conducted in two steps. In the first step, 25 PGPR strains were obtained, while in the second, 12 strains maintained the plant promoting trait. An *in vitro* evaluation of the latter strains on the rate and speed of germination as well as the radicle length of germinated seeds of seven crops including faba bean, chickpea, peas, wheat, barley, alfalfa and tomato, showed generally an accelerating effect on the speed of germination and a stimulatory effect on the length of radicles of germinated seeds. The best stimulation rates were obtained with strains FKP424 (370.5% and 427.5% on faba bean and chickpea, respectively), BRS98 (368.8% on tomato), BRS895 (89, 3% and 276.5% on barley and alfalfa, respectively), and FKF5100 (129.2% and 146.6% on peas and wheat, respectively). Additionally, the two most promising strains coded FKS560 and FKF5100, were evaluated in pots on the growth of faba bean, chickpea, wheat and barley. Both strains were applied either as soil drench or as a formulation called "Pesta". The formulation of strain FKF5100 caused the best seedlings emergence rates that were 95% for faba bean, chickpea and barley and 97% for wheat. The same strain gave the best stimulation rates of stem length of the plant species tested (82.2% and 94% for faba bean and chickpea, respectively with the formulation, and 27.8% and 35.7 %, respectively for barley and wheat with the bacterial suspension). This bacterium also provided the best stimulation rate of the dry weight of aerial parts of the cultivated plants tested (100% and 126.4% of stimulation, respectively for faba bean and barley with the formulation and 110% and 248.5% for chickpea and wheat, respectively, with soil drenching. These two strains, in addition to the strain coded BRS983, were evaluated for their antagonistic activity towards crenate broomrape (*Orobanche crenata* Forsk.) and field dodder (*Cuscuta campestris* Yuncker). Strain FKF5100 caused the highest reduction rate of seed germination of dodder (49.9% in direct confrontation and 88.6% in the indirect confrontation). It also gave the best reduction rate of seed germination of broomrape *in vitro* and germ tube length that were in the range of 68.3% and 61.3%, respectively compared to non-inoculated control.

**Key words:** PGPR « Plant Growth Promoting Rhizobacteria », biocontrol, *Orobanche crenata* Forsk, *Cuscuta campestris* Yuncker, Formulation, Pesta.



## ص. خلم

تعتبر النباتات المنطوقة عائق كبير يحد من إنتاج العديد من المحاصيل الزراعية الإستراتيجية في الجزائر وفي منطقة البحر الأبيض المتوسط. إن المكافحة البيولوجية باستعمال البكتيريا الجذرية طريقة واعدة لتحسين الإنتاج النباتي ومكافحة النباتات المنطوقة. في هذا السياق تم الحصول على 101 عزلة بكتيرية من عينات التربة المأخوذة من منطقة تافورابت ، زرالة و فوكة بولاية نيةزة. تم القيام باختبار بادرات الدخن (*Lactuca sativa* L.) على مرحلتين، الاختبار الأول سمح بالحصول على 25 عزلة محفزة للنمو (PGPR). الاختبار الثاني لبادرات الدخن بين أن 12 عزلة حافظت على طابعها التحفيزي. تم اختبار العزلات المحفزة للنمو في ظروف اختبار مخبرية (*in vitro*) بالنسبة لقرنها على تحسين كل من نسبة أنثاسن بدور الفول والحمص ، والبازلاء والفصح والبرسيم والشعير والطمطم وكذا طول جذيراتها. بين هذا الاختبار عموما تحسين سرعة الانثاسن وأثر محفز نمو جذيرات النباتات المذكورة مع أحسن النسب مسجلة مع العزلات FKP424 (4.427.5 % على الفول و 370.5 % على الحمص )، BRS98 (368 % على الطماطم )، BRS895 (276.5 % على البرسيم و 89.3 % على الشعير) وFKF5100 (146.6 % على الفصح و 129.2 % على البازلاء). من جهة أخرى تم اختبار اثنان من أحسن العزلات المشفرة FKF5100، FKS560 في تجربة الاصلص على نمو الفول والحمص والفصح والشعير على شكل معلق ومسحضر بكتيري (Pesta). حيث أن مسحضر العزلة FKF5100 أعطى أحسن نتائج ظهور النباتات ب 95 % مع كل من الفول، الحمص، الشعير، و 97 % مع الفصح. نفس العزلة أعطت أحسن تحفيز الطول السيقان (82.2 %، 94 %) مع الفول والحمص على التوالي بشكل مسحضر و 27.8 % و 35.7 % على التوالي مع الشعير والفصح على شكل معلق بكتيري. العزلة ذاتها أعطت أحسن النتائج مع الوزن الجاف للأجزاء الهوائية للأصناف المختبرة بنسب تحفيز 100 % ، 126.4 % على التوالي مع الفول و الشعير كمسحضر و 110 % و 245 % مع الحمص والفصح على التوالي على شكل معلق. اختبرت العزلتين السابقتين إلى جانب العزلة المشفرة BRS983 بالنسبة لقرنة التضاد مع الهالوك *Orobancha crenata* Forsk. و الكسكوت *Cuscuta campestris* Yuncker. العزلة FKF5100 أعطت أحسن نتائج التقليل من نسبة الإنثاسن للكسكوت (49.9 % أثناء التضاد المباشر، و 88.6 % أثناء التضاد الغير المباشر). نفس العزلة تسببت في أحسن نسب التقليل من أنثاسن بذور الهالوك في ظروف مخبرية (*in vitro*) وكذا التقليل من طول الأثيوب الإنثاسني بنسب 86.3 % و 61.3 % على التوالي بالمقارنة مع الشاهد .

الكلمات المفتاحية: PGPR « Plant Growth Promoting Rhizobacteria » ، المكافحة البيولوجية، المسحضر Pesta. *Orobancha crenata* Forsk. *Cuscuta campestris* Yuncker

## Liste des abréviations

- **cfu** Colony forming units
- **EDS** Eau distillée stérile
- **ENSA** Ecole Nationale Supérieure Agronomique
- **PGPR** Plant growth promoting rhizobacteria
- **µl** Microlitre

---

# INTRODUCTION

La production agricole mondiale a connu une augmentation importante sur les plans quantitatifs, qualitatifs et diversification des produits, afin de subvenir aux besoins alimentaires d'une population humaine sans cesse croissante (**FAO, 2010**). L'intensification des systèmes de production par la mécanisation, l'utilisation des intrants chimiques sous forme de fertilisants et pesticides et l'utilisation des génotypes performants exigeants davantage d'intrants, sont à la base de l'amélioration des rendements des cultures. Néanmoins, les effets négatifs des produits chimiques de synthèse sur l'environnement (**Elmholt, 1991**), sur la biodiversité (**Giller et al. , 1997**) et sur la santé humaine (**Huang et al ., 2005**) ainsi que le développement des résistances chez les agents pathogènes (**Ishii, 2006**) ont motivé la communauté scientifique à chercher d'autres alternatives aux intrants chimiques afin d'assurer la durabilité de l'agriculture en augmentant sa rentabilité et en sauvegardant les ressources naturelles aux générations futures.

La rhizosphère est l'habitat de plusieurs microorganismes qui vivent en interaction avec la plante et en influençant sa croissance. Certains de ces microorganismes sont délétères, d'autres sont bénéfiques telles que les rhizobactéries stimulatrices de la croissance végétale, communément désignées sous le terme « PGPR » de l'anglais « Plant Growth Promoting Rhizobacteria ». Ces dernières ont la faculté de promouvoir la croissance des plantes leur conférant la résistance aux agents phytopathogènes et différents stress abiotiques (**Welbaum et al ., 2004 ; Compant et al ., 2010**). L'effet bénéfique des PGPR peut être assuré par des mécanismes directs à travers la stimulation de la germination des graines, la stimulation de la croissance végétale, l'induction de la résistance systémique « ISR », ..etc. Les mécanismes indirects des PGPR sont leur pouvoir compétitif à l'égard des autres communautés microbiennes, la production des sidérophores, l'antibiose, la production du cyanure d'hydrogène (HCN) et les composés volatiles.

Les PGPR sont très intéressantes pour l'application en agriculture comme biofertilisants et biopesticides et en phytoremédiation (**Berg, 2009**). La mise au point des formulations des PGPR est très importante afin d'augmenter leur efficacité d'utilisation (**Zahir et al ., 2004**). Le biocontrôle est une alternative très importante à l'utilisation des pesticides et un moyen efficace pour la lutte contre les ravageurs des cultures, les phytopathogènes et les plantes adventices (**Peshin et Dhawan, 2009**).

Parmi les bioagresseurs les plus redoutables des cultures en Algérie, figurent l'orobanche spéicieuse (*Orobanche crenata* Forsk.) et la cuscute champêtre (*Cuscuta campestris* Yuncker) (**Zermane, 1998**). Le biocontrôle de ces phanérogames parasites en utilisant des PGPR peut constituer un moyen de lutte prometteur.

Dans cette optique nous avons réalisé cette recherche dont les objectifs sont :

- L'isolement et la sélection de souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale ou PGPR.
- L'évaluation des souches PGPR *in vitro* sur la germination des graines de certaines espèces parmi les principales plantes cultivées en Algérie.
- L'évaluation des souches les plus prometteuses en pots sur la croissance de certaines plantes cultivées utilisant différents modes d'application.

- L'évaluation du pouvoir antagoniste des souches les plus prometteuses à l'égard des deux adventices parasites : *Orobanche crenata* Forsk. et *Cuscuta campestris* Yuncker.

Pour répondre à ces objectifs, le présent travail s'articule autour de trois chapitres. Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les travaux portant sur les PGPR et leur utilisation comme biofertilisants et bioherbicides. Le second chapitre concerne la méthodologie utilisée pour répondre aux objectifs de cette recherche. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et enfin une conclusion générale brossera les grandes lignes de ce travail.

---

# DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

## 1. Généralités sur la rhizosphère

La rhizosphère telle qu'elle a été définie par **Hiltner (1904)**, est le volume du sol qui entoure les racines et dans lequel la microfaune est influencée par ces dernières. C'est un microécosystème abritant les microorganismes qui sont constitués principalement d'algues microscopiques, de protozoa, de champignons et de bactéries ; certains groupes sont phytopathogènes d'autres sont bénéfiques à la plante (**Raaijmakers, 2009**). Cette partie du sol est le siège des interactions mutuelles entre le sol, ses microorganismes et la plante.

L'activité des microorganismes dans le sol est intense dans la rhizosphère car, généralement, ils dépendent des substances libérées par les racines des plantes du fait que la plupart de ces microorganismes sont hétérotrophes au carbone et à l'azote (**Scurkson et al ., 2002**). Ces substances, ou encore appelées exsudats racinaires (**Hawes, 1998**), représentent dans la rhizosphère la grande partie de la matière organique soluble dans l'eau (sucres, acides organiques, acides aminés) ou insoluble dans l'eau telle que les parois cellulaires et certains résidus du métabolisme. C'est une source importante de la nutrition des microorganismes qui colonisent la rhizosphère (**Cheng et al. , 1994**). D'autre part, les exsudats racinaires peuvent influencer les multiples interactions qui existent entre les microorganismes bénéfiques, ceux qui sont phytopathogènes et la plante entant qu'une entité à part (**Picard et al ., 2000 ; Hirsch et al ., 2003**).

Les différents processus vitaux des microorganismes du sol peuvent être des étapes très importantes dans les phénomènes d'assimilation par les plantes des macroéléments tels que l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (k), ou les microéléments notamment le fer (Fe) et le zinc (Zn) (**Darrah, 1993 ; Bonkowski et al ., 2001**). En plus des relations trophiques, les microorganismes peuvent être impliqués dans la défense des plantes par la libération dans la rhizosphère de substances toxiques aux agents telluriques phytopathogènes (**Bais et al. , 2004**).

## 2. Les bactéries rhizosphériques ou les rhizobactéries

En générale, les bactéries sont des microorganismes (1-5  $\mu\text{m}$ ) à reproduction très rapide et se présentent dans le sol à des concentrations allant de  $10^6$  à  $10^9$  cfu  $\text{g}^{-1}$  de sol (**Molope et al ., 1987**). Elles présentent une variabilité quant à leur pouvoir de décomposer une large gamme de matériaux dans le sol sous des conditions diverses. C'est ainsi que *Pseudomonassp.* peut métaboliser certains composants chimiques des pesticides. Le genre *Rhizobium* fixe le nitrogène aux nodules des légumineuses (**Wood et Newcomb, 1989**). Les rhizobactéries représentent le groupe le plus important des microorganismes de la rhizosphère, ce sont les bactéries qui se trouvent sur la surface des racines (rhizoplan) ou dans le sol rhizosphérique (**Li et Kremer, 2000**).

### 3. Rhizobactéries stimulatrices de la croissance végétale

D'après **Kloepper et al. (1989)**, les rhizobactéries stimulatrices de la croissance végétale ou en anglais (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR) sont des rhizobactéries bénéfiques pour les plantes. Elles doivent être compétitives aux autres communautés microbiennes rhizosphériques (**Antoun et Prévost, 2005**). Ce sont des rhizobactéries libres dans la rhizosphère dotées de potentialités bénéfiques très importantes pour l'agriculture (**Babalola, 2010 b**).

Les PGPR offrent des applications intéressantes en agriculture comme la biofertilisation et la lutte biologique par les biopesticides ainsi que des applications en phytoremédiation (Tableau 1) et d'autres applications environnementales telles que l'amélioration du reboisement des sols stériles ou chimiquement pollués (**Bashan et Holguin, 2002 ; Lugtenberg et Kamilova, 2009 ; Weyens et al., 2009**). Leurs effets positifs sur la plante se réalisent par des mécanismes d'actions directs ou indirects (**Beauchamp, 1993 ; Glick, 1995**). **Somers et al. (2004)** classent les PGPR selon leurs activités en biofertilisants (améliorent la disponibilité des nutriments aux plantes), phytostimulateurs (promotion de la croissance par la production des phytohormones), rhizoremédiateurs (dégradent les polluants organiques) et en biopesticides (biocontrôle des agents phytopathogènes).

| Termes           | Définitions   | Mécanismes  | Références  |
|------------------|---|---|---|
| Biofertilisant   | Une substance contenant des microorganismes, quand elle est appliquée à la semence, la surface de la plante ou au sol, elle colonise la rhizosphère ou l'endosphère et stimule la croissance végétale par l'amélioration de la nutrition ou la disponibilité des nutriments essentiels à la plante. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fixation biologique de l'azote.</li> <li>- Solubilisation du phosphore insoluble.</li> </ul>   | Vessey (2003); Somers et al. (2004); Fuentes-Ramírez et Caballero-Mellado (2006). |
| Phytostimulateur | Microorganisme ayant la faculté de produire ou changer la concentration des régulateurs de croissance tels que l'acide indole acétique AIA, l'acide gibbérellique, les cytokinines, et l'éthylène.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Production des phytohormones (auxines, cytokinines et gibbérellines)</li> <li>- Réduction de la concentration d'éthylène (à l'intérieur de la plante)</li> </ul>   | Lugtenberg et al. (2002); Somers et al. (2004).                                   |
| Biopesticide     | Microorganisme améliorant la croissance des plantes par le contrôle des agents phytopathogènes, principalement par la production des antibiotiques et des métabolites antifongiques.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Production des antibiotiques (sidérophores, HCN, métabolites antifongiques)</li> <li>- Production des enzymes qui dégradent les parois cellulaires des champignons.</li> <li>- Compétitivité à l'encontre des agents phytopathogènes, principalement par la production des antibiotiques et des métabolites antifongiques.</li> <li>- Résistance systémique acquise et induite.</li> </ul> | Vessey (2003); Somers et al. (2004); Chandler et al. (2008).                      |

**Tableau 1:** Termes adoptés pour classer les mécanismes par lesquels les PGPR stimulent la croissance des plantes.

Source : Martinez-Viveros et al. (2010) **3.1. Effets des PGPR**

#### 3.1. Effets des PGPR

##### 3.1.1. Effets directs des PGPR

Parmi les effets bénéfiques des PGPR sur les plantes figurent la stimulation de la germination des graines et du développement végétal ainsi que l'amélioration de l'obtention

des éléments minéraux et l'utilisation de l'eau. Ces effets se traduisent généralement par une phytostimulation (**Jacoud et al ., 1999 ; Dobbelaere et al ., 2002 ; Khalid et al ., 2004**). Un autre aspect de l'effet direct des rhizobactéries est l'induction de la résistance de la plante à divers agents de 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**).

- Stimulation de la germination des graines

Les PGPR peuvent être utilisées comme biofertilisants efficaces pour l'amélioration des rendements des cultures (**Biswas et al ., 2000 ; Asghar et al ., 2002 ; Bashan et al ., 2004**) en améliorant les paramètres de rendement notamment le taux de germination des semences tel qu'il a été démontré chez des souches d'*Azospirillum*, *Pseudomonas* et *Azotobacter* (**Shaukat et al ., 2006**). D'après **Gholami et al . ( 2009)**, des souches de *Pseudomonas* stimulent la germination de la semence du maïs cultivé dans des sols stérilisés ou non stérilisés sous serre et en plein champ.

L'effet bénéfique des PGPR sur la germination des semences est aussi remarquable par leur pouvoir de coloniser la rhizosphère contre d'autres bactéries inhibitrices de la germination appelées rhizobactéries délétères (DRB) qui sont des saprophytes non pathogènes (**Alström, 1991**).

- Stimulation de la croissance végétale

Les PGPR peuvent stimuler la croissance végétale par le biais de la production de signaux chimiques ou de phytohormones telles que les auxines, cytokinines et gibbérellines (**Lambrecht et al ., 2000 ; Shishido et al ., 1996**) ; comme elles peuvent détecter une phytohormone exsudée par la plante et produire son homologue (**Barazani et Friedman, 2001**). Cette stimulation touche la plante entière ou parfois les racines uniquement en produisant de nouvelles racines qui représentent un accès très facile des nutriments à la plante, et par conséquent l'amélioration de sa nutrition (**Yang et Crowley, 2000**). L'architecture des racines peut être influencée par l'effet des PGPR. Ainsi, ces dernières peuvent induire une ramification très prononcée des racines leur permettant de prospecter un volume du sol plus important et par conséquent assurer une meilleure nutrition à la plante (**Rolfe et al ., 1997**). En générale, les PGPR peuvent améliorer l'acquisition des éléments nutritifs majeurs (N, P, K) par la plante (**Wu et al ., 2005 ; Shaharoon et al ., 2007**), l'assimilation et la solubilisation du phosphate inorganique et l'absorption du Nickel (Ni) (**Zaidi et al ., 2006 ; Khan et al ., 2009**).

- Induction de la résistance systémique

Généralement, les plantes reconnaissent les agents pathogènes par des mécanismes de réponses induits, qui permettent de déclencher immédiatement leurs mécanismes de résistance après le premier contact avec des molécules étrangères et sont renforcés par l'interaction prolongée avec les agents pathogènes (**Göhre et Robatzek, 2008**). Certaines PGPR peuvent stimuler ces mécanismes et amènent la plante toute entière à un état de résistance appelée la résistance systémique induite, RSI (Induced Systemic Resistance, ISR) (**Pieterse et al ., 1996 ; Van Loon et al ., 1998**). Par opposition, la résistance systémique acquise, RSA (Systemic Acquired Resistance, SAR) est induite par les pathogènes (**Ryals et al ., 1997**).

L'implication des PGPR dans la résistance systémique induite a été démontrée chez plusieurs plantes contre plusieurs agents pathogènes (**Van Loon et al ., 1998 ; Trotel-**



**Aziz et al ., 2006 ; Meziane et al ., 2005 ; Elmer et Reglinski, 2006**). Elle est l'équivalent de l'immunité chez les animaux, donc elle permet de reconnaître les agents pathogènes potentiels et induire des réponses qui les arrêtent ou ralentissent (**Jones et Dangl, 2006**). D'après **Magnin-Robert et al . (2007)** l'induction de la résistance systémique semble l'une des alternatives à l'utilisation des fongicides chimiques.

## 3.2. Effets indirects des PGPR sur les plantes

---

Certains travaux ont indiqué que *Pseudomonas putida* assure deux effets bénéfiques, la stimulation de la croissance végétale et l'inhibition de la croissance de *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis*, agent causal de la flétrissure fusarienne chez le melon cantaloupe (**Aalten et al ., 1998 ; Bora et al ., 2004**).

L'utilisation des rhizobactéries comme antagonistes de certains agents pathogènes telluriques a été démontrée par des travaux sur les sols suppressifs (**Keel et al., 1996**), qui se caractérisent par un très faible indice d'infection ou l'absence totale de la maladie, malgré la présence du pathogène et l'hôte susceptible (**Weller et al., 2002**).

Selon **Cook et al . (1995) et Gupta et al . (2000)**, les rhizobactéries réduisent largement les maladies à origine tellurique. C'est ainsi que plusieurs souches de *Pseudomonas* ont été sélectionnées pour leur pouvoir antagoniste à l'égard d'une large gamme de maladies bactériennes, fongiques et virales (**Ramamoorthy et al ., 2001 ; Saravanakumar et al ., 2009**). Les travaux de **Zermane et al . (2007)** ont abouti à la sélection de rhizobactéries PGPR efficaces dans la stimulation de la croissance de la fève et le biocontrôle de l'orobanche (*Orobanche crenata* Forsk.), une phanérogame parasite très nuisible aux légumineuses alimentaires, la fève (*Vicia faba* L.) en particulier.

L'effet bénéfique des PGPR par l'antagonisme est généralement la résultante de plusieurs interactions complexes entre la plante hôte, l'agent pathogène et les rhizobactéries qui peuvent être sous forme de compétitions trophiques, de production de sidérophores, d'antibiotiques, de cyanure d'hydrogène (HCN) et de composés volatiles (**Benizri et al ., 2001 ; Perez et al ., 2002**).

### 3.2.1 Compétition

En plus du fait que les PGPR soient compétitives aux autres populations microbiennes rhizosphériques, elles sont capables de coloniser le maximum d'espace dans la rhizosphère et d'exploiter ses ressources nutritionnelles et ainsi, participer à la réduction des phytopathogènes telluriques par compétition (**Lemanceau, 1992 ; Lucy et al ., 2004**). La compétitivité des PGPR est largement plus supérieure quand elles ont des capacités spécifiques d'assimiler certains nutriments ou bloquer leur assimilation par les autres microorganismes (**Kempf et Wolf, 1989**). A titre d'exemple, certaines souches de Streptomycètes et Actinomycétales arrivent à coloniser la rhizosphère par la séquestration du fer (**Tokala et al ., 2002**), d'autres souches peuvent synthétiser des enzymes extracellulaires permettant d'utiliser des composées organiques comme source d'énergie ou à dégrader les phytotoxines (**Mccarthy et Williams, 1992**). En effet, des tests de compétitivité doivent être pris en considération lors de la sélection des souches de PGPR, afin de sélectionner celles ayant un pouvoir important de colonisation de la rhizosphère et/ou le rhizoplan des plantes inoculées (**Whipps, 2001**).

### 3.2.2 Sidérophores



Les PGPR, notamment du genre *Pseudomonas*, sont connues pour leur faculté de produire des sidérophores dans le milieu (Cattelan *et al.* , 1999 ; Vasileva et Ilieva, 2007 ; Wani *et al.* , 2008). Ce sont des substances chélatrices du fer, avec une grande affinité au fer ferrique ( $Fe^{+++}$ ). Elles améliorent sa disponibilité à leur profit en cas de carence du sol et rendent difficile son assimilation aux autres populations microbiennes déficientes en cet élément. Ce phénomène est un aspect de compétition qui participe efficacement à l'antagonisme contre les agents phytopathogènes en réduisant leurs effectifs dans le sol (Hultberg *et al.* , 2000). En outre, la plante peut facilement assimiler les complexes de sidérophores et ainsi promouvoir sa croissance (Bienfait, 1989 ; Crowley *et al.* , 1988 ; Bar-Ness *et al.* , 1991 ; Budzikiewicz, 2004). Les sidérophores peuvent fixer aussi d'autres métaux dans le sol tels que le magnésium, le manganèse et le chromium (Birch et Bachofen, 1990). D'après d'autres études, les PGPR peuvent extraire le fer des sidérophores formés par d'autres microorganismes (Lodewyckx *et al.*, 2002).

### 3.2.3 Antibiose

Les microorganismes telluriques produisent les antibiotiques qui sont des facteurs déterminants pour la vie dans un environnement aussi compétitif que la rhizosphère (Mazzola *et al.* , 1992). La production des antibiotiques est un critère très important de compétitivité des microorganismes aux autres populations microbiennes (Compant *et al.* , 2005). C'est un critère de performance pour la promotion indirecte de la croissance végétale. Il consiste à contrecarrer les agents phytopathogènes d'origine tellurique (Maurhofer *et al.* , 1992). Une gamme très large d'antibiotiques produite par les PGPR a été découverte, entre autres celles produites par le genre *Pseudomonas* telles que l'amphisine, le 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG), le cyanure d'hydrogène, l'oomycine A, le phénazine, le pyoluteorine, le pyrrolnitrine, la tensine, la tropolone, et les lipopeptides cycliques (Duffy et Defago, 1999 ; Chin-A-Woeng *et al.* , 2003 ; De Souza *et al.*, 2003 ; Nielsen et Sorensen , 2003).

La sélection des souches rhizobactériennes performantes pour la production des antibiotiques doit prendre en considération l'influence du stade de développement de la plante à inoculer et les conditions environnementales de sa rhizosphère. Il est recommandé donc d'utiliser une gamme de souches sélectionnées pour des conditions différentes afin d'augmenter l'efficacité de la lutte contre plusieurs agents phytopathogènes dans des conditions rhizosphériques variables (Picard *et al.*, 2000 ; Haas et Keel, 2003 ; Duffy *et al.*, 2004 ; Petterson et Baath, 2004).

### 3.2.4 Production du cyanure d'hydrogène (HCN)

Le cyanure d'hydrogène (HCN) est un métabolite secondaire qui fait partie des cyanides. Il peut être produit directement de la glycine ou des glycosides cyanogènes ( Bakker et Schippers, 1987). La glycine est un acide aminé considéré comme le meilleur précurseur de la production des cyanides chez les microorganismes (Askeland et Morrison, 1983). Le HCN produit par les PGPR assure un rôle bénéfique pour la plante par son effet antagoniste contre les maladies des racines (Defago et Haas , 1990). Cette production est largement variable selon les conditions environnementales dans lesquelles les rhizobactéries évoluent, notamment la composition des acides aminés dans la rhizosphère et les exsudats racinaires, les pratiques culturales, la disponibilité du fer ferrique dans le sol et la présence des sidérophores (Knowles et Bunch, 1986). Les travaux de Voisard *et al.* (1989) ont démontré l'efficacité des cyanides produits par des souches de *Pseudomonas fluorescens* dans la suppression des agents telluriques phytopathogènes.

### 3.2.5 Composés volatiles

Les rhizobactéries peuvent produire des substances organiques volatiles qui inhibent la croissance des agents phytopathogènes telluriques tels que les champignons (Alström, 2001; Wheatley, 2002). Parmi ces composés organiques volatiles figurent des terpenoïdes, des phenylpropanoïdes et des dérivés des acides gras (Schöller *et al.*, 2002 ; Piechulla *et Pott*, 2003). Selon Ping *et Boland* (2004), certains de ces composés volatiles sont impliqués dans l'induction de la résistance systémique induite des plantes. D'autres, découverts chez *Arabidopsis thaliana* peuvent stimuler à la fois la croissance et la résistance systémique induite (Ryu *et al.*, 2004). Montealegre *et al.* (2003) ont démontré l'efficacité des métabolites volatiles produits par des rhizobactéries à l'égard de *Rhizoctonia solani*.

## 3.3 Formulation

---

L'application de l'agent antagoniste en agriculture dans des conditions naturelles qui sont parfois hostiles à son activité, nécessite une optimisation avant l'utilisation, ce qu'on appelle une formulation. En général, c'est une préparation qui contient l'élément actif (dans ce cas le microorganisme ou ses spores), la substance support inerte et les adjuvants qui sont des substances nutritives et /ou chimiques qui protègent l'élément actif contre les facteurs environnementaux (Hynes *et Boyetchko*, 2006). D'autres substances sont recommandées pour améliorer l'effet de la formulation telle que la chitine (Bharathi *et al.*, 2004 ; Gerding-Gonzalez *et al.*, 2007).

Certains microorganismes s'adaptent bien avec la formulation et son application. Ainsi, à titre d'exemple, les bacilles supportent mieux les conditions environnementales que les autres bactéries par leur pouvoir de former des endospores (Raaijmakers *et al.*, 2002 ; Cavaglieri *et al.*, 2005). La formulation doit être bien conçue compte tenu du temps et de l'espace de son utilisation qui sont en fonction de l'agent de biocontrôle, le pathosystème et l'itinéraire technique de la culture (Fravel, 2005).

Certaines formulations ont été conçues pour répondre à plusieurs objectifs d'application avec une combinaison entre plusieurs agents actifs de la même nature ou de natures différentes. Celle-ci donne généralement de bons résultats sur des plantes cultivées sous serre et en plein champ face aux variables conditions (Raupach *et Kloepper*, 1998 ; Guetsky *et al.*, 2002 ; Senthilraja *et al.*, 2010). Alors que d'autres formulations plus récentes sont efficaces et répondent à plusieurs objectifs en contenant un seul agent actif (Qingyun *et al.*, 2011).

Les formulations des PGPR peuvent être sous forme de poudre sèche à base de talc, ou de tourbe (Okon *et Labandera-González*, 1994; Kishore *et al.*, 2005), ou de Kaolin (argile) (Hynes *et Boyetchko*, 2006), appliquées sur les feuilles (Marrone, 1999) ; comme elles peuvent être sous forme liquide (Vendan *et Thangaraju*, 2006) qui se caractérise par une durée de vie relativement longue, de plus d'une année (Vendan *et Thangaraju*, 2007 ; Kolombet *et al.*, 2008) . Elles ne développent pas de contaminations et offrent plus de protection contre les stress et plus d'efficacité d'application en plein champ (Hegde, 2002 ; Vendan *et Thangaraju*, 2006) telle que la possibilité d'application en système d'irrigation.

Actuellement, on utilise l'encapsulation qui permet de protéger l'agent actif des facteurs environnementaux assurant ainsi une durée d'action plus prolongée par une libération progressive de la matière active (Martinez-Viveros *et al.*, 2010) ; ceci est d'autant plus maîtrisé par la technologie de la nanoformulation (Perez-de-Luque *et Rubiales*,

2009). Les travaux de **Remya et al . (2010)** ont abouti à l'innovation d'un nanoherbicide efficace dans le but de réduire la phytotoxicité des plantes cultivées.

### 3.3.1 Utilisation des PGPR en formulation de biofertilisants

Certaines souches de PGPR ont été exploitées à une échelle commerciale comme des inoculums destinés à l'application en agriculture en tant que biofertilisants. Néanmoins, l'étude de leurs effets sur la structure des communautés microbiennes de la rhizosphère demeure en cours d'investigation (**Deacon, 1991**). *Pseudomonas fluorescens* est la première PGPR à avoir fait l'objet de formulation à base de talc et à être utilisée comme un biofertilisateur sur la semence de la pomme de terre dans l'objectif de promouvoir la croissance (**Kloepper et Schroth, 1981**). Plusieurs recherches ont confirmé les potentialités des PGPR entant que biofertilisateurs de plusieurs cultivars stratégiques en plein champ (**Baldani et al ., 2000 ; Kennedy et Islam, 2001 ; Islam et al ., 2009**). Le groupe diazotrophique des PGPR permet la fixation de l'azote atmosphérique à l'instar de la relation symbiotique des légumineuses (**Choudhury et Kennedy , 2004**). En générale, les souches de *Pseudomonas fluorescens* offrent le plus de potentialités d'utilisation comme biofertilisants et biopesticides (**Dubeikovsky et al ., 1993 ; Raupach et Kloepper, 1998**).

### 3.3.2 Utilisation des PGPR en formulation de biopesticides

Un biopesticide est défini comme étant un produit qui contient un microorganisme ou un de ses produits naturels capables de lutter contre les phytopathogènes (**Thakore, 2006**). Pendant ces dernières années, l'industrie des biopesticides a connu une nette progression, au moment où l'utilisation des pesticides a régressé (**Bailey et al ., 2010**).

Selon **Cook (1993)**, l'inoculation des plantes au niveau de la rhizosphère par les microorganismes ayant un effet d'antagonisme contre les agents pathogènes et un pouvoir de coloniser la rhizosphère est un moyen efficace de biocontrôle. A cette fin, plusieurs formulations de PGPR ont été développées dont la première est la bioformulation à base de talc de la souche Pf1 de *Pseudomonas fluorescens*, utilisée contre la pourriture des racines du pois chiche (**Vidhyasekaran et Muthamilan, 1995**).

Malgré les effets bénéfiques des biopesticides, ils présentent, néanmoins, certains inconvénients. Ainsi, ils sont parfois moins efficaces que les pesticides chimiques (**Shishkoff et Mc Grath, 2002**) étant tributaires des conditions du milieu (température, sol, humidité, plante hôte, pH, etc...) (**Larkin et Fravel, 2002 ; Mendoza et al., 2003**). La sélection des agents antagonistes est longue et coûteuse (**Fravel, 2005**). L'obtention des formulations est difficile pour les agents sporulants ou non sporulants (**Hjeljord et al ., 2000; Collins et Jacobsen, 2003**). **Campbell (1994)**, suggère que l'utilisation des agents des biopesticides peut ne pas être aussi efficace que les autres méthodes de lutte, mais généralement elle est à encourager pour des raisons environnementales.

## 4. Les phanérogames parasites

Les phanérogames parasites (du grec *phaneros* "visible" et *gamos* "mariage"), comprennent plus de 4000 espèces classées en 17 familles dont 8 seulement comportent des espèces ayant un impact économique (**Press et Phoenix, 2005**). Actuellement, 1% des angiospermes sont des plantes parasites (**Keyes et al ., 2001 ; Westwood et al. , 2010**).

Les espèces qui causent le plus de dégâts sur les cultures sont toutes des dicotylédones et appartiennent à 5 familles (**Tab. 2**).

Tableau 2 : Les familles de phanérogames parasites ayant un impact économique dans le monde.

| Famille                | Genre               | Nom commun anglais | Nom commun français |
|------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Cuscutaceae            | <i>Cuscuta</i>      | Dodder             | Cuscute             |
| Loranthaceae/Viscaceae | <i>Loranthus</i>    | Mistletoe          | Gui                 |
|                        | <i>Arceuthobium</i> | Mistletoe          | Gui                 |
|                        | <i>Viscum</i>       | Mistletoe          | Gui                 |
| Orobanchaceae          | <i>Orobanche</i>    | Broomrape          | Orobanche           |
|                        | <i>Aeginetia</i>    | Broomrape          | Orobanche           |
| Schrophulariaceae      | <i>Striga</i>       | Witchweed          | Striga              |
|                        | <i>Alectra</i>      | Witchweed          | Striga              |

Source : Sauerborn (1991)

D'après **Joel (2009)**, les genres les plus connus de la famille d'Orobanchaceae sont *Striga*, *Orobanche* et *Phelipanche*, ce dernier anciennement classé avec *Orobanche*. Une caractéristique importante rencontrée chez les plantes parasites est l'haustorium ou le suçoir, une structure assurant l'encrage dans la plante hôte et la conduction des substances nutritives de l'hôte vers le parasite. On estime que 80 % des plantes parasites sont des hémiparasites donc des plantes chlorophylliennes qui ne sont tributaires de leurs hôtes que pour leur alimentation en eau et sels minéraux (exemple du gui). Les holoparasites, par contre, dépendent entièrement de leurs hôtes pour leur alimentation en eau, en sels minéraux et en substances carbonées (exp. orobanches et cuscutes). Quand les plantes parasites sont implantées sur la racine de leurs hôtes elles sont dites épiphyses, alors qu'elles sont épiphytes quand elles s'implantent sur la partie aérienne des plantes parasitées (**Emile et Michel, 2004**).

Selon **Zimdahl (1999)**, les phanérogames parasites occasionnent des pertes économiques très importantes particulièrement dans les pays en voie de développement. D'après les travaux de **Zermane (1998)**, la flore de phanérogames parasites en Algérie compte 67 espèces appartenant à 7 familles et 13 genres. A côté de cette richesse floristique, certaines espèces sont endémiques dont l'aire de distribution se limite à l'Algérie ou à certains pays de l'Afrique du nord. Les espèces les plus redoutables pour l'agriculture appartiennent aux genres *Orobanche* et *Cuscuta*.

#### 4.1 Le genre *Orobanche*

Les plantes parasites du genre *Orobanche* se trouvent dans tous les continents et sous différents climats mais entant qu'adventices elles sont fréquentes dans la région méditerranéenne, l'Asie et l'Europe de l'ouest ainsi qu'en Afrique (**Parker, 2009**). Toutes les espèces de ce genre sont non-photosynthétiques, holoparasites obligatoires, et causent des dégâts importants sur plusieurs cultures telles que la tomate, la fève, le tournesol (**Kubo et al ., 2009**). Ce genre englobe 150 espèces rhizophytes holoparasites. Son centre de diversification est le bassin méditerranéen (**Barker et al ., 1996**).

La germination des graines de l'orobanche nécessitent la présence d'un stimulateur exsudé en très petites quantités par la plante hôte. Plusieurs composants chimiques ont été identifiés mais le plus étudié est le strigolactone (**Matusova , 2005 ; Lopez-Raez ,**

2008). C'est un terpène lactone dont le rôle en stimulation de la germination a été prouvé au début sur le *Striga* (Bouwmeester, 2005 ; Yoneyama *et al.* , 2009).

Le genre *Orobanche* a été caractérisé anatomiquement, physiologiquement et écologiquement. Actuellement, il fait l'objet de plusieurs études de séquençage transcriptomique et de génomique (Westwood *et al.* , 2010). Il a été estimé que le genre *Orobanche* menace 16 millions d'hectares dans la région méditerranéenne et l'ouest de l'Asie (Sauerborn, 1991) et son impact négatif sur l'agriculture est toujours en pleine extension (Parker, 2009). Néanmoins, les pertes de rendements sont difficiles à estimer parce que généralement les agriculteurs abandonnent les cultures affectées dans les champs hautement infestés (Westwood *et al.* , 1998 ; Griffiths *et al.* , 2004).

La région de l'Afrique du nord est gravement infestée par l'orobanche. En Tunisie, des pertes importantes dans certaines cultures sont causées essentiellement par deux espèces (*O. foetida* et *O. crenata*) (Zermane *et al.* , 2002 ; Abbes *et al.* , 2006, 2007). Alors qu'au Maroc, des prospections ont permis d'identifier *O. crenata* Forsk., *O. ramosa* L. / *O. aegyptiaca* Pers. et *O. foetida* Poir. comme principales espèces problématiques des cultures. La première espèce reste la plus dévastatrice des légumineuses alimentaires (fève, lentille, petit pois et pois-chiche) et la carotte. Un taux d'infestation moyen de 69,2 % a été enregistré sur la fève, correspondant à une perte moyenne de rendement de la fève de 37,4% qui est l'équivalent d'une perte monétaire de l'ordre de 33,5 millions de dollars/an (Saffour, 2003). En Algérie, ce genre englobe 32 espèces réparties sur tout le territoire algérien mais d'une façon hétérogène. La principale plante parasite de ce genre est *O. crenata* (Zermane, 1998). D'après les agriculteurs, l'orobanche représente un obstacle majeur pour plusieurs spéculations conduites sous abri ou en plein champ, à cause des pertes qu'il peut engendrer sur les cultivars utilisés et les populations locales très anciennement cultivées. En effet, c'est un danger économique effectif sur leurs revenus, ainsi qu'une menace des ressources phylogénétiques qu'ils détiennent.

#### 4.1.1 Orobanche crenata Forsk

Cette espèce est connue depuis longtemps comme une plante parasite des légumineuses. Ces dernières années elle cause des dégâts très importants sur la culture de fève (*Vicia faba* L.), de petit pois (*Pisum sativum* L.), de lentille (*Lens culinaris* Medik.), de vesce (*Vicia* spp.), (*Lathyrus* spp.) et d'autres légumineuses alimentaires et fourragères dans le bassin méditerranéen et le moyen orient (Rubiales *et al.* , 2009).

En Algérie, cette espèce s'attaque aussi bien aux plantes cultivées qu'aux adventices et aux plantes ornementales (Zermane, 1998). Une étude phytosociologique a démontré la présence d'une affinité phytosociologique entre cette plante parasite et certaines plantes spontanées dans les champs de cultures de la fève dans l'est d'Alger (Ouallah *et al.* , 2009). Actuellement, des investigations sur les possibilités d'exploitation de ces affinités phytosociologiques dans la finalité d'obtention des produits à effets biopesticides sont en cours (Zermane, 2010. communication personnelle).

## 4.2 Le genre *Cuscuta*

Le genre *Cuscuta* est le seul groupe de plantes parasites de la famille des *Convolvulaceae* (Yuncker, 1932) et l'un des genres les plus connus des plantes parasites (Kuijt, 1969 in Meulbrouck *et al.* . 2009) englobant entre 165 et 175 espèces épiphytes holoparasites obligatoires dotées d'une tige fine entourant l'hôte (Stefanovic *et al.* , 2003). Il est présent à travers le monde entier (Holm *et al.* , 1997) sous plusieurs climats, avec la faculté



de parasiter des plantes de différents types allant des herbes jusqu'aux arbres (**Robert, 2002**). Les plantes de ce genre contiennent peu de chlorophylle, la photosynthèse est très faible chez la majorité des espèces (**Pattee et al. , 1965 ; Sherman et al. , 1999 ; Van der Kooij et al ., 2000** ).Les cuscutes peuvent causer une destruction totale des cultures affectées(**Agrios, 1997**) et sont considérées comme plantes de quarantaine dans le commerce international des semences (**Knepper et al. , 1990**).D'autre part, certaines espèces sont connues pour leurs utilisations médicinales (*Cuscuta reflexa*Roxb,*Cuscuta chinensis*Lam.) (**Khan et al ., 2010**).

Le genre *Cuscuta* se caractérise par un nombre très élevé de graines produites par plant, capables de garder leur pouvoir germinatif pendant au moins dix ans dans les champs infestés (**Sandler et Ghantous , 2007**).Bien que la cuscute soit une plante annuelle, son haustorium peut passer tout l'hiver en état de dormance sur la plante hôte pour assurer au printemps une autre progéniture du parasite sans le recours à la formation des graines (**Meulebrouck et al ., 2009**).Ces deux formes de multiplication augmentent la probabilité de reproduction du parasite, en dépit parfois des conditions défavorables, et ainsi augmentent les chances d'infestation des plantes cultivées par cette plante parasite. La germination des graines se fait indépendamment de la plante hôte, puis les tiges émergées font des mouvements de rotation ou « circumnutation » en cherchant l'hôte convenable (**Sandler et al ., 1997**). Dans les conditions favorables, la fine tige de la cuscute s'enroule sur l'hôte et à chaque point de contact développe un haustorium (**Vaughn, 2002**).Des composés organiques volatiles de l'hôte sont impliqués dans sa détection par la cuscute (**Runyon, 2006 ; Unsicker et al ., 2009**), quant à l'infection de l'hôte par la cuscute, elle est codée par des gènes (**Albert et al ., 2006 ; Dong-Mei et al. , 2009**).Dès que l'haustorium atteint le système vasculaire de l'hôte il commence à sucer l'eau, les photosynthétats, et les ions minéraux (**Birschwilks et al ., 2006**)et tous types de substances y compris les virus, les phytoplasmes, les métabolites secondaires et les acides ribonucléiques (**Malik et Singh, 1979 ; David-Schwartz et al ., 2008**). Pour cela, la cuscute est dotée de mécanismes de régulations physiologiques d'homéostasie cellulaire et de détoxification (**Vurro et al ., 2010**).

L'haustorium à l'intérieur de l'hôte est capable de régénérer de nouvelles tiges vers l'extérieur, ce qui lui confère la possibilité de surmonter la lutte mécanique de suppressions des tiges (**Truscott, 1958**).La dissémination desgraines de cuscute peut facilement se faire par les pratiques culturales (**Bunch et al ., 1959**).

Selon **Lanini et Kogan (2005)**,la répartition du genre *Cuscuta* dans le monde entier (Tab. 3) et le pouvoir de ses espèces de s'attaquer à une gamme d'hôte très large,font qu'elles soient parmi les parasites les plus dévastatrices dans le monde.

Source : Lanini et Kogan (2005)

D'après **Zermane (1998)**, douze espèces du genre *Cuscuta* sont signalées en Algérie, six d'entre elles sont endémiques, les autres sont introduites. En terme d'incidence économique, deux espèces sont importantes : *C. epithymum* et *C. campestris*. Cette dernière espèce a été introduite de l'Amérique du Nord vers la fin des années 60, elle s'adapte très bien avec les conditions climatiques de tout le nord algérien et parasite plus d'une vingtaine de familles botaniques particulièrement les *Asteracées*, *Fabacées*, *Solanacées* et *Apiacées*. Elle s'attaque principalement aux cultures maraîchères : tomate, piment, poivron, ail, oignon...etc.

**Saghir (1994)** signale que plus de 20% de la superficie cultivées en arbres fruitiers, tomate, pomme de terre, ail, oignon, laitue et fourrage sont infestées par *C. campestris* en Algérie.

### 4.3. Biocontrôle des phanérogames parasites

En général, le biocontrôle des adventices consiste à réduire leurs effectifs dans une culture ou réduire leur compétitivité à l'espèce cultivée en utilisant des organismes vivants. C'est une méthode de lutte sélective, relativement moins coûteuse, bénéfique aux équilibres des agroécosystèmes et son application sur les cultures, sous forme de bioherbicides, est facile et mécanisable en utilisant les mêmes moyens des herbicides chimiques (**Radosevich et al ., 2007 ; Driesche et al ., 2008 ; Muniappan et al ., 2009 ; Ash, 2010**). La combinaison de biocontrôle avec d'autres méthodes est possible dans le cadre d'une stratégie d'une protection intégrée (**David, 2009**).

Les effets négatifs des pesticides chimiques tels que la pollution chimique et la résistance des agents traités, ont encouragé le développement des biopesticides comme une bonne alternative. Cependant, cette innovation devrait être capable d'estimer le risque des métabolites sur l'environnement, la santé humaine et animale (**Vurro et Gressel, 2008**). Afin d'améliorer cette innovation, certains auteurs ont recommandé le recours à la biologie moléculaire pour surmonter certaines difficultés (**Amsellem et al ., 2002 ; Gressel et al ., 2005**). Etant donné que les phanérogames parasites soient des plantes intimement liées à l'hôte, les stratégies de lutte conventionnelle et l'utilisation des herbicides chimiques ne sont pas toujours adéquates. A cet égard, les bioherbicides offrent plus de perspectives notamment avec leur spécificité d'attaque (**Aly, 2007**).

Le biocontrôle des phanérogames parasites peut se faire en utilisant des souches virulentes de pathogènes (champignons, bactéries, ou virus) ou les composés chimiques de leurs métabolismes naturellement nuisibles aux phanérogames parasites (**Hoagland, 2001 ; Sauerborn et al ., 2007 ; Pérez-de-Luque et al ., 2010**). *Fusarium oxysporum* représente une espèce fongique très prometteuse pour le contrôle d'*Orobancha* spp. (**Boari et vurro, 2004**), ainsi que l'utilisation de ses produits naturels (**Evidente et al ., 2006**) en formulation dans l'objectif de commercialisation. Pour la cuscute, certaines souches d'*Alternaria destruens* ont été sélectionnées et commercialisées tant que mycoherbicides (**Hopen et al ., 1997 ; Cook et al ., 2009**). En outre, l'emploi des bactéries rhizosphériques PGPR est bénéfique en stimulation de la croissance végétale et en biocontrôle des espèces d'*Orobancha* spp. (**Zermane et al ., 2007**). Par ailleurs, la possibilité d'infection de *Cuscuta* spp. par des virus de la tomate et du concombre a été démontrée (**Hilary, 2010**).

En plus des microorganismes, les insectes peuvent être utilisés comme moyen de lutte contre les phanérogames parasites, tels que le diptère *Melanagromyza cuscutae* Hering (Diptera, Agromyzidae) contre *Cuscuta* spp. (**Baloch et al ., 1967 ; Parker, 1991**) et *Phytomyza orobanchia* Kalt. (Diptera, Agromyzidae), un monophage dont les larves se nourrissent des graines de l'orobanche à l'intérieur des capsules (**Klein et Kroschel, 2002**).

D'après **Lichtfouse (2010)**, l'allélopathie offre beaucoup de perspectives d'exploitation dans le biocontrôle des phanérogames parasites les plus redoutables dans le monde, à savoir l'orobanche et la cuscute. L'allélopathie est tout effet nuisible direct ou indirect d'une plante ou d'un tissu végétal sur une autre plante à travers la production, la libération ou la volatilisation des composés chimiques dans la rhizosphère sous forme d'exsudats racinaires ou sous forme de substances libérées après décomposition des débris végétaux. Elle

nécessite plus d'investigations sur l'identification des substances chimiques, leurs modes d'action, leurs régulations génétiques ...etc (**Weston, 2005**).



---

# MATERIELS ET METHODES

## 1. Echantillonnage et procédures d'isolement

### 1.1 Echantillonnage

---

Une prospection sur le terrain a été effectuée pendant le mois de février 2009 à l'ouest de l'algérois dans les régions de Zeralda, Fouka et Tagouraït de la wilaya de Tipaza dans les cultures susceptibles d'être attaquées par la phanérogame parasite *Orobanche crenata*, à savoir la fève et le petit pois.

Des échantillons de sol rhizosphérique (1kg / échantillon) ont été prélevés dans ces cultures dans 7 sites de la zone échantillonnée. Des plants entiers des mêmes cultures ont été prélevés avec leurs systèmes racinaires de manière aléatoire dans les champs infestés ou non par l'orobanche. Suffisamment de sol a été gardé autour du système racinaire pour éviter une perte rapide de l'humidité. Les échantillons ont été conservés dans des sacs en papier propres puis placés au réfrigérateur à 4 °C au laboratoire et traités dans un délai maximum de 48h après la collecte.

### 1.2 Isolement des rhizobactéries

---

L'isolement des bactéries rhizosphériques a été réalisé au laboratoire des phanérogames parasites à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) à partir des échantillons de sol ou des racines des plants de fève et de petit pois collectés.

#### 1.2.1 Isolement

Dans des fioles stériles de 250 ml de capacité, 10 g de sol rhizosphérique (de chaque échantillon) ont été placés dans 90 ml d'eau distillée stérile (EDS). Par ailleurs, des fragments de 1 à 1,5 cm de long ont été prélevés des racines des plants collectés puis placés dans 100 ml d'EDS dans des fioles de même capacité. L'ensemble des fioles ont subi une agitation à 150 tours par minute pendant 20 minutes sur un agitateur orbital.

Une série de dilutions ( $10^{\square 1}$  à  $10^{---10}$ ) a été préparée pour chaque échantillon en prélevant 1 ml de la solution initiale et le plaçant dans 9 ml d'EDS dans un tube à essai stérile pour obtenir une dilution de  $10^{\square 1}$ , puis de chaque dilution, la même opération est répétée jusqu'à obtention de la dilution  $10^{---10}$ . A l'aide d'une micropipette, 100  $\mu$ l de chacune des dilutions de  $10^{\square 7}$  à  $10^{---10}$  ont été prélevés puis étalés sur les milieux B de King, Nutrient Agar et TSA (Tryptic Soy Agar)

dans des boîtes de Pétri stériles ( $\varnothing = 9$  cm). Deux répétitions ont été réalisées pour chaque dilution.

Les boîtes de Pétri portant les indications nécessaires (origine de la solution étalée, espèce cultivée, dilution, type du milieu de culture) ont été incubées à 22°C pendant 48 heures.

### **1.2.2 Sélection des colonies bactériennes, purification et conservation des souches**

Après incubation, les colonies les plus représentatives ont été sélectionnées en se basant sur des critères morphologiques (couleur, aspect extérieur, aspect de la bordure, diamètre des colonies ..etc).

Les souches sélectionnées ont été codées puis cultivées, sous des conditions d'aseptie, dans de nouvelles boîtes de Pétri sur le milieu de culture le plus convenable à leur développement. Après incubation à 22 °C pendant 48 heures, les souches ainsi purifiées ont été placées au réfrigérateur à 4°C. Un repicage régulier des souches a été effectué (environ chaque mois) pour garder leur viabilité. Pour une conservation de longue durée, les souches rhizobactériennes ont été maintenues au congélateur dans des tubes cryogéniques contenant du milieu B de King supplémenté de 30% de glycérol.

## **2. Evaluation des souches rhizobactériennes pour leur activité stimulatrice de la croissance végétale**

### **2.1 Préparation de l'inoculum**

---

Les souches rhizobactériennes isolées ont été cultivées individuellement sur les milieux B de King ou le Nutrient Agar. Après 48h d'incubation à 22°C, les cultures bactériennes ont été collectées par addition de MgSO<sub>4</sub> stérile (0,1 M) dans chaque boîte et raclage à l'aide d'un étaleur stérile. La densité optique des suspensions bactériennes initiales a été d'abord déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 560 nm, puis ajustée à une densité optique de 2.0 par des dilutions appropriées des suspensions mères, équivalente à une concentration de 10<sup>9</sup> à 10<sup>10</sup> cfu (colony forming units) ml<sup>-1</sup>.

### **2.2 Le bio-test de laitue (*Lactuca sativa* L.)**

---

Ce test mené *in vitro* permet une détection rapide de l'activité stimulatrice ou inhibitrice des souches rhizobactériennes sur la croissance végétale vue la sensibilité des graines de la laitue. Il s'agit d'inoculer les graines prégermées de cette plante par les souches rhizobactériennes et la mesure de l'élongation des radicules après 48h d'incubation.

#### **2.2.1 Désinfection et prégermination des graines de laitue**

Les graines de la laitue ont subi une désinfection superficielle (trempage dans l'hypochlorite de Sodium à 1% pendant 1-2 min, rinçages abondants à l'EDS, trempage pendant 30 secondes dans l'éthanol à 70°, rinçages de nouveau à l'EDS). Les graines désinfectées ont été séchées dans du papier buvard stérile puis dispersées dans des boîtes de Pétri (Ø = 9 cm) contenant de l'eau gélosée à 1% (Autoclavage à 120°C pendant 20 minutes). Les

boites de Pétri contenant les graines de laitue ont été par la suite incubées à 22°C pendant 24 heures.

### 2.2.2 Inoculation des graines de laitue prégermées

Les graines de laitue prégermées avec une longueur de radicules uniforme (1,5-2 mm) (Fig. 1) ont été placées dans des boites de Pétri contenant de l'eau gélosée (20 graines par boite) puis inoculées chacune par 30µl de suspension des souches rhizobactériennes appliquées individuellement. Chez le témoin, 30 µl de MgSO<sub>4</sub> stérile (0,1 M) ont été utilisés. Après incubation des boites à 22°C pendant 48 heures, la longueur des radicules a été mesurée et les données ont été analysées statistiquement pour déterminer les souches stimulatrices de la croissance. Ces dernières ont subi un 2<sup>ème</sup> test similaire avec deux répétitions pour confirmation des résultats.



Figure 1. Graines de laitue (*Lactuca sativa* L.) prégermées sur l'eau gélosée à 1%.

### 2.3 Evaluation *in vitro* des souches rhizobactériennes sur la germination et la longueur des radicules des graines germées de quelques espèces cultivées

Les souches ayant gardées leur pouvoir stimulateur de la croissance lors du deuxième test de la laitue, ont été testées *in vitro* sur les graines des espèces cultivées suivantes : blé dur (*Triticum durum* Desf., cv. "Mohamed Ben Bachir"), orge (*Hordeum vulgare* L., cv. "Saïda"), fève (*Vicia faba* L., cv. "Histal"), pois chiche (*Cicer arietinum* L., cultivar inconnu), petit pois (*Pisum sativum* L., cv. "petit provence") Luzerne (*Medicago sativa* L., cultivar inconnu) tomate (*Lycopersicon esculentum* L., cv. "Marmande"). Les graines ont été d'abord désinfectées superficiellement puis distribuées dans des boites de Pétri (Ø = 9 cm) sur du papier Whatman stérile humecté avec de l'EDS, à raison de 10 graines par boite pour les petites graines (blé, orge, petit pois, luzerne et tomate) et de 4 graines par boite pour les grandes graines (fève et pois chiche). Les traitements consistaient à appliquer individuellement les inoculum des souches sélectionnées selon le nombre de graines par boîte (2 ml parboite contenant les petites graines et 5ml par boite contenant les

grandes graines). Les mêmes quantités d'EDS ont été utilisées dans les boîtes des témoins correspondants. Les traitements de ce test ont été menés avec deux répétitions.

L'ensemble des boites ont été incubées à 22°C pendant dix jours. Le taux de germination journalier et final ainsi que la longueur finale des racines ont été notés.

## **2.4 Evaluation de l'effet des deux souches rhizobactériennes codées FKS560 et FKF5100 sur la croissance de quelques espèces cultivées en pots**

---

Lors de cet essai mené en pots, les mêmes variétés citées ci dessus du blé dur, de l'orge, de la fève et de pois chiche ont été testées et inoculées par les deux souches les plus prometteuses codées FKS560 et FKF5100, appliquées sous forme de suspension et de formulation appelée "Pesta".

### **2.4.1 Préparation de la formulation "Pesta"**

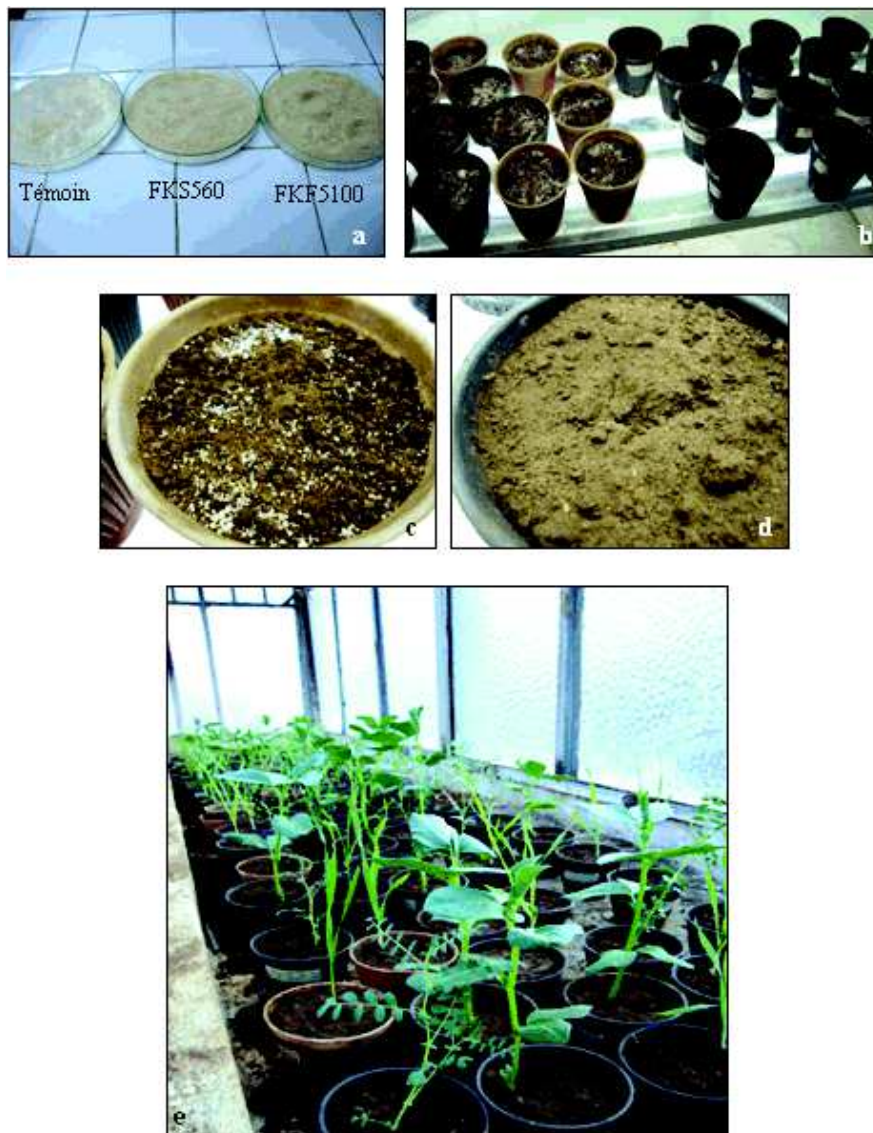
Une formulation des souches rhizobactériennes a été préparée selon la méthode de **Connick et al . (1991)**. Dans une terrine sont apportés 32 g de semoule fine achetée du marché, 6 g de Kaolin, 2 g de saccharose et 32 ml de suspension de chacune des deux souches, appliquées séparément, préparée comme précédemment décrit et contenant  $10^9$  cuf ml<sup>-1</sup>. Le tout a été mélangé à mains enfilées de gants, jusqu'à l'obtention d'une pâte molle. A l'aide d'un rouleau

à pâtisserie, la pâte a été uniformément étalée sur du papier aluminium stérile jusqu'à 1 mm d'épaisseur. Les feuilles de pâtes ont été séchées à température ambiante pendant deux jours puis broyées dans un broyeur de cuisine. Le broyat a été par la suite tamisé à travers une série de tamis dont les mailles sont successivement de 1,4 – 1,00 et 0,60 mm (Fig. 2a). La formulation du témoin est préparée de la même façon avec 32 ml d'EDS à la place de la suspension bactérienne.

### **2.4.2 Conduite de l'expérimentation**

Des pots en plastique ( $\varnothing = 12$  cm) ont été remplis par 500 g pot<sup>-1</sup> d'un mélange sol/sable non stérilisé (2:1, v/v). Le sol utilisé provient de la station expérimentale de l'ENSA. Deux séries de pots ont été préparées (Fig. 2b,c,d). Dans la première, les souches testées dans cet essai codées FKS560 et FKF5100 ont été appliquées sous forme de suspensions rhizobactériennes à raison de 30 ml par pot avec une concentration d'environ  $10^9$  cuf ml<sup>-1</sup>. Les pots chez le témoin ont reçu chacun 30 ml d'EDS. Dans la deuxième série de pots, 10g de formulation de chacune des souches ont été appliqués et mélangés avec la partie supérieure du mélange sol/sable. Les pots témoins ont reçu chacun 10g de la formulation témoin préparée sans souches rhizobactériennes. Les pots ont été ensemencés par les graines de blé et d'orge (10 graines par pot) et de fève et de pois chiche (5 graines par pot) avec quatre répétitions pour chaque traitement. Les pots ont été placés dans les conditions de laboratoire pendant une semaine afin de noter le taux d'émergence des plantules des différentes espèces (Fig. 2e). Après émergence, un seul plant par pot a été gardé et les pots ont été déposés dans une serre en verre en randomisation totale pendant un mois et arrosés régulièrement à l'eau du robinet (Fig. 2). A la fin de l'expérimentation, la longueur des tiges a été mesurée. Ultérieurement, les plants ont été dépotés, mis dans des sacs en

papier et séchés à l'étuve à 70°C pendant 48 heures. Le poids sec de la partie aérienne et des racines des plants séchés a été noté.



**Figure 2.** Test de l'évaluation en pots des souches rhizobactériennes codées FKS560 et FKF5100 sur la croissance de quelques espèces cultivées.

Les souches ont été appliquées sous forme de formulation (a, c) ou de suspension (d) au laboratoire (b) et sous serre (e).

### 3. Evaluation de l'activité antagoniste des souches codées FKS560, FKF5100 et BRS983 à l'égard d'*Orobanche crenata* Forsk. et de *Cuscuta campestris* Yuncker



Les trois souches rhizobactériennes codées FKS560, FKF5100 et BRS983 parmi les souches les plus performantes en stimulation de la croissance végétale ont été évaluées pour leur activité antagoniste à l'égard de l'orobanche (*Orobanche crenata* Forsk.) et de la cuscute (*Cuscuta campestris* Yuncker). Les suspensions bactériennes des trois souches ont été préparées comme précédemment décrit (paragraphe 2.1).

### 3.1 Evaluation de l'activité antagoniste des souches codées FKS560, FKF5100 et BRS983 à l'égard de *Cuscuta campestris*

---

#### 3.1.1 Effet sur la germination des graines de la cuscute

Les graines de cuscutes se caractérisent par une dormance tégumentaire qui peut être levée au laboratoire par une réfrigération à 4°C pendant au moins une semaine puis un trempage dans l'acide sulfurique pur pendant 10 minutes suivi d'un rinçage abondant à l'EDS.

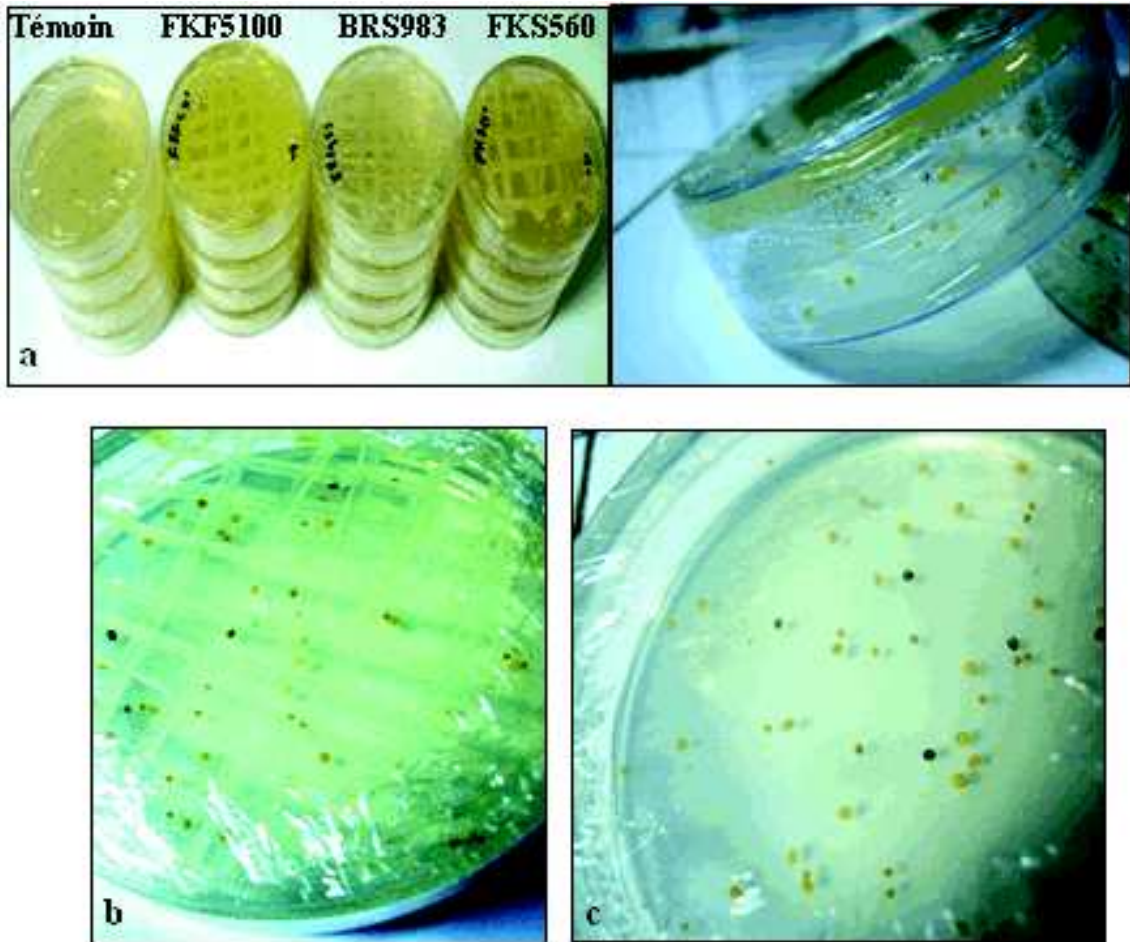
##### a Effet Direct

Afin d'évaluer l'effet direct des souches FKS560, FKF5100 et BRS983 sur la germination des graines de la cuscute, ces dernières ont été dispersées sur du papier filtre Whatman dans des boîtes de Pétri stériles (□ = 5cm) (Fig. 5a) et ont été inoculées par 5ml des suspensions rhizobactériennes appliquées individuellement. Le témoin a reçu 2ml d'EDS. Après une période d'incubation à l'obscurité à 22°C pendant 10 jours, le nombre de graines germées par boîte a été déterminé et le pourcentage de germination a été calculé. Le test a été conduit avec 4 répétitions.

##### b Effet indirect

L'effet des produits volatiles produits éventuellement par les trois souches rhizobactériennes a été évalué selon une méthode modifiée d'**Alström (2001)**. Deux boîtes de Pétri (Ø = 9cm) sans couvercles ont été jumelées, l'une contenant les graines de cuscute dispersées sur de l'eau gélosée à 1%, l'autre contenant la culture rhizobactérienne sur le milieu B de King (Fig. 3). Des paires de boîtes non inoculées ont servi de témoin. Quatre répétitions par combinaison ont été réalisées.

Les paires de boîtes ont été convenablement fermées avec un film en plastique et incubées à 22°C à l'obscurité. Après l'arrêt définitif de la germination des graines (environ 10 jours), le pourcentage de germination des graines de la cuscute a été calculé.

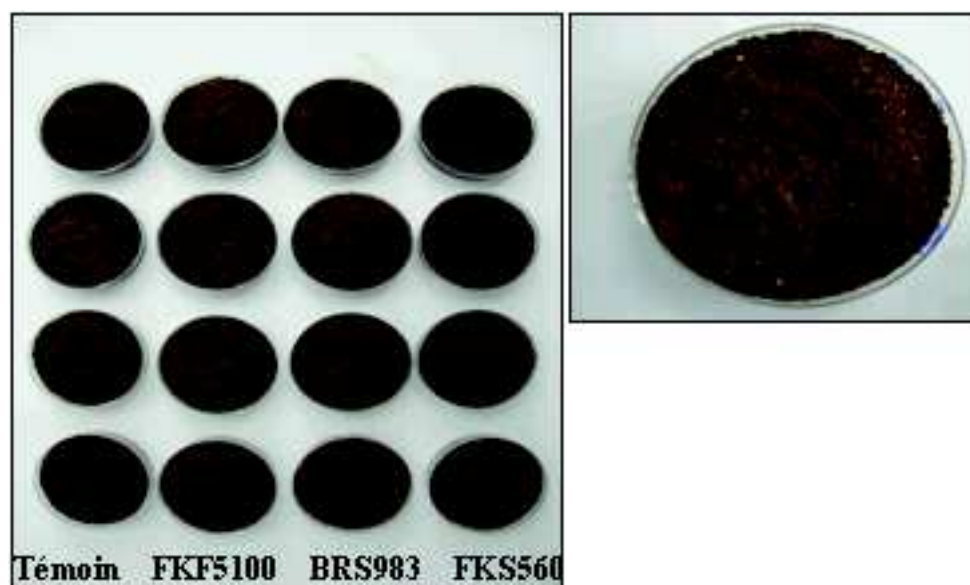


**Figure 3.** Dispositif d'évaluation de l'effet à distance des souches rhizobactériennes codées FKF5100, BRS983 et FKS560 sur la germination des graines de *Cuscuta campestris* Yuncker (a,b) comparativement au témoin non inoculé (c).

### 3.1.2 Effet des trois souches rhizobactériennes sur le taux d'émergence des plantules de la cuscute

Des graines de cuscute prégermées ont été placées dans des boîtes de Pétri ( $\varnothing = 5\text{cm}$ ) contenant un mélange sol/sable (2 :1, v/v) non désinfecté, à raison de 10 graines par boîte (Fig. 4). Les graines ont été enfouies à une profondeur de 5 mm dans le sol. Les boîtes ont été inoculées chacune par 30 ml de suspension rhizobactérienne (environ  $10^9$  cfu ml<sup>-1</sup>) des trois

souches appliquées séparément ; tandis que le témoin a reçu la même quantité d'EDS. Quatre répétitions par traitement ont été réalisées. Les boîtes ont été placées dans les conditions du laboratoire et humectées régulièrement pour éviter leur dessèchement. Après l'arrêt définitif de l'émergence chez le témoin (environ 10 jrs), le taux d'émergence chez tous les traitements a été calculé et la longueur des plantules émergées du parasite mesurée.



*Figure 4. Dispositif d'évaluation de l'effet des souches rhizobactériennes codées FKF5100, BRS983 et FKS560 sur l'émergence des plantules de Cuscuta campestris Yuncker.*

### **3.2 Evaluation de l'effet des trois souches rhizobactériennes codées FKS560, FKF5100 et BRS983 sur la germination des graines d'*Orobanche crenata* Forsk. et la longueur du tube germinatif**

---

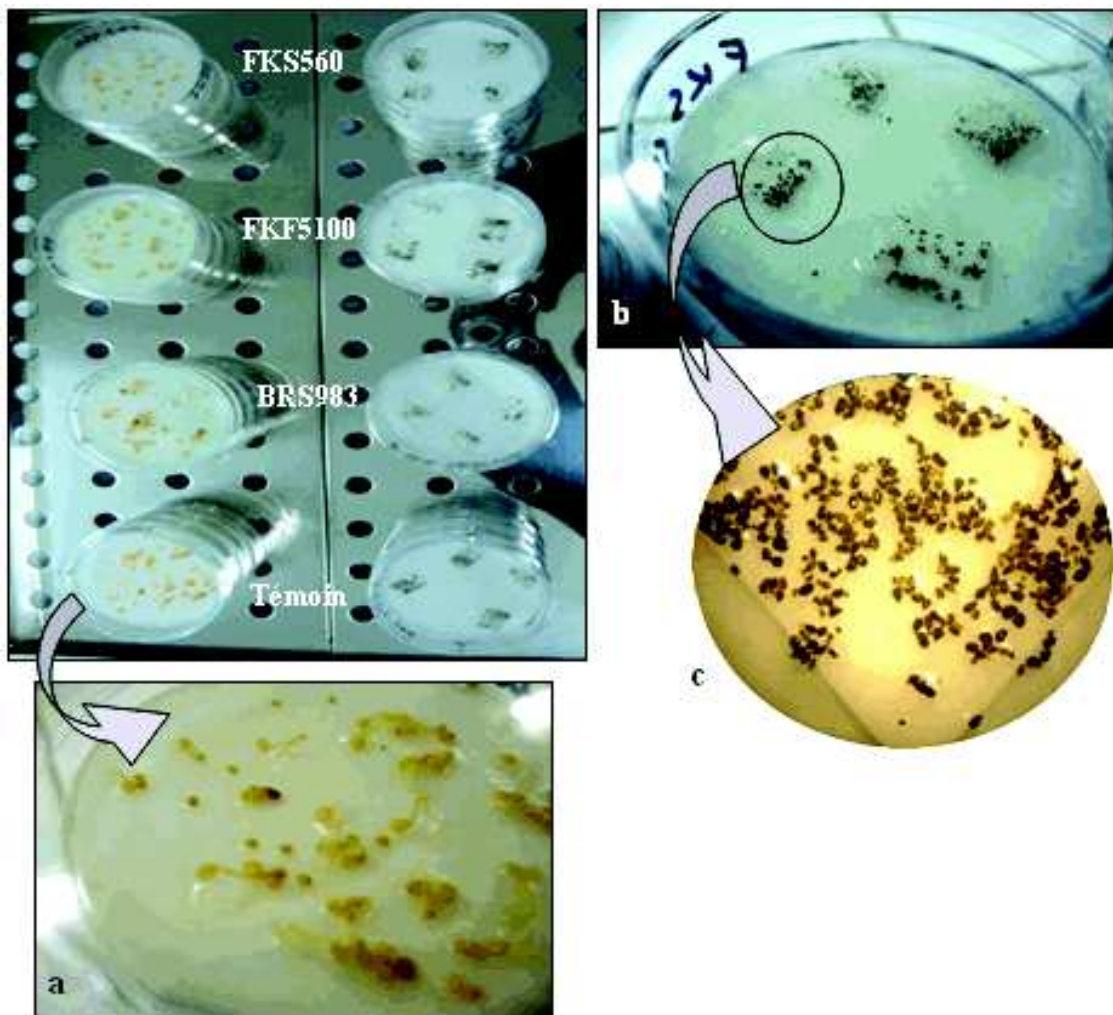
#### **3.2.1 Préconditionnement des graines et préparation du stimulant de germination (GR24)**

Pour pouvoir germer, les graines d'orobanche nécessitent un pré-conditionnement qui est réalisé au laboratoire par l'incubation des graines désinfectées du parasite, placées sur du papier filtre stérile (Whatman, GF/A) humidifié dans des boîtes de Pétri stériles, pendant 10 jours à 22°C. La germination des graines du parasite nécessitent également la présence du GR24, un stimulant synthétique de la germination qui remplace les exsudats racinaires de la plante hôte. Une solution de GR24 à 10 ppm a été préparée par dissolution de 1 mg de la poudre de GR24 dans 1ml d'acétone puis addition d'EDS jusqu'à un volume de 100 ml.

#### **3.2.2 Test de germination et longueur du tube germinatif**

Après la période de préconditionnement, de petits carreaux (de 1 cm<sup>2</sup>) ont été découpés, à l'aide d'un scalpel stérile, dans le papier filtre portant les gaines d'orobanche préconditionnées puis placés dans de nouvelles boîtes de Pétri (□ = 5 cm, 4 carreaux par boîte) sur du papier filtre stérile (Whatman, GF/A) (Fig. 5). Par la suite, chaque boîte a été inoculée par 2ml des suspensions rhizobactériennes appliquées séparément et 2ml de GR24 à 10 ppm, alors que le témoin a reçu 2 ml de GR24 plus 2 ml d'EDS. Quatre répétitions par traitement ont été réalisées. Après 15 jours d'incubation à l'obscurité à 22°C, le pourcentage de germination par boîte a été calculé et la longueur du tube germinatif a été mesurée.





**Figure 5.** Dispositif d'évaluation de l'effet des souches rhizobactériennes codées FKS560, FKF5100 et BRS983 sur la germination des graines de *Cuscuta campestris* Yuncker (a) et d'*Orobanche crenata* Forsk. (b,c).

#### 4. Test de production de cyanide

Ce test a été réalisé sur les trois souches FKF5100, BRS983 et FKS560 afin d'évaluer leur activité cyanogénique selon la méthode décrite par **Bakker et Schippers (1987)**. Des cultures de 48h de ces souches rhizobactériennes ont été repiquées sur un milieu de culture B de King soit supplémenté de  $4.4 \text{ g l}^{-1}$  de glycine soit sans glycine. Sur la surface interne du couvercle des boîtes de culture, des morceaux de papier filtre stériles imbibés d'une solution de picrate de sodium carbonate composée de 0,5 % d'acide picrique et de 2% de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ont été placés. Cette solution a été autoclavée à  $120^\circ\text{C}$  pendant 20 minutes avant utilisation. Toutes les boîtes ont été bien fermées avec du parfilm et incubées à  $28^\circ\text{C}$  pendant 48 heures. Cet essai a été mené avec 4 répétitions avec des témoins sans cultures rhizobactériennes. Les boîtes ont été observées pour tout changement éventuel de

la couleur du papier filtre du jaune à l'orange ou au rouge. Ce changement serait révélateur de l'activité cyanogénique des souches testées.

## **5. Analyses statistiques**

Tous les tests ont été conduits en randomisation totale et les résultats ont subi l'analyse de la variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SPSS (Statistical Product and Service Solutions for Windows) version 10.0. Les différences entre les moyennes ont été définies selon le test de Tukey aux seuils de 5 % et 1 %.

---

# RESULTATS ET DISCUSSIONS

## I. Résultats

### 1 Isolement et purification des rhizobactéries

---

L'isolement et la purification des rhizobactéries nous a permis d'obtenir 101 souches (Fig. 6), dont 20 (soit 19,8% des souches) ont été isolées sur le milieu Nutrient Agar (NA), 29 (28,7%) sur le milieu « Tryptic Soy Agar » (TSA) et 52 souches (51,5%) sur le milieu B de King (KBA). Selon leur origine géographique, 15 souches (soit 14,9%) sont originaires de la région de Tagourait, 35 souches (34,6%) de la région de Zeralda et 51 souches (50,5%) de la région de Fouka. D'autre part, 16 souches (soit 15,9%) ont été isolées des fragments de racines de petit pois, 29 souches (28,7%) des fragments de racines de la fève et 56 souches (55,4%) du sol rhizosphérique des deux plantes.

### 2 Sélection des souches stimulatrices de la croissance végétale

---

#### 2.1 Bio-test de la laitue (*Lactuca sativa* L.)

##### 1<sup>ère</sup> Etape

Le bio-test de la laitue étant un indicateur du potentiel stimulateur ou inhibiteur de la croissance végétale des souches rhizobactériennes, nous a permis de classer les 101 souches testées en trois catégories : les souches inhibitrices de la croissance des plantules de laitue (52 souches, soit 51,5%) (Fig. 6.4), les souches sans effet sur la croissance (24 souches, soit 23,7%) et les souches à effet stimulateur de la croissance des racines (25 souches, 24,8%) comparativement au témoin non inoculé (Fig. 6.2 A) (Fig. 6.2 B et 3B).

Les résultats de l'effet de cette dernière catégorie de souches rhizobactériennes sur la longueur des racines des graines germées de la laitue sont présentés dans le tableau 4. Il ressort de ces résultats que toutes les souches ont causé une stimulation significative de la longueur des racines allant de 29,8% à 142% comparativement au témoin non inoculé.

Tenons compte de l'origine géographique des souches rhizobactériennes à effet stimulateur, 15 souches (60%) sont originaires de Fouka dont 7 ont causé les meilleurs taux de stimulation ; 6 souches (soit 24%) sont originaires de Tagourait et 4 souches (16%) sont originaires de Zeralda.

Prenant en considération l'origine du prélèvement des échantillons, 12 souches (48%) sont originaires d'échantillons de sols rhizosphériques, tandis que 9 souches (36%) et 4 souches (16%) ont été isolées des fragments des racines de la fève et du petit pois, respectivement.

Parmi les neuf meilleures souches ayant causées des taux de stimulation supérieurs à 100%, 1 souche est originaire de la région de Tagourait, 1 souche de la région de Zeralda et 7 souches de la région de Fouka. D'après l'origine du prélèvement des échantillons, nous constatons qu'une souche est originaire des fragments des racines de la fève, 4 souches

sont originaires des fragments de racines de petit pois et 4 souches sont originaires du sol rhizosphérique des deux espèces. Le meilleur taux de stimulation de la croissance (142%) a été obtenu suite à l'application de la souche FKP449 originaire des fragments des racines de petit pois.

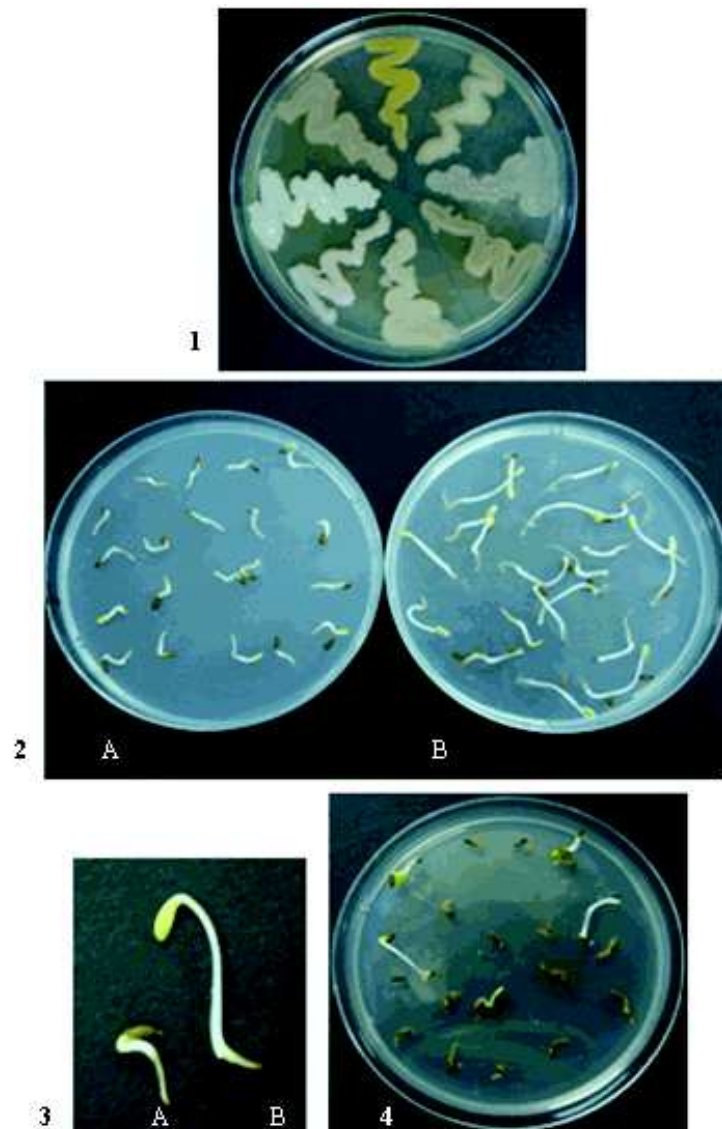
| Souches | Longueur des racicules de laitue |               |
|---------|----------------------------------|---------------|
|         | Longueur moyennes (mm)           | Stimulation % |
| Témoin  | 09,1 a                           | /             |
| BRS998  | 11,8 bcdefg                      | 29,8          |
| FKF771  | 11,8 bcdefg                      | 29,8          |
| FKF5100 | 12,0 cdefgh                      | 32,0          |
| ZDF237  | 12,1 defgh                       | 32,6          |
| ZDS241  | 12,1 defgh                       | 33,1          |
| FKS415  | 13,0 fghi                        | 42,5          |
| ZDF310  | 13,0 fghij                       | 43,0          |
| BRS895  | 13,1 ghij                        | 43,6          |
| FKS560  | 14,0 hijk                        | 54,0          |
| FKF689  | 14,0 hijk                        | 54,0          |
| BRS983  | 14,0 hijk                        | 54,0          |
| ZDF311  | 14,0 hijk                        | 54,0          |
| FKS587  | 14,8 ijk                         | 62,8          |
| FKF666  | 15,0 ijk                         | 65,0          |
| FKS774  | 15,1 jk                          | 65,6          |
| ZDF12   | 15,8 k                           | 72,5          |
| BRP896  | 19,1 kl                          | 109,6         |
| ZDF11   | 19,8 kl                          | 117,8         |
| FKS421  | 20,0 lm                          | 120,0         |
| FKP584  | 20,1 lm                          | 121,1         |
| FKS422  | 20,8 lm                          | 128,8         |
| FKP424  | 21,0 lm                          | 130,5         |
| FKS454  | 21,1 lm                          | 131,6         |
| FKS668  | 22,0 m                           | 142,0         |
| FKP449  | 22,0 m                           | 142,0         |

**Tableau 4.** Les souches rhizobactériennes ayant manifestées un effet stimulateur de la croissance des racicules des graines germées de la laitue (1<sup>ère</sup> étape du bio-test de laitue).

Les moyennes d'une même colonne suivies de lettres différentes sont significativement différentes du témoin non inoculé au seuil de 1% selon le test de Tukey.

Par ailleurs, nous avons constaté que certaines des souches inhibitrices ont causé, en plus de l'inhibition de la croissance, une nécrose parfois totale des graines germées de laitue ou une

partie des racicules (Fig. 6.4). De telles souches peuvent être exploitées ultérieurement dans la lutte contre les phanérogames parasites notamment pour la réduction du stock semencier des sols infestés.



**Figure 6.** Aspect de souches rhizobactériennes purifiées et leurs effets en bio-test de laitue

1. Aspects de quelques souches rhizobactériennes purifiées
2. A/ Témoin non inoculé. B/ Stimulation de la croissance.
3. A/ Plantule témoin. B/ Plantule stimulée.
4. Inhibition de la croissance des plantules de laitue.

## 2<sup>ème</sup> Etape

Un test de confirmation a été réalisé uniquement avec les souches qui se sont révélées stimulatrices de la croissance lors du premier test de la laitue (Tableau 4). Parmi les 25 souches testées, 12 souches (48%) ont gardé leur pouvoir stimulateur (Tableau 5), l'effet du reste des souches n'était pas statistiquement différent de témoin.

Parmi les 12 souches stimulatrices, 8 (soit 66,7%) sont originaires de Fouka parmi lesquelles figurent les trois meilleures souches ; tandis que 2 souches (16,7%) sont originaires de Tagouraït et 1 souche (8,3%) de Zeralda.

Selon l'origine du prélèvement des échantillons, 6 souches (50%) proviennent d'échantillons de sols rhizosphériques, tandis que 2 souches (16,7%) et 4 souches (33,3%) ont été isolées de fragments des racines de la fève et de petit pois, respectivement. Le taux de stimulation le plus élevé (131,2%) a été obtenu suite à l'application de la souche FKF689 (isolée des fragments des racines de la fève), suivie par les souches BRS895, FKS454 et FKP584 (originaires de sols rhizosphériques de la région de Tagouraït et de Fouka, et des fragments des racines de petit pois) avec 98% de stimulation de la longueur des radicules de laitue.

| Souches | Longueurs des radicules de laitue |               |
|---------|-----------------------------------|---------------|
|         | Longueurs moyennes (mm)           | Stimulation % |
| ZDF237  | 15,00 a                           | NS            |
| FKS415  | 15,03 a                           | NS            |
| ZDF310  | 15,10 a                           | NS            |
| Témoin  | 15,15 a                           | -             |
| ZDF11   | 15,18 a                           | NS            |
| FKS421  | 15,20 a                           | NS            |
| FKS422  | 15,28 a                           | NS            |
| FKS668  | 15,38 a                           | NS            |
| ZDF311  | 15,98 a                           | NS            |
| FKF666  | 16,05 a                           | NS            |
| FKS774  | 16,08 a                           | NS            |
| ZDF12   | 16,08 a                           | NS            |
| BRS998  | 16,08 a                           | NS            |
| FKF771  | 16,18 a                           | NS            |
| FKF5100 | 19,85 b                           | 31,0          |
| BRP896  | 20,10 b                           | 32,7          |
| BRS983  | 20,18 b                           | 33,2          |
| FKS560  | 24,03 c                           | 58,6          |
| FKS587  | 24,58 c                           | 62,2          |
| ZDS241  | 26,90 d                           | 77,5          |
| FKP449  | 28,90 de                          | 90,7          |
| FKP424  | 29,25 f                           | 93,1          |
| BRS895  | 29,98 f                           | 98,0          |
| FKS454  | 29,98 f                           | 98,0          |
| FKP584  | 30,00 f                           | 98,0          |
| FKF689  | 35,03 g                           | 131,2         |

*Tableau 5. Effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des radicules de la laitue (test de confirmation, 2<sup>ème</sup> étape du bio-test de laitue).*

## 2.2 Evaluation *in vitro* de l'effet des souches sélectionnées stimulatrices de la croissance sur quelques espèces cultivées



**2.2.1 Effet des souches rhizobactériennes sur le taux de germination des graines de quelques espèces cultivées**

Les résultats de l'évaluation des souches rhizobactériennes sur la germination des graines des espèces cultivées sont présentés dans le tableau 6. En générale, nous constatons que les souches rhizobactériennes n'ont eu aucun effet délétère ou stimulateur sur le taux de germination des graines statistiquement différent des témoins respectifs. Néanmoins, trois souches codées BRP896, BRS983 etFKS560 ont significativement réduit le taux de germination des graines de la tomate.

| Souches rhizobactériennes | Taux de germination (%) |             |         |       |       |            |        |
|---------------------------|-------------------------|-------------|---------|-------|-------|------------|--------|
|                           | Fève                    | Pois Chiche | Luzerne | Orge  | Blé   | Petit Pois | Tomate |
| FKF5100                   | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 97 a  | 100 a | 100 a      | 100 a  |
| BRP896                    | 100 a                   | 100 a       | 93 a    | 100 a | 97 a  | 100 a      | 90 b   |
| BRS983                    | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 97 a  | 100 a | 97 a       | 80 c   |
| FKS560                    | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 100 a | 100 a | 100 a      | 90 b   |
| FKS587                    | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 100 a | 97 a  | 100 a      | 100 a  |
| ZDS241                    | 100 a                   | 100 a       | 97 a    | 100 a | 100 a | 100 a      | 100 a  |
| FKP449                    | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 100 a | 100 a | 100 a      | 100 a  |
| FKP424                    | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 100 a | 100 a | 100 a      | 100 a  |
| BRS895                    | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 100 a | 100 a | 100 a      | 100 a  |
| FKS454                    | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 100 a | 100 a | 100 a      | 93 a   |
| FKP584                    | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 100 a | 100 a | 100 a      | 100 a  |
| FKF689                    | 100 a                   | 100 a       | 93 a    | 97 a  | 93 a  | 100 a      | 100 a  |
| Témoin                    | 100 a                   | 100 a       | 100 a   | 100 a | 97 a  | 100 a      | 100 a  |

**Tableau 6.** Effet des souches rhizobactériennes sélectionnées sur le taux de germination des graines de quelques espèces cultivées.

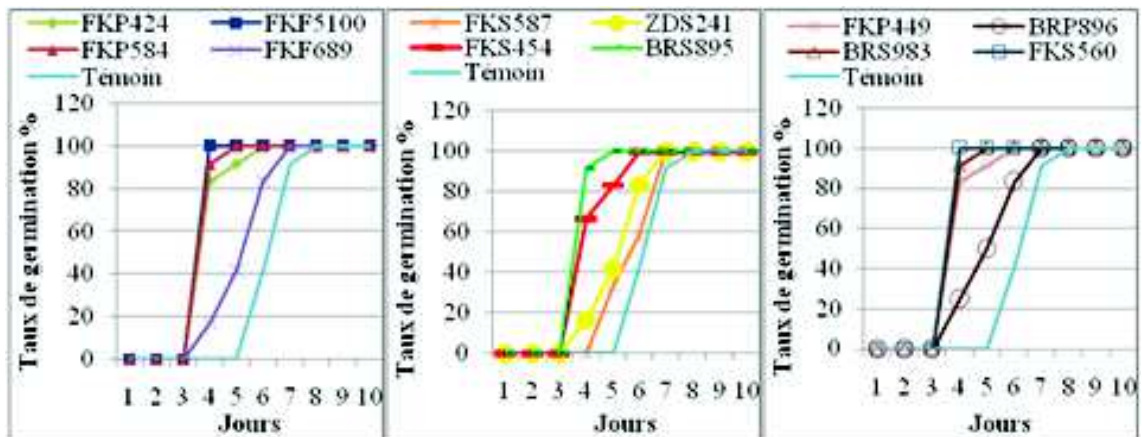
Les moyennes suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey au seuil  $\alpha= 5\%$ .

**2.2.2 Effet des souches rhizobactériennes sur la vitesse de germination des graines et la longueur des radicules des graines germées**

**2.2.2.1 Effet sur la fève**

**A. Effet sur la vitesse de germination des graines**

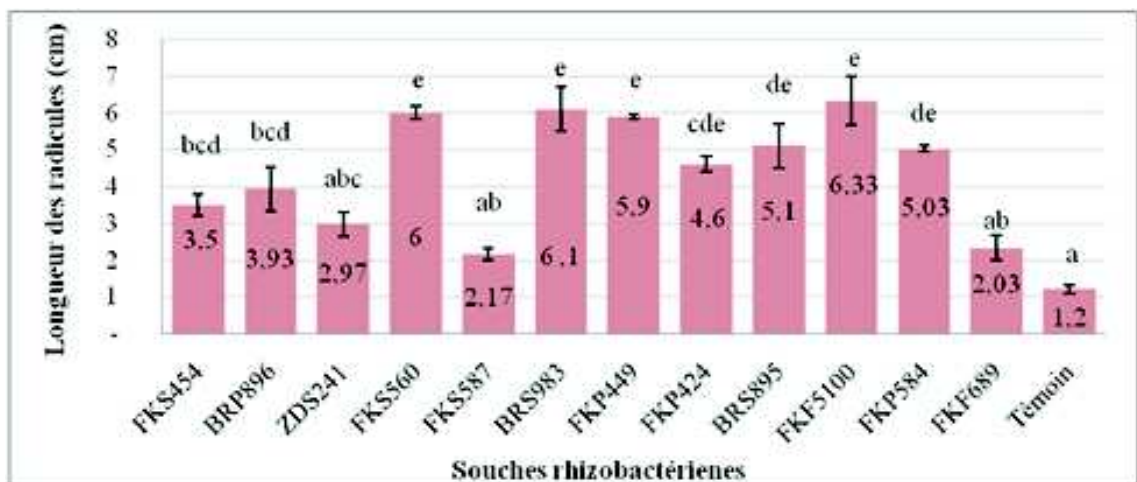
Nous constatons d'après les résultats représentés par la figure 7 que l'ensemble des souches rhizobactériennes testées ont eu un effet accélérateur de la vitesse de germination des graines de la fève par rapport au témoin non inoculé. Ainsi, les graines traitées par 11 parmi les 12 souches testées ont commencé à germer 48h avant celles du témoin non traité. D'autre part, la germination des graines chez le témoin a commencé le 5<sup>ème</sup> jour d'incubation et a atteint son maximum (100 %) le 8<sup>ème</sup> jour alors que chez les graines traitées par les souches FKF5100 et FKS560, 100% de germination est déjà atteint le 4<sup>ème</sup> jour.



**Figure 7.** Evolution dans le temps du taux de germination des graines de la fève sous l'effet de 12 souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale.

### B. Effet sur la longueur des racicules des graines germées

Les résultats de l'effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des racicules des graines germées de la fève, représentées par la figure 8, révèlent un effet stimulateur de la croissance des racicules très hautement significatif ( $P=0,000$ ) avec les souches FKF5100, BRS983, FKS560, FKP449, BRS895, FKP584 et FKP424. Cette stimulation varie de 283,3% à 427,5% comparée au témoin non inoculé. Les souches BRP896 et FKS454 ont assuré une stimulation hautement significative ( $P=0,002$ ) allant de 191,6% à 227,5%. Cependant, les souches restantes ont eu un effet non significatif sur la croissance des racicules.



**Figure 8.** Effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des racicules des graines germées de la fève.

Les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

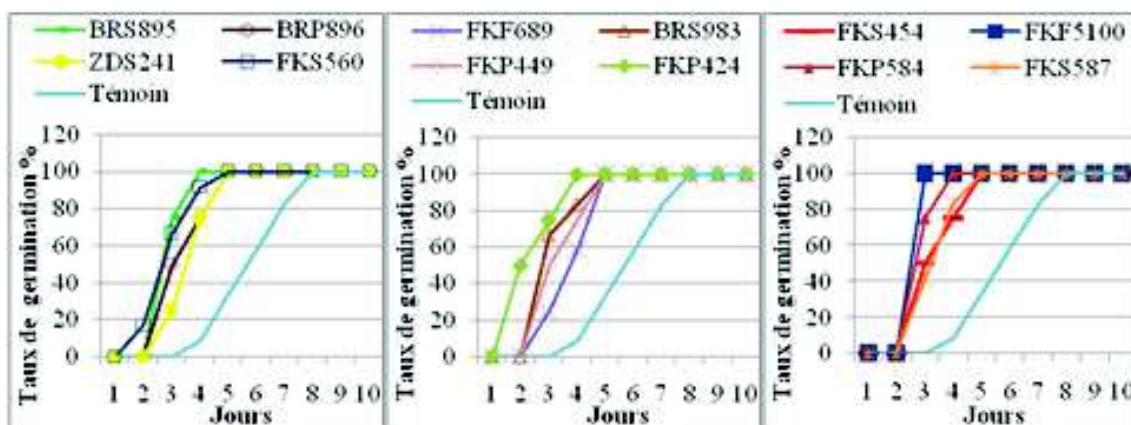
A la lumière des résultats obtenus concernant le taux de germination, la vitesse de germination et la croissance des racicules de la fève, nous pouvons constater que les deux souches FKF5100 et FKS560 semblent les plus intéressantes pour les trois paramètres étudiés.



### 2.2.2.2 Effet sur le pois chiche

#### A. Effet sur la vitesse de germination des graines

L'évolution dans le temps du taux de germination des graines du pois chiche sous l'effet des souches rhizobactériennes a été nettement améliorée par rapport au témoin non inoculé (Fig. 9). Nous pouvons constater que les graines du pois chiche chez le témoin ont commencé à germer à partir du quatrième jour et ce n'est qu'au huitième jour que le maximum de germination est atteint. Les meilleurs résultats concernant le début de germination ont été enregistrés chez les graines traitées par les souches FKP424 et FKS560 pour lesquelles la germination a débuté le 2<sup>ème</sup> jour. Cependant, leur maximum de germination a été atteint le quatrième et le cinquième jour, respectivement après la souche FKF5100 dont le maximum de germination a eu lieu le 2<sup>ème</sup> jour. Le reste des souches accomplissent le maximum de germination au plus tard le 5<sup>ème</sup> jour, soit au moins 3 jours avant le témoin.



**Figure 9.** Evolution dans le temps du taux de germination des graines du pois chiche sous l'effet de 12 souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale.

#### B. Effet sur la longueur des racicules des graines germées

Parmi les souches testées, 9 ont révélé un pouvoir stimulateur de la croissance des racicules des graines germées du pois chiche par rapport au témoin non inoculé (Fig. 10). Les différences comparées au témoin étaient très hautement significatives ( $P=0,000$ ) avec les souches FKS560, BRS983, FKF5100, FKP449 et FKP424 qui ont assuré une stimulation allant de 186,5% à 370,6% comparativement au témoin. Les résultats des quatre souches BRS895 ( $P=0,001$ ), FKP584 ( $P=0,004$ ), BRP896 ( $P=0,019$ ), FKS454 et ( $P=0,019$ ) étaient significatifs avec un taux d'accroissement de la longueur variant de 125,15% à 165,6% ; tandis que FKF689 ( $P=0,140$ ), FKS587 ( $P=0,143$ ) et ZDS241 ( $P=0,764$ ) n'étaient pas statistiquement différentes du témoin.

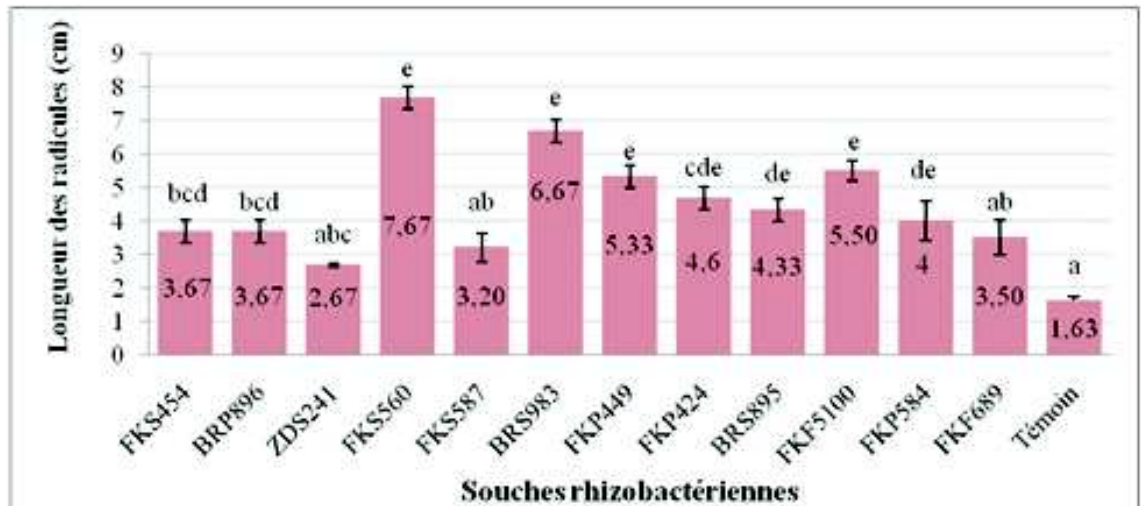


Figure 10. Effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des racines du pois chiche.

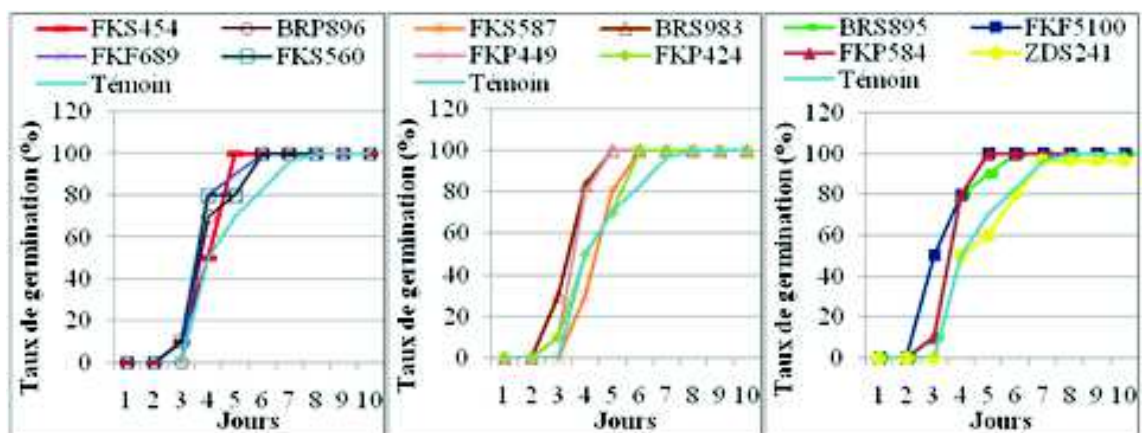
Les moyennes avec les mêmes lettres ne présentent pas de signification au seuil  $\alpha=5\%$  selon le test de Tukey. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

Il ressort des résultats des trois tests précédents concernant le pois chiche que les souches [FKS560](#), [FKP424](#) et [FKF5100](#) ont exhibé les meilleurs résultats.

### 2.2.2.3 Effet sur le petit pois

#### A. Effet sur la vitesse de germination des graines

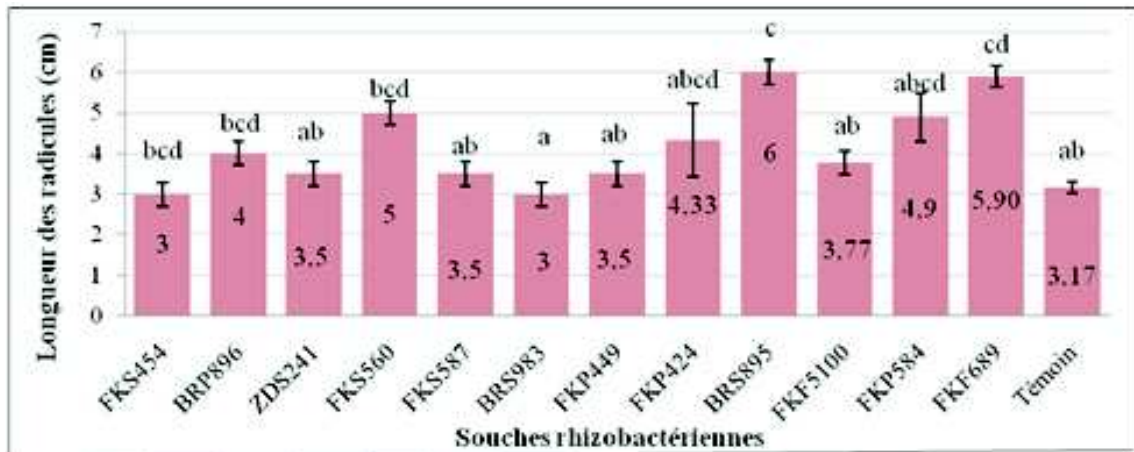
Nous remarquons d'après la figure 11, qui représente l'effet des souches rhizobactériennes sur la vitesse de germination des graines du petit pois, que les souches [FKF5100](#), [BRS983](#), [FKP584](#), [BRS895](#), [FKP424](#), [FKP449](#), [FKS560](#) et [FKS454](#), ont accéléré le début de la germination au 3<sup>ème</sup> jour, avant le témoin chez lequel les graines ont commencé à germer un jour après (au 4<sup>ème</sup> jour). Les graines traitées par les souches [FKP584](#), [FKF5100](#), [FKP449](#), [BRS983](#) et [FKS454](#) ont terminé leur germination, avec un taux de 100%, le 5<sup>ème</sup> jour alors que le même taux n'a pu être atteint chez le témoin qu'au 8<sup>ème</sup> jour.



**Figure 11.** Evolution dans le temps du taux de germination des graines du petit pois sous l'effet de 12 souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale.

**B. Effet sur la longueur des racines des graines germées**

L'examen de la figure 12 montre que 2 souches uniquement parmi les 12 testées ont causé un effet stimulateur de la longueur des racines des graines du petit pois statistiquement différent du témoin. Comparativement au témoin, ces deux souches, FKF689 et BRS895 ont causé une augmentation de la longueur des racines de l'ordre de 86,1% et 89,3% respectivement. L'effet des souches restantes était non significatif.



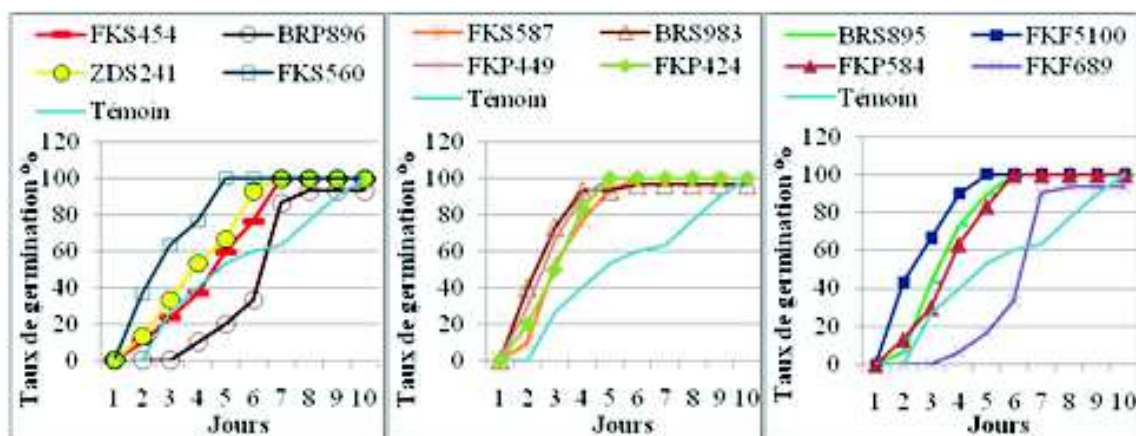
**Figure 12.** Effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des racines des graines germées du petit pois.

Les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

**2.2.2.4 Effet sur la luzerne**

**A. Effet sur la vitesse de germination des graines**

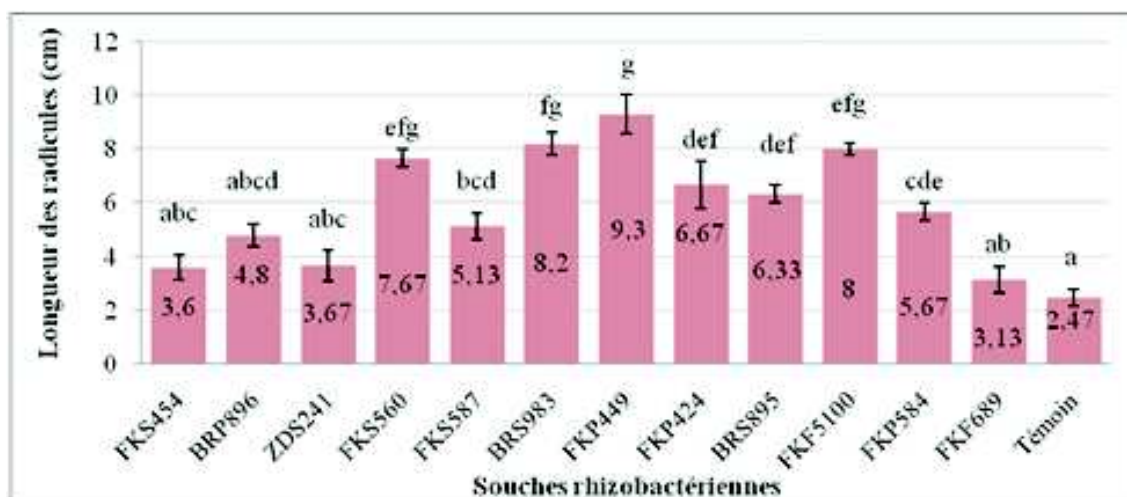
D'après la figure 13 qui illustre l'effet des souches rhizobactériennes sur la vitesse de germination des graines de la luzerne, nous constatons que dix souches ont commencé leur germination après deux jours d'incubation, avec le meilleur taux de germination (43%) obtenu suite au traitement des graines par la souche FKF5100. Le témoin a commencé sa germination le 3<sup>ème</sup> jour, jour pendant lequel le meilleur taux de germination de 73% a été enregistré avec la souche BRS983. Les graines de luzerne traitées par la plupart des souches accomplissent le maximum de germination (100%) le 5<sup>ème</sup> et le 6<sup>ème</sup> jour alors que le témoin n'a terminé sa germination qu'au bout du 10<sup>ème</sup> jour d'incubation. Nous constatons que la vitesse de germination des graines traitées par les deux souches BRP896, FKF689 est restée inférieure à celle des graines chez le témoin jusqu'au 6<sup>ème</sup> jour puis a connu une hausse subite au 7<sup>ème</sup> jour pour passer de 33% à 87% et 90%, respectivement, tandis que 63% ont été enregistrés chez le témoin.



**Figure 13.** Evolution dans le temps du taux de germination des graines de luzerne sous l'effet de 12 souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale.

### B. Effet sur la longueur des racicules des graines germées

Les résultats obtenus de l'effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des racicules de la luzerne sont présentés dans la figure 14. Ces résultats révèlent des valeurs chez les différents traitements toutes supérieures à celle du témoin, avec des différences statistiquement significatives de 8 d'entre elles. Ainsi, une différence très hautement significative ( $P=0,000$ ) a été obtenue suite à l'inoculation des graines par les souches FKP449, BRS983, FKF5100, FKS560, FKP424 et BRS895 qui ont assuré des taux d'accroissement de la longueur des racicules allant de 156,3% à 276,5% comparativement au témoin. Les souches FKP584 ( $P=0,004$ ) et FKS587 ( $P=0,028$ ) ont révélé une différence hautement significative; alors que la différence était non significative avec les 4 souches BRP896, ZDS241, FKS454 et FKF689.



**Figure 14.** Effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des racicules des graines germées de la luzerne.

Les moyennes avec les mêmes lettres ne présentent pas de signification au seuil  $\alpha=5\%$  selon le test de Tukey. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

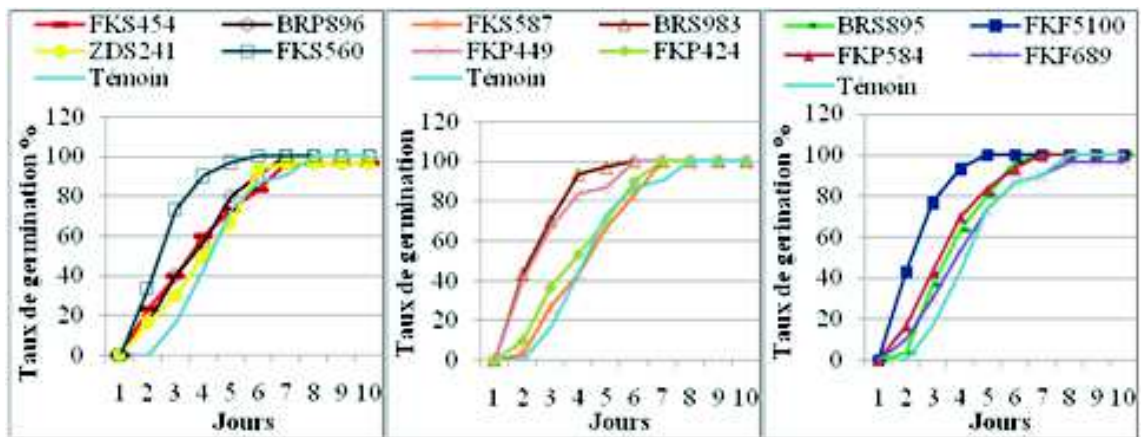
En conclusion, les résultats obtenus avec les souches FKP449 et FKF5100 sont les meilleurs, si nous prenons en considération l'ensemble des paramètres étudiés.



### 2.2.2.5 Effet sur l'orge

#### A. Effet sur la vitesse de germination des graines

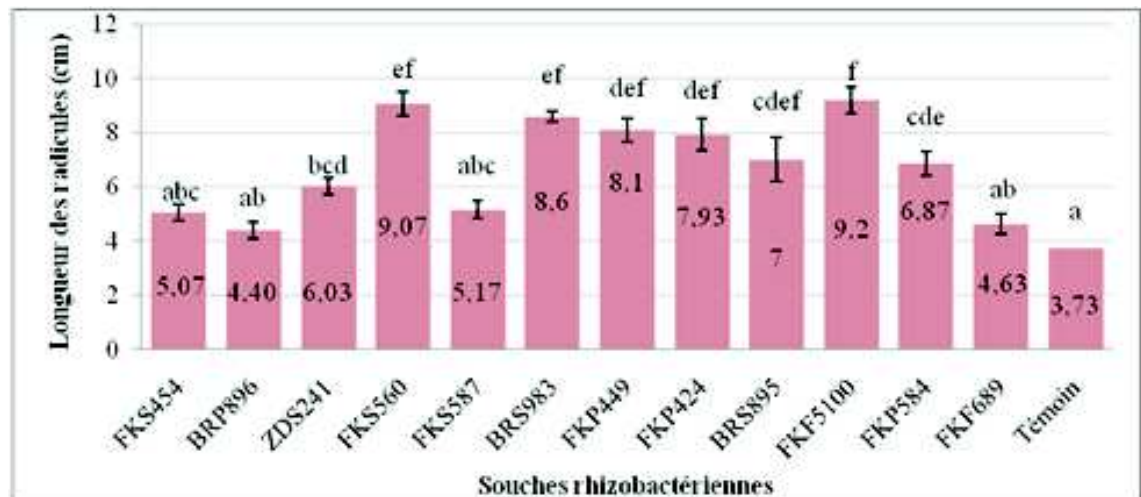
Les graines de l'orge ont germé avec une allure généralement homogène pour l'ensemble des souches (Fig.15). Nous constatons d'après cette figure que les souches rhizobactériennes ont exercé un effet accélérateur de la germination. Les graines chez l'ensemble des traitements inoculés ont commencé à germer le 2<sup>ème</sup> jour avant le témoin dont la germination a débuté un jour après. Le meilleur taux de germination pendant le 2<sup>ème</sup> jour était de 43% pour les deux souches BRS983, FKF5100. Au 3<sup>ème</sup> jour, alors que le taux de germination chez le témoin était de 17%, un taux de 77% était déjà enregistré chez les graines traitées par la souche FKF5100. La même souche est arrivée à 100% de germination le 5<sup>ème</sup> jour alors que le témoin était à 73%. Jusqu'au 8<sup>ème</sup> jour, toutes les souches ont causé le maximum de germination (100%) y compris les souches ZDS241, FKS454, FKF689 pour lesquelles le maximum de germination des graines inoculées s'est stabilisé à 97%.



**Figure 15.** Evolution dans le temps du taux de germination des graines d'orge sous l'effet de 12 souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale.

#### B. Effet sur la longueur des radicules des graines germées

Nous constatons, d'après la figure 16 que l'ensemble des souches ont eu un effet stimulateur de la croissance des radicules des graines germées de l'orge comparativement au témoin. Une différence très hautement significative ( $P=0,000$ ) a été enregistrée avec les souches FKF5100, FKS560, BRS983, FKP449 et FKP424 qui ont causé une augmentation de la longueur allant de 112,6% à 146,6%. Les souches BRSS95 ( $P=0,001$ ) FKP584 ( $P=0,001$ ) et ZDS241 ( $P=0,035$ ) ont eu un effet stimulateur significativement différent du témoin de l'ordre de 61,7% à 87,7% ; tandis que l'effet des souches FKS587, FKS454, FKF689 et BRP896 était non significatif.



**Figure 16.** Effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des racicules des graines germées de l'orge.

Les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

Conclusion: à partir des résultats des tests précédents sur l'orge nous pouvons déduire que la souche **FKF5100** a donné les meilleurs résultats comparativement aux autres souches et le témoin.

### 2.2.2.6 Effet sur le blé

#### A. Effet sur la vitesse de germination des graines

Les résultats de l'effet des souches rhizobactériennes sur la vitesse de germination des graines du blé sont représentés par la figure 17. Les graines chez le témoin et celles traitées par la souche ZDS241 ont commencé à germer le 3<sup>ème</sup> jour avec des taux de 20 et 23%, respectivement, alors que celles inoculées par le reste des souches ont commencé à germer un jour auparavant. Le meilleur résultat a été obtenu avec la souche **FKP424** avec un taux de germination de 53%. L'augmentation du taux de germination a été enregistrée avec toutes les souches jusqu'au 6<sup>ème</sup> jour où le maximum de germination de 100% était atteint suite à l'application des souches BRS895, BRS983 et FKP449 ; alors que ce taux n'a pu être atteint par le témoin que 48h après (au 8<sup>ème</sup> jour).



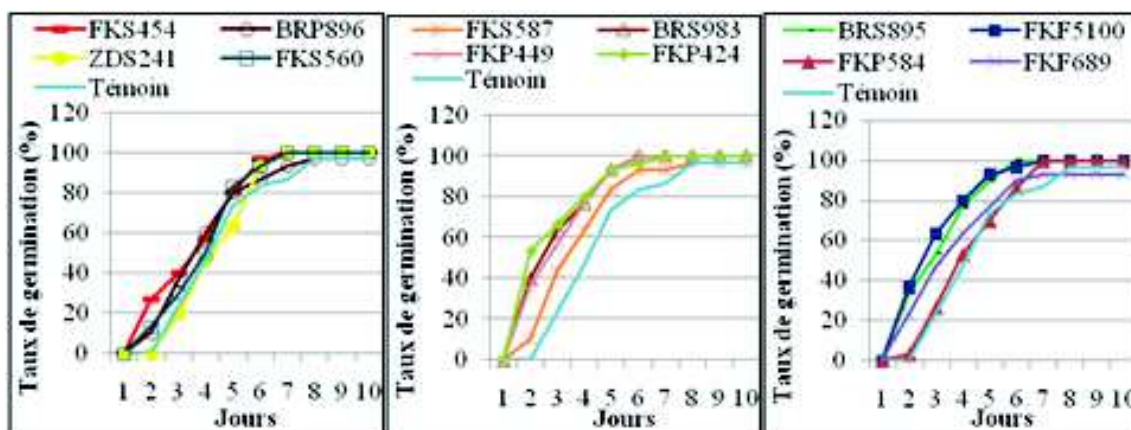


Figure 17. Evolution dans le temps du taux de germination des graines de blé dur sous l'effet de 12 souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale.

### B. Effet sur l'élongation des racines des graines germées

Toutes les souches rhizobactériennes ont stimulé la croissance des racines du blé tandis que l'effet de certaines d'entre elles n'était pas statistiquement différent du témoin (Fig. 18). Les souches FKF5100, FKP449, BRS983, FKS560, FKP424, BRS895, FKP584 ont causé une augmentation très hautement significative ( $P=0,000$ ) de la longueur des racines allant de 80,9% à 129,2% Comparativement au témoin. L'effet des souches FKS454 et FKF689 était significativement différent du témoin (jusqu'à 63,6% d'augmentation) ; alors que celui des souches ZDS241, FKS587 et BRP896 n'était pas statistiquement différent du témoin.

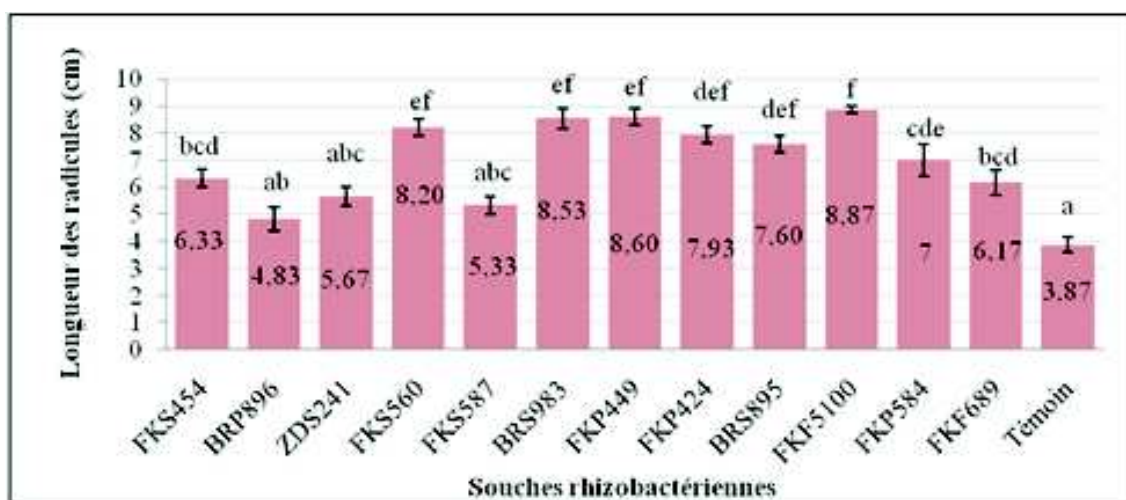


Figure 18. Effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des racines des graines germées de blé dur.

Les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

Conclusion: d'après les résultats des trois paramètres étudiés, nous pouvons dire que les souches [FKP424](#), [FKP449](#), [BRS983](#) et [FKF5100](#) étaient les meilleures sur l'ensemble des souches testées.

### 2.2.2.7 Effet sur la tomate

#### A. Effet sur la vitesse de germination des graines

L'effet des souches rhizobactériennes sur la vitesse de germination des graines de la tomate est illustré par la figure 19. Nous remarquons, d'après les résultats, que chez tous les traitements, témoin y compris, la germination a commencé le 3<sup>ème</sup> jour, jour pendant lequel les souches FKS560, FKF5100 ont atteint le taux maximal de germination (100%). Au 4<sup>ème</sup> jour, les souches FKF689, BRS983 et le témoin ont atteint le maximum de germination (100%). Au 5<sup>ème</sup> jour, les souches FKS454 (100%), FKP424 (100%) et BRP896 (85%) ont atteint leur maximum de germination. Le maximum de germination au 6<sup>ème</sup> jour a été enregistré avec les souches BRS895 (100%), FKP449 (100%), FKS587 (86%), FKP584 (85%) et ZDS241 (80%).

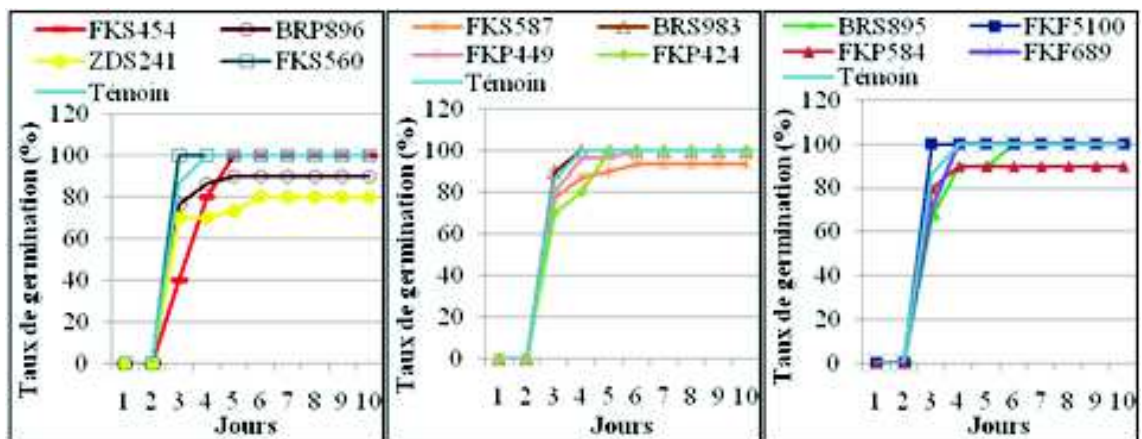
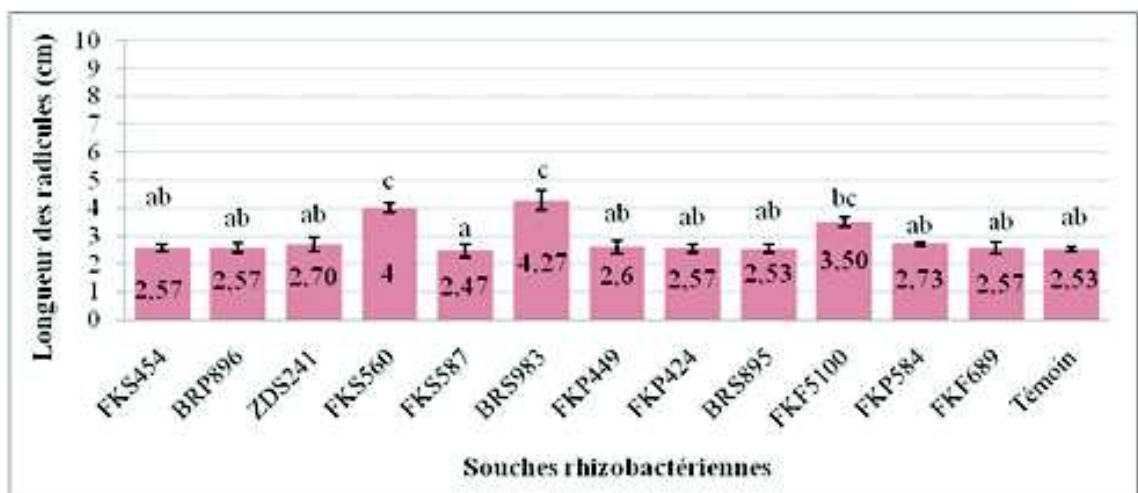


Figure 19. Evolution dans le temps du taux de germination des graines de tomate sous l'effet de 12 souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale.

#### B. Effet sur la longueur des radicules des graines germées

Il ressort des résultats présentés dans la figure 20 que deux souches uniquement, FKS560 et BRS983, parmi les 12 testées ont stimulé la croissance des radicules avec des taux de stimulation de l'ordre de 58,1% et 68,8%, respectivement comparativement au témoin. Les autres souches ont eu des effets non significatifs sur la longueur des radicules.



**Figure 20.** Effet des souches rhizobactériennes sur la longueur des radicules des graines germées de tomate.

Les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

Conclusion : d'après les résultats des trois paramètres étudiés nous pouvons déduire que les souches FKF5100, FKS560 et BRS983 étaient les meilleures sur l'ensemble des souches testées.

### 2.3 Analyse globale de l'effet de l'ensemble des souches

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur les résultats de l'effet des souches rhizobactériennes sur les taux de germination des espèces cultivées et la longueur des radicules a permis de regrouper les souches en trois groupes (Fig. 21):

- Le premier groupe contient les souches rhizobactériennes codées FKF5100, FKS560, BRS983 et FKP449 qui se caractérisent par leur pouvoir avéré de stimulation de la croissance pour l'ensemble des paramètres étudiés, et les souches rhizobactériennes codées FKP424, BRS895 et FKP584, moyennement efficaces en terme de stimulation de la croissance.
- Le deuxième groupe est constitué des souches BRP896, FKS584, FKF689, FKS454, qui se caractérisent par un faible effet ou d'inhibition sur certains caractères étudiés.
- Le troisième groupe est constitué uniquement de la souche ZDS241 qui se caractérise par des inhibitions nettement remarquables notamment sur la germination de la tomate.

Par ailleurs, l'ACP complétée par une classification ascendante hiérarchique (CAH) (Fig. 22) a classé les traitements étudiés en deux groupes distincts à une distance euclidienne de similitude de 20. Le premier groupe (I) contient le témoin et le deuxième groupe (II) contient toutes les souches rhizobactériennes et se divise en deux sous groupes distincts à une distance euclidienne de similitude de 1,7. Le premier sous groupe (S1) englobe la souche ZDS241 et le deuxième sous groupe (S2) représente le reste des souches et se divise en deux branches distinctes à une distance euclidienne de similitude de 1,4. La première (B1) est constituée des souches FKF5100, FKS560, BRS983 et FKP449 qui se caractérisent par leur pouvoir avéré de stimulation de la croissance pour l'ensemble des caractères étudiés. La deuxième (B2) est constituée des souches FKP424, BRS895, FKP584, BRP896, FKS587, FKF689 et FKS454 moyennement efficaces en terme de stimulation de la croissance pour l'ensemble des caractères étudiés.

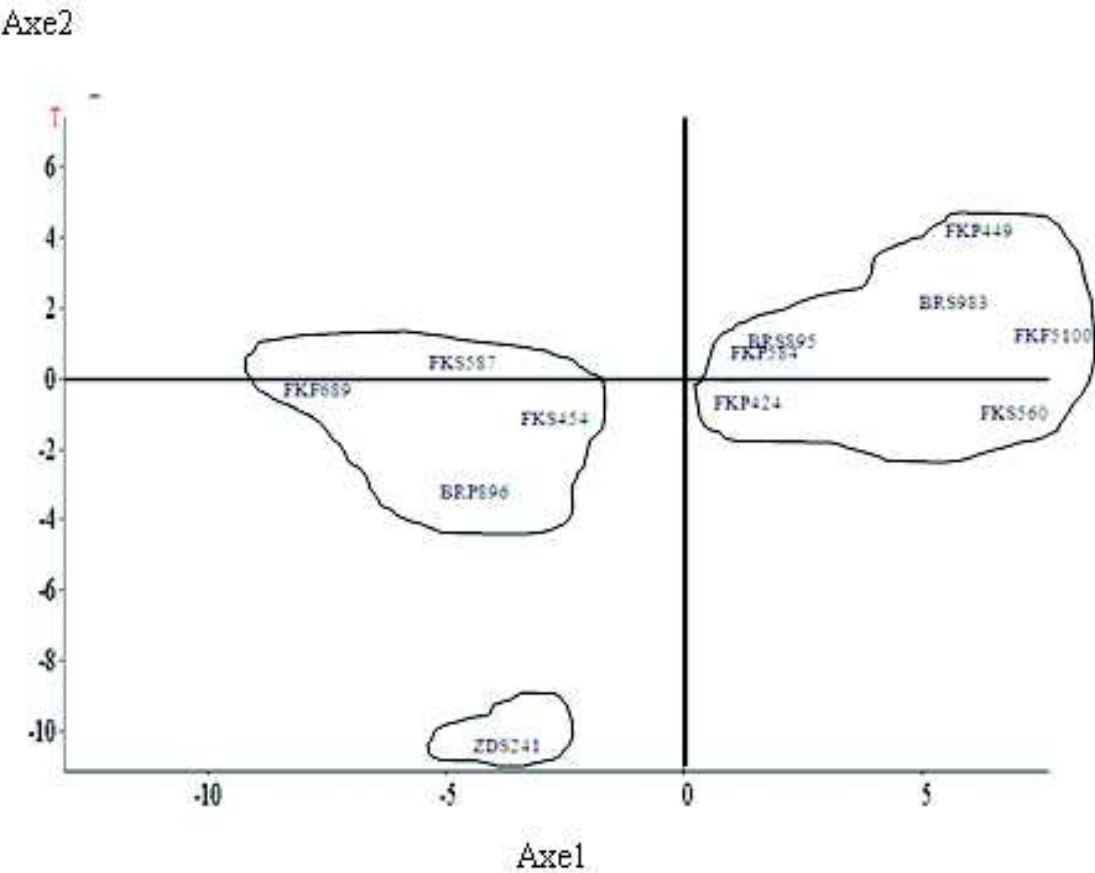
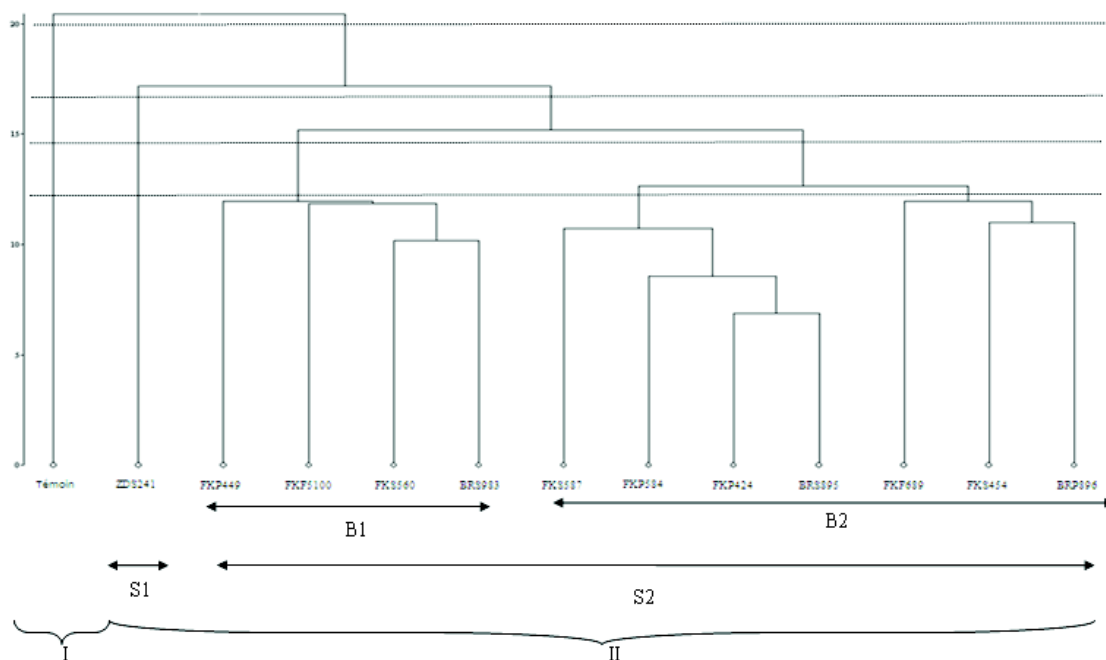


Figure 21. Représentation des souches rhizobactériennes en deux dimensions (ACP).



**Figure 22.** Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique(CAH)des souches rhizobactériennes en fonction des caractères étudiés.

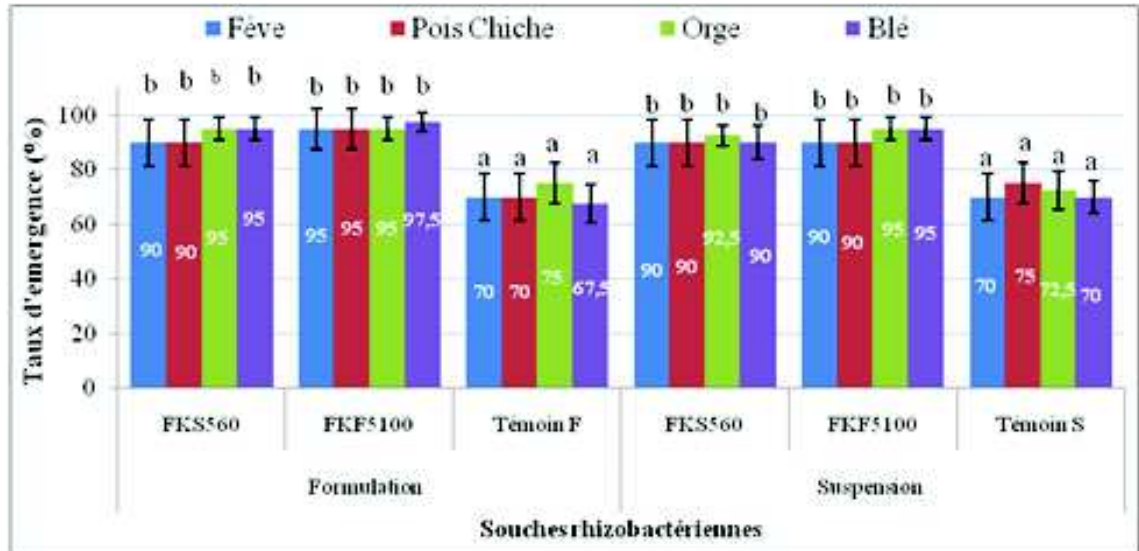
### 3. Effet des deux souches rhizobactériennes sélectionnées, codées FKF5100 et FKS560 sur la croissance de quelques espèces cultivées en pots

#### 3.1 Effet sur l'émergence des plantules des espèces cultivées

La figure 23 représente les résultats de l'effet des souches codées FKF5100 et FKS560, testées en pots sous forme de formulation et de suspension bactérienne, sur le taux d'émergence des plantules de la fève, de pois chiche, de l'orge et du blé. En générale, nous constatons que quel que soit le mode d'application, les deux souches ont stimulé l'émergence de l'ensemble des espèces cultivées testées comparativement aux témoins correspondants. Appliquée sous forme de formulation «Pesta», la souche FKF5100 a causé des taux d'émergence de l'ordre de 95% chez la fève, le pois chiche et l'orge et 97,5%



chez le blé. Alors que l'application de la même souche en suspension a entraîné des taux d'émergence de 90% chez la fève et le pois chiche et de 95% chez le blé et l'orge. Quant à la souche FKS560, les taux d'émergence étaient les mêmes chez la fève et le pois chiche (90%) quel que soit le mode d'application, alors qu'une légère amélioration a été obtenue avec la formulation chez le blé et l'orge comparativement à la suspension (95% avec la formulation contre 90% et 92,5%, respectivement avec la suspension bactérienne).



**Figure 23.** Effet des souches rhizobactériennes codées FKS560 et FKF5100, appliquées sous forme de suspension ou de formulation, sur l'émergence des plantules de quatre espèces cultivées.

Les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes. Témoin F : témoin formulation. Témoin S : témoin suspension.

### 3.2 Effet sur la longueur des tiges des espèces cultivées en pots

D'après les résultats illustrés par les figures 24 et 25, nous constatons que les deux souches rhizobactériennes ont stimulé la croissance des tiges des espèces cultivées en pots quel que soit le mode d'application comparativement aux témoins non inoculés.

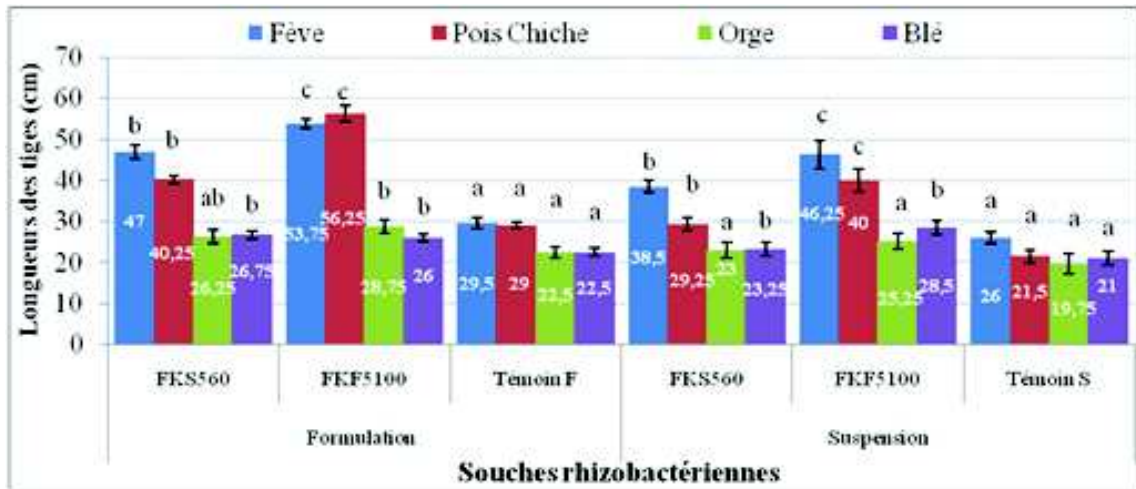
Appliquées sous forme de formulation, la souche FKS560 a entraîné un accroissement de la longueur des tiges de l'ordre de 59,3%, 38,8%, 16,7% et 18,9% chez la fève, le pois chiche, l'orge et le blé, respectivement ; devant 48,5%, 36%, 16,5% et 10,7% chez les mêmes cultures, respectivement lorsque l'inoculum est apporté sous forme de suspension bactérienne.

La même tendance a été observée avec la souche FKF5100 qui a causé un accroissement de la longueur des tiges de l'ordre de 82,2%, 94%, 27,8% et 15,6% chez la fève, le pois chiche, l'orge et le blé, respectivement lorsqu'elle est appliquée sous forme de formulation. Des taux d'accroissement de l'ordre de 77,9%, 86%, 27,8% et 35,7% chez les mêmes cultures respectivement, ont été obtenus avec la suspension bactérienne de la même souche.

D'autre part, les résultats obtenus révèlent une meilleure efficacité de la souche FKF5100 qui a assuré une stimulation de la croissance des tiges pour l'ensemble des



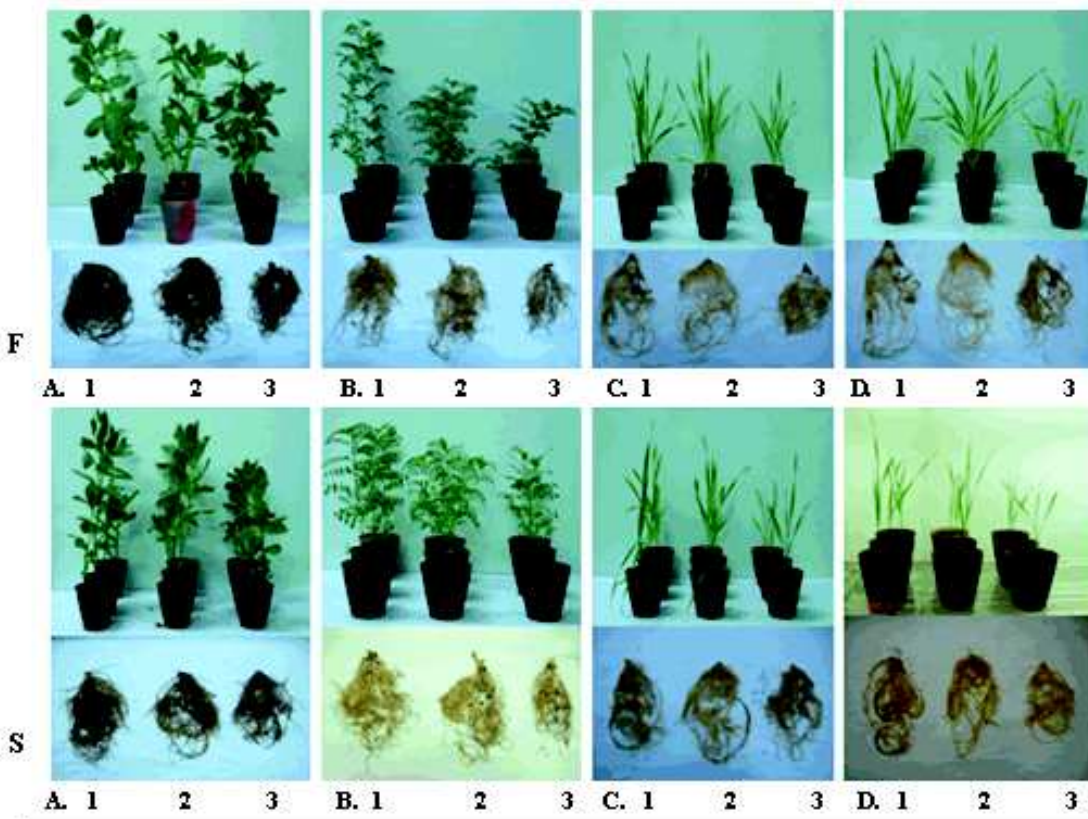
espèces cultivées, la fève et le pois chiche en particulier, meilleure que celle obtenue avec la souche FKS560 quel que soit le mode d'application de l'inoculum.



**Figure 24.** Effet des souches rhizobactériennes codées FKS560 et FKF5100 appliquées sous forme de suspension ou de formulation sur la longueur des tiges de quatre espèces cultivées.

Les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

Témoin F : témoin formulation. Témoin S : témoin suspension.

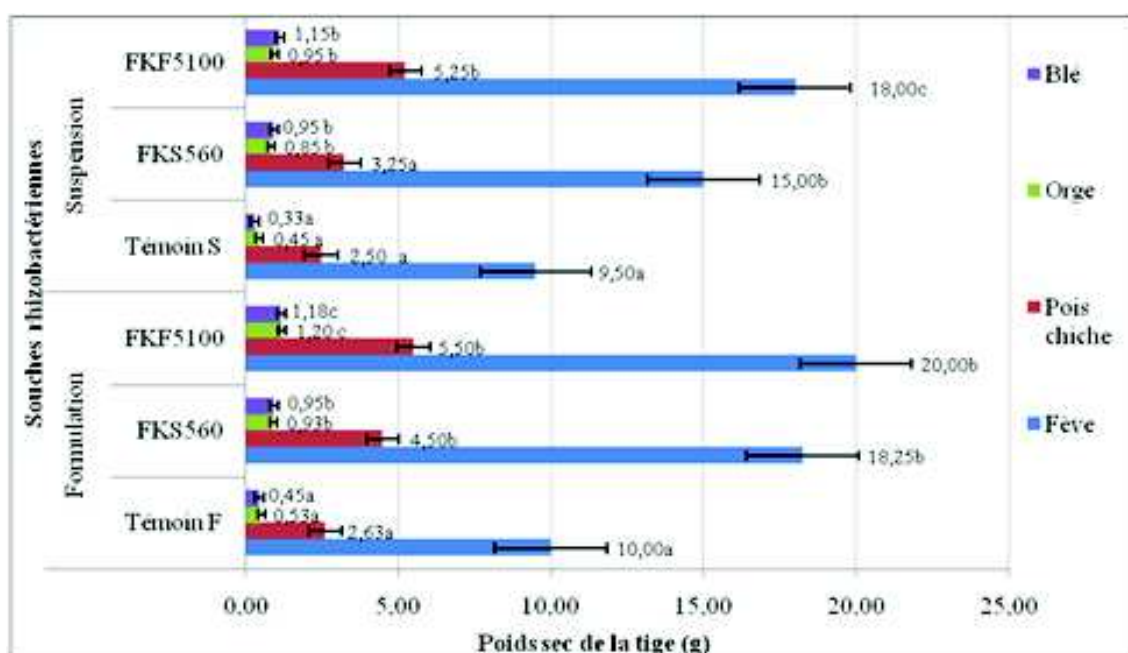


**Figure 25.** Effet en pots des souches rhizobactériennes codées FKF5100 (3) et FKS560 (2), sur la longueur des tiges et des racines de quatre espèces cultivées (*Vicia faba* L.) (A), *Cicer arietinum* L. (B), *Triticum durum* Desf. (C), *Hordeum vulgare* L. (D), appliqués sous forme de formulation (F) ou de suspension bactérienne (S), (1) Témoin non inoculé.

### 3.3 Effet sur le poids sec des parties aériennes des espèces cultivées

Globalement, il ressort des résultats présentés par la figure 26 ce qui suit :

- les deux souches rhizobactériennes FKF5100, FKS560 ont assuré une augmentation significative du poids sec de la partie aérienne des espèces cultivées testées quel que soit le mode d'application de l'inoculum comparativement aux témoins correspondants, sauf dans le cas du pois chiche traité par la souche FKS560 sous forme de suspension bactérienne où l'augmentation n'était pas significative.
- quelle que soit la souche rhizobactérienne, l'application de l'inoculum sous forme de formulation « Pesta » a assuré une meilleure efficacité que les suspensions bactériennes.
- la souche FKF5100 s'est révélée plus efficace que la souche FKS560 quel que soit le mode d'application de l'inoculum.
- appliquée sous forme de formulation, la souche FKF5100 a entraîné un accroissement du poids sec de la partie aérienne de l'ordre de 100%, 109,1%, 126,4% et 61,86% chez la fève, le pois chiche, l'orge et le blé, respectivement; devant 89,5%, 110%, 100% et 248,5% chez les mêmes cultures, respectivement quand elle est appliquée sous forme de suspension bactérienne.
- la formulation de la souche FKS560 a causé un accroissement du poids sec de la partie aérienne de l'ordre de 82,5%, 71,1%, 75,5% et 111,1% chez la fève, le pois chiche, l'orge et le blé, respectivement; devant 57,9%, 75%, 88,9% et 187,9% chez les mêmes cultures, respectivement assurés par la suspension bactérienne.



**Figure 26.** Effet des souches rhizobactériennes codées FKS560 et FKF5100, appliquées sous forme de suspension ou de formulation, sur le poids sec des tiges de quatre espèces cultivées.

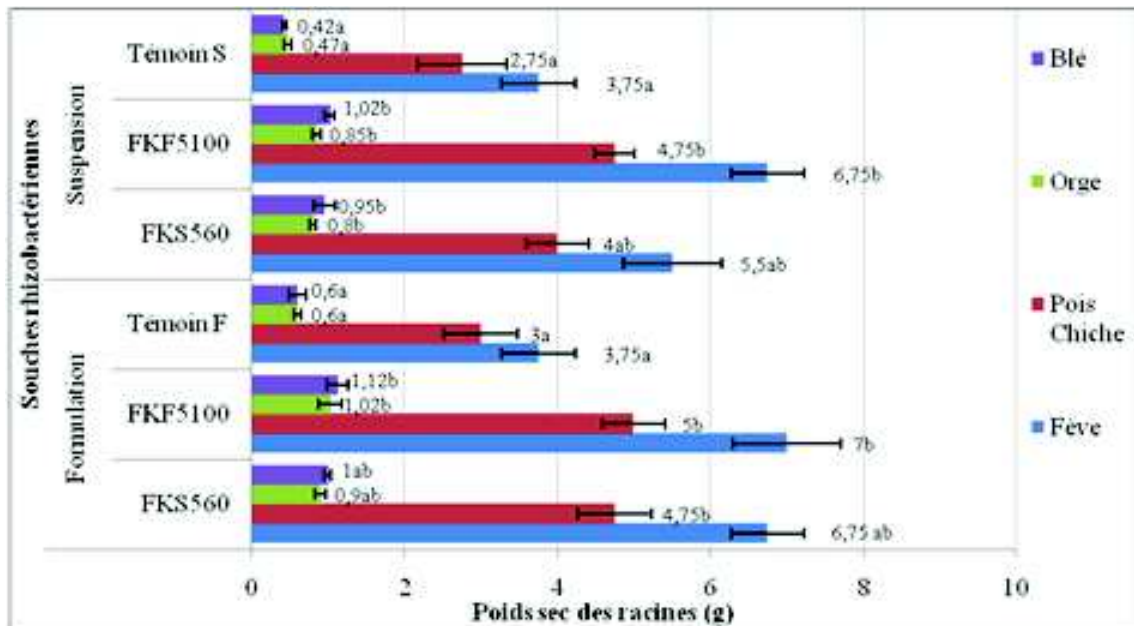
Les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

### 3.4 Effet sur le poids sec des racines des espèces cultivées

Les résultats de l'effet des deux souches rhizobactériennes codées FKF5100 et FKS560 sur le poids sec des racines des quatre plantes cultivées sont représentés par la figure 27.

La souche FKF5100 a causé une augmentation significative du poids sec des racines chez toutes les plantes inoculées quel que soit le mode d'application. Néanmoins, la rhizobactérie apportée sous forme de formulation a assuré une meilleure efficacité comparativement à la suspension bactérienne. Ainsi, la formulation a entraîné un accroissement du poids sec des racines de l'ordre de 86,7%, 66,7%, 70% et 86,7% chez la fève, le pois chiche, l'orge et le blé, respectivement devant 80% 72,7%, 80,1% et 58,8% chez les mêmes cultures, respectivement avec la suspension rhizobactérienne.

La souche FKS560, par contre, n'a pu causer un accroissement du poids des racines statistiquement différent du témoin que chez le pois chiche traité avec la formulation et le blé et l'orge traités avec la suspension bactérienne. Cet accroissement était de l'ordre de 58% chez le pois chiche, 70,2% chez l'orge et 126,2% chez le blé.



**Figure 27.** Effet des souches rhizobactériennes codées FKS560 et FKF5100 appliquées sous forme de suspension ou de formulation, sur le poids sec des racines de quatre espèces cultivées. Les moyennes suivies par différentes lettres sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

## 4. Effet antagoniste des souches rhizobactériennes codées BRS983, FKS560 et FKF5100 à l'égard des adventices parasites *Orobanche crenata* Forsk. et *Cuscuta campestris* Yuncker

### 4.1 Effet sur la germination des graines de *Cuscuta campestris* *in vitro*

#### 4.1.1 Effet direct

Les résultats de l'effet des souches rhizobactériennes BRS983, FKS560 et FKF5100 *in vitro* sur la germination des graines de *C. campestris* sont présentés dans le tableau 7 et illustrés par la figure 29A. Nous pouvons constater que les trois souches ont provoqué respectivement des taux de germination de l'ordre de 24,8%, 18,6% et 14,7% comparativement au témoin non inoculé (29,4%) ; ce qui correspond à des réductions de germination des graines du parasite de l'ordre de 15,5%, 36,6% et 49,9% respectivement. Néanmoins, l'effet significatif sur le taux de germination des graines de *C. campestris* a été noté uniquement avec les souches rhizobactériennes codées FKS560 et FKF5100.

Tableau 7. Effet *in vitro* des souches rhizobactériennes codées FKS560, FKF5100 et BRS983 sur la germination des graines de *Cuscuta campestris* Yuncker.

| Traitements | Taux de germination de <i>C. campestris</i> (%) |        |   | Réduction* (%) |
|-------------|---|--------|---|----------------|
| Témoin      | 29,40   | ± 0,55 | a | /              |
| BRS983      | 24,84   | ± 0,88 | a | 15,5           |
| FKS560      | 18,64   | ± 1,31 | b | 36,6           |
| FKF5100     | 14,73   | ± 0,94 | c | 49,9           |

\*Réduction du taux de germination des graines de *Cuscuta campestris* Yuncker comparée au témoin non inoculé. Les valeurs (moyenne ± erreur standard) de chaque colonne suivies par des lettres différentes sont significativement différentes du témoin non inoculé au seuil de 5% selon le test de Tukey. Les valeurs sont les moyennes d'une expérimentation avec quatre répétitions.

#### 4.1.2 Effet indirect

Nous pouvons constater du tableau 8 que les 3 souches codées BRS983, FKS560 et FKF5100 ont assuré des réductions du taux de germination des graines de *C. campestris* de l'ordre de 39,8%, 54,2% et 88,6%, respectivement, comparativement au témoin non inoculé. La figure 29B illustre l'effet indirect des trois souches rhizobactériennes sur la germination des graines du parasite

Tableau 8. Effet indirect des souches rhizobactériennes codées BRS983, FKS560 et FKF5100 sur le taux de germination des graines de *Cuscuta campestris* Yuncker

| Traitements | Taux de germination des graines de <i>C. campestris</i> (%) |        |   | Réduction * (%) |
|-------------|---|--------|---|-----------------|
| Témoin      | 29,80   | ± 3,75 | a | /               |
| BRS983      | 17,94   | ± 1,07 | b | 39,8            |
| FKS560      | 13,65   | ± 1,40 | b | 54,2            |
| FKF5100     | 3,39  | ± 2,07 | c | 88,6            |



\*Réduction du taux de germination des graines de *Cuscuta campestris* Yuncker comparée au témoin non inoculé. Les valeurs (moyenne  $\pm$  erreur standard) de chaque colonne suivies par des lettres différentes sont significativement différentes du témoin non inoculé au seuil de 5% selon le test de Tukey. Les valeurs sont les moyennes d'une expérimentation avec quatre répétitions.

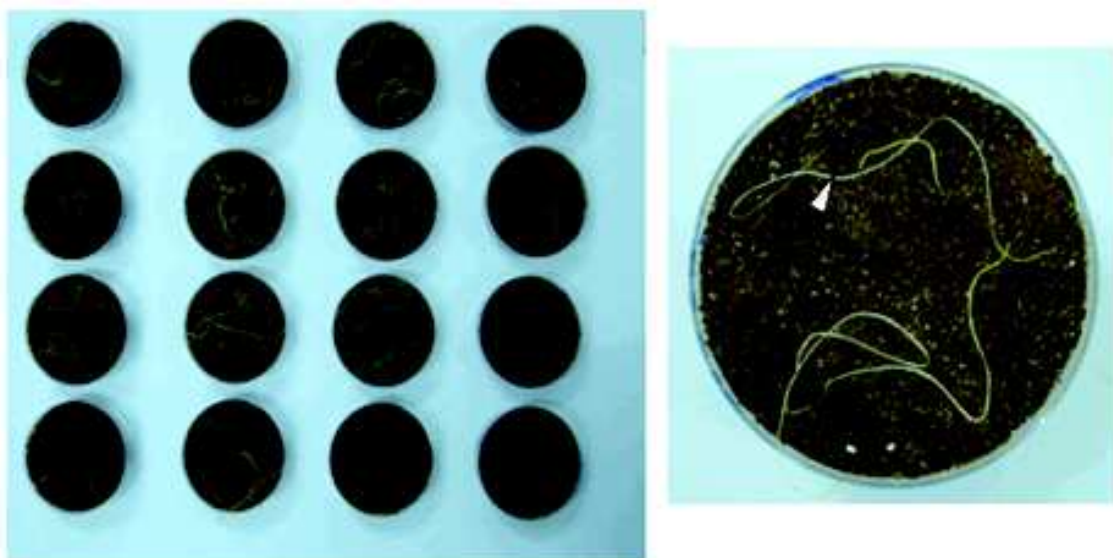
#### 4.2 Effet sur l'émergence des plantules de *Cuscuta campestris* Yuncker

Les résultats de l'effet des 3 souches rhizobactériennes testées sur l'émergence des plantules de *C. campestris* montrent une tendance à la stimulation de l'émergence bien que les taux d'émergence obtenus n'étaient pas statistiquement différents du témoin non inoculé. La même tendance est valable pour les résultats de la longueur des plantules émergées de *C. campestris* (Fig. 28).

Tableau 9. Effet des souches rhizobactériennes codées FKF5100, BRS983 et FKS560 sur l'émergence et la longueur des plantules de *Cuscuta campestris* Yuncker.

| Traitements | Taux d'émergence de <i>C. campestris</i> (%) | Longueur des plantules de <i>C. campestris</i> (cm) |
|-------------|--|---|
| Témoin      | 37,50 $\pm$ 11,81 a                          | 4,89 $\pm$ 0,47 a                                   |
| BRS983      | 40,00 $\pm$ 04,08 a                          | 6,35 $\pm$ 1,12 a                                   |
| FKS560      | 42,50 $\pm$ 09,46 a                          | 6,14 $\pm$ 0,74 a                                   |
| FKF5100     | 52,50 $\pm$ 11,09 a                          | 6,09 $\pm$ 1,38 a                                   |

Les valeurs (moyenne  $\pm$  erreur standard) de chaque colonne suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes du témoin non inoculé au seuil de 5% selon le test de Tukey. Les valeurs sont les moyennes d'une expérimentation avec quatre répétitions.



Témoin BRS983 FKS560 FKF5100

Figure 28. Emergence des plantules de *Cuscuta campestris* Yuncker (flèche).

### 4.3 Effet *in vitro* des souches rhizobactériennes codées BRS983, FKS560 et FKF5100 sur le taux de germination et l'élongation des tubes germinatifs des graines d'*Orobanche crenata* Forsk.

Le tableau 10, récapitule les résultats de l'effet des 3 souches rhizobactériennes sur la germination des graines d'*O. crenata* et la longueur des tubes germinatifs. On peut constater que les souches BRS983, FKS560 et FKF5100 ont donné les taux de germination, respectivement de l'ordre de 33,4%, 28,3% et 18,2% devant 57,5% chez le témoin. Les résultats obtenus sont tous significativement différents du témoin et correspondent, à des réductions des taux de germination de l'ordre de 42%, 50,9%, 68,3% respectivement.

D'après les résultats obtenus nous pouvons également constater que seules les souches rhizobactériennes codées FKS560 et FKF5100 ont entraîné des longueurs moyennes des tubes germinatifs des graines germées du parasite statistiquement différentes du témoin et correspondant à des réductions de l'ordre de 35,5% et 61,3%, respectivement.

### 4.4 Production du cyanure d'hydrogène (HCN)

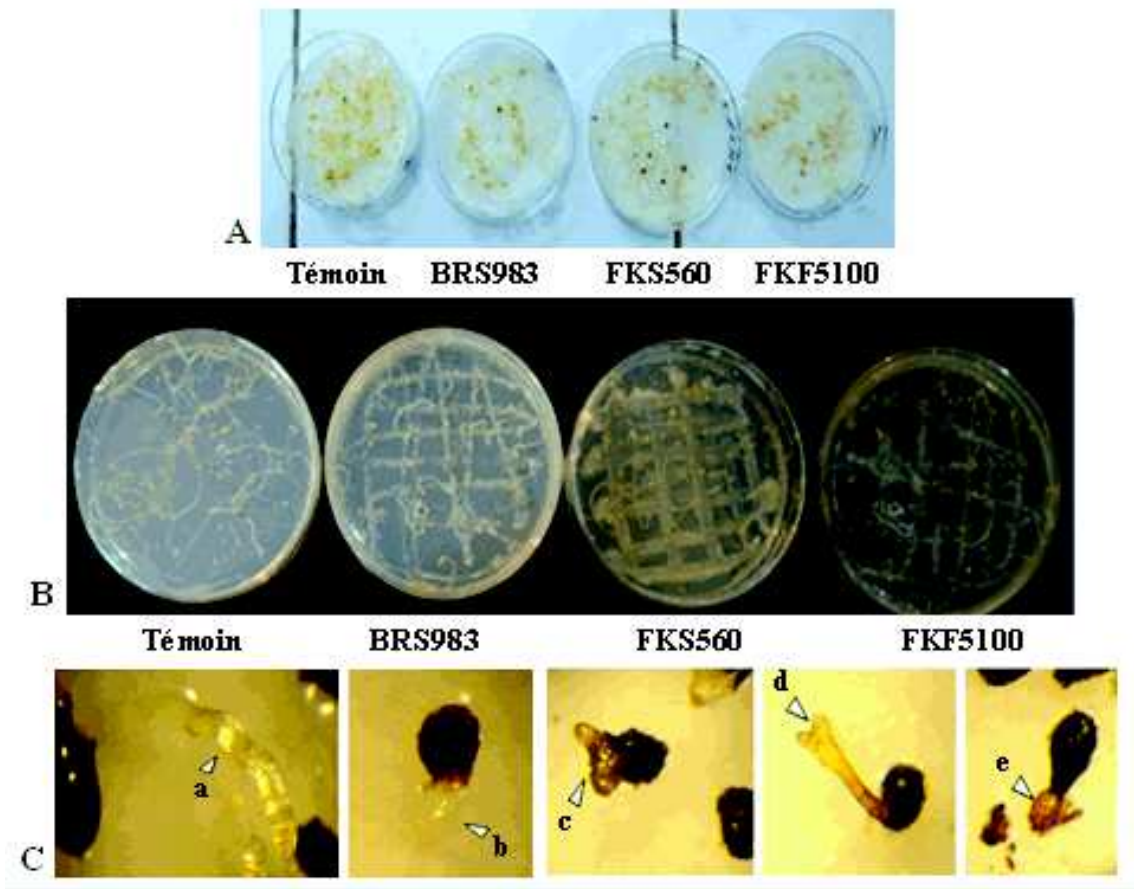
Le test de production du cyanure par les trois souches rhizobactériennes FKF5100, FKS560 et BRS983 n'a révélé aucun changement de couleur de picrate de sodium comparativement aux témoins avec ou sans glycine (Fig. 30). De ce fait, on peut conclure que les souches n'ont pas un pouvoir cyanogénique.

| Traitements | Germmination des graines d' <i>O. crenata</i> (%) | Réduction* (%) | Longueur du tube germinatif (µm) | Réduction** (%) |
|-------------|---|----------------|----------------------------------|-----------------|
| Témoin      | 57,53 ± 8,03 a                                    | /              | 447,3 ± 4,90 b                   | /               |
| BRS983      | 33,36 ± 1,07 b                                    | 41,99          | 422,1 ± 8,49 b                   | NS              |
| FKS560      | 28,27 ± 2,28 b                                    | 50,85          | 288,7 ± 2,83 a                   | 35,45           |
| FKF5100     | 18,22 ± 3,75 c                                    | 68,32          | 173,3 ± 4,90 a                   | 61,27           |

**Tableau 10.** Effet *in vitro* des souches rhizobactériennes codées BRS983, FKS560 et FKF5100 sur le taux de germination des graines d'*Orobanche crenata* Forsk. et la longueur des tubes germinatifs.

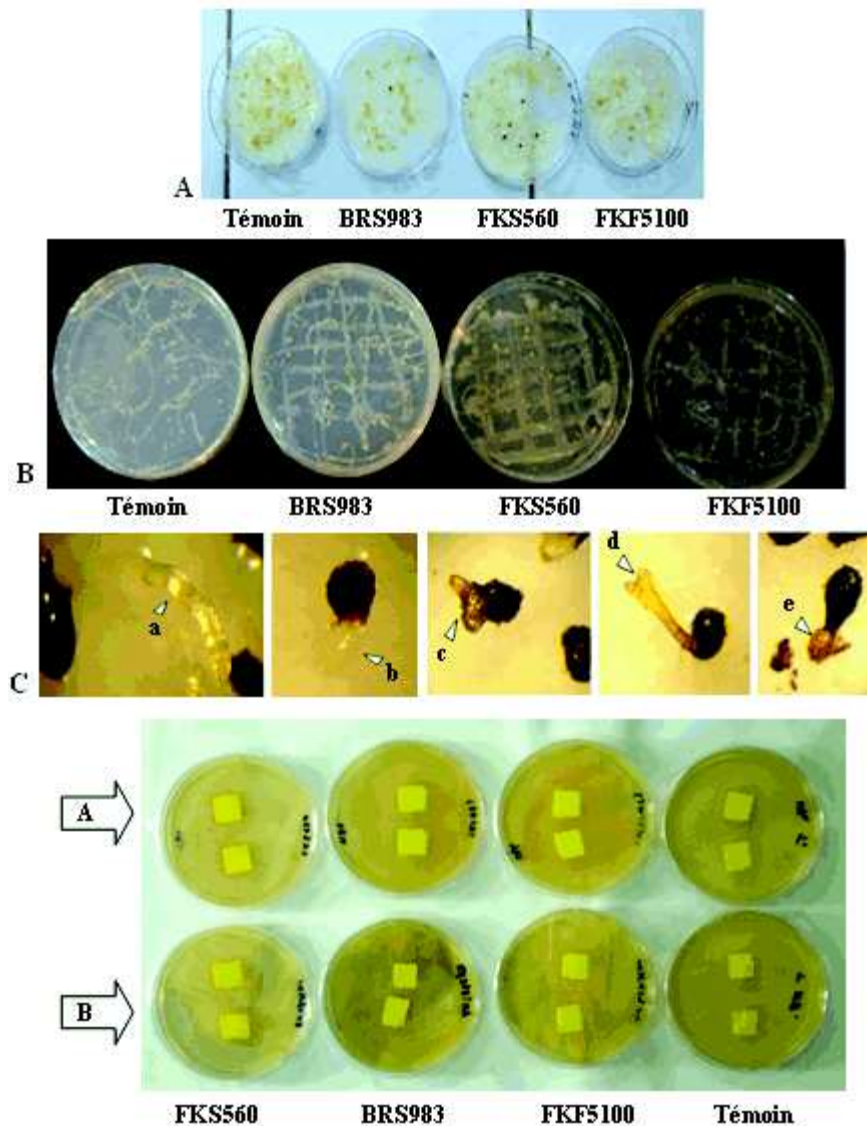
\*Réduction du taux de germination des graines d'*O. crenata* comparée au témoin non inoculé. \*\*Réduction de la longueur des tubes germinatifs d'*O. crenata* comparée au témoin non inoculé. Les valeurs (moyenne ± erreur standard) de chaque colonne suivies par des lettres différentes sont significativement différentes du témoin non inoculé au seuil de 5% selon le test de Tukey. Les valeurs sont les moyennes d'une expérimentation avec quatre répétitions. NS : différence non significative.





**Figure 29.** Effet des souches rhizobactériennes FKF5100, BRS983 et FKS560 sur la germination des graines de *Cuscuta campestris* et (A et B) d'*Orobanche crenata* (C) et sur la longueur des tubes germinatifs (a - e).

**a/** Tube germinatif du témoin non bactérisé. **b/** Tube germinatif bactérisé. **c/** Bifurcation et nécrose du tube germinatif. **d/** Bifurcation du tube germinatif. **e/** Nécrose du tube germinatif.



**Figure 30.** Test de production du cyanure par les trois souches rhizobactériennes FKF5100, FKS560 et BRS983. (A) avec glycine (B) sans glycine.

## II. Discussion

La sélection que nous avons menée sur les 101 souches isolées et purifiées des différents échantillons provenant de régions infestées ou non par *Orobanche crenata*, à savoir les régions de Tagouraït, Zeralda et Fouka, nous a permis d'identifier 12 (11,9%) souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale ou (PGPR). Le pourcentage de PGPR obtenu dans ce travail est supérieur à celui rapporté par **Zermene (2005)** à savoir PGPR d'un total de 337 souches rhizobactériennes soit 5%, dans ses recherches sur le potentiel des rhizobactéries pour le contrôle des adventives parasites du genre *Orobanche*.

Les 12 souches PGPR sélectionnées proviennent de différentes régions géographiques : 8 souches (soit 66,7%) de Fouka, 3 souches (25%) de Tagouraït et

1 souche (8,3%) de Zeralda. En outre, 56,4% de ces souches sont originaires de la rhizosphère, et 43,4% du rhizoplan des racines de fève ou de petit pois. Cette présence, dans des conditions écologiques différentes, reflète le caractère adaptatif des souches PGPR qui a été signalé par **Latour et al. (1996)** concernant des souches de *Pseudomonas fluorescens*. Par ailleurs, la faculté de s'adapter à différents milieux peut être due à la compétitivité des PGPR vis à vis des autres communautés microbiennes telluriques (**Yang et Crowley, 2000 ; Antoun et Prévost, 2005**). La compétitivité des souches rhizobactériennes doit être prise en considération pendant la sélection (**Hynes et al., 2008**).

La présélection des souches PGPR a été menée *in vitro* par le biais d'un bio-test de la laitue mené en deux étapes, qui nous a permis de présélectionner 25 souches PGPR dans la 1<sup>ère</sup> étape et 12 souches ont conservé leur potentiel stimulateur lors de la 2<sup>ème</sup> étape.

Globalement, il ressort des résultats obtenus de l'évaluation des 12 souches PGPR sélectionnées sur la longueur des racines des espèces cultivées, que toutes les souches ont gardé leur pouvoir de stimulation de la croissance décelé par le bio-test de la laitue sauf l'effet de quelques souches sur la tomate. Nous pouvons donc déduire l'efficacité du bio-test de la laitue pour détecter le potentiel stimulateur des bactéries rhizosphériques. Cette efficacité est prouvée encore une fois par les résultats des essais *in vivo* sur les 4 espèces cultivées testées concernant les paramètres : taux d'émergence des plantules, longueur des tiges et poids sec des tiges et des racines.

D'après les travaux de **Zermane (2005)**, ce bio-test est efficace également pour présélectionner des rhizobactéries inhibitrices de la croissance. Ainsi, 70,3% et 83,3% des rhizobactéries inhibitrices testées *in vitro* ont gardé leur effet antagoniste dans les essais *in vivo* à l'égard d'*O. crenata* et *O. foetida*, respectivement.

Les souches ayant gardées leur pouvoir stimulateur de la croissance à l'issue du biotest de la laitue, ont été testées sur une gamme de plantes (fève, pois chiche, petit pois, blé, orge, luzerne et tomate) parmi les plus cultivées en Algérie. Ce sont soit des plantes hôtes de l'orobanche et/ou de la cuscute, soit des espèces souvent utilisées en rotation avec des cultures hôtes ou des espèces utilisables dans la lutte contre les plantes parasites en qualité de plantes faux hôte ou de plantes pièges, (**Fernańdez-Aparicio et al., 2007**). Nous avons donc jugé intéressant d'évaluer l'effet des rhizobactéries présélectionnées sur ces espèces.

Compte tenu des multiples modes d'action des PGPR et leur spécificité vis-à-vis des différentes espèces, faire recours aux tests *in vitro* augmente l'efficacité de la sélection des souches intéressantes (**Barriuso et al., 2008**). Généralement c'est une étape de sélection intermédiaire avant de passer aux tests *in vivo* ou en pleins champs pour éviter tous risques éventuels de désamination des souches non intéressantes.

Les tests *in vitro* des 12 souches stimulatrices de la croissance sur la germination des graines des espèces cultivées n'ont pas révélé de différences significatives comparativement aux témoins non inoculés, sauf avec la tomate où nous avons enregistré des inhibitions significatives, contrairement aux travaux de **Zermane (2005)**. Selon cet auteur, les tests *in vitro* de *Ralstonia pickettii* Bzc76 sur la germination des graines de la fève ont donné 26% de promotion de la germination par rapport au témoin. Par ailleurs, les travaux de **Kaymak et al. (2009)** ont prouvé l'effet promoteur des souches d'*Agrobacterium rubi* A 16, *Burkholderia gladii* BA 7, *Pseudomonas putida* BA 8, *Bacillus subtilis* BA 142 et *Bacillus megaterium* M3, de la germination de semences du radis.

En outre, la cinétique de l'évolution des taux de germination des graines des espèces cultivées traitées par les douze souches testées était, chez la plupart des traitements, meilleure que celle des témoins non traités. Ces résultats sont en concordance avec ceux obtenus par **Zermane (2005)** suite à l'inoculation des graines de fève avec une souche PGPR de *Ralstonia pickettii* et de **Benchabane (2005)** après traitement des semences de trois variétés de blé dur (cv. Mohamed Ben Bachir, Oued Zenat, et Vitron) par la souche T9 de *Pseudomonas fluorescens*.

Les tests *in vivo* sont généralement utiles pour assurer des conditions d'expérimentation similaires aux conditions d'application définitive des rhizobactéries, notamment en présence d'autres microorganismes qui peut donner une idée sur leur compétitivité. Dans notre travail, nous avons testé en pots les deux souches rhizobactériennes les plus prometteuses, codées FKF5100 et FKS560, sur la croissance de quatre plantes cultivées (blé, orge, fève et petit pois). Quel que soit le mode d'application, l'apport des deux rhizobactéries a entraîné une amélioration statistiquement significative des paramètres de la croissance étudiés comparativement aux témoins non bactérisés.

La promotion des autres paramètres de croissance : longueur des tiges, poids sec des tiges et racines, peut être due à la production des phytohormones. Plusieurs travaux ont démontré la production des phytohormones par des souches PGPR des genres *Pseudomonas*, *Azotobacter* et *Bacillus* (**Halda-Alija, 2003 ; Hafeez et al ., 2006 ; Ahmed et al ., 2008**). Des souches de *Pseudomonas* spp. ont été sélectionnées par **Ahn et al . (2007)** pour leur effet promoteur de la longueur de la racine et le poids sec total de la plante. D'autres souches de *Pseudomonas fluorescens* biotype G (ACC-5), *Pseudomonas fluorescens* (ACC-14), et *Pseudomonas putida* biotype A (Q-7) testées sur le petit pois ont été sélectionnées pour leur effet promoteur du poids sec et frais, de la longueur de la tige, la longueur des racines et le nombre de feuilles par plant (**Zahir et al ., 2008**). Les recherches de **Debra et al . (2007)** suggèrent que la stimulation de la croissance des plantes peut être due au pouvoir des souches PGPR à améliorer la nutrition des plantes à l'instar de la solubilisation du phosphate non assimilable par les plantes. Elle peut être indirecte par l'amélioration de l'état sanitaire des plantes (**Cook et al ., 1995**)

Les résultats obtenus révèlent également une meilleure efficacité des souches testées lorsqu'elles sont appliquées sous forme de formulation. Le choix de la formulation adéquate est très important pour améliorer la longévité des rhizobactéries lors de l'entreposage et augmenter la compétitivité en plein champ des souches formulées (**Hegde, 2002 ; Zahir et al ., 1998**).

En plus de la promotion des paramètres de croissance, les différents essais sur l'antagonisme des trois souches rhizobactériennes codées FKF5100, FKS560, BRS983 ont révélé des potentialités importantes dans la lutte contre les deux plantes parasites *O. crenata* et *C. campestris*. D'après (**Ramamoorthy et al ., 2001**), la souche *Pseudomonas fluorescens* Pf1 s'est révélée efficace pour la lutte contre certains agents phytopathogènes par leur pouvoir à produire des sidérophores, de l'HCN, et des antibiotiques tel que DAPG et pyoleuterin. Le DAPG est un antibiotique connu pour son pouvoir inhibiteur d'une large gamme de champignons telluriques phytopathogènes (**Duffy et al ., 2004**).

Les résultats de nos essais sur la germination d'*O. crenata* et *C. campestris* ont démontré l'efficacité des souches rhizobactériennes codées BRS983, FKS560 et FKF5100 dans la réduction du taux de germination des graines d'*O. crenata* de l'ordre de 42%, 50,9%, 68,3%, respectivement par rapport au témoin non inoculé, et du taux de germination des graines de *C. campestris* de l'ordre de 15,5%, 36,6% et 49,9%, respectivement par rapport au témoin.



Les résultats obtenus par **Zermane (2005)** ont révélé un effet plutôt stimulateur des souches PGPR testées sur la germination des graines d'*O. crenata*. Les résultats de **Babalola et al. (2010a)** ont démontré l'efficacité des souches de *Pseudomonas*, *Klebsiella oxytoca* et *Enterobacter sakazakki* dans l'augmentation du taux de germinations suicides des graines de *Striga hermonthica* en synthétisant des phytohormones.

L'effet inhibiteur ou stimulateur de la germination des graines des adventices parasites peut être bénéfique à la plante hôte : le premier par la réduction de l'infestation et le second par la réduction du stock semencier du sol.

La germination des graines des espèces du genre *Orobanche* (*Orobanche* et *Phelipanche* spp.) est stimulée par plusieurs métabolites sécrétés par la plante hôte dont le Strigolactone (**Yoneyama et al. , 2010**). Au laboratoire, la plante hôte peut être substituée par l'apport de stimulants de germination synthétiques dont le GR24, un analogue chimique du strigolactone (**Mayzlish-Gati et al. , 2010**). L'application *in vitro* des trois souches rhizobactériennes BRS983, FKS560 et FKF5100 sur les graines d'*O. crenata* stimulées par le GR24 a permis des réductions de la longueur des tubes germinatifs de l'ordre de 5,6 %, 35,4%, 61,3%, respectivement comparativement au témoin non inoculé. Cette réduction est accompagnée par la présence de nécroses et de ramifications des tubes germinatifs. Ces effets semblent gêner le développement des tubes germinatifs et par conséquent peuvent être impliqués dans l'antagonisme des souches testées contre l'orobanche. D'après **Gonza'lez-Verdejo et al. (2006)** de telles anomalies sont dues à des activités enzymatiques de peroxydases histochimiquement localisées au niveau du sommet du tube germinatif et au niveau des jeunes structures souterraines du parasite. L'excrétion des composés toxiques inhibiteurs de la germination d'*Orobanche ramosa* causant des nécroses des tubes germinatifs a été rapportée chez les plantes cultivées également dont le tournesol par la synthèse de « coumarines simples 7-hydroxylés » à l'égard d'*Orobanche cernua* Loefl. (**Serghini et al. , 2001**).

Concernant la production des composés volatiles, le test *in vitro* des souches rhizobactériennes codées BRS983, FKS560, FKF5100 a révélé leur capacité d'inhiber la germination des graines de cuscute à distance. Le potentiel des bactéries à produire des composés organiques volatiles a été démontré contre les champignons (**Alström , 2001; Wheatley, 2002 ; Kai et al. , 2007**). De même, des tests *in vitro* ont prouvé l'effet des composés volatiles de réduction ou d'inhibition totale de la croissance mycélienne ainsi que des anomalies sur la forme des conidies (**Chaurasia et al. , 2005**).

Des métabolites secondaires et des Sesquiterpènes lactones émis par les racines des plantes stimulent la germination des graines des plantes parasites *Striga* et *Orobanche* (**Chen et al. , 2004 ; Steeghs et al. , 2004 ; Akiyama et al. , 2005 ; Bouwmeester et al. , 2007**).

Le cyanure d'hydrogène (HCN) est un métabolite secondaire impliqué dans l'antagonisme des rhizobactéries à l'égard des agents pathogènes (**Schippers et al. , 1990**). Notre travail a prouvé l'incapacité des souches rhizobactériennes codées BRS983, FKS560 et FKF5100 de produire le HCN ce qui nous amène à suggérer la production d'un autre composé responsable de la réduction de la germination des graines de cuscute à distance.

En générale, nous avons constaté à partir des différents tests sur les paramètres de croissance et l'antagonisme contre *O. crenata* et *C. campestris* que la souche rhizobactérienne codée FKF5100 semble la plus efficace parmi les souches testées par un double effet bénéfique. Ce caractère est très prometteur pour l'application de cette souche

à la fois en qualité de biopesticide et de biofertilisant parce qu'elle regroupe les deux effets, assurant ainsi une économie du temps et de coût comparativement aux souches à effet unique ou la combinaison de plusieurs souches à effet unique. Le pouvoir antagoniste de cette souche à l'égard des deux plantes parasites permet son utilisation en cas de double infestation qui est possible avec certains hôtes sensibles aux deux plantes parasites. L'effet de cette souche est similaire à celui de la souche PGPR *Serratia marcescens* NBRI1213 sélectionnées sur le poivrier grimpant (*Piper betle* L.) pour son pouvoir de diminution de l'infection par le *Phytophthora* et la stimulation de la croissance (81%) et le poids sec (68%) des tiges, la longueur (152%) et le poids sec (290%) des racines de la plante hôte.



---

# CONCLUSION

Notre travail, dont l'objectif global était de sélectionner des souches rhizobactériennes à la fois stimulatrices de la croissance des espèces cultivées de grand intérêt agronomique et ayant un pouvoir antagoniste contre deux espèces parmi les plus redoutables des adventices parasites, à savoir *Orobanche crenata* Forsk. et *Cuscuta campestris* Yuncker, nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

L'isolement et la purification des souches rhizobactériennes des différents échantillons provenant de la rhizosphère de la fève et du petit pois ont aboutis à l'obtention de 101 souches. Un premier bio-test de la laitue a donné 25 souches PGPR (soit 24,8% du total des souches). Le deuxième bio-test de laitue nous a permis de retenir 12 (48%) souches PGPR avec le meilleur taux de stimulation (142%) obtenu suite à l'application de la souche FKF689.

L'évaluation *in vitro* des 12 souches PGPR sur différentes plantes cultivées comportant la fève, le petit pois, le pois chiche, l'orge, le blé, la luzerne et la tomate, n'a pas eu d'effet significatif sur le taux de germination de leurs graines. Concernant la vitesse de germination des graines des espèces cultivées, on constate que d'une façon générale l'ensemble des souches rhizobactériennes testées ont eu un effet accélérateur de la vitesse de germination d'un ou de deux jours comparativement au témoin non inoculé, sauf chez la tomate.

Les souches rhizobactériennes ont eu également un effet stimulateur de la longueur des radicules des graines germées des espèces cultivées comparativement aux témoins correspondants. Les meilleurs taux de stimulation ont été obtenus suite à l'application des souches FKP424 (427,5% sur la fève et 370,5% sur pois chiche), BRS983 (368,8% sur la tomate), BRS895 (276,5% sur la luzerne et 89,3% sur petit pois), FKF5100 (146,6% sur l'orge et 129,2% sur blé).

Testées en pots sur la croissance de quatre espèces cultivées (fève, pois chiche, orge et blé), les deux souches rhizobactériennes sélectionnées, codées FKF5100 et FKS560 ont significativement stimulé l'émergence de l'ensemble des espèces cultivées testées comparativement aux témoins correspondants quel que soit le mode d'application. Néanmoins, la souche FKF5100 appliquée sous forme de formulation « Pesta » a donné les meilleurs taux d'émergence des plantules et qui étaient de l'ordre de 95% chez la fève, le pois chiche et l'orge et 97,5% chez le blé.

Les meilleurs taux d'accroissement de la longueur des tiges des espèces cultivées testées ont été obtenus suite à l'application de la souche FKF5100 (82,2% et 94% chez la fève et le pois chiche, respectivement avec la formulation, et 27,8% et 35,7%, respectivement chez l'orge et le blé avec la suspension bactérienne).

Concernant le poids sec des parties aériennes des espèces cultivées testées, c'est toujours la souche FKF5100 qui a donné les meilleurs résultats avec 100% et 126,4% de stimulation, respectivement sur la fève et l'orge avec la formulation et 110% et 248,5% sur le pois chiche et le blé respectivement avec la suspension. Quant à l'accroissement du poids sec des racines sous l'effet des deux souches rhizobactériennes, les meilleurs résultats obtenus étaient de 126,2% avec la formulation de la souche FKS560 sur le blé ; et 86,7%,

80,1% et 72,7% sur la fève, le blé et le pois chiche, respectivement avec la suspension de la souche FKF5100.

Parmi trois souches rhizobactériennes testées *in vitro* sur le taux de germination des graines de *Cuscuta campestris* Yuncker, la souche rhizobactérienne codée FKF5100 a causé les taux de réduction de germination les plus importants (49,9% lors de la confrontation directe et 88,6% lors de la confrontation indirecte).

Concernant l'effet sur l'émergence des plantules de *Cuscuta campestris*, les trois souches rhizobactériennes testées ont exhibé une tendance à la stimulation du taux d'émergence sans différences significatives comparativement au témoin. La même tendance est valable pour les résultats de la longueur des plantules émergées de *C. campestris*.

Par ailleurs, les meilleurs taux de réduction de la germination des graines d'*O. crenata* Forsk. *in vitro* et la longueur des tubes germinatifs étaient de l'ordre de 68,3% et 61,3%, respectivement comparativement au témoin non inoculé, suite à l'application de la souche FKF5100.

Au terme de ce travail qui ouvre plusieurs perspectives de recherches, il serait intéressant d'approfondir les investigations sur les souches les plus performantes après leur identification afin de :

- Déterminer leurs mécanismes d'actions directes (production des phytohormones, assimilation et solubilisation des sels minéraux, induction de la résistance systémique...) ou indirectes (compétition, production des sidérophores, antibiose, production de composés volatiles...), impliqués dans leur potentiel stimulateur de la croissance végétale ou antagoniste à l'égard d'*Orobanche crenata* et *Cuscuta campestris* ainsi que d'autres bioagresseurs des cultures ;
- identifier les métabolites actifs pouvant servir à l'élaboration de biopesticides ;
- connaître leur potentiel à promouvoir la tolérance des plantes cultivées aux différents stress abiotiques ;
- comprendre et modéliser les interactions entre les souches performantes et les communautés microbiennes rhizosphériques notamment celles des bactéries symbiotiques des légumineuses ;
- caractériser le déterminisme génétique des différents mécanismes d'actions et interactions, en utilisant les outils de biologie moléculaire et de bioinformatique, afin de s'assurer de leur stabilité et reproductibilité ;
- évaluer le potentiel des souches performantes à réduire l'infestation par les phanérogames parasites sous serre et en pleins champs, et s'assurer de la spécificité d'attaque contre les plantes parasites sans les plantes cultivées ni sa flore associée d'agroécosystème avec une approche d'agrobiodiversité ;
- tester les souches performantes en plein champ pour déterminer les modalités de leur utilisation à grande échelle sous l'effet des pratiques culturales, et améliorer la performance de leurs formulations pour une utilisation unique ou combinée des souches et en présence ou en absence des phanérogames parasites, afin d'évaluer le potentiel des souches pour l'utilisation en programme de lutte intégrée ;

---

## REFERENCES BIBLIOGRAQUES

- Aalten, P.M., Vitour, D., Blanvillain, D., Gowen, S.R., Sutra, L., 1998.** Effect of rhizosphere fluorescent *Pseudomonas* strains on plant-parasitic nematodes *Radopholus similis* and *Meloidogyne* spp. *Applied Microbiology* **27**, 357-361.
- Abbes, Z., Kharrat, M., Chaibi, W., 2006.** Study of the interaction between *Orobancha foetida* and faba bean at root level. *Tunisian Journal of Plant Protection* **1**, 55-64.
- Abbes, Z., Kharrat, M., Delavault, P., Simier, P., Chaibi, W., 2007.** Field evaluation of the resistance of some faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes to the parasitic weed *Orobancha foetida* Poiret. *Crop Protection* **26**, 1777-1784.
- Agrios, G., 1997.** Plant Pathology. Academic Press, New York, USA, 922 p.
- Ahemad, M., Khan, M. S., 2010.** Ameliorative effects of *Mesorhizobium* sp. MRC4 on chickpea yield and yield components under different doses of herbicide stress. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **98** (2), 183-190.
- Ahmed, F., Ahmed I., Khan, M. S., 2008.** Screening of free living rhizobacteria for multiple plant growth promoting activities. *Microbial Research* **163**, 173-181.
- Ahn, T.S., Ka, J.O., Lee, G.H., Song, H.G., 2007.** Microcosm study for revegetation of barren land with wild plants by some plant growth-promoting rhizobacteria. *Journal of Microbiology and Biotechnology* **17**, 52-57.
- Akiyama, K., Matsuzaki, K., Hayashi, H., 2005.** Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* **435**, 824-827.
- Albert, M., Belastegui-Macadam, X., Kaldenhoff, R., 2006.** An attack of the plant parasite *Cuscuta reflexa* induces the expression of attAGP, an attachment protein of the host tomato. *Plant Journal* **48**, 548-56.
- Alström, S., 1991.** Induction of disease resistance in common bean susceptible to halo blight bacterial pathogen after seed bacterization with rhizosphere pseudomonads. *Journal of Genetic and Applied Microbiology* **37**, 495-501.
- Alström, S., 2001.** Characteristics of bacteria from oil seed rape in relation to their biocontrol activity against *Verticillium dahliae*. *Journal of Phytopathology* **149**, 57-64.
- Aly, R., 2007.** Conventional and biotechnological approaches for control of parasitic weeds. *In vitro Cellular and Developmental. Biology-Plant* **43**, 304-317.
- Amsellem, Z., Cohen, B.A., Gressel, J., 2002.** Engineering hypervirulence in a mycoherbicidal fungus for efficient weed control. *Nature Biotechnology* **20**, 1035-1039.
- Antoun, H., Prévost, D., 2005.** Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In : PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Siddiqui, Z.A. (ed.). Springer, The Netherlands. pp : 16-39.
- Asghar, H.N., Zahir, Z.A., Arshad, M., Khaliq, A., 2002.** Relationship between *in vitro* production of auxins by rhizobacteria and their growth promoting activities in (*Brassica juncea* L.). *Biology and Fertility of Soils* **35**, 231-237.

- Ash, G.J., 2010.** The science, art and business of successful bioherbicides. *Biological Control* **52**, 230-240.
- Askeland, R.A., Morrison, S.M., 1983.** Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Applied and Environmental Microbiology* **45**, 1802-1807.
- Babalola, O.O., 2010 a.** Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology Letters* **32**, 1559-1570.
- Babalola, O.O., 2010 b.** Ethylene quantification in three rhizobacterial isolates from *Striga hermonthica*-infested maize and sorghum. *The Egyptian Journal of Biology* **12**, 1-5.
- Bailey, K.L., Boyetchko, S.M., Längle, T., 2010.** Social and economic drivers shaping the future of biological control: A Canadian perspective on the factors affecting the development and use of microbial biopesticides. *Biological Control* **52**, 221-229.
- Bais, H.P., Park, S.W., Weir, T.L., Callaway, R.M., Vivanco, J.M., 2004.** How plants communicate using the underground information superhighway. *Trends in Plant Science* **9**, 26-32.
- Bakker, A.W., Schippers, B., 1987.** Microbial cyanides production in the rhizosphere in relation to potato yield reduction and *Pseudomonas* spp. mediated plant growth stimulation. *Soil biology and soil biochemistry* **19**, 451-457.
- Baldani, V.L.D., Baldani, J.I., Döbereiner, J., 2000.** Inoculation of rice plants with the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum seropedicae* and *Burkholderia* spp. *Biology and Fertility of Soils* **30**, 485-491.
- Baloch, G. I., Mohyuddine, A. I, Ghani M, A., 1967.** Biological control of *Cuscuta* spp. Biology and host-plant range of *Melanagromyza cuscuteae* HvmNc [Dipt. *Agromyzidae*]. *Entomophaga* **12** (5), 481-489.
- Barazani, O., Friedman, J., 2001.** Allelopathic bacteria and their impact on higher plants. *Critical Reviews in Microbiology* **27**, 41-55.
- Barker, E.R., Press, M.C., Scholes, J.D., Quick, W.P., 1996.** Interactions between the parasitic angiosperm *Orobanche aegyptiaca* and its tomato host: growth and biomass allocation. *New Phytologist* **133**, 637-642.
- Bar-Ness, E., Chen, Y., Hadar, Y., Marschner, H., Römheld, V., 1991.** Siderophores of *Pseudomonas putida* as an iron source for dicot and monocot plants. *Plant and Soil* **130**, 231-241.
- Barriuso, J., Solano, B.R., Fray, R.G., Camara, M., Hartmann, A., Manero, F.J.G., 2008.** Transgenic tomato plants alter quorum sensing in plant growth-promoting rhizobacteria. *Plant Biotechnology Journal* **6**, 442-452.
- Bashan, Y., Holguin, G., 2002.** Plant growth-promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation. *Trees* **16**, 159-166.
- Bashan, Y., Holguin, G., De-Bashan, L.E., 2004.** Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. *Canadian Journal of Microbiology* **50**, 521-577.
- Beauchamp, C.J., 1993.** Mode of action of plant growth-promoting rhizobacteria and their potential use as biological control agents. *Phytoprotection* **71**, 19-27.

- 
- Benchabane, M., 2005.** Caractérisation des effets d'antagonisme microbienne et de promotion de la croissance végétale de souches de *Pseudomonas* spp. Th. Doc. FSB-USTHB, Alger. 235 p.
- Benizri, E., Baudoin, E., Di Battista-Leboeuf, C., Guckert, A., 2001.** Des bactéries pour la santé des plantes. *Biofutur* **210**, 52-56.
- Berg, G., 2009.** Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology* **84**, 11-18.
- Bharathi, R., Vivekananthan, R., Harish, S., Ramanathan, A., Samiyappan, R., 2004.** Rhizobacteria-based bio-formulations for the management of fruit rot infection in chillies. *Crop Protection* **23**, 835-843.
- Bienfait, F., 1989.** Prevention of stress in iron metabolism of plants. *Acta Botanica neerlandica* **38**, 105-129.
- Birch, L., Bachofen, R., 1990.** Complexing agents from microorganisms. *Experientia* **46**, 827-834.
- Birschwilks, M., Haupt, S., Hofius, D., Neumann, S., 2006.** Transfer of phloem-mobile substances from the host plants to the holoparasite *Cuscuta* sp. *Journal of Experimental Botany* **57**, 911-921.
- Biswas, J.C., Ladha, L.K., Dazzo, F.B., 2000.** Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. *Journal of Soil Science* **64**, 1644-1650.
- Boari, A., Vurro, M., 2004.** Evaluation of *Fusarium* spp. and other fungi as biological control agents of broomrape (*Orobancha ramosa*). *Biological Control* **30**, 212-219.
- Bonkowski, M., Geoghegan, I.E., Birch, A.N.E., Griffiths, B.S., 2001.** Effects of soil decomposer invertebrates (protozoa and earthworms) on an above-ground phytophagous insect (cereal aphid), mediated through changes in the host plant. *Oikos* **95**, 441-450.
- Bora, T., Ozaktan, H., Gore, E., Aslan, E., 2004.** Biological control of *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* by wettable powder formulations of two strains of *Pseudomonas putida*. *Journal of Phytopathology* **152**, 471-475.
- Bouwmeester, H.J., 2005.** The strigolactone germination stimulants of the plant-parasitic *Striga* and *Orobancha* spp. are derived from the carotenoid pathway. *Plant Physiology* **139**, 920-34.
- Bouwmeester, H.J., Roux, C., Lopez-Raez, J.A., Bécard, G., 2007.** Rhizosphere communication of plants, parasitic plants and AM fungi. *Trends Plant Science* **12**, 224-230.
- Budzikiewicz, H., 2004.** Siderophores of the Pseudomonadaceae sensu stricto (fluorescent and non-fluorescent *Pseudomonas* spp.). *Fortschritte der Chemie Organischer Naturstoffe* **87**, 81-237.
- Bunch, H.D., Moore, C.E., Grisez, J.F., 1959.** Magnetic seed cleaners. *Crop Soil* **11**, 20-21.
- Campbell, R., 1994.** Biological control of soil-borne diseases: some present problems and different approaches. *Crop Protection* **13**, 4-13.
-



- Cattelan, A.J., Hartel, P.G., Fuhrmann, J.J., 1999.** Screening for plant growth promoting rhizobacteria to promote early soybean growth. *Soil Science Society of America Journal* **63**, 1670-1680.
- Cavaglieri, L., Orlando, J., Rodriguez, M.I., Chulze, S., Etcheverry, M., 2005.** Biocontrol of *Bacillus subtilis* against *Fusarium verticillioides* *in vitro* and at the maize root level. *Research in Microbiology* **156** (5-6), 748-754.
- Chaurasia, B., Pandey, A., Palni, L.M.S., Trivedi, P., Kumar, B., Colvin, N., 2005.** Diffusible and volatile compounds produced by an antagonistic *Bacillus subtilis* strain cause structural deformations in pathogenic fungi *in vitro*. *Microbiological Research* **160**, 75-81.
- Chen, F., Petri, J., Gershenzon, J., Bohlmann, J., Pichersky, E., Tholl, D., 2004.** Characterization of a root-specific *Arabidopsis* terpene synthase responsible for the formation of the volatile monoterpene 1,8-cineole. *Plant Physiology* **135**, 1956-1966.
- Cheng, W., Coleman, D.C., Caroll, C.R., Hoffman, C.A., 1994.** Investigating short term carbon flows in the rhizospheres of different plant species, using isotopic trapping. *Agronomy Journal* **86**, 782-788.
- Chin-A-Woeng, T.F., Bloemberg, G.V., Lugtenberg, B.J., 2003.** Phenazines and their role in biocontrol by *Pseudomonas* bacteria. *New Phytologist* **157**, 503-523.
- Choudhury, A.T.M.A., Kennedy, I.R., 2004.** Prospects and potentials for systems of biological nitrogen fixation. *Biology and Fertility of Soils* **39**, 219-227.
- Collins, D.P., Jacobsen, B.J., 2003.** Optimizing a *Bacillus subtilis* isolate for biological control of sugar beet *Cercospora* leaf spot. *Biological Control* **26** (2), 153-161.
- Compant, S., Clément, C., Sessitsch, A., 2010.** Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology et Biochemistry* **42**, 669-678.
- Compant, S., Reiter, B., Sessitsch, A., Nowak, J., Clement, C., Barka, E.A., 2005.** Endophytic colonization of *Vitis vinifera* L. by plant growth-promoting bacterium *Burkholderia* sp. strain PsJN. *Applied and Environmental Microbiology* **71**, 1685-1693.
- Connick, W. J. Jr., Boyette, C. D., McAlpine, J. R., 1991.** Formulation of mycoherbicides using a pasta-like process. *Biological Control* **1**, 282-287.
- Cook, R.J., 1993.** Making greater use of introduced microorganisms for biological-control of plant-pathogens. *Annual Review of Phytopathology* **31**, 53-80.
- Cook, R.J., Tomashow, L.S., Weller, D.M., Fujimoto, D., Mazzola, M., Bangera, G., Kim, D.S., 1995.** Molecular mechanisms of defense by rhizobacteria against root disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **92**, 4197-4201.
- Cook, R.J., Charudattan, R., Zimmerman, T.W., Roskopf, E., Stall, W.M., MacDonald, G.E., 2009.** Effects of *Alternaria destuens*, glyphosate, and ammonium sulfate individually and integrated for control of dodder (*Cuscuta pentagona*). *WeedTechnology* **23**, 550-555.
- Crowley, D.E., Reid, C.P.P., Szaniszlo, P.J., 1988.** Utilization of microbial siderophores in iron acquisition by oat. *Plant Physiology* **87**, 680-685.



- Darrah, P. R., 1993.** The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach, *Plant and Soil* **156**, 1-20.
- David, O., 2009.** Biological Control and Integrated Pest Management. *In: Integrated Pest Management: Innovation-Development Process*. V1, Peshin R. et Dhawan A.K. (eds.). Springer, South Carolina, USA. 668 p.
- David-Schwartz, R., Runo, S., Townsley, B., Machuka, J., Sinha, N., 2008.** Long distance transport of mRNA via parenchyma cells and phloem across the host/ parasite junction in *Cuscuta*. *New Phytologist* **179**, 1133-1141.
- De Souza, J.T., Mazzola, M., Raaijmakers, J.M., 2003.** Conservation of the response regulator gene *gacA* in *Pseudomonas* species. *Environmental Microbiology* **5**, 1328-1340.
- Deacon, J.W., 1991.** Significance of ecology in the development of biocontrol agents against soil-borne plant pathogens. *Biocontrol Science and Technology* **1**, 5-20.
- Debora, A. T., Acelino, C. A., Reginaldo, G. M., Eraclides, M. F., Leandro, S., Luiz, A. M., Ann, H. M., 2007.** Rhizobacterial promotion of eucalypt rooting and growth. *Brazilian Journal of Microbiology* **38**, 118-123.
- Defago, G., Haas, D., 1990.** Pseudomonads as antagonists of soilborne plant pathogens: mode of action and genetic analysis. *Soil Biochemistry* **6**, 249-291.
- Dobbeleare, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, Y., Vanderleyden, J., 2002.** Effects of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Biology and Fertility of Soils* **36**, 284-297.
- Dong-Mei, L., Christian, S., Yi-Shun, Z., Shao-Lin, P., 2009.** Identification of genes differentially expressed in *Mikania micrantha* during *Cuscuta campestris* infection by suppression subtractive hybridization. *Journal of Plant Physiology* **166**, 1423-1435.
- Driesche, R.V., Hoddle, M., Center, T., 2008.** Control of pests and weeds by natural enemies an introduction to biological control, Blackwell Publishing, New York, USA. 502 p.
- Dubeikovsky, A.N., Mordukhova, E.A., Kochethovm, V.V., Polikarpova, F.Y., Boronin, A.M., 1993.** Growth promotion of black current soft wood cuttings by recombinant strain *Pseudomonas fluorescens* BSP53a synthesizing an increased amount of indole-3-acetic acid. *Soil biology and soil biochemistry* **25**, 1277-1281.
- Duffy, B.K., Defago, G., 1999.** Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strains. *Applied and Environmental Microbiology* **65**, 2429-2438.
- Duffy, B. K., Keel, C., Defago, G., 2004.** Potential role of pathogen signaling in multitrophic plant-microbe interactions involved in disease protection. *Applied and Environmental Microbiology* **70**, 1836-1842.
- Elmer, P.A.G., Reglinski, T., 2006.** Biosuppression of *Botrytis cinerea* in grapes. *Plant Pathology* **55**, 155-177.
- Elmholt, S., 1991.** Side effects of propiconazole (tilt 250 ECTM) on non-target soil fungi in a field trial compared with natural stress effects. *Microbial Ecology* **22**, 99-108.

- Emile, D., Michel, N., 2004.** Biologie végétale : Association et interactions chez les plantes. Dunod (ed.), Paris, France. 166 p.
- Evidente, A., Andolfi, A., Fiore, M., Boari, A., Vurro, M., 2006.** Stimulation of *Orobanche ramosa* seed germination by fusicoccin derivatives: A structure–activity relationship study. *Phytochemistry* **67**, 19-26.
- FAOSTAT, 2010.** L'alimentation et l'agriculture (FAO). *FAOSTAT* . Disponible en ligne à : <http://faostat.fao.org/default.aspx>
- Fernández-Aparicio, M., Sillero, J.C., Rubiales, D., 2007.** Intercropping with cereals reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes. *Crop Protection* **26**, 1166-1172.
- Fravel, D.R., 2005.** Commercialization and implementation of biocontrol. *Annual Review of Phytopathology* **43**, 337-359.
- Gerding-Gonzalez, M., France, A., Sepúlveda, M.E., Campos, J., 2007.** Use of chitin to improve a *Beauveria bassiana* alginate-chitin pellet formulation. *Biocontrol Science and Technology* **17** (1), 105-110.
- Gholami, A., Shahsavani, S., Nezarat, S., 2009.** The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Germination, Seedling Growth and Yield of Maize. *International Journal of Biological and Life Sciences* **5**, 144-157.
- Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle P., Izac A. M. N., Swift, M. J., 1997.** Agricultural, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* **1**, 3-16.
- Glick, B.R., 1995.** The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology* **41**, 109-117.
- Göhre, V., Robatzek, S., 2008.** Breaking the barriers: Microbial effect or molecules subvert plant immunity. *Annual Review of Phytopathology* **46**, 189-215.
- González-Verdejo C. I., Barandiaran X., Moreno M. T., Cubero, J., Di Pietro, A., 2006.** A peroxidase gene expressed during early developmental stages of the parasitic plant *Orobanche ramosa*. *Journal of Experimental Botany* **57**, 185-192.
- Gressel, J., Al-Ahmad, H., Amsellem, Z., Babalola, O., Meir, S., 2005.** Transgenic enhancement of biocontrol agents. *Phytopathology* **95**, 126-129.
- Griffitts, A.A., Cramer, C.L., Westwood. J.H., 2004.** Host gene expression in response to the Egyptian broomrape (*Orobanche aegyptiaca*). *Weed Science* **52**, 697-703.
- Guetsky, R., Elad, Y., Shtienberg, D., Dinoor, A., 2002.** Establishment, survival and activity of the biocontrol agents *Pichia guillemontii* and *Bacillus mycoides* applied as a mixture on strawberry plants. *Biocontrol Science and Technology* **12**, 705-714.
- Gupta, A.M., Gopal, K.V.B., Tilak, R., 2000.** Mechanism of plant growth promotion by rhizobacteria. *Indian Journal of Experimental Biology* **38**, 856-862.
- Haas, D., Keel, C., 2003.** Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas* spp. and relevance for biological control of plant disease. *Annual Review of Phytopathology* **41**, 117-153.
- Hafeez, F. Y., Yasmin, S., Aryani, D., Rehman, Yousufzafar, M., Malik, K. A., 2006.** Plant growth rhizobacteria and biofertilizers. *Agronomy for Sustainable Development* **26**, 243-250.

- Halda-Alija, L., 2003.** Identification of indole-3 acetic acid producing freshwater wetland rhizosphere bacteria associated with *Juncus effusus* L. Canadian Journal of Microbiology **49**, 781-787.
- Hawes, M.C., 1998.** Function of root border cells in plant health: pioneers in the rhizosphere. Annual Review of Phytopathology **36**, 311-327.
- Hegde, S.V., 2002.** Liquid biofertilizers in Indian agriculture. Biofertilizer News Letters **12**, 17-22.
- Hilary, A. S., 2010.** Managing *Cuscuta gronovii* (swamp dodder) in cranberry requires an integrated approach. Sustainability **2**, 660-683.
- Hiltner, L., 1904.** Über neuere erfahrungen und probleme auf dem gebeit der bodenbakteriologie und unter besonderer berucksichtigung der grundungung und brache. Arbeit und Deutsche Landwirtschaft Gesellschaft **98**, 59-78.
- Hirsch, A.M., Bauer, W.D., Bird, D.M., Cullimore, J., Tyler, B., Yoder, J., 2003.** Molecular signals and receptors: Controlling rhizosphere interactions between plants and other organisms. Ecology **84**, 858-868.
- Hjeljord, L.G., Stensvand, A., Tronsmo, A., 2000.** Effect of temperature and nutrient stress on the capacity of commercial *Trichoderma* products to control *Botrytis cinerea* and *Mucor piriformis* in greenhouse strawberries. Biological Control **19** (2), 149-160.
- Hoagland, R.E., 2001.** Microbial allelochemicals and pathogens as bioherbicidal agents. Weed Technology **15**, 835-857.
- Holm, L., Doll, J., Holm, E., Panch, J., Herberger, J., 1997.** World Weeds: Natural Histories and Distribution. John Wiley and Sons, New York, USA. 1129 p.
- Hopen, H.J., Caruso, F.L., Bewick, T.A., 1997.** Control of dodder in cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) with a pathogen-based herbicide. Acta Horticulturae **446**, 427-428.
- Hultberg, M., Alsanius, B., Sundin, P., 2000.** *In vivo* and *in vitro* interactions between *Pseudomonas fluorescens* and *Pythium ultimum* in the suppression of damping-off in tomato seedlings. Biological Control **19**, 1-8.
- Huang, J.K., Hu, R.F., Rozelle, S., Pray, C., 2005.** Insect resistant GM rice in farmers' fields: Assessing productivity and health effects in China. Science **308**, 688-690.
- Hynes, R.K., Boyetchko, S.M., 2006.** Research initiatives in the art and science of biopesticide formulations. Soil Biology and Biochemistry **38**, 845-849.
- Hynes, R.K., Leung, G.C.Y., Hirkala, D.L.M., Nelson L.M., 2008.** Isolation, selection, and characterization of beneficial rhizobacteria from pea, lentil, and chickpea grown in western Canada. Canadian Journal of Microbiology **54**, 248-258.
- Islam, Md., Madhaiyan, M., Hari, P., Deka, B., Woojong, Y., Gillseung, L., Saravanan, V. S., Qingling, F., Hongqing, H., Tongmin, S., 2009.** Characterization of plant growth promoting traits of free-living diazotrophic bacteria and their inoculation effects on growth and nitrogen uptake of crop plants. Journal of Microbiology and Biotechnology **19** (10), 1213-1222.
- Ishii, H., 2006.** Impact of fungicide resistance in plant pathogens on crop disease control and agricultural environment. Japan Agricultural Research Quarterly **40**, 205-211.

- Jacoud, C., Job, D., Wadoux, P., Bally, R., 1999.** Initiation of root growth stimulation by *Azospirillum lipoferum* CRT1 during maize seed germination. Canadian Journal of Microbiology **45**, 339-342.
- Joel, D.M., 2009.** The new nomenclature of *Orobanche* and *Phelipanche*. Weed Research **49**, 6-7.
- Jones, J.D.G., Dangl, J.L., 2006.** The plant immune system. Nature **444**, 323-329.
- Kai, M., Emert, U., Berg, G., Piechulla, B., 2007.** Volatiles of bacterial antagonists inhibit mycelial growth of the plant pathogen *Rhizoctonia solani*. Archives of Microbiology **187**, 351-360.
- Kaymak, H.C., Guvenc, I., Yarali, F., Donmez, M.F., 2009.** The effects of bio-priming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry **33**, 173-179.
- Keel, C., Weller, D.M., Natsch, A., Defago, G., Cook, R.J., Thomashow, L.S., 1996.** Conservation of 2,4-diacetophlooroglucininol biosynthesis locus among fluorescent *Pseudomonas* strains from diverse geographic locations. Applied and Environmental Microbiology **62**, 552-563.
- Kempf, H.J., Wolf, G., 1989.** *Erwinia herbicola* as a biocontrol agent of *Fusarium culmorum* and *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* on wheat. Phytopathology **79**, 990-994.
- Kennedy, I.R., Islam, N., 2001.** The current and potential contribution of asymbiotic nitrogen fixation to nitrogen requirements on farms. Australian Journal of Experimental Agriculture **41**, 447-457.
- Keyes, W.J., Taylor, J.V., Apkarian, R.P., Lynn, D.G., 2001.** Dancing together. Social controls in parasitic plant development. Plant Physiology **127**, 1508-1512.
- Khalid, A., Arshad, M., Zahir, Z.A., 2004.** Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. Journal of Applied Microbiology **96**, 473-480.
- Khan, M.S., Zaidi, A., Wani, P.A., Oves, M., 2009.** Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. Environmental Chemistry Letters **7**, 1-19.
- Khan, M.S., Jabeen Mirza, K., Abdin, M Z., 2010.** Development of RAPD markers for authentication of medicinal plant *Cuscuta reflexa*. Eurasian Journal of BioSciences **4**, 1-7.
- Kishore, G.K., Pande, S., Podile, A.R., 2005.** Phylloplane bacteria increase seedling emergence growth and yield of field-grown groundnut (*Arachis hypogea* L.). Letters in Applied Microbiology **40**, 260-268.
- Klein, O., Kroschel, J., 2002.** Biological control of *Orobanche* spp. with *Phytomyza orobanchia*. BioControl **47**, 245-277.
- Kloepper, J.W., Schroth, M.N., 1981.** Plant growth promoting rhizobacteria and plant growth under gnotobiotic conditions. Phytopathology **71**, 642-644.
- Kloepper, J.W., Lifshitz, R., Zablutowicz, R.M., 1989.** Free living bacterial inocula for enhancing crop productivity. Trends in Biotechnology **7**, 39-44.
- Knepper, D., Creager, R., Minn, L., 1990.** Identifying dodder seed as contaminants in seed shipments. Seed Science and Technology **18**, 731-741.

- Knowles, C.J., Bunch, A.W., 1986.** Microbial cyanide metabolism. *Advances in Microbial Physiology* **27**, 73-111.
- Kohler, J., Hernández, J.A., Caravaca, F., Roldán, A., 2009.** Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. *Environmental and Experimental Botany* **65**, 245-252.
- Kolombet, L.V., Zhigletsova, S.K., Kosarava, N.I., Bystron, E.V., Derbyshev, V.V., Krasonos, S.P., Schiler, D., 2008.** Development of extended shelf life of liquid formulation of the bio fungicide *Trichoderma asperellum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **24**, 123-131.
- Kubo, M., Ueda, H., Park, P., Kawaguchi, M., Sugimoto, Y., 2009.** Reactions of *Lotus japonicus* ecotypes and mutants to root parasitic plants. *Journal of Plant Physiology* **166**, 353-362.
- Lambrecht, M., Okon, Y., Vande Broek, A., Vanderleyden, J., 2000.** Indole-3-acetic acid: A reciprocal signalling molecule in bacteria–plant interactions. *Trends in Microbiology* **8**, 298-300.
- Lanini, W.T., Kogan, M., 2005.** Biology and management of *Cuscuta* in Crops. *Cienciae investigacion agraria* **32** (3), 165-179.
- Larkin, R.P., Fravel, D.R., 2002.** Effects of varying environmental conditions on biological control of *Fusarium* wilt of tomato by non pathogenic *Fusarium* spp. *Phytopathology* **92** (11), 1160-1166.
- Latour, X., Corberand, T., Laguerre, G., Allard, F., Lemanceau, P., 1996.** The composition of fluorescent Pseudomonads associated with roots is influenced by plant soil type. *Applied and environmental microbiology* **7**, 2449-2456.
- Lemanceau, P., 1992.** Effets bénéfiques de rhizobactéries sur les plantes: Exemples des *Pseudomonas fluorescens*. *Agronomie* **12**, 413-437.
- Li, J.M., Kremer R.J., 2000.** Rhizobacteria associated with weed seedlings in different cropping systems. *Weed Science* **48**, 734-741.
- Lichtfouse, E., 2010.** Society issues, painkiller solutions, dependence and sustainable agriculture. In: sociology, organic farming, climate change and soil science. *Sustainable agriculture reviews 3*. Lichtfouse E. (ed.). Springer, New York, USA pp: 1-17.
- Lodewyckx, C., Vangronsveld, J., Porteous, F., Moore, E.R.B., Taghavi, S., Mezageay, M., Van der Lelie, D., 2002.** Endophytic bacteria and their potential applications. *Critical Reviews in Plant Sciences* **21**, 583-606.
- Lopez-Raez, J.A., 2008.** Tomato strigolactones are derived from carotenoids and their biosynthesis is promoted by phosphate starvation. *New Phytologist* **178**, 863-874.
- Lucy, M., Peed, E., Glick, B.R., 2004.** Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek* **86**, 1--25.
- Lugtenberg, B., Kamilova, F., 2009.** Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology* **63**, 541-556.
- Magnin-Robert, M., Trotel-Aziz, P., Quantinet, D., Biagiatti, S., Aziz, A., 2007.** Biological control of *Botrytis cinerea* by selected grapevine-associated bacteria



- and stimulation of chitinase and #-1,3 glucanase activities under field conditions. *European Journal of Plant Pathology* **118**, 43-57.
- Malik, C.P., Singh, M.B., 1979.** Physiological and biochemical aspects of parasitism in *Cuscuta*. *Annual Review of Plant Science* **1**, 68-112.
- Marrone, P.G., 1999.** Microbial pesticides and natural products as alternatives. *Outlook on Agriculture* **28**, 149-154.
- Martínez-Viveros, O., Jorquera, M.A., Crowley, D.E., Gajardo, G., Mora, M.L., 2010.** Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **10**, 293-319.
- Matusova, R., 2005.** The strigolactone germination stimulants of the plant-parasitic *Striga* and *Orobancha* spp. are derived from the carotenoid pathway. *Plant Physiology* **139**, 920-934.
- Maurhofer, M., Keel, C., Schnider, U., Voisard, C., Hass, D., Defago, G., 1992.** Influence of enhanced antibiotic production in *Pseudomonas fluorescens* strain CHAO on its disease suppressive capacity. *Phytopathology* **82**, 190-195.
- Mayzlish-Gati, E., Lekkala, S. P., Resnick, N., Winer, S., Bhattacharya, C., Lemcoff, J., Koltai, Y.K.H., 2010.** Strigolactones are positive regulators of light-harvesting genes in tomato. *Journal of Experimental Botany* **11**, 3129-3136.
- Mazzola, M., Cook, R.J., Thomashow, L.S., Weller, D. M., Pierson, L.S., 1992.** Contribution of phenazine antibiotic biosynthesis to the ecological competence of fluorescent pseudomonads in soil habitats. *Applied and Environmental Microbiology* **58**, 2616-2624.
- Mccarthy, A.J. Williams, S.T., 1992.** Actinomycetes as agents of biodegradation in the environment. *Gene* **115**, 189-192.
- Mendoza, G., Martijn ten Hoopen, R.A., Kass, G., Sanchez Garita, D.C.J., Krauss, U., 2003.** Evaluation of mycoparasites as biocontrol agents of *Rosellinia* root rot in cocoa. *Biological Control* **27** (2), 210-227.
- Meulebrouck, K., Ameloot, E., Brys, R., Tanghe, L., Verheyen, K., Hermy, M., 2009.** Hidden in the host—Unexpected vegetative hibernation of the holoparasite *Cuscuta epithymum* L. and its implications for population persistence. *Flora* **204** (4), 306-315.
- Meziane, H., Van der Sluis, I., Van Loon, L.C., Höfte, M., Bakker, P.A.H., 2005.** Determinants of *Pseudomonas putida* WCS358 involved in inducing systemic resistance in plants. *Molecular Plant Pathology* **6**, 177-185.
- Molope, M.B., Grieve, I.C., Page, E.R., 1987.** Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. *Journal of Soil Science* **38**, 71-78.
- Montealegre, J.R., Reyes, R., Perez, L.M., Herrera, R., Silva, P., Besoain, X., 2003.** Selection of Bio-antagonistic bacteria to be used in biological control of *Rhizoctonia solani* in tomato. *Electronic journal of Biotechnology* **6**, 115-127.
- Muniappan R., Reddy G.P., Raman A., 2009.** Biological control of tropical weeds using arthropods. Cambridge University Press, UK. 509 p.
- Nielsen, T.H., Sorensen, J., 2003.** Production of cyclic lipopeptides by *Pseudomonas fluorescens* strains in bulk soil and in the sugar beet rhizosphere. *Applied and Environmental Microbiology* **69**, 861-868.

- Okon, Y., Labandera-González, C.A., 1994.** Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biology and Biochemistry* **26**, 1591-1601.
- Ouallah, M.Y., Benhouhou, S., Zermane, N., Mallory-Smith, C., 2009.** Study of the phytosociological affinities of the parasitic weed *Orobanche crenata* Forsk. with weed communities in the major host crops in eastern Algeria. In: Kumari, S. et al. (eds.) Abstracts Book of the 10<sup>th</sup> Arab Congress of Plant Protection. 10<sup>th</sup> Arab Congress of Plant Protection, 26-30 Oct. 2009, Crowne Plaza Hotel, Beirut, Lebanon. pp. E108-E109
- Parker, C., 1991.** Protection of crops against parasitic weeds. *Crop Protection* **10**, 6-22.
- Parker, C., 2009.** Observations on the current status of *Orobanche* and *Striga* problems worldwide. *Pest Management Science* **65**, 453-459.
- Pattee, H., Allred, K.R., Wiebe, H., 1965.** Photosynthesis in dodder. *Weed Science* **13**, 193-194.
- Perez, L.M., Basoain, X., Reyes, M., Pardo, G., Montealergre, J., 2002.** The expression of extracellular fungal cell wall hydrolytic enzymes in different *Trichoderma herzianum* isolates correlate with their ability to control *Perenochaeta lycopersici*. *Biological Research* **35**, 401-410.
- Perez-de-Luque, A., Rubiales, D., 2009.** Nanotechnology for parasitic plant control. *Pest Management Science* **65**, 540-545.
- Pérez-de-Luque, A., Eizenberg, H., Grenz, J.H., Sillero, J.C., Ávila, C.M., Sauerborn, J., Rubiales, D., 2010.** Broomrape management in faba bean. *Field Crops Research* **115**, 319-328.
- Peshin, R., Dhawan, A.K., 2009.** Integrated Pest Management: Innovation-Development Process. Springer, South Carolina, USA. 668 p.
- Petterson, M., Baath, E., 2004.** Effects of the properties of the bacterial community on pH adaptation during recolonization of a humus soil. *Soil Biology and Biochemistry* **36**, 1383-1388.
- Picard, C., Di Cello, F., Ventura, M., Fani, R., Guckert, A., 2000.** Frequency and biodiversity of 2,4-diacetylphloroglucinol producing bacteria isolated from the maize rhizosphere at different stages of plant growth. *Applied and Environmental Microbiology* **66**, 948-955.
- Piechulla, B., Pott, M.B., 2003.** Plant scents-mediator of inter- and intraorganismic communication. *Planta* **217**, 687-689.
- Pieterse, C.M.J., Van Wees, S.C.M., Hoffland, E., Van Pelt, J.A., Van Loon, L.C., 1996.** Systemic resistance in *Arabidopsis* induced by biocontrol bacteria is independent of salicylic acid accumulation and pathogenesis-related gene expression. *The Plant Cell* **8**, 1225-1237.
- Ping, L., Boland, W., 2004.** Signals from the underground: bacterial volatiles promote growth in *Arabidopsis*. *Trends in Plant Science* **9**, 263-266.
- Press, M.C., Phoenix, G.K., 2005.** Impacts of parasitic plants on natural communities. *New Phytologist* **166**, 737-751.

- Qingyun, Z., Caixia, D., Xingming, Y., Xinlan, M., Wei, R., Qirong, S., Yangchun, X., 2011.** Biocontrol of Fusarium wilt disease for *Cucumis melo* melon using bio-organic fertilizer. *Applied Soil Ecology* **47**, 67-75.
- Raaijmakers, J.M., 2009.** The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant and Soil* **321**, 341-361.
- Raaijmakers, J.M., Vlami, M. de Souza, J.T., 2002.** Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. *Antonie van Leeuwenhoek* **81**(1-4), 537-547.
- Radosevich, S.R., Holt, J.R., Ghera, C.M., 2007.** Ecology of weeds and invasive plants relationship to agriculture and natural resource management, John Wiley and Sons (ed.), 474 p.
- Ramamoorthy, V., Viswanathan, R., Raguchander, T., Prakasam, V., Samiyappan, R., 2001.** Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop Protection* **20**, 1-11.
- Raupach, G.S., Kloepper, J.W., 1998.** Mixtures of plant growth promoting rhizobacteria enhance biological control of multiple cucumber pathogens. *Phytopathology* **88**, 1158-1164.
- Remya, N., Saino, H.V., Baiju, G.N., Maekawa, T., Yoshida, Y., Sakthi, K.D., 2010.** Nano particulate material delivery to plants. *Plant Science* **179**, 154-163.
- Robert, E.L. N., (ed.) 2002.** Weed Management Handbook. Blackwell Science Publisher, Oxford, UK, 423 p.
- Rolfe, B.G., Djordjevic, M.A., Weinman, J.J., Mathesius, U., Pittock, C., Gartner, E., Ride, K.M., Dong, Z.M., Mc Cully, M., McIver, J., 1997.** Root morphogenesis in legumes and cereals and the effect of bacterial inoculation on root development. *Plant and Soil* **194**, 131-144.
- Rubiales, D., Verkleij, J., Vurro, M., Murdoch, A.J., Joel, D.M., 2009.** Parasitic plant management in sustainable agriculture. *Weed Research* **49**, 1-5.
- Runyon, J.B., 2006.** Volatile chemical cues guide host location and host selection by parasitic plants. *Science* **313**, 1964-1967.
- Ryals, J., Weymann, K., Lawton, K., Friedrich, L., Ellis, D., Steiner, H.Y., Johnson, J., Delaney, T.P., Jesse, T., Vos, P., Uknes, S., 1997.** The *Arabidopsis* NIM1 protein shows homology to the mammalian transcription factor inhibitor I $\kappa$ B. *The Plant Cell* **9**(3), 425-439.
- Ryu, C.M., Farag, M.A., Hu, C.H., Reddy, M.S., Kloepper, J.W., Pare, P.W., 2004.** Bacterial volatiles induce systemic resistance in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* **134**, 1017-1026.
- Saffour, K., 2003.** Utilisation des herbicides et des sous produits d'olive (grignon et margines) dans le contrôle de l'*Orobanche* sur fève. Th. Doc. Université Mohamed ben Abdallah, Fès, Maroc. 179 p.
- Saghir, 1994.** *Cuscuta* control for small farmers. In: FAO Repprt of the Workshop *Orobanche* and *Cuscuta* Parasitic Weed Management in the Near East. Amman, Sept. 1993; pp. 70-76; Plant Protection Service, AGPP, Plant Production and Protection Division. Rome.

- Sandler, H.A., Else, M.J., Sutherland, M., 1997.** Application of sand for inhibition of swamp dodder (*Cuscuta gronovii*) seedling emergence and survival on cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) bogs. *Weed Technology* **11**, 318-323.
- Sandler, H.A., Ghantous, K., 2007.** Germination patterns of swamp dodder seeds planted near a commercial cranberry farm. In: Sandler H.A. (ed.), Proceedings of Sixty-first Annual Meeting of the Northeastern Weed Science Society, Abstract 65 p.
- Saravanakumar, D., Lavanya, N., Muthumeena, K., Raguchander, T., Samiyappan, R., 2009.** Fluorescent pseudomonad mixtures mediate disease resistance in rice plants against sheath rot (*Sarocladium oryzae*) disease. *Biocontrol* **54**(2), 273-286.
- Sauerborn, J., 1991.** Parasitic flowering plants in agricultural ecosystems of West Asia. *Flora and Vegetatio Mundi* **9**, 83-91.
- Sauerborn, J., Müller-Stöver, D., Hershenthorn, J., 2007.** The role of biological control in managing parasitic weeds. *Crop Protection* **26**, 246-254.
- Schippers, B., Bakker, A.W., Bakker, P.A.H.M., Vanpeer R., 1990.** Beneficial and deleterious effects of HCN-producing pseudomonads on rhizosphere interactions. *Plant and Soil* **129**, 75-83.
- Schöller, C.E.G., Gürtler, H., Petersen, R., Molin, S., Wilkins, K., 2002.** Volatile metabolites from Actinomycetes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**, 2615-2621.
- Scurkson, J.M.O., Johnson, K., Olson, R.J., 2002.** Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology* **108**, 736-753.
- Senthilraja, G., Anand, T., Durairaj, C., Raguchander, T., Samiyappan, R., 2010.** Chitin-based bioformulation of *Beauveria bassiana* and *Pseudomonas fluorescens* for improved control of leaf miner and collar rot in groundnut. *Crop Protection*. **29**, 1003-1010.
- Serghini, K., Perez-de-Luque, A., Castejn-Mufioz, M., Garcia-Torres, L., Jorriñ, J.V., 2001.** Sunflower (*Helianthus annuus* L.) response to broomrape (*Orobanchc cernua* Loefl.) parasitism: induced synthesis and excretion of 7-hydroxylated simple coumarins. *Journal of Experimental Botany* **52**, 2227-2234.
- Shaharoona, B., Jamro, G.M., Zahir, Z.A., Arshad, M., Memon, K.S., 2007.** Effectiveness of various *Pseudomonas* spp. and *Burkholderia caryophylli* containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Microbiology and Biotechnology* **17**, 1300-1307.
- Shaukat, K., Affrasayab, S., Hasnain, S., 2006.** Growth responses of *Helianthus annuus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. *Journal of Agriculture Research* **6**, 573-581.
- Sherman, T.D., Pettigrew, W.T., Vaughn, K.C., 1999.** Structural and immunological characterization of the *Cuscuta pentagona* L. chloroplast. *Plant and Cell Physiology* **40**, 592-603.
- Shishido, M., Massicotte, H.B., Chanway, C.P., 1996.** Effect of plant growth promoting Bacillus strains on pine and spruce seedling growth and mycorrhizal infection. *Annals of Botany* **77**, 433-441.

- Shishkoff, N., Mc Grath, M.T., 2002.** AQ10 biofungicide combined with chemical fungicides or AddQ spray adjuvant for control of cucurbit powdery mildew in detached leaf culture. *Plant Disease* **86**, 915-918.
- Somers, E., Vanderleyden, J., Srinivasan, M., 2004.** Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. *Critical Reviews in Microbiology* **30**, 205-240.
- Steeghs, M., Bais, H.P., Gouwe, J.D., Goldan, P., Kuster, W., Northway, M., Fall, R., Vivanco, J.M., 2004.** Proton-transfer-reaction mass spectrometry as a new tool for real time analysis of root-secreted volatile organic compounds in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* **135**, 47-58.
- Stefanovic, S., Austin, D.F., Olmstead, R.G., 2003.** Classification of convolvulaceae; a phylogenetic approach. *System of Botany* **28**, 791-806.
- Sturz, A.V., Christie, B.R., Nowak, J., 2000.** Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. *Critical Reviews in Plant Sciences* **19**, 1-30.
- Thakore, Y., 2006.** The biopesticide market for global agricultural use. *Industrial Biotechnology* **2**, 194-208.
- Tokala, R.K., Strap, J.L., Jung, C.M., Crawford, D.L., Hamby, Salove, M., Deobald, LA., Bailey, J.F., Morra, M.J., 2002.** Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC-108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Applied and Environmental Microbiology* **68**, 2161-2171.
- Trotel-Aziz, P., Dhuicq, L., Jeandet, P., Couderchet, M., Vernet, G., 2006.** Chitosan oligomers and copper sulfate induce grapevine defense reactions and resistance to gray mold and downy mildew. *Phytopathology* **96**, 1188-1194.
- Truscott, F.H., 1958.** On the regeneration of new shoots from isolated dodder haustoria. *American Journal of Botany* **45**, 169-177.
- Unsicker, S.B., Kunert, G., Gershenzon, J., 2009.** Protective perfumes: the role of vegetative volatiles in plant defense against herbivores. *Current Opinion in Plant Biology* **12**, 479-485.
- Van der Kooij, T.A.W., Krause, K., Dörr, I., Krupinska, K., 2000.** Molecular, functional and ultrastructural characterization of plastids from six species of the parasitic flowering plant genus *Cuscuta*. *Planta* **210**, 701-707.
- Van Loon, L.C., Bakker, P., Pieterse, C.M.J., 1998.** Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology* **36**, 453-483.
- Vasileva, V., Ilieva, A., 2007.** Effect of pre sowing treatment of seeds with insecticides on nodulating ability, nitrate reductase activity and plastid pigments content of lucerne (*Medicago sativa* L.). *Agronomy Research* **5**, 87-92.
- Vaughn, K.C., 2002.** Attachment of the parasitic weed dodder to the host. *Proto-plasma* **219**, 227-237.
- Vendan, R.T., Thangaraju, M., 2006.** Development and standardization of liquid formulation for *Azospirillum* bioinoculant. *Indian Journal of Microbiology* **46**, 379-387.
- Vendan, R.T., Thangaraju, M., 2007.** Development and standardization of *Azospirillum* bioinoculant. *Acta Microbiologica Immunologica Hungarica* **54** (2), 167-177.



- Vidhyasekaran, P., Muthamilan, M., 1995.** Development of formulations of *Pseudomonas fluorescens* for control of chickpea wilt. *Plant Disease* **79**, 782-786.
- Voisard, C., Keel, C., Haas, D., Defago, G., 1989.** Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* helps suppress black root rot of tobacco under gnotobiotic conditions. *EMBO Journal* **8**, 351-358.
- Vurro, E., Ruotolob, R., Ottonello, S., Elviri, L., Maffini, M., Falasch, G., Zanellad, L., Altamurad, M.M., Toppi, L.S., 2010.** Phytochelatins govern zinc/copper homeostasis and cadmium detoxification in *Cuscuta campestris* parasitizing *Daucus carota*. *Environmental and Experimental Botany* **72** (1), 26-33.
- Vurro, M., Gressel, J., (eds.) 2008.** Novel Biotechnologies for Biocontrol Agent Enhancement and Management. Nato Security through Science Series – A : Chemistry and Biology. Springer Publisher, Dordrecht, The Netherlands. 374 p.
- Walsh, U.F., Moëne Loccoz, Y., Tichy, H.V., Gardner, A., Corkery, D.M., Lorkhe, S., O’Gara, F., 2003.** Residual impact of the biocontrol inoculants *Pseudomonas fluorescens* F113 on the resident population of rhizobia nodulating a red clover rotation crop. *Microbial Ecology* **45**, 145-155.
- Wani, P.A., Khan, M.S., Zaidi, A., 2008.** Chromium-reducing and plant growth promoting Mesorhizobium improves chickpea growth in chromium-amended soil, *Biotechnology Letters* **30**, 159-163.
- Welbaum, G., Sturz, A.V., Dong, Z., Nowak, J., 2004.** Fertilizing soil microorganisms to improve productivity of agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences* **23**, 175-193.
- Weller, D.M., Raaijmakers, J.M., Mcspdden, Gardener, B.B., Thomashow, L.S., 2002.** Microbial populations responsible for specific suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* **26**, 379-407.
- Weston, L.A., 2005.** History and current trends in the use of allelopathy for weed management. *The Horticulture Technology* **15**, 529-534.
- Westwood, J.H., Yu, X., Foy, C.L., Cramer, C.L., 1998.** Expression of a defense-related 3-hydroxy-3-methyl glutaryl CoA re-ductase gene in response to parasitization by *Orobanch* spp. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **11**, 530-536.
- Westwood, J.H., Yoder, J.I., Timko, M.P., de Pamphilis, C.W., 2010.** The evolution of parasitism in plants. *Trends in Plant Science* **15**, 227-235.
- Weyens, N., Van der Lelie, D., Taghavi, S., Vangronsveld, J., 2009.** Phytoremediation: plante endophyte partnerships take the challenge. *Current Opinion in Biotechnology* **20**, 248-254.
- Wheatley, R.E., 2002.** The consequences of volatile organic compound mediated bacterial and fungal interactions. *Antonie Van Leeuwenhoek* **81**, 357-364.
- Whipps, J.M., 2001.** Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany* **52**, 487-511.
- Wood, S.M., Newcomb, W., 1989.** Nodule morphogenesis: the early infection of Alfalfa (*Medicago sativa*) root hairs by *Rhizobium meliloti*. *Canadian Journal of Botany* **67**, 3108-3122.

- Wu, S.C., Caob, Z.H., Lib, Z.G., Cheunga, K.C., Wonga, M.H., 2005.** Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. *Geoderma* **125**, 155-166.
- Yang, C.H., Crowley, D.E., 2000.** Rhizosphere microbial community structure in relation to root location and plant iron nutritional status. *Applied and Environmental Microbiology* **63**, 345-351.
- Yoneyama, K., Xie, X., Yoneyama, K., Takeuchi, Y., 2009.** Strigolactones: structures and biological activities. *Pest Management Science* **65**,467-470.
- Yoneyama, K., Awad, A.A., Xie, X., Yoneyama, K., Takeuchi, Y., 2010.** Strigolactones as germination stimulants for root parasitic plants. *Plant and Cell Physiology* **51**, 1095-1103.
- Yuncker, T.G., 1932.**The genus *Cuscuta*. *Memorial Torrey Botanical Club* **18**, 113-331.
- Zahir, Z.A., Akram, M., Arshad, M., Khalid, A., 1998.** Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. *Soil Science Society of Pakistan* **15**, 7-11.
- Zahir, Z.A., Arshad M., William, T., Frankenberger, Jr., 2004.** Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Agriculture Advances in Agronomy* **81** , 97-168.
- Zahir, Z.A., Munir, A., Asghar, H.N., Shaharoona, B., Arshad, M., 2008.** Effectiveness of rhizobacteria containing ACC deaminase for growth promotion of peas (*Pisum sativum* L.) under drought conditions. *Journal of Microbiology and Biotechnology* **18**, 958-963.
- Zaidi, S., Usmani, S., Singh, B.R., Musarrat, J., 2006.** Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ-101 as a bio inoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *Brassica juncea*. *Chemosphere* **64**, 991-997.
- Zermane, N. 1998.** Contribution à l'étude des phanérogames parasites en Algérie: inventaire, repartition géographique, plantes hôtes, dégâts et quelques méthodes de lutte. Thèse magister, INA, Algérie. 219 p.
- Zermane, N., 2005.** Potentiel of rhizobacteria to control parasitic weeds of the genus *Orobanche*. Th. Doc. Margraf Verlag (ed.), Weikersheim, Allemagne. 161 p.
- Zermane, N., 2010.** Communication personnelle.
- Zermane, N., Kroschel, J., Sallé, G., Bouznad, Z., 1999.** Prospects for biological control of the parasitic weed *Orobanche* in Algeria. In: J. Kroschel, M. Abderabihi et H. Betz (eds.), *Advances in Parasitic Weed Control at on-farm Level. Vol. II. Joint Action to Control Orobanche in the WANA Region.* Margraf Verlag, Weikersheim, Deutschland, 173-184.
- Zermane, N., Kroschel, J., Souissi, T., Kharrat, M., 2002.** Field survey on *Orobanche* infestation of faba bean in Tunisia. In: Deininger A (ed.) *Proceedings of the Deutscher tropentag, 2002 "Challenges to organic farming and sustainable land use in the tropics and subtropics"*, 9-11 oct., University of Kassel, Witzenhausen, Germany, Abstract 79 p.
- Zermane, N., Souissi, T., Kroschel, J., Sikora, R., 2007.** Biocontrol of broomrape (*Orobanche crenata* Forsk. and *Orobanche foetida* Poir.) by *Pseudomonas*

*fluorescens* isolate Bf7-9 from the faba bean rhizosphere. *Biocontrol Science and Technology* **17** (5), 483-497.

**Zimdahl, R.L., 1999.** *Fundamentals of Weed Science*, 3rd ed., Academic Press, San Diego, California, USA. 666 p.