UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences biologiques
Spécialité : Biotechnologie végétale

Présenté par : **LAKHDARI Fatma**

THÈME

Effet d'un biostimulant à base de champignons (*Trichoderma* spp.) sur la croissance du maïs (*Zea mays* L.) dans la région de Touggourt

Soutenu publiquement le : 27/06/2019

Devant le jury :

Mme. SALHI Nesrine	Professeur	Présidente	Univ. K. M. Ouargla
Mme. DEHLIZ- LAKHDARI Wassima	M.R.A.	Encadreur	INRAA, Touggourt
Mr. CHAABENA Ahmed	M.A.A.	Co- Encadreur	Univ. K. M. Ouargla
Mme. HAMMOUDI Rokia	M.C.A.	Examinatrice	Univ. K. M. Ouargla

Année Universitaire 2018/2019

Dédicace

Je dédie ce travail

Aux plus chers des êtres

mon père et ma mère,

A mes sœurs et mon frère,

Qui m'ont aidé et supporté moralement et matériellement

A toute ma famille avec toute mon affection.

FATMA.L

Remerciements

Avant tout, je remercie mon Dieu tout puissant de m'avoir accordée la force, le courage, et les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et toute ma reconnaissance à l'égard de ma directrice de mémoire, Mme DEHLIZ-LAKHDARI Wassima, Maitre de recherche à l'INRAA, non seulement pour avoir accepté de diriger ce travail, mais aussi pour son enthousiasme commutatif, sa compétence, sa patience et surtout sa disponibilité. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et l'assure de mes sentiments.

Je remercie également mon co-directeur Mr. CHAABENA Ahmed, Maitre-assistant A de l'université d'Ouargla, pour ses conseils, ses orientations, sa gentillesse et sa modeste.

Mes sincères remerciements vont à Mme SALHI Nesrine, Professeur à l'université d'Ouargla, pour l'honneur qu'elle me fait de présider le jury et d'évaluer ce travail ; qu'elle trouve ici l''expression de ma grande reconnaissance.

Je remercie également Mme HAMMOUDI Rokia Maitre de conférence A de l'université d'Ouargla, d'avoir accepté de juger ce travail.

Mes vifs remerciements vont également à l'équipe de projet des équipes de recherche mixte sans oublier le partenaire socio-économique SINAL et la DGRSDT pour m'offrir l'occasion de terminer ce travail.

Mes vifs et sincères remerciements vont également à l'équipe du laboratoire de protection des végétaux de l'INRAA, qui m'a toujours aidé et encouragé pour préparer ce modeste travail mais aussi pour sa patience et ses orientations.

Je tiens également à exprimer mes remerciements à l'ensemble du personnel de l'INRAA. Ceux qui ont apporté une aide inestimable durant les périodes critiques de ce travail notamment pour leur aide précieux afin d'organiser les sorties sur terrain.

Table des matières

Dédicace
Remerciement
Liste des tableaux
Liste des figures
Liste des abréviations
Table des matières
Introduction **2**

Partie bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur la culture du maïs

1.1. Description de la culture du maïs **5**
1.2. Taxonomie du maïs **5**
1.3. Appareil végétatif du maïs **6**
1.4. Grains de maïs **6**
1.5. Stades phénologiques du maïs **7**
1.5.1. Stade principal 0 : Germination et levée (VE) **8**
1.5.2. Stade principal 1 : Développement des feuilles (V1 à V5) **9**
1.5.3. Stade principal 3 : Elongation de la tige principale (V6 à V11) **9**
1.5.4. Stade principal 5 : Sortie de l'inflorescence ou épiaison (V6 à V12) **9**
1.5.5. Stade principal 6 : Floraison, anthèse (VT à R1) **10**
1.5.6. Stade principal 7 : Développement des graines **10**
1.5.7. Stade principal 8 : Maturation des graines **11**
1.5.8. Stade principal 9 : Sénescence **11**
1.6. Principales maladies du maïs **11**
1.6.1. Rouille du sud **11**
1.6.2. Helminthosporiose **12**
1.6.3. Cercosporiose **12**
1.6.4. Fusariose **13**
1.6.5. Striure **13**
1.6.6. Pourriture bactérienne de la tige **14**

Chapitre 2 : Généralités sur les biostimulants

2.1. Généralités sur les biostimulants **15**
2.2. Modes d'action des biostimulants **15**
2.3. Substances à effet biostimulant **16**
2.3.1. Acides humiques **16**
2.3.2. Acides aminés **17**
2.3.3. Extraits d'algues **17**
2.3.4. Bactéries **18**
2.3.5. Champignons **18**

Chapitre 3 : Généralités sur le genre *Trichoderma*

3.1. Généralités sur le genre *Trichoderma* **19**
3.2. Taxonomie de *Trichoderma* **19**
3.3. Morphologie de *Trichoderma* **20**
3.4. Ecologie de *Trichoderma* **20**
3.5. Mode d'action de *Trichoderma* **21**

Partie expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

1.1. Choix du site d'étude **23**
1.2. Matériel végétal **23**
1.3. Matériel biologique **24**
1.4. Conduite de la culture du maïs **24**
1.4.1. Préparation du lit de semence **25**
1.4.1.1. Labour profond **25**
1.4.1.2. Labour superficiel **25**
1.4.1.3. Installation du système d'irrigation **26**
1.4.2. Dispositif expérimental **26**
1.4.3. Le semis **27**
1.4.4. Conduite et entretien de la culture **27**
1.4.5. Paramètres physiologiques **27**
1.4.6. Estimation de la surface des feuilles **28**
1.5. Modalités d'application du biostimulant **29**
1.6. Etude statistique **30**

Chapitre 2 : Résultats

2.1. Effet du biostimulant sur le taux de levée **31**
2.2. Effet du biostimulant sur la longueur de la tige des plants du maïs **32**
2.3. Effet du biostimulant sur le diamètre du maïs **33**
2.4. Effet du biostimulant sur le nombre des feuilles **34**
2.5. Effet du biostimulant sur la surface végétative du maïs **36**
2.6. Effet du biostimulant sur l'espace entre-nœuds **37**
2.7. Effet du biostimulant sur le nombre des panicules (inflorescence mâle) **38**
2.8. Effet du biostimulant sur le nombre des épis **39**
2.9. Effet du biostimulant sur le nombre des talles **40**

Chapitre 3 : Discussions **42**

Conclusion **45**

Références bibliographiques **48**

Annexes

Liste des figures

Fig.	Titre	Page
1	Production de maïs dans le monde en 2017	**5**
2	Composition du grain de maïs	**7**
3	Stades de développement du maïs	**8**
4	Germination et levée de la graine du maïs	**8**
5	Stades de développement des feuilles	**9**
6	Elongation de la tige principale du maïs	**9**
7	Floraison du maïs	**10**
8	Maturations des graines du maïs	**11**
9	Symptômes de la rouille du sud sur les feuilles de maïs	**12**
10	Symptômes de l'helminthosporiose sur les feuilles de maïs	**12**
11	Symptômes de la cercosporiose sur les feuilles de maïs	**13**
12	Symptômes de la fusariose sur les fruits de maïs	**13**
13	Symptômes de la striure sur les feuilles de maïs	**14**
14	Symptômes de la pourriture bactérienne sur la tige de maïs	**14**
15	Morphologie de *Trichoderma*: **(A et B)** Conidiophores montrant une ramification vaste ; **(C et D)** Phialides montrant la production de conidies ; **(E)** Conidies	**20**
16	Modes d'action de *Trichoderma*	**21**
17	Situation géographique de l'INRAA	**23**
18	Semences du maïs local	**24**
19	Biostimulant à base de champignons antagonistes	**24**
20	Labour du sol	**25**
21	Nivellement du sol	**25**
22	Installation du système d'irrigation goute à goute	**26**
23	Dispositif mené en bloc aléatoire complet	**26**
24	Semis des grains du maïs	**27**
25	Sélection aléatoire des plants pour faire les mesures (20 plants/parcelle)	**28**
26	Mesure de la longueur et du diamètre des plants du maïs	**28**
27	Mesure de la longueur et de la largeur des feuilles pour calculer la surface végétative	**29**
28	Application du biostimulant sur la culture du maïs par irrigation et pulvérisation	**29**
29	Evolution de la levée du maïs chez les plants traitées et témoins	**31**
30	Effet du biostimulant sur la longueur des plantes du maïs	**32**
31	Effet du biostimulant sur la longueur des plants du maïs	**8**
32	Effet du biostimulant sur le diamètre des plants du maïs	**9**
33	Effet du biostimulant sur le diamètre des plants du maïs	**34**
34	Effet du biostimulant sur le nombre des feuilles du maïs	**35**
35	Effet du biostimulant sur le nombre des feuilles des plants du maïs traités et témoins	**35**

36	Mesure des feuilles des plants du maïs traités et témoins	**36**
37	Effet du biostimulant sur la surface végétative du maïs	**37**
38	Effet du biostimulant sur l'espace entre-nœuds	**37**
39	Effet du biostimulant sur le nombre des panicules (inflorescence mâle) du maïs	**38**
40	Effet du biostimulant sur le nombre des panicules (inflorescence mâle) du maïs	**38**
41	Effet du biostimulant sur le nombre des épis du maïs	**39**
42	Effet du biostimulant sur le nombre des épis du maïs	**39**
43	Effet du biostimulant sur le nombre des talles	**40**

Liste des tableaux

Tab.	Titre	Page
1	Stades de croissance végétative et de reproduction du maïs	**7**
2	Modalités d'application des traitements du biostimulant sur la culture du maïs	**30**
3	Analyse de la variance entre la levée des plants témoins et traités	**31**
4	Analyse de la variance entre la longueur des plants témoins et traités	**33**
5	Analyse de la variance entre le diamètre des plants témoins et traités	**34**
6	Analyse de la variance entre le nombre de feuilles des plants témoins et traités	**36**
7	Analyse de la variance entre la surface des feuilles des plants témoins et traité	37
8	Analyse de la variance de l'espace entre nœuds chez les plants traités et témoins	**38**
9	Analyse de la variance entre les panicules des plants du maïs traités et témoins	**39**
10	Analyse de la variance des épis des plants témoins et traités	**40**
11	Analyse de la variance entre le nombre des talles des plants traités et témoins	**40**

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
ANOVA	Analysis of variance
BBCH	Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHemische Industrie
DGRSDT	Direction générale de la recherche scientifique et du développement technologique
FAO	Food and Agriculture Organisation
INRAA	Institut National de la Recherche Agronomique Algérie
MSv	Maize Streak virus
PGPR	Plant Growth Promoting Rhizobacteria
UFL	Unité Fourragère Lait

INTRODUCTION

La production du maïs en Algérie, a connu une chute considérable car des valeurs de l'ordre de 3687 et 2634 tonnes ont été enregistrées en 2016 et 2017 respectivement (FAO STAT, 2019). Cette diminution est due à la réduction des superficies consacrées à cette culture dans la même période qui sont de l'ordre de 817 ha en 2016 et 658 ha en 2017 (FAO STAT, 2019). L'amélioration de la sécurité alimentaire, qui implique entre autres l'augmentation de la production du maïs se heurte à des contraintes de production telles que la baisse de la fertilité des sols, la faible adaptabilité des génotypes aux climats, l'irrégularité des pluies, les maladies, l'acidité des sols et particulièrement la toxicité aluminique (MAPIEMFU-LAMARÉ et *al.*,2011). L'agriculture biologique est un mode de production limité par une réglementation qui interdit l'utilisation des produits de synthèse chimique (engrais, pesticides …etc) et qui encourage le recours aux moyens physiques et biologiques (SYLVANDER et *al*., 2005 ; CARA, 2015).

En outre, l'utilisation intensive des produits chimiques en agriculture entraîne l'appauvrissement biologique des sols, la pollution des nappes phréatiques et le développement de résistances chez les pathogènes et ravageurs des plantes. Pour s'orienter vers un mode de production plus durable, deux catégories de micro-organismes suscitent de l'intérêt et qui sont présents dans le sol et peuvent être appliqués au niveau du système racinaire pour contribuer à la croissance des plantes environnantes. Ces derniers sont principalement les bactéries et les champignons antagonistes (PEDRAZZI et *al*., 2016).

Depuis longtemps, les espèces de *Trichoderma* sont connues par leur effet antagoniste contre les agents phytopathogènes ainsi que par leur capacité de stimuler la croissance végétative et racinaire (biofertilisant), de produire des antibiotiques et incitent les mécanismes de défense des plantes lorsqu'ils sont utilisés comme biofertilisants et agents de lutte biologique (HARMAN, 2004 ; BAIS et *al*., 2006 ; ADAMS et *al*., 2007). Ces produits de stimulation sont parfois qualifiés d'alternatifs, dans la mesure où ils se différencient, par leur action indirecte à travers la plante ou le sol (FAESSEL et TOSTIVINT, 2016).

En générale, les biostimulants sont connus par la synthèse de métabolites importants qui ont pour fonction d'approuver les processus naturels pour accroître l'absorption et l'efficience des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques et la qualité des récoltes lorsqu'ils sont appliqués aux plantes ou à la rhizosphère (racines).

Le but de cette étude est l'évaluation d'un biostimulant à base de quelques souches de champignons autochtones de la région Sud-est algérienne du genre *Trichoderma* sur le développement d'une variété locale de maïs.

Notre document est composé de deux parties, la première est consacrée à la synthèse bibliographique comportant trois chapitres qui traitent la culture du maïs, les biostimulants et le genre *Trichoderma*. La seconde constitue la partie expérimentale exposant la méthodologie du travail, les résultats obtenus dans les différentes expérimentations et les discussions. Une conclusion générale est présentée à la fin du document.

Chapitre 1 : Généralités sur la culture du maïs

Cette partie porte sur la description, la taxonomie, l'appareil végétatif et le grain du maïs ainsi que les stades phénologiques et les principales maladies attaquant cette culture.

1.1.Description de la plante du maïs

La plante du maïs (*Zea mays* L.) est l'une des céréales les plus cultivées dans le monde (Fig.1) grâce à la richesse de ses graines en amidon, 80% de la production mondiale de cet élément nutritif provient essentiellement de cette culture (OGGIER, 2006).

La température de germination du maïs varie entre 8 et 12°C, tandis que la floraison nécessite 18° C, ce paramètre ne doit pas dépasser les 30°C durant cette phase. En plus, les besoins en eau les plus intenses se situent dans les 15 jours avant et 15 jours après cette période (environ 45% des besoins en eau). Le maïs est connu d'améliorer la structure du sol par l'effet mécanique de ses puissantes racines et par les apports de matière organique à partir des résidus (tiges et racines) engendrés après la récolte (SAOULI et *al*., 2005).

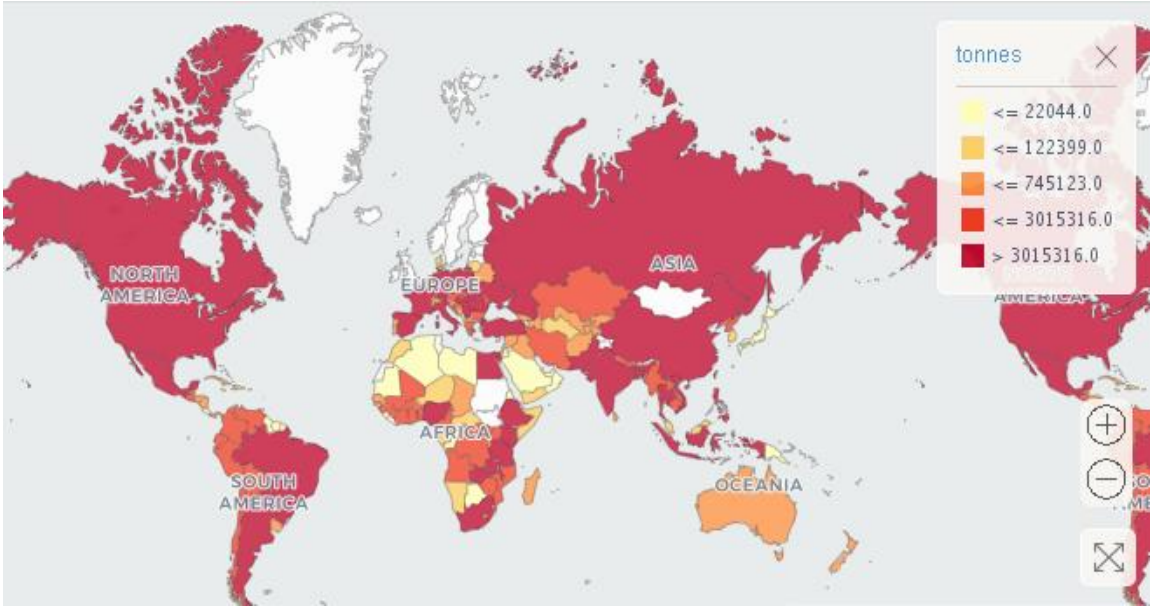


Figure 1. Production du maïs dans le monde en 2017 (FAO, 2019)

1.2.Taxonomie du maïs

Selon l'une des plus récentes classifications, celle de MARCHAND et *al*. (1997) rapportée par (HIEMA, 2005), le maïs est classé comme suit :

Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Monocotylédone
Sous classe	Commelinidae
Ordre	Poales
Famille	Poaceae
sous-famille	Panicoideae
Genre	*Zae*
Espèce	*Zae mays L*.

1.3.Appareil végétatif du maïs

La plante du maïs est une graminée monoïque dont les fleurs femelles et mâles sont réunies sur le même pied. L'inflorescence femelle (l'épi) se développe latéralement à partir d'un bourgeon axillaire, inséré à la base d'une feuille située au milieu de la plante. L'inflorescence mâle (la panicule) est constituée d'épillet, composé de deux fleurs ramifiées, situé à l'extrémité de la tige. Cette espèce botanique a une hauteur variant de 1,5 à 2,5m et un diamètre de 3 à 4cm et présentant des entre-nœuds presque cylindriques (HIEMA, 2005 ; BAMBARA, 2012). Les feuilles de cette dernière, en nombre de 08 à 20 par pieds, sont alternes et présentent chacune une gaine embarrassante munie de poils plus ou moins abondants en fonction des variétés. Le système racinaire est de type fasciculé avec la racine principale issue des racines séminales, des racines secondaires constituant la partie fonctionnelle et les racines d'ancrage qui aident à consolider la fixation de la plante au sol (HIEMA, 2005).

1.4.Grain de maïs

Le grain du maïs (Fig. 2) est un aliment complet (sucres, lipides, minéraux et vitamines) à forte valeur énergétique plus que toutes les céréales (1,27 UFL/kg, 110% par rapport à l'orge) grâce à sa richesse en amidon et à l'huile de son germe (COURTIAL, 2012). Il est formé d’un embryon d’un tissu de réserve albumine et d’une enveloppe fine et translucide le péricarpe. L’albumine est constituée essentiellement de grain d’amidon ; c’est l’amidon corné qui donne sa couleur aux grains de maïs généralement jaune, blanc, rouge ou noir (BAMBARA, 2012).

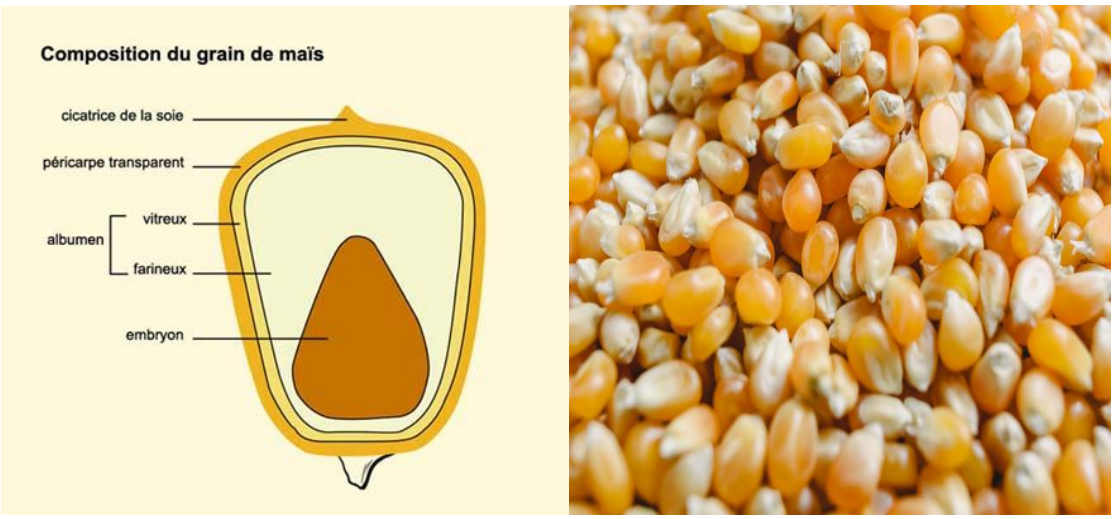


Figure 2 : Composition du grain de maïs (BERGER, 2012)

1.5.Stades phénologiques du maïs

Le maïs est constitué d'une succession de phases pendant lesquelles la plante a des activités très différentes. En particulier, l'initiation mâle (virage de l'apex) marque la fin de la différenciation des feuilles (fin de la période végétative) ; puis des bourgeons axillaires vont donner naissance à des ébauches d'épis dont les ovules se développent jusqu'à la floraison femelle. La réalisation successive de ces stades définit donc le cadre dans lequel s'exerce le développement de la plante (DUBURCQ et *al.*, 1983). Les stades de développement et de reproduction du maïs sont détaillés dans le tableau 1 et la figure 3.

Tableau 1. Stades de croissance végétative et de reproduction du maïs (ALLARD, 2016)

Stades de croissance végétative		**Stades de reproduction**	
VE	Levée	**R1**	Apparition des soies
V1	Première feuille	**R2**	Stade de gonflement
V2	Deuxième feuille	**R3**	Stade laiteux
V3	Troisième feuille	**R4**	Stade pâteux
V(n)	Enième feuille	**R5**	Stade denté
VT	Formation de la panicule	**R6**	Maturité

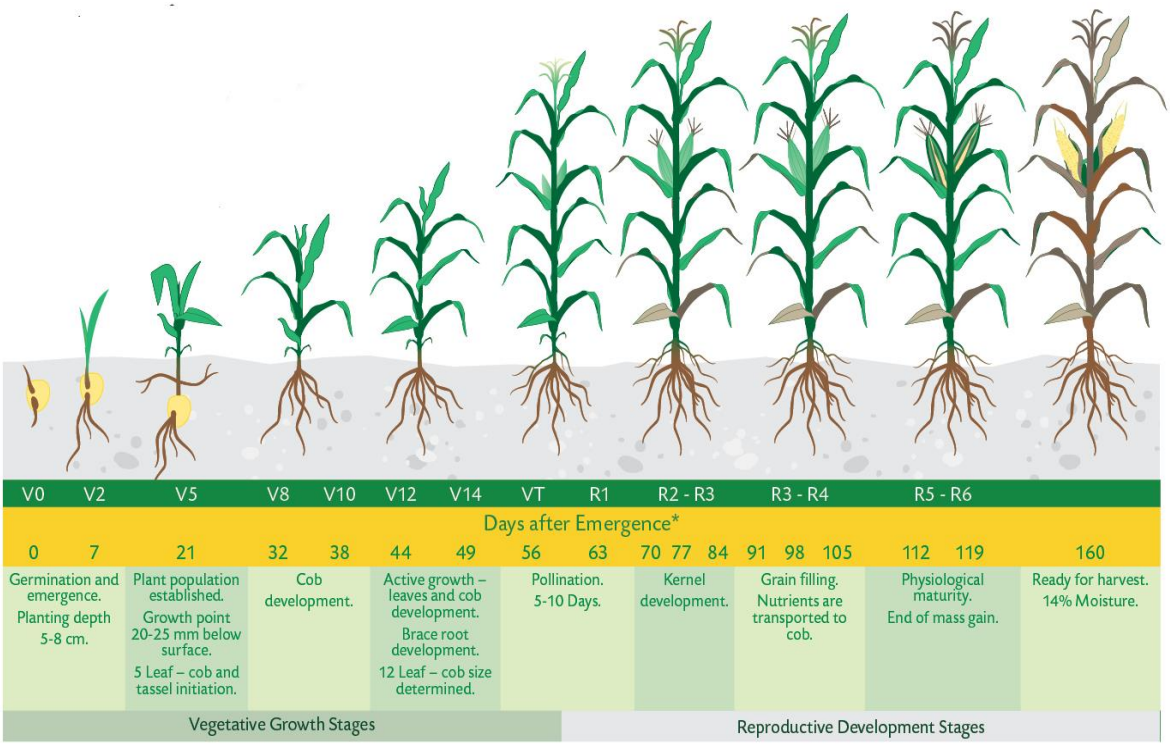


Figure 3. Stades de développement du maïs (PRINGLE, 2017)

Selon l'échelle de la BBCH (2001), huit stades phénologiques sont définis, à savoir :

1.5.1. Stade principal 0 : Germination et levée (VE)

Une fois qu'une semence de maïs est semée, elle s'imbibera d'eau et absorbera environ 30 à 35% de son poids en eau. Pour que la radicule se développe et sort de la graine, les poils absorbants apparus et les racines secondaires sont se développent. Enfin, la coléoptile sort de la graine et perce la surface du sol (Fig. 4).

Figure 4. Germination et levée du grain de maïs (PRAT, 2002)

1.5.2. Stade principal 1 : Développement des feuilles (V1 à V5)

Les premiers stades de la croissance végétative débutent par la sortie de la première feuille de la coléoptile et le développement des feuilles (de première feuille étalée au 9ème ou davantage de feuilles étalées) (Fig. 5).

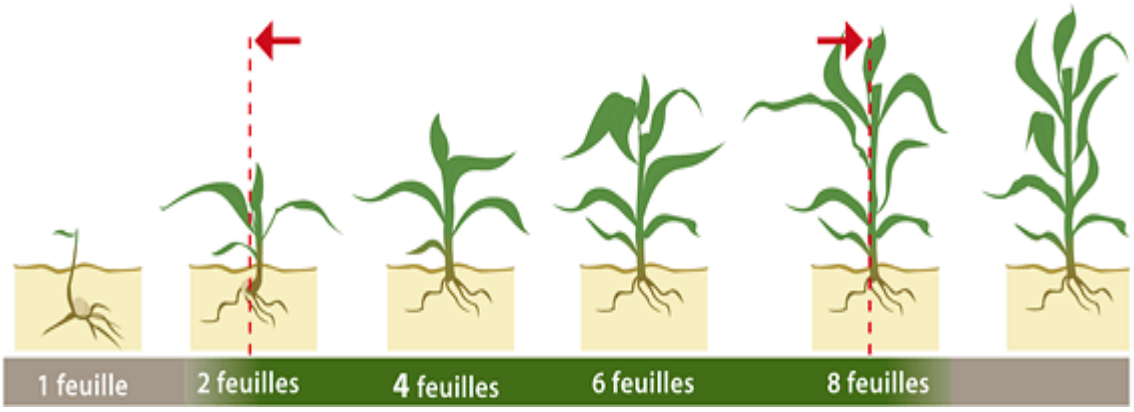


Figure 5. Stades de développement des feuilles du maïs (SAPEC, 2016)

1.5.3. Stade principal 3 : Elongation de la tige principale (V6 à V11)

Ce stade est caractérisé par le début de l'élongation de la tige principale ainsi que le premier nœud qui est discernable jusqu'au 9ème où davantage de nœuds sont discernables (Fig. 6).

Figure 6. Elongation de la tige principale du maïs (KU et *al*., 2015)

1.5.4. Stade principal 5 : Sortie de l'inflorescence ou épiaison (V6 à V12)

Ce stade est distinct par la sortie de l'inflorescence terminale (panicule mâle) où elle est discernable à l'extrémité de la tige principale. En outre, 50% de la panicule terminale est

visible, les rameaux de la panicule commencent à s'écarter, ensuite, la panicule terminale est complètement sortie et les rameaux de la panicule sont étalés.

1.5.5. Stade principal 6 : Floraison, anthèse (VT à R1)

C'est le stade de la transition mâle (les étamines sont visibles au milieu de la panicule) et femelle (l'extrémité de l'épi sort de la gaine). Après, la fleur mâle débute l'émission du pollen et l'extrémité des stigmates sont visibles chez la fleur femelle (Fig. 7). Ensuite, la partie supérieure et inférieure de la panicule est en fleurs et les stigmates sont matures. Enfin de ce stade, la floraison mâle s'achève et les stigmates se dessèchent (fin floraison : les stigmates sont complètement desséchés).

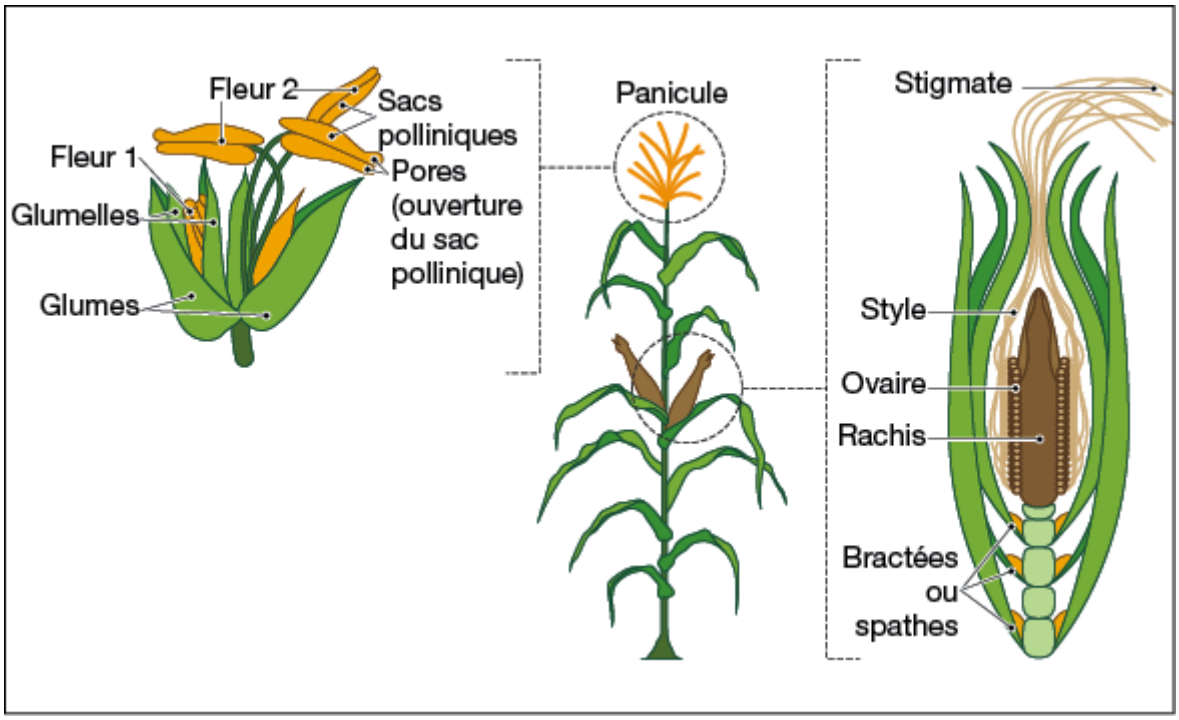


Figure 7. Floraison du maïs

1.5.6. Stade principal 7 : Développement des graines

C'est le début du développement des graines (stade aqueux des graines, environ 16% de matière sèche) et début du stade laiteux. Les graines au milieu de l'épi sont jaunâtres (le contenu est laiteux, environ 40% de matière sèche) et presque toutes les graines ont atteint leur taille finale.

1.5.7. Stade principal 8 : Maturation des graines

Ce stade est caractérisé par le début du stade pâteux (contenu des graines tendre, environ 45% de matière sèche). Le stade pâteux est distinct par des graines jaunâtres à jaunes (environ 55% de matière sèche). Alors que la maturité physiologique est à la base des graines où un point noir est visible (environ 60% de matière sèche). Enfin, la maturité complète des graines est dotée par leur aspect dur et brillant (environ 65% matière sèche) (Fig. 8).

Figure 8. Maturations des graines du maïs

1.5.8. Stade principal 9 : Sénescence

C'est le stade final de la plante pendant lequel elle meurt et s'affaisse.

1.6.Principales maladies du maïs

La culture du maïs se trouve confrontée à plusieurs maladies. Ce sont les maladies cryptogamiques qui sont les plus rencontrées.

1.6.1. Rouille du sud

Cette maladie est causée par *Puccinia polysora*, qui se reconnaît par des tâches surélevées comme des dépôts sur les deux faces. Les tâches sont jaunes au départ et deviennent rouge-brique par la suite (Fig. 9). Au toucher, elles salissent la main. Une forte pluie lessive le dépôt et laisse apparaître de nombreuses petites tâches blanches (HUGUENIN, 1959 ; DE LEON, 1978 ; SIKIROU et *al*., 2018).

Figure 9. Symptômes de la rouille du sud sur les feuilles de maïs

1.6.2. Helminthosporiose

Elle est causée par *Helminthosporium maydis*, c'est une maladie qui attaque les feuilles. Elle cause des tâches allongées larges de couleur vert huileux en début d'attaque qui deviennent brunes (Fig. 10). Les tâches s'allongent et engendrent le dessèchement des feuilles (DELASSUS et RESPLANDY, 1967 ; DE LEON, 1978 ; SIKIROU et *al*., 2018).

Figure 10. Symptômes de l'helminthosporiose sur les feuilles de maïs

1.6.3. Cercosporiose

La cercosporiose est causée par *Cercospora zeae-maydis*. Elle est la maladie foliaire la plus importante du maïs qu'elle endommage la production dans les régions sub-saharienne (WARD et *al*., 1999, GORDON et *al*., 2004). Elle cause de fines petites tâches allongées grises ou sombres et humides (Fig. 11), encerclées par une mince couche jaunâtre (SIKIROU et *al*., 2018).

Figure 11. Symptômes de la cercosporiose sur les feuilles de maïs

1.6.4. Fusariose

Cette maladie est causée par *Fusarium verticilliodes* dont les capsules de grains individuels ou de groupes de grains dispersés sur l'oreille développent une décoloration rose saumon à rougeâtre (Fig. 12). Une moisissure rose poudreuse et cotonneuse se forme plus tard. L'infection suit généralement les canaux formés par les vers d'oreille ou les foreurs de la tige (CZEMBOR et *al*., 2010 ; DORN et *al*., 2009 ; SCHURCH, 2016).

Figure 12. Symptômes de la fusariose sur les fruits de maïs (CZEMBOR et *al*., 2010)

1.6.5. Striure

C'est une maladie causée par Maize Streak virus (MSv). Elle se reconnaît par la présence de lignes fines jaunâtres ou blanchâtres qui sont sous forme de tirets le long de la nervure des feuilles. Ces derniers peuvent se rejoindre et donner des lignes continues qui couvrent toute la surface des feuilles (Fig. 13). Lorsque les jeunes plants sont attaqués par la

maladie, ils restent rabougris, ne se développent plus et ne produisent pas d'épis. Ce virus est transmis aux plants de maïs par les cicadelles (JOURDAN-RUF et *al*., 1995 ; KARAVINA, 2014 ; SIKIROU et *al*., 2018).

Figure 13. Symptômes de la striure sur les feuilles de maïs

1.6.6. Pourriture bactérienne de la tige

Cette maladie est causée par l'*Erwinia carotovora*. Elle se propage rapidement et détruit la plante hôte en peu de temps dans les régions humides et chaudes. La base des tiges atteintes est de couleur sombre et d'aspect aqueux (Fig. 14). Les plantes meurent peu de temps après le dégagement de la panicule. Les tissus en état de décomposition bactérienne dégagent une odeur dégoutante (DE LEON, 1978 ; KUMAR et *al*., 2017).

Figure 14. Symptômes de la pourriture bactérienne sur la tige de maïs (WISE, 2010)

Chapitre 2 : Généralités sur les biostimulants

Ce chapitre est consacré aux généralités sur les biostimulants, leur modes d'action ainsi que les substances connues à effet biostimulant.

2.1. Généralités sur les biostimulants

Depuis que le rôle des principaux éléments nutritifs a été mis en évidence, la pratique agricole a démontré que certaines substances ou micro-organismes, sans apporter d'éléments nutritifs en quantité significative, favorisaient la croissance et le développement des végétaux. Ces substances, souvent d'origine naturelle, permettent entre autres une meilleure absorption des nutriments (DESFONTAINES et *al*., 2018). Parmi les exemples les plus connus et largement utilisés : les substances humiques, les mycorhizes qui favorisent l'absorption du phosphore, les bactéries du genre *Rhizobium* qui fixent de l'azote atmosphérique pour les légumineuses (luzerne, soja, pois, …etc) et les champignons antagonistes telles que les espèces du genre *Trichoderma*. Selon la CAS (2015), la notion de biostimulant et l'utilisation de ces produits dans la fertilisation ne sont donc pas des nouveautés. Cependant, il manquait une définition globale pour tous ces produits, qui ont des appellations variées telles que : activateur de sol, biofertilisant, phyto-stimulant, substance de croissance, stimulateur de développement, …etc. En 2012, à l'initiative de fabricants issus de plusieurs pays européens, une définition, basée sur les fonctions communes aux biostimulants, a été proposée et validée par le groupes de travail de la Commission Européenne sur les fertilisants :

« *Les biostimulants se définissent comme des substance(s) et/ou micro-organisme(s) dont la fonction, lorsqu'appliqués aux plantes ou à la rhizosphère, est la stimulation des processus naturels qui favorisent/améliorent l'absorption ou l'utilisation des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, la qualité ou le rendement de la culture, indépendamment de la présence de nutriments* »

2.2. Modes d'action des biostimulants

D'après les études bibliographiques établies par YAKHIN et *al*. (2017), FAESSEL et *al*. (2014) et DESFONTAINES et *al*. (2018), les principaux modes d'actions des biostimulants se déclinent de la manière suivante :

- La stimulation de la germination, de la croissance racinaire, de la mise en place et de la croissance des plantes, de la photosynthèse, de l'absorption des nutriments du sol (Azote, Phosphore…), de la résistance au stress biotique, du métabolisme de N et P du sol, de l'activité microbienne des sols ;

- La réduction ou l'amélioration des effets négatifs des facteurs de stress abiotiques (sécheresse, chaleur, froid, salinité, oxydation, stress mécaniques ou chimiques). Les mécanismes impliqués dans la mise en place d'une résistance induite porteraient sur 5 étapes clés qui sont ;

1. La reconnaissance des principes actifs sur des récepteurs spécifiques permettant la pénétration des molécules actives dans les cellules et tissus ;
2. La translocation et la transformation dans les plantes ;
3. L'expression de gènes de défense, de signaux et de régulation du statut hormonal permettant une résistance locale induite ;
4. L'activation du processus métabolique ;
5. La transmission de signaux et l'intégration de la résistance induite à la plante entière

2.3. Substances à effet biostimulant

La composition des biostimulants et biofertilisants dépend largement des ressources naturelles utilisées (espèces, tissus, conditions de développement). Ils contiennent une ou des substances ou microorganismes dont la fonction est, après application à la plante ou dans la rhizosphère, d'induire les processus naturels pour stimuler ou augmenter l'absorption des éléments nutritifs, leur efficacité, la tolérance aux stress abiotiques et la qualité des récoltes (CORDIER et ALABOUVETTE, 2018). On y retrouve les métabolites primaires comme les acides aminés, sucres, nucléotides et lipides ; et les métabolites secondaires formés à partir des différents processus du métabolite primaire (DU JARDIN et *al*., 2015 ; YAHKIN et *al*., 2017). Parmi ces substances utilisées comme biofertilisant grâce à leur fonction stimulante, on note :

2.3.1. Acides humiques

Le terme « substance humique » est un nom générique donné à un grand nombre de polymères organiques amorphes et colloïdaux formés pendant la décomposition des matières organiques. Les substances humiques sont généralement plus stables que les acides organiques. Elles influencent la fertilité du sol en améliorant sa structure, la disponibilité des nutriments et en complexant les métaux toxiques (ROSE et *al.*, 2003). Leur présence améliore l'activité biologique des sols en fournissant aux micro-organismes hétérotrophes un substrat énergétique et carboné. Ces substances constituent l'autre fraction la plus importante de l'humus. Ils sont peu mobiles, mais sont capables de se lier plus ou moins fortement selon leur type avec d'autres corps présents dans le sol et en particulier avec l'argile. Dans ce cas, on

parle d'acides humiques gris ; le complexe formé avec l'argile ou complexe argilo-humique est très stable (SYMBIOSE, 2017). De nombreuses études montrent que l'ajout de substances humiques aux cultures hydroponiques favorise la croissance des parties aériennes (CHEN et AVIAD, 1990 ; VAUGHAN et MALCOM, 1985). Les principaux effets s'observent sur la production de biomasse de feuilles, de fleurs, de tiges et de fruits.

2.3.2. Acides aminés

Les acides organiques ont un groupement amine et les plus communs sont des acides α-aminés. Les acides aminés et autres dérivés protéiques ciblent l'assimilation de l'azote. Il s'agit de mélanges de protéines et acides aminés issus de la dégradation d'organismes vivants (plantes, algues, animaux ou micro-organismes) ainsi que des acides aminés purifiés (glycine bétaïne, proline, acide glutamique, etc., MEGAFOL, 2016). Ils font une meilleure assimilation des éléments minéraux et nutrition azotée, améliorent la tolérance aux stress abiotiques et résistance aux métaux lourds. Les hydrolysats de protéines sont constitués d'un mélange de peptides. Les acides aminés purs tels que glutamate, glutamine, proline et glycine bétaïne. Des recherches faisant appel aux techniques de transcriptomique et de métabolomique sont indispensables afin d'analyser le mode d'action de cette catégorie de biostimulant et d'apporter la preuve de leur efficacité (CORDIER et ALABOUVETTE, 2018). Assez peu de publications scientifiques sont à l'appui de ces revendications.

2.3.3. Extraits d'algues

Les algues marines et leurs produits présentent un grand intérêt scientifique et agronomique, car elles jouent un rôle important dans l´amélioration de la qualité du sol et le développement des plantes. Plusieurs études ont révélé les avantages d'extraits d'algues sur les plantes tel-que l'amélioration de la performance des cultures et le rendement ainsi que la résistance aux stress biotique et abiotique (NORRIE et KEATHLEY, 2006 ; EYRAS et *al*., 2008). Ces substances ont une action sur la synthèse d'enzyme, sur les hormones de la plante, stimulent le système racinaire ou les mécanismes anti-oxydants (MEGAFOL, 2016). Elles pourraient également améliorer la disponibilité des nutriments, la productivité (AZIZ et *al*., 2003) et la tolérance au stress chez de nombreuses espèces de plantes par augmentation de la concentration des molécules bioactives, notamment des antioxydants (FAN, 2010 ; RAYIRATH et *al*., 2009). Les algues les plus couramment utilisées sont *Ascophyllum*, *Fucus*, *Laminaria* (CORDIER et ALABOUVETTE, 2018).

2.3.4. Bactéries

Les bactéries (rhizobactéries) promotrices de la croissance des plantes (PGPR) constituent l'exemple le plus connu. Elles sont actuellement considérées comme l'un des outils efficaces en bio-stimulation de la croissance des plantes (CALVO et *al*., 2014). Les rhizobactéries bénéfiques s'associent au système racinaire et stimulent la croissance des plantes hôtes, tout en étant nourries à leur tour par des exsudats de racines.

2.3.5. Champignons

Il existe dans le sol de nombreux micro-organismes capables de lutter contre les bio-agresseurs à l'origine des maladies des végétaux, ils appartiennent à divers groupes de bactéries symbiotiques, de champignons endomycorhizogènes et des champignons antagonistes. Ce dernier groupe a une relation symbiotique avec les plantes, il peut, soit améliorer la croissance de la plante de façon directe, en produisant des hormones végétales ou en améliorant l'absorption d'éléments nutritifs, soit favoriser la croissance par des moyens indirects en éliminant des pathogènes via la production d'antibiotiques ou l'immunisation induite (CHITINE, 2005). Parmi les champignons antagonistes qui contribuent à la croissance des plantes, les espèces du genre *Trichoderma* sont connues par leur capacité de stimuler la croissance végétative et racinaire (biofertilisant), produire des antibiotiques et approuver les mécanismes de défense chez les plantes lorsqu'ils sont utilisés comme biofertilisant et agents de lutte biologique (HARMAN, 2004).

Chapitre 3 : Généralités sur le genre *Trichoderma*

Cette partie traite des généralités sur le genre *Trichoderma*, sa taxonomie, sa morphologie, son écologie et ses modes d'action.

3.1. Généralités sur le genre *Trichoderma*

Le terme « *Trichoderma* » a été introduit dans la mycologie en 1794 par Persoon (ROUSSOS, 1985 ; BISSETT, 1991). Il désigne des champignons microscopiques qui ont été considérés durant 200 ans comme étant des « Gastéromycètes ». Ces organismes cosmopolites appartiennent à un grand ensemble de champignons sans reproduction sexuée connue (VINING, 1990 ; GENILLOUD et *al*., 1994 ; ROQUEBERT, 1996). En milieu terrestre, les champignons antagonistes sont connus par leur production d'enzymes, de substances bioactives et leur développement rapide, les espèces les plus répondus sont les *Trichoderma* spp. Ce sont des agents potentiels en agroalimentaire et une matière de choix pour l'exploitation industrielle (PRIETO et *al*., 1997). Dans les deux dernières décennies, le nombre des espèces de *Trichoderma* reconnues a triplé, atteignant 100 (DRUZHININA et *al.*, 2006). Trente-cinq espèces établies à ce jour sont d'intérêt économique, pour leur production d'enzymes cellulolytiques et leur utilisation comme agents de lutte biologique en raison de leur antagonisme vis-à-vis d'autres espèces fongiques par antibiose, mycoparasitisme, compétition, lyse et la promotion de la plante hôte (ROQUEBERT, 1996 ; COONEY et *al*., 1997 ; PRIETO et *al*., 1997 ; GRONDONA et *al*., 1997 ; VERBIST, 2000 ; KUBICEK et *al*., 2003).

3.2. Taxonomie de *Trichoderma*

La taxonomie moderne des champignons a aboli l'embranchement des Deuteromycotina, auquel appartenait le genre *Trichoderma*. Selon BISSETT (2004) in BENKADA (2006), la position taxonomique actuelle des *Trichoderma* se présente comme suit :

Embranchement	Amastigomycota
Sous embranchement	Ascomycotina
Classe	Sordariomycètes
Ordre	Hypocréales
Famille	Hypocraceae
Genre	*Trichoderma*

3.3. Morphologie de *Trichoderma*

L'aspect macroscopique de *Trichoderma* est apprécié à partir de cultures sur géloses nutritives appropriées, réparties en boîtes de Pétri. Les colonies fongiques peuvent être légèrement floconneuses ou bien compactées en touffes. Entre ces deux extrêmes, existent des aspects intermédiaires. Les colonies sont colorées en fonction de la pigmentation des phialides. Cinq jours après sa germination, la conidie donne naissance à un mycélium d'abord blanc et stérile en forme de cercle. Deux jours plus tard, une couleur verte est visible sur les parties aériennes du mycélium, correspondant à la conidiogenèse (COURNUT, 1984 ; LANDREAU, 2001 ; KUBICEK et *al*., 2003). Sous microscope, *Trichoderma* porte un mycélium cloisonné bien ramifié et des conidies à forme conique ou pyramidale (Fig. 15) (SHAHZAD et *al.*, 2013).

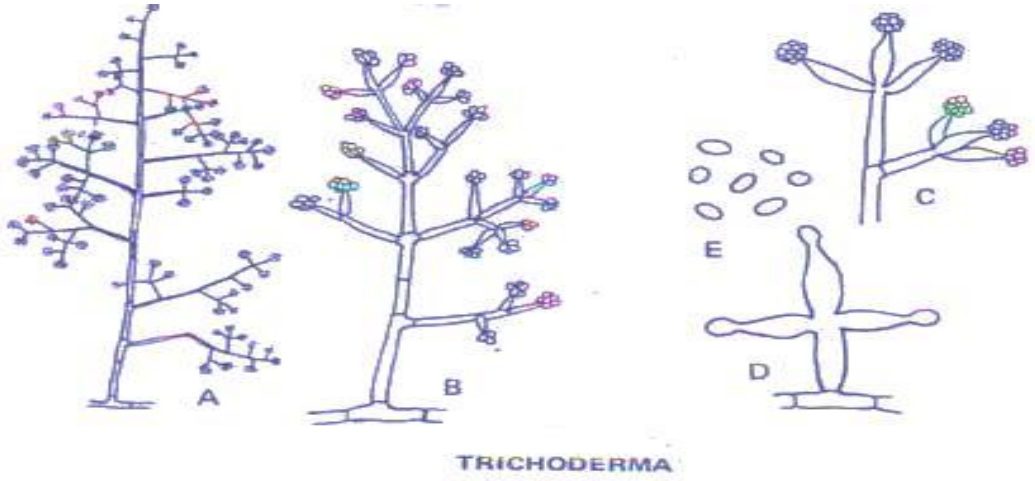


Figure 15. Morphologie de *Trichoderma* : **(A et B)** Conidiophores montrant une ramification vaste ; **(C et D)** Phialides montrant la production de conidies ; **(E)** Conidies (BARNETT et HUNTER, 1977)

3.4. Ecologie de *Trichoderma*

Les *Trichoderma* terrestres se développent quasiment dans tous les sols (forestiers ou cultivés) et sur les végétaux en décomposition. Ils contaminent fréquemment le compost de la culture industrielle des champignons comestibles, mais sont rarement parasites de plantes vivantes (ROQUEBERT, 1996 ; ESPOSITO et SILVA, 1998). La présence de *Trichoderma* dans le sol joue à la fois un rôle préventif et curatif (HARMAN et *al*., 2004 ; SINGH et *al.*, 2007). Il a été prouvé que la souche T-22 de *Trichoderma* est capable d'augmenter le développement des racines chez le maïs et chez d'autres plantes (HARMAN, 2000 ; HARMAN et *al.*, 2004)

3.5. Mode d'action de *Trichoderma*

Généralement, *Trichoderma* inhibe ou dégrade la pectinase et d'autres enzymes qui sont essentiels pour les champignons phytopathogènes. En plus de son effet inhibiteur de ces agents, *Trichoderma* est aussi capable d'induire une résistance localisée et systématique. Alors que l'amélioration de la croissance des plantes par *Trichoderma* peut prendre lieu soit au niveau de la plante (LINDSEY et *al*., 1967 ; YEDIDA et *al*., 2001) soit au niveau du sol (CHANG et *al*., 1986 ; HARMAN, 2000). *Trichoderma* a la capacité d'attaquer les agents phytopathogènes via différents modes d'action (Fig. 16), à savoir :

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

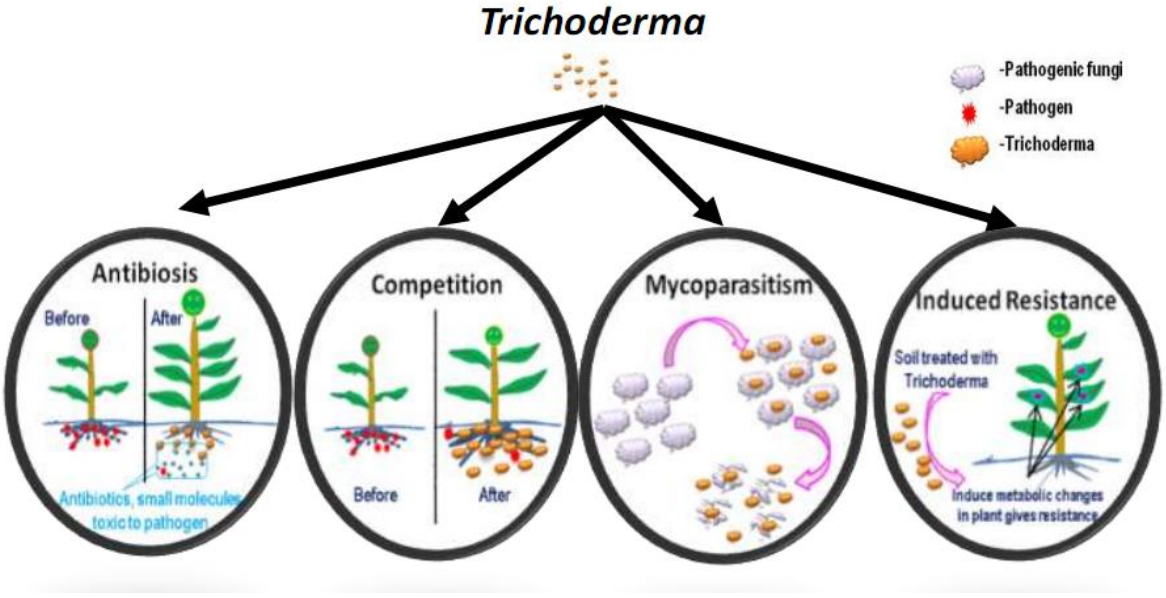


Figure 16. Modes d'action de *Trichoderma* (WAGHUNDE et *al*., 2016)

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet d'un biostimulant à base de champignons antagonistes du genre *Trichoderma* spp. sur le développement d'une variété locale de maïs dans la région sud-est algérien.

1.1. Choix du site d'étude

L'étude a été réalisée à la station expérimentale de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) de Sidi Mehdi localisée à Touggourt. Celle-ci se situe à une longitude de 06° 05' 49 " Est, une latitude de 33° 04' 13 "Nord et à une altitude de 85m (Fig. 17).

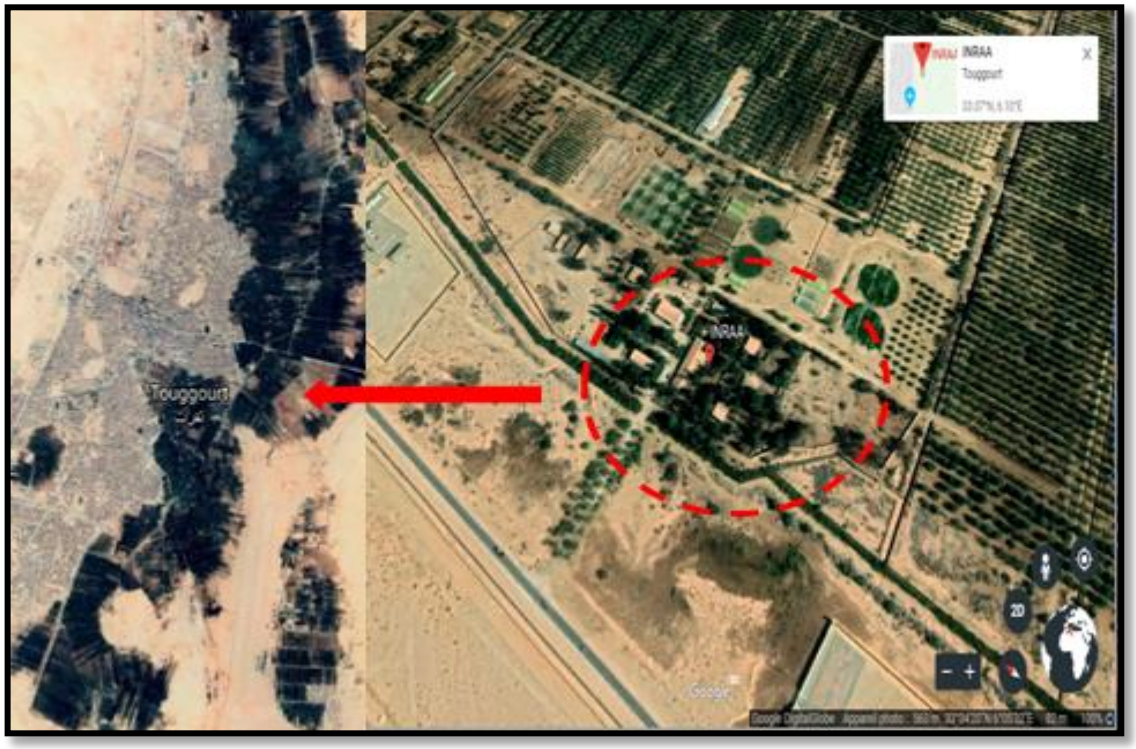


Figure 17. Situation géographique de l'INRAA (Google Earth 02/042019 13 :48)

1.2. Matériel végétal

Une variété locale de maïs (Fig. 18) de la région de Touggourt a été choisie pour mener cette étude. Les semences de cette culture sont caractérisées par une couleur jaune foncée et une longueur de 12 à 15cm.

Figure 18. Semences du maïs local (LAKHDARI, 2019)

1.3. Matériel biologique

Le biostimulant (Fig. 19) utilisé dans la présente étude est innové et formulé par l'équipe de laboratoire de production des bio-pesticides de l'INRAA de Touggourt, dans le cadre d'un projet d'équipe de recherche mixte, en collaboration entre l'INRAA, la DGRSDT et le partenaire socio-économique SINAL. Ce produit est sous forme d'une poudre mouillable, à base de plusieurs souches autochtones de *Trichoderma*. Il est utilisé pendant tout le cycle végétatif de la plante à raison d'un traitement tous les 15 jours.

Figure 19. Biostimulant à base de champignons antagonistes (INRAA, 2018)

1.4. Conduite de la culture du maïs

Un mois avant la plantation, plusieurs techniques culturales ont été appliquées afin de bien préparer le sol pour la culture du maïs à savoir un labour profond, un labour superficiel, une installation du système d'irrigation, …etc.

1.4.1. Préparation du lit de semence

1.4.1.1. Labour profond

Durant cette opération, on a incorporé 2,4 tonnes/serre de fumier organique suivie par un hersage pour améliorer l'ameublissement de la couche superficielle du sol et obtenir une strate nutritive aux racines (Fig. 20).

Figure 20. Labour du sol (LAKHDARI, 2019)

1.4.1.2. Labour superficiel

Après le labour profond, un labour superficiel a été réalisé par le nivellement du sol à l'aide d'un râteau afin d'homogénéiser le terrain et confectionner les billons (Fig. 21). Aussi, pour répondre aux exigences nutritives en matière des minéraux facilement assimilables.

Figure 21. Nivellement du sol (LAKHDARI, 2019)

1.4.1.3. Installation du système d'irrigation

Un système d'irrigation localisé (goûte à goûte) a été adopté (Fig. 22). Une pré-irrigation a été effectuée avant toute opération afin d'assurer un terrain propice au produit appliqué (biostimulant).

Figure 22. Installation du système d'irrigation goute à goute (LAKHDARI, 2019)

1.4.2. Dispositif expérimental

Six parcelles élémentaires, de 4,8m² pour chacune, ont été créées selon un modèle de bloc aléatoire complet (Fig. 23) à raison de 3 parcelles/traitement (témoin et traité par le biostimulant).

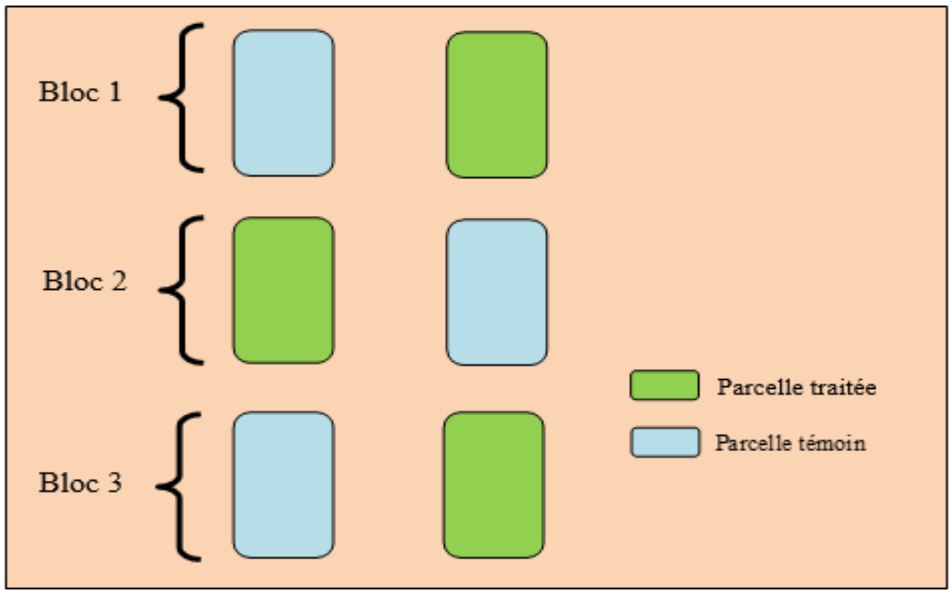


Figure 23. Dispositif mené en bloc aléatoire complet

1.4.3. Le semis

Nous avons imbibé les semences dans l'eau pendant 24h pour accélérer la germination. Dès que la germination est établie, les graines sont semis. Le semis du maïs a été effectué le 13/09/2018, après la préparation du lit de semence, à raison de 35 semences/parcelle réparties en 5 lignes/parcelle, avec une distance de 40cm entre les sujets et 50cm entre les lignes (Fig. 24).

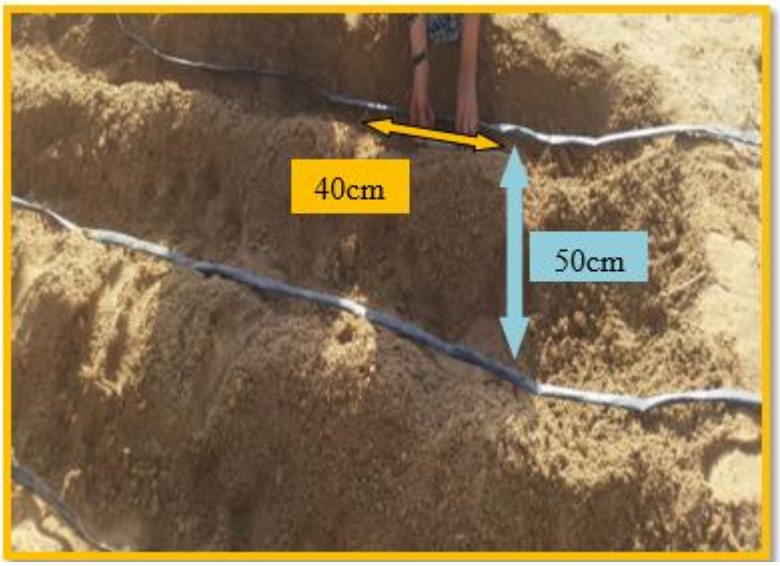


Figure 24. Semis des grains du maïs (LAKHDARI, 2019)

1.4.4. Conduite et entretien de la culture

Des travaux d'entretien nécessaires à la culture ont été effectués aux différents stades de développement de la culture, à savoir :

- Irrigation 3 fois/semaine ;
- Désherbage manuel a été effectué afin d'éviter toute concurrence des plantes adventices ainsi que l'installation des maladies sur les plantes de maïs car aucune utilisation des produis chimique n'a été menée ;
- Binage pour garder l'humidité du sol.

1.4.5. Paramètres morphologiques

L'échantillonnage des sujets dans les parcelles témoins et traitées (par le biostimulant) a été fait aléatoirement (Fig. 25) afin d'étudier la réponse stimulatrice des plants du maïs au biostimulant testé.

Figure 25. Sélection aléatoire des plants pour faire les mesures (20 plants/parcelle ; LAKHDARI, 2019)

Des mesures quantitatives sur la longueur et le diamètre des plants ainsi que la surface végétative et le nombre des feuilles ont été réalisées à l'aide d'un pied à coulisse, un mètre ruban et une règle (Fig. 26). Aussi, des autres paramètres ont été pris à savoir le nombre des épis, des panicules et des talles ainsi que l'espace entre-nœuds.

Figure 26. Mesure de la longueur et du diamètre des plants du maïs (LAKHDARI, 2019)

1.4.6. Estimation de la surface des feuilles

La surface (S) des feuilles (Fig. 27) a été calculée selon la formule classique adoptée par RUGET et *al*., (1996).

$$\mathbf{S = Long\ X\ Larg\ X\ 0,75}$$

Figure 27. Mesure de la longueur et de la largeur des feuilles pour calculer la surface végétative (LAKHDARI, 2019)

1.5. Modalités d'application du biostimulant

Le biostimulant est appliqué par irrigation ou pulvérisation (2 à 4 bars) dans les conditions contrôlées où les températures sont plus au moins élevées pour avoir une bonne efficacité. Quatre traitements ont été effectués durant les différents stades de développement de la culture (normes de stades établis par BBCH) avec la dose recommandée (2kg/ha).

Pour réaliser le traitement, nous avons utilisé :

- ✓ Un arrosoir : pour le traitement au sol ;
- ✓ Un pulvérisateur : pour pulvériser les plantes par le biostimulant (Fig. 28).

Figure 28. Application du biostimulant sur la culture du maïs par irrigation et pulvérisation (LAKHDARI, 2019)

Les modalités d'application de ces traitements sont affichées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2. Modalités d'application des traitements du biostimulant sur la culture du maïs

Dates d'application	Stade de développement de la plante (BBCH)	Conditions météorologiques	Méthodes d'application
Quinze jours avant le semis 30 Aout 2018	Avant la transplantation	30,4°C 43%	Epandage en poudre à raison de 2kg/ha
Stade principal 1: **Développement des feuilles**			Incorporation dans les eaux d'irrigation à raison de 2kg/ha
27/09/2018	**Stade 15** 5 feuilles étalées	22,4°C 56%	
Stade principal 5: Apparition de l'inflorescence			
18/10/2018	**Stade 51** L'inflorescence terminale (panicule M) commence à sortir, elle est discernable à l'extrémité de la tige principale	21,2°C 54%	
06/11/2018	**Stade 59** La panicule terminale est complètement sortie et ses rameaux sont étalés	17,7°C 52%	

1.6. Etude statistique

L'analyse de la variance (ANOVA), à un niveau de signification de ($P \leq 0,05$), a été utilisée pour comparer les données rapportées sur 60 plants de chaque traitement à l'aide du logiciel statistique SPSS (v. 20.0).

Chapitre 2 : Résultats

Cette partie expose les résultats obtenus dans la présente étude afin d'évaluer l'effet du biostimulant sur la culture du maïs.

2.1.Effet du biostimulant sur la vitesse de levée

Après une semaine du semis, les plants traités ont enregistré une vitesse de levée de 90,5% (95/105 semences) alors que celui des plants témoins n'a été que de 28,6% (30/105 semences) (Fig. 29), ces derniers ont atteint les 89,5% à la deuxième semaine.

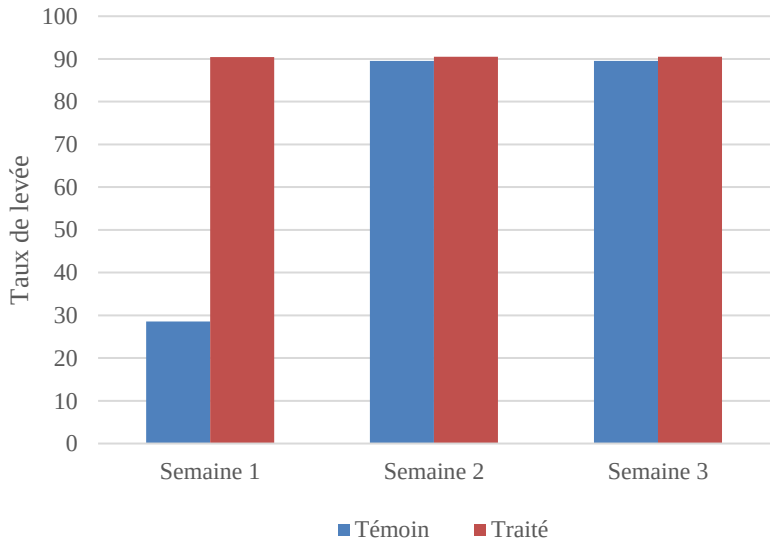


Figure 29. Vitesse de la levée du maïs chez les plants traités et témoins

L'analyse de la variance, appliquée entre les deux modalités, témoigne cette constatation avec une différence significative (p = 0,042) entre les deux. Ce qui confirme l'effet positif du biostimulant sur la levée des plants traités (Tab. 3).

Tableau 3 : Analyse de la variance entre la levée des plants témoins et traités

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	121,500	1	121,500	8,679	,042
Intra-groupes	56,000	4	14,000		
Total	177,500	5			

2.2.Effet du biostimulant sur la longueur de la tige des plants du maïs

Les résultats de cette étude montrent que la longueur des plantes traitées est de 135,9cm alors que celle des témoins ne sont que de 98,6cm (Fig. 30 et Fig. 31).

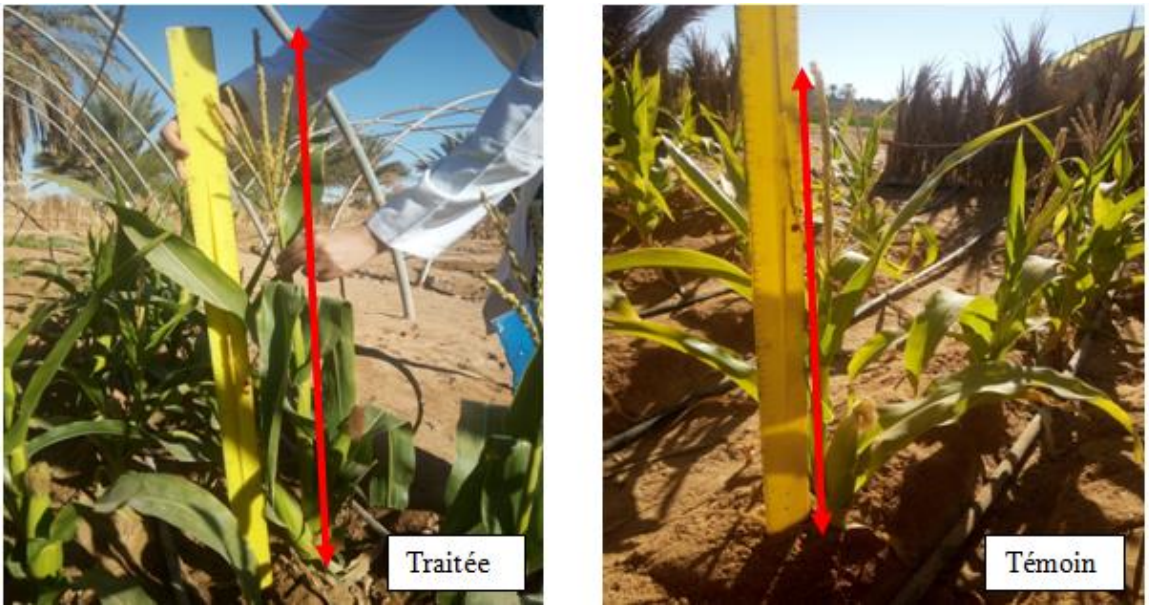


Figure 30. Effet du biostimulant sur la longueur des plants du maïs (LAKHDARI, 2019)

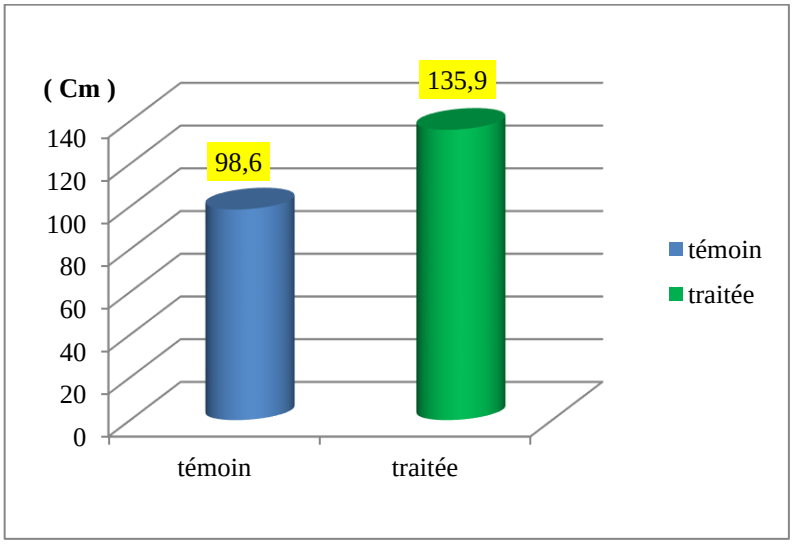


Figure 31. Effet du biostimulant sur la longueur des plantes du maïs

L'étude statistique confirme les résultats mentionnés ci-dessus avec une différence très hautement significative ($p < 0,0001$) entre la longueur des plantes traitées et celle des témoins (Tab. 4).

Tableau 4 : Analyse de la variance entre la longueur des plants témoins et traités

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	13163,3318	13163,3318	51,0730	< 0,0001
Erreur	117	30155,0553	257,7355		
Total corrigé	118	43318,3871			

2.3.Effet du biostimulant sur le diamètre du maïs

Le biostimulant testé semble également avoir un effet notable sur le diamètre des plants traités qui a été de 28,9mm chez les plants traités et il n'a été que de pour les témoins 23,7mm (Fig. 32 et Fig. 33).

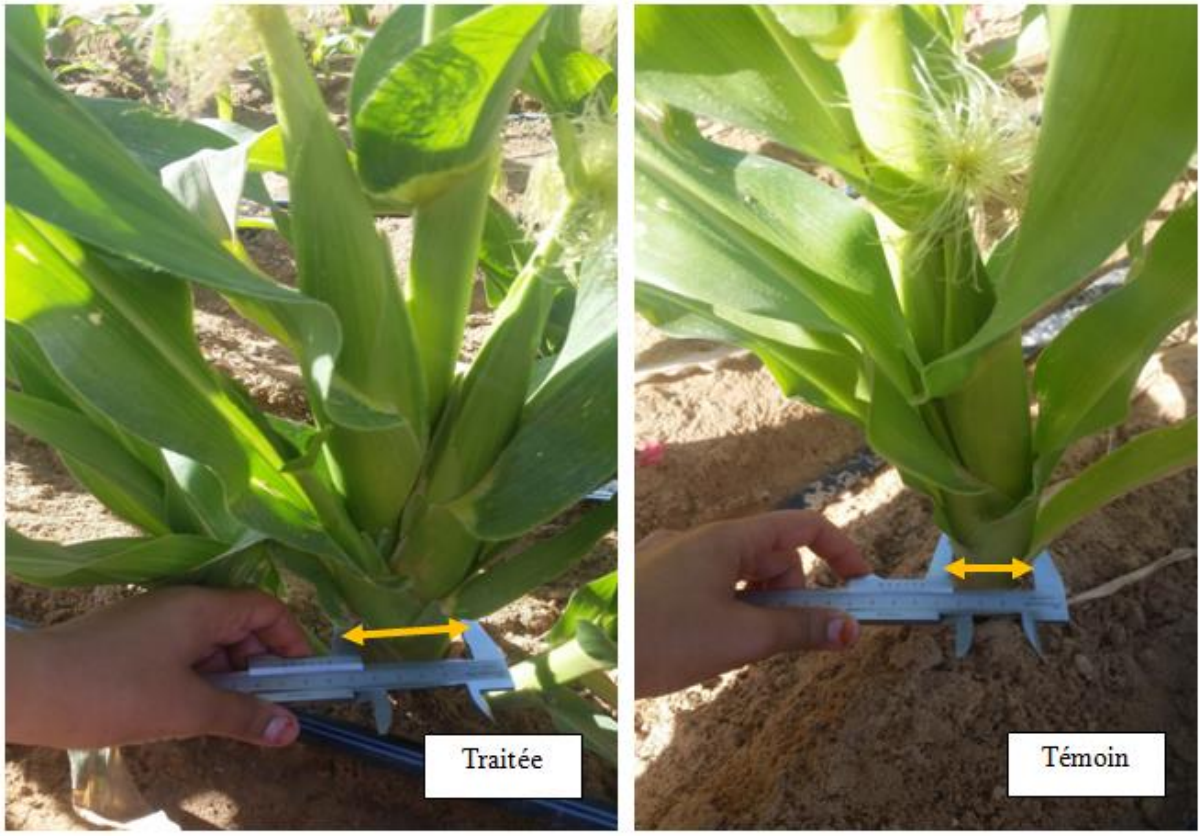


Figure 32. Effet du biostimulant sur le diamètre des plants du maïs (LAKHDARI, 2019)

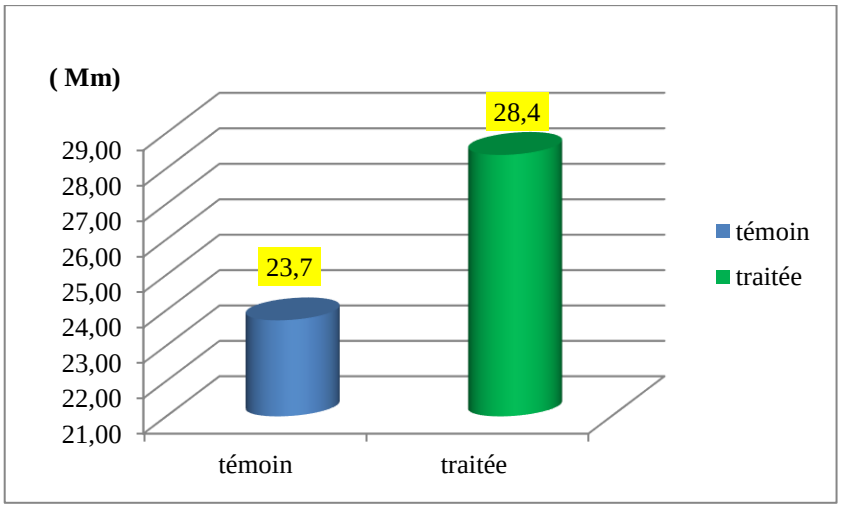


Figure 33. Effet du biostimulant sur le diamètre des plants du maïs

Les analyses statistiques montrent l'existence d'une différence très hautement significative ($p < 0,0001$) entre les plants traités et témoins (Tab. 5).

Tableau 5 : Analyse de la variance entre le diamètre des plants témoins et traités

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	672,9444	672,9444	44,1342	< 0,0001
Erreur	117	1783,9799	15,2477		
Total corrigé	118	2456,9244			

2.4.Effet du biostimulant sur le nombre des feuilles

Les résultats obtenus dans cet essai sont exposés dans la figure 35. Cette expérimentation a montré que l'effet du biostimulant sur le nombre des feuilles a permis d'enregistrer une moyenne importante de 10,1 feuilles/plante alors que celle des plants témoins n'a été que de 8,9 feuilles/plante (Fig. 34 et Fig. 35).

Figure 34. Effet du biostimulant sur le nombre des feuilles du maïs (LAKHDARI, 2019)

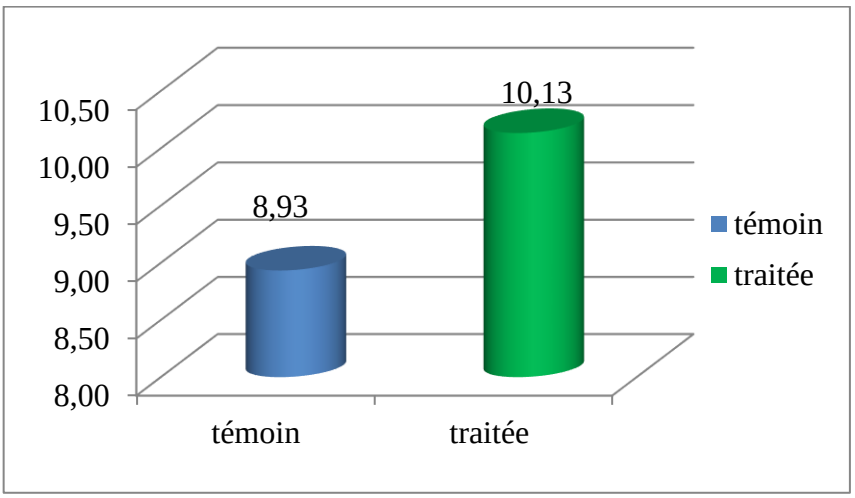


Figure 35. Effet du biostimulant sur le nombre des feuilles des plants du maïs traités et témoins

L'étude statistique confirme qu'il existe une différence très hautement significative (p = 0,000) entre le nombre de feuilles des plants témoins et traités (Tab. 6).

Tableau 6 : Analyse de la variance entre le nombre de feuilles des plants témoins et traités

	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	35,208	1	35,208	55,605	,000
Intra-groupes	74,717	118	,633		
Total	109,925	119			

2.5.Effet du biostimulant sur la surface végétative du maïs

La surface des feuilles des plants traités s'est montrée très importante car elle a été de 318cm² au moment où celle des plants témoins n'a été que de 260,4cm² (Fig. 36 et Fig. 37).

Figure 36. Mesure des feuilles des plants du maïs traités et témoins (LAKHDARI, 2019)

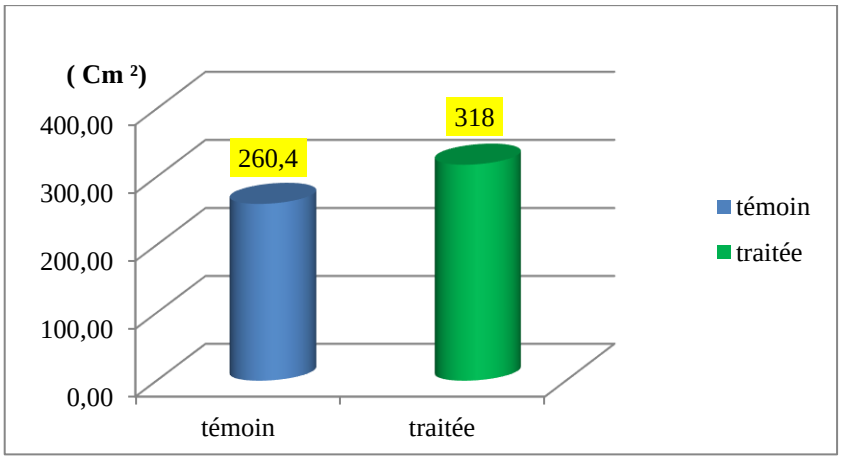


Figure 37. Effet du biostimulant sur la surface végétative du maïs

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative ($p < 0,0001$) entre la surface des feuilles des plants traités et témoins (Tab. 7).

Tableau 7 : Analyse de la variance entre la surface des feuilles des plants témoins et traités

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	97819,1878	97819,1878	26,9693	< 0,0001
Erreur	117	424365,7118	3627,0574		
Total corrigé	118	522184,8996			

2.6.Effet du biostimulant sur l'espace entre-nœuds

Les résultats obtenus dans cet essai montrent un effet positif du biostimulant sur l'espace entre-nœuds car celui-ci a été de 9,1cm pour les plants traités alors qu'il n'a été que de 6,9% pour les témoins (Fig. 38). L'étude statistique confirme cette constatation ($p < 0,0001$) (Tab. 8).

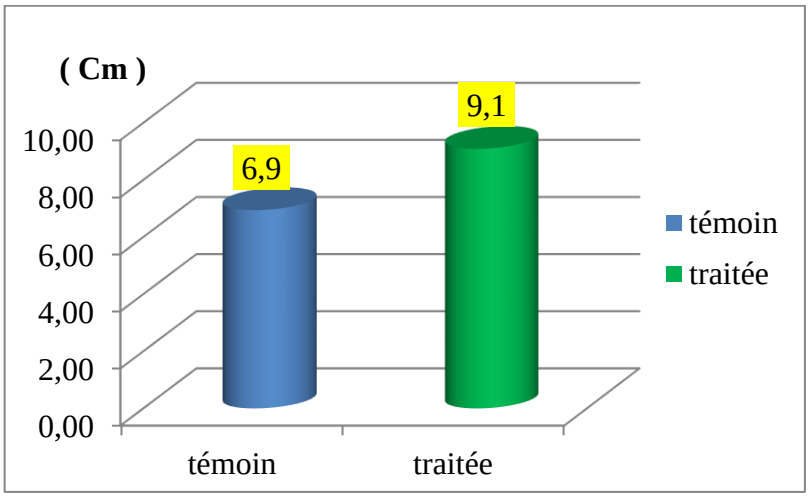


Figure 38. Effet du biostimulant sur l'espace entre-nœuds

Tableau 8 : Analyse de la variance de l'espace entre nœuds chez les plants traités et témoins

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	133,5494	133,5494	18,9325	< 0,0001
Erreur	117	825,3150	7,0540		
Total corrigé	118	958,8644			

2.7.Effet du biostimulant sur le nombre des panicules (inflorescence mâle)

Les résultats obtenus dans cet essai montrent que le biostimulant a un effet positif très important sur le nombre des panicules (inflorescence mâle) car 10,2 panicules/plante ont été enregistrés pour les plants traités contre 7,4 panicules/plante seulement pour les témoins (Fig. 39 et Fig. 40).

Figure 39. Effet du biostimulant sur le nombre des panicules (inflorescence mâle) du maïs (LAKHDARI, 2019)

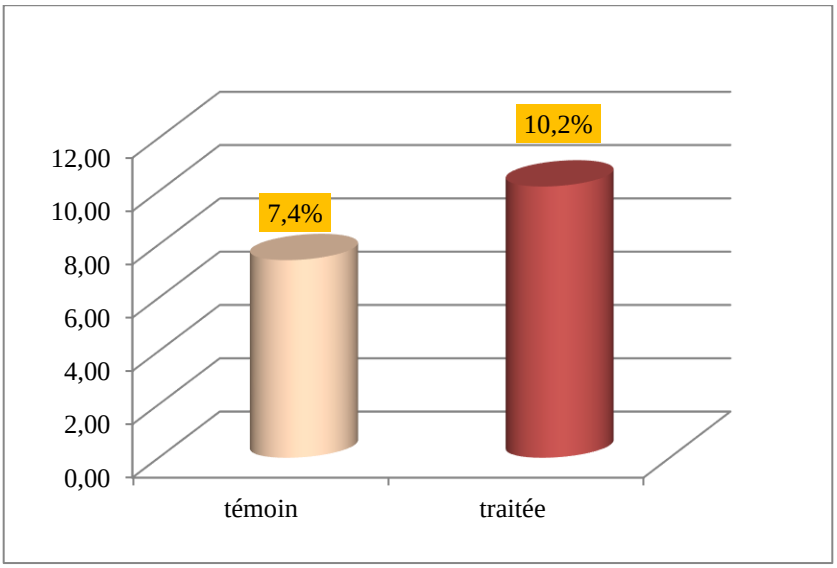


Figure 40. Effet du biostimulant sur le nombre des panicules (inflorescence mâle) du maïs

Les analyses statistiques montrent une différence très hautement significative (p = 0,0004) entre le nombre des panicules des plants traités et témoins (Tab. 9).

Tableau 9. Analyse de la variance entre les panicules des plants du maïs traités et témoins

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	218,2712	218,2712	13,3867	0,0004
Erreur	117	1907,6952	16,3051		
Total corrigé	118	2125,9664			

2.8.Effet du biostimulant sur le nombre des épis

Les résultats concernant le nombre des épis du maïs montrent un pourcentage important de 2,4% pour les plants traités contre 2,1% (Fig. 41 et Fig. 42) pour les témoins.

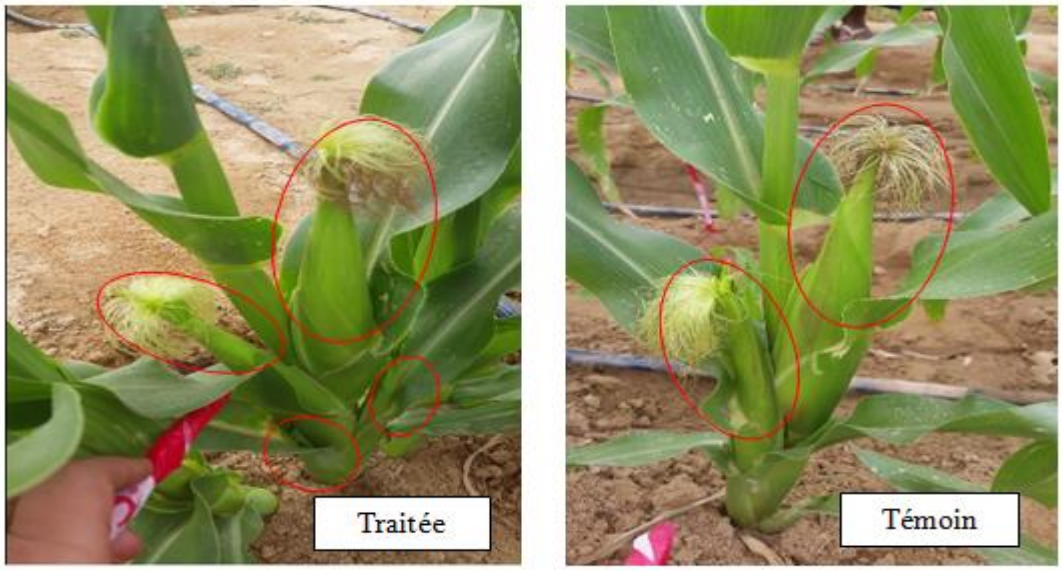


Figure 41. Effet du biostimulant sur le nombre des épis du maïs (LAKHDARI, 2019)

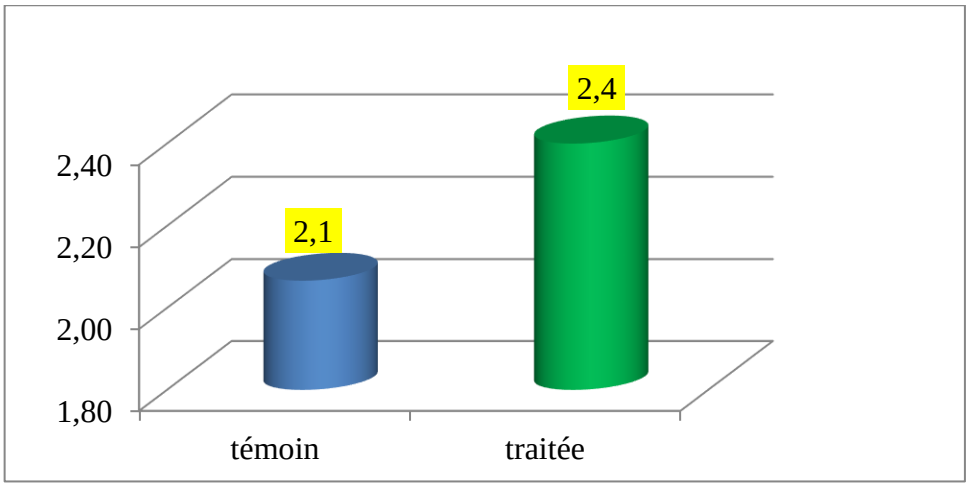


Figure 42. Effet du biostimulant sur le nombre des épis du maïs

L'étude statistique confirme les résultats mentionnés ci-dessus avec une différence hautement significative (p = 0,0054) (Tab. 10).

Tableau 10 : Analyse de la variance des épis des plants témoins et traités

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	2,9565	2,9565	8,0489	0,0054
Erreur	117	42,9763	0,3673		
Total corrigé	118	45,9328			

2.9.Effet du biostimulant sur le nombre des talles

Les résultats obtenus dans cet essai révèlent un effet positif du biostimulant sur le nombre des talles des plants du maïs traités avec 0,9 talle/plante contre 0,4 talle/plante pour les témoins (Fig. 43). Outre, l'analyse de la variance montre une différence très hautement significative (p = 0,0001) entre le nombre des talles des plants traités et témoins (Tab. 11).

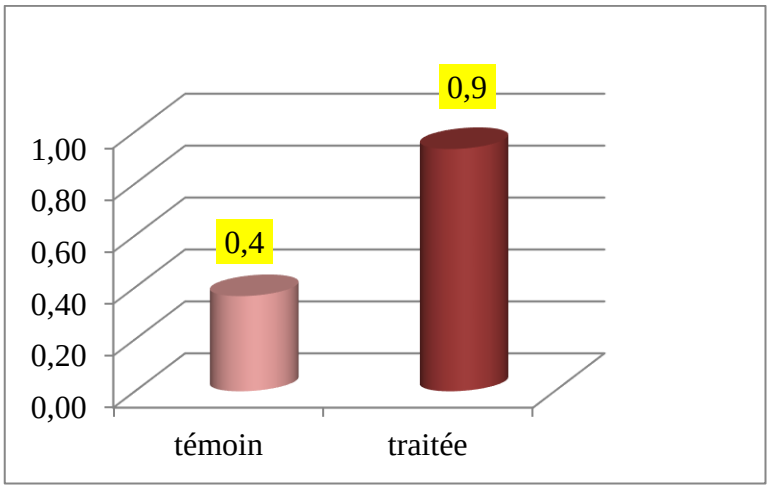


Figure 43. Effet du biostimulant sur le nombre des talles

Tableau 11. Analyse de la variance entre le nombre des talles des plants traités et témoins

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	9,9177	9,9177	15,8394	0,0001
Erreur	117	73,2588	0,6261		
Total corrigé	118	83,1765			

Chapitre 3 : Discussion

Ces dernières années, les pratiques agricoles mettent l'accent sur la durabilité des différentes composantes de l'environnement en limitant l'utilisation d'engrais chimiques et de pesticides. Les amendements biologiques au sol offrent des alternatives prometteuses pour minimiser les effets délétères des engrais chimiques (BASHAN, 1998). La capacité des microorganismes à produire et à libérer divers métabolites influant sur la croissance et la santé des plantes est considérée comme l'un des facteurs les plus importants de la fertilité des sols (PING et BOLAND, 2004). Plusieurs travaux ont été réalisés afin d'évaluer l'effet des souches antagonistes (comme biostimulant) sur certaines cultures dans le monde. En effet, la majorité des travaux qui ont démontré l'effet stimulateur de croissance ont porté sur l'espèce *T. harzianum*.

Le biostimulant (à base de plusieurs espèces de *Trichoderma*) qui a été testé dans la présente étude a montré un effet positif très marqué sur la longueur et le diamètre des plants du maïs. En effet, les sujets traités ont enregistré des chiffres de 135,9cm et 28,9mm contre 98,6cm et 23,7mm seulement pour les témoins concernant ces deux paramètres respectivement. Ces résultats sont très proches de ceux avancés par MOURIA et *al*. (2008) qui notent que toutes les souches du *T. harzainum* induisent une meilleure réponse de stimulation des paramètres de croissance des plants de tomate. Aussi, AKLADIOUS et ABBAS (2012), en étudiant l'effet biostimulant de *T. harzianum* sur la culture du maïs, trouvent que la hauteur de la plante, la longueur des racines, le nombre de feuilles/plante, la surface des feuilles, le poids frais et sec des pousses et des racines ont été plus importants chez les plantes traitées par rapport aux témoins. Aussi, BESNARD et DAVET (1993) qui ont sélectionné, à partir de 100 souches de *Trichoderma*, deux souches de *T. harzianum* ayant exercé un effet à la fois stimulant sur le pourcentage de germination, la matière sèche et le nombre moyen de fleurs des plants de tomate et de concombre. ZAIDI et *al*. (2018) trouvent que *T. harzianum* exerce un effet positif sur la stimulation de la biomasse de la tomate à la présence de la fusariose, où cette croissance n'était pas seulement observée dans la partie aérienne mais aussi dans la partie souterraine (racines). OUSLEY et *al*. (1993) attribuent ce phénomène à l'inhibition des pathogènes mineurs, induisant ainsi une forte croissance et un meilleur approvisionnement des nutriments. Bien que les mécanismes de stimulation de la croissance des plantes par le *Trichoderma* ne soient pas encore bien élucidés, ceux-ci sont souvent attribués à leur aptitude à combattre les maladies des plantes. Dans ce sens, HIBAR et *al*. (2005) ont expliqué la stimulation du développement d'une culture de melon à la suite de l'application du *T.*

harzianum par une activation du système de défense de la plante, une augmentation de l'activité chitinase et peroxidase et un accroissement de l'activité enzymatique dans les feuilles induisant une résistance systémique chez ces plants.

Concernant le nombre et la surface des feuilles, les plants du maïs traités présentent des valeurs très importantes car des chiffres de 10,1 feuilles/plant et 318cm² contre 8,9 feuilles/plant et 260,4 cm² pour les témoins ont été enregistrés pour ces deux paramètres respectivement. OUEDRAOGO et HIEN (2015) ont signalé que le traitement du maïs par *Trichoderma harzianum* a entraîné une augmentation de la croissance de 63% par rapport au témoin, aussi la teneur en azote, de la biomasse aérienne de niébé, la plus élevée est obtenue avec ce traitement (3,68%).

Pour ce qui concerne le développement du système racinaire avec la production de quelques acides organiques dans la rhizosphère, tels que l'acide gluconique, acide citriques et/ou fumarique qui augmente le ph du sol, pourrait être due à une augmentation de la solubilité des éléments nutritifs insolubles par les espèces de *Trichoderma* (KAYA et *al*., 2009). HARMAN et *al*. (2004) trouvent que le poids et la longueur des racines des plants du maïs traitées par *T. harzianum* T22 sont presque le double que ceux des témoins. Dans une autre étude sur l'effet biostimulant de *T harzianum* sur la culture du maïs, une stimulation significative a été remarquée sur le poids frais et sec des racines et des pousses des plants inoculés par *T. harzianum* en comparaison avec les plants témoins (EZZAT et *al*., 2012). PEDRAZZI et *al*. (2016) montrent que les micro-organismes utilisés dans cette étude (*T. harzianum*) ont stimulé la croissance des plantons, avec un gain de taille de 7 à 26 % par rapport au témoin à la 5ème semaine.

Les résultats obtenus dans cet essai montrent que le biostimulant testé a également un effet important sur l'espace entre nœuds (9,1cm), le nombre des panicules (10,2%) et le nombre des talles (0,93%) des plants traités comparés é ceux des témoins. Nos résultats sont similaires à ceux avancés par KAMARUZZAMAN et *al*. (2016), qui ont confirmé que les sujets traités avec *T. harzianum* et *T. viride* montrent une longueur de pousse, un poids de racines, un poids de gousses par plante et un nombre de nodules par plante plus élevés que ceux traités par d'autres espèces. Aussi, les données de CARON et *al*. (2002) démontrent un effet stimulant de *T. harzianum* MAUL-20 sur le développement de la tomate et de son système racinaire, ce qui se traduit par un développement aérien notable et une meilleure compétitivité de la plante lorsqu'elle est confrontée à différents agents pathogènes (*P. ultimum*, *R. solani* et FORL).

De même, dans une expérimentation menée sous serre HAMDIA et KALAIVANI (2014) ont montré que les isolats de *Trichoderma* présentent différents niveaux de stimulation de la croissance et augmentent l'émergence des semis du riz ($p \leq 0,05$).

Conclusion

Cette étude a été menée dans le but d'évaluer l'efficacité d'un bio-stimulant à base de *Trichoderma* spp. sur le développement du maïs (*Zea mays* L.) de la région de Touggourt. Les résultats obtenus ont révélé que la levée des plants traités par ce produit est plus importante que celle des témoins, une différence d'une semaine a été enregistrée, ce qui implique que celui-ci a un effet positif sur la germination et la précocité de cette culture. Concernant l'effet de ce produit sur les paramètres morphologiques étudiés, le bio-stimulant a montré une amélioration importante des sujets traités que ceux des témoins dans tous les paramètres à savoir la longueur, le diamètre, le nombre des feuilles, la surface végétative, l'espace entre-nœuds ainsi que le nombre des panicules, des épis et des talles. L'application de *Trichoderma* a également permis d'obtenir une meilleure croissance chez les plantes traitées que celles de témoins avec un nombre très grand de feuilles, d'épis, de panicules et de talles ainsi qu'une surface végétative plus large dans les parcelles traitées.

Ce travail permet de conclure que ces champignons peuvent être appliqués par les agriculteurs pour améliorer le rendement de leur culture et réduire l'utilisation abusive des engrais chimiques, ce qui est très utile pour préserver la santé humaine et prévenir la pollution de l'environnement.

En perspective, la présente étude nous a permis d'évaluer l'effet de ce produit bio-stimulant sur d'autres cultures et de vérifier son effet fongicide (contre les maladies) et insecticide (contre les ravageurs).

Références bibliographiques

ADAMS P, DE-LEIJ F.A. et LYNCH J.M., 2007 - *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22 mediates growth promotion of Crack willow (*Salix fragilis*) saplings in both clean and metal contaminated soil. Microb Ecol., 54: 306-313.

AKLADIOUS S.A. et ABBAS S.M., 2012 - Application of *Trichoderma harziaunum* T22 as a biofertilizer supporting maize growth. African Journal of Biotechnology, 11(35): 8672-8683.

ALLARD F., 2016 - Physiologie et agronomie du maïs. PIONEER, 78 p.

AZIZ A., POINSSOT B., DAIRE X., ADRIAN M., BEZIER A., LAMBERT B., JOUBERT J.M., PUGIN A., 2003 - Laminarin elicits defence responses in grapevine and induces protection against Botrytis. Molecular Plant-Microbe Interactions ,16 (12): 1118–1128.

BAIS H.P., WEIR T.L., PERRY L.G., GILROY S. et VIVANCO J.M., 2006 - The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. Annu. Rev. Plant Biol. 57: 233–266.

BAMBARA F.A.A., 2012 - Optimisation de la fertilisation azotée du mais en culture pluviale dans l'ouest du BURKINA FASO : Utilisation du modèle agronomique DSSAT. Mém. Ing., Univ. Polytech., Burkina Faso, 60 p.

BARNETT H.L. et HUNTER B.B., 1977 - *Illustrated genera of imperfect fungi*. 2ème Ed. Burgess Publishing Co, 180 p.

BASHAN Y., 1998 - Inoculants of plant growth promoting bacteria for use in agriculture. Biotechn. Adv. 15 : 729-770.

BENKADA M.M., 2006 - Evaluation du risque fongique en zones conchylicoles : substances toxiques de souches marines du genre *Trichoderma*. Thèse doct. Univ. Nantes. 139 p.

BERGER J.P., 2012 – La plante domestiquée : Exemple du maïs. Enjeux planitaires contomporains, 4 p.

BESNARD O. et DAVET P., 1993 - Mise en évidence de souches de *Trichoderma* spp. à la fois antagonistes de *Pythium ultimum* et stimulatrices de la croissance des plantes. Agronomie 13 : 413-421.

BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT, BUNDESSORTENAMT UND CHEMISCHE INDUSTRIE : BBCH, 2001 - Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées : Maïs. 2ème Ed., Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l`Agriculture et les Forêts, pp 25-26.

BISSETT J., 1991 - A revision of the genus *Trichoderma*. La section Pachybiasium. (a) Can. J. Bot., 69: 2373-2417.

CALVO P., NELSON L. et KLOEPPER J.W., 2014 - « Agricultural uses of plant biostimulants », Plant and soil., 383 (1): 3-41.

CARON J., 2002 - Le pouvoir antagoniste de *Trichoderma*. Conférence présentée lors des journées horticoles régionales à St-Rémi le 5 décembre 2002.

CHAMBRE D'AGRICULTURE RHONE-ALPE, 2015 - Convertir son exploitation à l'agriculture biologique : les premières informations pratiques. CORABIO, 21 p.

CHAMBRE SYNDICALE DES AMELIORANTS ORGANIQUES ET SUPPORTS DE CULTURE : CAS, 2015 - Biostimulants : Une clé pour produire mieux avec moins d'intrants. 4 p.

CHANG Y.C., BAKER R., KLEIFELD O. et CHET I., 1986 - Increased growth of plants in the presence of the biological control agent *Trichoderma Harzianum*. Plant Disease, 70: 145-148.

CHEN Y. et AVIAD T., 1990 - Effect of Humic Substances on Plant Growth. In: Maccarthy, P., Ed., Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. American Society of Agronomy and Soil Sciences, Madison, 161-186.

CHITINE F., 2005 - Sol-Actif® agent naturel de bio-stimulation. Protéger les plantes en restaurant la biodiversité dans les agro-écosystèmes. PEE, 2 p.

COONEY J.M., LAUREN D.R. et PERRY-MEYER L.J., 1997 - A novel tubular bioassay for measuring the production of antagonistic chemicals produced at the fungal/pathogen interface. Letters in Applied Microbiology., 24 (6) : 460-462.

CORDIER C. et ALABOUVETTE C., 2018 - Utilisation de produits biostimulants à base de microorganismes, d'acides aminés ou d'autres substances, INRA, 22 p.

COURNUT B., 1984 - Le genre *Trichoderma hyphomycètes*. Th: Pharmacie: Marseille : 77 p.p.20.

COURTIAL A., 2012 - Vers l'identification de gènes contrôlant la dégradabilité de la paroi secondaire lignifiée chez le maïs à travers l'élucidation de QTLs à effets forts. Thèse Doc., Univ. Toulouse, 394 p.

CZEMBOR E., ADAMCZYK J., POSTA K., ISTVAN S., OLDENBURG E., SCHÜRCH S., 2010 - Prévention de la fusariose des épis de maïs et de l'accumulation de mycotoxines dues aux *Fusarium* spp. ENDURE : Etude de cas sur le maïs, Guide N° 3, 8 p.

DE LEON C., 1978 - *Maladies du maïs.* Bulletin d'information, 2ème Ed. CIMMYT, 97 p.

DELASSUS M. et RESPLANDY R., 1967 - Observations phytopathologiques sur le maïs en basse cote d'ivoire durant la campagne 1953. ORSTOM, Collection de référence, 7 p.

DESFONTAINES L., ROTIN P. et LAFONTAINE H., 2018 - Les Biostimulants : Qu'en savons-nous ? Quelles alternatives pour l'agriculture Guyanaise ? Innovations agronomiques, 64 : 31-46.

DORN B., FORRER H.R.., SCHÜRCH S. et VOGELGSANG S., 2009 - *Fusarium* species complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection. European Journal of Plant Pathology, 125 (1): 51-61.

DRUZHININA I.S., KOPCHINSKIY A.J., KOMOJ M., BISSETT J., SZAKACS G. et CHRISTIAN P.K., 2006 - An oligonucleotide barcode for species identification in *Trichoderma* and *Hypocrea*. Fungal Genetics and Biology, 42: 813–828.

DU JARDIN P., 2015 - Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae, 196 : 3-14.

DUBURCQ J.B., BONHOMME R. et DERIEUX M., 1983 - Durée des phases végétatives et reproductrice chez le maïs. Influence du génotype et du milieu. Agronomie, 3 (10) : 941-946.

ESPOSITO E. et SILVA M., 1998 - Systematics and environmental application of genus *Trichoderma*. Crit. Rev. Microbiol., 24 (2) : 89-98.

EYRAS M.C., DEFOSSE G.E. et DELLATORRE F., 2008 - Seweed compost as an amendement for horticultural soils in patagonia, argentina. Compost science and utilization, 16 (2): 119-124.

EZZAT M.F, EL-KATATNY M.H., MOUSTAFA Y.M.M. et IDRES M.M.M. 2012 - single and double inoculation with *Azospirillum brasilense*/*Trichoderma harzianum*: effects on seedling growth and/or yield of wheat (*Triticum vulgaris*) and corn (*Zea mays*). Minia international conference for agriculture and irrigation in the nil basin countries, 26-29 March 2012, 15 p.

FAESSEL L. et TOSTIVINT C., 2016 – Les produits de stimulations en agriculture : un etat des connaissances. NESE, 40 : 7-39.

FAESSEL L., GOMY C., NASSR N., TOSTIVINT C., HIPPER C., DECHANTELOUP A., 2014 - Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes. Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques, rapport d'étude au ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 148 p.

FAN D., 2010 - *Ascophyllm nodosum* Extracts Improve Shelf Life and Nutritional Quality of Spinach (*Spinacia oleracea* L.). Mém. M.Sc., Dalhousie Univ. et Nova Scotia agricultural college, 148 p.

FAO STAT, 2019 - http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC/visualize. 15 Mars 2019; 15 :07.

GENILLOUD O., PELAEZ F., GENZALEZ I. et DIEZ M.T., 1994 - Diversity on actinomycètes and seaweeds from the Iberian coasts. Microbiologia, 10: 413-422.

GORDON S.G., BARTSCH M., MATTHIES I., GEVERS H.O., LIPPS P.E et PRATT R.C., 2004 - Linkage of Molecular Markers to *Cercospora zeae-maydis* Resistance in Maize. Crop science, 44 (2): 628-636.

GRONDONA I., HERMOSA R., TEJADA M., GOMIS M.D., MATEOS P.S., BRIDGE, P.D., MONTE E. et GARCIA-ACHA I., 1997 - Physiological and biochemical characterization of *Trichoderma Harzianum*, a biological control agent against soilborne fungal plant pathogens. App. Environ. Microb., 63 (8): 3189-3198.

HAMDIA A. et NADARAJAH K., 2014 - Evaluating the efficacy of *Trichoderma* spp and *Bacillus substilis* as biocontrol agents against *Magnaporthe grisea* in rice. Australian journal of crop science, 8 (9): 1324-1335.

HARMAN G.E., 2000 - Myths and dogmas of biocontrol - Changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. Plant Disease, 84: 377-393.

HARMAN G.E., HOWELL C.R., VITERBO A., CHET I. et LORITO M., 2004 - *Trichoderma* species opportunistic, a virulent plant symbiont. Nature Reviews Microbiology, 2: 43-56.

HIBAR K., DAAMI-REMADI M., KHIAREDDINE H. et EL MAHJOUB M., 2005 - Effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* du *Trichoderma harzianum* sur *Fusarium oxysporum* f. sp. r*adicis-lycopersici*. Biotechnol., Agron., Soc. Environ., 9 (3): 163-171.

HIEMA S., 2005 - Caractérisation et classification de lignées de maïs (*Zea mays* L.). Mém. Ing., CNRST, Burkina Faso. 90 p.

HUGUENIN B.,1959 - La rouille américaine du Maïs due au *Puccinia polysora* Underw. Revue de Mycologie, 4 : 289-323.

JOURDAN-RUF C., MARCHAND J.L. et PETERSCHMITT M., 1995 - Maize streak, maize stripe and maize mosaic virus diseases in the tropics (Africa and islands in the Indian Ocean). Agriculture et développement, Special issue, 15 p.

KAMARUZZAMAN M., RAHMAN M.M., ISLAM M.S. et AHMAD M.U., 2016 - Efficacy of four selective *Trichoderma* isolates as plant growth promoters in two peanut varieties. International Journal of Biological Research, 4 (2): 152-156.

KARAVINA C., 2014 - Maize streak virus: a review of pathogen occurrence, biology and management options for smallholder farmers. Afr. J. Agric. Res. 9 (36): 2736-2742.

KAYA C., ASHRAF M., SONMEZ O., AYDEMIR S., TUNA A.L. et CULLU M.A., 2009 - The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. Scientia Hort., 121(1): 1-6.

KU L., CAO L., WEI X., SU H., TIAN Z., GUO S., ZHANG L., REN Z., WANG X., ZHU Y, LI G., WANG Z. et CHEN Y., 2015 - Genetic Dissection of Internode Length Above the Uppermost Ear in Four RIL Populations of Maize (*Zea mays* L.). Investigation, 5: 281-289.

KUBICEK C.P., BISSETT J., DRUZHININA I., KULLINIG-GRADINGE C. et SZAKACS, G., 2003 - Genetic and métabolic diversity of *Trichoderma* sp.; a case study on south-east Asian isolates. Fungal Genet. Biol., 38 (3): 310-319.

KUMAR A., HUNJAN M.S., KAUR H., RAWAL R., KUMAR A. et SINGH P.P., 2017 - A review on bacterial stalk rot disease of maize caused by *Dickeya zeae*. Journal of applied and natural sciences, 9 (2): 1214-1225.

LANDREAU A., 2001 - Métabolites d'une souche de *Trichoderma Koningii Oudemans* isolée du milieu marin : Etude chimique, Biologie et risques pour les coquillages en culture. Th. : Pharmacie : Nantes, 201 p.

LINDSEY D. et R. BAKER., 1967 - Effect of certain fungi on dwarf tomatoes grown under gnobiotic conditions. Phytopathology, 338: 1262-1263.

MAPIEMFU-LAMARÉ D., TSOATA T.E., ZONKENG C. et MFOPOU MEWOUO Y.C., 2011 - Inhibition de la croissance et du rendement du maïs (*Zea mays* L.) en sols très acides au Cameroun, et identification de critères précoces de tolérance à la toxicité. Tropicultura, 29 (2) : 94-100.

MARCHAND J., BERTHAUD J., CLERGET B., DINTINGER J., REYNAUD B., DZIDO J., 1997 - *L'amélioration des plantes tropicales : Le maïs*, 1ère Ed., CIRAD, 401-428.

MEGAFOL, 2016 – Spécial biostimulant. Référence environnement, 5 p.

MOURIA B., OUAZZANI-TOUHAMI A. et DOUIRA A., 2008 - effet des diverses souches de *Trichoderma* sur la croissance d'une culture de tomate en serre et leur aptitude à coloniser les racines et les substrats. Phytoprotection, 88 (3) : 103-110.

NORRIE J., KEATHLEY J.P., 2006 - Benefits of *Ascophyllum nodosum* Marine-Plant Extract Applications to 'Thompson Seedless' Grape Production. Acta Hort., 727: 243-248.

OGGIER R., 2006 - Etude de conception d'une unité d'extraction d'amidon d'igname. Mém. Ing., Gembloux, 76 p.

OUEDRAOGO E. et HIEN E., 2015 - Effet d'un compost enrichi par des spores du clone *Trichoderma harzianum* (Rifaï) sur le rendement du niébé et du maïs sous abris au Burkina Faso. International journal of biological and chemical sciences, 9 (3) : 1330-1340.

OUSLEY M.A., LYNCH J.M. et WHIPPS J.M. 1993 - Effect of *Trichoderma* on plant growth: A balance between inhibition and growth promotion, Microbial Ecol., 26: 277-285.

PEDRAZZI S., RECHKA Y., PELLETERET P., CHABLAIS R., CROVADORE J. et LEFORT F., 2016 - Evaluation de biostimulants commerciaux en culture de tomate en sol. Horticulture, 48 (6): 358-364.

PING L. et BOLAND W., 2004 - Signals from the underground: bacterial volatiles promote growth in Arabidopsis. Trends Plant Sci., 9(6): 263-266.

PRAT R., 2002 – Les plantules modèles : pois, blé, maïs, soja. Planet-Vie.

PRIETO A., LEAL J.A., POEDA A., JIMÉNEZ-BARBERO J., GOMEZ-MIRANDA B., DOMENECH J., AHRAZEM O. et BERABÉ M., 1997 - Structure of complex cell wall polysaccharides isolated from *Trichoderma hypocrea* species. Carbohydrate Research, 304 (3-4) : 281-291.

PRINGLE G., 2017 - Maize production: Management critical plant growth stages. Field crops.

RAYIRATH P., BENKEL B., HODGES D.M., ALLAN-WOJTAS P., MACKINNON S., CRITCHLEY A.T. et PRITHIVIRAJ B., 2009 - Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in Arabidopsis thaliana. Planta 230: 135-147.

ROQUEBERT M.F., 1996 - Interactions antagonistes des *Trichoderma* sp. Dans les systèmes telluriques : systématique biologie et écologie des organismes. Compte-rendu des 4ème s rencontres en toxicologie, Paris, pp. 19.

ROSE A.L., WAITE T.D., 2003 - Kinetics of iron complexation by dissolved natural organic matter in coastal waters. Mar. Chem., 84: 85-103.

ROUSSOS S., 1985 - Croissance de *Trichoderma harzianum* par fermentation en milieu solide : physiologie ; sporulation et production de cellulases. Thése Doct., ORSTOM, Paris, France, 185 p.

SAOULI N., CHEBAANI B., BENDJEDDOU F. et BELKADI S., 2005 - Recueil de fiches techniques I.T.D.A.S. Imprimerie Saharienne BISKRA. Pp 12-14.

SAPEC, 2016 - Herbicide maïs de post-levée : NICO STAR, Fiche technique. Agro France. 6 p.

SCHURCH S., 2016 – Fusariose du maïs : évaluation de la sensibilité des variétés cultivées en Suisse. Recherche Agronomique Suisse, 7 (2) : 64-71.

SHAHZAD M., QAISER J., KALSOOM B., SIKANDAR K.S., TASVEER Z.B., KHAN T.A., KHAN R.A., JABBAR A. et ANEES M., 2013 - Biocontrol ability of *Trichoderma*. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 6 (18) : 1246-1252.

SIKIROU R., NAKOUZI S., ADANGUIDI J. et BAHAMA J., 2018 - Reconnaissance des maladies du maïs en culture au bénin et méthodes de lutte : Fiche technique. Cotonou, FAO, 28 p.

SINGH, A., SRIVASTAVA S. et SINGH H.B., 2007 - Effect of substrates on growth and shelf life of *Trichoderma harzianum* and its use in biocontrol of diseases. Bioresource Technology, 98: 470-473.

SYLVANDERB., FRANÇOIS M. et MORIN J.M., 2005 - Les bases de l'agriculture biologique : définitions, réglementations, histoire et état des lieux. IRD éditions, 39 p.

SYMBIOSE., 2017- Les substances humiques. DIGOIN. 4.p.

VAUGHAN D., MALCOM R.E. et ORD B.G., 1985 - Influence of humic substances on biochemical processes in plants. In: Vaughan, D., Malcom, R.E. (Eds.), Soil Organic Matter and Biological Activit, Martinus Nijhoff/Junk W, Dordrecht, The Netherlands, pp. 77–108.

VERBIST J.F., 2000 - *Marine fungal substances in: studies in natural products chemistry*. Londres : Elsevier Sciences B.V., 24: 979-1092.

VINING, I.C., 1990 - Fonctions of secondary metabolites, Annu. Rev. Microbiol., 44: 395-427.

WAGHUNDE R.R., SHELAKE R.M. et SABALPARA A.N., 2016 - *Trichoderma* : A significant fungus for agriculture and environment. African Journal of Agriculture Research, 11 (22): 1952-1965.

WARD J.M.J., STROMBERG E.L., NOWELL D.C. et NUTTER F.W., 1999 - Gray Leaf Spot: A disease of global importance in maize production. Plant Dis., 83: 884-895.

WISE K., 2010 - Plant diseases. Plant and Crop, 12 p. Mardi 30 avril 2002. 22 p.

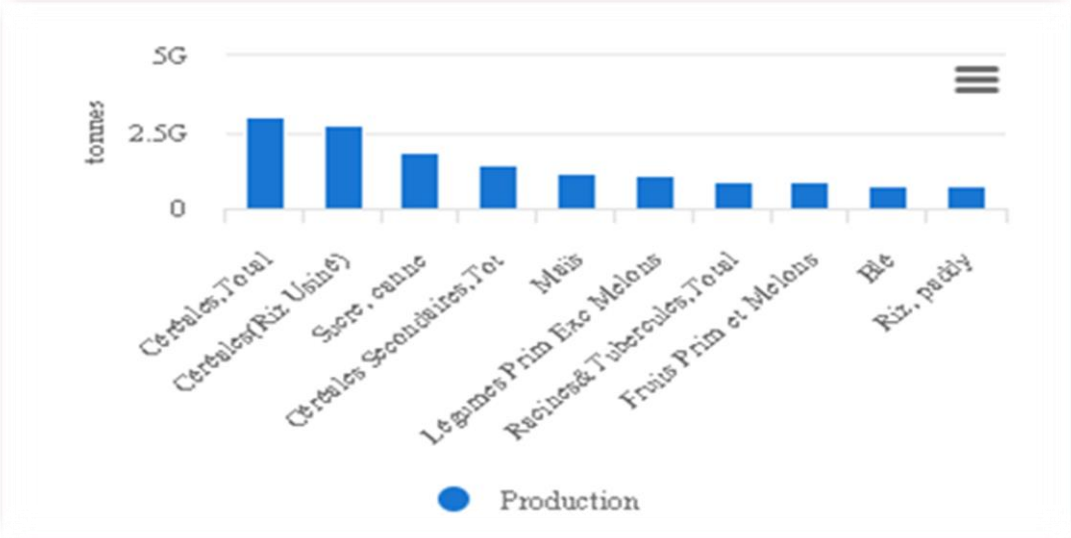
YAKHIN O.I., LUBYANOV A.A., YAKHIN I.A. et BROWN P.H., 2017 - Biostimulants in Plant Science: A global Perspective. Frontiers in Plant Science, 7: 1-32.

YEDIDA I., SRIVASTVA A.K., KAPULNIK Y. et CHET I., 2001 - Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. Plant soil, 235: 235-242.

ZAIDI S., SENOUSSI M.M., OUFROUKH A. et HARRAT W., 2018 - The Effect of in Vitro and in Vivo *Trichoderma* sp. (TR2) on the Reduction of Infection of the Tomato Variety (Elgon) Contaminated with *Fusarium Oxysporum* F. Sp .*Lycopersici*. 7 (4): 112-118.

Annexes

Annexe 1. Produits les plus fabriqués dans le monde



Annexe2. Échelle BBCH des stades phénologiques du maïs (*Zea mays* L.)

Échelle BBCH des stades phénologiques du maïs
(*Zea mays* L.)

Code	Définition
Stade principal 0: germination, levée	
00	semence sèche (caryopse sec)
01	début de l'imbibition de la graine
03	imbibition complète
05	la radicule sort de la graine
06	élongation de la radicule, apparition de poils absorbants et développement des racines secondaires
07	le coléoptile sort de la graine
09	levée: le coléoptile perce la surface du sol
Stade principal 1: développement des feuilles[1,2]	
10	la première feuille sort du coléoptile
11	première feuille étalée
12	2 feuilles étalées
13	3 feuilles étalées
1 .	et ainsi de suite ...
19	9 ou davantage de feuilles étalées
Stade principal 3: élongation de la tige principale[3]	
30	début de l'élongation de la tige principale
31	le premier nœud est discernable
32	2 nœuds sont discernables
33	3 nœuds sont discernables
3 .	et ainsi de suite ...
39	9 ou davantage de nœuds sont discernables
Stade principal 5: sortie de l'inflorescence ou épiaison	
51	l'inflorescence terminale (panicule M) commence à sortir, elle est discernable à l'extrémité de la tige principale
53	extrémité de la panicule terminale visible
55	50% de la panicule terminale visible, les rameaux de la panicule commencent à s'écarter
59	la panicule terminale est complètement sortie et les rameaux de la panicule sont étalés

Échelle BBCH des stades phénologiques du maïs

Code	Définition
Stade principal 6: floraison, anthèse	
61	M: étamines visibles au milieu de la panicule, F: extrémité de l'épi sort de la gaine
63	M: début de l'émission du pollen, F: extrémité des stigmates visibles
65	M: partie supérieure et inférieure de la panicule en fleurs, F: stigmates à maturité
67	M: la floraison s'achève, F: les stigmates se dessèchent
69	fin floraison, les stigmates sont complètement desséchés
Stade principal 7: développement des graines	
71	début du développement des graines, stade aqueux des graines, environ 16% de matière sèche
73	début du stade laiteux
75	les graines au milieu de l'épi sont jaunâtres, le contenu est laiteux, environ 40% de matière sèche
79	presque toutes les graines ont atteint leur taille finale
Stade principal 8: maturation des graines	
83	début du stade pâteux: contenu des graines tendre, environ 45% de matière sèche
85	stade pâteux: graines jaunâtres à jaunes, environ 55% de matière sèche
87	maturité physiologique: à la base des graines un point noir est visible, environ 60% de matière sèche
89	maturité complète: les graines sont dures et brillantes, environ 65% matière sèche
Stade principal 9: sénescence	
97	la plante meurt et s'affaisse
99	produit après récolte

Effet d'un biostimulant à base de champignons (*Trichoderma* spp.) sur la croissance de la culture du maïs (*Zea Mays* L.) dans la région de Touggourt

Résumé

Cette étude mise en évidence l'effet d'un biostimulant à base de *Trichoderma* spp., champignons antagonistes autochtones de la région de Touggourt, sur le développement d'une variété locale de maïs. L'expérimentation a été menée à la station expérimentale de l'INRAA (Sidi Mehdi, Touggourt) et elle a été réalisée en bloc aléatoire complet. Les paramètres agro-morphologiques examinés ont montré que l'application de ce produit stimule la croissance végétative de la plante. Outre, une germination et précocité des graines meilleures ont été notées. En fait, des valeurs plus intéressantes ont été obtenues dans les parcelles traitées (Long = 135,9cm ; Larg = 28,9mm ; Surf. Fe. = 318cm² ; Pan = 10,2 panicules/plante) comparées à celles des témoins (Long = 98,6cm ; Larg = 23,7mm ; Surf. Fe. = 260,4cm² ; Pan = 7,4 panicules/plante). Les analyses statistiques ont confirmé l'existence d'une différence très hautement significative entre les sujets traités et témoins.

Mots clés : Biostimulant, *Trichoderma ;* maïs, croissance végétative, Touggourt.

Effect of bio stimulant based on fungi (*Trichoderma* spp.*)* on the growth of maize (*Zea Mays* L.) in the region of Touggourt

Summary

This study highlights the effect of a biostimulant based on *Trichoderma harzianum*, indigenous antagonistic fungus from the region of Touggourt, on the development of a local variety of maize. This study was conducted at the experimental station of INRAA (Sidi Mehdi, Touggourt) as a complete random block. The agro-morphological parameters examined showed that the application of this product stimulates vegetative growth of the plant. Besides, better germination and earliness of seeds were noted. In fact, more interesting values were obtained in the treated plots (height = 135.9 cm, diameter = 28.9 mm, Leaf surf. = 318 cm 2, Pan = 10.2 panicles/plant) compared to those of the controls (height = 98.6 cm, diameter = 23.7 mm, Leaf surf. = 260.4 cm², Pan = 7.4 panicles/plant). Statistical analyzes confirmed the existence of a very highly significant difference between treated and control subjects.

Keywords: Biostimulant, *Trichoderma*, maize, végétative growth, Touggourt.

تاثير محفز حيوي مبني على أنواع فطر التريكوديرما على النمو الخضري للذرة (*Zea Mays* L.) في منطقة تقرت

ملخص

تسلط هذه الدراسة الضوء على تأثير المحفزات الحيوية المبنية على أنواع التريكوديرما، فطريات مضادّة معزولة من منطقة تقرت، تعمل على تطوير نبات الذرة المحلي. أجريت هذه التجربة في محطة التجارب الزراعية بـــــ INRAA (سيدي مهدي، تقرت) وأجريت ككتلة عشوائية كاملة. أظهرت القياسات المورفولوجية الزراعية التي تم فحصها أن تطبيق هذا المنتج يحفز النمو الخضري للنبات. بالإضافة الى ذلك، فقد لوحظ دوره في زيادة نمو نبات الذرة. في الواقع، تم الحصول على قيم مهمة جدا في المكان المعالج (الطول = 135.9 سم، العرض = 28.9 مم، مساحة الورقة = 318 سم²، عنقود = 10.2 عنقود/نبتة) مقارنة بتلك الشاهدة (الطول = 98.6 سم، العرض = 23.7 مم، مساحة الورقة =260.4 سم²، عنقود = 7.4 عنقود/نبتة). أكدت التحليلات الإحصائية وجود فرق كبير للغاية بين النباتات المعالجة والغير معالجة.

الكلمات المفتاحية: محفزات حيوية، ترايكوديرما، ذرة، النمو الخضري، تقرت.