

Effet des facteurs climatiques sur l'expression de la fusariose du palmier à huile (*Elaeis guineensis* J.)

Jacques S. B. DOSSA^{1*}, Euloge C. TOGBE², Michaël PERNACI³, Sandrine LE SQUIN³,
Euloge K. AGBOSSOU² et Bonaventure C. AHOHUENDO²

¹Centre de Recherches Agricoles Plantes Pérennes, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, BP : 01 Pobè, Bénin.

²Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi BP : 526 FSA / UAC Cotonou Bénin.

³PalmElit SAS, Agropolis Park, Bat 14, 2214 Bd de La Lironde, F-34980, Montferrier sur Lez, France.

*Auteur correspondant ; E-mail : dossajacques@yahoo.fr ; Tel : (+229) 97 64 30 84

Mots clés : Palmier à huile, *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*, facteurs climatiques, taux de fusariose.

Keywords: Oil palm, *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*, climate variables, *Fusarium* rate.

Date of Acceptance 26/04/2021, Publication date 30/06/2021, <http://m.elewa.org/Journals/about-japs/>

1 RÉSUMÉ

La fusariose vasculaire est la principale maladie qui affecte la culture du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Afrique. La présente étude vise à évaluer l'effet des facteurs climatiques sur l'expression de *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis* (*Foe*), agent causal de la fusariose du palmier à huile en deux régions de conditions climatiques contrastées : une région côtière (Sèmè-Podji) et une région non côtière au Sud du Bénin (Niaouli). Sur chaque site, trois croisements sensibles de palmier à huile ont été inoculés par un isolat virulent de *Foe* (l'isolat IB₇), de manière simultanée et à trois périodes différentes. Les résultats ont montré que l'expression de *Foe* est modulée par la température maximale, la pluviométrie et l'humidité relative. Ainsi, une corrélation négative a été constatée entre le taux de fusariose et la température maximale d'une part et la pluviométrie d'autre part. De plus, une corrélation positive entre le taux de fusariose et l'humidité relative a été observée. Une température maximale et une pluviométrie élevée semblent ne pas favoriser l'expression de la fusariose alors qu'au contraire une humidité relative élevée est favorable à la fusariose. Ces résultats suggèrent l'existence de valeurs seuils pour la température maximale et la pluviométrie qui inhiberaient de façon significative l'expression de la fusariose. A l'opposé, la détermination de valeur seuil de l'humidité relative qui favoriserait l'expression de la fusariose est aussi cruciale. Ces résultats ouvrent des applications tant dans la gestion de la fusariose en plantations de palmier à huile qu'en laboratoire, dans le cadre des tests de screening réalisés pour la sélection du palmier résistant à la fusariose.

ABSTRACT

Vascular *Fusarium* is the main disease affecting the production of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Africa. This study aims at assessing the effect of climatic factors on the behaviour of *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis* (*Foe*), the causal agent of the oil palm wilt in two regions having contrasted climatic conditions: a coastal region (Sèmè-Podji) and a non-coastal region in the south of Benin (Niaouli). In each site, three susceptible oil palm crosses were simultaneously inoculated with a virulent *Foe* isolate (isolate IB₇) at three different dates. The results showed that expression of *Foe*, like other *Fusarium*, was modulated by maximal temperature, precipitations and relative humidity. A negative correlation was observed between the *Fusarium* rate and maximal temperature on the one hand and rainfall on the other hand. In addition, a positive correlation was observed between the severity of fusarium

caused disease and relative humidity. High maximum temperature and high rainfall seemed not to favour the expression of fusarium disease, whereas on the contrary high relative humidity is favourable to this disease. Further investigations are required to determine threshold values for maximum temperature and rainfall that would significantly inhibit the expression of fusarium disease. The same is true for relative humidity in order to determine the threshold value for this variable that would favour the expression of fusarium disease. These results open the way for applications in managing both fusarium disease in oil palm plantations and in laboratory, as part of the screening tests carried out for the selection of fusarium-resistant palm.

2 INTRODUCTION

Le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq), une plante d'intérêt économique majeur pour les pays producteurs (Allou *et al.*, 2017), est la plante oléagineuse cultivée dont le rendement le plus élevé est en moyenne 3,8 t.ha⁻¹.an⁻¹ d'huile de palme (Rival et Levang, 2014 ; Corley et Tinker, 2016, Baron *et al.*, 2017). Cependant les performances du palmier à huile sont limitées par trois maladies majeures réparties sur les trois continents où il est cultivé à savoir : la fusariose en Afrique, la pourriture basale du stipe à *Ganoderma* en Asie du Sud-Est et la pourriture du cœur en Amérique latine (Durand-Gasselin *et al.*, 2010). La fusariose vasculaire du palmier à huile causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaedis* (Foe) est l'un des principaux facteurs limitant sa culture en Afrique (Allou *et al.*, 2017; Gogbé *et al.*, 2016; Diabaté *et al.*, 2015; Ngando *et al.*, 2013; de Franqueville *et al.*, 2011; Tengoua et Bakoumé, 2008). En effet, la fusariose vasculaire, affecte le développement du palmier à huile en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale, causant jusqu'à 70 % de mortalité en plantation (Flood, 2006 ; de Franqueville *et al.*, 2011). La méthode de lutte préventive la plus efficace consiste à utiliser du matériel végétal sélectionné pour sa résistance génétique à l'agent pathogène. La mise en évidence de cette résistance au sein de la diversité génétique d'*Elaeis guineensis* passe par des tests d'inoculation de l'agent pathogène (Foe) au stade pré-pépinière (Diabaté *et al.*, 2012). Les tests d'inoculation de Foe au palmier à huile ont été développés et réalisés pendant des décennies (Prendergast, 1963 ; Renard *et al.*, 1972) et ont permis de mettre en évidence des sources de résistance

dans les origines de palmier à huile. Ces travaux, toujours en cours ont conduit à l'identification de nombreuses sources de résistance (Renard *et al.*, 1980 ; de Franqueville, 1984 ; Durand-Gasselin *et al.*, 2000), utilisées pour développer du matériel commercial résistant à la fusariose. Ainsi, grâce à l'utilisation de palmiers résistants, des réductions spectaculaires des pertes dues à la fusariose ont été signalées dans certaines régions après l'introduction de ce matériau résistant (Flood, 2006). Les facteurs climatiques agissent sur le développement des *Fusarium* pathogènes des plantes cultivées et affectent l'expression de la fusariose (Bailey *et al.*, 2004 ; Beyer *et al.*, 2004 ; Bérubé *et al.*, 2009 ; Awad *et al.*, 2010 ; Ferrocino *et al.*, 2013 ; Dossa *et al.* 2019). Selon Bérubé *et al.*, (2009), la pluie et l'humidité relative de l'air sont les variables climatiques qui favorisent l'expansion de la fusariose de l'épi du blé et de l'orge. Les travaux de Rossi *et al.*, (2001) ont montré que *F. graminearum* et *F. avenaceum* ont leur optima de température à 28-29 °C alors que *F. culmorum* a son optimum à 26,5 °C. Par ailleurs, Bateman *et al.*, (2001), ont montré que les fluctuations saisonnières de température et d'humidité du sol agissaient sur les populations de *F. culmorum* dans le sol, ce qui impactait l'incidence de la fusariose du blé. En effet, ces auteurs ont montré qu'à la fin de l'automne et au début de l'hiver, du fait de l'augmentation de l'humidité relative et de la diminution de la température, la densité de *F. culmorum* diminuait dans le sol, et inversement. Scott et Gordon (2010) et Ferrocino *et al.*, (2013) ont montré un effet de la température sur les densités de spores de *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* dans le sol, qui se

traduit par une sévérité plus élevée de la fusariose de la laitue lorsque la température augmente. Par ailleurs, Nagaraja *et al.*, (2011) et Manstretta *et al.*, (2016) ont observé respectivement que la croissance et la sporulation de *Fusarium mangiferae* ainsi que la croissance de *Fusarium graminearum* étaient corrélées positivement avec l'humidité relative. Bailey *et al.*, (2004) ont révélé que la croissance du *Fusarium* se poursuit aussi longtemps que les conditions d'humidité le permettent. Les travaux de Xu (2003) sur *Fusarium graminearum* ont montré que la production d'inoculum de ce champignon dépendait essentiellement des précipitations. Cependant, les connaissances actuelles des effets des variables climatiques sur l'expression de la fusariose du palmier à huile restent très limitées.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 Zones d'étude : La présente étude a été conduite en deux régions de conditions climatiques contrastées : une région côtière sous embruns marins (Commune de Sèmè-Podji, Arrondissement de Sèmè-Podji) et une région non côtière au sud du Bénin (Arrondissement de Attogon, Village de Niaouli). La commune de Sèmè-Podji est située dans la zone guinéenne en bordure de l'Océan Atlantique (6°22'60 N et 2°37'0"E). Les sols de cette zone agro-écologique particulière sont sableux et pauvres en matières organiques. Le climat est de type subéquatorial avec un régime pluviométrique bimodal à deux saisons pluvieuses intercalées par deux saisons sèches. La végétation est composée d'une savane naturelle parsemée d'essences diverses à faible développement avec quelques mangroves. Le village de Niaouli situé dans la Commune d'Allada dans la zone guinéenne du sud du Bénin (6°43'60"N et 2°7'60"E) est

Il est alors impérieux d'accroître la connaissance de cette pathologie en ayant une plus grande compréhension des facteurs régissant la distribution et la sévérité de la fusariose du palmier à huile. La maîtrise de cette pathologie permettra d'une part une meilleure gestion de la maladie par le choix raisonné des surfaces de plantation, et d'autre part de perfectionner le protocole de tests précoces de résistance par une meilleure maîtrise des variables climatiques. Pour ce faire, l'effet des facteurs climatiques sur l'expression de la fusariose a été étudié en deux régions aux climats contrastés, en évaluant (i) l'influence du site d'étude sur le développement de la fusariose et (ii) l'existence d'une corrélation entre les variables climatiques et le développement de la fusariose.

caractérisé par une forte humidité et une alternance de deux saisons sèches et de deux saisons pluvieuses. On y rencontre 90% de sols ferrallitiques rougeâtres sans concrétions, et 10% de sols hydromorphes formés sur des sédiments meubles argilo-sableux. La végétation est constituée par une savane arbustive dominée par *Elaeis guineensis* avec des îlots de forêts reliques (dont celui de Niaouli est l'un des vestiges) protégés par le Centre de Recherche Agricole Sud (CRA-Sud). Les essais réalisés à Sèmè-Podji ont été installés au laboratoire de Phytopathologie du Centre de Recherches Agricoles Plantes Pérennes (CRA-PP) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) et ceux réalisés à Niaouli ont été installés sur le site du Centre de Recherches Agricoles Sud (CRA-Sud) de l'INRAB (Figure 1).

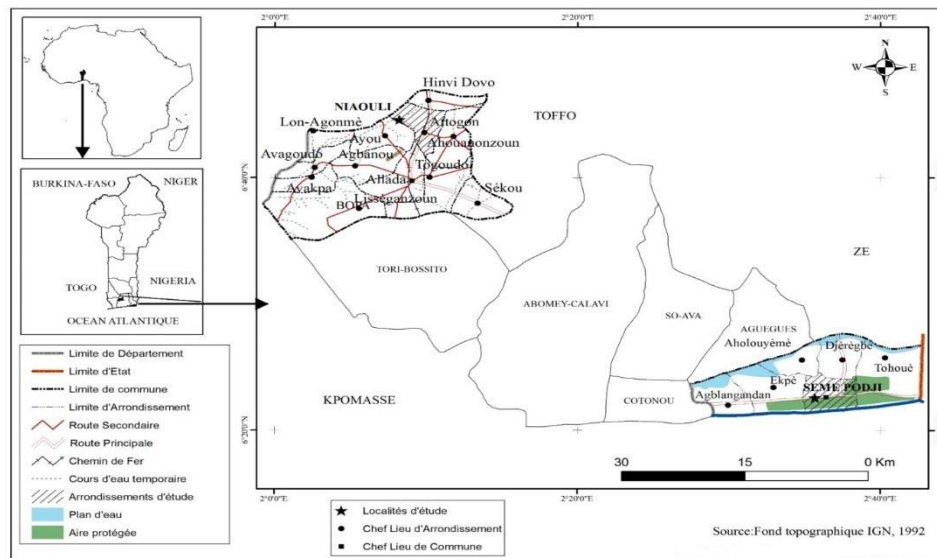


Figure 1 : Localisation géographique des sites de Niaouli et de Sèmè-Podji

4 MATÉRIEL ET MÉTHODES

4.1 Matériel végétal et fongique : L'isolat de *Fusarium oxysporum* f. sp. *laevidis* utilisé dans cette étude est l'isolat IB₇, conservé sur terreau à 4°C au réfrigérateur et qui est utilisée en routine dans les tests précoces menés au laboratoire. Il a été isolé au Sud du Bénin (zone Guinéenne, Département Atlantique, 6°40'0" N ; 2°15'0"E) à partir de tissus de stipe d'un palmier atteint de fusariose. Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué de jeunes plants de palmier à huile provenant de trois croisements sensibles à la fusariose.

4.2 Dispositif expérimental : Chaque essai est composé de huit blocs complètement randomisés, comprenant chacun 20 plantules des trois croisements (60 plantules par bloc, 480 plantules au total). Le même dispositif expérimental a été appliqué pour chaque essai mené simultanément sur les deux sites en novembre 2015 et en mars, juin et novembre 2016, soit huit essais au total.

4.3 Données d'infection : Sur chaque site et à chaque période donnée, les graines germées issues des trois croisements ont été repiquées dans des pots de prépépinière en planches de réception individualisées. Lorsque les plantules ont atteint le stade foliaire de deux feuilles, elles

ont été installées dans le dispositif expérimental. Pour l'inoculation, les plantules ont subi un grattage afin de mettre à nu le collet et les racines primaires qui ont été rincés à l'eau. 20 ml d'inoculum dilué de l'isolat IB₇, d'une concentration de l'ordre de 10⁶ spores.ml⁻¹, ont été apportés à chaque plantule (Renard et al. 1972 ; Diabaté et al. 2012). Les collets des plantules ont été recouverts post-inoculation avec du terreau. Chaque expérimentation a été arrêtée à cinq mois post-inoculation en procédant au dépouillement des plantules. Les bulbes de chaque plantule ont été disséqués selon une section longitudinale afin d'observer les symptômes internes de la maladie. Ceux-ci se caractérisent par la présence de fibres brunes dans le bulbe, se traduisant par un aspect général brunâtre du bulbe. Parallèlement, les symptômes externes de fusariose ont également été observés (nécrose, jaunissement, rabougrissement, mort de la plantule). La combinaison des deux observations (symptômes interne et externe) a conduit à l'attribution des scores suivants : f : symptômes internes uniquement, F : symptômes internes et externes : / : plantes saine. Le taux de fusariose de chaque croisement a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de Fusariose} = \frac{\text{Nombre plants F} + \text{Nombre de plants f}}{\text{Nombre de plants inoculés}} \times 100$$

4.4 Données climatiques : Les données climatiques ont été recueillies par deux stations météorologiques installées sur les sites de Sèmè-Podji et Niaouli par Météo-Bénin. Les facteurs climatiques pris en compte ont été les températures journalières minima et maxima mesurées sous abris, la pluviométrie journalière mesurée par un pluviomètre installé à 1,5 mètre du sol et l'hygrométrie évaluée grâce à une table de correspondance basée sur les températures journalières minima et maxima. Ces facteurs ont été pris en compte sur une période de 15 jours, s'étalant de cinq jours pré-inoculation à 10 jours post-inoculation. En effet, il a été observé que les conditions climatiques des jours précédents et suivants l'inoculation conditionnent fortement le succès de l'infection. Ceci s'explique par le fait que cette période correspond aux étapes de développement du *Foe* dans les sols et de pénétration de la plante par les racines. Ainsi, une valeur moyenne a été calculée pour chaque facteur climatique sur les 15 jours de mesure à partir des valeurs journalières. Ainsi les variables climatiques étudiées ont été la température minimale journalière (degrés Celsius), la température maximale journalière (degrés Celsius), l'humidité relative journalière (%) et les précipitations journalières (mm). Cependant, les données climatiques ont été résumées pour effectuer le lien avec les données de fusariose et étudier la relation entre les variables climatiques et le taux de fusariose. Ainsi, les moyennes des observations par site et par période ont été considérées (moyenne calculée sur 15 observations) pour les températures journalières minimales et maximales (degrés Celsius). L'humidité relative journalière a été exprimée comme le nombre de

jours pour lesquels l'humidité a été supérieure à 64% (valeur médiane observée sur les 15 jours de mesures, au-dessus de laquelle il est considéré que la journée a été humide). Enfin, la pluviométrie journalière a été exprimée comme la pluviométrie cumulée sur les 15 jours de mesure.

4.5 Méthodes d'analyse et de traitement des données : Des analyses de variances (ANOVA) ont été réalisées afin de tester d'une part les effets croisement, site, date et interaction site/date sur chaque variable climatique ; et d'autre part, l'effet des variables climatiques sur le taux de fusariose. L'effet croisement qui s'est révélé non significatif ($p > 0,05$) n'a pas été conservé dans le modèle. Le facteur interaction site/date a été conservé dans le modèle lorsqu'il s'est révélé significatif ($p < 0,05$) pour une variable et la comparaison des moyennes a été réalisée en utilisant le test de Tukey à 5%. Un modèle linéaire mixte généralisé, tenant compte de la nature non normale de la variable taux de fusariose a été utilisé pour modéliser les effets des facteurs site et date sur le taux de fusariose. Le test de Tukey a été utilisé pour comparer les moyennes à 5%. Des analyses de variances (ANOVA) ont été réalisées pour tester l'effet des variables climatiques sur le taux de fusariose. De plus, une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée pour étudier les relations d'une part entre les variables climatiques et d'autre part entre les variables climatiques et le taux de fusariose utilisé comme variable illustrative. Cette analyse a été effectuée en utilisant le package R ggplot2. Pour l'ensemble des analyses, le logiciel R version 3.5.1 a été utilisé.

5 RÉSULTATS

5.1 Effets du site d'étude et de la date sur les facteurs climatiques mesurés : Le tableau 1 présente les résultats des analyses de variance réalisées sur les variables climatiques pour les deux sites d'étude. L'analyse du tableau révèle que les températures minimales et maximales, de

même que l'humidité relative varient très significativement au cours des saisons le long de l'année ($p < 0,05$ à $p < 0,001$) et ceci, d'un site à un autre. Cependant aucune différence significative ($p > 0,05$) n'est observée pour la pluviométrie (tableau 1).

Tableau 1 : Résultats des analyses de variance (ANOVA) réalisées sur les variables climatiques

Paramètres	Sources de variation	Degré de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Valeur de Fisher	<i>p</i> -value
Tmin	Site	1	10,38	10,38	7,32	0,0079 **
	Date	3	20,89	6,96	4,91	0,003 **
	Site*Date	3	9,631	3,2103	2,3414	0,077082
	Résiduels	115	163,2	1,42		
Tmax	Site	1	111,94	111,94	57,53	1,054e-11 ***
	Date	3	201,03	67,01	34,44	7,562e-16 ***
	Site*Date	3	70,68	23,56	12,101	6,363e-07 ***
	Résiduels	112	217,94	1,946		
Humidité	Site	1	1223,7	1223,69	4,61	0,0339 *
	Date	3	5647,2	1882,42	7,09	0,0002 ***
	Site*Date	3	430,1	143,38	0,5335ns	0,660235
	Résiduels	115	30529,3	265,47		
Pluviométrie	Site	1	180,3	180,32	1,57ns	0,2135
	Date	3	477,4	159,13	1,38ns	0,2521
	Site*Date	3	257,4	85,81	0,76ns	0,5275
	Résiduels	112	12899,6	115,17		

La figure 2 présente les résultats du test de Tukey réalisé sur les données climatiques. L'analyse révèle qu'aucune différence significative ($p > 0,05$) n'est notée à Sèmè-Podji pour la température maximum suivant les différentes dates exceptées en mars 2016 pour laquelle la température a été significativement plus élevée qu'aux autres dates ($p < 0,05$) (Figure 2a). La température maximum la plus élevée à Sèmè-Podji a été de 32.33 ± 0.36 °C (mars 2016) et la plus faible a été de 29.33 ± 0.36 °C (novembre 2015). Aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été constatée à Niaouli pour la température maximale pour novembre 2015 et mars 2016 contrairement à juin 2016 et novembre 2016 où il a été constaté une différence significative ($P < 0,05$) (Figure 2a). La température maximum la plus élevée à Niaouli a été de 33.95 ± 0.36 °C (mars 2016) contre 29.32 ± 0.36 °C pour la plus faible (juin 2016). Des différences significatives ($p < 0,05$) ont été constatées pour la température

maximale au niveau des sites de Sèmè-Podji et Niaouli pour toutes les dates excepté juin 2016 pour laquelle aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été constatée. La valeur moyenne de température maximale a été de 32.20 ± 0.36 °C pour Niaouli contre 30.27 ± 0.36 °C pour Sèmè-Podji. La température minimale à Sèmè-Podji, le test de Tukey n'a montré aucune différence significative ($p > 0,05$) pour toutes les dates exceptées en novembre 2016 où il a été constaté une température significativement plus faible qu'en mars 2016 ($p < 0,05$) (Figure 2b). La température minimum la plus élevée constatée à Sèmè-Podji a été de 25.10 ± 0.24 °C (mars 2016) contre 24.0 ± 0.24 °C pour la plus faible (novembre 2016). A Niaouli, aucune différence significative n'a été constatée pour la température minimale pour toutes les dates, exceptée en novembre 2016 où il a été constaté une température significativement plus faible qu'en mars 2016 (Figure 2b). La température

minimale la plus élevée à Niaouli a été de $25.70 \pm 0.24^\circ\text{C}$ (mars 2016) contre $24.6 \pm 0.24^\circ\text{C}$ (novembre 2016) pour la plus basse. Aucune différence significative ($p>0,05$) n'a été constatée pour la température minimale entre les sites de Sèmè-Podji et de Niaouli pour chaque date d'observation (Figure 2b). Il n'a pas été constaté de différence significative ($p>0,05$) pour l'humidité relative pour les dates de novembre 2015 et mars 2016 au niveau de Sèmè-Podji (Figure 2c). A Sèmè-Podji une humidité relative significativement plus faible ($p<0.05$) en juin et novembre 2016 qu'en mars 2016 a été constatée (Figure 2c). L'humidité relative la plus élevée à Sèmè-Podji a été de $76.02 \pm 3.32\%$ (mars 2016) et la plus faible $57.25 \pm 3.32\%$ (novembre 2016). Aucune différence significative ($p>0,05$) n'a été

constatée à Niaouli pour l'humidité relative pour novembre 2015 et mars 2016. Toutefois, il a été constaté une humidité relative significativement plus faible ($p<0,05$) en juin et novembre 2016 qu'en mars 2016 (Figure 2c). L'humidité relative la plus élevée à Niaouli a été de $82.41 \pm 3.32\%$ (mars 2016) et la plus faible a été de $63.64 \pm 3.32\%$ (novembre 2016). Aucune différence significative ($p>0.05$) n'a été constatée pour l'humidité relative entre les Sites de Sèmè-Podji et de Niaouli (Figure 2c). La valeur moyenne d'humidité relative a été de 71.76% pour Niaouli contre 65.37% pour Sèmè-Podji. Le test de Tukey n'a également montré aucune différence significative ($p>0.05$) entre les Sites de Sèmè-Podji et de Niaouli en ce qui la pluviométrie pour toutes les dates (Figure 2d).

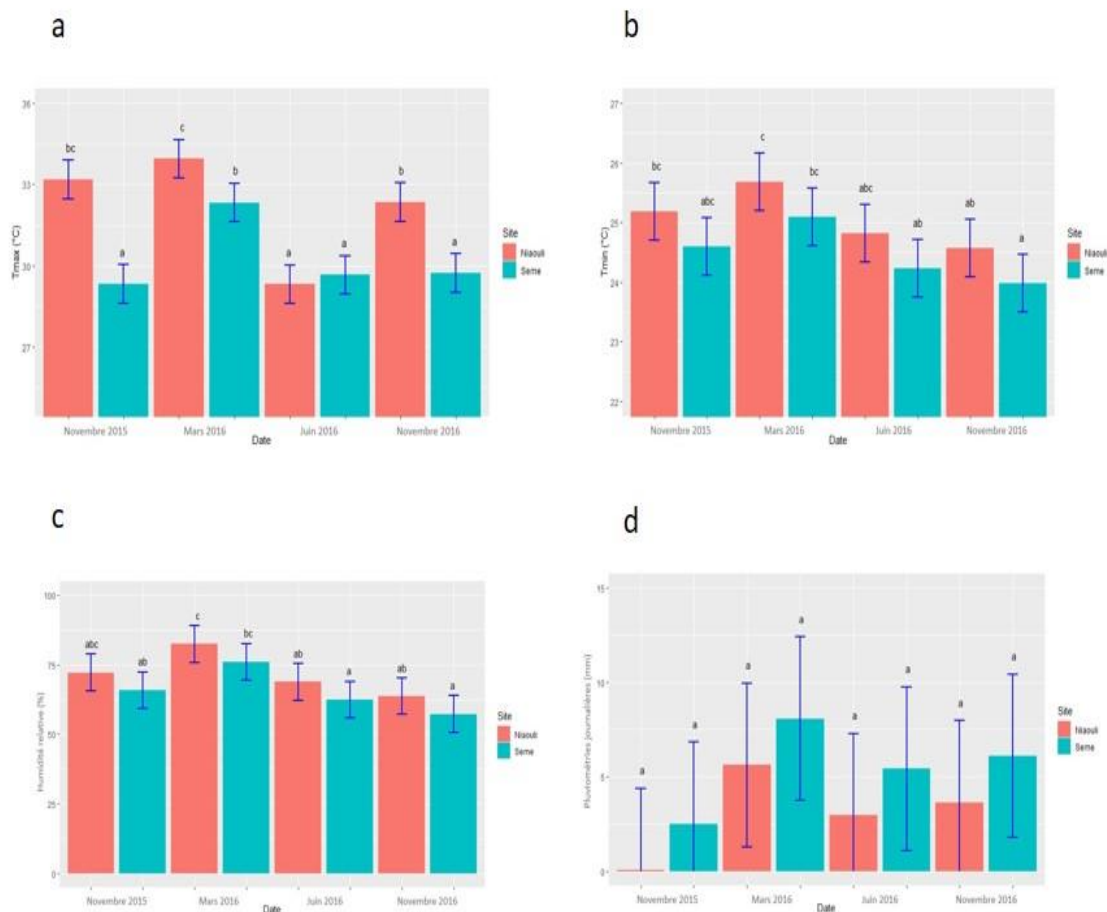


Figure 2 : Moyennes corrigées des variables climatiques en fonction des sites et des dates d'observations : a) température maximale journalière b) température minimale journalière c) humidité relative journalière et d) précipitations journalières. *Les moyennes suivies de lettres alphabétiques identiques ne sont pas significativement différentes d'après le test de Tukey. ($p>0.05$).*

5.2 Effets des sites et des dates sur le taux de fusariose : Les résultats de l'analyse de la variance réalisés sur le taux de fusariose ont révélé que le taux de fusariose varie très significativement d'un site à un autre ($p = 1.34e-04 < 0,001$) et d'une date à une autre ($p = 2.253e-06 < 0,001$). Il en est de même pour l'interaction site*date pour laquelle un effet très hautement significatif ($p = 1.49e-06 < 0,001$) a été constaté. Les résultats du test de Tukey ont révélé des différences significatives ($p < 0.05$) à Sèmè-Podji entre les taux de fusariose de novembre 2015 et juin 2016 et ceux de mars 2016 et novembre 2016 (Figure 3). Le taux de fusariose en mars 2016 a été significativement ($p < 0.05$) inférieur à ceux de juin 2016 et Novembre 2015, et le taux

de fusariose en novembre 2015 a été significativement ($p < 0,05$) supérieur à ceux de mars 2016 et novembre 2016. Le taux de fusariose le plus élevé constaté à Sèmè-Podji a été de 75.40% (novembre 2015) contre 42.5% pour le plus faible (mars 2016) (Figure 3). Aucune différence significative ($p > 0.05$) n'a été constatée à Niaouli pour le taux de fusariose des dates de novembre 2015, mars 2016 et juin 2016. Il a été par ailleurs constaté que les taux de fusariose obtenus en novembre 2016 à Niaouli étaient significativement plus faibles ($p < 0.05$) que ceux observés en novembre 2015 et mars 2016 (Figure 3). Le taux de fusariose le plus élevé constaté à Niaouli a été de 60.42% (mars 2016) contre 40.63%.

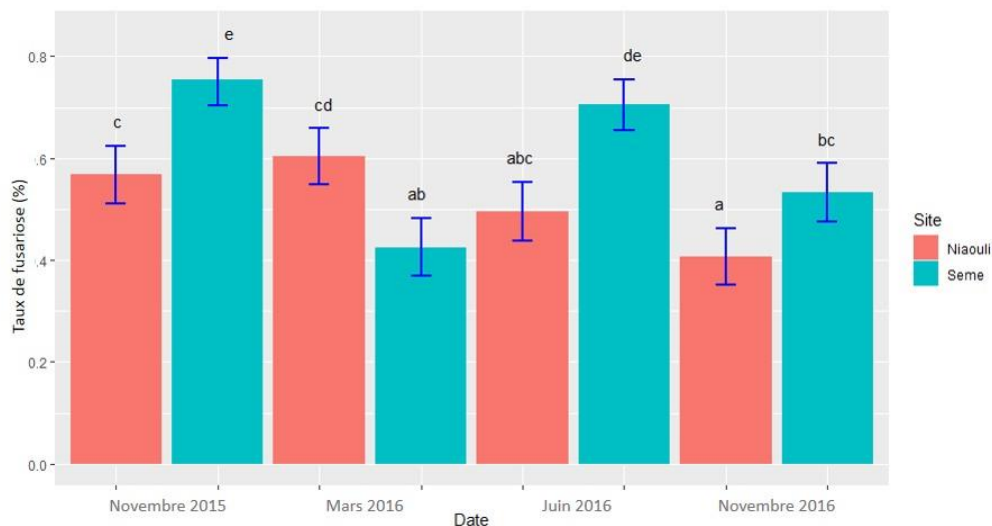


Figure 3 : Taux de fusariose en fonction des sites et des dates d'observations. *Les moyennes suivies de lettres alphabétiques identiques ne sont pas significativement différentes d'après le test de Tukey ($p > 0.05$).*

5.3 Effet des variables climatiques sur le taux de fusariose : L'analyse de variance (ANOVA) de l'effet des variables climatiques sur le taux de fusariose a mis en évidence des effets significatifs des facteurs « température maximale » ($p = 8.219e-08 < 0.001$), « pluviométrie » ($p = 1.034e-05 < 0.001$) et « humidité relative » ($p < 2.2e-16 < 0.001$), sur le taux de fusariose. Aucun effet significatif ($p = 0.8649 > 0.05$) du facteur « température minimale » n'a été constaté sur le taux de fusariose.

5.4 Relation entre les variables climatiques et le taux de fusariose : Les relations entre les variables climatiques et le taux de fusariose ont été étudiées par l'Analyse en Composante Principale (ACP) (Figure 4). Ainsi il a été constaté que l'axe 1 représente 49.63% de la variance et l'axe 2 en représente 34.08%. Les axes 1 et 2 expliquent donc 81.71% de la variance totale (Figure 4). L'axe 1 est caractérisé par des températures minimales élevées et un nombre de jours humides élevé tandis que l'axe 2 est plutôt caractérisé par une pluviométrie

cumulée élevée et une température maximale élevée. Le cercle des corrélations variables climatiques-axes (Figure 4) montre que la variable « taux de fusariose » est corrélée négativement à l'axe 2 (-0.63). L'ACP indique que le taux de fusariose est corrélé négativement

avec les variables pluviométrie et température maximale. De plus, l'humidité relative est corrélée positivement avec le taux de fusariose alors qu'une faible corrélation négative entre la température minimale et le taux de fusariose a été constatée.

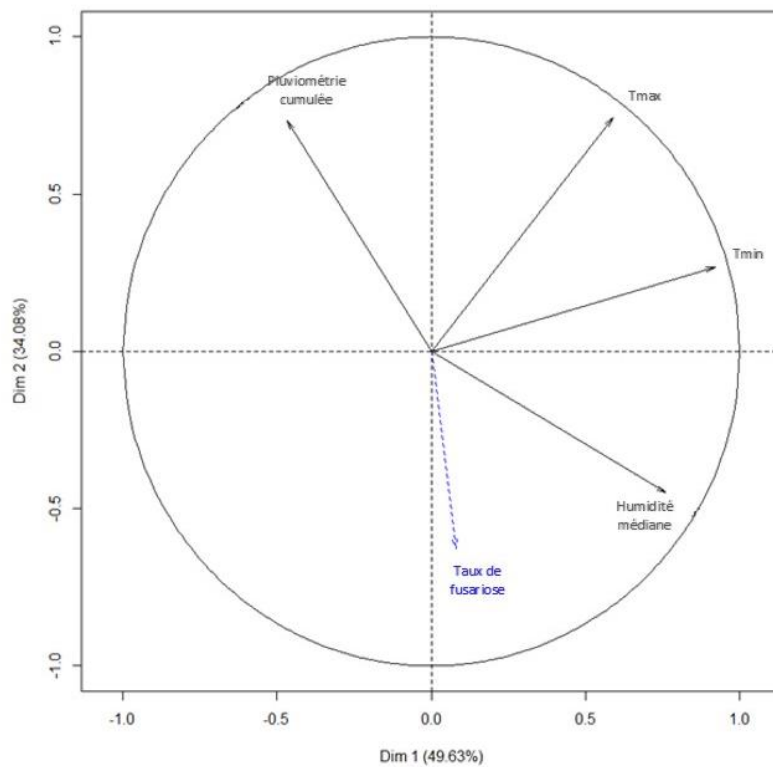


Figure 4 : Analyse en Composante Principale (ACP) illustrant les relations entre les variables climatiques et le taux de fusariose.

6 DISCUSSION

La présente étude de l'effet des facteurs climatiques sur l'expression de la fusariose qui a été conduite sur les sites de Sèmè-Podji et Niaouli a permis de constater que la température maximale, la température minimale et l'humidité relative ont tendance à être plus élevées à Niaouli qu'à Sèmè-Podji (significativement ou non), quelle que soit la date considérée. L'inverse a été observé pour la pluviométrie. Il a été de plus constaté que le site de Sèmè-Podji est plus propice à l'expression de la fusariose. En effet, le taux de fusariose a été significativement plus élevé à Sèmè-Podji qu'à Niaouli quelle que soit la date, excepté en mars 2016. Les variables climatiques, notamment la température

maximale, la pluviométrie et l'humidité affectent donc le développement de *Foe*, ce qui se traduit au niveau de l'expression de la fusariose. Plusieurs auteurs ont montré que le développement des champignons phytopathogènes est fortement lié aux facteurs écologiques et climatiques (Bailey *et al.*, 2004 ; Bérubé *et al.*, 2009 ; Ferrocino *et al.*, 2013). Il a été constaté au cours de la présente étude que des températures maximales élevées ont induit des taux de fusariose plus faibles. Ces résultats sont similaires à ceux de nombreux autres auteurs sur les champignons phytopathogènes. Ainsi les travaux de Farooq *et al.*, (2005), Ibrahim *et al.*, (2011), Gullino *et al.*, (2017), ont montré

respectivement qu'une élévation de la température réduisait considérablement le développement de *F. oxysporum* f. sp. *ciceri* (pathogène du pois chiche *Cicer arietinum* L.) de *Helminthosporium fulvum* (pathogène de tomate, riz, blé, tabac, avoine, orge, canne à sucre) et de *Allophoma tropica* (pathogène de la laitue *Lactuca sativa* L.). Toutefois ces résultats sont contraires à ceux d'autres auteurs dont les travaux ont montré une corrélation positive entre l'augmentation de la température et la gravité de la maladie. Ainsi les travaux de Scott et Gordon (2010) et Ferrocino et al., (2013) ont montré que l'élévation de la température entraînait l'augmentation des densités d'inoculum de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* dans le sol, ce qui se traduisait par la sévérité accrue de la fusariose de la laitue. Il en est de même des travaux de Chitarra et al., (2015) qui ont montré que l'augmentation de la température atmosphérique aggravait la fusariose causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *coglutinans* sur *Erica sativa*. Il a été mis en évidence au cours de la présente étude, que l'humidité relative était corrélée positivement avec le taux de fusariose. Ces résultats corroborent avec ceux de Nagaraja et al., (2011) et Manstretta et al., (2016) qui ont observé respectivement que la croissance et la sporulation de *Fusarium mangiferae* ainsi que la croissance de *Fusarium graminearum* étaient corrélées positivement avec l'humidité relative. Il a été par ailleurs constaté au cours de la présente étude qu'une pluviométrie élevée induisait moins de fusariose. Ces résultats sont contraires à ceux de nombreux auteurs dont les travaux ont révélé une corrélation positive entre la pluviométrie et la gravité des maladies causées par les champignons pathogènes. Ainsi, les travaux de Xu (2003) sur *Fusarium graminearum* ont montré que la production d'inoculum de ce champignon dépendait essentiellement des précipitations. Les travaux de Mouen Beldino et al., (2010) et

Deberdt et al., (2008) ont révélé que les précipitations étaient l'un des principaux facteurs physiques du développement de la maladie des grains de café causée par *Colletotrichum kahawae* et des cabosses de cacao causée par *Phytophthora megakarya*. Le faible taux de fusariose en cas de forte pluviométrie dans notre étude peut s'expliquer par le fait que nous nous plaçons dans un système expérimental sur jeunes plantules en pré-pépinière, contrairement aux auteurs cités précédemment. Ceci implique que le volume de terreau (contenu dans les sachets de pré-pépinière) utilisé pour élever les plantules est faible et que de fortes précipitations au moment de l'inoculation du *Foe* sont susceptibles d'entraîner un lessivage drastique de l'inoculum, réduisant ainsi le succès de l'infection. Des dispositions pratiques peuvent être prises pour l'installation et la conduite des essais. Ainsi, il peut être envisagé des dispositifs de protection (e.g. couvertures en plastique) à mettre en place lors de l'inoculation du *Foe* en saison des pluies afin d'éviter le lessivage des spores de *Foe* lors des fortes précipitations.

La corrélation positive constatée entre le taux de fusariose et l'humidité de l'air devrait guider dans le choix de parcelles à planter. Aussi, il conviendrait (lorsque le choix est possible à l'échelle d'un pays), d'éviter d'installer les nouvelles plantations de palmier à huile au niveau des zones où l'humidité atmosphérique est très élevée. Il faut toutefois noter que les résultats de l'amélioration génétique permettent aujourd'hui de planter le palmier à huile partout. Il serait préférable de s'abstenir d'installer des essais et surtout d'inoculer le *Foe* au cours des périodes de fortes chaleurs, du fait de la corrélation négative observée entre le taux de fusariose et la température maximale. Toutes ces mesures permettront de maximiser l'infection des plantules et d'obtenir des résultats de tests de screening standardisés et fiables.

7 CONCLUSION

La présente étude de l'effet des facteurs climatiques sur l'expression de la fusariose a permis de mettre en évidence les effets significatifs de la température maximale, de

l'humidité relative de l'air et de la pluviométrie sur l'expression de la fusariose. Cette étude a mis en évidence des corrélations entre les variables climatiques et le taux de fusariose. Ainsi, des

corrélations négatives ont été observées entre le taux de fusariose et les variables température maximale et pluviométrie. De plus, une corrélation positive a été constatée entre le taux de fusariose et l'humidité relative. Une température maximale et une pluviométrie élevées semblent ne pas favoriser l'expression de la fusariose alors qu'au contraire une humidité relative élevée est favorable à la fusariose. Ces résultats mériteraient d'être approfondis lors des études ultérieures afin de déterminer les valeurs seuils pour la température maximale et la pluviométrie qui inhiberaient de façon significative l'expression de la fusariose. Il en est de même pour l'humidité relative afin de

déterminer la valeur seuil de cette variable qui favoriserait l'expression de la fusariose. La température maximale, la pluviométrie et l'humidité relative sont des variables climatiques dont il faut tenir compte aussi bien pour la mise en place des tests pour la sélection du palmier à huile tolérant à la fusariose que pour la gestion de la fusariose au champ. Ces résultats sont susceptibles de trouver des applications tant dans la gestion de la fusariose au niveau des plantations de palmier à huile qu'au laboratoire dans le cadre des tests de screening qui y sont réalisés pour la sélection du palmier tolérant à la fusariose.

8 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Centre de Recherches Agricoles Plantes Pérennes (CRA-PP) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) qui a financé la présente étude.

Nous sommes reconnaissants à Arsène Padonou et Gaston Adossou pour leur aide lors des expérimentations

9 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allou D, Kouadio OK, Diabaté S et Assanvo S-P N : 2017. Évaluation de la production de cinq géotypes de palmier à huile (*Elaeis guineensis* jacq.) replantés sur des parcelles à haute densité de fusariose. *European Scientific Journal* 13(18) ISSN : 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. Doi:10.19044/esj.2017.v13n18p562.
- Awad WA, Ghareeb K, Bohm J and Zentek J : 2010. Decontamination and detoxification strategies for the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol in animal feed and the effectiveness of microbial biodegradation. *Food Addit Contam Part A-Chem* 27 (4): 510-520. doi:10.1080/19440040903571747.
- Bailey KL, Couture L, Gossen BD, Gugel RK et Morrall RAA: 2004. Maladies des grandes cultures au Canada. Éd. La Société canadienne de Phytopathologie. 328 p.
- Baron V, Rafflegeau S, Dubos B, Flori A, Burgos R et Louise C: 2017. Exposition des plantations de palmier à huile au risque de la pourriture du cœur dans le bassin de Quevedo, Équateur. *Cah. Agric.* 26: 55002. DOI: 10.1051/cagri/2017036.
- Bateman GL and Murray G: 2001. Seasonal variations in populations of *Fusarium* species in wheat-field soil. *Applied Soil Ecology* 18: 117-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/S0929>.
- Bérubé ME, Vanasse A, Rioux S, Bourgeois G, Bourget N, Tremblay G. et Dion Y: 2009. Effet du glyphoste et du travail du sol sur l'incidence de la fusariose de l'épi chez le blé et l'orge. Journée d'information scientifique - Grandes cultures, CRAAQ, Drummondville, 19 février. <https://id.erudit.org/iderudit/038253ar> DOI: <https://doi.org/10.7202/038253ar>.
- Beyer M, Roding S, Ludewig A. and Verreet JA: 2004. Germination and survival of *Fusarium graminearum* macroconidia as affected by environmental factors. *J Phytopathol.* 152 (2), 92-97. doi:10.1111/j.1439-0434.2003.00807.
- Chitarra W, Siciliano I, Ferrocino I, Gullino ML. and Garibaldi A: 2015. Effect of

- Elevated Atmospheric CO₂ and Temperature on the Disease Severity of Rocket Plants Caused by Fusarium Wilt under Phytotron Conditions. *PLoS ONE* 10 (10): e0140769. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140769>.
- Corley RHV. and Tinker PHB: 2016. The Oil Palm, 5th edition. Wiley Blackwell, 639 p.
- de Franqueville H : 1984. La fusariose vasculaire du palmier à huile : relation entre la résistance en pépinière et la résistance en champ. *Oléagineux* 39 (11): 513-518.
- de Franqueville H, Durand GT, Cochard B, Nouy B, Breton F. and Dossa J: 2011. Integrated approach for management of fusarium disease on the oil palm. In: Proceeding of the third MPOB-IOPRI international seminar on integrated oil palm pest and diseases management. Ed. MPOB. Kuala Lumpur, p. 52-62.
- Deberdt P, Mfegue CV, Tondje PR, Bon MC, Ducamp M, Hurard C, Begoude BAD, Ndoumbe-Nkeng M, Hebbar PK. and Cilas C: 2008. Impact of environmental factors, chemical fungicide and biological control on cacao pod production dynamics and blackpod disease (*Phytophthora megakarya*) in Cameroon. *Biological Control* 44 :149–159.
- Diabaté S, Demby KL, Kouassi BG, Wongbe Y, Konan JN, Konan KE. et Kouabenan A : 2015. Étude de l'influence du facteur antécédent cultural palmiers et cocotiers sur l'évolution de la fusariose vasculaire chez six clones de palmiers à huile de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 92 : 8570 - 8577.
- Diabaté S, Gbongué LR, Dick E, Bomisso EL. et de Franqueville H: 2012. Étude Comparée de L'action de Souches Non Pathogènes de *Fusarium oxysporum* dans l'induction des réactions immunitaires du palmier à huile contre la fusariose. *European Journal of Scientific Research* 3 (2) : 193-201.
- Dossa SJB, Togbe CE, Pernaci M, Agbossou KE. et Ahohuendo CB: 2019. Effet des facteurs de l'environnement sur les *Fusarium* pathogènes des plantes cultivées. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13 (1) : 493-502. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.39>.
- Durand-Gasselin T, de Franqueville H, Diabaté S, Cochard B. et Adon B: 2000. Assessing and utilizing sources of resistance to Fusarium wilt in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genetic resource. Paper presented at Int. Symp. " Oil palm genetic resources and utilization ". 8-10 June, 2000, *Malaysian Palm Oil Board*, Kuala Lumpur.
- Durand-Gasselin T, Blangy L, Picasso C, de Franqueville H, Breton F, Amblard P, Cochard B, Louise C. et 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.
- Farooq S, Iqbal S. M. and Abdul Rauf C: 2005. Physiological Studies of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Ciceri*. *International Journal of Agriculture and Biology* 7 (2): 275-277.
- Flood J: 2006. A review of Fusarium wilt of the oil palm caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*. *Phytopathology* 96 (6): 660-662.
- Ferrocino I, Chitarra W, Pugliese M, Gilardi G, Gullino ML. and Garibaldi A: 2013. Effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on disease severity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* on lettuce plants. *Applied Soil Ecology* 72 : 1-6.
- Gogbe DBF, Konan JN, Diabaté S, Konan EP, Kone B. et Dogbo DO: 2016. Réaction phénolique de quatre clones de palmier à huile inoculés par *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10 (2): 486-496. Available online at <http://www.ifg-dg.org>.
- Gullino ML, Gilardi G. and Garibaldi A: 2017. Evaluating severity of leaf spot of lettuce, caused by *Allophoma tropica*,

- under a climate change scenario. *Phytopathologia Mediterranea*. 56 (2): 235-241. DOI: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-20458.
- Ibrahim M, Rabah AB, Liman B. and Ibrahim NT: 2011. Effect of Temperature and Relative Humidity on the Growth of *Helminthosporium fulvum*. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science* 19 (1): 127-129.
- Manstretta V. and Rossi V: 2016. Effects of temperature and moisture on development of *Fusarium graminearum* perithecia in maize stalk residues. *Appl Environ Microbiol.* 82:184-191. doi:10.1128/AEM.02436-15.
- Mouen Bedimo JA, Bieysse D, Nyassé S, Nottéghem JL. and Cilas C: 2010. Role of rainfall in the development of coffee berry disease in *Coffea arabica* caused by *Colletotrichum kahawae*, in Cameroon. *Plant Pathology* 59: 324-39. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2009.02214.
- Nagaraja A, Kalidindi U, Singh B, Singh SK. and Umamaheswari C: 2011. Effect of temperature and relative humidity on growth and sporulation of *Fusarium mangiferae* under in vitro conditions. *Indian Journal of Horticulture* 68 (1): 36-38.
- Ngando EGF, Etta CE, Ntsomboh GN. and Oben TT: 2013. Breeding oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.) for fusarium wilt tolerance: an overview of research programmes and seed production potentialities in Cameroon. *International Journal of Agricultural Sciences* 3 (5) : 513-520.
- Prendergast AG: 1963. A method of testing oil palm progenies at the nursery stage for resistance to vascular wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *elaedis*. *Journal of the West African Institute for Oil Palm Research* 4: 156-175.
- Renard JL, Gascon JP. and Bachy A: 1972. Research on vascular wilt disease of the oil palm. *Oléagineux* 27: 581-591.
- Renard JL, Noiret JM. et Meunier J:1980. Sources et gammes de résistance à la fusariose chez les palmiers à huile *Elaeis guineensis* et *Elaeis melanococca*. *Oléagineux* 35 : 387-393.
- Rival A. and Levang P: 2014. Palms of controversies: oil palm and development challenges. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Rossi V, Ravanetti A, Patteri E. and Giosuè S: 2001. Influence of temperature and humidity on the infection of wheat spikes by some fungi causing Fusarium head blight. *Journal of Plant Pathology* 83 (3): 189-198. DOI: <http://dx.doi.org/10.4454/jpp.v83i3.1128>.
- Scott JC. and Gordon TR: 2010. Effect of Temperature on Severity of Fusarium Wilt of Lettuce Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *Plant Dis.* 94 : 13-17.
- Standaert JY, Maraite H, Myttenaere C. et Meyer JA : 1978. Etude de l'influence de la concentration saline et du rapport sodium/calcium du milieu nutritif sur la sensibilité de la tomate à la fusariose vasculaire. *Plant and Soil* 50: 269-286.
- Tengoua FF. and Bakoumé C: 2008. Pathogenicity of Cameroon strains of *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaedis*-the causal agent of oil palm vascular wilt. *The Planter* 84(985): 233-237.
- Timmer LW, Darhower HM, Zitko SE, Peever TL, Ibanez AM. and Bushong PM: 2000. Environmental factors affecting the severity of *Alternaria brown* spot of *Citrus* and their potential use in timing fungicide applications. *Plant Dis.* 84: 638-643.
- Xu X: 2003. Effects of environmental conditions on the development of Fusarium ear blight. *European Journal of Plant Pathology* 109: 683-689. <https://doi.org/1023/A:1026022223359>.