

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

## Potentiel des extraits de plantes insecticides pour la gestion de la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* au Bénin

Ghislain Tchoromi Tapa-Yotto, Appolinaire Adandonon, Moret Burnier Sènalèkokpon Adikpeto

Reçu : 12/01/2021

Accepté: 10/10/2021

Publié en ligne: 29/10/2021

### Résumé

La chenille légionnaire d'automne (CLA) *Spodoptera frugiperda* constitue la nouvelle contrainte biotique en maïsiculture depuis la détection du ravageur et la dévastation des champs au Bénin et en Afrique de l'Ouest en 2016. Cette étude vise à évaluer deux extraits de plantes insecticides à savoir l'huile de neem et de pourghère (jatropha) pour la gestion de la CLA. A cet effet, un champ expérimental de maïs a été installé suivant un dispositif en carré latin constitué de quatre traitements avec quatre répétitions. Les traitements sont : T0 (traitement témoin), T1 (huile de neem à la dose de 2l/ha), T2 (huile de jatropha à la dose de 2l/ha) et T3 (combinaison des demi-doses de neem (1l/ha) et jatropha (1l/ha)). Les données suivantes ont été collectées sur trente plants échantillonnés par traitement à une fréquence de trois jours jusqu'à la fin du cycle phénologique du maïs : nombre d'amas d'œufs de la CLA par plant, nombre de larves de la CLA, nombre d'insectes prédateurs (forficules, coccinelles et fourmis) et l'ampleur des dégâts selon l'échelle de Davis et Williams (1992). Les rendements en maïs grains ainsi que la réduction de perte de rendement ont été calculés à la fin de l'expérimentation. Les résultats ont montré que les traitements T1 (huile de neem à la dose de 2l/ha) et T3 (combinaison des demi-doses de neem (1l/ha) et jatropha (1l/ha)) ont une meilleure efficacité dans la réduction des populations d'amas d'œufs et de larves de *S. frugiperda* ainsi que dans la réduction des pertes de rendement de grains de maïs. Les prédateurs ont été plus présents au niveau des parcelles témoins et celles traitées avec l'huile de jatropha à la dose de 2l/ha (T2). Le présent travail pilote est une démonstration du potentiel d'utilisation des pesticides botaniques contre la CLA dans le contexte des petits producteurs de maïs.

**Mots clés :** Espèce invasive, *Spodoptera frugiperda*, lutte botanique, rendement de maïs

### Affiliation des auteurs

Laboratoire de Sciences Végétale  
Horticole et Forestière

École de Gestion et de Production  
Végétale et Semencière (EGPVS)

Université Nationale d'Agriculture  
(UNA), BP : 43 Kétou, République du  
Bénin.

### Pour citer l'article

Tapa-Yotto GT, Adandonon A, Adikpeto MBS. 2021. Potentiel des extraits de plantes insecticides pour la gestion de la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* au Bénin. Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture. 2021, 1(1): 1-8

**Auteur correspondant :** Ghislain Tchoromi Tapa-Yotto, E-mail : [ghislain.tepa@gmail.com](mailto:ghislain.tepa@gmail.com)

## Insecticidal plant extract potential to control fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Benin

### Abstract

Fall armyworm (FAW) *Spodoptera frugiperda* is a new threat to maize production since the detection of the pest and its devastating consequences in Benin and West Africa in 2016. The present study aimed at assessing two insecticidal plant extracts namely neem and jatropha oil for the control of FAW. An experimental maize field was set in a latin square design with four treatments replicated four times. The treatments comprised T0 (control), T1 (neem oil at 2l/ha dosage), T2 (jatropha oil at 2l/ha dosage) and T3 (combination of half dosages of both neem oil (1l/ha) and jatropha oil (1l/ha)). Data collection was undertaken on thirty random plants per treatment each third day throughout the maize cropping cycle. These included : the number of FAW egg masses per plant, the number of FAW larvae, the number of predatory insects (earwigs, ladybirds and ants) and FAW-induced damage based on Davis and Williams scales (1992). Maize grain yields and reduction rate in yield loss were computed at the end of the experiments. The results showed that T1 (neem oil at 2l/ha dosage) and T3 (combination of half dosages of both neem oil (1l/ha) and jatropha oil (1l/ha)) significantly reduced FAW oviposition and larval populations. These treatments provided the best reduction in maize grain yield loss as well. Predatory insects were recorded mostly on control and T2 (jatropha oil at 2l/ha dosage) plots. This pilot work is a demonstration of the potential use of botanical biorational pesticides to control FAW in smallscale maize farms.

**Keywords:** Invasive species, *Spodoptera frugiperda*, botanical control, maize yield

### Introduction

*Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera : Noctuidae) communément appelé chenille légionnaire d'automne (CLA), est l'insecte qui cause actuellement le plus grand dommage à la culture du maïs en Afrique et en Asie. Les chenilles de cette espèce semblent causer plus de dommages sur le maïs en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale que la plupart des autres espèces de *Spodoptera* d'Afrique (Goergen et al. 2016). Dans les champs de maïs attaqués par cette chenille, on peut enregistrer des pertes de rendement allant de 15% à 73% lorsque 55% à 100% des plants sont infestés (Hruska et Gould 1997). En 2016, la presse béninoise a annoncé la destruction d'une superficie de 30 000 à 40 000 ha de champs de maïs au Nord Bénin par cette espèce. Depuis lors, les producteurs de maïs font face à chaque campagne agricole aux activités de plus en plus dévastatrices de cette chenille dans leurs champs. Cela a même obligé certains d'entre eux à délaisser la production du maïs. Cette situation s'avère préoccupante dans le contexte actuel d'insécurité alimentaire dans le monde. Vu l'énorme perte économique que ces chenilles occasionnent sur le maïs, l'aliment de base au Bénin, il est impératif de trouver des méthodes de lutte écologique pour contrôler ce ravageur dans les champs. Les méthodes les plus utilisées pour lutter contre les insectes nuisibles sont généralement des méthodes basées sur l'utilisation des produits

chimiques de synthèse. C'est par ailleurs ces produits qui ont constitué la première arme que les producteurs ont branlé contre cette chenille depuis son avènement au Bénin. Ils utilisent des produits tout venant ou leurs cocktails et surtout augmentent exagérément la dose dans le but d'obtenir un meilleur résultat. Cependant, cette méthode a déjà montré ses effets néfastes sur l'environnement, la biodiversité et la santé aussi bien des utilisateurs que celle des consommateurs des produits agricoles. Les statistiques de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ont montré qu'environ 200 000 personnes sont tuées chaque année, dans le monde, en conséquence directe de l'empoisonnement par pesticide de synthèse (CAPE 2009 ; Belmain et al. 2013). L'Afrique, n'utilisant que 2 à 4% des pesticides synthétiques du marché mondial des pesticides (Sola et al. 2014), a le plus haut risque de mortalité humaine associée à une mauvaise utilisation des pesticides de synthèse (Williamson et al. 2008).

La lutte botanique par utilisation des plantes insecticides s'affiche donc comme l'une des méthodes alternatives et durables pour lutter contre la chenille légionnaire d'automne tout en respectant l'environnement et la santé de l'homme. Un grand nombre de plantes sont reconnues pour leurs propriétés insecticides. Quelques-unes de ces plantes ont été utilisées dans la gestion de *S. frugiperda* dans son aire de répartition d'origine.

Les pesticides botaniques sont en effet, biodégradables et présentent très peu de risques pour l'environnement et pour la santé des producteurs et des consommateurs. Ces pesticides sont pour la plupart sans danger pour les ennemis naturels et donc compatibles à une stratégie de lutte intégrée axée sur la lutte biologique. Plusieurs plantes insecticides ont révélé leur efficacité contre les foreurs de tige de céréales en Afrique (Ogendo et al. 2013 ; Mugisha-Kamatanesi et al. 2008 ; Stevenson et al. 2017). La diversité de ces plantes pourrait également offrir des opportunités d'utilisation contre la CLA pour les petits producteurs. C'est pour cela que nous nous sommes proposés d'évaluer les effets de deux pesticides botaniques, à savoir les huiles extraites des graines de neem (*Azadirachta indica*) et de jatropha (*Jatropha sp.*), en milieu semi-réel contre la CLA. L'huile de neem a notamment montré son efficacité contre plusieurs insectes lépidoptères nuisibles des cultures dont *Plutella xylostella* (Mondedji et al. 2014). L'huile de jatropha quant à elle s'est avérée très efficace contre plusieurs lépidoptères dont *Busseola fusca* et *Sesamia calamistis* (Ratnadass et al. 1997).

L'objectif général de cette étude a été de déterminer une formule de traitement efficace, écologique et durable contre le lépidoptère *Spodoptera frugiperda* dans les champs de maïs au Bénin. Spécifiquement, il s'est agi de (i) comparer l'efficacité de l'huile de neem à celle de l'huile de pourghère (jatropha) sur la chenille légionnaire d'automne et de (ii) déterminer l'efficacité de la combinaison des demi-doses d'huile de neem et d'huile de pourghère dans la lutte contre la chenille légionnaire d'automne.

## Matériel et méthodes

### Site expérimental

La présente étude a été conduite à Awaï (commune de Kétou) sur le site expérimental de l'Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière (EGPVS) de l'Université Nationale d'Agriculture (UNA).

### Matériel végétal

La variété extra-précoce de maïs 2000 Syn EE W (80 jours) a été utilisée.

### Biopesticides

Les huiles pures de neem et de jatropha sont les deux insecticides botaniques testés dans la présente étude. Elles ont été extraites à chaud et

achetées chez des vendeurs de biopesticides agréés au Bénin.

### Dispositif expérimental

Un champ expérimental de 5000 m<sup>2</sup> a été installé en carré latin composé de quatre traitements. Chaque unité parcellaire a une superficie de 100 m<sup>2</sup> soit 10 m x 10 m. Le maïs a été semé à un écartement de 80 cm entre lignes et 40 cm entre poquets. La distance entre deux unités parcellaires était de 10 m. Au total, quatre traitements ont été utilisés avec quatre répétitions. Il s'agit de :

- To : Témoin (aucun traitement phytosanitaire) ;
- T1 : Huile de neem à la dose de 2l/ha ;
- T2 : Huile de jatropha à la dose de 2l/ha ;
- T3 : Combinaison des demi-doses d'huile de neem (1l/ha) et d'huile de jatropha (1l/ha).

### Collecte des données et application des biopesticides

Les données ont été collectées à partir d'une semaine après la levée du maïs et ce à une fréquence de trois jours jusqu'à fin du cycle phénologique du maïs. Les rendements ont été calculés à la récolte. Les applications des pesticides botaniques ont été effectuées sur l'ensemble des parcelles sur la base de l'atteinte d'un seuil d'intervention de 10% de plants infestés par les œufs et/ou les larves de la CLA sur au moins une des parcelles expérimentales. Au total, trente plants ont été échantillonnés de façon aléatoire par traitement et à chaque observation. Nous avons enregistré : le nombre d'amas d'œufs de la CLA par plant échantillonné ; le nombre de larves de la CLA aux stades 1-2 ; le nombre de larves de la CLA aux stades 3-6 ; l'ampleur des dégâts selon l'échelle de Davis et Williams (1992) ajustée par Prasanna et al. (2018) ; le nombre d'insectes prédateurs de forficules, coccinelles et fourmis.

La récolte sur toute la surface des parcelles expérimentales a été effectuée à la fin des essais et le rendement de maïs à l'hectare a été calculé en utilisant la formule :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Quantité de grains par parcelle(Kg)}}{\text{Superficie de la parcelle(ha)}}$$

La réduction de perte de rendement a été aussi calculée à travers la formule utilisée par Adeye et al. (2018) :

$$R_{\text{rdt}} \text{ (en \%)} = \frac{(\text{Rdt}_P - \text{Rdt}_T) \times 100}{\text{Rdt}_P}$$

$R_{\text{rdt}}$  : Réduction de perte de rendement ;

$\text{Rdt}_T$  : Rendement moyen en absence de protection phytosanitaire ;

$\text{Rdt}_P$  : Rendement moyen induit par le produit de protection de plante.

Les biopesticides sont appliqués lorsque le seuil d'infestation de 10% est atteint sur au moins une des parcelles expérimentales. Les applications sont faites tard le soir à partir de 18h à l'aide du pulvérisateur à dos de 16 l. La lance du pulvérisateur est dirigée de manière à ce que la solution soit déposée au cœur de chaque plant. Par unité parcellaire, nous avons appliqué 20 ml de biopesticide (huile de neem ou huile de jatropha) ; 10 ml de chaque biopesticide en mélange, pour le traitement T3. Deux litres (2l) de biopesticide ont donc été appliqués par hectare constituant ainsi la dose recommandée par les firmes de production des biopesticides utilisés. A la dose recommandée les biopesticides ont été dilués à raison de 12,5 ml d'huile dans 1 l d'eau, soit 200 ml d'huile pure par pulvérisateur (16 l).

### Analyses statistiques

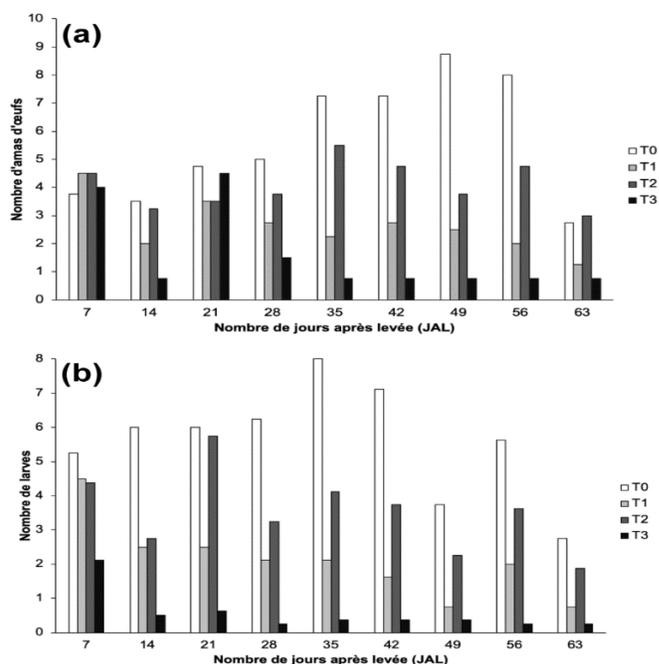
Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel R (analyses statistiques descriptives et inférentielles : moyennes, analyse des variances - ANOVA, séparation des moyennes par le test de Tukey au seuil de 5%).

### Résultats

#### Effet des traitements sur les œufs pondus de *Spodoptera frugiperda*

Sept jours après la levée du maïs, nous avons enregistré au niveau de toutes les unités parcellaires une ponte importante d'œufs de la CLA sur les plants. Pour tous les quatre traitements, le nombre d'amas d'œufs a évolué en dents de scie (Figure 1a). Les plus grands nombres d'amas d'œufs sont obtenus sur le traitement T0 suivi du traitement T2. Le traitement T3 présente à partir du 28ème jour après la levée les plus faibles nombres d'amas d'œufs, suivi du traitement T1.

L'analyse des résultats révèle un effet hautement significatif concernant la ponte des amas d'œufs de la CLA sous divers traitements (ddl= 3 ;  $p < 0,001$ ).



**Figure 1.** Evolution du nombre moyen des stades immatures d'amas d'œufs (a) et larves (b) de la CLA. T0 : témoin, T1 : huile de neem à la dose de 2l/ha, T2 : huile de jatropha à la dose de 2l/ha, T3 : combinaison des demi-doses d'huile de neem (1l/ha) et d'huile de jatropha (1l/ha).

Les traitements T1, T2 et T3 ont montré une efficacité contre la chenille légionnaire d'automne en ce qui concerne la ponte et le développement des œufs sur les plants, comparativement au traitement témoin T0. Les nombres moyens d'amas d'œufs dénombrés sont par ailleurs significativement différents entre eux (Tableau 1). Le traitement T3 a montré une meilleure efficacité contre l'oviposition de la CLA suivi des traitements T1, T2 et T0.

**Tableau 1.** Nombres moyens de divers stades immatures de *S. frugiperda* enregistrés par traitement ; T0 : témoin (aucun traitement phytosanitaire) ; T1 : huile de neem à la dose de 2l/ha ; T2 : huile de jatropha à la dose de 2l/ha ; T3 : combinaison des demi-doses d'huile de neem (1l/ha) et d'huile de jatropha (1l/ha).

Traitement	Amas d'œufs	Larves de stade 1-2	Larves de stade 3-6
T0	5,69 ± 0,39a	7,38 ± 0,43a	3,88 ± 0,53a
T1	2,61 ± 0,29c	2,63 ± 0,37c	1,55 ± 0,26c
T2	4,08 ± 0,29b	4,36 ± 0,40b	2,69 ± 0,39b
T3	1,61 ± 0,31d	0,72 ± 0,21d	0,38 ± 0,15d

#### Effet des traitements sur le nombre moyen de larves de *Spodoptera frugiperda*

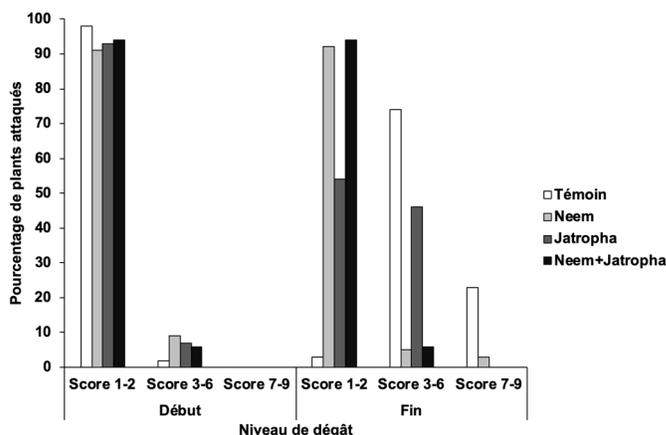
Les résultats révèlent que les grands nombres de larves sont enregistrés au niveau du traitement T0 suivi du traitement T2 tout au long de l'essai avec en moyenne 11,26 larves par plant pour le traitement T0 et 7,05 larves par plant pour le traitement T2, respectivement. Quant aux deux traitements les

moins infestés, le nombre de larves obtenu au niveau du traitement T1 est supérieur à celui du traitement T3 durant tout l'essai (Figure 1b). Les différents traitements ont un effet hautement significatif sur les larves de la CLA, aussi bien sur celles des stades 1-2 ( $ddl= 3$  ;  $p= 2,0 \times 10^{-16}$ ) que celles des stades 3-6 ( $ddl= 3$  ;  $p= 2,08 \times 10^{-9}$ ). L'application des traitements T1, T2 et T3 a réduit considérablement la population des larves de tous les stades au niveau des parcelles qui ont reçu ces biopesticides comparativement au traitement témoin T0. En effet, pour les larves des stades 1-2, nous avons enregistré en moyenne 7 ; 4 ; 2 et 1 larves par parcelle élémentaire respectivement au niveau des traitements T0, T2, T1 et T3 (Tableau 1). Le traitement T3 présente la meilleure efficacité sur les larves des stades 1-2 de la CLA suivis de T1 et T2. La même tendance a été observée au niveau des larves des stades 3-6 (Tableau 1). La combinaison de l'huile de neem et de jatropha (T3) s'est avérée la plus efficace que ce soit sur les larves des stades 1-2 que celles des stades 3-6. Pour un même paramètre de nombre moyen de larves, les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes suivant le test de Tukey au seuil de 5%.

### Dégâts de *Spodoptera frugiperda*

Au début de l'expérimentation presque tous les plants de maïs au niveau de tous les traitements ont présenté un score de faible dégât situé entre 1-2 (Figure 2). Mais à la fin de l'expérimentation, moins de 5% des plants du traitement T0 ont présenté ce même score et environ 75% présentaient un score 3-6, contre environ 2% au début. En ce qui concerne le traitement T2, on a constaté une diminution du nombre de plants de score 1-2 et une augmentation de ceux de score 3-6 mais une augmentation inférieure à celle du T0. Les traitements T1 et T3 ont contrairement à T0 et T2, présenté une augmentation du nombre de plants de score 1-2. Ils ont par ailleurs, enregistré un faible taux de plants de score 3-6. Plus particulièrement, le traitement T3 n'a enregistré aucun plant de score 7-9 contrairement au traitement T1. Cela démontre de la grande sévérité de l'attaque de la CLA au niveau du traitement T0 et sa faible sévérité au niveau du traitement T1 et surtout au niveau du traitement T3. Le traitement T3 s'est avéré plus efficace en ce qui concerne la réduction de la sévérité de l'attaque de la CLA ; s'en suit le traitement T1. Le traitement T2 quant à lui vient en avant dernière position dans le

classement décroissant de l'efficacité des traitements.



**Figure 2.** Pourcentage moyen de plants endommagés au début et à la fin des observations. L'axe des ordonnées dénote le pourcentage des plants atteints par niveau de score au début et à la fin de l'expérimentation.

### Effet des traitements sur les prédateurs de la CLA

Les trois prédateurs de la CLA, considérés dans la présente étude, ont été diversement abondants sur les parcelles expérimentales.

#### Forficules prédateurs

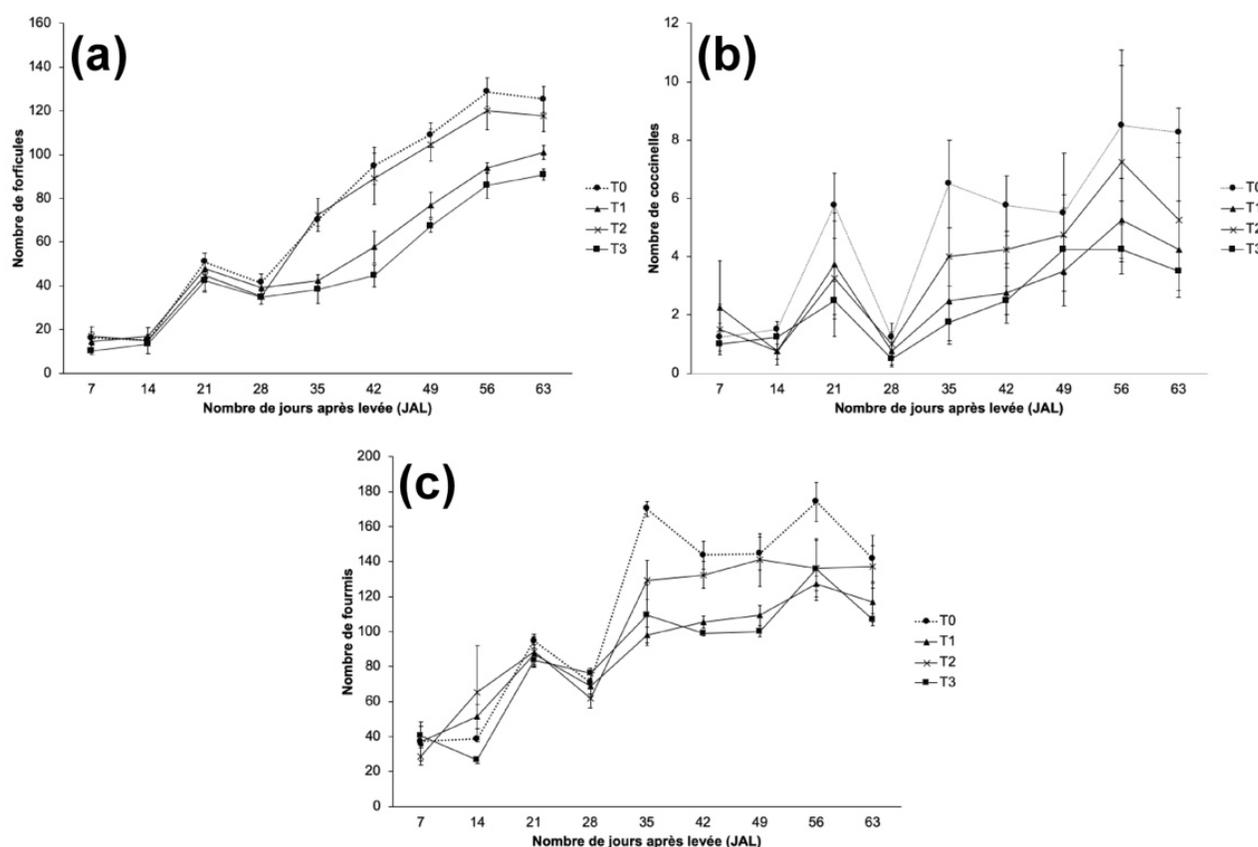
La population des forficules a été plus ou moins croissante au niveau de ces quatre traitements. Le traitement témoin a enregistré le plus grand nombre de forficules, suivi du traitement T2 ( $ddl= 3$  ;  $p < 0,001$ ). Le traitement T3 a quant à lui enregistré le nombre le plus faible de ce prédateur (Figure 3a).

#### Coccinelles prédatrices

Très peu rencontrée dans le champ, la population de coccinelles suit une évolution en dents de scie. Comme pour la population des forficules, dans l'ordre décroissant, nous avons respectivement les traitements T0, T2, T1 et T3 (Figure 3b ;  $ddl= 3$  ;  $p < 0,001$ ).

#### Fourmis prédatrices

Les fourmis représentent la catégorie de prédateurs la plus rencontrée dans cette étude. Dans l'ordre décroissant du nombre de fourmis par traitement, nous avons respectivement les traitements T0, T2, T1 et T3 comme le montre la Figure 3c ( $ddl= 3$  ;  $p < 0,001$ ).



**Figure 3.** Evolution de la population des prédateurs de la CLA, forficulés (a), coccinelles (b), fourmis (c). T0 : témoin, T1 : huile de neem à la dose de 2l/ha, T2 : huile de jatropha à la dose de 2l/ha, T3 : combinaison des demi-doses d'huile de neem (1l/ha) et d'huile de jatropha (1l/ha).

### Effet des biopesticides sur le rendement en grains de maïs

Les différents traitements ont eu un effet hautement significatif sur le rendement en grains de maïs (ddl= 3 ;  $p < 0,001$ ).

Le rendement moyen en grains de maïs a varié d'un traitement à un autre. Les traitements T3 et T1 ont enregistré les rendements les plus élevés, soit respectivement 1,9 t/ha et 1,25 t/ha. Quant aux traitements T0 et T2, ils ont présenté les rendements les plus faibles (Tableau 2).

Le test de Tukey a révélé que les rendements au niveau des traitements T0 et T2 sont les deux rendements qui ne sont pas significativement différents. Cela revient à dire que l'effet du traitement T2 sur le rendement n'est pas différent de celui du traitement témoin (T0).

Du point de vue de la réduction en perte de rendement, les meilleures réductions sont obtenues sur les parcelles traitées avec la combinaison des

**Tableau 2.** Effet des traitements sur la réduction de perte de rendement

Traitements	Rendement (kg*ha <sup>-1</sup> )	Réduction de perte de rendement	
		(kg*ha <sup>-1</sup> )	(%)
T0	650c	-	-
T1	1250b	600	48
T2	780c	130	16,66
T3	1900a	1250	65,79

demi-doses d'huile de neem (1l/ha) et d'huile de jatropha (1l/ha), le traitement T3 avec 65,79% de réduction. Cette réduction a été de 48% au niveau des parcelles traitées avec l'huile de neem à la dose de 2l/ha (T1) alors que les parcelles traitées avec l'huile de jatropha à la dose de 2l/ha (T2) n'ont présenté que seulement 16,66% de réduction de perte de rendement.

## Discussion

Les résultats ont montré que déjà au septième jour après la levée du maïs, la chenille légionnaire d'automne (CLA) était activement présente dans le champ sous tous ses stades de développement. Sa présence était aussi accompagnée de celle de ses prédateurs qui naturellement constituent la première barrière à leur évolution dans le champ. Les traitements biopesticides à base des huiles de neem, de jatropha et de leur combinaison ont permis de réduire considérablement le niveau d'oviposition, le nombre de larves de tous les stades et donc la sévérité de l'attaque de la CLA. Trois jours après chaque application des traitements on note significativement une diminution du nombre d'amas d'œufs et de larves au niveau des parcelles traitées. Cette diminution est beaucoup plus observée au niveau des parcelles traitées avec la combinaison des huiles de neem et de pourghère, justifiant alors la meilleure efficacité de cette combinaison par rapport à leur application séparée. Utilisés séparément, ces deux biopesticides ont toutefois permis une réduction du nombre d'amas d'œufs et de larves avec une meilleure performance de l'huile de neem. Gnago et al. (2010) ont par ailleurs rapporté que les extraits de neem réduisent la fécondité des femelles de la CLA, ce qui se justifie par la réduction considérable du nombre d'amas d'œufs de cette chenille au niveau des parcelles traitées avec l'huile de neem. Solsoloy et Solsoloy (2000) ont montré que l'huile de jatropha est efficace dans la régulation de la population des lépidoptères comme démontré dans cette étude. Nos résultats corroborent également avec ceux d'Adebowale et Adedire (2006) qui ont rapporté que l'huile de jatropha entraînait la mort totale des œufs et des larves de la bruche *Callosobruchus maculatus*. Au-delà de la propriété larvicide reconnue pour les extraits de neem, ces derniers présentent également des propriétés ovocides. Bien que non traitées, on a noté parfois la diminution du nombre de larves au niveau des parcelles témoins. Cette situation est due à la métamorphose de ces larves pour devenir des adultes. Les travaux d'Adeye et al. (2018) confirment cette assertion.

Du point de vue de la sévérité de l'attaque de la chenille, caractérisée par la destruction des feuilles et du cœur des plants, l'attaque a été plus sévère au niveau des parcelles non traitées et de celles traitées avec l'huile de jatropha. Au niveau des parcelles traitées avec l'huile de neem, l'attaque a été moins sévère mais les plus faibles taux d'attaque

ont été observés au niveau des parcelles traitées avec la combinaison des huiles de neem et de jatropha. Ces résultats se justifient par la faible proportion de la population de larves de la CLA présente au niveau de chacune des parcelles traitées. Vu que les larves constituent le stade de développement vorace de la CLA alors plus elles sont nombreuses au niveau d'une parcelle, plus l'attaque est sévère.

En ce qui concerne la population des prédateurs dans le champ, on note que les fourmis ont été plus présentes alors que les coccinelles ont été les moins observées. De façon générale, la population de ces prédateurs a été plus grande au niveau des parcelles non traitées témoins. Cela est dû à la grande population de larves au niveau de ces parcelles en l'absence de biopesticide. La faible population de ces prédateurs au niveau des parcelles traitées notamment avec l'huile de neem seule et la combinaison des huiles de neem et de jatropha se justifie par la faible présence de leur proie au niveau de ces parcelles. Néanmoins leur présence au niveau de ces parcelles, donne un grand espoir de l'utilisation de ces formules de biopesticides dans les programmes de lutte intégrée contre la CLA.

Concernant le rendement, celui obtenu au niveau des parcelles traitées avec la combinaison des huiles de neem et de jatropha est le plus élevé et significativement différents de ceux obtenus au niveau des autres parcelles. Le rendement obtenu au niveau des parcelles traitées avec l'huile de neem suit celui de la formulation combinée. Le rendement moyen obtenu au niveau des parcelles traitées avec cette huile est nettement supérieur à celui obtenu par Adeye et al. (2018) et cela pourrait se justifier par le précédent cultural, des parcelles de cette étude, qui est le mucuna, une légumineuse reconnue pour sa forte capacité à fertiliser le sol. A cela pourraient s'ajouter les conditions climatiques lors de notre essai, différentes de celles de Adeye et al. (2018). Bien que supérieur à celui des parcelles témoins, le rendement obtenu au niveau des parcelles traitées uniquement avec l'huile de jatropha n'est pas significativement différent de ce dernier. La variation des rendements au niveau des parcelles est liée à l'efficacité du produit utilisé, à réduire la population de la chenille légionnaire d'automne.

## Conclusion

La production de maïs au Bénin est confrontée aux problèmes des ravageurs dont principalement la CLA. Plusieurs méthodes de luttés sont en cours de développement mais celles basées sur la lutte botanique et biologique sont à prioriser. L'huile de neem et celle de jatropha sont deux insecticides biologiques qui ont montré leur efficacité contre la CLA mais leur combinaison s'avère plus efficace que leur emploi séparé. Cette formule pourrait être conseillée aux producteurs. Cependant, une reprise de la présente étude sur une plus grande superficie et durant la grande saison des pluies permettrait d'apprécier l'efficacité de ces produits prometteurs durant les deux saisons de production.

## Remerciements

Les auteurs expriment leur reconnaissance à l'Université Nationale d'Agriculture (UNA-Bénin) qui a financé ce travail de recherche à travers les fonds compétitifs pour la valorisation des innovations issues des travaux de fin de formation à l'École de Gestion et de Production Végétale et Semencière (EGPVS).

## Références bibliographiques

Adebowale KO, Adedire CO. 2006. Chemical composition and insecticidal properties of the underutilized *Jatropha curcas* seed oil. *African Journal of Biotechnology* 5(10): 901-906.

Adeye AT, Sikirou R, Boukari SA, Aboudou M, Amagnide GAYG, Idrissou BS, Idrissou-Touré M, Zocli B. 2018. Protection de la culture de maïs contre *Spodoptera frugiperda* avec les insecticides Plantneem, Lambda 25 EC et Viper 46 EC et réduction de pertes de rendement au Bénin. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé* 20(2) : 1-13.

Belmain SR, Haggart J, Holt J, and Stevenson PC. 2013. Managing legume pests in sub-Saharan Africa: Challenges and prospects for improving food security and nutrition through agro-ecological intensification. Chatham Maritime (United Kingdom): Natural Resources Institute, University of Greenwich. 34p.

CAPE. 2009. Position Statement on Synthetic Pesticides. <http://rainforests.mongabay.com.html>

Davis FM, Williams WP. 1992. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station, Technical Bulletin 186, Mississippi State University, MS39762, USA.

Gnago JA, Danho M, Atcham AT, Fofana IK, Kohou AG. 2010. Efficacité des extraits de neem (*Azadirachta indica*)

et de papayer (*Carica papaya*) dans la lutte contre les insectes ravageurs du gombo (*Abelmoschus esculentus*) et du chou (*Brassica oleracea*) en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4 (4) : 953-966.

Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M. 2016. First Report of Outbreaks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a New Alien Invasive Pest in West and Central Africa. *PLoS One* 11(10) : e0165632.

Hruska A, Gould F. 1997. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): Impact of Larval Population Level and Temporal Occurrence on Maize Yield in Nicaragua. *Journal of Economic Entomology* 90(2): 611-622.

Monedji AD, Nyamador WS, Amevoin K, Ketoh GK, Glitho IA. 2014. Efficacité d'extraits de feuilles de neem *Azadirachta indica* (Sapindale) sur *Plutella xylostella* (Lepidoptera : Plutellidae), *Hellula undalis* (Lepidoptera : Pyralidae) et *Lipaphis erysimi* (Hemiptera : Aphididae) du chou *Brassica oleracea* (Brassicaceae) dans une approche « Champ Ecole Paysan » au sud du Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8(5): 2286-2295.

Mugisha-Kamatanesi M, Deng AL, Ogendo JO, Omolo EO, Mihale MJ, Otim M, Buyungo JP, Bett PK. 2008. Indigenous knowledge of field insect pests and their management around lake Victoria basin in Uganda. *African Journal of Environmental Science and Technology* 2 (8): 342-348.

Ogendo JO, Deng AL, Omolo EO, Matasyoh JC, Tuey RK, Khan ZR. 2013. Management of stem borers using selected botanical pesticides in a maize-bean cropping system. *Egerton Journal of Science & Technology* 13: 21-38.

Prasanna BM, Joseph EH, Regina E, Virginia MP. 2018. Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management. First Edition. Mexico, CDMX, CIMMYT.

Ratnadass A. 1997. Perspectives de gestion bio-intensive des foreurs des tiges de sorgho en Afrique de l'Ouest. *Insect Science* 17(2): 227-233.

Solsoloy AD, Solsoloy TS. 2000. Insecticide resistance management in cotton in the Philippines. *Philippine Journal of Crop Science* 25: 26.

Stevenson PC, Isman MB, Belmain SR. 2017. Pesticidal plants in Africa: a global vision of new biological control products from local uses. *Industrial Crops and Products*. Published Online: doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.034.

Williamson, S, Ball A, Pretty J. 2008. Trends in pesticide use and drivers for safer pest management in four African countries. *Crop Protection* 27(10): 1327-1334.

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<sup>1,2</sup>, Appolinaire Adandonon<sup>1</sup>, Léfi Nodichao<sup>2</sup>

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

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

<sup>2</sup>Centre 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](mailto: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-Gasselino et al., 2010). En effet, la production du palmier à huile est soumise à des maladies fongiques (Diabaté, 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

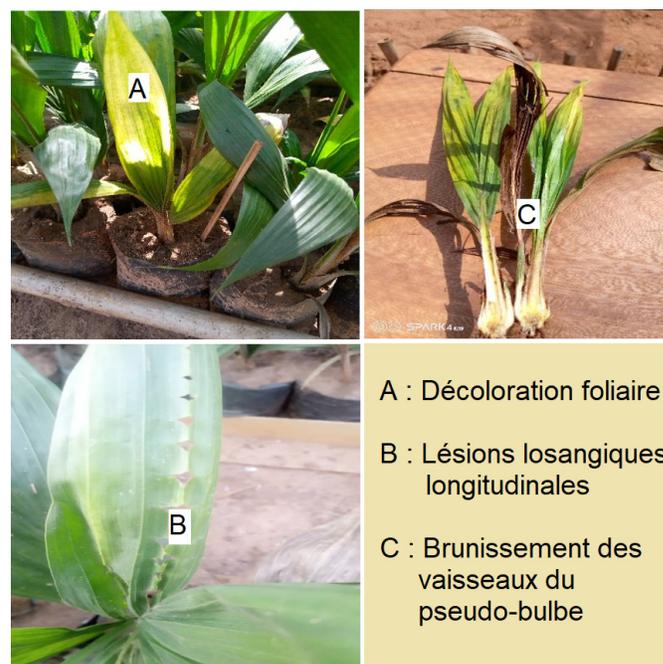
### Détermination de l'occurrence du polymorphisme de sensibilité à la fusariose chez le palmier à huile au champ au Bénin

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 IB<sub>7</sub> 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 géotypes (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

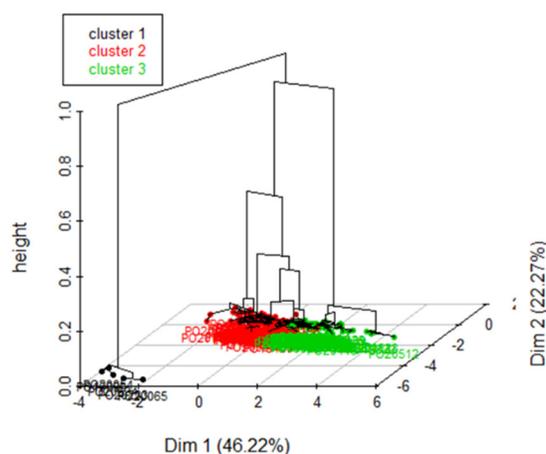
### Détermination des croisements les plus représentatifs de chaque classe

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  $\leq -2$ ,  $p < 0,05$ ) (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  $\geq 2$  ; V. test  $\leq -2$  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  $\geq 2$  ; V. test  $\leq -2$  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 géotypes 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)
<b>Classe 1</b>	PO20634	Faible nombre de feuilles décolorées par plants et une faible proportion de xylème brun	62,22	I ≤ 100	Tolérant
	PO19896		69,56	I ≤ 100	Tolérant
	PO20233		82,44	I ≤ 100	Tolérant
	PO20054		61,39	I ≤ 100	Tolérant
	PO20065		92,44	I ≤ 100	Tolérant
<b>Classe 2</b>	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 ≤ 100	Tolérant
	PO20188		79,86	I ≤ 100	Tolérant
	PO19592		73,42	I ≤ 100	Tolérant
	PO20043		92,37	I ≤ 100	Tolérant
	PO20379		96,61	I ≤ 100	Tolérant
<b>Classe 3</b>	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			
<b>r</b>	-0.3	0.19	0.22
<b>p</b>	< 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-varietal 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-Gasselin T. 2005. Oil palm genetics and sustainable development. *Oleagineux*, 12 : 141-147.

Cochard 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-Gasselin T, Blangy L, Picasso C, de Franqueville H, Breton F, Amblard P, Cochard 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.

## Déterminants du choix de consommation de la viande porcine au Bénin

Abdou Wassiou Tassou<sup>1</sup>, Sabbas Attindéhou<sup>1,2</sup>, Pierre Codjo Mèliho<sup>1</sup>, Kora Brice Lafia<sup>3</sup>, Sahidou Salifou<sup>2</sup>

Reçu : 07/09/2021

Accepté: 13/10/2021

Publié en ligne: 03/11/2021

### Résumé

La viande du porc est la plus consommée au monde et sa demande en constante augmentation est liée aux changements des habitudes de consommation en raison de l'amélioration des revenus des consommateurs. La présente étude vise à analyser les déterminants socioéconomiques du choix de consommation de la viande de porc au Bénin. Ainsi, une enquête a été menée auprès de 666 consommateurs de viande de porc au Bénin, puis un *modèle Logit multinomial* ordonné a été estimé. Nos résultats placent le porc au quatrième rang de niveau d'acceptation des viandes (66 % des enquêtés) à la suite des viandes de volailles (97%), de petits ruminants (94%) et de bœufs (74%). En termes de perception, les consommateurs sont nombreux à penser que la viande du porc est très nutritive, tendre et facile à cuire. Le porc de race locale est largement apprécié (95%) que celui de race améliorée. Le goût authentique s'est révélé comme un déterminant significatif ( $p < 0,001$ ) dans le choix du consommateur. Les croyances religieuses et le genre du consommateur influencent très significativement ( $p < 0,001$ ) le choix des consommateurs béninois. Bien que le pouvoir d'achat des consommateurs n'ait pas exercé une influence significative, il détermine, tout de même, la fréquence de consommation et les quantités consommées. Quel que soit leur revenu, les consommateurs ont quasiment la même attirance vis-à-vis de la viande de porc. Nos résultats laissent ainsi entrevoir qu'il faudra agir afin de promouvoir la production de la race locale.

**Mots clés** : Déterminants, choix, viande porcine, comportement des consommateurs, Bénin

### Affiliation des auteurs

<sup>1</sup>Unité de Recherche en Santé Animale et Biosécurité (URSAB),  
Laboratoire des Sciences Animales et Halieutiques (LASAH),  
Université Nationale d'Agriculture (UNA), Bénin.

<sup>2</sup>Laboratoire National de Parasitologie Vétérinaire (LNPV),  
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université  
d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin.

<sup>3</sup>Université de Parakou (UP), Bénin.

### Pour citer l'article

Tassou AW, Attindéhou S, Mèliho PC, Lafia KB, Salifou S. 2021. Déterminants du choix de consommation de la viande porcine au Bénin. Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture. 2021, 1(1): 19-28.

## Determinants on pork meat choice consumption in Benin

### Abstract

Pork meat is the most consumed in the world and its constantly increasing demand is linked to changes in consumption habits due to the increase of consumers' incomes. The present study aims to analyze the socioeconomic determinants of the choice of consumption of pork meat in Benin. A survey was conducted among 666 consumers of pork meat in Benin, then an ordered multinomial Logit model was estimated. The results place pork in the fourth rank of meat acceptance level (66% of respondents) after meats from poultry (97%), small ruminants (94%) and beef (74%). In terms of perception, many consumers think that pork meat is very nutritious, tender and easy to cook. The local breed pig is widely appreciated (95%) than the improved breed. Authentic taste has been shown to be a powerful determinant ( $p < 0.001$ ) in consumer choice. The religious beliefs and the sex of the consumer influence very significantly ( $p < 0.001$ ) the behavior of Beninese consumers. Although the purchasing power of consumers has not exerted a significant influence, it determines the frequency of consumption and the quantities consumed. Regardless of their income, consumers have almost the same attraction to pork. This study suggests that we will have to act in order to promote the production of the local breed.

**Keywords:** Determinants, choice, pork meat, consumer behavior, Benin

### INTRODUCTION

Les produits animaux (viandes, poissons et laits) sont connus et prisés pour leur richesse en protéines de grande valeur nutritive. Ces protéines animales sont, en effet, la principale source d'acides aminés indispensables pour les fonctions vitales de l'organisme (Van Vliet et al., 2015). Ainsi, les produits animaux, notamment les viandes, sont les denrées protéiques les plus demandées. Le niveau de consommation protéique varie d'un continent à l'autre. Les pays occidentaux affichent une consommation très élevée par rapport à l'Afrique (35 contre 15 kg/hab/an) (Chalmin et Jégourel, 2019). Cependant, les demandes qui augmentent avec la démographie mondiale se font plus fortes et plus pressantes en Afrique qu'ailleurs (FAO, 2012 ; Alexandratos et Bruinsma, 2012). Pica-Ciamarra et al. (2013) estiment que l'augmentation de la demande des produits d'élevage sera plus élevée en Afrique où le marché de viande devra accroître de 145% d'ici 2050 (par rapport au niveau 2005/2007). Dans les perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO (2021), les pays en développement assureraient la plus grande partie de la progression totale de production. Latino et al. (2020) précisent que ce sera à l'Afrique de maintenir le cap de la révolution de l'élevage. Cela devra passer par une augmentation de la production porcine de 13% (OCDE/FAO, 2021). Au niveau

mondial, la viande porcine est la plus consommée représentant 37% avec une demande sans cesse croissante (McGlone, 2013). La filière porcine est donc clairement visée pour susciter des intérêts aux plans scientifique et économique notamment dans les pays en développement.

Au Bénin, pays ouest-africain situé dans le golfe de Guinée ([6° 29' N, 2° 36' E](#)), la production de viande a été estimée à 70.327 tonnes en 2016 (Dognon et al., 2018). Le pays aurait importé pour la même année quasiment le double de sa production intérieure, soit 113 494 tonnes de viandes. Concernant le porc, la production nationale en 2016 est estimée à 6 228 tonnes (INSAE, 2019). La littérature scientifique ne fournit pas beaucoup d'informations sur l'importance relative des différentes viandes et le comportement des consommateurs au Bénin. Cependant, selon plusieurs auteurs, les facteurs décisifs dans l'acceptation et l'achat des viandes par le consommateur sont essentiellement sensoriels et liés à la perception de la couleur, de la maigreur, de la tendreté, de la jutosité et de la saveur (Garmyn, 2020). Le prix de la viande aurait lui aussi une grande influence (Garmyn, 2020). Certes, la valeur des principaux déterminants reste très variable et tributaire des influences psychologiques dont notamment les croyances (Claret et al., 2014). C'est le cas du porc qui fait l'objet de plusieurs restrictions

tant pour sa consommation que pour sa production. Il est connu que les personnes de confession musulmane ont en grande majorité une propension à ne pas consommer la viande porc. Sans que cela ne soit transcrit nulle part, il est rapporté dans l'opinion animiste que la consommation de la viande du porc est incompatible avec les contrats et cultes spirituels. Il est donc évident que dans une société béninoise très croyante, cette viande n'aurait pas bonne presse. Cet environnement spirituel et culturel exerce-t-il véritablement une influence sur la consommation de la viande porcine ? La présente étude, qui a pour objectif de mettre en exergue les déterminants socioéconomiques de la consommation de viande porcine au Bénin, a, dans un premier temps, caractérisé les consommateurs du point de vue sociodémographique et économique et dans un second temps identifié leurs préférences et les critères de choix de consommation de la viande porcine.

## MATERIEL ET METHODES

### Échantillonnage et collecte de données

L'unité d'observation a été le consommateur de viande de porc et autres viandes. Le recrutement des consommateurs s'est effectué dans une commune par département. L'enquête s'est déroulée de mars 2020 à janvier 2021 et a eu lieu dans 10 départements sur les 12 que compte le Bénin. Dans les départements du Mono et du Couffo, une réticence généralisée au sein de la population a plombé le processus d'enquête. Ce comportement serait fondé sur une phobie des résolutions parfois coercitives qui résultent des enquêtes. Au bilan des consentements, il est observé que pour la plupart des communes, un maximum de 70 consommateurs s'est engagé à concrétiser l'interview. Seule la commune de Bassila dans le département de la Donga a connu des désistements en cours d'enquête et affiche 36 participants (Tableau 1). En somme, 666 personnes ont participé à l'enquête. Ces personnes ont été activement engagées dans une interview semi-structurée visant à recueillir une gamme de données. Il s'est agi des données d'identification personnelle (identité, activité, catégorie sociale, économique ou religieuse...) et des données sur la

consommation, les attentes, les attributs et perceptions relatives à la viande du porc.

**Tableau 1:** Répartition géographique des participants à l'enquête

Départements	Communes	Taille de l'échantillon
Alibori	Banikoara	70
Atacora	Natitingou	70
Atlantique	Abomey-Calavi	70
Borgou	Parakou	70
Collines	Savè	70
Donga	Bassila	36
Ouémé	Adjara	70
Plateau	Sakété	70
Littoral	Cotonou	70
Zou	Bohicon	70
<b>Total</b>		<b>666</b>

### Modélisation économétrique

Tenant compte des spécificités de cette recherche et des travaux empiriques antérieurs (Cimmyt, 1993 ; Sale et al., 2014 ; Yabi et al., 2016), le modèle « Logit multinomial ordonné (LMO) » a été choisi étant donné qu'il facilite la manipulation des résultats (Deb et Trivedi, 2006). Selon ces auteurs, l'avantage d'utiliser un modèle LMO est sa simplicité de calcul des probabilités de choix. Le modèle logit multinomial conceptualise le classement des utilités en termes de probabilité pour l'individu de réaliser le choix. Ainsi, l'individu pour pouvoir faire son choix, devrait classer les fonctions d'utilités et choisir celle la plus élevée.

Dans cette étude, la variable dépendante du modèle Logit est multiple et suit un ordre. Soit « Ci » une variable aléatoire représentant les niveaux de choix consommation de la viande de porc par tout consommateur. Nous supposons que chaque consommateur est confronté à un ensemble de choix discrets et mutuellement exclusifs des caractéristiques de la viande du porc. Ces mesures sont supposées dépendre d'un certain nombre de facteurs « X ». Le modèle LMO pour le choix de consommation spécifie la relation entre la probabilité de choisir l'option Ci et l'ensemble des variables explicatives « X ». En d'autres termes, la modélisation d'un choix « j » pour un individu « i » prendra la forme suivante :

$$Prob(C_i = j) = \frac{e^{\beta_j X_i}}{\sum_{k=0}^j e^{\beta_k X_i}} \quad [1]$$

où «  $\beta_j$  » est un vecteur de coefficients sur chacune des variables indépendantes «  $X$  » ; «  $i$  » représente les individus ( $i=1,2,\dots, N$ ) ; «  $k$  » représente les choix ( $k=0, 1,2,\dots, j$ ).

En normalisant,  $\beta_0=0$  pour éliminer l'indétermination dans l'équation (1), les probabilités peuvent être estimées comme suit :

$$Prob(C_i = j/X_i) = \frac{e^{\beta_j X_i}}{1 + \sum_{k=1}^j e^{\beta_k X_i}} \quad [2]$$

Rapporté au logarithme, l'équation (2) aboutit à une fonction linéaire simple qui donne les «  $j$  » ratios log-odds par l'expression :

$$\ln\left(\frac{P_{ij}}{P_{ik}}\right) = X_i(\beta_j - \beta_k) = X_i\beta_j, \text{ si } k = 0 \quad [3]$$

En considérant un certain nombre de facteurs explicatifs (Tableau 2) pouvant influencer le choix de consommation de la viande porcine (caractéristiques socio-économiques et démographique des consommateurs ( $X$ ), facteurs socio-culturels et historiques ( $T$ ), et attributs de la viande de porc ( $A$ ), le modèle empirique testé se présente comme suit :

$$C_i = \alpha_0 + \sum_j \beta_j X_j + \sum_j \gamma_j T_j + \sum_j \mu_j A_j + e_i \quad [4]$$

Où «  $\alpha_0$  » est le terme constant ; «  $\beta_j$  », «  $\gamma_j$  », «  $\mu_j$  », les coefficients à estimer, et «  $e_i$  » les termes d'erreur.

Les paramètres du modèle ont été estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. La variable expliquée, c'est-à-dire, les niveaux de choix de consommation de la viande de porc a été ordonnée suivant 4 niveaux :

- Ne consomme pas ( $j=0$ )
- Consomme rarement, voire occasionnellement ( $j=1$ ) une à cinq fois par an ;
- Consomme moins fréquemment ( $j=2$ ) au moins une fois par mois ;
- Consomme très fréquemment ( $j=3$ ) plusieurs fois dans le mois.

Les données ont été ensuite codifiées et insérées dans le logiciel SPSS version 21. Les estimations économétriques ont été effectuées à l'aide du logiciel STATA 13 (StataCorp. 2013. Stata Statistical Software : Release 13. College Station, TX : StataCorp LP).

## RESULTATS

### Caractéristiques socio-économiques et démographiques des consommateurs enquêtés

Les consommateurs étudiés sont de classe d'âge, de statut matrimonial, de niveau d'instruction, de religions et de niveau de revenus très variés (Tableau 2).

**Tableau 2** : Caractéristiques socio-économiques et démographiques des consommateurs enquêtés

Caractéristiques sociodémographiques et économiques		
Variables	Modalités	Fréquence (%)
Age des consommateurs	[18-38]	61,56
	] 39-58]	34,23
	] 59-78]	4,20
Situation matrimoniale	Marié (e)	84,8
	Célibataire	13,1
	Divorcé (e)	0,6
Religion	Veuf (ve)	1,5
	Chrétienne	76,1
	Musulmane	18,3
	Animisme	4,7
Niveau d'instruction	Autres	0,9
	Aucun	25,1
	Primaire	18,3
	Secondaire cycle 1	21,9
Revenu mensuel des consommateurs	Secondaire cycle 2	15,2
	Universitaire	19,5
	R < 100.000	89,0
	100.000 ≤ R < 250.000	9,3
	250.000 ≤ R < 500.000	1,2
	500.000 ≤ R < 1.000.000	0,5

L'âge moyen des consommateurs enquêtés varie entre 18 et 78 ans, dont 62 % ont un âge compris entre 18 et 38 ans.

Environ 66% des consommateurs interrogés dans cette étude sont des hommes contre 34 % qui sont des femmes.

La plus part des enquêtés (environ 85 %) sont des personnes mariées. Ils sont majoritairement de religion chrétienne.

En termes de niveau d'instruction, la majorité (presque 75%) des consommateurs enquêtés a été scolarisée.

Le revenu est une variable éminente dans le déterminisme de la consommation des viandes puisqu'elle traduit le pouvoir d'achat des consommateurs. Les consommateurs enquêtés sont bien répartis entre les différentes classes de revenus. La classe la plus importante (89%) est celle qui a un revenu compris entre 15.000 et 100.000 francs (F.CFA). La classe avec un revenu supérieur à 500.000 F.CFA représente 1% des enquêtés.

### Prix et importance de la consommation de la viande de porc au Bénin

Les résultats de cette étude placent le porc au quatrième rang de niveau de consommation des viandes. Ainsi, la viande la plus consommée est la volaille (97%), suivi de la viande des petits ruminants (94%), ensuite de la viande du bœuf (74%) et du porc (66%) et en fin d'autres les autres types viandes (57%). Le prix d'un kilogramme de porc frais varie d'une commune à l'autre (Tableau 3). C'est dans la commune de Natitingou, département de l'Atacora que le kg du porc coûte le moins cher (1.600 FCFA) alors que le prix le plus élevé (3.000 FCFA) est enregistré dans la région méridionale (Abomey-Calavi, Cotonou et Porto-Novo).

**Tableau 3 :** Prix moyen (PM) en francs C.F.A. du kilogramme des principales viandes à l'état frais et taux de consommateurs (TC) par commune

Communes	Porc		Volaille		Chèvre et mouton		Bœuf	
	PM	TC (%)	PM	TC (%)	PM	TC (%)	PM	TC (%)
Natitingou	1600	81,4	1500	100	2166	100	1600	100
Banikoara	1666	70,0	1500	98,6	2000	88,6	1866	90
Parakou	1833	74,3	1300	100	2333	91,4	1833	67,1
Bassila	2000	62,9	1500	81,4	2500	97,1	1800	95,7
Savè	2000	80,0	1500	100	3000	87,1	2500	82,9
Bohicon	2500	67,1	1500	100	3000	97,1	2500	100
Sakété	2500	44,3	1400	100	2500	95,7	2500	61,4
Abomey-Calavi	3000	62,9	1400	100	3000	100	3000	51,4
Cotonou	3000	57,1	1400	94,3	3000	97,1	3000	60
Adjarra	3000	60,0	1400	95,7	3000	85,7	3000	41,4
<b>Moyenne nationale</b>	<b>2300</b>	<b>66,2</b>	<b>1440</b>	<b>96,8</b>	<b>2650</b>	<b>93,8</b>	<b>2360</b>	<b>73,7</b>

Ce niveau de prix est considéré comme « abordable » par 58% des enquêtés, faisant du porc la deuxième viande la moins chère après la volaille (1.440 FCFA/kg), laquelle est consommée par 66% des enquêtés au Bénin.

Les taux de consommation les plus élevés (81%) et moins élevés (44%) ont été respectivement enregistrés dans la commune de Natitingou, département de l'Atacora et celle de Sakété, département du Plateau.

### Préférences des consommateurs

La grande majorité (95%) des consommateurs béninois préfère le porc de race locale, et ce, sans grande exigence sur l'état d'engraissement ou sur les catégories de viandes. Seuls 11% d'entre eux sont regardant sur la teneur en matière grasse, préférant la viande bien maigre. S'agissant des catégories de porcs consommées, 24% des consommateurs préfèrent la viande issue des mâles castrés, 8% portent leur choix sur la viande des

mâles entiers et 5% sur la viande issue des femelles non gestantes tandis que 64% sont indifférents.

Les plats de porcs (Figure 1) dont raffolent les consommateurs sont les brochettes de porc (72%), la viande frite et mise au four (54%), les brochettes et soupes (36%), les brochettes (12%), les soupes (8%), la viande de porc en sauce (1%).



**Figure 1** : Préférences sur les formes de consommation de la viande de porc au Bénin

### Facteurs influençant le choix de consommation de la viande de porc au Bénin

L'analyse des déterminants du choix de consommation de la viande de porc a permis de relever que certaines variables liées aux caractéristiques socio-économiques et démographiques des consommateurs, aux attributs et perceptions sur la viande de porc, affectent de façon significative la probabilité de consommation de la viande de porc au Bénin. (Tableau 4). Ces facteurs agissent soit positivement (la religion, le sexe masculin des consommateurs, la race locale, les perceptions du goût, la perception par le consommateur d'une viande à cuisson rapide, la perception d'une viande riche et de très bonne qualité, la perception viande sèche avec absence de lipide) soit négativement (la pratique d'une activité non liée au porc, la perceptions par le consommateur d'une viande proscrite et la prolifération bactérienne dans l'organisme du porc, la perception de l'impact négatif de la consommation

de la viande porcine sur la santé humaine et la perception d'une mauvaise pratique de élevage porcine) sur les niveaux du choix de consommation de la viande de porc.

En effet, les hommes consomment plus fréquemment la viande de porc que les femmes ( $p < 0,005$ ). Le goût authentique de cette viande et la perception d'un aliment nutritif avec absence de graisse exercent un effet décisif sur le choix du porc. La religion s'est avérée être un facteur d'influence significatif sur le choix de consommation de la viande porcine.

Si le modèle n'a pas pu mettre en exergue le comportement des musulmans et animistes vis-à-vis de la viande du porc, il a tout de même montré, sans ambiguïté, que les chrétiens en sont amateurs. Les taux de consommation de la viande du porc sont respectivement de 82% et 39% pour les chrétiens, et les animistes.

Par ailleurs, la pratique d'une activité non liée au porc, la proscription de la viande de porc influencent négativement sa consommation plus fréquente au seuil de 1%. Le consommateur qui n'a pas d'activité liée au porc et pour qui la viande de porc est proscrite a tendance à renoncer à une consommation plus fréquente. De même la perception par le consommateur de l'impact négatif de la viande de porc sur la santé humaine, de la prolifération bactérienne dans l'organisme du porc, le statut matrimonial marié et célibataire ont une influence négative et significative au seuil de 5% sur la consommation plus fréquente de la viande de porc. Le niveau de revenu des populations n'aurait aucune influence sur la consommation de la viande du porc. Les taux de consommation sont de 63% et 66% respectivement chez les personnes aux revenus faibles et élevés.

Tableau 4 : Facteurs influençant le choix de consommation de la viande de porc au Bénin

Paramètres	Consommation rare		Consommation occasionnelle		Consommation moins fréquente		Consommation plus fréquente	
	Coef	P> z	Coef	P> z	Coef	P> z	Coef	P> z
<b>Caractéristiques socio-économiques et démographiques du consommateur (X)</b>								
Sexe masculin	0,346	0,530	0,663	0,275	0,792	0,175	2,125***	0,002
Statut du consommateur marié	-2,623	0,221	-3,468	0,107	-4,258**	0,038	-4,690**	0,045
Statut du consommateur célibataire	-3,139	0,163	-4,199*	0,061	-5,041**	0,020	-5,833**	0,017
Statut du consommateur divorcé	-9,448	0,990	3,427	0,940	3,099	0,950	1,702	0,972
Pratique d'une activité non liée au porc	-2,187	0,155	-4,162***	0,007	-3,682**	0,015	-4,815***	0,002
Religion animiste	6,225***	0,003	2,984	0,172	15,605	0,981	1,322	0,533
Religion musulmane	3,804*	0,067	1,714	0,384	15,636	0,976	-0,926	0,677
Religion chrétienne	6,763***	0,000	4,796***	0,007	19,078	0,976	3,635**	0,038
<b>Facteurs socioculturels et historiques (T)</b>								
Perception d'élevage porcin mauvaise	-0,521**	0,019	-0,210	0,393	-0,781***	0,001	-0,700***	0,007
Perception de la sécurité alimentaire	-0,300	0,302	-0,127	0,676	-0,051	0,863	0,149	0,644
Perception impact négatif sur la santé humaine	-0,628***	0,003	-0,732***	0,002	-0,633***	0,005	-0,466**	0,024
Perception odeur et pollution de l'eau	0,355	0,233	0,394	0,186	0,478*	0,098	-0,001	0,995
Perception mauvais état sanitaire	-0,137	0,508	-0,211	0,364	-0,261	0,238	-0,287	0,235
Perception facile d'approvisionnement	-0,573*	0,076	-0,890***	0,010	0,784***	0,021	-0,592	0,109
Perception non-respect du bien-être des porcs	-0,116	0,636	0,099	0,712	0,140	0,591	0,316	0,272
Perception consommation/cuisson rapide	0,602***	0,004	0,504**	0,042	0,552**	0,015	1,071***	0,000
<b>Attributs de la viande de porc (A)</b>								
Race locale	1,502***	0,000	0,242	0,785	0,841**	0,006	2,876***	0,000
Goût authentique de la viande	1,336***	0,000	1,443***	0,000	1,531***	0,000	1,993***	0,000
Perception viande riche	0,899***	0,005	0,776**	0,027	0,771**	0,021	1,026***	0,007
Perception d'une viande de très bonne qualité	0,757***	0,002	0,716**	0,013	0,757***	0,004	-0,695**	0,028
Perception prix moins cher	0,235	0,374	-0,218	0,433	-0,118	0,663	-0,364	0,205
Perception prolifération bactérienne	-0,102	0,655	-0,253	0,324	-0,513**	0,036	-0,629**	0,020
Perception viande sèche avec absence de lipide	0,426	0,106	0,721***	0,009	0,237	0,380	0,832***	0,004
Perception viande proscrite	-0,010***	0,000	-1,402***	0,000	-1,257***	0,000	-1,546***	0,000
Perception viande sans lisier	-0,510	0,609	0,053	0,815	-0,171	0,415	-0,119	0,598
Perception viande sans additif artificiel	0,008	0,967	-0,181	0,434	0,002	0,991	-0,275	0,235
Constant	-5,294	0,106	1,367	0,677	-11,881	0,985	-0,466	0,896
N =666		Wald chi2(25) = 1031,40			Prob > chi2 = 0,0000			
		Log likelihood = -502,05632			Pseudo R <sup>2</sup> = 0,5067			

## DISCUSSION

L'étude a révélé que le porc est consommé dans toutes les régions du pays, plus par les hommes que les femmes, avec un taux de consommation global de 66%. Ce taux positionne le porc au quatrième rang dans la structure de consommation à la suite des viandes de volailles (plus fort taux de consommation), de bœufs et des petits ruminants. Cette structure de consommation s'accorde quelque peu avec celle décrite par Martin et al. (2016) d'après qui les pays forestiers tels que le Bénin, le Cameroun et la Côte d'Ivoire seraient plus consommateurs de volaille et bœufs que de toutes autres viandes.

Pour ce qui concerne l'acceptabilité de la viande du porc, nonobstant cette quatrième place, elle reste très populaire vu le taux global de 66 % et une acceptabilité supérieure à la moyenne dans toutes les régions du pays. L'acceptabilité de la viande du porc dans la capitale économique, Cotonou paraît très faible (57%) alors qu'on pouvait s'attendre à une tendance élevée sous des effets positifs du caractère multiculturel, de la modernité et du pouvoir économique des ménages cotois. Ce taux comparé au 99% rapporté par une étude réalisée à Abidjan, capitale économique de la Côte d'Ivoire (Kouame et al, 2019), pousse à conclure que les béninois ne sont pas grand-consommateurs de porc, ou que les principaux déterminants du choix de consommation sont plus hétérogènes que simplement factoriels. Ces études présentent, cependant, des résultats concordants en ce qui concerne l'approche genre. Elles soulignent toutes deux que les hommes sont majoritairement plus amateurs de la viande de porc que les femmes. Ceci peut être dû à la forte mobilité des hommes en milieux urbains et à leur propension à fréquenter les charcuteries et les bars qui sont des lieux par excellence de disponibilité de porc. Le plus faible taux de consommation du porc (44%) a été enregistré dans la commune de Sakété pourtant dans un département réputé pour l'importance de sa filière porcine (Dahouda et al., 2019). Ce faible taux pourrait trouver son explication dans la très forte influence de l'islam et des cultes vodous (Egungun et Oro) dans cette localité. En effet, au nombre des

facteurs de variation de l'acceptabilité du porc figure en bonne place les religions. Cette étude a révélé que la mise en garde du Coran est largement respectée. Les zones d'influence animiste affichent une acceptabilité faible à moyenne. Au rang des croyances, les populations de confession animiste sont les deuxièmes consommateurs réguliers du porc derrière les chrétiens. Les chrétiens sont à majorité (82%) des consommateurs réguliers du porc. Interrogées à ce sujet les amateurs chrétiens semblent confus sur l'effectivité de l'interdit. La variable religion chrétienne a donc une influence positive et significative sur le choix de consommation de la viande de porc tandis que la religion musulmane a une influence négative et significative. Issa et al. (2012) rapportèrent qu'au Bénin et notamment dans les régions du Sud, les manifestations religieuses et les fêtes chrétiennes affectent de manière significative la consommation de la viande de porc. Pour Font-i-Furnols et Guerrero (2014), en raison des croyances, la viande peut avoir une image négative dans certains secteurs de la population, cette image négative étant associée à la perception des consommateurs sur les pratiques d'abattage, de manipulation des animaux et des effets sur la santé. Ceci amène à analyser les autres facteurs d'influence qui tiennent à la perception et aux attentes des consommateurs. En l'occurrence le prix de la viande est, selon nombre d'auteurs, un facteur de haute influence (Sans, 2001 ; Legendre, 2008). Mais le prix du porc frais sorti de la présente étude (2.300 FCFA/kg) qui concorde avec celui indiqué par Djimènou et al. (2021) semble ne pas être un déterminant de la consommation. La viande de porc coûte relativement moins que le bœuf (2.350 FCFA) et le mouton (2.650 FCFA) mais cela n'a pas suffi à la hisser à un meilleur rang dans la structure de consommation. Une remarque importante est que le prix du porc frais a été relativement plus bas dans les départements de la partie septentrionale du pays. Ceci pourrait se justifier par le fait que dans cette région à majorité rurale et musulmane, la demande en viande porcine est faible. Notons également que les consommateurs sont tout aussi fréquents dans la classe aux revenus faibles à

moyens que dans celles des nantis. L'effet prix s'est tout de même fait clairement remarqué sur le taux de consommation des volailles (100%). En effet, de toutes les viandes, celle de la volaille coûte le moins (quasiment moitié prix des autres viandes) et la plus consommée au Bénin.

Ainsi, l'attractivité de la viande de porc au Bénin résiderait plus dans d'autres facteurs que son prix. Dans la présente étude, les facteurs tels que la race de porc, la présentation de la viande, ses qualités nutritionnelles, son goût, exerceraient des effets significatifs. La majorité des consommateurs béninois préfèrent le porc de race locale sous forme de brochettes ou frite. Logtene et al. (2006) ont rapporté cet effet chez les consommateurs tchadiens. Par ailleurs, contrairement aux résultats de Font-i-Furnols et Guerrero (2014), la présente étude a montré que le goût authentique et l'odeur de la viande sont des facteurs déterminants dans le choix de consommation de la viande du porc. Ainsi, l'étude réalisée par Rainelli (2001) avait montré que le goût est un critère fondamental dans le choix des consommateurs. Verbeke et al. (1999) ont rapporté que la teneur en matières grasses est considérée par plusieurs consommateurs comme un indicateur de qualité nutritionnelle pour une meilleure santé. Mais cette étude a révélé une indifférence des consommateurs béninois quant à la composition de la viande. Seuls 11% des consommateurs exigeraient une viande maigre.

Enfin, en termes de sûreté alimentaire, la peur des facteurs de risque (insalubrité et maladies) liés à la consommation de la viande du porc constitue un facteur limitant. Nonobstant cette conscience du risque assez populaire, rares sont les consommateurs qui ont une connaissance précise des principaux dangers zoonotiques que sont la cysticerose et la trichinose. Seul 16% des consommateurs ont connaissance de ces zoonoses. En majorité, les consommateurs béninois ne sont pas connaisseurs des risques sanitaires liés à la consommation de la viande du porc. Plus d'un consommateur sur cinq ignorent les dangers zoonotiques que représente la cysticerose porcine. Pour autant, ils ne manquent guère de prudence.

## IMPLICATIONS POUR LE DEVELOPPEMENT

Les résultats de cette étude indiquent que trois facteurs exercent un effet significatif sur le choix de consommation de la viande du porc au Bénin : le sexe masculin, la perception du goût, la race de porc et la religion des consommateurs. Les actions de développement de la filière devront donc cibler la résolution des contraintes relatives à ces déterminants. Les acteurs de la filière devront contribuer à l'amélioration de la production des races locales, au développement des formules alimentaires efficaces à moindre coût et approfondir l'investigation sur les contraintes de la filière.

## CONCLUSION

L'étude a analysé les déterminants socioéconomiques du choix de consommation de la viande de porc au Bénin. Les choix des consommateurs sont hétérogènes et dépendent des propriétés sensorielles de la viande et surtout des traditions culturelles des milieux de vie des consommateurs. La viande de porc est acceptée dans toutes les couches sociales selon que les communautés pratiquent une religion chrétienne ou non. Le christianisme semble avoir une influence positive sur le choix de consommation de la viande du porc tandis que l'islam exerce un effet inverse. L'animisme a, quant à lui, une influence mitigée. Outre la religion, les déterminants du choix de consommation de la viande porcine sont principalement les facteurs sociodémographiques, la race de porc et le mode de présentation de la viande. Les consommateurs préfèrent les brochettes de porc local. Ils sont à majorité des hommes et ne sont pas exigeants dans le taux de graisse. Ils éprouvent quelque peu des craintes quant à la salubrité de la viande.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les acteurs de la filière porcine, les agents de développement rural et les vétérinaires qui ont contribué à la conduite de l'enquête.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alexandratos N, Bruinsma J. 2012. World agriculture towards 2030/2050 : the 2012 revision. ESA Working paper N°12-03. Rome, FAO.
- Chalmin P, & Jégourel Y. 2019. L'Afrique et les marchés mondiaux de matières premières. Books & Reports.
- Cimmyt, 1993. The adoption of agricultural technology: A guide for survey design. Mexico, D.F.: CIMMYT. 88 pp
- Claret A, Guerrero L, Ginés R, Grau A, Hernández MD, Aguirre E, Peleteiro JB, Fernández-Pato C, Rodríguez-Rodríguez C. 2014. Consumer beliefs regarding farmed versus wild fish. *Appetite*, 79: 25-31.
- Dahouda M, Gbénou B, Adjolohoun S, Kiki P, Séibou Toléba S, Youssao Abdou Karim I. 2019. Contraintes et difficultés de l'élevage de porcs dans les départements de l'Ouémé et du Plateau au Sud-Est-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*. Numéro Spécial Interdisciplinaire, 61-73.
- Deb P, Trivedi PK. 2006. Maximum simulated likelihood estimation of a negative binomial regression model with multinomial endogenous treatment. *Stata Journal* 6: 246-255.
- Djimènou D, Adoligbé CM, Mensah SEP, Aboh BA, Edénnakpo AK, Atchadé TGS, Koudandé DO. 2021. Transformation et commercialisation de la viande de porcs au Sud du Bénin: Caractéristiques socio-économiques et contraintes. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 48(1): 8618-8636.
- Dognon SR, Salifou CFA, Dougnon J, Dahouda M, Scippo M-L, Youssao AKI. 2018. Production, importation et qualité des viandes consommées au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 124: 12476-12488.
- FAO. 2012. Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation. L'élevage dans le monde en 2011 : Contribution de l'élevage à la sécurité alimentaire. Rome. 102 p.
- Font-i-Furnols M, Guerrero L. 2014. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products. *Meat Science*, 98: 361-371.
- Garmyn A. 2020. Consumer preferences and acceptance of meat products. *Foods*, 9, 708.
- INSAE. 2019. Rapport technique sur l'élaboration du bilan alimentaire 2016 au Bénin selon la nouvelle méthodologie de la FAO. INSAE, Bénin, 64p.
- Issa Y, Mopate LY, Missohou A. 2012. Commercialisation et consommation de la volaille traditionnelle en Afrique subsaharienne. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 14(3): 1985-1995.
- Kouame KA, Bouatenin KMJ-P, Coulibaly WH, Boraud AM, Dje KM. 2019. Assessment of safety risks associated with pork meat sold on the market in Abidjan city (Cote d'Ivoire) using surveys and microbial testing. *Heliyon*, 5: 1-6.
- Latino LR, Pica-Ciamarra U, Wisser D. 2020. Africa: the livestock revolution urbanizes. *Global Food Security*, 26: 1-18.
- Legendre V. 2008. Les déterminants de la consommation de porc en France : effets économiques, attentes et perceptions des consommateurs. *Journées de la recherche porcine en France*, 40 : 69-78.
- Logtene, YM, Koussou MO, Kabore-Zoungrana CY, Gouro A. 2006. Commerce et consommation de viande porcine dans la zone de N'Djaména (Tchad). *Revue sénégalaise des recherches agricoles et agroalimentaires*, 1 (2) : 39-48.
- Martin P, Bricas N, Figuié M. La consommation de viandes. Bricas N, Tchamda C, Mouton F. 2016. L'Afrique à la conquête de son marché alimentaire intérieur. Enseignements de dix ans d'enquêtes auprès des ménages d'Afrique de l'Ouest, au Cameroun et du Tchad, Agence Française de Développement, pp. 87-98.
- McGlone JJ. 2013. The Future of Pork Production in the World: Towards Sustainable, Welfare-Positive Systems. *Animals*, 3(2): 401-415.
- OCDE/FAO. 2021. Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2021-2030. Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/e32fb104-fr>
- Pica-Ciamarra U, Baker D, Morgan N, Ly C, Nouala S. 2013. Investir dans l'élevage en Afrique: perspectives commerciales pour 2030-2050. Banque Mondiale, FAO, ILRI, AU-IBAR, Banque Mondiale, Washington, USA.
- Rainelli P. 2001. L'image de la viande de porc en France : attitudes des consommateurs. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 42: 47-60.
- Sale A, Folefack PD, Obwoyere GO, Lenah Wati N, Lenzemo WV, Wakponou A. 2014. Changements climatiques et déterminants d'adoption de la fumure organique dans la région semi-aride de Kibwezi au Kenya. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(2): 680-694. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i2.24>
- Sans P. 2001. Consommation de protéines : quelle place pour la viande bovine ? In *Quelle viande bovine demain ? Compte-rendu de la commission bovine INRA*, 14 et 15 novembre 2001, Nouan-le-Fuzelier, 4-15.
- Van Vliet S, Burd NA, van Loon LJ. 2015. The skeletal muscle anabolic response to plant-versus animal-based protein consumption. *Journal of Nutrition*, 145: 1981-1991.
- Verbeke W, Van Oeckel MJ, Warnants N, Viaene J, Boucqué CV. 1999. Consumer perception, facts and possibilities to improve acceptability of health and sensory characteristics of pork. *Meat science*, 53(2): 77-99.
- Yabi JA, Bachabi FX, Labiyi IA, Ode CA, Ayena RL. 2016. Déterminants socio-économiques de l'adoption des pratiques culturales de gestion de la fertilité des sols utilisées dans la commune de Ouaké au Nord-Ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(2): 779-792.

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

## How far pesticide contamination from agro-systems can affect adjacent protected forests? Case study in Benin, West Africa

Agossou Bruno Djossa<sup>1,2</sup>, Oscar Tèka<sup>2</sup>, Rono Cheruiyot Edwin<sup>3</sup>

Received : June 5, 2021

Accepted: October 15, 2021

Published on line: November 25, 2021

### Abstract

Due to pest pressure, nowadays, conventional cotton farming necessitates the use of more and more pesticides. This study measured how far agrochemicals used in farming areas can pollute adjacent protected habitats. Experimental beehives were installed in farming areas, in buffer zone and in a forest (protected habitat) to monitor pollutants presence. Hives with bee colony were monthly weighted for 20 consecutive months to monitor beekeeping success year round. In parallel the food/flower resources estimated at each site, the dead bees continuously trapped per site to explain eventual fluctuation in beehive weight progress. Honey and dead bee were sampled for pesticide analysis to check if dead bees contain higher pesticide traces and thereby their numbers trend per site. Results show contamination of honey and bee from all sites. The food/flower resources availability followed the same trend as the beehives' weight progression. We concluded of general contamination of bees and honey from farming areas to protected habitats (forest). However, these findings don't have a clear impact on beekeeping and subsequent pollination services. But, the food resources availability appeared to most affect the beekeeping success.

**Key words :** Apiculture, honeybee, pollination, agrochemicals, Kétou

### Authors' affiliation

<sup>1</sup>Unité de Recherche en Foresterie et Conservation des Bio-ressources (U/RFCBio) / Ecole de Foresterie Tropicale (EForT) Laboratoire des Sciences Végétale, Horticole et Forestière (LaSVHF) / Université Nationale d'Agriculture (UNA), P.O.BOX : 43 Kétou (Republic of Benin).

<sup>2</sup>Laboratoire d'Écologie Appliquée, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526. Recette Principale, Cotonou 01, Bénin.

<sup>3</sup>Centre for Biotechnology and Bioinformatics, University of Nairobi, P.O.BOX 30197, Nairobi (Kenya).

### How to cite this article

Djossa AB, Tèka O, Edwin RC. 2021. How far pesticide contamination from agro-systems can affect adjacent protected forests? Case study in Benin, West Africa. *Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture*. 2021, 1(1): 29-38.

**Correspondant author:** Agossou Bruno Djossa, E-mail: [djossabruno@gmail.com](mailto:djossabruno@gmail.com)

## Quelle est la portée de contamination des pesticides utilisés dans les agrosystèmes vers les forêts protégées adjacentes? Étude de cas au Bénin, Afrique de l'Ouest

### Résumé

En raison de la pression des ravageurs, le système conventionnel de production du coton, de nos jours, nécessite l'utilisation de plus en plus de pesticides. Cette étude a mesuré dans quelle mesure les pesticides utilisés dans les zones agricoles peuvent polluer les habitats protégés adjacents. Des ruches expérimentales ont été installées dans des zones agricoles, en zone tampon et dans une forêt (habitat protégé) pour surveiller la présence de polluants. Les ruches colonisées ont été pesées mensuellement pendant 20 mois consécutifs afin de surveiller le succès de l'apiculture tout au long de l'année. Parallèlement, la disponibilité des ressources en fleurs/nourriture a été estimée sur chaque site, les abeilles mortes piégées en continu par site pour expliquer une éventuelle fluctuation de la progression du poids des ruches suivies. Le miel et les abeilles mortes ont été échantillonnés pour la recherche des pesticides afin de vérifier si les abeilles mortes contiennent des traces de pesticides plus élevées et, par conséquent, expliquer la tendance de leur nombre par site. Les résultats montrent une contamination du miel et des abeilles de tous les sites. La disponibilité des ressources en fleurs / nourriture a suivi la même tendance que la progression du poids des ruches. Nous avons conclu à une contamination générale des abeilles et du miel des zones agricoles aux habitats protégés (forêt). Cependant, ces résultats ne montrent pas clairement un impact de la contamination par les pesticides sur le succès de l'apiculture et les services de pollinisation subséquents. Mais, la disponibilité des ressources alimentaires semblait affecter le plus le succès de l'apiculture, sur la base de nos résultats.

**Keywords :** Apiculture, abeille, pollinisation, pesticide, Kétou

### INTRODUCTION

The rapid human population growth in developing countries would require additional effort to feed the growing population. Conventional agriculture would necessitate intensive use of production inputs, including pesticide to meet the food demand. Pesticides actions and mechanism on pests is well documented their impacts on useful organisms are poorly known (Köhler and Triebkorn, 2013). These useful organisms are, for example, pollinators, seed dispersers, pest control agents, etc. that are useful in agro-systems and for crop production (Fischer et al., 2006). Different evidence of population decline of ground insects as well as flying ones was reported in pesticide application contexts (Mone et al., 2014). There is then a confirmation that useful organisms are also destroyed when pesticides are applied in farming areas to fight pests. There is evidence stating that the loss of insect diversity and abundance is expected to create subsequent effects on food webs and to threaten ecosystem services (Hallmann et al., 2017).

Benin as many other developing African countries, is promoting agricultural intensification to secure food for the growing population, but successive governments are also promoting cash crops - cotton and cashew crops to improve the GDP and create new economic opportunities. In this context, agrochemicals are increasingly used for pest control in targeted crops. As part of West Africa, the main cotton-producing region on the continent, it claims together with other sub-region countries up to 55% of the pesticides market in Africa (Ferrigno et al., 2017).

Similar to previous studies that stated important impact of agricultural intensification and pesticide use on useful organisms and ecosystem services (Tschardt et al., 2012), we expect comparable impacts on the local habitats and their mutualistic organisms mainly in cotton farming systems in Benin. In such context we wonder how the subsequent pollution is affecting natural habitats like protected areas that are not allocated to agricultural activities. Parks or protected areas were reported to be by far much efficient to conserve biodiversity than

any other habitat in front of man-made disturbances (Bruner et al., 2001). Agrochemical pollution from adjacent agro-systems to protected forests will then cause insidious negative effect on hosted biodiversity. Since protected forests are known to be the last refuges to biodiversity, these threats should be considered when comes to the conservation of ecosystem services to guarantee food security for the constantly growing human population. We monitored different parameters on targeted mutualistic animal, honey bee, from farming areas through buffer zone till inside protected forest to document how far agrochemical contaminations are affecting living organisms and their possible effects on ecosystem services such as pollination services provided by bees.

## MATERIAL AND METHOD

### Study site

The field experiment has been conducted in South Benin, precisely in Kétou, Dogo and Adakplamè village territories (District of Plateau, eastern of Bénin) one of the favourable honey beekeeping regions of the country (Yédomonhan, 2009). These territories are connected to two joint protected forest reserves (Forêts classées de Dogo-Kétou, 7°29'N, 2°25'E) (Figure 1), and form a well-known agricultural region where farmers plant different crops including cotton that requires massive use of pesticides.

The local climate is a tropical bimodal rainfall-type characterized by two rainy seasons (March to July and from September to October) alternating with two dry seasons (in August and from November to February). The total covered area of forest is 42,850 ha (Houndagba et al., 2007). The Dogo-Kétou forest is bounded at the Northern side by the Issanhoun river, on the Western side by the Ouémé river, that receive water from all water catchments in the vicinity, in the Eastern and Southern side by the notched edges of the plateau of Kétou.

The relief is a plateau of low altitude (between 100 and 200 m), characterized in some places by depressions more or less pronounced (Figure 1). Although this forest benefited from a management plan under the PGFTR project (CIRAD-TERA, 1998), it is mainly occupied by farming activities carried by different ethnic groups nowadays. In

addition, heavy wood extraction and charcoal-making activities are fragmenting and destroying the forest. All these show a noticeable unsustainable use of these natural resources.

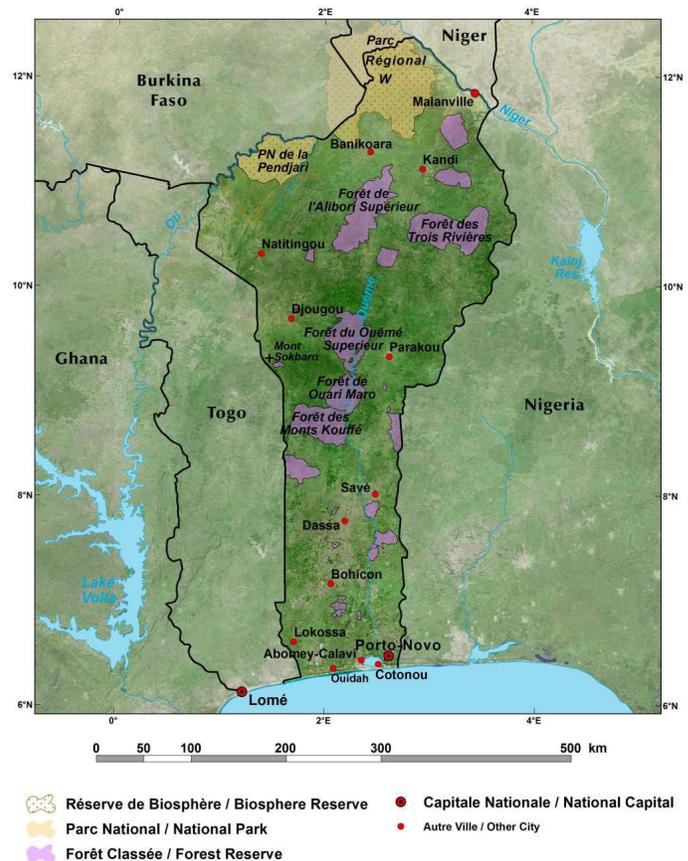


Figure 1: Map of Benin showing the study sites

### Data collection and analysis

#### Experimental design

Bee activities were measured through an experimental beekeeping system. 10 experimental beehives were installed in the farming areas, 10 in the buffer zone of the forest and 10 in the core zone of the forest far from cropping activities. This density is based on Betayene (2008) who recommended a maximum of 10 beehives per 50 m<sup>2</sup> located at about 4 to 7 km between two apiaries.

#### Data collection

Hives that received bee colonies were monthly weighted during 20 consecutive months to monitor honey production year-round. Beehives with colonies were weighted with scale of capacity 50 kg, precision 10 g. Colonies were weighted between nightfall and midnight to avoid heavy disturbances

that would have been caused on colonies if they were weighted during day time.

Flower blooming as food resources available at each site was estimated as it is known to affect honey production. The phenology of the plants on which honeybees forage were then monitored monthly all over the same beehive weighting period. The selection of these plants has been done using a list obtained from previous study (Yédomonhan et al., 2009) and direct observations of bees foraging activities. Due to absence of method we referred to Szigeti (2016) on the quadrat method to estimate fruit resources. On each selected plant, the food potential was estimated through the selection of three quadrats of 1 m<sup>2</sup> each chosen from three different sides of the plant canopy. All flowers were counted and a mean value calculated for 1 m<sup>2</sup>. This value was used to extrapolate the food potential multiplying the mean value per m<sup>2</sup> with the tree crown surface calculated with the measured radius. All individuals of each plant species were sampled the same way and summed during a given monitoring period. Every selected flowering plant was treated similarly. Then, per period, the food potential was estimated to explain possible beehive weight fluctuation that cannot be linked with agrochemical pollutions.

The dead bees were trapped per site on three beehives selected within those hosting large bee colonies. This information helps explaining possible fluctuation of beehive weight progress. Locally made small netted cage that fit the bee fly hole was installed on selected beehives and monitored weekly to count dead bees to follow the progress in the goal to explain possible beehive weight fluctuation imputable to be colony diminution. Three netted cages were fixed to three different beehives hosting large colonies per site resulting in a total of 9 netted cages. A total of 195 counts were done (84 in farming areas, 60 in buffer zone and 51 in forest).

### **Pesticides analysis**

Pesticide traces search in honey and bee tissue samples was conducted from 15 g for honey and dead bees. In total 12 samples of honey and 18 dead bee samples were collected only from Dogo (Kétou). Samples were collected during (June-August) and after (February-April) the pesticide application

periods. At each sampling period, samples were collected as followed: 3 honey samples and 2 dead bee samples respectively from farmed lands (Agrosystem), Buffer zone and Forest. For comparison, only honey samples were collected from heavy cotton cultivation regions in the North Benin situated about 400 – 500 km far from Kétou District (Banikoara : 8 honey samples (4 during (June-August) and 4 after (February-April) pesticide application), Tanguiéta: 4 honey samples (2 during (June-August) and 2 after (February-April) pesticide application). These samples were used for pesticide traces search in the laboratory first to compare doses found in Dogo (Kétou) samples and link findings with dead bee number or honey production patterns. Samples from heavy cotton cultivation regions were to check whether the intensity of exposure will result in accumulation of active substances. All collection sites were adjacent to protected habitats: Tanguiéta site to Pendjari Park, Banikoara site to W National Park and Dogo-Kétou to the Protected Forest of the same name.

The Table 1 bellow presents the list of pesticides used in cotton cultivation in Benin during the study period.

**Table 1** Pesticides used in Benin for cotton cultivation during the study period

Commercial names	Active compounds	Year
Cutter 112 EC	Chlorpyrifos	2012-2013
Profenofos 500 EC	Profenofos	2012-2013
Cobra 120 EC	Acetamipride Spinetorame	2012-2013
EMA Super 56 DC	Emamectine benzoate Acetamipride	2012-2013
Lambdocal P 645 EC	Lambdacyhalothrine Profenofos	2012-2013
Cotonnix	Deltamethrine, Chorpyriphos-ethyl Acetamipride	2012-2013
Thunder	Betacyflutrine Imidacioprid	2012-2013
Aceta star	Acetamipride Bifenthrin	2012-2013
Alphacal P 218 E	Alphacypermetrine Profenofos	2011-2012
Calfos 375EC	Profenofos	2011-2012
Laser 480 EC	Spinosad	2011-2012
Chango 122 SE	Indoxacarbe Cypermethrine	2011-2012
Ato IBI 01	Betacypermethrine Chorpyriphos-ethyl	2011-2012
Thian 175 O-TEQ	Flubendiamide Spirotetramate	2011-2012
Decis T 258,75	Deltamethrine	2011-2012
Nurelle D 36/200	Cypermethrine Chorpyriphos-ethyl	2011-2012

Depending on the pest pressure in each region, the combination of pesticides varied from one region to

another. But everywhere, six consecutive treatments were done. These six treatments were divided into 3 different windows. Sprays started short before flower sets and were separated by two weeks periods.

### **Gas Chromatography-Mass Spectrometry used to analyse pesticide samples**

Gas Chromatography (GC) analysis was carried out on Agilent 6890N GC-Coupled MSD 5972 with chem-station-software-based data acquisition. The injector temperature was maintained at 220 °C, and the detector one was 280°C. Sample was injected in the split less mode, and the split less was opened after 60 s. 1µl sample injection volume was utilized. A fused silica capillary column measuring 30mx0.25mm with a film thickness of 0.25mm composed of 95% Dimethylpolysiloxane (30 m 0.25 mm I.D., 0.25 µm) with chemically bonded phases DB-5 was used. The carrier gas used was Helium at a flow rate of 0.5ml/min. The oven temperature was programmed as follows: initial temperature of 150°C, held for 1 min, increased to 230 °C at 3 °C min<sup>-1</sup>, held for 5 min, and then increased to 250°C at 3°C min<sup>-1</sup> and held for 15 min. The MS ionization potential was 7 eV from 500000, and the temperatures were as follows: ion source 250 °C, transfer line 200 °C, and analyzer 230 °C. GCMS was analysed using electron impact ionization at 70eV and data was evaluated using Total Ion Count (TIC) for compound identification and quantification. The spectrums of components were compared with the database of spectrum of known components stored in the GCMS library. Analysis was performed in SIM mode monitoring specific ions of each analyte as it is shown in. The most intense ion was used for quantification and the second and third ion for confirmation. Identification criteria were based on (a) MSD chem station library and (b) the relative peak heights of the three characteristic masses in the sample peak that must be within 20% of the relative intensity of these masses in the mass spectrum of the standard analysed in the GC/MS system.

### **Data Analysis**

All data have been computed, and Excel was used to draw curves with dead bee mean numbers and the mean beehive weights; histograms drew with values of different pesticides concentrations in samples and polar charts with the mean values of

estimated food resources. SigmaStat 3.5 was used to run ANOVA on Ranks to compare series of active substances detected in samples from three sites and Mann-Whitney Rank Sum Test to compare series while comparing two sites. As all data series didn't fall in normal distribution, we were forced to run these non-parametric analyses.

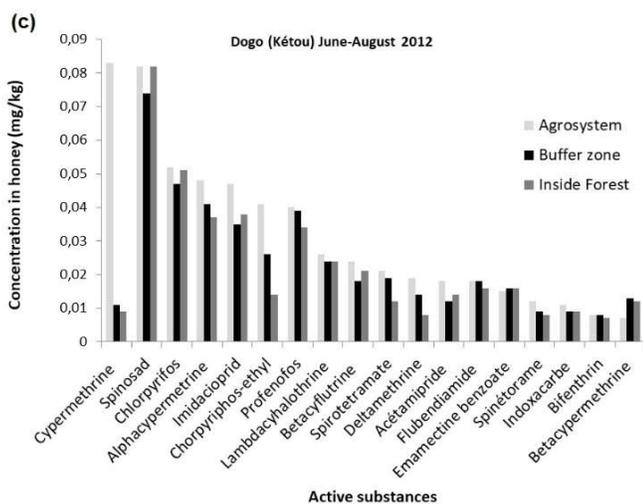
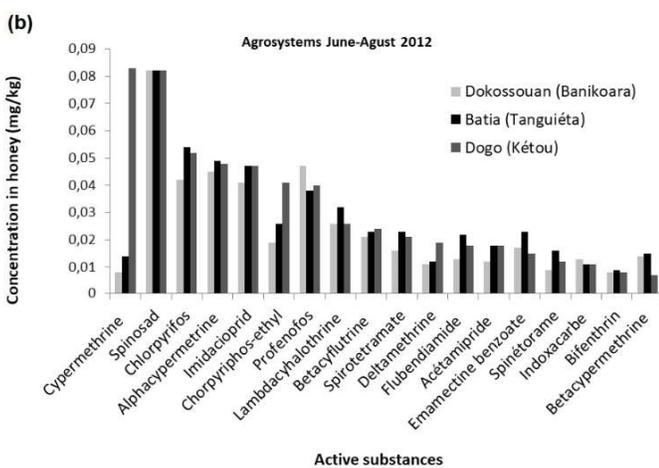
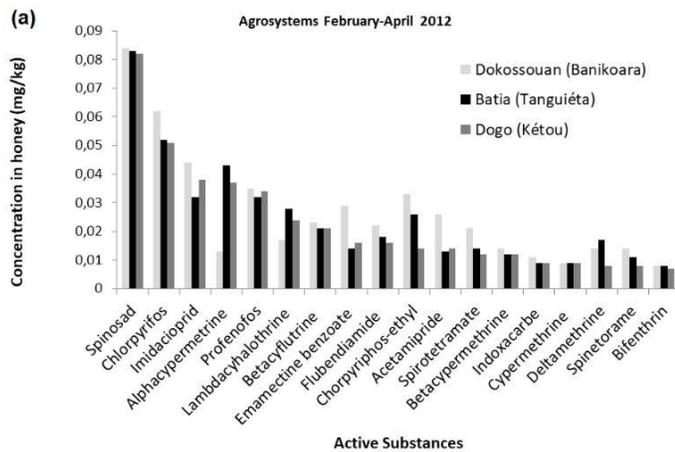
## **RESULTS**

### **Pesticides accumulation in honey and bees**

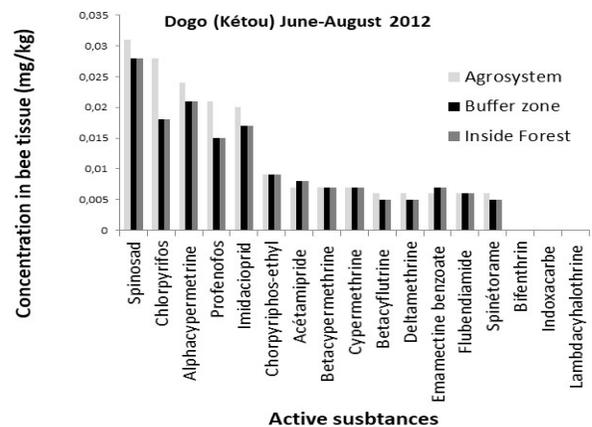
Active substances detected in homey and bee tissues samples collected in different regions of Benin, different land use practices and different seasons (during and out of pesticide application period) are showed as followed (Figure 2).

The honey was contaminated everywhere the pesticides have been used in cotton cultivation and the detected concentrations seem not to depend clearly on the intensity of the cotton cultivation. Usually, bees forage in radius of 3 km in normal conditions. Therefore, Banikoara (fig. 2a & b), extreme North-western Benin, that is the major cotton cultivation region; Tanguiéta (fig. 2a & b), extreme North-western Benin, that is another cotton cultivation region showed comparable pesticide traces concentrations with Kétou (fig. 2a & b) where cotton cultivation also exists but much less than the two first localities about 400 – 500 km from Kétou. Moreover, samples collected from the same localities during and out the pesticides application didn't show any statistical significant difference in active substances detection and concentrations (Dokossouan February-April vs. Dokossouan June-August; Mann-Whitney Rank Sum Test; T = 353, n (small) = 18, n (big) = 18, p = 0,537; Batia February-April vs. Batia June-August; Mann-Whitney Rank Sum Test; T = 302, n (small) = 18, n (big) = 18, p = 0,334; Dogo February-April vs. Dogo June-August; Mann-Whitney Rank Sum Test; T = 286, n (small) = 18, n (big) = 18, p = 0,141). Finally, difference in land use also didn't reveal any statistical significant difference (fig. 2c) (n = 18; ANOVA on Ranks; H = 0,146; d.f = 2; p = 0,929).

When we consider the pesticides accumulation in honey bees tissues, results are showed as followed (figure 3).



**Figure 2:** Pesticide active compounds detected in honey samples from the different localities(a) and different land use types (agrosystems = farmed lands; buffer zone = edge of forest; inside forest) during (June-August) and out (February-April) pesticides application periods (24 honey samples, one of the result listing all active compounds is presented here) (a: n=18; ANOVA on Ranks;  $H = 1,050$ ; d.f = 2;  $p = 0,592$ ; b: n= 18; ANOVA on Ranks;  $H=1,705$ ;d.f = 2;  $p = 0,426$ ; c: n=18; ANOVA on Ranks;  $H = 2,567$ ;d.f = 2;  $p = 0.277$ )



**Figure 3:** Pesticide traces detected in bee tissue samples from different land use types during pesticides application period (June-August 2012) at Dogo (agrosystem = farmed lands; bufferzone = edge of forest; forest = inside forest) (18 bee samples, one of the result listing all active compounds is presented here)

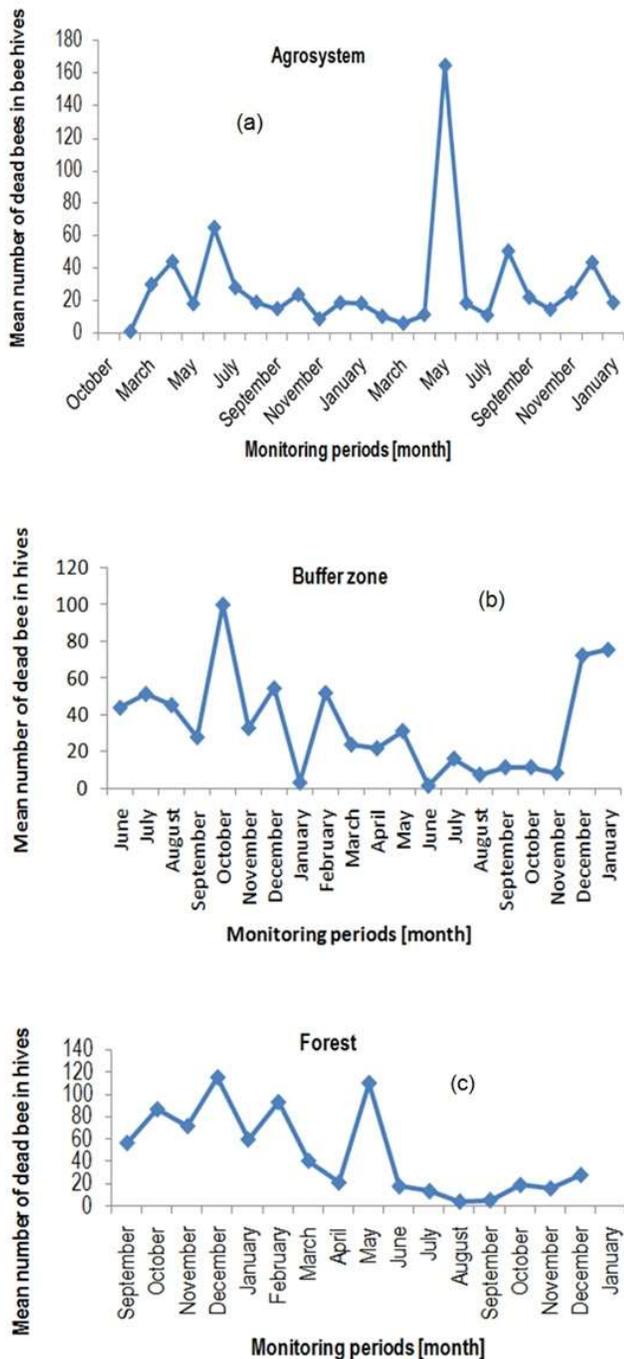
The pesticides traces were detected overall similarly from farmed lands to forest ( $n = 18$ ; ANOVA on Ranks;  $H = 0,146$ ; d.f = 2;  $p = 0,929$ ) but not all active substances detected in honey were present in bee and concentrations were roughly more than two times lower in bee than in honey. As reference, the pesticides officially used to fight pests in cotton cultivation in Benin at the period the research was carried out are listed in the table 1. It is noticeable that all active substances mentioned in pesticide commercial names were detected in bee and thereby in honey.

### Dead bee abundances

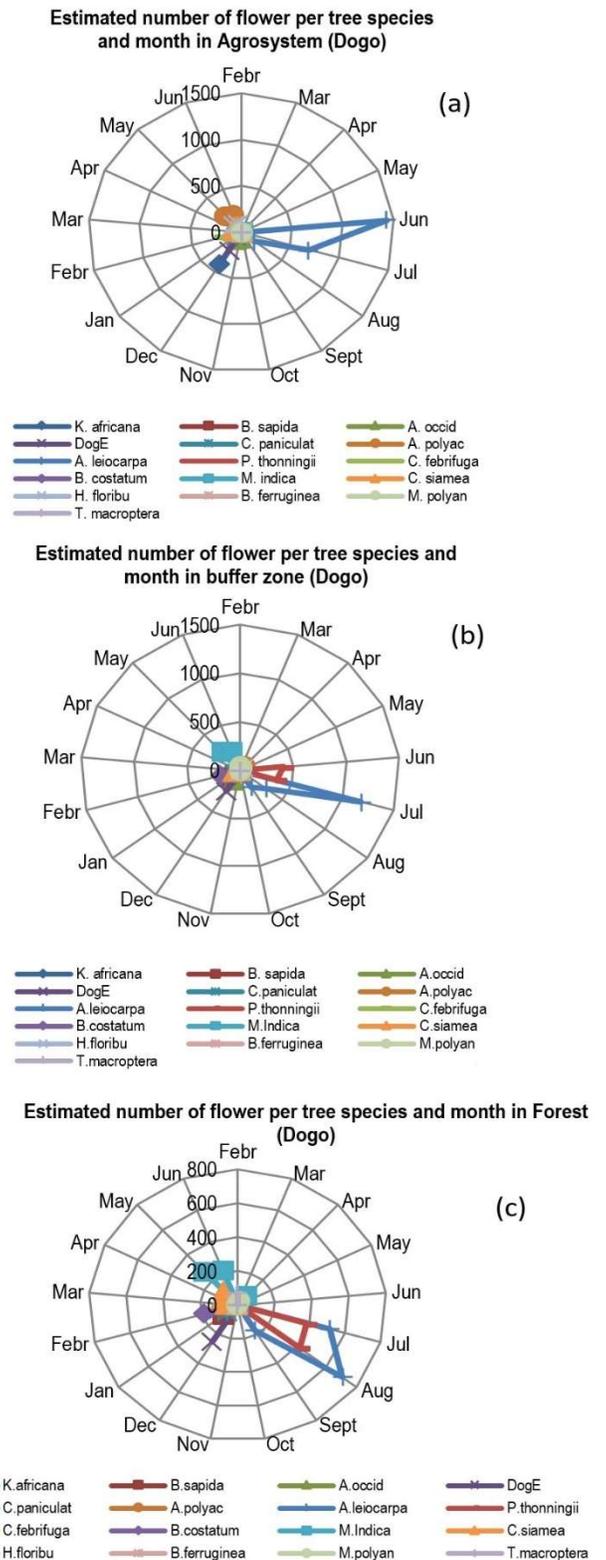
Trapped dead bee number at experimental beehives within and out of pesticide application periods is showed as followed (Figure 4). Increase of dead bee's abundances showed some peaks that match sometime cotton cultivation periods (June-August) but not always. The difference in the dead bee number from one site to another maybe due to the colony size since the number of dead individuals is known to be correlated with the total number of individuals present in the colony/beehive.

### Food resources availability

Food potential for bees monitored monthly in the different sites on plants on which bee forage is presented as followed (figure 5). We noticed from the graph that food resource availability was high on all sites from June to August. Moreover, the food resource diversity increased from village to forest.



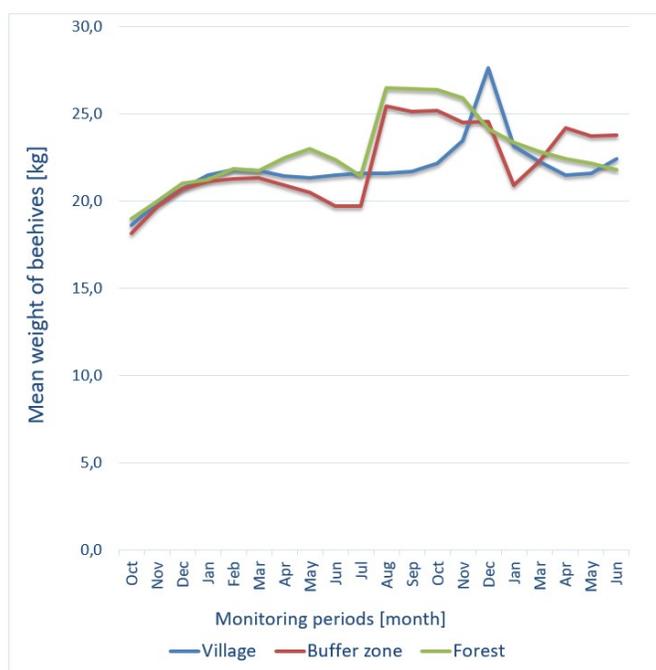
**Figure 4:** Numbers of dead bees trapped at beehives in different land use types from September 2011 to January 2013 (a: agrosystem = farmed lands (84 samples); b: buffer zone= edge of forest (60 samples); c: forest = inside forest (51 samples))



**Figure 5:** Food resources availability patterns in different land use types (a: agrosystem =village area = farmed lands; b: buffer zone = edge of forest; c: forest = inside forest)

## Beehives weight progress

Results of beehives weighted monthly to follow the progress in honey production are showed as followed (Figure 6). From the curves, actives substances traces in honey and in dead bees didn't yield clearly in a reduction of honey production as the pesticides application periods and short after the beehive weight progress didn't show any inflexion. In contrast, the patterns seemed to fit the rainy season (March-July) in the southern, key study region and the rainy season (September-October) in the northern, the heavy cotton cultivation region where the majority of plants set flowers and fruits used by bees.



**Figure 6:** Beehive weight progress in different land use types (village area; buffer zone = edge of forest; inside forest)

## DISCUSSION

Our results reported a general presence of actives substances in bees and honey from agro-system to adjacent protected forest situated about 10 km. This demonstrates possible transfer of agrochemicals pollution from agrosystems quite far from sources to key ecosystems such as protected forests known. Bueno and da Cunha (2020) reported pesticide drifts but not on so long distances. Pollutants transport from farmed land to protected habitat is likely to cause negative effect on living organisms. Nowadays, it is widely recognized that the most important condition to maintain life on the earth is biodiversity (Pavlov and Bukvareva, 2007). Thus, well-documented services on which all living

organisms, including humans, are constantly provided by biodiversity elements of fauna, flora, fungi, etc. These are unique characteristics of the earth on which humans are living (Bradley et al., 2012). When we consider provisioning ecosystem services that include food and wood production, pollination services delivered by pollinator are major driving factors (Djossa et al., 2015). Although a large number of mutualistic organisms are responsible of pollination services, insects are by far the most important in term of individual numbers (Gianessi, 2010). Many other insects are also providing biological control services on their hosts that are pests both in natural habitats and in farmed lands. Negative impact of pesticides used in farmed lands on these useful organisms is becoming widely recognized. Hallmann et al. (2017), reported massive decline of insect populations for no clear reasons with a long-term population assessment in protected habitats of Germany using standardized methods. The same study also suspected cascading consequences of this important decline on food and ecosystem services production.

In conventional agriculture in general and conventional cotton cultivation system in particular, pesticide is commonly used because of the pressure of pest population. Pesticides in agriculture are well known in their actions and mechanisms to control target pests on interest crops but negative effects on non-targeted organisms in the same area are not usually well documented (Köhler and Triebkorn, 2013) and considered for biodiversity conservation needs. Different evidence of population decline of ground insects as well as flying ones was reported in pesticide application contexts (Mone et al., 2014). Since our study reported active substances deposition at all sites in honey bee tissues and the honey they produced, this demonstrated the long-distance spread-out of agrochemical pollutant far from sources (agro-systems) beyond what was reported by Bueno and Cunha (2020). The detection of these harmful matters in protected forest honey bee community, depending on how sensitive living organisms are over there, would have affected insects and other living organisms as well. Moreover, pollutants would have accumulated on vegetal materials for indirect poisoning later.

Considering the different active substances present at each site, almost the 5 first ones were everywhere present in honey but during and out the application periods concentrations varied. It was no major differences between northern (intense cotton cultivation zones, Banikoara & Tanguiéta) and the

central regions (less intense cotton cultivation zone, Kétou) in term of number and concentration of active substances (February-April/no pesticide use period:  $n=18$ ; ANOVA on Ranks;  $H = 1,050$ ;  $d.f = 2$ ;  $p = 0,592$ ; June-August/pesticide use period:  $n= 18$ ; ANOVA on Ranks;  $H=1,705$ ;  $d.f = 2$ ;  $p = 0,426$ ;  $c$ :  $n=18$ ; ANOVA on Ranks;  $H = 2,567$ ;  $d.f = 2$ ;  $p = 0.277$ ). One could infer on the persistence of these harmful matters. However, there was a surprisingly higher concentration of Cypermethrine compound at Kétou (Dogo) compared with the northern region (0.084 mg/kg (Dogo) vs. 0.014mg/kg (Batia) and 0.008 mg/kg (Dokossouan)). The difference was also reported between Kétou (Dogo) agrosystem (0.083 mg/kg) and forest areas (0.009 mg/kg) that concentrated much less. The later was reported to be persistent till about 5 days after spray and can contaminate honey bee (Pashte and Patil, 2017). One can then imagine that pesticide application contaminated food resources available in agrosystems both in the northern and the central regions and bee foraging activities occurred soon after they were deposited. Since honey bees are always active working and collecting materials to hives for honey production, they didn't keep long time collected materials and fortunately concentrated about half of active pesticide substances in their tissues compared with what was detected in honey. In another hand one could explain higher concentration in honey from the drying out process of nectar collected by bees to obtain honey that is likely to concentrate more active substances contained.

When talking about insect pollinators, honey bees are worldwide recognized to be the best in this ecosystem service on which many wild and cultivated plant rely for their production (Toni et al., 2018). Thus, any damage on honey bee population is expected to create a disaster in food web in ecosystems and thereby for human.

Non-target organisms are, for example, other pollinators, seed dispersers, pest control agents, etc. that are also useful in agro-systems and for crop production (Fischer et al., 2006). There was a clear report that the loss of insect diversity and abundance is expected to create subsequent effects on food webs and to threaten ecosystem services (Hallmann et al., 2017).

With the promotion of cotton cultivation to support Benin's economy, the heavy use of pesticide similar to West African countries (up to 55% of the pesticides market in Africa (Ferrigno et al., 2017)), there is a need of deep screening of ecosystem services to be potentially affected. Based on findings

on possible impact of these pesticide uses proposition could be formulated in fine for good practices and application techniques or timing to mitigate negative effects on useful organisms and ecosystems. It is crucial to really address this question because it is nowadays difficult to keep agricultural goods production in conventional system without pesticide application.

Similar to previous studies that stated important impact of agricultural intensification and pesticide use on useful organisms and ecosystem services (Tscharntke et al., 2012), we expect comparable impacts on local habitats and their mutualistic organisms like honey bees and other insects (Sgolastra et al., 2016) mainly in cotton cultivation context in Benin.

Our study reported that dead bee numbers fluctuation as well as bee hive weight progress didn't show any clear link with pesticide application nor with the concentration of active compound in bee tissues and honey. Our findings can then be explained by the report of honey bees less sensitivity to pesticides compared with other insects (Hardstone and Scott, 2010); what would be a good situation in term of ecosystem service they deliver's conservation but the quit high concentration we detected in honey may result in human health problem with long term consumption of honey in this context.

Coming back to our study, what came out as major production factor in bee keeping success both in forest and in agrosystems was food resources availability and distribution in time as reported but not the pesticide substances presence, at least with actual study.

From the present study, based on current findings, we can conclude of not heavy pesticide direct impact on bee colonies and thereby beekeeping activities. However, long term effect on colony via brood could be an insidious and then not easy to detect with method that target mature bee individuals. Deep and more accurate studies are then necessary to conclude on such sensitive debate.

## CONCLUSION

The present study reported on the impact of pesticide uses in agriculture and cotton cultivation on beekeeping success and bee pollination services. Findings cannot support to conclude a clear negative impact. In contrast, food resources availability and distribution in time showed more visible influence on beekeeping success. We concluded in a need of

more detailed and large screening of exosystems exposed to the use of pesticides to draw solid conclusion.

## REFERENCES

- Betayene D. 2008. Débuter en apiculture. Centre pour l'Environnement et le Développement (CED), Yaoundé-Cameroun. 44 p. [www.cedcameroun.org](http://www.cedcameroun.org).
- Bradley J, Cardinale J, Duffy E, Gonzalez A, Hooper D, Perrings C, Venail P, Narwani A, Mace G, Tilman D, Wardle D, Kinzig A, Daily G, Loreau M, Grace J, Larigauderie A, Srivastava D, Naeem S. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59-67; DOI: 10.1038/nature11148.
- Bruner AG, Gullison RE, Rice RE, da Fonseca GAB. 2001. Effectiveness of Parks in Protecting Tropical Biodiversity. *Science*. 291(5501): 125-128.
- Bueno MR, da Cunha JAR. 2020. Environmental risk for aquatic and terrestrial organisms associated with drift from pesticides used in soybean crops. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 92: e20181245 DOI 10.1590/0001-3765202020181245
- CIRAD-TERA, CIEPAC, FIEF, CEBEDES. 1998. Étude de faisabilité de la phase de consolidation du programme de gestion des ressources naturelles (PGRN). Cotonou: MDR/CIRAD.
- Djossa BA, Toni HC, Adekanmbi ID, Tognon FK, Sinsin BA. 2015. Do flying foxes limit flower abortion in African baobab (*Adansonia digitata*)? Case study in Benin, West Africa. *Fruits*. 70(5): 281-287.
- Ferrigno S, Guadagnini R, Tyrell K. 2017. Is cotton conquering its chemical addiction? A review of pesticide use in global cotton production. 76p.
- Fischer J, Lindenmayer DB, Manning AD. 2006. Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 4: 80-86.
- Gianessi LP. 2010. Pesticide use and biodiversity conservation on farms. Crop Protection Research Institute. Crop life Foundation Washington, DC.
- Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12(10): e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hardstone MC, Scott JG. 2010. Is *Apis mellifera* more sensitive to insecticides than other insects? *Pest Management Science* 66: 1171-1180. doi: 10.1002/ps.2001
- Houndagba CJ, Tente ABH, Guedou R. 2007. Dynamique des forêts classées dans le cours moyen de l'Ouémé au Bénin, Kétou, Dogo et Ouémé-Boukou, in Fournier A, Sinsin B, Mensah GA (dir.). 2007, *Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest?*, éditions IRD, DOI : 10.4000/books.irdeditions.8001, p. 369-380.
- Köhler H-R, Triebkorn R. 2013. Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond? *Science* 16; 341(6147): 759-65. DOI: 10.1126/science.1237591
- Mone S, Kusha KM, Jathanna D, Ali M, Goel A. 2014. Comparison of insect biodiversity between organic and conventional plantations in Kodagu, Karnataka, *Indian Journal of Threatened Taxa* 6(9): 6186-6194.
- Pashte VV, Patil CS. 2017. Impact of different insecticides on the activity of bees on sunflower. *Research on Crops* 18(1): 153-156; DOI : 10.5958/2348-7542.2017.00026.2
- Pavlov DS, Bukvareva EN. 2007. Biodiversity and Life Support of Humankind. In *Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk*, 2007, 77(11): 974-986.
- Sgolastra F, Medrzycki P, Bortolotti L, Renzi MT, Tosi S, Bogo G, Teper D, Porrini C, Molowny-Horas R, Bosch J. 2016. Synergistic mortality between a neonicotinoid insecticide and ergosterol - biosynthesis-inhibiting fungicide in three bee species. *Pest Management Science* 73 (6): 1236-1243. <https://doi.org/10.1002/ps.4449>.
- Szigeti V, Körösi Á, Harnos A, Nagy J, Kis J. 2016. Comparing two methods for estimating floral resource availability for insect pollinators in semi-natural habitats, *Annales de la Société entomologique de France (N.S.)*, 52: 5, 289-299, DOI: 10.1080/00379271.2016.1261003
- Toni HC, Djossa BA, Teka OS, Yédomonhan H. 2018. Les services de pollinisation des abeilles sauvages, la qualité et le rendement en fruits de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) dans la commune de Kétou au sud Bénin. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 32: 239-258.
- Tscharntke T, Clough Y, Wanger TC, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, Whitbread A. 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* 151(1): 53-59.
- Yédomonhan H. 2009. Plantes mellifères et potentialités de production de miel en zones guinéenne et soudano-guinéenne au Bénin. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi. <http://www.uac.bj>