

Sciences et Technologies pour l'Agriculture Durable
ISSN : 1659-5726 (en ligne) 1659-634X (Imprimé)

Occurrence du polymorphisme de sensibilité intra-croisements à la fusariose chez le palmier à huile au Bénin

Claudine Koussinou^{1,2}, Appolinaire Adandonon¹, Léfi Nodichao²

Reçu : 04 mars 2021

Accepté: 15 octobre 2021

Publié en ligne: 03 novembre 2021

Résumé

La fusariose vasculaire est la pathologie la plus dommageable à la production du palmier à huile. Elle est causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*. Cette étude vise à déterminer l'occurrence du polymorphisme intra-croisements de sensibilité à la fusariose chez le palmier au Bénin. Une prospection au champ des parcelles expérimentales du Centre de Recherche Agricole Plantes Pérennes (CRA-PP) a été réalisée et les plants ont été observés au champ quant aux symptômes de la fusariose. Des échantillons de sol ont été prélevés pour l'identification de l'agent causal au laboratoire. Parallèlement, un essai a été installé au CRA-PP suivant un dispositif de bloc aléatoire complet comportant 180 croisements / traitements avec 8 répétitions et 20 plants par traitement, soit au total 28.800 plants. Les résultats ont montré que sur les 30 plants adultes évalués aux champs sept présentaient les symptômes externes et 23 ne présentaient aucun symptôme visible. En station, les paramètres morphologiques de caractérisation de la fusariose vasculaire mesurés ont révélé un effet significatif des génotypes (croisements) sur les paramètres mesurés ($p < 0,05$). Il a été établi que le nombre de feuilles par plant, le nombre de feuilles décolorées par plant et le nombre de lésions par plant, caractéristiques de la fusariose sont corrélés avec la coloration du xylème ($p < 0,001$). De plus, l'analyse de variance révèle des différences significatives entre individus d'un même croisement (variation intra-croisements) pour le nombre de feuilles par plant et la coloration du xylème ($p < 0,05$). Cette variation intra-croisements, suggère un polymorphisme de sensibilité à l'infection. Toutefois les causes génétiques de cette variation peuvent être explorées et exploitées dans les programmes de sélection du palmier à huile pour la résistance à la fusariose.

Mots clés : Criblage, Croisements, Indice de Tolérance, Variation

Affiliation des auteurs

¹Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencières (EGPVS) de l'Université Nationale d'Agriculture (UNA), BP: 43 Kétou, (République du Bénin).

²Centre de Recherches Agricoles-Plantes Pérennes (CRA-PP/ Pobè) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), BP: N°1-Pobè (République du Bénin).

Pour citer l'article

Koussinou C, Adandonon A, Nodichao PC. 2021. Occurrence du polymorphisme de sensibilité intra-croisements à la fusariose chez le palmier à huile au Bénin. Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture. 2021, 1(1): 9-18.

Auteur correspondant : Claudine Koussinou, E-mail: claudinekoussinou057@gmail.com

Occurrence of intra-crossing susceptibility polymorphism to *Fusarium* wilt in oil palm in Benin

Abstract

Fusarium wilt is the most destructive pathology to oil palm production. It is caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*. This study aims to determine the occurrence of the polymorphism of intra-cross susceptibility of oil palm to *Fusarium* wilt in Benin. Plants were observed during a survey in the experimental plots set by the "Centre de Recherche Agricole Plantes Pérennes" (CRA-PP), and soil samples were collected to confirm the causal agent in the laboratory. At the same time, a trial was set up at CRA-PP station using a complete random block design comprising 180 crosses with 8 replicates and 20 plants per experimental unit, i.e. a total of 28,800 plants. The results showed that out of 30 plants observed in the field seven presented external symptoms and 23 showed no visible symptoms. Also, the morphological parameters for the characterization of vascular *Fusarium* wilt revealed a variability within crosses ($p < 0.05$). It was established that the number of leaves per plant, the number of discolored leaves per plant and the number of lesions per plant, characteristic of *Fusarium* wilt, are correlated with the xylem coloration ($p < 0.001$). In addition, the analysis of variance revealed significant differences between individuals within the same cross (intra-cross variation) for the number of leaves per plant and the color of the xylem ($p < 0.05$), the latter being the main crossover discrimination parameter. This intra-cross variation suggests a polymorphism of susceptibility to infection, and is responsible for the fluctuations in results obtained from one screening test to another. However, the genetic causes of this intra-cross variation can serve as a basis for selection in oil palm breeding programs for resistance to *Fusarium* wilt.

Keywords: Screening, Crosses, Tolerance Index, Variation, Oil palm

INTRODUCTION

Le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq) est l'une des plantes oléagineuses les plus productives au monde (Subroto et al., 2014). À partir des années 1920, le palmier à huile a été soumis à une sélection de masse (Corley & Tinker, 2003 ; Cochard, 2008). Cette sélection est basée sur des critères tels que l'adaptation à divers sols, les conditions climatiques, le rendement et la résistance aux maladies (Durand-Gasselinet al., 2010). En effet, la production du palmier à huile est soumise à des maladies fongiques (Diataté, 2008) et la fusariose est révélée comme l'une des principales maladies fongiques limitant sa culture en Afrique (Franqueville & Renard 1990, Cochard et al., 2005 ; Noumouha et al., 2014). La maladie provoque un flétrissement vasculaire pouvant causer jusqu'à 70% de mortalité (de Franqueville & Renard, 1990). Pour limiter les dégâts de cette pathologie, plusieurs approches de contrôle ont été proposées (Ntsomboh et al., 2012), mais la méthode de cultivars résistants obtenus à partir du criblage par inoculation de l'agent pathogène à de jeunes plants de palmier à huile est la plus efficace (Prendergast, 1963 ; Renard et al., 1972). Cette technique a permis de définir les

sources de résistance et de produire des hybrides commerciaux (Renard et al., 1980 ; Cochard et al., 2005). Cependant, des résultats de criblages confirmés de génotypes présentent encore des disparités en termes de réactions différentielles à l'intérieur des mêmes croisements et les plants malades de fusariose ne font pas observer toujours les deux symptômes, à savoir foliaires (symptômes externes) et coloration du xylème (symptômes internes). Pour tenir compte de cette disparité souvent observée entre les symptômes internes et externes, Renard et al. (1972) a basé son test essentiellement sur l'observation de la coloration du xylème du palmier à huile quelques mois après inoculation des plantules, et ceci indépendamment des symptômes foliaires. Plus tard, Buchanan (1999) observant une disparité entre symptômes externes et internes a rapporté que 54% de palmiers observés donnaient une apparence saine avec cependant des symptômes de coloration du xylème due à l'infection par *F. oxysporum* f. sp. *elaeidis* et, qu'en revanche, 40% des palmiers observés ayant des symptômes externes de la fusariose ne présentaient aucune coloration du xylème. Ces constats témoignent d'un polymorphisme prononcé

dans l'expression des symptômes de la fusariose. Taquet (1985) a établi la même disparité d'un point de vue biochimique. A notre connaissance, bien que ce contact de variabilité dans les symptômes ait été observé sur des individus du même croisement au champ au Bénin (Koussinou et al., 2019), il n'est pas encore formellement établi cette disparité de sensibilité intra-croisements en termes des symptômes observés de la fusariose chez le palmier à huile au Bénin. La présente étude a pour objectif de déterminer l'occurrence du polymorphisme intra-croisements de sensibilité à la fusariose chez le palmier au Bénin et les paramètres phénotypiques de sa mise en évidence.

MATERIEL ET METHODES

Détermination de l'occurrence du polymorphisme de sensibilité à la fusariose chez le palmier à huile au champ au Bénin

Une caractérisation aux champs a été faite sur les parcelles de référence du Centre de Recherches Agricoles - plantes pérennes de Pobè. Sur ces parcelles, situées dans le département du Plateau, au sud-est du Bénin est planté du matériel traditionnel et sensible à la fusariose. Il y règne un climat subéquatorial, avec une pluviométrie annuelle moyenne de 1300 mm (Nouy et al., 1999). La présence ou l'absence des symptômes de la maladie a été notée en nous basant sur la description des symptômes faite par Franqueville et Diabaté (1995) sur chaque parcelle. Les échantillons de sol et de racines ont été prélevés afin d'isoler l'agent infectieux. Après isolement de l'agent infectieux, un test de pathogénicité a été réalisé en inoculant chaque isolat de *F. oxysporum* f.sp. *Elaeidis* à des plantules de palmier à huile sensibles âgées de deux mois, suivi de l'observation de la coloration du xylème après trois mois.

Détermination en station des paramètres phénotypiques mettant en évidence le polymorphisme de sensibilité intra-croisements face à la fusariose chez le palmier à huile

Cent quatre-vingts (180) croisements de palmier à huile produits par le CRA-PP ont été testés dans un essai de criblage installé sur la station de recherche Sèmè-Kpodji suivant un dispositif de bloc aléatoire complet avec 8 répétitions. Chaque croisement est représenté dans un bloc par une parcelle élémentaire de 20 plants, soit un total de 160 plants pour chaque croisement. Les plants ont été inoculés à l'âge de six semaines, avec l'isolat IB₇ du *F. oxysporum* f.sp. *Elaeidis* du Bénin, isolé des

palmeraies béninoises. Cinq mois après inoculation, une caractérisation morphologique des symptômes a été réalisée en mesurant les paramètres suivants : nombre de feuilles par plant, nombre de feuilles décolorées par plant (Figure 1 A), nombre de lésions (perforations losangiques longitudinales matérialisées sur la figure 1 B) et la coloration du xylème (Figure 1 C).

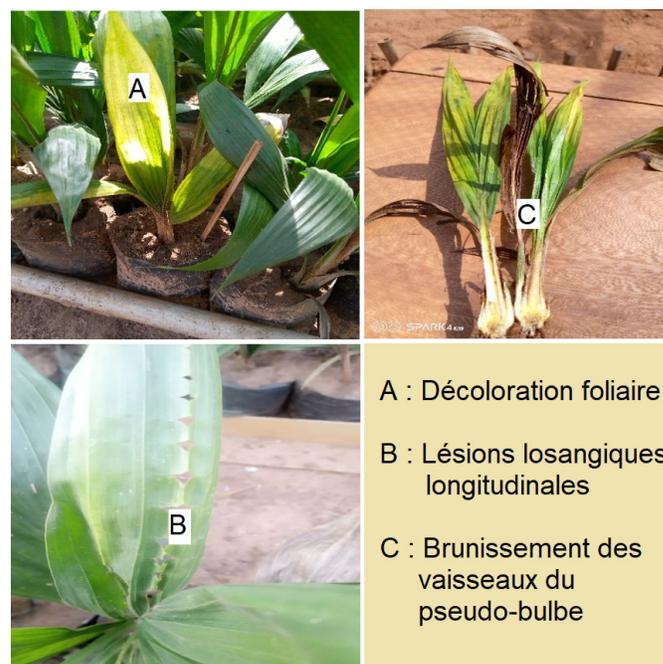


Figure 1 : Symptômes caractéristiques de la fusariose vasculaire chez le palmier à huile à l'étape juvénile

Analyse des données

Classification des croisements suivant la méthode de Renard

Le paramètre déterminant le statut (sensible ou résistant) des croisements après un test de criblage est la coloration du pseudo-bulbe (Renard et al., 1972). Ainsi pour chaque croisement, l'indice de tolérance (I) à la fusariose a été calculé suivant l'équation proposée par Renard et al. (1972) :

$$I = \frac{\% \text{ plants infectés pour le croisement } A}{\% \text{ plants infectés pour l'ensemble des croisements}} * 100$$

Deux classes sont obtenues à l'issue du test.

Les croisements ayant des indices de tolérance faibles ($I \leq 100$) sont les plus résistantes à la fusariose et ceux ayant des indices de tolérance élevés ($I > 100$) sont considérés comme sensibles à la fusariose.

Classification des croisements suivant un modèle ACP intégrant plusieurs paramètres

Parallèlement à ce qui précède, une analyse intégrée des différents paramètres mesurés a été réalisée sous R (R Core Team, 2019) et le niveau de significativité des tests statistiques a été fixé à 5%. Un modèle linéaire généralisé (GLM) mixte de la famille Poisson ou Négative binomiale a été exécuté pour mesurer l'effet du génotype sur le nombre de feuilles par plant, du nombre de feuilles décolorées par plant et le nombre de lésions par plant avec le package *glmmTMB* (Brooks et al., 2017). De même, un modèle linéaire généralisé (GLM) mixte de la famille binomiale a été exécuté pour mesurer l'effet du génotype sur la coloration du xylème. Un GLM mixte de la famille Beta a permis d'évaluer l'effet du génotype sur le taux de coloration. Le génotype a été considéré comme facteur fixe et le bloc, le facteur aléatoire. Des transformations préalables ont été effectuées sur certaines des variables dans le but de corriger l'anormalité des variables. La part de variation de ces variables qui est due au bloc a été évaluée par la corrélation intra-classe (ICC). Après avoir établi les seuils de significativité des différences entre génotypes pour chaque paramètre mesuré (nombre de feuilles par plant, nombre de feuilles décolorées par plant, nombre de lésions par plant et la coloration du xylème), une Analyse en Composante Principale (ACP) suivie d'une classification hiérarchique des coordonnées des principaux composants, a été réalisée avec les packages *FactoMineR* (Le et al., 2008) et *factoextra* (Kassambara & Mundt, 2017). La Coloration du xylème a été utilisée comme variable supplémentaire. Enfin, pour sélectionner les paramètres de chaque classe, nous avons mesuré la différence entre les valeurs de classe et les valeurs globales. Ces statistiques ont été converties en un critère appelé test de valeur pour effectuer une sélection sur les paramètres, et ainsi désigner les paramètres les plus caractéristiques (Morineau, 1984 ; Husson et al., 2010). Les paramètres les plus caractéristiques d'une classe étaient celles dont le test des valeurs associées était supérieur en valeur absolue à 2. De plus, si ce test de valeur était positif pour une variable, il avait une valeur élevée dans la classe considérée. En revanche, si la valeur était négative, la variable avait une valeur faible pour la classe. Les croisements les plus représentatifs de chaque classe ont aussi été identifiés.

Comparaison des deux méthodes de discrimination des croisements

Une comparaison entre la classification des croisements de palmier suivant la méthode de Renard et classification des croisements suivant la méthode GLM-ANOVA-ACP a été réalisée

RESULTATS

Polymorphisme au champ

Les résultats ont montré qu'en dépit de l'homogénéité du matériel végétal, sur 30 plants de palmier à huile adultes évalués 7 présentaient les symptômes externes et 23 ne présentaient aucun symptôme visible. Cependant l'agent infectieux a été détecté dans le sol et aussi à partir des racines de tous les palmiers évalués. Le test de pathogénicité a prouvé que l'isolat de *Fusarium* présent à chaque fois est pathogénique.

Effet des génotypes (croisements) sur les paramètres mesurés sur les croisements

Le tableau 1 présente l'influence des génotypes sur les paramètres mesurés. Tous les paramètres mesurés ont pu significativement discriminer les croisements ($p < 0,05$) et très particulièrement le nombre de feuilles décolorées par plant, le nombre de lésions par plant, la coloration du xylème et la proportion de coloration du xylème ($p < 0,001$). Cependant, les résultats révèlent qu'il n'y a de différence significative au sein d'un même croisement (variation intra-croisements) que pour le nombre de feuilles par plant et la coloration du xylème ($p < 0,05$).

Classification des croisements de palmier à huile pour la résistance à la fusariose vasculaire

L'analyse en composantes principales (ACP) a montré que 68,49% de la variabilité des paramètres mesurés étaient résumés sur les deux premières des composantes principales. Selon la classification hiérarchique, les croisements ont été regroupés en trois classes (Figure 2) sur la base des paramètres mesurés. Ces classes comprenaient respectivement 5, 94 et 81 croisements.

Tableau 1 : Effet des génotypes (croisements) sur les paramètres mesurés

Paramètres	Sources de variation	Df	Chisq	Pr (>Chisq)	ICC Bloc (%)
Nombre de feuilles par plant	Inter-croisements	179	212,15	0,045	11,35
	Intra-croisements	19	31,89	0,032	
Nombre de feuilles décolorées par plant	Inter-croisements	179	525,33	<0,001	10,34
	Intra-croisements	19	19,76	0,409	
Nombre de lésions par plant	Inter-croisements	179	426,11	<0,001	19,8
	Intra-croisements	19	21,21	0,325	
Coloration du xylème (Oui/non)	Inter-croisements	179	1190,32	<0,001	11,98
	Intra-croisements	19	30,87	0,041	
Proportion de coloration du xylème	Inter-croisements	179	840,85	<0,001	11,98

Résultat des modèles GLM mixte négative binomial ; GLM mixte binomial et GLM mixte beta ; (arc sinus avant le model)

Les analyses ont été réalisées sous R (R Core Team, 2019) et le niveau de significativité des tests statistiques a été fixé à 5%. ICC = Corrélation intra-classe

Détermination des croisements les plus représentatifs de chaque classe

Tous les paramètres mesurés discriminaient les classes de croisements. La classe 1 est caractérisée par un faible nombre de feuilles décolorées par plant et une faible proportion de xylème décolorée (V. test ≤ -2 , $p < 0,05$) (Tableau 2). Elle représente la classe des croisements résistants. Les croisements typiques ou les plus représentatifs de ce groupe sont PO20634 ; PO19896; PO20233; PO20054 et PO20065. La classe 2 était caractérisée par un nombre élevé de feuilles par plant, très peu de lésions par plant, et une proportion moins importante de coloration du xylème. La classe 2 regroupe également des croisements résistants (V. test ≥ 2 ; V. test ≤ -2 et $p < 0,05$) (Tableau 2). Les croisements clés de ce groupe sont PO20188 ; PO19592 ; PO20043 ; PO20379 et PO20087. La classe 3 était caractérisée par une grande proportion de coloration du xylème, un nombre élevé de lésions par plant, beaucoup de feuilles décolorées par plant et très peu de feuilles par plant (V. test ≥ 2 ; V. test ≤ -2 et $p < 0,05$) (Tableau 2). Les croisements les plus représentatifs de cette classe sont PO20408 ; PO19602 ; PO20171 ; PO20429; PO20458. La classe 3 regroupe les génotypes sensibles.

Classification des croisements les plus représentatifs de chaque classe suivant la méthode de Renard et al. (1972)

Les croisements ont été regroupés en trois classes (Figure 2) sur la base des paramètres mesurés. Chacune de ces classes comprenait respectivement 5, 94 et 81 croisements. Les croisements les plus représentatifs de chaque classe ont été identifiés. La comparaison entre la

classification de Renard et al. (1972) et celle suivant le model ACP pour les croisements les plus représentatifs de chaque classe est similaire (Tableau 3). On peut donc en déduire que les deux méthodes (utilisation de modèle mathématique de regroupement et classification suivant la méthode de Renard et al., (1972) de détermination du statut fusariose des croisements s'équivalent si et seulement si la classification suivant l'approche GLM- ANOVA-ACP se fait en intégrant les paramètres précédemment cités.

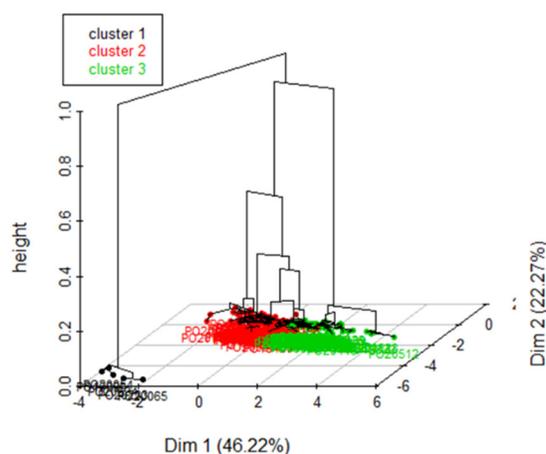


Figure 2 : Projection des classes de croisements dans le plan des principales composantes

Cluster 1 (classe 1) = Croisements résistants,
Cluster 2 (classe 2) = Croisements à tolérance modérée, Cluster 3 (classe 3) = Croisements sensibles

Dim = Dimension, les dimensions (Dim 1 et Dim 2) sont des regroupements des paramètres de départ sur les axes de l'ACP

Dim 1 représente les paramètres, Nombre de lésion par plant ; Nombre de feuille décolorée par plant ; Proportion de coloration du xylème et Dim 2 représente le paramètre Nombre de feuille par plant.

Tableau 2 : Paramètres discriminants des classes de croisements

Paramètres*	Classe	V.test	Mean	Probabilité	Croisements représentatifs (typique)
PCX NFDP	1	-2.36 -12.99	-0.02 -2.96	0,018 <0,001	PO20634, PO19896, PO20233, PO20054, PO20065
NFP NLP PCX	2	7.61 -7.49 -7.86	1.89 -1.41 -0.30	<0,001 <0,001 <0,001	PO20188, PO19592, PO20043, PO20379, PO20087
PCX NLP NFDP NFP	3	8.67 7.84 3.30 -8.14	-0.02 -1.16 -2.96 1.87	<0,001 <0,001 <0,001 <0,001	PO20408, PO19602, PO20171, PO20429, PO20458

NLP= Nombre de lésion par plant ; NFDP= Nombre de feuille décolorée par plant ; NFP= Nombre de feuille par plant ; PCX= Proportion de coloration du xylème

Croisements sensibles = génotypes de palmier à huile présentant un fort taux d'individus infectés par la fusariose (classe 3)

Croisements à tolérance modérée = ensemble de génotypes de palmier à huile présentant un taux moyen d'individus infectés par la fusariose (classe 2)

Croisements résistants = ensemble de génotypes de palmier à huile présentant une faible proportion d'individus infectés par la fusariose (classe 1)

Tableau 3 : Comparaison des méthodes de classification des croisements

Classe	Croisements typiques	Paramètres caractéristiques de la classe	Indice de tolérance (Renard et al., 1972)	Indice de référence (Renard et al., 1972)	Statut fusariose (Renard et al., 1972)
Classe 1	PO20634	Faible nombre de feuilles décolorées par plants et une faible proportion de xylème brun	62,22	$I \leq 100$	Tolérant
	PO19896		69,56	$I \leq 100$	Tolérant
	PO20233		82,44	$I \leq 100$	Tolérant
	PO20054		61,39	$I \leq 100$	Tolérant
	PO20065		92,44	$I \leq 100$	Tolérant
Classe 2	PO20087	Nombre élevé de feuilles par plant mais très peu de lésions par plant et une proportion moins importante de brunissement du xylème	77,77	$I \leq 100$	Tolérant
	PO20188		79,86	$I \leq 100$	Tolérant
	PO19592		73,42	$I \leq 100$	Tolérant
	PO20043		92,37	$I \leq 100$	Tolérant
	PO20379		96,61	$I \leq 100$	Tolérant
Classe 3	PO20171	Grande proportion de brunissement du xylème, un nombre élevé de lésions par plant, beaucoup de feuilles décolorées par plant mais très peu de feuilles par plant	109,49	$I > 100$	Sensible
	PO20429		118,51	$I > 100$	Sensible
	PO19602		109,49	$I > 100$	Sensible
	PO20408		130,10	$I > 100$	Sensible
	PO20458		125,28	$I > 100$	Sensible

Croisements à tolérants = ensemble de génotypes de palmier à huile ayant un indice de tolérance (I) inférieur ou égale à cent (classe 1 et classe 2)

Croisements sensibles = génotypes de palmier à huile ayant un indice de tolérance (I) supérieur à cent (classe 3)

Corrélation entre la coloration du xylème et les paramètres foliaires

L'analyse de la corrélation de Pearson entre la coloration du xylème et les paramètres foliaires montre qu'il existe une forte corrélation entre la coloration du xylème et le nombre de feuilles par plant, le nombre de feuilles décolorées par plant et le nombre de lésions par plant ($p < 0,0001$) (Tableau 4).

Tableau 4 : Matrice de corrélation entre la coloration du xylème et les paramètres foliaires*

	Nombre de feuilles par plant	Nombre de feuilles décolorées par plant	Nombre de lésions par plant
Coloration du xylème			
r	-0.3	0.19	0.22
p	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

DISCUSSION

Les paramètres morphologiques de caractérisation de la fusariose vasculaire mesurés ont révélé une variabilité au sein des croisements ($p < 0,05$) et ceci est particulièrement vrai ($p < 0,001$) pour le nombre de feuilles décolorées par plant, le nombre de lésions par plant, la coloration du xylème et la proportion de coloration du xylème. Cela suggère que ces paramètres sont caractéristiques de la fusariose vasculaire chez le palmier à huile à l'étape juvénile. De plus, ces paramètres à savoir nombre de feuilles par plants, nombre de feuilles décolorées par plant, nombre de lésions par plant, sont corrélés avec la coloration du xylème ($p < 0,0001$). Cela corrobore la description des symptômes faite par Franqueville & Diabaté (1995). En effet la fusariose se manifeste sur le palmier à huile par un ensemble de symptômes aussi bien visibles sur les feuilles que détectables à l'intérieur dans les organes de la plante. Cependant, il existe une disparité entre l'apparition des symptômes internes et externes aussi bien au sein d'un même croisement qu'entre différents croisements. Cette disparité entre symptômes internes et externes (Buchanan, 1999 ; Cooper & Rusli, 2014) a souvent été évoquée comme limite à l'utilisation des symptômes foliaires (nombre de feuilles décolorées, nombre lésions etc...) dans l'évaluation des tests de criblage. Nos résultats montrent que les symptômes foliaires sont corrélés avec la coloration du xylème, puis influencent significativement le classement des

variétés à l'issue du test. De plus l'intégration de ces paramètres dans les critères d'évaluation a permis une classification similaire à la classification de Renard et al. (1972). L'évaluation des symptômes foliaires rapportés en pourcentage ne serait donc pas une méthode efficace d'appréciation des symptômes foliaires. Les symptômes foliaires pourraient servir de critères d'appréciation de la fusariose si l'on intégrait l'ensemble de ces paramètres dans un modèle mathématique adéquat. En outre l'étude des caractéristiques phénotypiques est un indicateur fiable des différences génétiques sous-jacentes (Wassu, 2014). Elle est la première étape de la description et de la classification des ressources génétiques (Martins et al., 2006).

L'analyse de variance révèle des différences significatives au sein d'un même croisement (variation intra-croisements) pour le nombre de feuilles par plant et la coloration du xylème ($p < 0,05$). Ces résultats indiquent l'existence d'une variabilité génétique intra-variétale (polymorphisme) qui peut être due au régime de reproduction du palmier à huile. vom Brocke et al. (2002) ont montré que le régime de reproduction est l'un des facteurs qui détermine la dynamique et l'évolution de la diversité variétale. Par ailleurs, l'allogamie est rapportée comme étant un facteur qui influence significativement le polymorphisme génétique intra-variétal (Barro-Kondombo, 2010). C'est ce mode de reproduction par allogamie qu'emprunte le palmier à huile grâce à l'alternance des cycles de reproduction mâles et femelles (Cros, 2014). La mise en évidence du polymorphisme de sensibilité intra-variétal à partir des traits (symptômes) morphologiques traduit l'existence de différences génétiques entre plants de mêmes croisements (Barro-Kondombo, 2010). En effet, la caractérisation de la diversité intra-spécifique peut être évaluée sur la base de caractères agro-morphologiques comme indiqué par (Grenier et al., 2004 ; Barro-Kondombo et al., 2008). Teshome et al. (2014) ont montré un certain nombre de différences dans les caractéristiques morphologiques entre et au sein des cultivars. Ces variations étaient probablement dues à des facteurs génétiques. De plus, Taquet (1985) a mis en évidence l'importance de la variabilité de la réaction de défense, aussi bien à l'intérieur d'une même reproduction d'hybrides qu'au sein d'un même croisement. Les caractères de tolérance à la fusariose vasculaire sont également associés à l'accumulation dans les tissus de substances inhibitrices, dont la synthèse dépend du génome des

croisements. Ces résultats démontrent un polymorphisme biochimique, d'origine génétique.

De même une étude réalisée par Mares & Marschner (1980) a permis d'établir une variabilité intra-cultivar pour les taux de croissance des tubercules individuels de pomme de terre (Mares & Marschner, 1980). Cela s'expliquerait par des différences dans la capacité des tubercules individuels à rivaliser pour l'offre limitée de photosynthate (Barani et al., 2013), dans la mesure ou tous changements physiologiques et morphologiques sont contrôlés génétiquement et écologiquement (Werij et al., 2007 ; Appleford et al., 2005). Ce qui est corroboré par des travaux de Bal et al. (2018) et de Ruehl et al. (2015). Bal et al. (2018) ont montré que la diversité intra-variétale est un mécanisme d'adaptation face au facteur environnemental alors que la variation intra-variétale a été exploitée par Ruehl et al. (2015) comme source de sélection chez les clones dans les programmes d'adaptation de la vigne au changement climatique. On peut alors déduire que les variations de sensibilité intra-croisements observé chez le palmier à huile est induit par la capacité individuelle de chaque plant à réagir à l'infection. Cette variabilité de réaction serait une expression des différences génétiques sous-jacentes. L'impact du polymorphisme intra individu dans les programmes de criblage est déterminant pour expliquer les résultats. En effet, en cas de polymorphisme intra-croisement le nombre de répétitions des tests de criblage conditionne l'exactitude et la précision de la sélection (Gonçalves & Martins, 2019). Dans le cas du palmier à huile, les tests de criblage pour la résistance à la fusariose devront être répétés plusieurs fois dans le temps pour garantir l'exactitude des résultats. Il y a donc nécessité d'une étude du génome avec des marqueurs moléculaires. Ces derniers présentent de nombreux avantages comparés aux marqueurs morphologiques et biochimiques notamment leur indépendance par rapport à l'organe analysé et au stade de développement de la plante, en outre ils ne sont pas influencés par les fluctuations environnementales (Lanteri & Barcaccia, 2005 ; Konate, 2007 ; Bautista-Salas, 2009). L'analyse de la variation génétique à l'origine des variations de sensibilité intra-croisements peut être utilisée pour prédire le comportement des croisements en criblage et ceci réduirait significativement la répétition des tests de criblage dans le temps.

CONCLUSION

Les symptômes foliaires sont corrélés avec la coloration du xylème, puis influencent significativement le classement des variétés à l'issue du test. Une intégration des paramètres foliaires dans les critères de classement des croisements a permis d'aboutir à une classification similaire à la classification de Renard et al. (1972). Par ailleurs, il existe une variabilité dans la propension du palmier à huile à exprimer la fusariose aussi bien à l'échelle inter qu'intra-croisements. C'est la première fois que ce polymorphisme intra-croisements est formellement établi pour la sensibilité à la fusariose sur palmier à huile au Bénin. Cette variabilité devrait être prise en compte dans les programmes de criblage. L'analyse de la variation génétique à l'origine des variations de sensibilité intra-croisements pourrait être explorée et utilisée pour prédire le comportement des croisements afin de réduire la quantité du matériel végétal utilisé et le temps nécessaire à la validation des résultats.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements au Centre de Recherches Agricoles Plantes Pérennes (CRA-PP), initiateur des recherches présentées dans ce travail, pour l'appui logistique et matériel apporté à la réalisation de ce travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Appleford NE, Evans DJ, Lenton JR, Gaskin P, Croker SJ, Devos KM, Phillips AL, Hedden P. 2005. Function and transcript analysis of gibberellin biosynthetic enzymes in wheat. *Planta* 223 (3) : 568-582.
- Bal KJ, Suk BG, Parash MM, Bharat B, Devendra G. 2018. Intra-variety diversity in Landrace and modern variety of rice and buckwheat. *The Journal of Agriculture and Environment* 19 :1-8.
- Barani M, Akbari N, Ahmadi H. 2013. The effect of gibberellic acid (GA3) on seed size and sprouting of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Agricultural Research*. 8(29) : 3898-3903.
- Barro-Kondombo C, vom Brocke K, Chantereau J, Sagnard F, Zongo J.D. 2008. Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions agricoles du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-Nord. *Cahiers Agricultures* 17 : 107-113.
- Barro-Kondombo CP, 2010. Diversités agromorphologique et génétique de variétés locales de sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) du Burkina Faso.

Éléments pour la valorisation des ressources génétiques locales. Thèse de doctorat : Université De Ouagadougou. 137p.

Bautista-Salas AM. 2009. Caractérisation agromorphologique et moléculaire d'une collection de landraces péruviennes de pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.) pour l'analyse de sa diversité. Thèse de doctorat. Faculté universitaire Notre Dame de lapaix. Namur, Belgique. 224 p.

Brocke (vom) K, Presterl T, Christink A, Weltzien E, Geiger HH. 2002. Farmers' seed management practices open up new base populations for pearl millet breeding in a semi-arid zone of India. *Plant Breeding* 121: 36-42.

Brooks KK, Koen J, Van B, Arni M, Casper WB, Anders N, Hans JS, Maechler M, Bolker M. 2017. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R Journal* 9(2): 378-400.

Buchanan AG. 1999. Molecular genetic analysis of Fusarium wilt resistance in oil palm. PhD Thesis: University of Bath, Bath, UK.

Chochard B, Amblard P, Durand-Gasselini T. 2005. Oil palm genetics and sustainable development. *Oleagineux*, 12 : 141-147.

Chochard B. 2008. Étude de la diversité génétique et du déséquilibre de liaison au sein de populations améliorées de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Thèse de Doctorat: Montpellier SupAgro.

Corley RHV, Tinker PB. 2003. The oil palm. Blackwell Science Ltd., United Kingdom.

Cooper RM, Rusli MH. 2014. Threat from Fusarium wilt disease of oil palm to South-East Asia and suggested control measures. *Journal of Oil Palm Research* 26(2) : 109-119.

Cros D. 2014. Étude des facteurs contrôlant l'efficacité de la sélection génomique chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Thèse de doctorat. Montpellier, France. 209p.

Diabaté S. 2008. Contribution à l'étude de la diversité phénolique dans la réaction de défense du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq) contre la fusariose vasculaire. Thèse de Doctorat : Université de Cocody-Abidjan, UFR Biosciences. 155p.

Durand-Gasselini T, Blangy L, Picasso C, de Franqueville H, Breton F, Amblard P, Chochard B, Louise C, Nouy B. 2010. Sélection du palmier à huile pour une huile de palme durable et responsabilité sociale. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17(6): 385-392.

Franqueville (de) H, Renard JL. 1990. Bilan de l'amélioration du niveau de tolérance du palmier à huile à la fusariose. Évolution de la maladie sur la plantation R. Michaux. *Oléagineux* 45(10): 399-405.

Franqueville H, Diabaté S. 1995. La fusariose du palmier à huile en Afrique de l'Ouest. *Plantations, Recherche, Développement* 2(4): 5-13.

Gonçalves E, Martins A. 2019. Methods for conservation of intra-varietal genetic variability in ancient grapevine varieties. *BIO Web of Conferences*, 15: 1-4.

Grenier C, Bramel PJ, Dahlberg JA, EL-Ahmadi A, Mahmoud M, Peterson GC, Rosenow DT Ejeta G. 2004. Sorghum of the Sudan: analysis of regional diversity and distribution. *Genetic Resources and Crop Evolution* 51: 489-500.

Husson F, Josse F, Pagès J. 2010. Analyse de données avec R Complémentarité des méthodes d'analyse factorielle et de classification. 42ème Journées de Statistique, Marseille, France, France. 6p.

Kassambara A, Mundt F. 2017. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.5. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>.

Konate I. 2007. Diversité phénotypique et moléculaire du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des bactéries qui lui sont Associées. Thèse de doctorat en Biotechnologie et biologie moléculaire. Université Mohammed V-AGDAL, Rabat, Maroc. 196 p.

Koussinou C, Adandonon A, Nodichao L. 2019. Distribution and incidence of Fusarium wilt in oil palm in Benin. *Journal of Applied Biosciences* 135: 13831-13839.

Lanteri S, Barcaccia G. 2005. Molecular markers based analysis for crop germplasm preservation. The role of Biotechnology, Villa Gualino, Turin, Italy, pp 55-66.

Le S, Josse J, Husson F. 2008. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software* 25(1): 1-18.

Mares DJ, Marschner H. 1980. Assimilate conversion in potato tubers in relation to starch deposition and cell growth. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 93 : 299-313.

Martins SR, Vences FJ, Miera LE, Barrosa MR, Carnide V. 2006. RAPD analysis of genetic diversity among and within Portuguese landraces of common white Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Scientia Horticulturae* 108(2) : 133-142.

Morineau A. 1984. Note sur la caractérisation statistique d'une classe et les valeurs-tests. *Bulletin Technique du Centre de Statistique et d'Informatique Appliquées* 2 : 20-27.

Noumouha EN, Allou G, Adon B, Konan JN, Diabate S, Konan KE, Nguetta S-P.A. 2014. Assessment of nigerian wild oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) populations in crosses with Deli testers. *Journal of Plant Breeding and Genetics* 2: 77-86.

- Nouy B, Baudouin L, Djégui N, Omoré A. 1999. Le palmier à huile en conditions hydriques limitantes. *Plantations, Recherche, Développement*, 6(1): 31-45.
- Ntsomboh NG, Ngando-Ebongue GF, Koono P, Bell JM, Youmbi E, Ngalle-Bille H, Bilong EG, Madi G, Anaba B. 2012. Control approaches against vascular wilt disease of *Elaeis guineensis* Jacq. Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*. *Journal of Biology and Life Science* 3: 160-173.
- Prendergast AG. 1963. A method of testing oil palm progenies at the nursery stage for resistance to vascular wilt disease caused by *Fusarium oxysporum*. *Palm Oil Research*. 4 :156-175.
- R Core Team. 2019. R : Un langage et un environnement pour l'informatique statistique. R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche. <https://www.R-project.org/>
- Renard JL, Gascon JP, Bachy A. 1972. Recherches sur la fusariose du palmier à huile. *Oléagineux* 35: 387-393.
- Renard JL, Noiret JM, Meunier J. 1980. Sources et gammes de résistance à la fusariose chez le palmier à huile. *Elaeis guineensis* et *Elaeis melanococca*. *Oléagineux* 39(8-9): 387-393.
- Ruehl E, Konrad H, Lindner B. 2015. Conserving and utilizing intra-varietal variation in grapevines (*Vitis vinifera* L.) edpsciences. 38th World Congress of Vine and Wine.
- Subroto AP, Utomo C, Darmawan C, Tanjung Z, Liwang T. 2014. Isolation and characterization of oil palm Wrinkled 1 (WRI1) Gene. *Procedia Chemistry* 14 : 40–46.
- Taquet B. 1985. Les mécanismes physiologiques de la réaction de défense du palmier à huile contre la fusariose vasculaire. Application à la recherche de nouveaux moyens de lutte. Thèse de Doctorat : Université Pierre et Marie Curie- Paris. 164p.
- Teshome H, Dechassa N, Tsegaw T. 2014. Morphological characters of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by local and improved cultivars grown in Eastern Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 4(17): 2225-093.
- Wassu M. 2014. Genetic variability in potato (*Solanum tuberosum* L.) Genotypes for late blight [*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary] resistance and yield at Haramaya, Eastern Ethiopia. *East African Journal of Sciences* 8(1): 13-28.
- Werij JS, Kloosterman B, Celis-Gamboja C, de Vos CH, America T, Visser RG, Bachem CW. 2007. Unravelling enzymatic discoloration in potato through a combined approach of candidate genes, QTL, and expression analysis. *Theoretical and Applied Genetics* 115(2): 245-252.