



RESEARCH ARTICLE

AMELIORATION DE LA PRODUCTION DU MAÏS (*Zea mays* L.) EN COTE D'IVOIRE PAR L'UTILISATION D'EXTRAITS DE PLANTES CONTRE LES CHAMPIGNONS PATHOGENES EN MILIEU NATUREL

Kouo-N'golo Soro, Yadom Yao François Regis Kouakou, Marie-Noël Yeyeh Toualy, Koutoua Seka and Hortense Atta Diallo

Unité Santé des Plantes, Pôle de Recherche Productions Végétales, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 29 February 2024

Final Accepted: 31 March 2024

Published: April 2024

Key words:-

Fungus, Plant Extracts, Pathogens, Zea Mays

Abstract

Corn is the second largest food crop in Côte d'Ivoire by tonnage after rice with an annual production of around 600,000 tonnes (FAO, 2014). This commodity is widely cultivated for its starchy grains. It is also used as a fodder plant in certain localities. However, its cultivated plant is faced with the problem of fungal diseases observed in recent years in the large growing areas of the country. This study was carried out to identify pathogenic fungal genera of corn leaves and control these fungi with aqueous extracts of plant leaves. Thus, corn leaves in culture were inoculated with sporal concentrations of *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., and *Helminthosporium* sp. The pathogenicity test showed that the fungus *Helminthosporium* sp was the most pathogenic followed by the genus *Curvularium*. This study also showed that plant extracts inhibit the development of the three fungal genera studied and improve plant growth and corn production in the field. *Azadirachta indica* and *Ricinus communis* extracts significantly reduced foliar symptoms and increased corn production. As for the *Nicotiana Tabacum* reduced the symptoms but did not promote a significant increase in corn production.

Copy Right, IJAR, 2024., All rights reserved.

Introduction:-

Le maïs (*Zea mays* L.) est la troisième denrée céréalière la plus cultivée au monde après le blé et le riz, et la deuxième, au plan national, après le riz. (FAO, 2014).

En Côte d'Ivoire, le maïs représente la deuxième denrée céréale au plan national après le riz. Sa production nationale est estimée à 654738 t pour une superficie de 335000 ha (FAO, 2014).

Malgré son importance, la production de maïs reste tout de même insuffisante pour couvrir les besoins nationaux (Yéo, 2011). En effet, la Côte d'Ivoire reste dépendante de l'extérieur pour satisfaire la demande croissante de la population (Rabanyetal., 2014). Plusieurs raisons pourraient expliquer cette insuffisance. Il s'agit entre autres de l'utilisation de semences issues des récoltes précédentes, de semences infectées, de la méconnaissance des bonnes pratiques agricoles, de la concurrence des adventices des cultures qui sont responsables de 5 % des pertes de récolte en zone tempérée et généralement de plus de 25 % en zone tropicale (Le Bourgeois et Marnotte, 2002). En dehors de ces différents facteurs, la pression parasitaire constitue un réel danger pour la culture du maïs.

Corresponding Author:- Kouo-N'golo Soro

Address:- Unité Santé des Plantes, Pôle de Recherche Productions Végétales, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

Pour remédier à ces nombreuses difficultés rencontrées pendant la culture du maïs, différentes méthodes de luttés sont utilisées. La méthode de lutte la plus utilisée est la lutte chimique. Cependant, les dégâts enregistrés en santé humaine et sur l'environnement, dû à l'utilisation des pesticides conventionnels sont fréquents (Aubertot *et al.*, 2005). Face à ces inconvénients, de nouvelles méthodes de lutte non chimiques sont préconisées. Il s'agit entre autres de l'utilisation d'extrait de plante, alternative à la lutte chimique qui pollue et entraîne à la longue des résistances chez les pathogènes et des résidus dans les produits (Amienyo et Ataga, 2007). Des études ont montré que certains extraits de plantes possèdent des activités antifongiques (Monisha, 2013). Ce sont les feuilles de *Azadirachta indica*, *Chromolaena odorata*, *Ricinus communis* et *Nicotiana tabacum*.

L'objectif général de ce travail est d'améliorer la production de maïs par le contrôle des maladies foliaires fongiques en utilisant des extraits de plante.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- identifier les champignons des plantes du maïs ;
- évaluer l'efficacité des extraits sur les agents pathogènes de la plante de maïs
- et comparer les effets de ces extraits sur la production du maïs.

Materiel Et Methodes:-

Matériel:-

Le matériel végétal a été composé d'une part de semences et feuilles de maïs et d'autre part de feuilles de *Azadirachta indica*, *Chromolaena odorata*, *Nicotiana tabacum* et *Ricinus communis* (**Figure 1**). Les plantes de maïs ont été utilisées pour le test de pathogénicité, proviennent de notre parcelle expérimentale.

Le matériel technique utilisé a été composé d'un autoclave, d'un appareil photo (Sony 1 Mega pixel CCD), d'un pulvérisateur, des boites de pétri et une pince stérile d microscope optique de marque ZEISS a été utilisé pour la description microscopique des souches fongiques isolées et d'une hotte pour une manipulation en milieu aseptique.



Figure 1:- Feuilles des différentes plantes utilisées pour la préparation des extraits végétaux.

A : *Azadirachta indica*, B : *Chromolaena odorata*, C : *Ricinus communis*, D : *Nicotina tabacum*.

Méthodes:-

Identification des espèces fongiques associées aux maladies des plantes de maïs

Les échantillons de feuille et de plants de maïs ont été découpés et désinfectés avec de l'eau de javel à 3% pendant 3 min. Ensuite, après rinçage, les mêmes morceaux de feuilles ou de plants désinfectés ont été déposés aux extrémités de deux axes perpendiculaires tracés au revers de chacune des 250 boîtes de Pétri contenant le milieu PDA utilisées en raison de 10 boîtes par variétés de maïs. Les colonies mycéliennes qui se sont développées ont été cultivées successivement pour donner des souches pures qui ont été identifiées. Enfin, la fréquence d'isolement de chaque champignon a été notée (Botton et al., 1990). Deux types de tests ont été fait :

Pathogénicité des champignons isolés

Les plants de maïs frais apparemment saines âgées de 45 jours ont été désinfectées à l'hypochlorite de sodium 12° dilué à 10 % pendant 5 à 10 minutes. Une partie de la feuille a été légèrement blessée à l'aide d'un scalpel stérile et un inoculum fongique liquide a été aspergé directement sur la blessure. Les feuilles témoins ont été également blessées puis inoculées avec la concentration sporale issue de milieu PDA. Après ces inoculations, les feuilles ont été incubées sous abris dans les conditions d'humidité et éviter les contaminations extérieures. Après une semaine de conservation, l'observation des symptômes sur les feuilles de maïs a été faite, puis le diamètre moyen des symptômes calculé selon la formule suivante :

$$D_m = (\sum_i^n X_i) / N$$

D_m : diamètre moyen ; X_i : diamètre de symptôme et N : nombre total de symptôme.

Evaluation de l'effet invitro des extraits aqueux des plantes sur les différents champignons

Préparation des extraits aqueux

Les feuilles d'*Azadirachta indica*, *Chromolaena odorata*, *Nicotiana tabacum* et de *Ricinus communis* ont été séchées à la température ambiante du laboratoire (environ 26 °C), pendant deux semaines. Une quantité de 100 g de feuilles séchées, a été finement broyée puis infusée dans 1 l d'eau distillée pendant 48 heures selon la méthode de Zohra (2006). L'infusion a été agitée à la main afin homogénéiser le mélange. Après 48 heures, il a été filtré au travers d'un tamis de 3 µm de mailles. Le filtrat obtenu a été de nouveau stérilisé 2 fois sur du coton hydrophile stérile de 20 cm d'épaisseur placé à l'intérieur d'une colonne de seringue, selon la méthode Ackah (2008). Les extraits ainsi obtenus ont été utilisés pour effectuer les tests in vitro et in vivo.

a) 1.3.3.2. Effet in vitro des extraits aqueux sur la croissance mycélienne des champignons

Test de sensibilité des champignons pathogènes du maïs aux extraits aqueux de feuilles séchées de plantes

La sensibilité des champignons pathogènes a été évaluée en boîte de Pétri sur le milieu PDA incorporé d'extraits de plantes à effet fongicide. Un inoculum sous la forme de disque mycélien de 0,7 cm de diamètre de chaque champignon a été prélevé des colonies mycéliennes âgées de 7 jours sur le milieu de culture PDA. Un inoculum a été déposé sur le milieu PDA amendé d'extraits de plantes ou non dans chaque boîte de Pétri à l'intersection de deux axes perpendiculaires tracés au revers des boîtes de Pétri. Un lot de trois boîtes de Pétri a été mis en place par concentration, soit un total de 12 boîtes de Pétri par extrait de plante pour un champignon donné. L'expérience a été répétée trois fois.

Détermination de l'efficacité des extraits de plantes sur la croissance mycélienne

Des mesures du diamètre des colonies mycéliennes ont été effectuées quotidiennement à l'aide d'une règle graduée suivant les deux axes perpendiculaires tracés aux revers des boîtes jusqu'à ce que les colonies mycéliennes remplissent les boîtes de Pétri témoins. Pour évaluer l'efficacité des extraits de plantes sur la croissance mycélienne des champignons, le taux d'inhibition des champignons a été déterminé selon la formule de Kumar et al. (2007).

$$Ti (\%) = \frac{D_c - D_t}{D_c} \times 100(8)$$

$Ti (\%)$: Taux d'inhibition moyen de la croissance mycélienne du champignon

D_c : Diamètre moyen de la colonie mycélienne du champignon sur le milieu de culture témoin

D_t : Diamètre moyen de la colonie mycélienne du champignon sur le milieu de culture amendé d'extraits de plantes

Les inocula fongiques qui n'ont pu se développer sur le milieu amendé d'extraits végétaux ont été recultivés sur un milieu PDA sans extrait végétaux. Cette expérience a été faite dans le but de vérifier le type d'activité fongicide des

extraits végétaux. En cas de croissance du champignon, l'extrait est dit fongistatique. Par contre, l'extrait est dit fongicide si aucune croissance du champignon n'est observée.

Evaluation de l'effet *in vivo* des extraits aqueux des plantes sur le développement des symptômes foliaires de maïs

Les effets *in vivo* des extraits d'*A. indica*, *C. odorata*, *R. communis* et de *N. tabacum* ont été étudiés sur les feuilles des plants de maïs en champ.

Dispositif expérimental

Une (1) parcelle expérimentale a été mise en place et la parcelle a été subdivisée en cinq blocs randomisés. Chaque bloc comportait huit (08) parcelles élémentaires de 50 m x 25 m. Les blocs étaient séparés les uns des autres par 1 m. Chaque parcelle élémentaire comportait 160 pieds en raison de 20 pieds par ligne, avec un espacement de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets. Les semis ont été faits en raison de 2 grains par poquets.

Traitement

Les filtrats obtenus à partir de la macération aqueuse des poudres séchées de feuilles des végétaux (*A. indica*, *C. odorata*, *R. communis* et *N. tabacum*) à la concentration de 60 g/ml soit 0,6 Kg/10 L ont été transvasés dans des pulvérisateurs à dos. Et les parcelles de maïs âgées de 45 jours, ont été pulvérisées une fois par semaine jusqu'à la maturité des épis.

Les observations ont été faites une fois par semaine et portaient sur les maladies fréquentes du maïs. A partir d'un échantillon de 30 pieds par parcelle nous avons estimé l'incidence et la sévérité de ces maladies.

Evaluation de l'effet des extraits végétaux sur le rendement

Des mesures ont été effectuées sur les plants marqués tout le long de leur cycle de développement, de la germination jusqu'à la récolte. Neuf (9) caractères ont été sélectionnés puis examinés. Ces caractères ont été répartis en deux catégories à savoir : les paramètres de croissance (2), les paramètres de production du grain (7). (Tableau 1). Les mesures et observations ont porté sur l'ensemble des plants sélectionnés, de la germination à la récolte. Les moyennes de chaque caractère quantitatif ont été retenues.

Tableau 1:- Paramètres du rendement.

Paramètres	Caractères	Codes	Definitions
Paramètres de croissance	Hauteur de la plante	HPL	Hauteur entre le niveau du sol à partir de la base de la plante, et le niveau d'insertion de la feuille la plus élevée, exprimée en centimètre (cm).
	Hauteur d'insertion des épis	HIE	Hauteur entre le niveau du sol, à partir de la base de la plante et le niveau d'insertion des épis, exprimée en centimètre (cm).
Paramètres de production de grains	Longueur des épis	LE	Longueur moyenne des épis produits par parcelle, exprimée en centimètre (cm).
	Diamètre des épis	DE	Diamètre moyen des épis produits par parcelle, exprimé en centimètre (cm).
	Masse des épis	ME	Masse moyenne des épis produits par parcelle, exprimée en gramme (g).
	Masse des épis nus	MEN	Masse moyenne des épis sans la spathe produite par parcelle exprimée en gramme.
	Nombre moyen de grains	NMG	Nombre moyen de grains produits par épi et par parcelle.
	Nombre de Rangées de grains	NRG	Nombre moyen de rangées de grains par épi et par parcelle.
	Masse de 100 grains	M100 G	Masse de 100 grains obtenus par épi, exprimée en gramme (g).

Analyse statistique

Le logiciel Statistica 7.1 a été utilisé pour effectuer une série d'analyses de variance à un critère de classification (ANOVA 1). Les analyses ont concerné :

- La fréquence d'isolément des champignons associés aux feuilles de maïs
- les taux moyens d'inhibition de la germination des conidies des isolats en fonction des concentrations des extraits.
- et les moyennes des paramètres du rendement en fonction des traitements aux extraits aqueux végétaux.

En cas de différence significative, la comparaison des moyennes a été faite par le test de LSD Fischer au seuil de 5% afin de déterminer les différents groupes homogènes pour les croissances mycéliennes. Et pour la sporulation et les tests in vivo, selon le test U de Mann-Whitney au seuil de 5 %.

Resultats Et Discussion:-

Résultats:-

Champignons associés aux plantes du maïs en culture

Au total 8 genres fongiques ont été isolées des symptômes observés. Il s'agit de *Fusarium* sp, de *Colletotrichum* sp d'*Helminthosporium* sp de *Pestalotiopsis* sp espèce de *Puccinia sorghi* *Curvularia* sp, *Apergillus* sp, *Nigrospora* sp (Figure2).

L'espèce de *Puccinia sorghia* présenté des pustules rouges renfermant des spores orangées. Ces spores ont des formes ovales, avec un contour irrégulier en dent de scie. L'intérieur de la spore est déprimé. *Puccinia sorghi* été isolée des feuilles présentant les symptômes de la rouille.

Au niveau du genre *Fusarium* la face supérieure de la boîte de pétri est floconneux avec une croissance concentrique, de couleur beige avec un revers orangé. Ces conidies ont une forme de croissant lunaire, cloisonnées, incurvée avec l'extrémité effilée. Il est associé aux symptômes du dessèchement apical du limbe et à la lésion de la gaine.

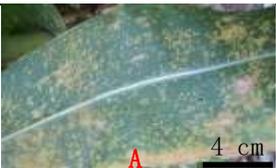
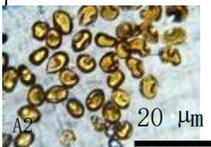
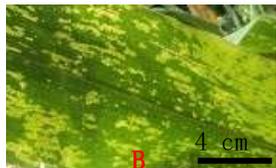
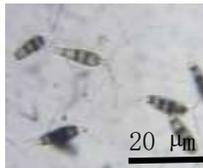
Pour ce qui est d'*Helminthosporium* sp, son mycélium est de coloration noire à la face supérieure et au revers de la boîte. Le thalle est cotonneux avec une croissance régulière. Les conidies sont cloisonnées, ramifiées, de forme allongée et septée, avec des extrémités arrondies.

Le genre *Colletotrichum*, présente un mycélium floconneux avec une croissance concentrique, de coloration grise au fond de la boîte de pétri et blanc à la surface, le revers est noir grisâtre. Les conidies de *Colletotrichum* sont bacciformes et non cloisonnées. *Colletotrichum* sp est associés aux symptômes de à la tache translucide et à la tache blanche.

Le thalle de *Curvularia* sp est tapissé et de couleur vert sombre à la face supérieure avec une croissance concentrique à contour plus ou moins régulier. Les conidies sont en formes de fuseau, présentant une coloration marron foncé au centre et clair aux extrémités, les extrémités sont arrondies

Nigrospora sp a un Thalle blanc grisâtre, cotonneux, croissance uniforme. Les conidies sont volumineuses circulaire à contour irrégulier et noir. Il est associé aux symptôme tache noir sur la nervure principale

Pestalotiopsis sp. Thalle blanc grisâtre, poudreux, croissance uniforme conidies fusiforme très peu incurvées, penta septées, segments extrêmes hyalins portant des flagelles. Il s'associe aux taches translucides des feuilles.

Symptômes	Aspects macroscopiques	Aspects macroscopiques	Aspects microscopiques	Champignons
	Vue de dessus Ne présent pas de colonie	Vue de dessous Ne présente pas de colonie		<i>Puccinia</i> sp.
				<i>Pestalotiopsis</i> sp.

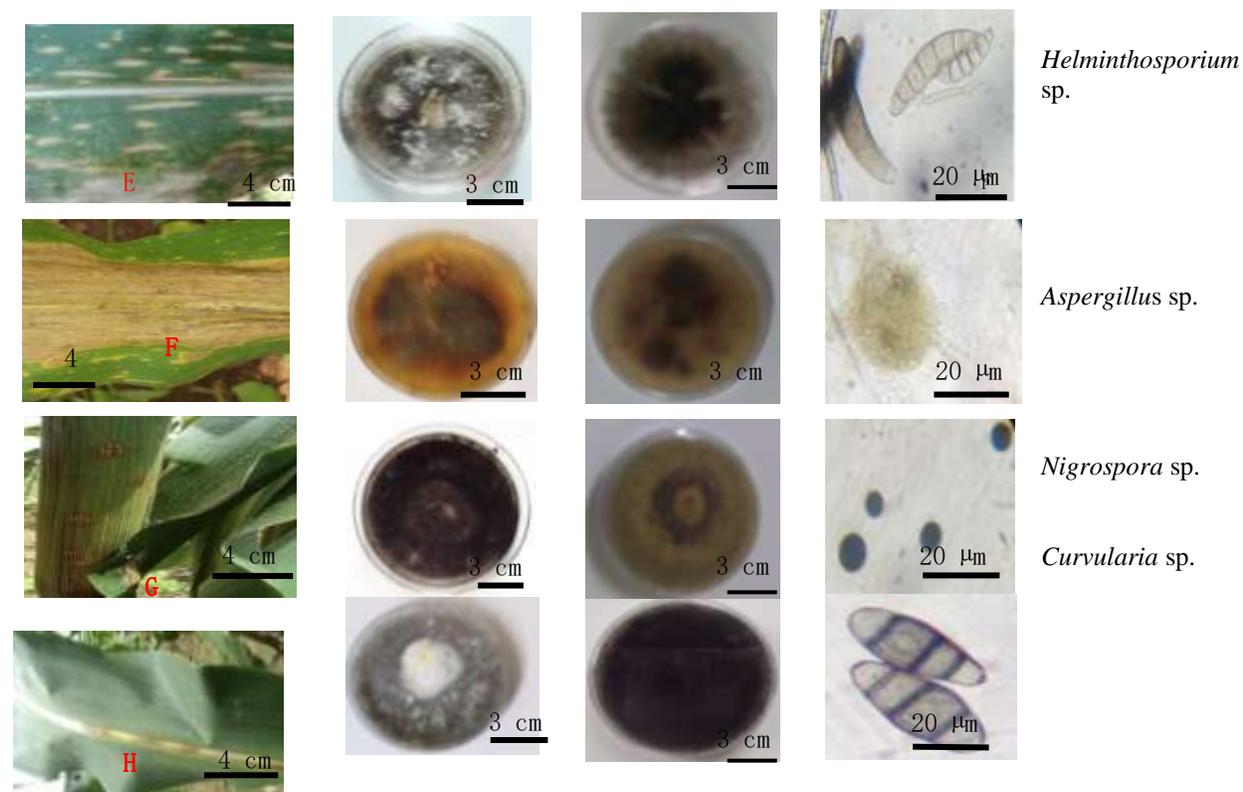
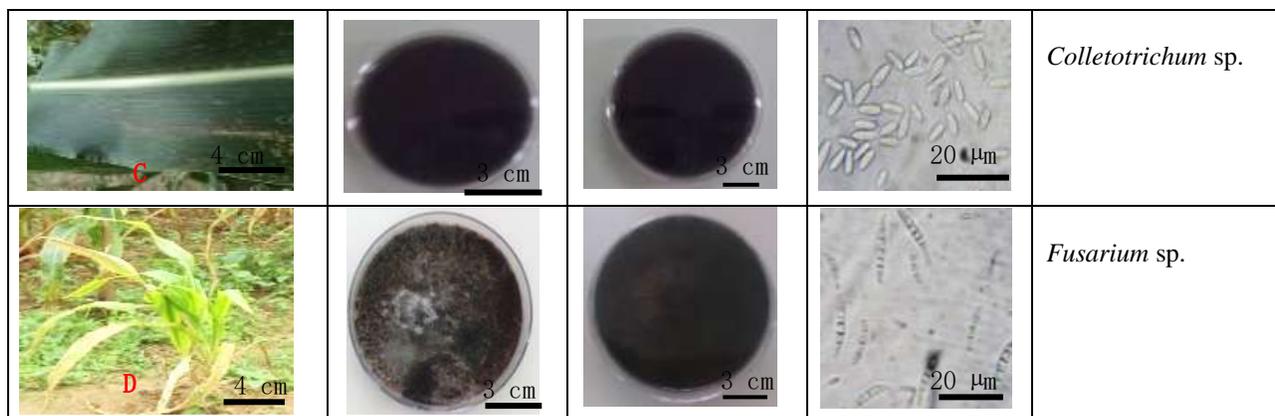


Figure 1:- Caractères macroscopiques et microscopiques des champignons associés aux symptômes foliaires sur milieu PDA âgé de 10 jours (G x 400)

A : rouille, B : tache translucide, C : tache blanche, D : Jaunissement central du limbe, E : tache brune allongée F : dessèchement apical du limbe, G : lésion de la gaine, H : lésion de la nervure principale,

Fréquence d'isolement des champignons

Les fréquences d'isolement des différents champignons ont varié de 2.43 % à 68.62%. *Puccinia sorghi* eu le taux d'isolement le plus élevé suivi de *Curvularia* sp et de *Helminthosporium* sp. *Pestalotiopsis* et *Aspergillus* sp ont eu des taux d'isolement les plus faibles (**Figure 3**). Et *Fusarium* sp, *Nigrospora* sp ont des taux d'isolement intermédiaires. Les analyses statistiques ont montré quatre classes homogènes présentant des différences significatives entre elles ($P < 0,000$).

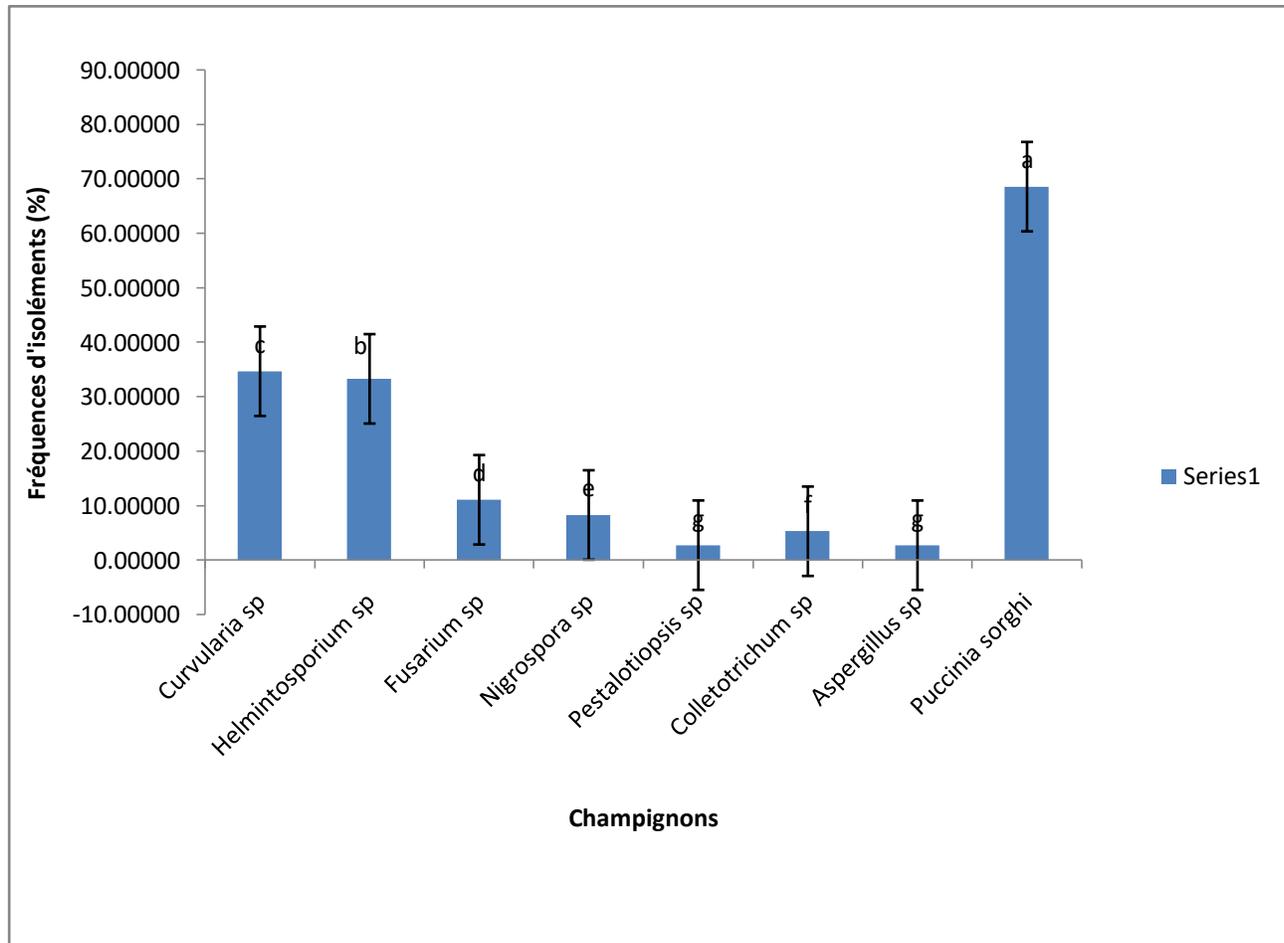


Figure 3:- Fréquence d'isolement des champignons isolés des feuilles de maïs.

Les bandes portant la même lettre sur les écarts-types ne sont pas statistiquement différents selon le test de LSD Fisher au seuil de 5 %

Pathogénicité des souches isolées du maïs

L'inoculation effectuée avec les différents champignons sur les feuilles fraîches de maïs ont permis d'observer différents types de symptômes. La coloration et le types de symptômes ont été décrits. La coloration des symptômes a varié en fonction des espèces fongiques. Aucun symptôme n'a été observé chez les témoins (**Figure 4**).

Les feuilles inoculées avec le champignon *Helminthosporium sp* ont présentées quatre types de symptômes in vivo. Il s'agit des taches brunes allongées, de la lésion de la nervure principale, de la décoloration locale de la feuille et du dessèchement apical du limbe. Les champignons *Curvularia sp* et *Fusarium sp* ont provoquée des taches noirâtres sur les feuilles détachées.

Les diamètres moyens des symptômes ont varié entre 0 et 3.5 cm. Le plus gros diamètre a été obtenu avec *Helminthosporium* (3.5 cm) et le plus petit diamètre a été obtenu avec *Fusarium* (1.5 cm).



Figure 4:- Photos montrant les symptômes provoqués par les champignons in vitro.
a: Témoin; b : *Fusarium* sp; c : *Curvularia* sp; c : *Helminthosporium* sp

Activités antifongiques des extraits aqueux de feuilles de plantes sur les champignons responsables de symptômes foliaires du maïs

Inhibition in vitro de la croissance mycélienne des champignons sous l'effet des extraits aqueux de plantes

Des colonies mycéliennes des champignons responsables des symptômes foliaires ont été observées dans les boîtes de Pétri contenant le milieu PDA amendé ou non des extraits de plantes. Pour chaque extrait, le taux d'inhibition de la croissance mycélienne des champignons a augmenté avec la concentration de l'extrait aqueux (**Tableau 2**). Les analyses statistiques ont montré des différences hautement significatives entre les taux d'inhibition de la croissance mycélienne induit par différentes concentrations des extraits ($P < 0,001$). Les taux d'inhibition les plus élevés ont été notés dans l'ensemble avec tous les extraits à la concentration de 60 g/l (**Tableau 2**).

Les plus faibles taux de d'inhibition ont été enregistré par contre pour les plus faibles concentrations d'extraits (40 g/l). Aucune inhibition totale de la croissance mycélienne des champignons n'a été observée quelle que soit la concentration des extraits de plantes appliquées. Cependant, les taux d'inhibition ont été de 40,37, 73,70 et 81,11 % respectivement pour *Curvularia lunata*, *Helminthosporium maydis* et *Fusarium verticillioides* à la concentration de 60 g/l des extraits aqueux de *C.odorata*. Il en est de même pour les extraits aqueux des autres plantes.

À la concentration de 60 g/l, de l'extrait de *A.indica* les taux d'inhibition de la croissance mycélienne ont été de 39,25, 87,03 et 87,77 % respectivement pour *Curvularia lunata*, *Helminthosporium maydis* et *Fusarium verticillioides*.

Pour l'extrait de *Nicotiana tabacum*, à 60 g/l, les taux d'inhibition de la croissance mycélienne ont été de 74,44, 81,85 et 86,66% respectivement pour *Curvularia lunata*, *Helminthosporium maydis* et *Fusarium verticillioides*.

En ce qui concerne l'extrait de *Ricinus communis*, les taux d'inhibition ont été de 16,66, 54,07 et 87,77 % respectivement pour les champignons *Curvularia lunata*, *Helminthosporium maydis* et *Fusarium verticillioides* à la concentration de 60 g/l.

Tableau 2:- Taux d'inhibition de la croissance mycélienne des champignons responsables des symptômes foliaires du maïs sur le milieu PDA amendé de différentes concentrations d'extrait de plantes.

Extraits de plantes	Concentrations (g/l)	Taux d'inhibition de la croissance mycélienne des champignons (%)		
		<i>Curvularia lunata</i>	<i>Helminthosporium maydis</i>	<i>Fusarium Verticillioides</i>
<i>Chromolaena odorata</i>	20	16,66 ± 3,20 ^b	67,03 ± 3,03 ^a	82,22 ± 3,39 ^a
	40	19,25 ± 5,60 ^b	71,85 ± 1,85 ^a	82,59 ± 0,97 ^a
	60	40,37 ± 3,91 ^a	73,70 ± 1,85 ^a	81,11 ± 1,11 ^a
	F	7,08	7,11	7,13
	P	< 0,001	> 0,05	> 0,05
<i>Nicotiana tabacum</i>	20	61,85 ± 2,59 ^c	75,92 ± 1,85 ^b	61,48 ± 5,74 ^b
	40	70,74 ± 2,42 ^b	74,81 ± 1,69 ^b	73,70 ± 3,03 ^a
	60	86,66 ± 1,69 ^a	81,85 ± 0,37 ^a	74,44 ± 1,69 ^a
	F	7,14	12,20	7,22
	P	< 0,001	< 0,001	< 0,001
<i>Azadirachta indica</i>	20	11,11 ± 0,00 ^b	75,18 ± 0,97 ^b	67,77 ± 1,11 ^b
	40	15,55 ± 3,9 ^b	79,25 ± 0,37 ^a	82,96 ± 2,96 ^a
	60	39,25 ± 2,89 ^a	87,03 ± 0,37 ^a	87,77 ± 1,11 ^a
	F	12,28	7,18	7,18
	P	< 0,001	< 0,001	< 0,001
<i>Ricinus communis</i>	20	17,03 ± 0,37 ^b	64,44 ± 7,69 ^b	67,77 ± 1,11 ^b
	40	55,18 ± 1,61 ^a	79,25 ± 0,37 ^a	80,00 ± 0,00 ^a
	60	16,66 ± 0,00 ^b	54,07 ± 4,55 ^c	87,77 ± 1,11 ^a
	F	7,10	12,08	12,12
	P	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Dans chaque colonne et pour un même extrait, les valeurs affectées de la même lettre sont statistiquement égales selon le test LSD de Fisher au seuil de $\alpha = 0,05$. P : probabilité

Evaluation des effets comparés des extraits in vivo sur le développement des symptômes foliaires du maïs et sur la production

Effet comparé des différents extraits aqueux végétaux sur des paramètres de croissance

Les tests de Kruskal Wallis effectués, montrent une différence significative entre les valeurs moyennes des hauteurs des plants ($P = 0,00$) et des hauteurs moyenne d'insertion des épis en fonction des traitements ($P= 0,00$) (Figure5).

En effet, les traitements aux extraits aqueux végétaux influencent la hauteur du plant et la hauteur d'insertion des épis. Quel que soit l'extrait appliqué, les hauteurs des plants et la hauteur d'insertion des épis sont nettement supérieures à celles des parcelles témoins, qui n'ont reçu aucun traitement. La croissance moyenne des hauteurs des plants la plus élevée a été observé sur les parcelles traitées avec *R. communis* et avec l'*A.indica* pour la hauteur moyenne d'insertion des épis. Par contre, les plus faibles valeurs pour les deux paramètres considérés ont été notée sur les parcelles traitées avec *C. odorata*. Les analyses statistiques ont permis de déterminer trois classes d'extrait pour chaque paramètre. Ainsi, les extraits aqueux végétaux favorisent la croissance des plants de maïs.

Effet comparé des différents extraits aqueux végétaux sur des paramètres de production du grain

L'analyse statistique effectuée sur les paramètres de production de grains a montré une différence significative de l'effet des extraits végétaux aqueux de *A. indica*, *C. odorata*, *R. communis* et de *N.tabacum* sur les paramètres de production du grain : les diamètres moyens des épis ($P= 0,000$) ; les longueurs moyennes des épis ($P= 0,000$) ; les masses moyennes des épis ($P=0,000$) ; le nombre moyen de rangée de grains par épi ($P=0,000$), le nombre moyen de grains par épi ($P= 0,000$). Les différents traitements appliqués influencent les paramètres de production du grain (Tableau 3). Les meilleures valeurs de ces paramètres ont été observées sur les parcelles traitées à l'extrait d'*A. indica* et les plus faibles avec l'extrait de *C. odorata*. En effet, les épis provenant des parcelles traitées ont produit des épis plus fournis en grain, plus gros, long avec une spathe plus lourdes comparés à ceux des parcelles témoins. Les tests statistiques ont révélé trois à quatre classes en fonction du paramètre considéré (Tableau 4). Les paramètres de production du grain ont été amélioré quel que soit l'extrait végétal utilisé pour le traitement.

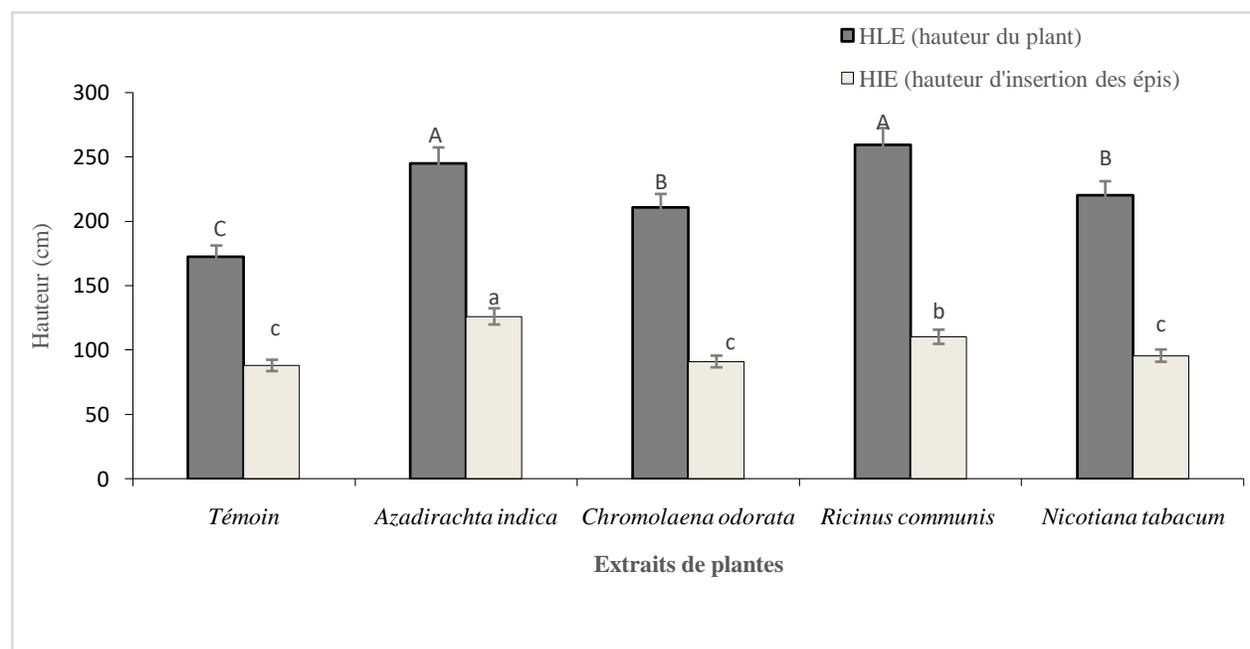


Figure 5:- Hauteurs des plants et hauteurs d'insertion des épis de maïs traité en fonction des extraits de plantes.

Dans chaque histogramme, pour chaque paramètre, les barres de moyennes portant la même lettre sur les écarts-types sont statistiquement identiques au seuil de $\alpha = 0,05$ selon le test LSD de Fisher

Tableau 3:- Paramètres agronomiques du maïs en fonction des traitements effectués.

Traitements	Paramètres agronomiques du maïs						
	LE	DE	ME	MEN	MCG	NMG	NRG
Témoin	13,32±0,03 ^b	12,95±0,02 ^c	106,61±0,44 ^c	96,60±0,44 ^c	28,33±0,08 ^b	12,80±0,02 ^c	23,13±0,09 ^a
<i>A. indica</i>	18,26 ± 0,02 ^a	15,00± 0,00 ^a	225,04±0,41 ^a	202,68±0,37 ^a	35,02±0,06 ^a	36,66±0,1 ^a	14,26±0,02 ^b
<i>C. odorata</i>	12,53 ± 0,02 ^b	12,85± 0,01 ^c	106,37±0,29 ^c	92,64±0,29 ^c	28,41±0,04 ^b	24,78±0,7 ^b	14,26±0,02 ^b
<i>R. communis</i>	17,33 ± 0,02 ^a	13,65± 0,01 ^c	201,60±0,54 ^a	181,24±0,52 ^a	32,07±0,06 ^a	37,53±0,06 ^a	13,46±0,01 ^b
<i>N. tabacum</i>	16,19 ± 0,01 ^a	14,48±0,01 ^a	169,30±0,35 ^b	155,12±0,33 ^b	34,74±0,03 ^a	28,13±0,05 ^b	14,26±0,01 ^b
F	12,33	6,310	23,81	22,21	4,23	13,46	30,79
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Les valeurs suivies de même lettre dans une même ligne sont statistiquement égales selon le test LSD de Fisher au seuil de $\alpha = 0,05$. P : probabilité, F : valeur de Fisher

DE : Diamètre des épis, LE : Longueur des épis, ME : Masse des épis, NRG : Nombre de rangées de grains/épi, NMG : Nombre de grains/épi, MEN : Masse des épis nus ; MCG : Masse de 100 grains/épi,

Tableau 4:- Rendements des plants de maïs en fonction des traitements effectués.

Traitements effectués	Rendement (t/ha)
Témoin (non traité)	1,81 ^c
<i>Chromolaena odorata</i>	1,95 ^c
<i>Nicotiana tabacum</i>	3,14 ^b
<i>Ricinus communis</i>	4,16 ^a
<i>Azadirachta indica</i>	4,32 ^a
F	39,87
P	< 0,001

Les valeurs suivies de la même lettre sont statistiquement égales selon le test LSD de Fisher au seuil de $\alpha = 0,05$. P : probabilité, F : valeur de Fisher

Discussion:-

Huit genres fongiques de champignons ont été isolés de ces symptômes, ce sont les genres *Pestalotiopsis*, *Puccinia sorghi*, *Helminthosporium*, *Curvularia*, *Nigrospora*, *Aspergillus Colletotrichum* et *Fusarium*. Ces champignons ont été observés par plusieurs auteurs et ceux-ci ont montré que ces champignons sont associés aux symptômes observés sur le maïs. Wallin *et al* (1991) ont montré que le genre *Penicillium* était parmi les champignons qui contaminent surtout les grains de maïs. D'autres études menées par Howatt (2006) lors de ses travaux sur les problèmes liés à la production du maïs au Canada ont montré que *Puccinia*, *Helminthosporium*, *Colletotrichum*, *Fusarium* et *Penicillium* sont des champignons associés au maïs.

Nos résultats ont montré que *Colletotrichum* a été isolé sur plusieurs plantes. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que *Colletotrichum* a été isolé de plusieurs symptômes. En effet Crouch et Beirn (2009) lors de leur étude sur l'Anthracnose des céréales affirmaient que *Colletotrichum* est le champignon responsable de l'anthracnose et que cette maladie détruisait les cultures céréalières.

Le test de pathogénicité effectué avec les champignons *Curvularia* sp, *Fusarium* sp., et *Helminthosporium* sp sur les feuilles de maïs de maïs ont abouti à des symptômes. Le même résultat a été obtenu par Bahous *et al.* (2008). En effet, Ces auteurs ont montré le pouvoir pathogène d'*Helminthosporium oryzae*, *Helminthosporium sativum*, *Helminthosporium spiciferum* et *Curvularia lunata* persistant et leur capacité à provoquer des symptômes caractéristiques sur les feuilles de riz (Kassikou *et al.*, 2003). De même, la pathogénicité du genre *Fusarium* a été mise en évidence par les travaux de Howatt (2006).

Les genres *Curvularia*, *Fusarium* et *Helminthosporium* sont généralement associés aux maladies foliaires du maïs (CIMMITY, 2004). Les extraits de *A.indica*, *C odorata*, *N. tabacum* et *R. communis* ont montré une activité antifongique contre les champignons *Curvularia*, *Fusarium* et *Helminthosporium*. Cette activité antifongique de ces extraits pourrait être due aux composés chimiques qu'ils possèdent.

Les études menées par Koumaglo *et al.* (2009), sur la composition chimique de l'huile essentielle de *Chromolaena odorata* au Togo a révélé que l'extrait aqueux de cette plante possède des propriétés antifongiques dues à la présence de composés tels que les phénols, les tanins et les flavonoïdes. Adjou *et al.* (2013) ont également montré l'efficacité des extraits de dix plantes médicinales dont *Chromolaena odorata* qui fut parmi les plantes les plus efficaces sur la croissance des moisissures toxigènes responsables de l'altération des graines de l'arachide en poste récolte au Bénin.

Selon Avlessi *et al.* (2012), l'extrait de *C. odorata* contient des substances antifongiques telles que les sesquiterpènes, les monoterpènes, les flavonoïdes et des tanins, ces substances auraient montré une efficacité sur de nombreuses souches fongiques telles que *Aspergillus ochraceus* et *Penicillium digitatum*

Dans cette étude, l'extrait de *A. indica* s'est démarqué par son efficacité supérieure à 40 % à la concentration de 20 g/l. sur les trois champignons traités aussi bien sur l'inhibition de la croissance mycélienne que sur la sporulation des souches à la concentration de 60 g/l. propriétés insecticides, fongicides, répulsives vis-à-vis de nombreux insectes, (Fortin *et al.*, 2000 ; Schenk *et al.*, 2011).

Concernant l'extrait de *R. communis* il a induit une réduction considérable des diamètres mycéliens des champignons traités dans cette étude. Les travaux menés par Monisha *et al.* (2013) ont montré l'efficacité in vitro de l'extrait aqueux des feuilles de *R. communis* contre les champignons *Aspergillus niger* et *Botryodiplodia theobromae*. En effet, selon ces auteurs l'extrait a réduit à plus de 80 % la croissance mycélienne de ces champignons. Cette activité antifongique serait due selon eux à la présence de nombreuses substances antifongiques (tanins, terpenoïdes, flavonoïdes, stéroïdes, sesquiterpènes, la ricinine) dans l'extrait de *R. communis*. Les propriétés antifongiques de *R. communis* ont été également mis en évidence par Bayaso *et al.* (2013) lors de ces travaux portant sur le brunissement précoce de la tomate. Ces auteurs ont montré que l'extrait de *R. communis* réduisait de 60 % le diamètre mycélien de *Alternaria solani* responsable de cette maladie chez la tomate.

L'activité antifongique induite par l'extrait de *N. tabacum* moins efficace comparativement à *R. communis* le plus efficace et *A. indica*. En effet cette activité serait due à la nicotine qui est un composé très toxique contenue dans ces feuilles. Lakjiri (2010) a montré que le tabac contient des phénols et des alcaloïdes (0,5 à 2 %) dont la nicotine a une teneur de 85 à 95 %.

L'efficacité des extraits de plantes diffère d'une espèce de champignon à une autre et fonction de la concentration pour un même extrait. En effet les résultats obtenus montrent que *Curvularia* sp. est plus sensible à la toxicité des extraits végétaux testés contrairement à *Helminthosporium* sp. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Adekunle et Ikumapayi (2006) qui ont montré que *Aspergillus flavus* présentent des niveaux de sensibilité différents en fonction des extraits aqueux de *Funtumia lastica Fresen.*

L'incidence et la sévérité des symptômes foliaires du maïs ont varié en fonction de l'extrait utilisé en traitement. En effet, différence pourrait s'expliquer la résistance de certaines souches fongiques aux extraits. Ces résultats sont également soutenus par les travaux de Adekunle et Ikumapayi (2006).

L'application des extraits végétaux en traitement a eu un effet bénéfique sur le rendement du maïs aussi bien sur la croissance des plants que sur sa production en grain. Ces résultats pourraient s'être expliqués par les propriétés physicochimiques et biologiques que possèdent les extraits aqueux d'*A. indica*, de *C. odorata*, de *N. tabacum* et de *R. communis*. Selon Vallet (2006), plus de 35 principes chimiques actifs ont été identifiés dans les feuilles, l'écorce et les graines de *A. indica*. (Marei *et al.*, 2012). En outre cette amélioration s'explique également par la baisse de la pression parasitaire exercée par les micro-organismes et les insectes du fait de leur pouvoir fongicide et insecticide comme le montre les études de Tahira, 2011 pour le contrôle sur le termite *Macrotermes*. Ce fait est aussi observé par Seck (1997) augmentant le rendement de niébé en contrôlant la population de thrips par l'extrait de *A. indica* responsable de l'abscission des boutons floraux.

Conclusion:-

La présente étude a permis de mettre en évidence la présence de huit genres fongiques isolées des feuilles des plantes de maïs et présentant des symptômes de ceux causés par ces champignons. Ce sont la rouille, le *Fusarium*, l'*Helminthosporium*, le *Colletotrichum*, le *Nigrospora*, l'*Aspergillus* le *Curvularia* et le *Pestalotiopsis*.

Le test de pathogénicité réalisé sur les feuilles de maïs a abouti à des nécroses des feuilles de tailles différentes. *Helminthosporium* sp. a été le champignon le plus virulent à l'opposé de *Curvularia* sp..

Les genres *Curvularia*, *Helminthosporium* et *Fusarium* sont les principaux champignons pathogènes du maïs et causent d'énormes pertes de récolte en Côte d'Ivoire et dans le monde. Pour lutter contre ces champignons, quatre extraits aqueux plantes, *A. indica*, *C. odorata*, *N. tabacum* et *R. communis* ont été utilisés à cette fin pour les vertus fongicides. Les essais réalisés in vitro et in vivo pour le contrôle des agents pathogènes avec les extraits ont mis en évidence l'activité fongistatique des quatre extraits, *A. indica*, *C. odorata*, *N. tabacum* et *R. communis* sur *Curvularia*, sp. *Helminthosporium* sp. et *Fusarium* sp.. Cette activité a été temporaire pour tous les extraits avec une plus longue durée pour *R. communis*.

Les résultats issus de cette étude ont montré que l'incidence et la sévérité ont été plus élevées pour les parcelles traitées à l'extrait *C. odorata* avec une plus faible concentration en composés phytochimiques fongicides. L'extrait *R. communis* a montré l'activité fongistatique la plus significative contrairement à *C. odorata*. Cette étude a également montré que sp. est le champignon le plus sensible.

References Bibliographiques:-

1. **Ackah J. A., Kra A., Koffi M., Zirihi N. et Guede-Guina F. (2008)** Évaluation et essais d'optimisations de l'activité anticandidosique de *Terminaria catapa* Linn (TEKAM3), un extrait de combretaceae de la pharmacopée ivoirienne. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, **77** : 120 - 36.
2. **Adekunle A.A. et Ikumapayi A.M. (2006)** Antifungal property and phytochemical screening of the crude extracts of *Funtumia elastica* and *Mal/otus oppositifolius*. Indian Medical Journal, **55 (4)** : 205-210.
3. **Adjou S. E. et Soumanou M. M. (2013)** Efficacité des extraits de plantes dans la lutte contre les moisissures toxigènes isolés de l'arachide en post-récolte au Bénin. Journal of applied biosciences, **70** : 5555-5566.
4. **A. TAHIRA, A. AMISSA, ADIMA Félix A., ADJE N. A. (2011)**. Effet pesticide et screening des extraits de *Azadirachta indica* (A.) Juss. Sur le termite *Macrotermes*. Bois des forêts et forêts des tropiques, N° 310 (4) 79 Lutte anti-ravageurs / Note de recherche.
5. **Amienyo C.A., Ataga A.E. (2007)** Use of indigenous plant extracts for the protection of mechanically injured sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] tubers. Academy. Journal. Science. Research. Essay 2: 167-170.
6. **Aubertot J. N., Barbier J. M., Capentier A., Guichard L., Savary S. et Savini I. (2005)** Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Pesticide, agriculture et environnement, 32 p.
7. **Avlessi, F., Alitonou, G.A., Djenontin, T.S. et Tchobo, F. (2012)** Chemical composition and biological activities of the Essential oil extracted from the Fresh leaves of *Chromolaena odorata* (L. Robinson) growing in Benin, ISCA Journal of Biological Sciences., **1 (3)**: 7-13.
8. **Bahous M., Ouazzani-Touhami & Douira A. (2008)**. Survie de quelques pathogènes fongiques sur les feuilles de riz conservées au laboratoire. Rabat, section Sciences de la Vie, 2008, n°30, 13-18 p.
9. **Bayaso (2013)**. Effects of aqueous extract of *Ricinus communis* on radial growth of *Alternaria solani* African Journal of Agricultural Research Vol. **8(37)**, pp. 4541-4545.
10. **Botton B. A. et Fevre M.P. (1990)**. Moisissures utiles et nuisibles, importance industrielle. Collection Biotechnologies. 2^e édition, Masson, Paris, 498 p.
11. **Crouch J. A. et Beirn L. A., (2009)**. Anthracnose of cereals and grasses. Fungal diversity 19-32 p.
12. **FAO. (2014)**. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2014. Ouvrir l'agriculture familiale à l'innovation. Rome, 92 p.
13. Fisher P.J. et al. (1992). The distribution of some fungal and bacterial endophytes in maize (*Zea mays* L.), **122**, 299-305p.
14. **Hassikou R., Hassikou K., Ouazzani A. T., Badoc A. et Douira A. (2003)** Biologie, physiologie et pouvoir pathogène de quelques isolats de *Curvularia lunata*, agent de la curvulariose du riz. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, **142** : 25-44.

15. **Howatt S., (2006)**. Profil de la culture du maïs de grande culture de grande culture au Canada. Centre pour la lutte antiparasitaire Programme de réduction des risques liés aux pesticides Agriculture et Agroalimentaire Canada
16. **Khursheed R., (2012)** Antibacterial, Antimycelial and Phytochemical Analysis of *Ricinus communis* Linn, *Trigonella foenum-graecum* Linn and *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf of Pakistan Vol. 17, No. 3
17. **Koumaglo K. H., Dotse K., Bettini F. et Bayle J. C. (2009)** Chemical composition of *Chromolaena odorata* (L) King and Robinson (Asteraceae) essential oil from Togo : Drying and collecting site effects, 13 p.
18. **Kumar O., Lakshmana R. P. V., Pradhan S., Jayaraj R., Bhaskar A. S., Nashikkar A. B. et Vijayaraghavan R. (2007)** Dose dependent effect of ricin on DNA damage and antioxidant enzymes in mice. *Cell and Molecular Biology*, 53 : 92-102.
19. **Lakjiri S. (2010)** Tabac et cancers urologiques. Thèse en Médecine, Faculté de Pharmacie, Université SIDI Mohammed Ben Abdellah, Algérie, 13 p.
20. **M. Seck (1997)**. Effet de l'extrait aqueux des feuilles de neem (*Azadirachta indica* A. JUSS) sur la population de thrips et le rendement du niébé (*Vigna unguiculata*). Rapport de stage au Sénégal.
21. **M. Tindo, A. Tagne, J. M. Mpe, M. Ayodele et A. Ndikontar (2012)**. Guide technique sur les nuisibles de la banane plantain, le maïs, le manioc et la tomate : pp 16-28.
22. **Monisha K. (2013)** Effect of phytochemical constituents of *Ricinus communis*, *Pterocarpus santalinus*, *Terminalia bellerica* on antibacterial, antifungal and cytotoxic activity. *International Journal Toxicology Pharmacology Research*, 5(2): 47-54.
23. **Rabany, (2014)**. Diagnostic de la filière maïs en Côte d'Ivoire rotation coton maïs en zone cotonnière Ouest du Burkina-Faso. Mémoire d'ingénieur agronome. 56 pp.
24. **The CIMMYT Maize Program. (2004)**. Maize Diseases: A Guide for Field Identification. 4th edition. Mexico, D.F. : CIMMYT. **These de doctorat.**
25. **Wallin J. R. et Fortnum B. A., (1991)**. Le maïs en zones tropicales ; amélioration et production. Le maïs 73-79 p.
26. **Yéo Y. A., (2011)**. Analyse de la compétitivité du maïs local en Côte d'Ivoire. 10 p.
27. **Zohra M. (2006)** Étude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles, 47 p.