

Effet *in vitro* et *in vivo* de quelques  
fongicides sur différentes espèces de  
Dématiés pathogènes sur *Sorghum*  
*bicolor* (L.) Moench

Berber F.<sup>1</sup>, Ouazzani Touhami A.<sup>1</sup>, Douira A.<sup>1</sup>

1. Université Ibn Tofail, Laboratoire de Botanique et de Protection des Plantes,  
Département de Biologie, Faculté des Sciences, BP 133,  
14000 Kénitra, Maroc.  
fadwaberber@yahoo.fr, touhami01@hotmail.com, douiraaffal@hotmail.com



## Résumé

Les essais *in vitro* de sept fongicides sur les différentes espèces de *Bipolaris*, de *Curvularia* et d'*Alternaria* pathogènes sur le sorgho, ont révélé l'efficacité du tricyclazole et du mancozèbe sur l'inhibition de la sporulation et la germination des spores. Alors, qu'il faut de fortes doses pour inhiber la croissance mycélienne des différents pathogènes testés.

Des résultats ont également été obtenus *in vivo*. En effet, le traitement des feuilles de sorgho par les fongicides entraîne une protection importante des plantes. Ainsi, le traitement préventif des plantes par le mancozèbe et l'association mancozèbe+métalaxyl inhibe complètement *B. maydis*, *B. sorghicola*, *B. tetramera*, *B. sorokiniana* et *C. lunata* sur les feuilles de sorgho à la dose de 1000 ppm. Alors que *C. tuberculata* et *A. alternata* ne sont complètement inhibés qu'avec la combinaison mancozèbe+métalaxyl à la même dose. Tous les fongicides qui ont agi sur le développement des lésions foliaires provoquées par les pathogènes, apportés avant et après l'inoculation, sont capables d'empêcher ou de réduire la sporulation des *Bipolaris*, *C. lunata*, *C. tuberculata* et *A. alternata*. Les plantes inoculées par les pathogènes et traitées préventivement par le mancozèbe + métalaxyl, benomyl, mancozèbe et méthyl-thiophanate, ont montrés des poids secs élevés de 106 mg et 175 mg pour les différents pathogènes testés.

**Mots clefs :** Fongicide, *Bipolaris* spp, *Curvularia* spp, *Alternaria* spp, traitement, sorgho.

## فعالية بعض المبيدات الفطرية ضد مجموعة من الفطريات الطفيلية للذرة البيضاء (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

فدوى بربر، أمينة وزاني تهامي وعلال أدويرة.

### ملخص

بينت الأبحاث المخبرية أن استعمال سبع مبيدات فطرية على مجموعة من الفطريات الطفيلية للذرة البيضاء فعالية منكوزب وترسكلازول على نقص عملية *Curvularia*, *Alternaria*, *Bipolaris* تبويغ الفطريات. لكن لابد من زيادة كمية المبيدات للنقص من نمو الغزل الفطري.

أثبتت النتائج أن رش نباتات الذرة بالمبيدات الفطرية يمكن حمايتها من الأمراض. الرش الوقائي ب *mancozebe+métalaxyl*, *mancozebe* (كمية المبيد 1000ppm) *B. maydis*, *B. sorghicola*, *B. tetramera*, *B. sorokiniana* التالية *C. lunata*, *C. tuberculata* et *A. alternata* تمكن من حماية الذرة ضد الفطر *mancozebe+métalaxyl* باستعمال نفس كمية المبيد. جميع المبيدات الفطرية تمكنت أيضا من نقص أو إبادة تبويغ *C. tuberculata* et *A. alternata*, *Bipolaris*, *C. lunata* *mancozebe + métalaxyl*, *benomyl* وقائيا بالمبيدات *mancozebe*, *méthyl-thiophanate* بينت أوزان يابسة عالية ما بين *mg175* و *mg106*، ما بين جميع الطفيليات.

الكلمات المفتاح : المبيدات الفطرية، الرش، الذرة البيضاء، *Bipolaris spp.*, *Curvularia spp.*, *Alternaria spp.*

## Abstract

Seven fungicides were tested *in vitro* on the various pathogenic species of *Bipolaris*, *Curvularia* and *Alternaria* on sorghum, revealed the efficiency of tricyclazole and dithane M45 on sporulation inhibition and conidia germination. Then, that are strong amounts needed to inhibit mycelial growth of various pathogenic tested.

Some interesting results have also been obtained *in vivo*. Indeed, the treatment of fungicides tested on the sorghum plants involves an important protection. Also, the preventive treatment by mancozebe and association mancozebe+métalaxyl completely inhibits *B. maydis*, *B. sorghicola*, *B. tetramera*, *B. sorokiniana* and *C. lunata* on the sorghum leaves to amount of 1000 ppm. Whereas, *C. tuberculata* and *A. alternata* are completely inhibited only by combination mancozebe+métalaxyl with the same amount. All fungicides which have behaved on foliar lesions development caused by the pathogenic species, brought before and after inoculation, are able to prevent or reduce sporulation of *Bipolaris*, *C. lunata*, *C. tuberculata* and *A. alternata*. The plants inoculated by pathogenic species and fungicide preventively treated by mancozebe+métalaxyl, benomyl, mancozebe and methylthiophanate, showed high dry weights of 106 mg and 175 mg for the various pathogenic tested.

**Key words:** Fungicide, *Bipolaris* spp. *Curvularia* spp. *Alternaria* spp. treatment, sorghum.

## Introduction

La lutte chimique par les fongicides constitue dans de nombreux cas l'unique moyen de lutte efficace contre les maladies foliaires du sorgho (Anahosur, 1986). Ainsi, les travaux se sont intensifiés cette dernière décennie pour chercher de nouvelles molécules qui ont une efficacité antifongique contre *Bipolaris maydis* et *B. sorghicola* (De Waard *et al.*, 1993). Le genre *Bipolaris* appartient au phylum des Deutéromycota, classe des Hyphomycetes, ordre des Moniliales, famille des Dématiées (Kirk *et al.*, 2001). Ces deux espèces sont pathogènes sur des variétés de sorgho cultivées dans le Gharb et la région tangéroise et provoquent des dégâts importants (Berber *et al.*, 2007).

Hagan (1999) a rapporté que le carboximide et le fluazinam ont une excellente activité contre *B. maydis*. De même, Miller (1972) a montré que le Manèbe et le Zinèbe appliqués à 300 ppm ont une grande activité inhibitrice sur *B. maydis*. Le Guazatine, le Captafol et le Ferbam ont été également utilisés pour la désinfection des semences. Ce traitement a permis une réduction importante des infections causées par *B. sorghicola* (Ahmed et Ravinder Reddy, 1993).

Au Maroc, la plupart des variétés du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), largement cultivé dans le Gharb et le Loukkos sont sensibles à plusieurs espèces fongiques : *Bipolaris maydis*, *B. sorghicola*, *B. tetramera*, *B. sorokiniana*, *Curvularia lunata*, *C. tuberculata* et *Alternaria alternata* (Berber, 2003).

Sachant qu'à l'heure actuelle, aucun produit fongicide n'est homologué sur sorgho au Maroc. L'objectif de ce travail sera d'évaluer l'efficacité *in vitro* et *in vivo* de quelques fongicides, appartenant à différentes familles chimiques sur le développement des espèces de Dématiées pathogènes sur le sorgho.

## Matériel et Méthodes

### 1- Les pathogènes testés

Les isolats HG2 de *B. maydis*, HS5 de *B. sorghicola*, HTS3 de *B. tetramera*, HSAT1 de *B. sorokiniana*, CUS2 de *C. lunata*, TS1 de *C. tuberculata* et ALS2 de *A. alternata*, obtenus à partir des lésions foliaires et des grains du sorgho, sont utilisés dans cette étude.

Les isolats sont repiqués sur milieu à base de P.S.A. (200 g de pomme de terre, 20 g de saccharose, 15 g d'Agar agar, 1000 ml d'eau distillée). Ces cultures sont incubées à 28°C, à l'obscurité (*B. sorghicola*, *B. tetramera*, *C. lunata* et *C. tuberculata*), à la lumière continue (*B. sorokiniana* et *A. alternata*) et l'alternance obscurité/lumière (7 jours d'obscurité et 3 jours de lumière) pour *B. maydis*.

## 2- Fongicides testés

**Tableau 1 :** Caractéristiques des fongicides testés.

Nom commercial	Matière active (% m.a.)	Famille chimique	Dose homologuée en ppm de matière active
Beam	Tricyclazole 75 %	Triazoles	750ppm
Benlate	Benomyl 50 %	Benzimidazoles	500ppm
Dithane M45	Mancozebe 80%	Dithiocarbamates	100g/hl – 800ppm
Ridomil MZ58	Mancozebe 48% + Metalaxyl 10%	Dithiocarbamates  Phénylamides	100g/hl – 580ppm
Pelt 44	Methyl-thiophanate 70%	Benzimidazoles	100g/hl – 700ppm
Horizon 240FC	Clodinafop-Propargyl (250g/l)	Aryloxyphénoxy- propionates	250g/hl – 2500ppm
Ortiva	Azoxystrobine (250 g/l)	Strobilurines	250g/hl – 2500ppm

## 3- Préparation du milieu de culture

Le fongicide est solubilisé soit dans l'eau distillée soit dans le DMSO. Des solutions mères sont ensuite préparées et incorporées à des concentrations croissantes dans le milieu de culture. Le mélange est ensuite coulé dans les boîtes de Petri. Le témoin est réalisé dans les mêmes conditions mais sans addition du fongicide.

## 4- Action des fongicides sur la croissance mycélienne des pathogènes

Après solidification du milieu, des disques mycéliens de 5 mm de diamètre issus de cultures jeunes de tous les isolats testés, sont déposés aux centres des boîtes. Ces dernières sont ensuite incubées à 28°C sous lumière continue pour *B. sorokiniana* et *A. alternata*, sous obscurité pour *B. sorghicola*, *B. tetramera*, *C. lunata* et *C. tuberculata* et celle de *B. maydis* est incubée 7 jours à l'obscurité et 3 jours en lumière continue.

Après 10 jours d'incubation, les pourcentages d'inhibition de la croissance mycélienne des isolats testés sont calculés selon la formule suivante :

$$Ic = \frac{Dt - Dc}{Dt} \times 100$$

- Ic : Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne  
 Dt : Croissance diamétrale du témoin sans fongicide  
 Dc : Croissance diamétrale du champignon testé en présence d'une concentration donnée du fongicide

Pour les pathogènes, les pourcentages d'inhibition sont transformés en valeurs probits. Pour un fongicide et une espèce donnée, une relation linéaire est établie entre le logarithme de la concentration en fongicide et les valeurs probits. Les droites de régression ( $Y = a \log x + b$  avec a : coefficient de régression, b : constante, x : concentration en fongicide, Y : probit, log : logarithme décimale) permettent par projection d'obtenir la CI50 qui représente la concentration réduisant de moitié la croissance mycélienne du champignon.

#### 5- Action des fongicides sur la sporulation des pathogènes

A partir des boîtes utilisées pour la croissance mycélienne, quatre rondelles de 5 mm de diamètre, sont prélevées le long du diamètre de la colonie et mises dans un tube à essai contenant 1 ml d'eau distillée stérile. Le comptage des spores est effectué à l'aide d'une lame de Malassez à raison de dix comptages par suspension. Le pourcentage d'inhibition (Is) par rapport au témoin est calculé comme suit :

$$Is = \frac{Nt - Nc}{Nt} \times 100$$

- Is : Pourcentage d'inhibition de la sporulation  
 Nt : Nombre de spores estimé chez le témoin  
 Nc : Nombre de spores en présence du fongicide  
 Les CI50 sont ensuite déterminées graphiquement de la même façon que précédemment.

#### 6- Action des fongicides sur la germination des spores des pathogènes

A partir de culture des différents pathogènes, les spores sont récoltées dans de l'eau distillée stérile. La densité de la suspension est ajustée à  $10^8$  spores/ml, par estimation de la densité initiale à l'aide d'une lame de Malassez. 0,1 ml de la suspension est prélevé et étalé à la surface des boîtes de Petri contenant un milieu gélosé (15 g d'Agar agar, 1000 ml d'eau distillée) additionné de différentes concentrations des fongicides testées.

Les boîtes sont ensuite incubées à 28°C et à l'obscurité. Pour chaque concentration, trois répétitions sont réalisées. Après 20 h d'incubation, le comptage des spores germées est effectué sur un totale de 200 spores.

Le pourcentage d'inhibition de la germination des spores (IG) par rapport au témoin est calculé selon la formule suivante :

$$IG = \frac{Nt - Nc}{Nt} \times 100$$

IG : Pourcentage d'inhibition de la germination

Nt : Nombre de spores germées dans le milieu sans fongicide

Nc : Nombre de spores germées dans le milieu en présence du fongicide

Les CI50 sont ensuite déterminées graphiquement de la même façon que précédemment.

## 7- Traitement des plantes

Les grains de sorgho de l'hybride Honey sont repiqués dans des pots puis, arrosés jusqu'au stade requis pour l'inoculation soit 5 à 6 feuilles.

### 7.1. Fongicides et doses utilisées

Sept fongicides ont été utilisés dans cet essai (mancozèbe, méthyl-thiophanate, mancozèbe + métalaxyl, tricyclazole, azoxystrobine, clodinafop-propargyl et bénomyl). Chaque fongicide est testé aux concentrations suivantes : 750 et 1000 ppm pour le mancozèbe, le méthyl-thiophanate, le bénomyl et le mancozèbe + métalaxyl, 500 et 750 ppm pour le tricyclazole, 2500 et 3000 ppm pour l'Horizon, 4000 et 4500 ppm pour l'azoxystrobine.

### 7.2. Inoculation des plantes

Quatre types de traitements ont été réalisés et chaque traitement a fait l'objet de trois répétitions :

- Les plantes inoculées par la suspension sporale ( $10^5$  spores/ml) de l'un des pathogènes, constituent les témoins positifs.
- Les plantes traitées par l'eau seule constituent les témoins négatifs.
- Les plantes traitées par les fongicides puis inoculées, 24 heures après, par la suspension sporale ( $10^5$  spores/ml) des pathogènes (Traitement préventif).
- Les plantes inoculées par les pathogènes puis traitées, 48 heures après le début d'apparition des symptômes, par les fongicides (Traitement curatif).

Toutes les plantes, inoculées et traitées, sont placées dans les conditions du laboratoire, pendant 48 heures, sous des housses en plastique noire permettant de maintenir une humidité relative proche de la saturation. Puis, elles sont transportées en serre.

La notation des résultats est faite sept jours après l'inoculation. Le pourcentage de réduction de la maladie est calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{ RM} = \frac{C.I_p - C.I_{pT}}{C.I_p} \times 100$$

% RM : Pourcentage de la réduction de la maladie.

C.IP : Coefficient d'infection des plantes inoculées par le pathogène uniquement.

C.IPT : Coefficient d'infection des plantes inoculées par le pathogène et traitées par le fongicide.

Le coefficient d'infection résulte de la multiplication de l'incidence (nombre de feuilles infectées par traitement) par la sévérité de la maladie (note attribuée à la surface malade infectée par traitement) (Notteghem *et al.*, 1980).

Le pourcentage de la surface foliaire malade (SFM) à l'aide de l'échelle de notation de Notteghem *et al.* (1980).

Note $X_i$	Surface foliaire malade (%)
0	0
1	0,05
2	0,5
3	1,5
4	3,5
5	7,5
6	17,5
7	37,5
8	62,5
9	87,5

### 7.3. Sporulation sur hôte

Les feuilles des plantes de sorgho présentant des lésions sont déposées dans des boîtes de Petri. Après 48 h d'incubation sous lumière continue, les fragments de chaque feuille sont placés dans un tube à essai contenant 1ml d'eau distillée stérile et agités par un vortex. La richesse des suspensions est déterminée à l'aide d'une lame de Malassez (10 comptages par échantillon). Le pourcentage de réduction de la sporulation est calculé par la formule suivante :

$$\% \text{ RSp} = \frac{\text{NS}_p - \text{NS}_{\text{F}}}{\text{NS}_p} \times 100$$

% RSp : Pourcentage de réduction de la sporulation.

NS<sub>p</sub> : Nombre de spores produit par unité de surface des feuilles inoculées par le pathogène (10<sup>5</sup> spores/cm<sup>2</sup>).

NS<sub>F</sub> : Nombre de spores produit par unité de surface des feuilles inoculées par le pathogène et traitées par le fongicide.

### 7.4 Poids sec

Les feuilles des plantes de sorgho inoculées par le pathogène et traitées par les fongicides, sont ramenées au laboratoire et séchées dans une étuve à une température de 70°C pendant 48 h, puis pesées à l'aide d'une balance de précision pour obtenir le poids sec.

## 8- Analyse statistique

Le traitement statistique des données a porté sur l'analyse de la variance et le test P.P.D.S au seuil de 5 % par un logiciel de statistique.

## Résultats

### 1- Effet des fongicides sur les trois stades du cycle de vie des différentes espèces testées

Les résultats qui figurent sur le tableau 2 montrent que tous les isolats testés sont sensibles aux différents fongicides utilisés et à des degrés variables ; alors que ces isolats nécessitent des doses beaucoup plus élevées du méthyl-thiophanate clodinafop-propargyl et Azoxystrobine pour l'inhibition de la croissance mycélienne des différents espèces testées.

En effet, en présence du mancozebe, les C150 déterminées pour la croissance mycélienne sont respectivement de 204,80 et 581,58 ppm pour *B. maydis* (HG2), de 165,07 et 470,92

ppm pour *B. sorghicola* (HS5) et entre 300 et 720 ppm pour *B. tetramera* (HTS3) et *B. sorokiniana* (HSAT1). Alors qu'elles sont de l'ordre de 424,22 et 842,11 ppm pour *C. lunata*, de 263,39 et 890,39 ppm pour *C. tuberculata* et de 381,63 et 908,39 ppm pour *A. alternata*.

**Tableau 2 :** CI50 (en ppm) de la croissance mycélienne des différentes espèces de Dématiées en présence des fongicides testés *in vitro*.

Fongicides	Espèces fongiques						
	<i>B. maydis</i>	<i>B. sorghicola</i>	<i>B. tetramera</i>	<i>B. sorokiniana</i>	<i>C. lunata</i>	<i>C. tuberculata</i>	<i>A. alternata</i>
Mancozèbe	204.80	165,07	311.03	328.63	424.22	263.39	381.63
Mancozèbe+métalaxyl	289.80	291.36	285.18	286.75	274.41	269.18	268.18
Méthyl-thiophanate	906.74	874,11	958,25	660,73	787.78	394,37	548
Benomyl	123.85	192.67	218.78	161,47	233.26	242,54	311,44
Tricyclazole	105,51	186.18	242.53	215.94	280.99	156,98	218.09
Azoxystrobine	2422.75	2957.17	4150,89	2373,69	4738.83	4207,47	3751,25
Clodinafop-Propargyl	581.40	882,28	627,17	1024,39	998.40	1038,46	783.81

En présence du mancozèbe + métalaxyl, les valeurs des CI50 calculées pour la croissance mycélienne sont faibles et elles varient entre 268,18 et 291,36 pour les différentes espèces fongiques.

Les concentrations nécessaires du benomyl pour 50 % de réduction de la croissance mycélienne de *B. maydis*, *B. sorokiniana*, *B. sorghicola* et *B. tetramera* (respectivement 123,85; 161,47; 192,67 et 218,78 ppm) sont plus faibles que celles des CI50 inhibant la croissance mycélienne de *C. lunata*, *C. tuberculata* et *A. alternata*.

En présence du méthyl thiophanate, les CI50 déterminées pour la croissance mycélienne sont de 906,74 ppm pour *B. maydis*, de 874,11 ppm pour *B. sorghicola*, de 958,25 ppm pour *B. tetramera*, 660,73 ppm pour *B. sorokiniana*, de 787,78 ppm pour *C. lunata*, de 394,37 et 1162,40 ppm pour *C. tuberculata* et de 548 et 1758,86 ppm pour *A. alternata*.

Le tricyclazole est efficace sur les différents pathogènes testés. Mais, on peut noter que les doses nécessaires et qui sont de l'ordre 105 ppm pour *B. maydis*, 186 ppm pour *B. sorghicola*, 242 ppm pour *B. tetramera*, 215 ppm pour *B. sorokiniana*, 280 ppm pour *C. lunata*, 156 ppm pour *C. tuberculata* et 218 ppm pour *A. alternata* pour inhiber la croissance mycélienne.

Alors qu'en présence d'azoxystrobine et de clodinafop-propargyl, on a besoin de très fortes doses (de l'ordre de 2422 à 4738 ppm) pour inhiber la croissance mycélienne des différents pathogènes testés.

L'examen du tableau 3 montre que les valeurs des CI50 en présence du mancozèbe, mancozèbe+métalaxyl, benomyl et méthyl-thiophanate sont faibles que celles notées par la croissance mycélienne des *Bipolaris* et de *C. lunata*, *C. tuberculata* et *A. alternata*.

Le tricyclazole est très efficace sur *B. sorokiniana*, *B. tetramera* et *B. maydis*, à en juger par les valeurs très faibles des CI50 nécessaires pour l'inhibition de la sporulation (respectivement 1,80; 11 et 39,53 ppm).

**Tableau 3 :** CI50 (en ppm) de la sporulation des différentes espèces de Dématées en présence des fongicides testés *in vitro*.

Fongicides	Espèces fongiques						
	<i>B. maydis</i>	<i>B. tuberculata</i>	<i>B. tetramera</i>	<i>B. sorokiniana</i>	<i>C. lunata</i>	<i>C. tuberculata</i>	<i>A. alternata</i>
Mancozèbe	61,92	74,33	131,90	223,79	330,14	385,91	276,22
Mancozèbe+métalaxyl	247,39	227,91	68,80	8,94	249,70	297,86	363,38
Méthyl-thiophanate	126,36	332,24	434,13	61,70	469,30	213,22	230,74
Benomyl	183,07	151,72	122,46	175,82	182,21	225,94	180,98
Tricyclazole	39,53	90	11	1,80	88,41	102,70	250,02
Azoxystrobine	2173,09	2381,74	2683,64	2387,78	3213,04	2166,63	3072,87
Clodinafop-Propargyl	395	330,06	231,86	933,73	592,90	561,87	569,47

Pour l'azoxystrobine et clodinafop-propargyl, la concentration nécessaire pour inhiber à 50% la sporulation des différents isolats testés varie entre 231,86 et 3213,04 ppm.

Concernant la germination des spores (Tableau 4), les valeurs des CI50 sont plus faibles que celles inhibant les deux stades de vie des différents isolats testés. Alors qu'elles varient entre 32,13 à 446,73 ppm (en présence du mancozèbe) pour les différents isolats testés.

Les concentrations du tricyclazole qui inhibent de 50 % la germination des spores de *B. maydis* et *B. sorokiniana* sont aussi très faibles (respectivement 5,51 et 8,44 ppm), alors que celles des autres isolats varient entre 30 et 160 ppm.

Il paraît que le mancozèbe inhibe les trois stades du cycle de vie des isolats testés à des concentrations modérées. Le tricyclazole et le produit à base du métalaxyl et du mancozèbe agissent plus sur la sporulation et la germination des spores des quatre *Bipolaris*, de *C. lunata*, *C. tuberculata* et *A. alternata* que sur leur croissance mycélienne vu les valeurs des CI90 qui varient entre 283 et 1100 ppm, tandis que le clodinafop-propargyl agit plus sur la sporulation que sur la croissance mycélienne vu les valeurs de CI90 qui dépasse 1500 ppm. Alors qu'en présence d'azoxystrobine, on a besoin de très fortes doses pour inhiber les trois stades du cycle de vie des différents pathogènes testés. On peut conclure que le mancozèbe est plus efficace que le tricyclazole et le produit à base du mancozèbe et du métalaxyl qui est lui-même plus efficace que le clodinafop-propargyl et l'azoxystrobine.

**Tableau 4 :** CI50 (en ppm) de la germination des spores des différentes espèces de Dématariées en présence des fongicides testés *in vitro*.

Fongicides	Espèces fongiques						
	<i>B. maydis</i>	<i>B. sorghicola</i>	<i>B. tetramera</i>	<i>B. sorghivivina</i>	<i>C. lupata</i>	<i>C. tuberculata</i>	<i>A. alternata</i>
Mancozebe	173,17	60,63	32,13	114,03	37,40	215,85	446,73
Mancozebe+métalaxyl	172,57	86,92	173,36	273,33	372,50	210,67	151,94
Méthyl thiophanate	150,79	179,96	280,75	150,08	181,14	333,78	218,84
Benomyl	163,18	74,13	148,31	101,28	109,97	211,42	177,81
Tricyclazole	5,51	29,25	58,45	8,44	186,83	120,10	58,54
Azoxystrobine	2847,42	3185,77	2439,12	2268,55	2198,54	2015,45	2808,34
Clodinafop-Propargyl	430,04	1206,01	292,40	1060,22	1059,66	247,59	412,99

## 2- Effet des fongicides sur la réduction de la maladie

L'examen du tableau 5 montre que le pourcentage de réduction de l'incidence et de la sévérité de l'helminthosporiose et par conséquent de son coefficient d'infection, par l'utilisation de différents fongicides dépend du type de traitement et du pathogène ciblé. Ainsi, le traitement préventif des plantes par les différents fongicides s'est révélé plus efficace que le traitement curatif.

**Tableau 5 :** Effet *in vivo* des fongicides testés sur la réduction de la maladie causée par *B. maydis* sur les feuilles de sorgho.

Fongicides	<i>Bipolaris maydis</i>							
	Traitement préventif				Traitement curatif			
	D1 (ppm)		D2 (ppm)		D1 (ppm)		D2 (ppm)	
	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)
Témoin	300	-	300	-	300	-	300	-
mancozebe	1,33	99,55a	0	100a	36	88a	32	89,33a
Méthyl-thiophanate	1,76	99,41a	0	100a	46	84,66a	38	87,33ab
Mancozebe+métalaxyl	1,2	99,60a	0	100a	78,60	73,80b	39,3	86,90abc
Tricyclazole	14,8	95,06b	5,74	98,08c	45	85a	37,2	87,60ab
Benomyl	3,6	98,80a	2,4	99,20ab	81,60	72,80b	47	84,33bc
Azoxystrobine	48	84c	0,88	99,70a	82	72,66b	50,2	83,26c
Clodinafop-Propargyl	T	T	T	T	37,6	87,46a	33,8	88,73a

CI : Coefficient d'infection, R (%) : Pourcentage de réduction de la maladie, T : Dose toxique, D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

En effet, l'inhibition de la maladie en présence du mancozebe, méthyl-thiophanate et mancozebe + métalaxyl est totale à la dose de 1000 ppm. Azoxystrobine (4500 ppm), benomyl (1000 ppm) et tricyclazole (750 ppm) sont très efficace contre *B. maydis*, avec des pourcentages d'inhibition qui sont respectivement de 99,70%, 99,20% et 98,08%.

Le traitement curatif a présenté aussi une inhibition importante pour les différents fongicides testés, mais qui reste inférieur à celle du traitement préventif avec des pourcentages d'inhibition qui varie entre 83 % et 89 %.

Il est à noter que le traitement des plantes de sorgho, 24h avant par l'horizon s'est avéré phytotoxique pour la plante aux doses de 2500 et 3000 ppm.

Les résultats consignés dans le tableau 6, montrent que le traitement préventif des plantes par le mancozèbe et mancozèbe + métalaxyl est très efficace vis-à-vis de *B. sorghicola* en réduisant la maladie à 100 %. Alors que les autres fongicides présentent des pourcentages de réduction variant entre 94% et 99%. Chez les plantes inoculées par *B. sorghicola* puis traité par les différents fongicides ont montré un pourcentage de réduction qui varie entre 80% et 91 %.

**Tableau 6 :** Effet *in vivo* des fongicides testés sur la réduction de la maladie causée par *B. sorghicola* sur les feuilles de sorgho.

Fongicides	<i>Bipolaris sorghicola</i>							
	Traitement préventif				Traitement curatif			
	D1 (ppm)		D2 (ppm)		D1 (ppm)		D2 (ppm)	
	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)
Témoin	232	-	232	-	232	-	232	-
mancozebe	0.55	99,76a	0	100a	37.50	83,83ab	24	89,65a
Méthyl-thiophanate	2.6	98,87ab	0.99	99,57ab	65	71,98c	46.20	80,08b
Mancozebe+métalaxyl	3,66	98,42ab	0	100a	27.2	88,27a	21,93	90,54a
Tricyclazole	34.2	85,25c	3.28	98,58ab	54	76,72bc	45	80,60b
Bénomyl	5	97,84b	6.33	97,27b	25	89,22a	20	91,37a
Azoxystrobine	30.8	86,72c	12.33	94,68c	36.8	84,09a	25.4	89,05a
Clodinafop-Propargyl	T	T	T	T	30.8	86,72a	28	87,93a

CI : Coefficient d'infection, R (%). Pourcentage de réduction de la maladie, T : Dose toxique, D1 et D2 : Concentration du fongicide.

L'inhibition de la maladie est atteinte en appliquant le mancozèbe et mancozèbe + métalaxyl aux doses de 750 ppm et 1000 ppm à partir desquelles on obtient une suppression totale de *B. tetramera* (Tableau 7). De plus, le traitement curatif présente un pourcentage d'inhibition important pour les différents fongicides testés (allant de 80 % et 91 %).

La dose 1000 ppm du mancozèbe, méthyl-thiophanate, mancozèbe + métalaxyl et benomyl a pu réduire la maladie causée par *B. sorokiniana* à 100 %, suivi du tricyclazole et d'azoxystrobine (97,84 % et 99,49 %) (Tableau 8). Les différents fongicides testés inhibent aussi la maladie lorsqu'ils sont appliqués après le début d'apparition des symptômes causés par *B. sorokiniana* (varient entre 87 et 89,84 %).

**Tableau 7 :** Effet *in vivo* des fongicides testés sur la réduction de la maladie causée par *B. tetramera* sur les feuilles de sorgho.

Fongicides	<i>Bipolaris sorghicola</i>							
	Traitement préventif				Traitement curatif			
	D1 (ppm)		D2 (ppm)		D1 (ppm)		D2 (ppm)	
	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)
Témoin	214,1	-	214,1	-	214,1	-	214,1	-
mancozebe	0	100a	0	100a	23	89,27a	21,3	90,06ab
Méthyl-thiophanate	0,4	99,81a	0	100a	46	78,54d	42,5	80,17c
Mancozebe+métalaxyl	0	100a	0	100a	34,5	83,90bc	17,33	91,91a
Tricyclazole	11	94,86b	2	99,06b	37	82,74c	23,2	89,17ab
Benomyl	6	97,20ab	0	100a	27	87,40ab	19	91,13a
Azoxystrobine	26	86,94c	0,9	99,58ab	24,93	88,37a	21,67	89,89ab
Clodinafop-Propargyl	T	T	T	T	31	85,54abc	27	87,40b

CI : Coefficient d'infection, R (%): Pourcentage de réduction de la maladie, T : Dose toxique, D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

Le mancozèbe + métalaxyl et le méthyl-thiophanate est très efficace contre *C. lunata* aux doses de 750 ppm et 1000 ppm (Tableau 9). Une dose de 1000 ppm de ces deux fongicides et du bénomyl est nécessaire pour atteindre 100 % de réduction de la maladie contre *C. tuberculata* (Tableau 10).

**Tableau 8 :** Effet *in vivo* des fongicides testés sur la réduction de la maladie causée par *B. sorokiniana* sur les feuilles de sorgho.

Fongicides	<i>Bipolaris sorghicola</i>							
	Traitement préventif				Traitement curatif			
	D1 (ppm)		D2 (ppm)		D1 (ppm)		D2 (ppm)	
	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)
Témoin	130	-	130	-	130	-	130	-
mancozebe	4	96,92a	0	100a	18,5	85,76a	13,5	89,61a
Méthyl-thiophanate	0,08	99,93a	0	100a	30,5	76,53abc	26,5	79,61b
Mancozebe+métalaxyl	0,5	99,61a	0	100a	33,8	74bc	16,9	87ab
Tricyclazole	14,9	88,53b	2,8	97,84b	19	85,38a	16	87,69a
Benomyl	3,66	97,18a	0	100a	20	84,61ab	15,80	87,84a
Azoxystrobine	20,66	84,10b	0,66	99,49ab	27,97	78,48abc	13,20	89,84a
Clodinafop-Propargyl	T	T	T	T	40,33	68,97c	18,45	85,80ab

CI : Coefficient d'infection, R (%): Pourcentage de réduction de la maladie, T : Dose toxique, D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 9 :** Effet *in vivo* des fongicides testés sur la réduction de la maladie causée par *C. lunata* sur les feuilles de sorgho.

Fongicides	<i>Bipolaris sorghicola</i>							
	Traitement préventif				Traitement curatif			
	D1 (ppm)		D2 (ppm)		D1 (ppm)		D2 (ppm)	
	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)
Témoin	115	-	115	-	115	-	115	-
mancozebe	0,1	99,65a	0	100a	1,1	87,82a	13	88,69a
Méthyl-thiophanate	0	100a	0	100a	19	83,47ab	17	85,21a
Mancozebe+métalaxyl	0	100a	0	100a	38,77	66,28cd	14,1	87,47a
Tricyclazole	4,4	96,17a	3	97,39b	17,8	84,52ab	13,5	88,26a
Benomyl	1,2	98,95a	0	100a	33,73	56,52cd	34	70,43b
Azoxystrobine	25,66	77,68b	0,16	99,86a	32,93	71,36bc	7,93	93,10a
Clodinafop-Propargyl	T	T	T	T	52,54	54,31d	41,6	63,82b

CI : Coefficient d'infection, R (%) : Pourcentage de réduction de la maladie, T : Dose toxique, D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 10 :** Effet *in vivo* des fongicides testés sur la réduction de la maladie causée par *C. tuberculata* sur les feuilles de sorgho.

Fongicides	<i>Bipolaris sorghicola</i>							
	Traitement préventif				Traitement curatif			
	D1 (ppm)		D2 (ppm)		D1 (ppm)		D2 (ppm)	
	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)
Témoin	105	-	105	-	105	-	105	-
mancozebe	0,88	99,16a	0,16	99,84a	7	92,39ab	3	97,14a
Méthyl-thiophanate	1,6	98,47a	0	100a	3,32	96,83a	0,6	99,42a
Mancozebe+métalaxyl	1,2	98,85a	0	100a	18	82,85bc	23	78,09d
Tricyclazole	6	94,28a	2,86	97,27b	12,5	88,09ab	8	92,38ab
Benomyl	12	88,57a	0	100a	18,2	82,66bc	13,5	87,14bc
Azoxystrobine	17	83,80b	0,9	99,14a	28	73,33cd	16	84,76cd
Clodinafop-Propargyl	T	T	T	T	34	67,61d	13,2	87,42bc

CI : Coefficient d'infection, R (%) : Pourcentage de réduction de la maladie, T : Dose toxique, D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

Les résultats obtenus dans le tableau 11 montrent que la combinaison du mancozèbe + métalaxyl, apporté à 1000 ppm, ont inhibé *A. alternata* à 100 %. Chez les plantes inoculées par cette espèce puis traitées par les différents fongicides ont montré des pourcentages de réduction moins importants (% de réduction de la maladie varie entre 74 % et 91 %).

**Tableau 11 :** Effet *in vivo* des fongicides testés sur la réduction de la maladie causée par *A. alternata* sur les feuilles de sorgho.

Fongicides	<i>Bipolaris sorghicola</i>							
	Traitement préventif				Traitement curatif			
	D1 (ppm)		D2 (ppm)		D1 (ppm)		D2 (ppm)	
	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)
Témoin	120	-	120	-	120	-	120	-
mancozebe	1	99,16a	0,22	99,81a	18,94	84,21a	13,5	88,75ab
Méthyl-thiophanate	2,73	97,72a	0,44	99,63a	16	86,66a	12,5	89,58ab
Mancozebe+métalaxyl	2	98,33a	0	100a	31	74,16b	19	84,16bc
Tricyclazole	2,2	81,66b	0,12	99,90a	12,8	89,33a	10	91,66a
Benomyl	5,5	95,41a	0,75	99,37a	38	68,33bc	15,8	86,83ab
Azoxystrobine	32	73,33c	0,66	96,45b	30,8	74,33b	31,2	74d
Clodinafop-Propargyl	T	T	T	T	45	62,50c	25	79,16cd

CI : Coefficient d'infection, R (%) : Pourcentage de réduction de la maladie, T : Dose toxique, D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

Le traitement des plantes par les différents fongicides testés influence également la sporulation sur l'hôte des pathogènes étudiés (Tableau 12, 13, 14, 15).

**Tableau 12 :** Effet *in vivo* des fongicides sur la réduction de la sporulation de *B. maydis* sur les feuilles de sorgho.

Fongicides	<i>Bipolaris sorghicola</i>							
	Traitement préventif				Traitement curatif			
	D1 (ppm)		D2 (ppm)		D1 (ppm)		D2 (ppm)	
	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)	CI	R (%)
Mancozebe	97,76a	100a	100a	100a	120	-	120	-
Méthyl-thiophanate	100a	100a	100a	100a	18,94	84,21a	13,5	88,75ab
Mancozebe+métalaxyl	100a	100a	90,26bc	95,23bc	16	86,66a	12,5	89,58ab
Tricyclazole	84,43b	92,76b	100a	100a	31	74,16b	19	84,16bc
Benomyl	106a	100	86,90c	93,60c	12,8	89,33a	10	91,66a
Clodinafop-Propargyl	-	-	94,40b	98,33ab	38	68,33bc	15,8	86,83ab
Azoxystrobine	65c	71c	55,33d	61,50d	30,8	74,33b	31,2	74d
Clodinafop Propargyl	T	T	T	T	45	62,50c	25	79,16cd

CI : Coefficient d'infection, R (%) : Pourcentage de réduction de la maladie, T : Dose toxique, D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 13 :** Effet *in vivo* des fongicides sur la réduction de la sporulation de *B. sorghicola* sur les feuilles de sorgho.

Fongicide	<i>B. sorghicola</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	100a	100a	75.83b	88.46b
Méthyl-thiophanate	94.80a	100a	82.70ab	97.66ab
Mancozebe+métalaxyl	100a	100a	72.36b	89.60b
Tricyclazole	56.86b	71.80b	74.66b	89.03b
Benomyl	94.96a	100a	76.96b	91.93ab
Clodinafop-Propargyl	-	-	98.26a	100a
Azoxystrobine	53.33b	65.26c	39.66c	48.30c

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 14 :** Effet *in vivo* des fongicides sur la réduction de la sporulation de *B. tetramera* sur les feuilles de sorgho.

Fongicide	<i>B. tetramera</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	100a	100a	90.53a	98.60ab
Méthyl-thiophanate	95.80a	99.13a	90.53a	100a
Mancozebe+métalaxyl	100a	100a	90.26a	95.23abc
Tricyclazole	72.20b	86.06b	86.63a	92.43c
Benomyl	100a	100a	86.90a	93.60bc
Clodinafop-Propargyl	-	-	94.40a	98.33ab
Azoxystrobine	58c	67c	53.33b	59.30d

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 15 :** Effet *in vivo* des fongicides sur la réduction de la sporulation de *B. sorokiniana* sur les feuilles de sorgho.

Fongicide	<i>B. sorokiniana</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	89.96b	100a	97.03a	100a
Méthyl-thiophanate	92.90b	100a	91.20b	100a
Mancozebe+métalaxyl	99.56a	100a	98.73a	100a
Tricyclazole	91.63b	95.40b	95.83ab	100a
Benomyl	94.56ab	100a	95.80ab	98.73a
Clodinafop-Propargyl	-	-	100a	100a
Azoxystrobine	72.83c	78c	60.33c	67.96b

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

Les deux types de traitement ont montré une efficacité intéressante, mais les inhibitions les plus importantes de la sporulation ont été obtenues lors du traitement des plantes par la dose homologuée des différents fongicides.

*B. maydis*, *B. sorghicola*, *B. tetramera* et *B. sorokiniana* n'ont pas pu sporuler sur les feuilles des plantes de sorgho traitées 24h avant l'inoculation et ceci pour la dose 1000 ppm du mancozèbe, méthyl-thiophanate, mancozèbe + métalaxyl et bénomyl.

Pour le tricyclazole et l'azoxystrobine, les pourcentages de réduction de la sporulation varient entre 65 % et 95 % pour les plantes infectées par les différents *Bipolaris* étudiés. De même, aucune sporulation n'a été observée chez les plantes traitées 48h après inoculation par *B. maydis* (mancozèbe et méthyl-thiophanate aux doses 750 et 1000 ppm), *B. sorghicola* (horizon à 3000 ppm), *B. tetramera* (méthyl-thiophanate à 1000 ppm) et *B. sorokiniana* (mancozèbe, méthyl-thiophanate, mancozèbe + métalaxyl à 1000 ppm et horizon à 3000 ppm). Le tricyclazole s'est révélé très efficace contre *B. maydis* et *B. sorokiniana* à une dose de 750 ppm avec un pourcentage de réduction de sporulation de 100 %. Par contre ce pourcentage est faible à moyen chez les plantes traitées par l'azoxystrobine (varie entre 39 % et 67 %).

Par ailleurs, *C. lunata* n'a pas pu sporuler sur les feuilles des plantes traitées par le bénomyl 24h avant l'inoculation à une dose de 1000 ppm (Tableau 16). De même, chez les plantes traitées par Clodinafop-Propargyl après l'apparition des symptômes causé par *C. lunata*, ont montré aussi une réduction de 100 %.

**Tableau 16 :** Effet *in vivo* des fongicides sur la réduction de la sporulation de *C. lunata* sur les feuilles de sorgho.

Fongicide	<i>C. lunata</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozèbe	98,93a	99,16a	86,20c	98,53a
Méthyl-thiophanate	97,06ab	97,50ab	77,66d	85,80c
Mancozèbe+métalaxyl	97,46a	99,36a	92,66b	97,06ab
Tricyclazole	83,10c	90,56c	83,50c	93,06b
Bénomyl	98,93a	100a	93,40b	98,93a
Clodinafop-Propargyl	-	-	99,13a	100b
Azoxystrobine	92,66b	95,66b	82,66cd	86,33c

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

Les résultats présentés dans les tableaux 17 et 18, ont montré que la mancozèbe, mancozèbe + métalaxyl, bénomyl et méthyl-thiophanate, sont très efficaces contre *C. tuberculata* et *A. alternata*. De plus, clodinafop-propargyl a pu réduire la sporulation à 100 % de ces deux espèces et ceci lors du traitement curatif.

**Tableau 17 :** Effet *in vivo* des fongicides sur la réduction de la sporulation de *C. tuberculata* sur les feuilles de sorgho.

Fongicide	<i>C. tuberculata</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	91,06b	100a	90,53b	96,66a
Méthyl-thiophanate	95,53ab	100a	91,06b	100a
Mancozebe+métalaxyl	100a	100a	87,20b	100a
Tricyclazole	47,13c	61,06b	74,40c	90,53b
Benomyl	98,86ab	100a	88,30b	100a
Clodinafop-Propargyl	-	-	98,86a	100a
Azoxystrobine	93,33ab	96,30a	69,16c	74,50c

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 18 :** Effet *in vivo* des fongicides sur la réduction de la sporulation de *A. alternata* sur les feuilles de sorgho.

Fongicide	<i>A. alternata</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	90,66ab	100a	70,33b	84,33b
Méthyl-thiophanate	76,66c	96ab	61,33bc	75,66bc
Mancozebe+métalaxyl	100a	100a	90,66a	100a
Tricyclazole	40,66d	76c	56,66c	74,66bc
Benomyl	100a	100a	98a	100a
Clodinafop-Propargyl	-	-	99,33a	100a
Azoxystrobine	82,33	91,33b	65,50bc	72,16c

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

Il apparaît que le traitement préventif et curatif sont efficaces contre *B. maydis*, *B. sorokiniana*, *C. tuberculata* et *A. alternata*, mais pour lutter contre *B. sorghicola*, *B. tetramera* et *C. lunata* un traitement préventif s'avère nécessaire. Ces traitements ont permis de protéger les plantes contre une attaque de ces pathogènes étudiés. Cette protection s'exprime par une réduction de la maladie en arrêtant le développement des lésions et l'aptitude des pathogènes à sporuler sur les lésions.

Par ailleurs, les résultats du poids sec des feuilles des plantes de sorgho ont présenté des réponses variables selon les doses testées des fongicides, le témoin négatif et positif et le type du traitement (Tableau 19 à 25). Ainsi, le traitement préventif des plantes par le mancozebe + métalaxyl, benomyl, mancozebe et méthyl-thiophanate, montre un poids sec plus élevé des différents pathogènes (poids sec varie entre 106 mg et 175 mg) que l'azoxystrobine et le tricyclazole (poids sec varie entre 89 mg et 141 mg).

**Tableau 19 :** Effet *in vivo* des fongicides sur la réduction de la sporulation de *C. tuberculata* sur les feuilles de sorgho.

Fongicide	<i>B. maydis</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	101de	150cd	100cde	113bc
Méthyl-thiophanate	102de	112e	96def	103cd
Mancozebe+métalaxyl	125bc	161bc	115b	120b
Benomyl	130b	175ab	112bc	122b
Clodinafop-Propargyl	-	-	109bcd	117b
Azoxystrobine	103de	136d	88ef	102cd
Tricyclazole	114cd	141cd	83f	102cd
Témoin -	190a	190a	190a	190a
Témoin +	95e	95e	95ef	95d

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Témoin - : Plantes traitées par l'eau distillée contenant de la gélatine et du Tween 20.

Témoin + : Plantes inoculées uniquement par chaque pathogène.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 20 :** Comparaison des moyennes du poids sec des plantes inoculées par *B. sorghicola* et traitées *in vivo* par les différents fongicides.

Fongicide	<i>B. sorghicola</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	102cd	106c	94cd	109c
Méthyl-thiophanate	95de	120d	89d	101cd
Mancozebe+métalaxyl	123b	149b	112b	116bc
Benomyl	113bc	136c	89d	114bc
Clodinafop-Propargyl	-	-	110bc	127b
Azoxystrobine	97de	107c	86d	109c
Tricyclazole	84e	128cd	63e	86d
Témoin -	190a	190a	190a	190a
Témoin +	86e	86f	86d	86d

D1 et D2 : Concentration du fongicide

Témoin - : Plantes traitées par l'eau distillée contenant de la gélatine et du Tween 20.

Témoin + : Plantes inoculées uniquement par chaque pathogène.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 21 :** Comparaison des moyennes du poids sec des plantes inoculées par *B. tetramera* et traitées *in vivo* par les différents fongicides.

Fongicide	<i>B. tetramera</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	108bc	120c	63ef	103cd
Méthyl-thiophanate	91c	109ed	82cd	98d
Mancozebe-métalaxyl	127b	142b	83cd	112bcd
Benomyl	120b	135b	103b	114bc
Clodinafop Propargyl			103b	118b
Azoxystrobine	96c	131b	56f	81e
Tricyclazole	89c	113c	79de	98d
Témoin -	190a	190a	190a	190a
Témoin +	99c	99d	99bc	99d

*D1 et D2 : Concentration du fongicide.*

*Témoin - : Plantes traitées par l'eau distillée contenant de la gélatine et du Tween 20.*

*Témoin + : Plantes inoculées uniquement par chaque pathogène.*

*Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.*

**Tableau 22 :** Comparaison des moyennes du poids sec des plantes inoculées par *B. sorokiniana* et traitées *in vivo* par les différents fongicides.

Fongicide	<i>B. sorokiniana</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	106bcd	127d	78de	106bc
Méthyl-thiophanate	100d	131cd	84cd	95c
Mancozebe-métalaxyl	123b	151b	99bc	119b
Benomyl	122bc	138c	106b	120b
Clodinafop Propargyl			99bc	116b
Azoxystrobine	100cd	109e	62e	101c
Tricyclazole	85d	107ef	92bcd	105bc
Témoin -	190a	190a	190a	190a
Témoin +	98d	98f	98bcd	98c

*D1 et D2 : Concentration du fongicide.*

*Témoin - : Plantes traitées par l'eau distillée contenant de la gélatine et du Tween 20.*

*Témoin + : Plantes inoculées uniquement par chaque pathogène.*

*Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.*

**Tableau 23 :** Comparaison des moyennes du poids sec des plantes inoculées par *C. lunata* et traitées *in vivo* par les différents fongicides.

Fongicide	<i>C. lunata</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	90cd	118de	106b	110cd
Méthyl-thiophanate	107c	130cd	71d	96de
Mancozebe+métalaxyl	133b	146b	92bc	120bc
Benomyl	126b	134bc	70d	113bcd
Clodinafop-Propargyl	-	-	111b	128b
Azoxystrobine	71e	118de	67d	92ef
Tricyclazole	92cd	111e	84cd	105cde
Témoin -	190a	190a	190a	190a
Témoin +	78de	78f	78cd	78f

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Témoin - : Plantes traitées par l'eau distillée contenant de la gélatine et du Tween 20.

Témoin + : Plantes inoculées uniquement par chaque pathogène.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 24 :** Comparaison des moyennes du poids sec des plantes inoculées par *C. tuberculata* et traitées *in vivo* par les différents fongicides.

Fongicide	<i>C. lunata</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	95cd	111bcd	95bc	103cd
Méthyl-thiophanate	82d	126bc	80c	96ef
Mancozebe+métalaxyl	121b	131b	99b	108c
Benomyl	105c	118bcd	105b	122b
Clodinafop-Propargyl	-	-	106b	116b
Azoxystrobine	89d	136b	62d	93ef
Tricyclazole	83d	99cd	62d	98de
Témoin -	190a	190a	190a	190a
Témoin +	90cd	90d	90bc	90f

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Témoin - : Plantes traitées par l'eau distillée contenant de la gélatine et du Tween 20.

Témoin + : Plantes inoculées uniquement par chaque pathogène.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

**Tableau 25 :** Comparaison des moyennes du poids sec des plantes inoculées par *A. alternata* et traitées *in vivo* par les différents fongicides.

Fongicide	<i>A. alternata</i>			
	Traitement préventif		Traitement curatif	
	D1 (ppm)	D2 (ppm)	D1 (ppm)	D2 (ppm)
Mancozebe	92de	118c	97bc	110bcd
Méthyl-ithiophanate	100cd	125c	81de	102de
Mancozebe+métadaxyl	128b	144b	98bc	120b
Benomyl	111c	137b	106b	120b
Clodinafop-Propargyl	-	-	107b	119bc
Azoxystrobine	80ef	101d	68c	85f
Tricyclazole	77f	89c	94bcd	98def
Témoin -	190a	190a	190a	190a
Témoin +	88def	88c	88cd	88cf

D1 et D2 : Concentration du fongicide.

Témoin - : Plantes traitées par l'eau distillée contenant de la gélatine et du Tween 20.

Témoin + : Plantes inoculées uniquement par chaque pathogène.

Les moyennes d'une même colonne ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles au seuil de 5%.

Concernant le traitement curatif, les valeurs du poids sec sont faibles à moyens pour les différents fongicides testés, elles oscillent entre 56 et 128 mg.

## Discussion et conclusion

En se basant sur les résultats des C150, estimé *in vitro*, le tricyclazole et le dithane M45 s'avèrent les plus actifs sur la sporulation et la germination des spores plus que la croissance mycélienne de tous les *Bipolaris* étudiés et aussi de *C. lunata*, *C. tuberculata* et *A. alternata*. Cette activité inhibitrice est notée avec des concentrations qui sont aussi faibles que celles utilisées pour les autres fongicides. Viswanathan et Narayanasami (1992) ont montré *in vitro*, que le tricyclazole a également une efficacité vis-à-vis de *Helminthosporium oryzae*, *Thanatephorus cucumeris* et *Sarocladium*. Ce fongicide inhibe la synthèse de la mélanine en bloquant certains enzymes au cours des réactions de formation de cette substance (Buchenauer, 1990).

Le tricyclazole agit à différents niveaux des relations hôte-parasite. Ce composé a un effet sur le pouvoir pathogène des parasites (Tokousbalides et Sisler, 1979). En effet, il agit surtout sur les étapes de la germination des spores et spécialement sur la formation des appressoria (Manandhar *et al.*, 1995).

Ennaffah (1999) et Mouria (2000) ont rapporté que le tricyclazole, à différentes concentrations, inhibe la germination des spores, la croissance mycélienne et la sporulation d'*H. sativum*, *H. oryzae*, *H. speciferum* et *H. australiensis* rencontré dans les rizières marocaines.

D'autre part, les isolats de *B. sorghicola*, *B. maydis*, *B. tetramera* et *C. lunata* se sont montrés très sensibles au mancozèbe. Ces résultats concordent avec ceux de Srivastava et Gupta (1986) qui ont trouvé que parmi les fongicides testés, le mancozèbe a plus d'effet sur *Drechslera sorghicola*, *C. lunata* et *A. alternata*. De plus, ce fongicide a aussi un grand effet sur *C. lunata* avec le maximum d'inhibition à 500 ppm (Sisterna et Ronco, 1994).

Le mancozèbe est un monoalkyldithiocarbamate qui a une activité préventive. Il est multispécifique et sa fongitoxicité a été attribuée principalement à sa capacité de générer l'isothiocyanate, qui inactive le groupement thiol des enzymes et des métabolites dans les cellules (Ragsdal, 1992). Ce fongicide est utilisé contre un grand nombre de maladies telles que l'helminthosporiose, l'antracnose et l'ergot et aussi pour les infections des semences (Singh et Pavgi, 1977 ; Anahosur, 1979 et 1986 ; Pinto, 2003) ; (Ateeq et Loksha, 1996 ; Wong et Wilcox, 2001).

Par ailleurs, les Dithiocarbamates (ridomil) et les benzimidazoles (benomyl et méthyltiophanate) ont présenté une activité différente vis-à-vis des différentes espèces testées et vis-à-vis des stades du cycle de vie de chacun de ces pathogènes. L'effet de ces fongicides a été observé à des doses élevées.

Peres et Souza (2003) ont montré que le benomyl à 1 µg/ml, inhibe à 100 % la croissance mycélienne de *Colletotrichum gloeosporioides* sur le citron.

Dans d'autres travaux, le benomyl a montré une activité importante sur la croissance mycélienne d'*Helminthosporium solani* et *Colletotrichum acutatum* Peres et Souza, 2002, sur la germination des spores d'*Ulocladium cucurbitae* (Thomas et Hsu, 1992) ; (Cunha et Rizzo, 2003) . Par contre, ce fongicide a montré une efficacité sur les trois stades du cycle de vie de *Curvularia pallescens* (Olufotaji, 1992).

Le méthyltiophanate est également efficace sur l'inhibition de la croissance mycélienne et la germination des spores des pathogènes des fontes de semis (Shahda *et al.*, 1995).

Par ailleurs, le traitement des panicules de sorgho avec le métalaxyl a pu diminuer à 100 % les infections des grains par *Peronosclerospora sorghi* (Odvody et Frederiksen, 1984).

En présence de l'horizon et de l'azoxystrobine, l'inhibition des trois stades du cycle de vie de tous les isolats testés nécessite des concentrations beaucoup plus élevées que celles des autres fongicides.

Cruz (2003) a montré que les isolats résistants de *Colletotrichum graminicola* ont pu apparaître parce que les strobilurines (azoxystrobine et trifloxystrobine) présentent des propriétés mutagènes. Ainsi, l'emploi de ces fongicides dans un programme de lutte est déconseillé puisqu'il ne ferait qu'augmenter la fréquence des résistants.

Les résultats présentés ont montré que le mancozèbe et l'association du mancozèbe + métalaxyl inhibent radicalement *B. maydis*, *B. sorghicola*, *B. tetramera*, *B. sorokiniana*

et *C. lunata* sur les feuilles du sorgho, traité 24h avant l'inoculation, à la dose de 1000 ppm. Alors que *C. tuberculata* et *A. alternata* ne sont complètement inhibés qu'avec la combinaison mancozèbe + métalaxyl à la même dose.

Par ailleurs, le benomyl et le méthyl-thiophanate à 1000 ppm inhibent totalement la sévérité de *B. tetramera*, *B. sorokiniana*, *C. lunata* et *C. tuberculata* sur les feuilles du sorgho. Alors que contre *B. maydis*, une dose de 1000 ppm du méthyl-thiophanate est exigée pour atteindre le même niveau de protection.

De plus, tous les fongicides qui ont agi sur le développement des lésions foliaires provoquées par les pathogènes peuvent avoir également un effet sur la sporulation. Ainsi, ces fongicides testés aux deux concentrations utilisées, apportées avant et après l'inoculation, sont capables d'empêcher ou de réduire la sporulation des *Bipolaris*, de *C. lunata*, *C. tuberculata* et *A. alternata*.

D'après Odvody et Frederiksen (1984), le traitement des feuilles de sorgho et de maïs par le métalaxyl les protège contre *Perenosclerospora sorghi*. Selon Ryley *et al.* (2003), le mancozèbe a montré une efficacité importante contre *Claviceps africana* sur le sorgho.

L'efficacité du mancozèbe a été signalée par plusieurs auteurs. En effet, Percich (1989) ; Johnson et Percich (1992) ont rapporté que le mancozèbe, appliqué seul, à 7 jours d'intervalles ou bien suite à une application du propiconazole protège les plantes de riz de l'infection naturelle par *Helminthosporium oryzae* et augmente ainsi le rendement en plein champ. Par ailleurs, Mouria (2000) a montré que le mancozèbe inhibe *Helminthosporium oryzae* et *Pyricularia oryzae* à la dose de 1000 ppm.

En outre, Shree (1983) a rapporté que parmi les fongicides testés le bangton et le difolatan ont une efficacité importante contre *Exserohilum turcicum* sur *Sorghum vulgare*. Wegulo *et al.* (1998) ont rapporté que le chlorothalonil, le mancozèbe et le propiconazole appliqués 2 à 4 fois protègent les plantes du maïs contre les infections par *E. turcicum*, *Puccinia sorghi* et *Bipolaris zeicola*.

De plus, le benomyl s'est avéré très efficace contre *C. africana* sur le sorgho par le premier traitement foliaire à 0,2 % du fongicide (Frederickson et Leuschner, 1997). Dans d'autres travaux, Kalekar et Patil (1973) ; Sharma *et al.* (2004) ont montré que l'agrosan, cuman, captan et babyleton inhibent la sporulation de *B. tetramera*.

## Références bibliographiques

- Ahmed K.M. et Ravinder Reddy Ch., 1993. A pictorial guide to the identification of seed borne fungi of sorghum, pearl millet, finger millet, chickpea, pigeonpea and groundnut. Information Bulletin no. 34. Pantancheru, India : Information Crops Research Institute for the Semi-Aride Tropics. 200 pp: 1-45.
- Anahosur K. H., 1979. Chemical control of sorghum. Indian Phytopathology, 32 (3), 487-489.
- Anahosur K. H., 1986. Chemical control of foliar diseases of sorghum. Indian Phytopathology, 39 (4), 526-528.
- Ateeq A. S. et Lokesh S., 1996. Effect of pre-harvest fungicide treatment on sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) seed mycoflora. Journal of the Indian Botanical Society, 75 (1-2), 17-19.
- Berber F., 2003. Contribution à l'étude de la mycoflore du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) dans la région du Gharb et Loukkos : Biologie, germination et pouvoir pathogène. Mémoire de troisième cycle, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra. 84p.
- Berber F., Ouazzani Touhami A., Badoc A. et Douira A., 2007. Biologie, physiologie et pouvoir pathogène de quatre espèces de *Bipolaris* isolées du sorgho. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 2007, 146(1-2), 7-38.
- Buchenauer H., 1990. Physiological reactions in the inhibition of plant pathogenic fungi. Chemistry of Plant Protection, Spinger-Verlag, Berlin, Pages 217-292.
- Cruz A., 2003. Characterization of *Colletotrichum graminicola* isolates resistant to Strobilurine-related Qol fungicides. Plant Dis., 87, 1426-1432.
- De Waard M. A., Georgopoulos S. G., Hollomon D. W., Ishii H., Leroux P., Ragsdal N. N. et Schwinn F. J., 1993. Chemical control of plant diseases: Problems and prospects. Annuaire Revue of Phytopathology, 31, 403-421.
- Ennaffah B., 1999. Etude des *Helminthosporium* du riz: Pouvoir pathogène, interactions compétitives, contamination et mesures de lutte chimique: Thèse de doctorat National, Université Ibn Tofail Kénitra, 105p.
- Fredericksen V. P. et Leuschner K., 1997. Potential use of benomyl for control of ergot (*Claviceps africana*) in sorghum A-lines in Zimbabwe. Plant Dis., 81 (7), 761-765.
- Gunha M. G. et Rizzo D. M., 2003. Development of fungicide cross resistance in *Helminthosporium solani* population from California. Plant Dis., 87, 798-803.
- Hagan A. K. et Olive J. W., 1999. Assessment of new fungicides for the control of southern blight of aucuba. J. Environ. Hort., 17 (2), 73-75.
- Johnson D. R. et Percich J. A., 1992. Wild rice domestication, fungal brown spot disease and the future of commercial production in Minnesota. Plant Disease, 76 (12), 1193-1198.
- Kalekar A. R. et Patil P. L., 1973. Effect of various fungicides on leaf blight of wheat caused by *Bipolaris tetramera* in Maharashtra State, India. Hindustan Antibiotics Bulletin, 15 (3), 98-103.

- Kirk P.M., Cannon P.F. et David J.C., 2001. (eds). Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi, 9<sup>th</sup>. CABI Bioscience, UK Centre, Egham, UK and JA Stalpers, Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, the Netherlands, 624 p.
- Manandhar J. B., Hartman G. L. et Wang T. C., 1995. Conidial germination and appressorial formation of *Colletotrichum capsii* and *C. gloeosporioides* isolates from papper. Plant Disease, 79, 361-366.
- Miller P. M., 1972. Fungicidal control of *Helminthosporium maydis* and three other species of *Helminthosporium*. Plant Dis. Rep., 56 (7), 612-614.
- Mouria A., 2000. Approches de lutte biologique et chimique contre deux pathogènes du riz. *Pyricularia oryzae* et *Helminthosporium oryzae*. Thèse de doctorat National, Université Ibn Tofaïl Kénitra, 195p.
- Odvody G. N. et Frederiksen R. A., 1984. Use of systemic fungicides metalaxyl and fosetyl-AI for control of sorghum downy mildew in corn and sorghum in South Texas. I: Seed treatment. Plant Dis., 68 (7), 604-607.
- Odvody G. N. et Frederiksen R. A., 1984. Use of systemic fungicides metalaxyl and fosetyl-AI for control of sorghum downy mildew in corn and sorghum in South Texas. II: Foliar application. Plant Dis., 68 (7), 608-609.
- Olufolaji D. B., 1992. Effect of aeration, light and temperature on spore germination and germ tube growth of *Curvularia pallescens* Boed. Cryptogamic, Mycology, 13, 259-263.
- Percich J. A., 1989. Comparison of propiconazole rates for control of fungal brown spot of wild rice. Plant Disease, 73, 588-589.
- Peres A. R. et Souza N. L., 2002. Activity of Benomyl for control of posthloom fruit drop of Citrus caused by *Colletotrichum acutatum*. Plant Dis., 86, 620-624.
- Peres A. R. et Souza N. L., 2003. Benomyl sensitivity of isolates of *Colletotrichum acutatum* and *C. gloeosporioides* from Citrus. Plant Dis., 88, 125-130.
- Pinto N. A., 2003. Chemical control of "ergot" (*Claviceps africana* Fredericksen, Mantle and Milliano) or sugary disease and the main foliar disease of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Ciência e Agrotecnologia, 27 (4), 939-944.
- Pinto N. A., 2003. Chemical control of the anthracnose (*Colletotrichum gramimicola*) of sorghum. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 2 (3), 148-152.
- Ragsdal N. N., 1992. Fungicides. Encyclopedia of Agricultural Sciences, 2, 445-453.
- Ryley M., Bhuiyan S., Herde D. et Gordan B., 2003. Efficacy, timing and method of application of fungicides for management of sorghum ergot caused by *Claviceps africana*. Australasian Plant Pathology, 32 (3), 329-338.
- Shahda W. T., Al Rahma A. et Ragch S. A., 1995. damping off of some cucurbitaceous crops in Saudi Arabia with reference to control methods. Journal of Phytopathology, 143, 59-63.
- Sharma S. R., Gaur R. K., Singh A., Singh P. et Rao G. P., 2004. Biological and chemical control of eye leaf spot disease of sugarcane. Sugarcane Research Station, Gorakhpur, India, Sugar Tech, 6 (1 et 2), 77-80.
- Shree M. P., 1983. Efficacy of a few fungicides against the incidence of leaf blight of jowar. Dep. Bot., Bangalore Univ., Juana Bharati, India, Pesticides, 17 (10), 27-29.

- Singh D. S. et Pavgi M. S., 1977. Field evaluation of some fungicides and antibiotics for the control of rough and zonate leaf spot diseases of jowar. *Indian Journal of Plant Protection*, 5 (1), 21-28.
- Sisterna M. et Ronco L., 1994. Efficacy of three fungicides for controlling growth of five seedborne fungi associated with rice grain spotting. *International Rice Research Notes (Philippines)*, 19,25-26.
- Srivastava R. N. et Gupta J. S., 1986. Seedborne fungi of Verbena their significance and control. *Journal of the Indian Botanical Society*, 65 (2), 229-233.
- Thomas A. Z. et Hsu L. W., 1992. Influence of temperature and fungicide on germination, growth and virulence of *Ulocladium cucurbitae* on cucumber. *Phytopathology*, 82, 358-362.
- Tokousbalides M. C. et Sisler D., 1979. Site of inhibition by Tricyclazole in the melanin Biosynthetic Pathway of *Verticillium dahliae*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 11,64-73.
- Viswanathan R. et Narayanasamy P., 1992. Effect of tricyclazole and mancozebe on rice pathogens. *Madras Agricultural Journal*, 79 (12), 670-674.
- Wegulo S. N., Rivera-C.J. M., Martinson C. A., et Nutter F. W., 1998. Efficacy of Fungicide Treatments for Control of Common Rust and Northern Leaf Spot in Hybrid