

## L'Enrobage des Semences de Maïs avec *Trichoderma harzianum* a Amélioré la Levée et la Croissance des Plantes au Burkina Faso

*Dabiré Tobdem Gaston, PhD*

*Sanou Amadou, Ir.*

*Bonzi Schémaéza, PhD*

*Somda Irénée, PhD*

Université Nazi BONI, Laboratoire des Systèmes Naturels, Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Doi: [10.19044/esipreprint.4.2023.p420](https://doi.org/10.19044/esipreprint.4.2023.p420)

Approved: 28 April 2023

Posted: 30 April 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Gaston D. T., Amadou S., Schémaéza B. & Irénée S.(2023). *L'Enrobage des Semences de Maïs avec Trichoderma harzianum a Amélioré la Levée et la Croissance des Plantes au Burkina Faso*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.4.2023.p420>

### Résumé

De nombreuses espèces de moisissures infectent les grains de maïs produits au Burkina Faso. La présence de ces champignons sur les grains entraîne des fontes de semis, des retards de croissance des plantes et la production de mycotoxines comme les aflatoxines dont la consommation est dangereuse pour la santé humaine et animale. L'objectif de la présente étude a été d'évaluer le comportement de semences de maïs enrobées avec les conidies d'une souche locale de *Trichoderma harzianum* ayant présenté des propriétés antifongiques et de promotion de la croissance sur l'oignon. Six lots de semences de six variétés de maïs ont ainsi été collectés et analysés pour identifier les espèces de moisissures en présence. Les trois principales espèces identifiées ont ensuite été confrontées *in vitro* avec *T. harzianum* pour apprécier l'antagonisme. Des grains de maïs ont enfin été enrobés avec les conidies de *T. harzianum* puis semés pour apprécier la levée et la croissance des plantules. *Fusarium verticillioides*, *Aspergillus niger* et *Aspergillus flavus* ont été les trois principaux champignons présents dans les semences analysées à des taux d'infection variant de 8,3 à 89,5%, selon les variétés de maïs. L'évaluation de l'antagonisme de *T. harzianum* a montré

une réduction significative de la croissance de ces trois champignons avec des coefficients d'antagonisme compris entre 0,68 et 0,86. Concernant l'effet promoteur de la croissance végétale, l'enrobage des semences avec *T. harzianum* a permis d'améliorer significativement la levée, la longueur des plantes et des racines ainsi que la biomasse fraîche par rapport aux semences non enrobées.

---

**Mots clés:** *Trichoderma*, Burkina Faso, Maïs, Barka, *Aspergillus*

---

## **The Coating of Maize Seeds with *Trichoderma harzianum* improved Plant Emergence and Growth in Burkina Faso**

*Dabiré Tobdem Gaston, PhD*

*Sanou Amadou, Ir.*

*Bonzi Schémaéza, PhD*

*Somda Irénée, PhD*

Université Nazi BONI, Laboratoire des Systèmes Naturels, Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

---

### **Abstract**

Many mold species infect maize grains produced in Burkina Faso. The presence of these fungi on the grains leads to seedling damping off, plant growth retardation and the production of mycotoxins such as aflatoxins, the consumption of which is dangerous for human and animal health. The objective of the present study was to evaluate the behavior of maize seeds coated with the conidia of a local strain of *Trichoderma harzianum* having shown antifungal and plant growth promoting properties on onion. Six seed lots from six varieties of maize were thus collected and analyzed to identify the existing mold species. The three main identified species were then confronted *in vitro* with *T. harzianum* to assess the antagonistic effects. Maize seeds were finally coated with the conidia of *T. harzianum* and then sown to assess emergence and seedling growth. *Fusarium verticillioides*, *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus* were the three main fungi present in analyzed seeds lots with infection rate varying from 8.3 to 89.5%, according to the varieties of maize. The evaluation of the antagonism of *T. harzianum* showed a significant reduction in the growth of the three fungal species with antagonism coefficients situated between 0.68 and 0.86. In terms of plant growth promoting effect, seed coating with *T. harzianum* significantly improved seedling emergence, plant and root length and fresh biomass, compared to non-coated seeds.

---

**Keywords:** *Trichoderma*, Burkina Faso, Maize, Barka, *Aspergillus*

## Introduction

Au Burkina Faso, plus de 86% des superficies agricoles est occupé par des céréales qui constituent la base alimentaire des populations (MAAH/DGESS, 2021). Parmi ces céréales, le maïs (*Zea mays* L.) est la plus consommée par plus de 98% des ménages et les sous-produits de sa transformation entrent dans l'alimentation animale (Bambara, 2021). Au cours des deux dernières campagnes, le maïs a occupé la première place parmi les productions céréalières devant le sorgho (MAAH/DGESS, 2021). En termes quantitatifs, pour la campagne agricole 2020-2021, 1 910 101 tonnes de maïs ont été produites sur une superficie de 1 089 389 hectares (MAAH/DGESS, 2021). Le maïs contribue grandement à l'économie du Burkina Faso car il est à la fois une culture vivrière et une culture de rente (Compaoré et al., 2021a).

Cependant, en raison de certaines conditions météorologiques de production, du mauvais séchage des épis couplé à des conditions inappropriées de stockage, les grains de maïs produits se retrouvent contaminés par des espèces de moisissures en provenance de l'air ambiant ou du sol (Ishrat & Shahnaz, 2009; Compaoré et al., 2021b). Ces espèces de champignons entraînent non seulement des fontes de semis et des retards de croissance à l'origine de baisse de rendements mais aussi sécrètent des métabolites secondaires comme les aflatoxines qui sont hautement toxiques pour l'homme et les animaux d'élevage (Bonzi et al., 2012 ; Compaoré et al., 2021b). Selon Bamba (2021), environ 40% de la production du maïs est contaminé par les aflatoxines dans les pays en développement.

Le contrôle de ces moisissures repose essentiellement sur le traitement des semences avec des produits chimiques de synthèse (Bonzi et al., 2013 ; Dabiré et al., 2016). Toutefois, l'exposition des producteurs, des consommateurs et de l'environnement aux résidus de pesticides ainsi que l'apparition rapide de résistances au sein des populations des agents pathogènes font que l'usage des pesticides de synthèse est de nos jours peu recommandé et fortement régulée (Son et al., 2018).

*Trichoderma harzianum* Pers. est un champignon tellurique largement utilisé en lutte biologique contre plusieurs autres champignons phytopathogènes (Gary et Hebbar, 2015 ; Monaco, 2021). Ce champignon est également rapporté comme un excellent promoteur de la croissance végétale de plusieurs cultures (Caron et al., 2002 ; Gautam et al., 2015). Dans la pratique, *T. harzianum* est utilisé sous des formulations liquides ou poudreuses à épandre au sol ou pour enrober les semences avant semis (Gary et Hebbar, 2015). La technologie du *T. harzianum* apparaît ainsi comme une solution potentielle pour lutter efficacement et écologiquement contre les moisissures. des grains de maïs au Burkina Faso.

L'efficacité de *T. harzianum* sur le terrain dépend toutefois de plusieurs facteurs dont son adaptabilité aux agrosystèmes (Yedia et al., 2001; Velivelli et al., 2014). Au Burkina Faso, plusieurs formulations à base de *Trichoderma* sont proposées en culture maraîchère notamment par des sociétés comme BIOPROTECT mais l'efficacité de ces formulations sur le terrain burkinabè demeure mitigée à cause de l'inadaptation éventuelle des souches utilisées qui sont exotiques.

Suite à des investigations, une souche locale de *T. harzianum* a été isolée et testée avec succès comme agent de lutte biologique contre les fontes de semis et la promotion de croissance de l'oignon (Dabiré et al., 2016).

Cette étude visait comme objectif, l'évaluation de l'efficacité de cette souche de *Trichoderma* en traitement de semences de maïs contre les espèces de moisissures. Plus spécifiquement il s'est agi d'identifier les principaux champignons présents sur les semences de maïs, d'évaluer l'action antagoniste *in vitro* de la souche de *T. harzianum* sur les principaux champignons rencontrés et enfin d'évaluer l'efficacité de l'enrobage des semences avec les conidies de *T. harzianum* sur la réduction des fontes de semis et la promotion de la croissance du maïs.

## Matériel et Méthodes

### Matériel d'étude

Un échantillon de six (06) variétés de maïs les plus utilisées au Burkina Faso ont été utilisés pour l'étude (Tableau 1). Les échantillons ont été collectés auprès de producteurs semenciers puis conservés au laboratoire à 5°C. Il s'agit de lots de semences certifiées de deux (02) kilogrammes chacun.

**Tableau 1.** Caractéristiques des variétés de maïs utilisées pour l'étude.

Nom	Type de variété	Qualités/usages	Cycle (JAS)	Rdt (T/ha)
Barka	Extra précoce	Usages industriels Alimentation humaine	80	5,5
Bondofa	Hybride	Hauts rendements	97	7-9
Espoir	Composite	Riche en protéines assimilables	97	6,5
Komsaya	Hybride	Riche en protéines assimilables	97	8-9,5
SR21	Composite	Alimentation humaine	97	5,1
Wari	Composite	Usages agro-industriels	91	6,4

**JAS** : Jours après semis ; **Rdt (T/ha)** : Rendement grain (Tonnes par hectare). Source : INERA/CT/DRREA-O.

Un isolat de *Fusarium verticillioides*, un de *Aspergillus flavus* et un autre de *A. niger* ont été utilisés en antagonisme avec la souche de *T. harzianum*. Les espèces fongiques pathogènes ont été isolées des semences analysées. Ces espèces ont été les plus rencontrées dans les semences. La

souche de *T. harzianum* a, quant à elle, été isolée à partir d'un échantillon de sol prélevé dans la rhizosphère d'une parcelle d'oignon située dans le village de Tabtenga à l'Est de la ville de Ouagadougou au Burkina Faso. La souche a été séquencée puis conservée dans la mycothèque de Earth and Life Institute (ELI) de l'Université Catholique de Louvain (UCL) en Belgique sous le numéro d'accession 8129-THBFA.

L'enrobage des semences de maïs avec les conidies de *T. harzianum* a été réalisé en utilisant de l'argile blanche de type Kaolinite comme substance adhésive permettant de retenir les conidies sur les semences. Cette argile a été collectée dans le village de Kôrô situé à l'Est de la ville de Bobo-Dioulasso à environ 15 Km. Les particules d'argile ont été broyées dans un mortier et tamisées pour obtenir une poudre fine qui a ensuite été doublement stérilisée à 120°C pendant 30 minutes.

## **Méthodes**

### **Analyse sanitaire des semences de maïs**

L'analyse sanitaire des semences a été réalisée en utilisant la méthode du papier Buvard telle que décrite par Mathur et Kongsdal (2003). Deux cents grains par échantillon ont été analysés en 20 répétitions suivant les règles internationales en matière d'analyse sanitaire des semences (Mathur et Kongsdal, 2003). Pour chaque répétition, 10 grains de maïs ont été placés à équidistance sur trois couches de papier Buvard humidifié à l'eau distillée stérile tapissant le fond d'une boîte de Petri stérile. Les boîtes de Petri ainsi ensemencées ont ensuite été mises en incubation à 22°C sous un cycle alternatif de lumière proche ultraviolet et d'obscurité (12h/12h) pendant sept (07) jours pour favoriser le développement des champignons sur les grains. Au terme du temps d'incubation, les grains ont été individuellement observés sous une loupe stéréoscopique aux grossissements 16X et 25X pour détecter la présence de colonies fongiques et les identifier sur la base des caractéristiques morphologiques du mycélium et des organes de fructification. Lorsque l'identification directe est dubitative sous la loupe, des préparations entre lame et lamelles des colonies fongiques ont été effectuées puis observées au microscope optique aux grossissements 10X et 40X pour affiner l'identification. Le nombre de grains infecté par chaque espèce fongique a été relevé puis le taux d'infection de chaque échantillon de semences par chaque espèce fongique identifiée a été calculé par la formule suivante :

$$I_x (\%) = \left( \frac{NGI/x}{NTGA} \times 100 \right)$$

Avec : **I<sub>x</sub> (%)**: Taux d'infection des semences par l'espèce x ; **NGI/x**: Nombre de grains infectés par l'espèces x ; **NTGA**: Nombre total de grains analysés.

### ***Effet antagoniste in vitro de T. harzianum sur les champignons rencontrés sur les semences***

*Fusarium verticillioides*, *Aspergillus niger* et *A. flavus* ont été les trois principales espèces rencontrées dans les échantillons et connues comme responsables de fontes de semis, de retards de croissance et de production de mycotoxines. L'activité antagoniste des isolats de *T. harzianum* vis-à-vis de ces espèces a été étudiée *in vitro* en co-culture par confrontation directe selon la méthode de Meraj-ul-Haque *et.al*, (2012). Dans des boîtes de Petri de 90 mm de diamètre contenant 15 ml du milieu PDA, des explants mycéliens de 6 mm de diamètre de chaque espèce pathogène et de l'antagoniste ont été déposés sur un même axe à équidistance du centre de la boîte de Petri. La distance qui sépare les deux explants est de 5 cm. Les boîtes de Petri ont été scellées et mises en incubation sous 12 h de lumière proche UV alternée avec 12 h d'obscurité à 22-25°C pendant 7 jours. Le témoin a été constitué par un repiquage du pathogène uniquement placé à 5 cm du centre de la boîte Petri. Chaque couple pathogène-antagoniste a été répété cinq (05) fois. Après sept jours, les rayons de croissance des colonies pathogènes dans l'axe séparant les deux explants ont été mesurés en présence ou non de la souche de *T. harzianum* et les coefficients d'antagonisme calculés par la formule suivante proposée par Meraj-ul-Haque *et.al*, (2012):

$$a = \left( 1 - \frac{R_{\text{trait}}}{R_{\text{tem}}} \right)$$

Avec : **a**: coefficient d'antagonisme ; **Rtem**: rayon moyen de croissance des pathogènes seuls sans *T. harzianum* ; **Rtrait**: rayon moyen de croissance des pathogènes en présence de *T. harzianum*.

### ***Effet in vivo de T. harzianum sur la levée et la croissance du maïs***

La méthode utilisée pour évaluer l'effet de *T. harzianum* sur la levée des plants de maïs et sur la croissance des plantes a été l'enrobage des semences avec les conidies du champignon suivi de leur mise en terre et leur entretien pendant 25 jours. A partir d'une culture de la souche de *Trichoderma*, une suspension conidienne a été préparée avec de l'eau distillée plus Tween 80 (0.1%) en conditions aseptiques sous une hotte à flux laminaire. La suspension des spores obtenue, titrée puis ajustée à 10<sup>9</sup> spores/ml a été utilisée comme inoculum. Dans un bécher de 500 ml contenant 10 g d'argile blanche humidifiée avec 5ml d'eau distillée stérile, 25 grains de maïs de chaque variété ont été introduits. Trois (03) ml de l'inoculum de *T. harzianum* précédemment préparé a été ajouté dans chaque bécher. L'ensemble du contenu du bécher a été ensuite convenablement remué à l'aide d'une spatule pour assurer l'adhésion entre les grains de maïs et les conidies de *T. harzianum*, l'argile jouant un rôle de liant. Les semences témoins ont été enrobées avec l'argile sans inoculation avec *T. harzianum*.

Les grains ainsi enrobés ont été séchés sous hotte à flux laminaires pendant trois heures. Les grains enrobés ont été semés dans des pots contenant un substrat composé d'un mélange de sable, de compost et de terreau collecté dans le milieu paysan dans les proportions de 1/5, 1/5, et 3/5. Le substrat a été préalablement stérilisé à la vapeur d'eau pendant trois heures dans des barriques. Après refroidissement, le substrat a été réparti dans les pots à raison de 4 Kg par pot. Les semis ont été réalisés dans les pots à raison de cinq grains par pot. Chaque échantillon a été testé en blocs complets randomisés suivants trois traitements répétés cinq (05) fois : (i) grains non enrobés (témoin), (ii) grains enrobés à l'argile sans *T. harzianum*, (iii) grains enrobés à l'argile en présence des conidies de *T. harzianum*. Chaque pot faisant office d'une répétition, cela donne un total de 12 pots utilisés par échantillon de semences et 72 pots pour l'ensemble de l'essai. Après semis, les pots ont été entreposés à l'air libre et arrosés quotidiennement pendant 24 jours. Le nombre de plants levés par pot a été relevé cinq (05) jours après semis. Au 24<sup>ième</sup> jour après semis, les plants ont été arrachés après humidification complète des pots et les paramètres suivants mesurés ; (i) longueur des plantes, (ii) longueur des racines (iii) nombre de feuilles formées (iv) biomasse totale des plants de chaque pot.

### **Traitement des données**

Les moyennes des données collectées des différentes manipulations ont été calculées avec le logiciel EXCEL. Les moyennes obtenues ont été comparées par une analyse de variance en utilisant le test de comparaison multiple de Student-Newman-Keuls au seuil de 5% effectué avec le logiciel IBM SPSS version 22.

### **Résultats**

#### **Analyse sanitaire des semences**

L'analyse sanitaire des semences de maïs a révélé que tous les échantillons sont contaminés par des champignons à des taux d'infection variables. Huit (08) espèces issues de sept (07) genres fongiques ont été retrouvées dans les échantillons de semences des six (06) variétés de maïs analysées. Ce sont : *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Bipolaris maydis*, *Cuicularia lunata*, *Exserohilum rostratum*, *Fusarium verticillioides*, *Penicillium sp.* et *Rhizopus sp.* (Tableau 2). Les taux d'infections ont varié de 0% jusqu'à 89,5% pour *Fusarium verticillioides* sur la variété Wari (Tableau 2). Quelque soit la variété analysée, *Fusarium verticillioides* a présenté les taux d'infection les plus élevés et *Exserohilum rostratum* les plus faibles taux (Tableau 2). Parmi ces espèces fongiques identifiées, *Fusarium verticillioides*, *Aspergillus flavus* et *A. niger* sont connues comme des espèces causant des fontes de semis et produisant des mycotoxines et ont

été identifiées à des taux d'infection supérieurs à 10% en dehors de *A. niger* sur la variété Wari (Tableau 2).

**Tableau 2.** Taux d'infection (%) des échantillons de semences par les espèces fongiques identifiées

Espèces fongiques	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6
<i>Aspergillus flavus</i>	28,3 <sup>c</sup>	57,3 <sup>c</sup>	13,0 <sup>b</sup>	18,3 <sup>c</sup>	22,0 b	14,3 <sup>c</sup>
<i>A. niger</i>	54,5 <sup>d</sup>	64,8 <sup>d</sup>	12,5 <sup>b</sup>	43,5 <sup>e</sup>	20,0 b	8,3 <sup>b</sup>
<i>Bipolaris maydis</i>	2,0 <sup>a</sup>	2,8 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	5,3 a	4,0 <sup>a</sup>
<i>Curvularia lunata</i>	3,8 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	1,5 <sup>ab</sup>	2,3 a	1,5 <sup>a</sup>
<i>Exserohilum rostratum</i>	1,0 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,5 a	0,0 <sup>a</sup>
<i>Fusarium verticillioides</i>	51,5 <sup>d</sup>	88,5 <sup>e</sup>	60,8 <sup>d</sup>	71,0 <sup>f</sup>	61,8 c	89,5 <sup>e</sup>
<i>Penicillium</i> sp.	28,5 <sup>c</sup>	17,5 <sup>b</sup>	18,0 <sup>c</sup>	28,0 <sup>d</sup>	6,8 a	26,3 <sup>d</sup>
<i>Rhizopus</i> sp.	12,0 <sup>b</sup>	16,0 <sup>b</sup>	0,0 <sup>a</sup>	8,3 <sup>b</sup>	6,3 a	0,0 <sup>a</sup>
<b>Valeur de F</b>	106,7	259,2	180,8	133,6	118,6	427,6
<b>Stat. Probabilité</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Signification</b>	HS	HS	HS	HS	HS	HS

**Stat.:** Valeurs statistiques, **Ech1:** Barka, **Ech2:** Bondofa, **Ech3:** Espoir, **Ech4:** Komsaya, **Ech5:** SR21, **Ech6:** Wari. Les chiffres dans une même colonne, affectés de la (des) même(s) lettre(s) alphabétique(s) ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Student Newman et Keuls)

### *Effet antagoniste in vitro de T. harzianum sur les champignons rencontrés*

Les rayons moyens de croissance de *Fusarium verticillioides*, *Aspergillus niger* et *A. flavus* mis en co-culture en confrontation directe avec *Trichoderma harzianum* sont consignés dans le tableau 3. L'analyse du tableau indique que *F. verticillioides* et *A. flavus* croissent plus vite sur milieu PDA en présence comme en absence de l'antagoniste (Tableau 3). Les coefficients d'antagonisme exercé par *Trichoderma harzianum* sur les trois espèces fongiques pathogènes ont été de 0,61 ; 0,71 et 0,86 respectivement sur *A. flavus*, *F. verticillioides* et *A. niger*. *Trichoderma harzianum* a significativement réduit la croissance de *A. niger* par rapport aux deux autres espèces pour lesquelles il n'y a pas eu de différence significative (Tableau 3).

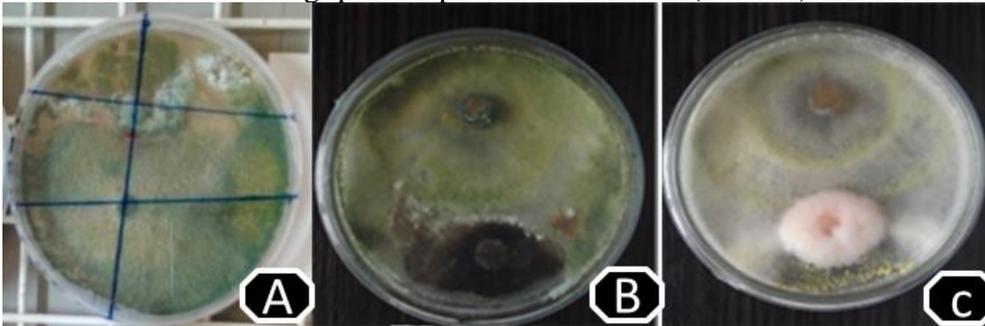
**Tableau 3.** Croissance radiale de *A. flavus*, *F. verticillioides* et *A. niger* et coefficients d'antagonisme de *T. harzianum* sur les 3 agents pathogènes en confrontation directe *in vitro*.

Traitements	Croissance radiale (cm)	a
<i>A. Flavus</i> seul	7,8 <sup>d</sup>	-
<i>F.verticillioides</i> seul	8,4 <sup>d</sup>	-
<i>A. niger</i> seul	7,0 <sup>c</sup>	-
<i>A. Flavus</i> + <i>T. harzianum</i>	2,5 <sup>b</sup>	0,68 <sup>a</sup>
<i>F.verticillioides</i> + <i>T. harzianum</i>	2,4 <sup>b</sup>	0,71 <sup>a</sup>
<i>A. niger</i> + <i>T. harzianum</i>	1,0 <sup>a</sup>	0,86 <sup>b</sup>
<b>Valeur de F</b>	<b>188,142</b>	<b>10,703</b>
<b>Stat. Probabilité</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>

Signification	HS	S
Stat.: Valeurs statistiques		

Les chiffres dans une même colonne, affectés de la (des) même(s) lettre(s) alphabétique(s) ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Student Newman Keuls).

Au-delà d'une période de sept jours d'incubation, *Trichoderma harzianum* envahit les colonies fongiques et sporule sur celles-ci (Photo 2).



**Photo 2.** Aspects de la croissance des espèces fongiques en co-culture  
**A:** *Trichoderma* et *A. flavus*, **B:** *Trichoderma* et *A. niger*, **C:** *Trichoderma* et *F. verticillioides*.

### ***Effet in vivo de T. harzianum sur la levée et la croissance des plants de maïs***

Les tableaux 4 à 9 présentent les résultats des différents paramètres de croissance des différentes variétés relevés en fonction des traitements subis par les grains.

#### **Au niveau de la variété Barka**

Les résultats sur l'émergence des plantules, la longueur des plantes, la longueur des racines, le nombre de feuilles formées et la biomasse fraîche totale de la variété Barka en fonction des trois traitements sont consignés dans le tableau 4. Le nombre moyen de plantules levées a varié de 2,6 pour les semences non enrobées à 4,8 pour les semences enrobées avec *T. harzianum*. Les semences enrobées avec l'argile simple ont enregistré 3 plantules levées. L'enrobage des semences avec les conidies de *T. harzianum* a permis d'améliorer significativement le nombre de plantules levées, la longueur des plantes et des racines et la biomasse totale fraîche par rapport aux grains non enrobées. Le traitement n'a toutefois pas permis d'accroître significativement le nombre de feuilles formées (Tableau 4). L'enrobage des semences avec l'argile uniquement n'a pas modifié significativement les paramètres mesurés comparés aux semences non enrobées (Tableau 4).

**Tableau 4.** Paramètres de croissance des plantules de la variété **Barka**

Traitements	Paramètres de croissance					
	NPL	LP (cm)	LR (cm)	NFF	PP (g)	
Grains non enrobés	2,6 <sup>a</sup>	98,06 <sup>a</sup>	39,77 <sup>a</sup>	7,44 <sup>a</sup>	28,40 <sup>a</sup>	
Grains enrobés - <i>Trichoderma</i>	3,0 <sup>a</sup>	105,72 <sup>a</sup>	43,03 <sup>a</sup>	7,52 <sup>a</sup>	33,26 <sup>a</sup>	
Grains enrobés + <i>Trichoderma</i>	4,8 <sup>b</sup>	131,09 <sup>b</sup>	67,73 <sup>b</sup>	7,88 <sup>a</sup>	51,91 <sup>b</sup>	
<b>F. values</b>	<b>20,6</b>	<b>19,2</b>	<b>33,1</b>	<b>01,9</b>	<b>34,4</b>	
<b>Statistiques</b>	<b>P. values</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,19</b>	<b>0,000</b>
	<b>Signification</b>	<b>HS</b>	<b>HS</b>	<b>HS</b>	<b>NS</b>	<b>HS</b>

**NPL** : nombre de plantules levées ; **LP** : longueur des plantes ; **LR** : longueur des racines ; **NFF** : nombre de feuilles formées ; **PP** : poids du plant ; **HS** : Hautement significatif ; **NS** : non significatif. Les chiffres dans une même colonne et pour une même variété, affectés de la (des) même(s) lettre(s) alphabétique(s) ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Student Newman Keuls).

### Au niveau de la variété Bondofa

Les résultats sur l'émergence des plantules, la longueur des plantes, la longueur des racines, le nombre de feuilles formées et la biomasse fraîche totale de la variété Bondofa en fonction des trois traitements sont consignés dans le tableau 5. Le nombre moyen de plantules levées a varié de 2,8 pour les semences non enrobées à 4,4 pour les semences enrobées avec *T. harzianum*. Les semences enrobées avec l'argile simple ont enregistré 3,2 plantules levées (Tableau 5). A l'exception du nombre de feuilles formées, l'enrobage des semences au *Trichoderma* a permis d'accroître l'ensemble des paramètres mesurés par rapport aux témoins sans *Trichoderma* (Tableau 5). L'enrobage des semences avec l'argile uniquement a présenté des chiffres plus élevés pour tous les paramètres mais les différences avec ceux des semences non enrobées n'ont pas été significatives.

**Tableau 5.** Paramètres de croissance des plantules de la variété **Bondofa**

Traitements	Paramètres de croissance					
	NPL	LP (cm)	LR (cm)	NFF	PP (g)	
Grains non enrobés	2,8 <sup>a</sup>	92,38 <sup>a</sup>	31,06 <sup>a</sup>	7,3 <sup>a</sup>	24,63 <sup>a</sup>	
Grains enrobés - <i>Trichoderma</i>	3,2 <sup>a</sup>	106,16 <sup>a</sup>	31,97 <sup>a</sup>	7,7 <sup>a</sup>	32,04 <sup>a</sup>	
Grains enrobés + <i>Trichoderma</i>	4,4 <sup>b</sup>	128,45 <sup>b</sup>	60,75 <sup>b</sup>	8,1 <sup>a</sup>	73,10 <sup>b</sup>	
<b>F. values</b>	<b>14,9</b>	<b>12,1</b>	<b>80,9</b>	<b>1,7</b>	<b>64,6</b>	
<b>Statistiques</b>	<b>P. values</b>	<b>0,00</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,24</b>	<b>0,001</b>
	<b>Signification</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>HS</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>

**NPL** : nombre de plantules levées ; **LP** : longueur des plantes ; **LR** : longueur des racines ; **NFF** : nombre de feuilles formées ; **PP** : poids du plant ; **HS** : Hautement significatif ; **NS** : non significatif. Les chiffres dans une même colonne et pour une même variété, affectés de la (des) même(s) lettre(s) alphabétique(s) ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Student Newman Keuls).

### Au niveau de la variété Espoir

Le tableau 6 présente les résultats des paramètres de croissance des plantes issues des semences non enrobées, celles enrobées avec l'argile uniquement et celles enrobées avec l'argile en présence des conidies de *T. harzianum*. Selon ce tableau le nombre de plantules levées est compris entre 2,8 pour les semences enrobées avec l'argile seule et 5 pour les semences enrobées à l'argile en présence du *Trichoderma*. L'émergence des plantules, la longueur totale des plantes et des racines ont été significativement améliorés par rapport aux semences n'ayant pas reçu le *Trichoderma* (Tableau 6). Au niveau des racines, les plantes issues des semences enrobées avec l'argile uniquement ont présenté des longueurs significativement plus grandes que celles issues des semences non enrobées (Tableau 6). Au niveau du nombre de feuille formées et de la biomasse fraîche, l'analyse statistique n'a pas décelé de différence significative entre les différents traitements (Tableau 6).

**Tableau 6.** Paramètres de croissance des plantules de la variété **Espoir**

Traitements	Paramètres de croissance					
	NPL	LP (cm)	LR (cm)	NFF	PP (g)	
Grains non enrobés	3,4 <sup>a</sup>	99,95 <sup>a</sup>	42,10 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>	21,25 <sup>a</sup>	
Grains enrobés - <i>Trichoderma</i>	2,8 <sup>a</sup>	100,93 <sup>a</sup>	47,00 <sup>b</sup>	7,4 <sup>a</sup>	24,95 <sup>a</sup>	
Grains enrobés + <i>Trichoderma</i>	5,0 <sup>b</sup>	119,30 <sup>b</sup>	53,25 <sup>c</sup>	7,6 <sup>a</sup>	37,69 <sup>a</sup>	
<b>F. values</b>	<b>19,4</b>	<b>29,6</b>	<b>17,1</b>	<b>2,1</b>	<b>16,8</b>	
Statistiques	<b>P. values</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,16</b>	<b>0,00</b>
	<b>Signification</b>	<b>HS</b>	<b>HS</b>	<b>HS</b>	<b>NS</b>	<b>HS</b>

**NPL** : nombre de plantules levées ; **LP** : longueur des plantes ; **LR** : longueur des racines ; **NFF** : nombre de feuilles formées ; **PP** : poids du plant ; **HS** : Hautement significatif ; **NS** : non significatif. Les chiffres dans une même colonne et pour une même variété, affectés de la (des) même(s) lettre(s) alphabétique(s) ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Student Newman Keuls).

### Au niveau de la variété Komsaya

L'émergence des plantules, la longueur des plantes et des racines, le nombre de feuilles formées et la biomasse fraîche de la variété Komsaya sont consignés dans le tableau 7. Selon ce tableau, le nombre de feuilles formées ainsi que le nombre de plantules levées n'ont pas été significativement différents selon les différents traitements (Tableau 7).

**Tableau 7.** Paramètres de croissance des plantules de la variété **Komsaya**

Traitements	Paramètres de croissance				
	NPL	LP (cm)	LR (cm)	NFF	PP (g)
Grains non enrobés	3,6 <sup>a</sup>	97,52 <sup>a</sup>	38,83 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	28,01 <sup>a</sup>
Grains enrobés - <i>Trichoderma</i>	3,6 <sup>a</sup>	106,98 <sup>a</sup>	43,95 <sup>a</sup>	7,7 <sup>a</sup>	30,56 <sup>a</sup>
Grains enrobés + <i>Trichoderma</i>	4,6 <sup>a</sup>	131,94 <sup>b</sup>	63,79 <sup>b</sup>	8,0 <sup>a</sup>	45,80 <sup>b</sup>

	<b>F. values</b>	<b>2,1</b>	<b>13,8</b>	<b>35,4</b>	<b>0,6</b>	<b>9,6</b>
<b>Statistiques</b>	<b>P. values</b>	<b>0,16</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,58</b>	<b>0,003</b>
	<b>Signification</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>	<b>HS</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>

**NPL** : nombre de plantules levées ; **LP** : longueur des plantes ; **LR** : longueur des racines ; **NFF** : nombre de feuilles formées ; **PP** : poids du plant ; **HS** : Hautement significatif ; **NS** : non significatif. Les chiffres dans une même colonne et pour une même variété, affectés de la (des) même(s) lettre(s) alphabétique(s) ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Student Newman Keuls).

### Au niveau de la variété SR21

Les résultats sur l'émergence des plantules, la longueur des plantes, la longueur des racines, le nombre de feuilles formées et la biomasse fraîche totale de la variété SR21 en fonction des trois traitements sont consignés dans le tableau 8. Le nombre moyen de plantules levées a varié de 3,2 pour les semences non enrobées à 5,0 pour les semences enrobées avec *T. harzianum*. Les semences enrobées avec l'argile simple ont enregistré 3 plantules levées. (Tableau 8). L'enrobage des semences avec les conidies de *T. harzianum* a permis d'améliorer significativement le nombre de plantules levés, la longueur des plantes et des racines et la biomasse totale fraîche par rapport aux grains non enrobés (Tableau 8). L'analyse statistique n'a pas révélé de différence significative entre les traitements au niveau du nombre de feuilles formées (Tableau 8). L'enrobage des semences avec l'argile uniquement n'a pas modifié significativement les paramètres mesurés comparés aux semences non enrobées (Tableau 8).

**Tableau 8.** Paramètres de croissance des plantules de la variété SR21

Traitements	Paramètres de croissance					
	NPL	LP (cm)	LR (cm)	NFF	PP (g)	
Grains non enrobés	3,2 <sup>a</sup>	100,57 <sup>a</sup>	36,19 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>	26,61 <sup>a</sup>	
Grains enrobés - <i>Trichoderma</i>	3,4 <sup>a</sup>	103,52 <sup>a</sup>	43,48 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	27,82 <sup>a</sup>	
Grains enrobés + <i>Trichoderma</i>	5,0 <sup>b</sup>	130,92 <sup>b</sup>	59,78 <sup>b</sup>	7,8 <sup>a</sup>	44,14 <sup>b</sup>	
	<b>F. values</b>	<b>29,2</b>	<b>7,3</b>	<b>18,6</b>	<b>0,7</b>	<b>9,2</b>
<b>Statistiques</b>	<b>P. values</b>	<b>0,00</b>	<b>0,008</b>	<b>0,000</b>	<b>0,56</b>	<b>0,004</b>
	<b>Signification</b>	<b>HS</b>	<b>S</b>	<b>HS</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>

**NPL** : nombre de plantules levées ; **LP** : longueur des plantes ; **LR** : longueur des racines ; **NFF** : nombre de feuilles formées ; **PP** : poids du plant ; **HS** : Hautement significatif ; **NS** : non significatif. Les chiffres dans une même colonne et pour une même variété, affectés de la (des) même(s) lettre(s) alphabétique(s) ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Student Newman Keuls).

### Au niveau de la variété Wari

Le tableau 9 présente les résultats des paramètres de croissance des plantes issues des semences non enrobées, celles enrobées avec l'argile uniquement et celles enrobées avec l'argile en présence des conidies de *T. harzianum*. Selon ce tableau le nombre de plantules levées est compris entre

3,4 pour les semences non enrobées et 5 pour les semences enrobées à l'argile en présence du *Trichoderma*. L'émergence des plantules, la longueur totale des plantes et des racines et la biomasse fraîche ont été significativement améliorés par rapport aux semences n'ayant pas reçu le *Trichoderma* (Tableau 9). Au niveau de la levée, les plantes issues des semences enrobées avec l'argile uniquement ont présenté une levée de plantules significativement supérieure à la levée de celles issues des semences non enrobées (Tableau 9). Au niveau du nombre de feuille formées, l'analyse statistique n'a pas décelé de différence significative entre les différents traitements (Tableau 9).

**Tableau 9.** Paramètres de croissance des plantules de la variété SR21

Traitements	Paramètres de croissance				
	NPL	LP (cm)	LR (cm)	NFF	PP (g)
Grains non enrobés	3,4 <sup>a</sup>	93,71 <sup>a</sup>	41,82 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>	29,20 <sup>a</sup>
Grains enrobés - <i>Trichoderma</i>	3,8 <sup>ab</sup>	96,08 <sup>a</sup>	43,68 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	29,27 <sup>a</sup>
Grains enrobés + <i>Trichoderma</i>	4,6 <sup>b</sup>	124,50 <sup>b</sup>	59,62 <sup>b</sup>	7,8 <sup>a</sup>	48,60 <sup>b</sup>
<b>F. values</b>	<b>4,3</b>	<b>12,3</b>	<b>12,6</b>	<b>0,6</b>	<b>16,1</b>
<b>Statistiques</b>	<b>P. values</b>	<b>0,01</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,56</b>
	<b>Signification</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>NS</b>

**NPL** : nombre de plantules levées ; **LP** : longueur des plantes ; **LR** : longueur des racines ; **NFF** : nombre de feuilles formées ; **PP** : poids du plant ; **HS** : Hautement significatif ; **NS** : non significatif. Les chiffres dans une même colonne et pour une même variété, affectés de la (des) même(s) lettre(s) alphabétique(s) ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Student Newman Keuls).

## Discussion

La présence des espèces de moisissures sur les grains de maïs affecte la valeur culturale du grain lorsqu'il est utilisé comme semence et sa valeur nutritive lorsqu'il entre dans l'alimentation humaine et animale. Trouver une solution aux moisissures des grains de maïs permettrait une bonne relance de cette filière agricole au Burkina et une réduction importante de l'exposition des populations aux mycotoxines. L'objectif de cette étude a été de contribuer à la recherche d'une solution durable et écologique aux problèmes des moisissures infectant les grains de maïs.

L'analyse sanitaire des semences des différents échantillons a permis d'identifier quatre (04) principales espèces de moisissures dans les semences de maïs qui sont, par ordre d'importance, *Fusarium verticillioides*, *Aspergillus niger*, *A. flavus* et *Penicillium sp.* Ces résultats sont en accord avec ceux de de Ishrat & Shahnaz, (2009) au Pakistan et ceux de Dao (2013) qui a identifié majoritairement ces mêmes espèces fongiques dans des échantillons de semences de maïs issues du milieu paysan Burkinabè. Ils corroborent également avec les travaux de Compaoré et al. (2021b) qui a rapporté que les genres *Aspergillus*, *Fusarium* et *Penicillium* sont toujours

les plus fréquents et les plus abondants dans les semences de maïs au Burkina.

*Fusarium verticillioides* a été le plus important des champignons rencontrés dans les semences à des taux d'infection compris entre 51,5 et 89,5%. Ce résultat est également en accord avec ceux obtenus par Dao (2013) qui a montré la présence de *Fusarium verticillioides* sur cent seize (116) échantillons de maïs analysés avec un taux d'infection variant entre 20 et 66,7%. *Fusarium verticillioides* est connue comme un champignon responsable de la pourriture des semences et de l'épi du maïs (Moss, 2009). Ce champignon sécrète également des mycotoxines comme la fumonisine qui provoque une entérite catarrhale, une nécrose hépatique, une atrophie villositaire dans les intestins, une déplétion lymphoïde et un rachitisme. Il produit également de la moniliformine dont l'absorption élevée peut provoquer une nécrose aiguë du myocarde, une néphrose et la mort (Pitt, 2014 ; Chavez Hernandez, 2014). Cette présence élevée de *F. verticillioides* dans les échantillons de semences de maïs constitue donc un risque élevé pour les producteurs et les consommateurs de maïs du Burkina Faso.

*Aspergillus niger* est un champignon couramment rencontré dans les semences d'oignon entraînant une réduction de la germination des graines (Nagerabi et abdalla, 2004 ; Dabiré et al., 2021). Les conditions chaudes et humides favoriseraient la croissance et l'infectiosité de *A. niger* (Nagerabi et abdalla, 2004 ; Dabiré et al., 2021). La présence de ce champignon dans les semences de maïs au Burkina Faso pourrait expliquer en partie l'apparition de la fonte des semis et des retards de croissance des plantes de maïs au champ. *Aspergillus niger* produirait également de l'Ochratoxine A ayant des propriétés cancérigènes et néphrotoxiques (Moss, 2009).

*Aspergillus flavus* a été très fréquent (tous les échantillons analysés) dans les semences à des taux d'infection non négligeables. Ce résultat corrobore avec celui de Compaoré et al. (2021b) qui a obtenu 23 isolats de *A. flavus* dans un cortège de champignons isolés sur des grains de maïs au Burkina Faso. *A. flavus* est particulièrement dangereux sur les semences car il produit plusieurs types d'aflatoxines à des taux pouvant atteindre 70,73µg/kg (Compaoré et al., 2021b).

Ces trois espèces fongiques doivent faire l'objet d'un contrôle adéquat qui soit efficace, durable et accessible aux petits producteurs. C'est ce qui a conduit à tester sur ces espèces, l'action antagoniste de *T. harzianum*.

Les résultats obtenus à l'issue de ce test révèlent que la souche locale de *T. harzianum* du Burkina Faso possède un pouvoir inhibiteur sur la croissance mycélienne de *Fusarium verticillioides*, *Aspergillus niger* et *Aspergillus flavus* avec des coefficients d'antagonismes tous supérieurs à 0,6. Ce résultat confirme l'action antagoniste de cette souche qui a été testée

dans les mêmes conditions contre *A. niger*, *Fusarium oxysporum* et *Fusarium solani* isolées sur l'oignon (Dabiré et al., 2016b). Ces résultats vont également dans le même sens que ceux de Malathi et Mohan (2011) qui ont montré que *T. harzianum* possède un fort pouvoir d'inhibition contre *F. oxysporum f.sp cepae* (82,77 %). Cette inhibition sur la croissance mycélienne pourrait s'expliquer par une importante lyse du mycélium des espèces pathogènes par les espèces antagonistes (Bekkar, 2016). Selon Caron (2002) l'antagonisme de *Trichoderma* sur les autres espèces fongiques résulteraient de l'antibiose (production de métabolites toxiques), de la compétition (utilisation plus rapide des nutriments du milieu par le *Trichoderma* au détriment des autres espèces fongiques du milieu) et du parasitisme (capacité qu'a *Trichoderma* de séquestrer et détruire les parois cellulaires (chitinases) des autres champignons). Le challenge réside dans la rencontre entre l'antagoniste et le pathogène en conditions réelles. C'est ainsi que les semences de maïs portant déjà les espèces de moisissures ont été enrobées avec la solution argileuse contenant les conidies de *T. harzianum*.

L'enrobage des semences de maïs avec les conidies de *T. harzianum* a permis d'améliorer le nombre plants levés de 5 échantillons sur les 6 testés par rapport aux semences non traitées. Les longueurs des plantes et des racines ont été significativement plus élevées que ce celles des plantes issues des semences non enrobées pour l'ensemble des six échantillons. Ces résultats sont conformes à ceux de Gasoni et al. (2008) qui ont observé une amélioration du nombre de plantules et du poids frais de la betterave de table en semant des graines de betterave enrobées d'un isolat de *T. harzianum*. Des enrobages bioplastiques de grains de maïs utilisant des conidies de *T. harzianum* ont permis de stimuler la germination, l'émergence et la croissance des plantules (Accinelli et al., 2016). La levée et les paramètres de croissance du haricot ont également été améliorés en enrobant leurs semences avec des spores de *T. harzianum* (Hoyos-carvajal et al., 2009). Hibar et al (2007) ont montré que l'apport de cet antagoniste au substrat de culture utilisé pour l'élevage des plants de tomate a empêché l'expression de *F. oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* et par conséquent a fortement réduit l'incidence des fontes de semis et le développement de la fusariose tout en améliorant la croissance des plants de tomate. Suite à des travaux en serre, Carvalho et al (2014) ont montré que la suspension conidienne de *T. harzianum* utilisés dans le traitement des semences de haricot commun réduisait considérablement la fonte des semis causée par *F. oxysporum f. sp. phaseoli* et améliorerait la germination des graines. Plus récemment en Argentine, l'épandage de suspensions à base de *T. harzianum* a permis mieux protéger et d'accroître la production d la tomate et du blé (Monaco, 2021). L'enrobage de semences de blé avec *T. harzianum* et leur développement sur substrat inoculé avec *Fusarium graminearum* a favorisé

significativement l'émergence des plantules, la hauteur des plantes et le poids sec trois semaines après semis (Dal Bello, 2002) .

Selon des auteurs, les propriétés de promotion de la croissance végétale par *Trichoderma harzianum* résultent de la production d'hormones de croissance comme l'acide indole-3-acétique, l'indole-3-acétaldéhyde et l'indole-3-éthanol, qui affectent les paramètres de croissance des plantes (Contreras-Cornejo et al., 2009), la conversion des phosphates insolubles en phosphate directement utilisable par les plantes (Hoyos-carvajal et al., 2009) et la stimulation des plantes à synthétiser des phytoalexines, des protéines PR et d'autres composés (Ortega-Garcia et al., 2015). L'expression de toutes ces propriétés d'antagonisme et de promotion de la croissance végétale par les espèces de *Trichoderma* n'est toutefois pas systématique. En effet, Yedidia, (2001) a fait remarquer qu'elles dépendent fortement des conditions environnementales comme la température et le pH du milieu qui doivent donc être considérées dans la mise au point de la technologie.

## Conclusion

Cette étude a permis d'identifier *Fusarium verticillioides*, *Aspergillus niger* et *A. flavus* comme étant les principales espèces de moisissures présentes dans les grains de maïs produits au Burkina Faso. Ces espèces sont connues comme responsables de fontes de semis, de retards de croissance des plantules et comme productrices de mycotoxines dont la consommation est dangereuse pour la santé humaine et animale.

La croissance *in vitro* de ces espèces a été inhibée à plus de 50% par une souche locale de *Trichoderma harzianum* qui a, par ailleurs, permis d'améliorer significativement la levée et la croissance des plantules de maïs obtenues de semences enrobées avec ses conidies.

Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes dans la recherche d'une solution durable et écologique aux problèmes parasitaires fongiques provenant des semences et/ou du sol.

En attendant de confirmer les propriétés de cette souche de *Trichoderma* à grande échelle, il convient d'évaluer l'effet des conditions environnementales sur son action et de rechercher une méthode efficace pour sa multiplication et sa conservation.

## Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements au personnel du Laboratoire Sy.N.A.I.E de l'Université Nazi Boni, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso et au Programme PRD de l'ARES-Belgique pour le financement des activités.

**Conflits d'intérêts:** Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt.

### References:

1. Accinelli, C., Abbas, H.K., Little, N.S., Kotowicz, J.K., Mencarelli, M., & Shier, W.T. (2016). A liquid bioplastic formulation for film coating of agronomics seeds. *Crop protection*, 89, 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.010>
2. Bambara, A. (2021). Characterization of *Bacillus* sp. strains with antifungal activities against *Aspergillus* section *Flavi* contaminating maize. [Mémoire de Master non publié], Université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso.
3. Bekkar, A.A. (2016). Pouvoir antagoniste et mode d'action de *Trichoderma* vis-à-vis de quelques champignons phytopathogènes [Thèse de Doctorat, Université Mustapha Stambouli Mascara, Algérie], <http://www.secheresse.info/spip.php?article79994>
4. Bonzi, S., Somda, I., Zida, E., Sereme, P., & Adam, T. (2012). Effect of plant aqueous extract of *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. on seed germination and its efficacy in controlling *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema Dorenbosch and Van Kesteren transmission from naturally infected seed to sorghum plant organs and grains in field. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 45 (20), 2429-2436. <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2012.728056>
5. Bonzi, S., Somda, I., Sereme, P., & Adam T. (2013). Efficacy of essential oil of *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. *Lippia multiflora* Moldenke and hot water in the control of seed-borne fungi *Phoma sorghina* and effects on *Sorghum bicolor* (L.) Moench seed germination and plants development in Burkina Faso. *Net Journal of Agricultural Science*, 1(4), 111-115. [http://www.netjournals.org/agricsci\\_voll\\_4.html](http://www.netjournals.org/agricsci_voll_4.html)
6. Caron, J., Laverdière, L., Thibodeau, P.O., & Bélanger, R.R. (2002). Utilisation d'une souche indigène de *Trichoderma harzianum* contre cinq agents pathogènes chez le concombre et la tomate de serre au Québec. *Phytoprotection*, 83, 73-87. <https://doi.org/10.7202/706230ar>
7. Carvalho, D.D.C., Junior, M.L., Martins, I., Inglis, P.W., & Mello, S.C.M. (2014). Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* by *Trichoderma harzianum* and its use for common bean seed treatment. *Tropical Plant Pathology*, 39(5), 384-391. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762014000500005>
8. Chaves Hernández, A.J. (2014). Poultry and Avian Diseases, Editor(s): Neal K. Van Alfen, Encyclopedia of Agriculture and Food

- Systems, Academic Press, Pages 504-520.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00183-2>
9. Compaoré, H., Samandougou, S., Tapsoba F. W., Bambara A., Ratongue H., Sawadogo I., Kaboré, D., Ouattara-Sourabié, P. B., & Sawadogo-Lingani H. (2021a). Aflatoxigenic potential of *Aspergillus* section Flavi isolated from maize seeds, in Burkina Faso. *African Journal of Microbiology Research*, 15(8), 420-428. DOI: 10.5897/AJMR2021.9553
  10. Compaoré, H., Samandougou, S., Ware, L. Y., Bambara A., Ratongue H., Sawadogo I., & Sawadogo-Lingani H. (2021b). Identification of *Aspergillus* section Flavi and Fumigati in maize grown in Burkina Faso. *International Journal of Biosciences*, 18(6), 25-36. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/18.6.25-36>
  11. Contreras-Cornejo, H.A., Macias-Rodriguez, L., Corte's-Penagos, C., & Lopez-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 149, 1579-1592. <https://doi.org/10.1104/pp.108.130369>
  12. Dabiré, T.G., Bonzi, S., Somda, I. and Legrève, A., (2016). Evaluation of the potential of *Trichoderma harzianum* as a plant growth promoter and biocontrol agent against *Fusarium damping-off* in onion in Burkina Faso. *Asian Journal of plant pathology*, 10, 49-60. URL: <https://scialert.net/abstract/?doi=ajppaj.2016.49.60>
  13. Dabiré, T.G., Bonzi, S., Somda, I., & Legrève, A. (2016c). Evaluation in vitro de l'action antagoniste d'isolats de *Trichoderma harzianum* contre trois espèces fongiques pathogènes de l'oignon au Burkina Faso. *Tropicicultura*, 34(3), 313-322. <http://www.tropicicultura.org/text/v34n3/313.pdf>
  14. Dabiré, T.G., Neya B.F., S., Somda, I., & Legrève, A. (2021). Pathogenicity study of some seed-borne fungi of onion (*Allium cepa* L.) from Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(3), 1062-1072. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i3.17>
  15. Dal Bello, G.M., Monaco, C.I. & Simon, M.R. (2002). Biological control of seedling blight of wheat caused by *Fusarium graminearum* with beneficial rhizosphere microorganisms. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 18, 627-636. <https://doi.org/10.1023/A:1016898020810>
  16. Dao K. (2013). Etude de la variabilité de *Fusarium verticillioides* (Sacc.). Nirenberg isolé des semences paysannes de maïs au Burkina Faso et recherche de méthodes de lutte alternatives basées sur les extraits de plantes *in vitro*. [Mémoire d'Ingénieur non publié], Institut

- du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
17. Gary, J.S., & Hebbar, P.K. (2015). *Trichoderma*. Identification and agricultural applications. The American Phytopathological Society press. 3340 Pilot Knob Road. St Paul, Minnesota 55121 USA. Library of Congress Control number: 2015908956. International Standard book n°: 978-0-89054-484-6.
  18. Gasoni, L., Kahn, N., Yossen, V., Cozzi, J., Kobayashi, K., Babbitt, S., Barrera, V., & Zumelzu, G. (2008). Effect of soil solarization and biocontrol agents on plant stand and yield on table beet in Cordoba (Argentina). *Crop Protection*, 27(3-5), 337-342. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.06.004>
  19. Gautam, S.S., Kanchan, K., & Satsangi, G.P. (2015). Effect of *Trichoderma* species on germination and growth of Mungbean (*Vigna radiata* L.) and its antagonistic effect against fungal pathogens. *International Journal of Advanced Research*, 3 (2), 153-158. <https://ustboniface.libguides.com/citer/apa7#Article%20de%20p%C3%A9riodique>
  20. Hibar K., Daami-remadi, M., & Mahjoub, M. (2007). Induction of Resistance in Tomato Plants against *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* by *Trichoderma* spp. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 2, 47-58. [https://www.researchgate.net/publication/284079077\\_Induction\\_of\\_resistance\\_in\\_tomato\\_plants\\_against\\_Fusarium\\_oxysporum\\_fsp\\_radicis\\_lycopersici\\_by\\_Trichoderma\\_spp](https://www.researchgate.net/publication/284079077_Induction_of_resistance_in_tomato_plants_against_Fusarium_oxysporum_fsp_radicis_lycopersici_by_Trichoderma_spp)
  21. Hoyos-Carvaja, L., Orduz, S., & Bissett, J.D. (2009). Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biological Control*, 51(3), 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.07.018>
  22. Ishrat N., & Shahnaz D. (200). Detection of seed borne mycoflora in maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of botany*, 41(1), 443-451. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093118623>
  23. Malathi, S., & Mohan, S. (2011). Evaluation of biocontrol agents and organic amendments against onion basal rot caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*. *Madras Agricultural Journal*, 98, (10-12), 382-385. <https://www.amazon.com/Biological-control-onion-basal-disease/dp/3659144266>
  24. Mathur, S.B., & Kongsdal, O. (2003). Common laboratory seed health testing methods for detecting fungi, 1st Ed. Kandrups Bogtrkkeri Publication, Denmark.

25. Meraj-ul-Haque and Nandkar P.B. (2012). Antagonistic effect of rhizospheric *Trichoderma* isolates against tomato damping-off pathogen, *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*, *International Journal of Research in BioSciences (IJRBS)*, 1(2), 27-31. <http://www.ijrbs.in/index.php/ijrbs/article/view/51>
26. Ministère de l'Agriculture et Aménagements Hydro-agricoles / Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles (MAAH/DGESS). (2020). Annuaire des statistiques agricoles 2020. 437 p. (Pages 152, 305 & 322). [https://www.agriculture.bf/upload/docs/application/pdf/2021-07/annuaire\\_agriculture\\_2020\\_def.pdf](https://www.agriculture.bf/upload/docs/application/pdf/2021-07/annuaire_agriculture_2020_def.pdf)
27. Monaco, C. (2021). Biocontrol of fungal plant diseases by *Trichoderma* sp strains, as an alternative for sustainable production. Some trials with good results in Argentina. *Academics Letters, Article 4342*. <https://doi.org/10.20935/AL4342>
28. Moss, M. (2009). Toxigenic fungi, Editor(s): Clive de W. Blackburn, Peter J. McClure, In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Foodborne Pathogens (Second Edition), Woodhead Publishing, Pages 1042-1059, <https://doi.org/10.1533/9781845696337.3.1042>.
29. Nagerabi, S.A.F. & Abdalla, R.M. (2004). Survey of seed borne fungi of Sudanese variétés of onion, with new records, *Phytoparasitica*, 32(4), 413-416. <https://doi.org/10.1007/BF02979854>
30. Ortega-Garcia, J.G., Montes-Belmont, R., Rodriguez-Monroy, M., Ramirez-Trujillo, J.A., & Suarez-Rodriguez, R. (2015). Effect of *Trichoderma asperellum* applications and mineral fertilization on growth promotion and the content of phenolic compounds and flavonoids in onions. *Scientia Horticulturae*, 195, 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.027>
31. Pitt, J.I. (2014). Mycotoxins: Fumonisin, Editor(s): Yasmine Motarjemi, Encyclopedia of Food Safety, Academic Press, 2014, Pages 299-303, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00192-X>
32. Son, D., Zerbo, K.B.F., Bonzi, S., Legreve, A., Somda, I., & Schiffers B. (2018). Assessment of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Producers Exposure Level to Pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso). *International Journal of Environmental Research. And Public Health*, 15(2), 204, <https://doi.org/10.3390/ijerph15020204>
33. Velivelli, S.L.S., De Vos, P., Kromann, P., Declerck, S., & Prestwich, B.D. (2014). Biological control agents: from field to

- market, problems, and challenges. *Trends in Biotechnology*, 32(10), 493-496. DOI: 10.1016/j.tibtech.2014.07.002
34. Yedidia, I., Shrivasta, A.K., Kapulnik, Y., & Chet, I. (2001). Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentration and increased growth of cucumber plants. *Plant and Soil*, 235, 235–242. <https://doi.org/10.1023/A:1011990013955>