

République du Bénin  
**UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI**  
Faculté des Sciences Humaines et Sociales

**Département de Géographie et  
Aménagement du Territoire**

**BenGéo**

**Revue semestrielle de Géographie du Bénin**

**Volume Thématique**

**« La pollution des sols, soyez la solution »**

ISSN 1840-5800

**Décembre 2018**



Avec le soutien financier du Département des Sciences du Sol (DSS) de l'Ecole des Sciences et Techniques de la Production Végétale (ESTPV), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC)

Toute reproduction, même partielle de cette revue est rigoureusement interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi 84-003 du 15 mars 1984 relative à la protection du droit d'auteur en République du Bénin.

**Directeur de publication**

Moussa Gibigaye (MC)

*Chef du Département de Géographie et Aménagement du Territoire*

**Directeur de publication Adjoint**

Toussaint Vigninou (MC)

**Rédacteur en Chef**

Vincent O.A. Orékan (MC)

**Rédacteur-Adjoint**

Ibouraïma Yabi (MC)

**Comité de Rédaction**

Germain Gonzallo (MC), Eric Tchibozo (MC), Léocadie Odoulami (MC), Ismaïla Toko Imorou (MC), Thiéry Azonhè (MC), Sylvain Vissoh (MC), Cyr Gervais Eténé (MC)

**Comité Scientifique**

Michel Boko (PT, Bénin), Expédit Vissin (PT), Jean Cossi Houndagba (MC), Omer Thomas (MC), Élisabeth Dorier-Apprill (PT, France), Jérôme Aloko (PT, Côte d'Ivoire), Thiou Tchamié (PT, Togo), Brice A. Sinsin (PT, Bénin), Tanga-Pierre Zoungrana (PT, Burkina Faso), Robert Ziavoula (PT, Congo), Benoît N'Bessa (PT, Bénin), Henri K. Motcho (PT, Niger), Christophe Houssou (PT, Bénin), Constant Houndénou (PT, Bénin), Odile Dossou Guèdègbé (PT, Bénin), Placide Clédjo (PT, Bénin), Léon Bani Bio Bigou (PT, Bénin), Edinam Kola (PT, Togo), Antoine Tohozin (PT, Bénin), Yolande Berton-Ofouéme (PT, Congo), Coline Yolande Koffie-Bikpo (PT, Togo),.

**Mise en page**

Hermann A. Plagbéto (Dr)

Innocent Akpaka (Dr)

**Correspondance**

**Comité de Rédaction de la Revue de Géographie BenGéO**

*Département de Géographie et Aménagement du Territoire,*

*01BP526 COTONOU (République du Bénin)*

*GSM:0022996159897//95142480*

*E-mail: dgatflash.uac@gmail.com*

## AVANT PROPOS

Le sol est le support de toute vie sur terre. Il nourrit les plantes en eau et en éléments nutritifs. Ressource non renouvelable à l'échelle humaine, elle subit la pression des activités urbaines et industrielles qui consomment de plus en plus de surfaces agricoles. Le sol abrite aussi une intense activité biologique marquée par une grande biodiversité des organismes qui y vivent et interagissent avec la croissance du couvert végétal. La fertilité du sol résulte d'une action de l'Homme par ses pratiques agricoles en interaction avec le climat. Dans un sol équilibré où subsistent les éléments nutritifs à la plante, elle est plus belle et forte. Elle résiste mieux aux agressions climatiques et parasitaires. L'efficacité de la production agricole d'un végétal, qu'elle soit mesurée en termes de productivité ou de rendement, est conditionnée par certains facteurs du milieu dans lequel il se trouve. Parmi ces derniers ; les facteurs anthropiques sont plus légion. L'atténuation des effets négatifs de ces impacts relève d'une gestion rationnelle de nos sols. Les réflexions en vue de cette atténuation des conséquences de la pollution des sols émanent généralement des trouvailles des scientifiques. Le thème ***La pollution des sols, soyez la solution*** s'inscrit dans le cadre du 1<sup>er</sup> Atelier Scientifique de la Journée Mondiale des Sols, organisé du 05 au 07 décembre 2018 sur le campus universitaire d'Abomey-Calavi. Ce fut un cadre d'échanges entre experts de divers champs disciplinaires de la recherche scientifique. Le présent volume thématique de la revue BenGÉO en fait un récapitulatif pour rappeler l'importance des sols dans les activités humaines pour le développement durable. Les articles sélectionnés constituent une part importante des résultats de recherches issus des laboratoires et autres institutions de recherches scientifiques aussi bien sur le plan national qu'international.

**Le Rédacteur en Chef**  
**Dr. Vincent O. A. OREKAN**

## SOMMAIRE

<p><b>ALOHOUN Dotou Ezéchiël; SAIDOU Aliou; DAGBENONBAKIN Gustave; AGBANGBA Codjo emile : Réponse du maïs (<i>Zea mays l</i>) aux différentes doses d'engrais organo-minéraux sur sols ferrugineux tropicaux lessivés du nord-Bénin</b></p>	5
<p><b>AVAKOUDJO Julien, TOKO IMOROU Ismaïla, KOUELO Alladassi Félix, KINDOMIHOU Valentin, AMADJI Guillaume Lucien, SINSIN Augustin Brice: Typologie des dongas et effet de l'érosion hydrique sur l'acidité et la teneur en matière organique des sols à Karimama au nord-ouest du Bénin</b></p>	22
<p><b>KINDOHOUNDE Sèho Narcisse, NODICHAO Léïfi, AHOLOUKPE Nonwègnon Sayimi Hervé, SAÏDOU Aliou: Symptômes de déficience minérale chez le palmier à huile (<i>Elaeis guineensis jacq.</i>) au niveau des sols du sud benin</b></p>	43
<p><b>NODICHAO Léïfi, AHOLOUKPÈ Nonwègnon Sayimi Hervé, AMADJI Guillaume Lucien, JOURDAN Christophe : Les apports de matière organique au sol dans les palmeraies du sud-bénin modifient le développement racinaire du palmier à huile</b></p>	69

## **SYMPTOMES DE DEFICIENCE MINERALE CHEZ LE PALMIER A HUILE (*Elaeis guineensis* JACQ.) AU NIVEAU DES SOLS DU SUD BENIN**

### **TYOLOGY OF DONGAS AND THE EFFECT OF WATER EROSION ON ACIDITY AND ORGANIC SOIL CONTENT IN KARIMAMA, NORTHWEST OF BENIN**

**KINDOHOUNDE Sèho Narcisse<sup>1,2,\*</sup>, NODICHAO Léfi<sup>1</sup>,  
AHOLOUKPE Nonwègnon Sayimi Hervé<sup>1</sup>, SAÏDOU Aliou<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>*Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)/Centre de  
Recherches Agricoles sur les Plantes Pérennes (CRA-PP) BP. 01 Pobè, Bénin*

<sup>2</sup>*Unité de Recherche sur la Gestion Intégrée des Sols et des Cultures (ISCM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole des Sciences et Techniques de Production  
Végétale, Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi  
(UAC) Bénin, 04 BP 1510 Cadjèhoun Cotonou Bénin*

\*Auteur correspondant : Doctorant à l'Ecole doctorale des Sciences  
Agronomiques et de l'Eau, EMail : [kindohoundenarcisse@gmail.com](mailto:kindohoundenarcisse@gmail.com) ; Tél : 229  
96 87 79 00

#### **Résumé**

Une prospection a été organisée dans les grandes zones de culture du palmier à huile au Bénin avec pour objectif d'inventorier les différentes formes de décoloration et de malformation des feuilles du palmier à huile en vue de l'établissement des symptômes de déficience minérale au niveau de la plante. A cet effet, les symptômes visibles ont été observés au total dans 214 plantations dont 108 et 106 respectivement dans les départements de l'Ouémé et du Plateau. Le guide d'identification des symptômes des déficiences minérales a été utilisé pour le diagnostic visuel des feuilles. Les coordonnées géographiques des palmeraies prospectées ont été prises puis projetées sur la carte pédologique de la zone afin de faire une corrélation des carences nutritionnelles avec les types de sol. Quatre types de sol : ferrallitiques, ferrugineux, hydromorphes et vertisols ont été observés sous palmeraie. Plusieurs types de décoloration et déformation des feuilles du palmier ont été observées à savoir la chlorose, l'apparition des tâches

oranges, feuilles ondulées et gaufrées, feuilles rabougries/malformées ainsi que l'apparition de bandes blanches longitudinales qui indiquent en dehors des déficiences en azote et en potassium, une déficience probable en bore et en magnésium. Le taux moyen de manifestation de l'ensemble des symptômes de déficience est de 47% avec une faible manifestation sur les sols régulièrement fertilisés. La fréquence des déficiences dans les palmeraies a été plus faible sur les sols hydromorphes. Des analyses de sol et le diagnostic foliaire seront entreprises pour confirmer la diversité des déficiences minérales dans la zone d'étude, puis l'effet de ces déficiences minérales sur la croissance et les paramètres physiologiques sera déterminé.

**Mots clés** : Fertilité des sols ; diagnostic foliaire ; nutrition des plantes ; plantation de palmier à huile.

### **Abstract**

A prospection was carried out in the main oil palm growing areas in Benin to identify the various forms of discoloration and malformation of the oil palm leaves for the establishment of plant mineral deficiency symptom. The visible symptoms were observed in 214 plantations (108 and 106 respectively in the Ouémé and Plateau departments). We used nutrient deficiency guide of the description of the symptoms as tool for leaves diagnosis. The geographical coordinates of the plantations were taken then projected on the soil map of the area in order to correlate soil types and the nutritional deficiencies occurring. Four types of soil: ferrallitic, ferruginous, hydromorphic and vertisols were recorded under the oil palm plantations. Several leaves discoloration and deformation were recorded: namely chlorosis, orange spots, wavy and embossed leaves, stunted / malformed leaves, and white strip indicating nitrogen and potassium deficiencies as well as probable boron and magnesium deficiencies. The average rate of deficiency symptoms was 47% with a weak manifestation on fertilized soils. The frequency of mineral deficiency is lower on hydromorphic soil. Soil and foliar analysis will be carried out in order to confirm the diversity of mineral deficiencies in the area, then the impact of these mineral deficiencies on the growth and physiological parameters will be assessed.

**Keywords**: Soil fertility; foliar diagnosis; plant nutrition; oil palm plantation

## Introduction

La culture du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) prend de plus en plus d'ampleur dans les milieux ruraux, et contribue de ce fait à la croissance économique des pays à travers sa participation à la diversification agricole en zone forestière d'Afrique et dans d'autres zones tropicales humides (H. S. N. Aholoukpè *et al.*, 2013, p.47). Le palmier à huile est la plante oléagineuse la plus productive d'huile végétale avec un taux de croissance annuel de 6,7% pour la période 2004-2013 (P. Oettli *et al.*, 2018, p.1). De ce fait, il prélève du sol une quantité importante d'éléments nutritifs (L. S. Woittiez *et al.*, 2017, p.67). En plus du maintien et l'amélioration de la fertilité des sols, l'apport d'engrais se révèle indispensable pour avoir une bonne croissance et atteindre une bonne production en régimes, quelles que soient les conditions pédoclimatiques dans lesquelles le palmier à huile est cultivé (T. Fairhurst et J. P. Caliman, 2001, p.2). Les déficiences en potassium (K), azote (N), phosphore (P), magnésium (Mg) et en bore (B) occasionnent une baisse considérable de rendement du palmier à huile (L. S. Woittiez *et al.*, 2017, p67-68). L'azote est un élément majeur et essentiel pour la photosynthèse et l'amélioration du nombre et du poids des régimes (S. H. Husain *et al.*, 2015 p.1). Il est montré que l'azote joue un rôle physiologique à travers la formation de la chlorophylle et la formation des carbohydrates (Bah Lias, 2011 cité par L. S. Woittiez *et al.*, 2017, p.68). Le phosphore est essentiel pour la croissance des racines tandis que le potassium est essentiel pour la croissance de la plante et la production des régimes (Corley et Tinker, 2016 cité par L. S. Woittiez *et al.*, 2017, p.68). Le magnésium par contre, est un élément central dans la formation de la chlorophylle, et est essentiel pour une photosynthèse efficace (I. Cakmak et A. M. Yazici 2010, p.1). En ce qui concerne le chlore, il intervient principalement dans le fonctionnement des stomates (S. Braconnier *et al.*, 1985, p.547) et impacte la transpiration du palmier à huile (L. Nodichao *et al.*, 2007, p.151) ainsi que la résistance aux maladies et aux attaques d'insectes (J-Ch. Jacquemard, 2011, p.47). Toutefois, un apport important des minéraux majeurs N, P et K sur une longue durée peut avoir un effet dépressif sur les éléments minéraux mineurs tels que le cuivre (Cu) et zinc (Zn) pour le N et le P, et sur le Zn pour ce qui concerne le K. Ils peuvent également avoir un impact négatif sur la physiologie du

palmier et affecter la production de régimes notamment pour ce qui concerne le N (L. Tohiruddin *et al.*, 2010, p.869).

Les déficiences en azote, potassium, magnésium chez les jeunes plantes se traduisent respectivement par un jaunissement homogène, jaunissement marginal et une chlorose orange avec pour conséquence, la mauvaise croissance et une réduction du développement des racines (S. K. Behera *et al.*, 2017, p.117 ; C. Pornsuriya *et al.*, 2013, p.173). Bien qu'étant un oligo-élément, le bore est un élément qui joue un rôle important dans la différenciation cellulaire, l'élongation des cellules, la germination du pollen et l'élongation du tube pollinique (J-Ch. Jacquemard, 2011, p.48). Les formes de manifestation de la déficience en cet élément sont variées. Toutefois, les jeunes feuilles présentent généralement des ondulations, des plis et des malformations vers l'extrémité de la feuille (S. K. Behera *et al.*, 2017, p.125 ; C. Pornsuriya *et al.*, 2013, p.173 ; J-Ch. Jacquemard, 2006, p.7). En Afrique de l'Ouest, le chlorure de potassium et l'Urée constituent les engrais souvent appliqués au palmier à huile. Selon Kouamé *et al.* (2014), la déficience potassique apparaît comme étant l'unique déficience minérale rencontrée sur les sols ferrallitiques d'Afrique de l'Ouest. Cette carence se manifeste par l'apparition des taches oranges de forme irrégulière sur les feuilles (Pornsuriya *et al.*, 2013 et Behera *et al.*, 2017). Aholoukpè (2013) a prouvé une déficience azotée et potassique dans les palmeraies du département du Plateau au Bénin sur la base des résultats de diagnostic foliaire effectué. Selon Caliman *et al.* (1994) sur les sols ferrallitiques du Bénin, la déficience en phosphore n'apparaît que lorsque l'irrigation atténue le déficit hydrique qui est le principal facteur limitant de la production de régimes de palme au Bénin.

En dehors des symptômes de déficience en N et K mentionnés par les auteurs, des déficiences en magnésium et en bore ont été observées dans les palmeraies en Indonésie, Malaisie, Thaïlande et en Inde (S. K. Behera *et al.*, 2017, p.125 ; C. Pornsuriya *et al.*, 2013, p.173 ; J-Ch. Jacquemard, 2006, p.7).

Les symptômes caractéristiques de chaque type de déficience minérale sont décrits par différents auteurs (C. Pornsuriya *et al.*, 2013, p.173 ; J-Ch. Jacquemard *et al.*, 2006 p.7). Quoiqu'il est

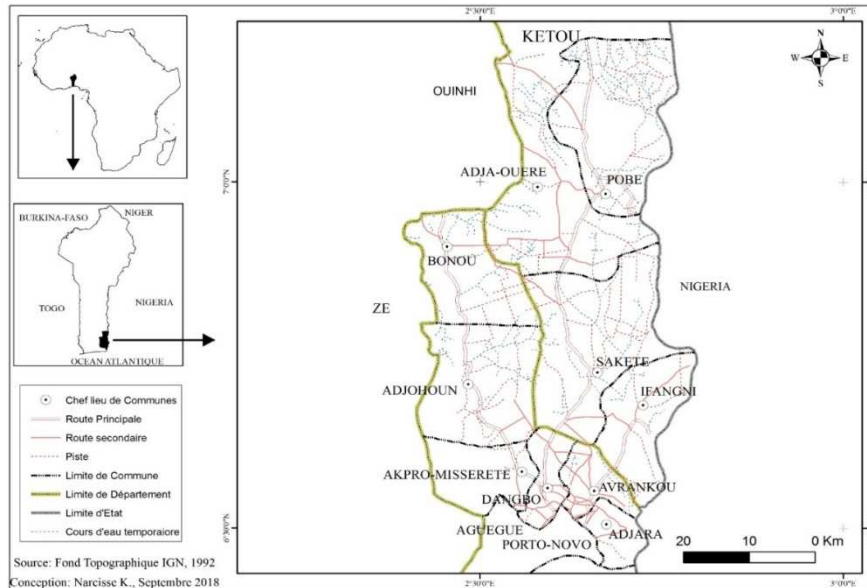
nécessaire de compléter les symptômes observés sur les arbres par des diagnostics foliaires et des analyses du sol, ces symptômes peuvent déjà permettre de soupçonner certaines déficiences minérales au niveau des arbres, voir des carences minérales dans le sol de la palmeraie au sud Bénin.

L'objectif du présent travail est de faire un inventaire des différents symptômes de déficience minérale dans les palmeraies des grandes zones de production du palmier à huile au sud du Bénin. De façon spécifique, l'étude vise à i) identifier les différents symptômes de déficience minérale dans les plantations de l'Ouémé et du Plateau ; ii) déterminer les différents types de sol sous plantation de palmier à huile dans la zone d'étude ; iii) déterminer l'effet des pratiques de fertilisation sur la manifestation des symptômes de déficience minérale.

## **1. Matériel et méthodes**

### **1.1. Milieu d'étude**

La présente étude a été conduite dans les communes de Bonou, Adjohoun, Dangbo, Misséréte, Avrankou et Adjarra dans le département de l'Ouémé et Ifangni, Sakété, Adja-Ouèrè et Pobè dans le département du Plateau. Le climat dans les deux départements est de type subéquatorial avec l'alternance de deux saisons de pluies (de Mars à Juillet et de Septembre à Octobre) et deux saisons sèches (courte saison sèche en Août et de Novembre à Février). La hauteur moyenne annuelle de pluie est de 1300 mm.an<sup>-1</sup> avec des déficits hydriques mensuels parfois très marqués dont le cumul annuel fluctue entre 400 et 700 mm (B. Nouy *et al.*, 1999, p.31). Les Deux Départements sont caractérisés par une diversité de sol, tels que les sols ferrallitiques (dominants dans la zone d'étude), les vertisols (commune de Pobè, Adja-Ouèrè), les sols hydromorphes (communes de Bonou et Adjohoun) et les sols ferrugineux tropicaux faiblement représentés et localisés dans la partie nord du département du Plateau (Volkoff, 1976 a ; Volkoff et Willaime, 1976 ; Agossou, 1983 ; Azontondé, 1991).



**Figure1** : Carte de situation géographique de la zone d'étude

## 1.2. Méthode d'échantillonnage des palmerais des producteurs

Pour l'échantillonnage des palmeraies prospectées, la liste des producteurs a été obtenue auprès des Directions Départementales de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (DDAEP) de l'Ouémé et du Plateau. Sur la base de l'effectif des planteurs de la liste, la taille de l'échantillon a été déterminée conformément à l'approximation normale de la distribution binomiale proposée par Dagnelie (1998) :

$$N = \frac{(U_{1-\frac{\alpha}{2}})^2 \times P(1-P)}{d^2}$$

avec  $U_{1-\alpha/2}$  la valeur de la variable aléatoire normale pour la valeur de probabilité de  $1-\alpha/2$ ,  $\alpha$  étant le risque d'erreur.

Pour  $\alpha = 5\%$ , la probabilité  $1-\alpha/2 = 0,975$  et on a  $U_{1-\alpha/2} = 1,96$ .

$p$  est la proportion de planteurs qui s'adonnent à la production de palmier à huile dans les départements de l'Ouémé et du Plateau et  $d$  la marge d'erreur d'estimation qui est  $5\%$ .

Dans le cadre de la présente étude un planteur correspond à une plantation prospectée. Sur cette base, la méthode d'échantillonnage aléatoire multi-stratifié a été utilisée pour déterminer le nombre de

plantation représentatif à prospecter par commune en tenant compte de l'importance du nombre de producteurs dans les différentes communes (Tableau 1).

**Tableau 1:** Effectif des planteurs et taille de l'échantillon par commune prospectée

Département	Ouémé						Total
Commune	Adjar ra	Adjoho u n	Akpro- Misséré té	Avrank ou	Bon ou	Dangb o	-
Effectifs des producteurs de palmier à huile	157	697	344	491	520	205	5678
Proportion des planteurs par commune	0,06	0,29	0,14	0,20	0,21	0,08	-
Taille d'échantillon par commune	7	30	16	23	23	9	

**Tableau 1(suite):** Effectif des planteurs et taille de l'échantillon par commune prospectée

Départements	Plateau				Total
Commune	Adja-Ouèrè	Ifangni	Pobè	Sakété	-
Effectifs des producteurs de palmier à huile	925	380	368	1591	5678
Proportion des planteurs par commune	0,28	0,12	0,11	0,48	-
Taille d'échantillon par commune	30	13	12	51	214

**Source :** Adapté à partir de l'effectif des producteurs (CeRPA, 2011)

Au total 214 plantations de palmier à huile dont 108 dans l'Ouémé et 106 dans le plateau, ont été sélectionnées. Deux catégories de plantations ont été prospectées dans les deux zones d'étude à savoir les jeunes plantations ayant un âge inférieur ou égal à 6 ans et celles adultes constituées des plantations ayant un âge supérieur à 6 ans. L'âge des plantations a été confirmé par les producteurs.

### 1.3. Méthode d'observation des symptômes de la déficience

Les arbres présentant des décolorations et des déformations des feuilles ont été systématiquement comptés. Les symptômes de déficiences minérales observés sur les plants de palmier à huile ont été identifiés et décrits, en se servant du guide d'identification des symptômes de déficiences chez le palmier à huile (Fairhurst et Caliman, 2001). De plus, les descriptions faites par Broschat (2005) et Jacquemard *et al.* (2006) ont été utilisées pour identifier les symptômes de déficience du bore tandis que, les descriptions faites par Pornsuriya *et al.*, (2013) et Behera *et al.*, (2017) ont été utilisées pour l'identification des symptômes de déficience de l'azote, du potassium et du magnésium. Le pourcentage d'arbres présentant des symptômes de déficience a été calculé par plantation suivant la méthode de Farrag and Abo-Elyousr (2011).

$$\text{Pourcentage d'arbre atteint par hectare} = \frac{\text{nombre d'arbres présentant des symptômes de déficiences minérales}}{\text{nombre total d'arbre à l'hectare}}$$

### 1.4. Traitement et analyse des données

Les données relatives à la caractérisation des plantations prospectées ont été codifiées et saisies dans le tableur Excel, et soumises au logiciel R version 3.5.1-win pour la détermination des pourcentages et des moyennes des paramètres tels que les pratiques de fertilisation, l'âge et la densité des plantations, les types de sol sous plantation de palmier à huile. Les comparaisons multiples de moyennes ont été réalisées avec le logiciel XLSTAT suivant le test de Student Newman-Keuls (Dagnelie, 1998).

Les coordonnées géographiques des différentes plantations prises ont été soumises au logiciel ArcGis pour la projection des plantations prospectées sur la carte pédologique du Bénin de 1989 (IGN, 1992) afin d'identifier les différents types de sols sous plantation de palmier à huile.

## 2. Résultats

### 2.1. Caractéristiques des plantations de palmier à huile dans la zone d'étude

Les caractéristiques des plantations prospectées sont présentées dans le Tableau 2. Il ressort des résultats du tableau que 89,8 et 95,3% des

plantations respectivement dans l'Ouémé et le Plateau sont constituées de matériel végétal sélectionné. Nos résultats montrent que la plupart des planteurs n'apportent pas d'engrais minéraux aux palmiers à huile malgré que du matériel végétal sélectionné soit planté. Seulement 49,1% des plantations visitées dans l'Ouémé sont fertilisées au moins une fois ces trois dernières années, contre 41,5% dans le Plateau. Les engrais souvent utilisés sont l'urée et le KCl. On constate qu'en général, 27,8% des plantations ont reçu en apport séparé, de l'urée et du KCl dans l'Ouémé, et 30,2% dans le Plateau. De plus, 47,2% des plantations sont régulièrement fertilisées à l'Urée, le KCl et le NPK dans l'Ouémé contre 35,9% dans le Plateau.

**Tableau 2:** Caractéristiques des plantations de palmier à huile dans la zone d'étude

Variables	Modalités	Pourcentage (%) des répondants	
		Ouémé (n=108)	Plateau (n=106)
<b>Type de matériel végétal</b>	Naturel	10,19	4,72
	Sélectionné	89,81	95,28
<b>Apport d'engrais</b>	Non	50,93	58,49
	Oui	49,07	41,51
<b>Type d'engrais apporté</b>	Aucun	50,00	58,49
	Urée uniquement	0,93	0,94
	NPK uniquement	1,85	2,83
	KCl uniquement	14,81	6,60
	Urée + NPK	1,85	0,00
	Urée + KCl	27,78	30,19
	NPK + KCl	0,93	0,00
	Urée + NPK + KCl	1,85	0,94
	Aucun	50,00	58,49
<b>Fréquence d'apport des engrais</b>	Irrégulier	2,78	5,66
	Régulier	47,22	35,85

## 2.2. Densité des plantations et pourcentage des manifestations des signes de carence

Le Tableau 3 présente les densités des plantations et les pourcentages des arbres présentant des signes de carence par département. L'analyse des résultats du tableau montre qu'il n'y a pas de

différence significative entre les densités des plantations d'un département à un autre, on observe significativement ( $p < 0,05$ ) plus d'arbre présentant des symptômes de déficience dans le Plateau comparativement à l'Ouémé.

L'analyse à l'échelle communale indique que les symptômes de déficience minérale étaient moins fréquents dans les palmeraies des communes d'Adjohoun (42,1%) et de Bonou (42,3%) que dans les communes de Sakété (53,4%) et Pobè (52,7%) avec une différence significative au seuil de 5%. Les pourcentages de manifestation de déficience minérale dans les palmeraies étaient dans les autres communes intermédiaires entre ceux relevés à Adjohoun, Bonou, Sakété et Pobè. Ainsi, on conclut que la différence significative observée entre les deux zones est la résultante de celle observée au niveau des communes de Pobè, Sakété et Adjohoun et de Bonou.

**Tableau 3** : Densité des plantations et pourcentage d'arbre présentant des signes de carence (valeurs moyennes  $\pm$  erreur standard)

Départements	Communes	Age des plantations	Densité des plantation/ha	Pourcentage (%) d'arbre présentant de symptômes déficience/ha
<b>Ouémé</b>	Adjara	10,00 $\pm$ 1,27 a	145,14 $\pm$ 0,93a	50,55 $\pm$ 4,83 ab
	Bonou	9,39 $\pm$ 0,60 a	145,26 $\pm$ 0,56a	42,31 $\pm$ 1,60 b
	Adjohoun	10,06 $\pm$ 0,83 a	145,41 $\pm$ 0,47a	42,10 $\pm$ 2,31 b
	Akpro-Misséréte	7,87 $\pm$ 0,67 a	145,50 $\pm$ 0,65a	43,38 $\pm$ 2,30 ab
	Dangbo	8,25 $\pm$ 1,45 a	145,86 $\pm$ 0,93a	43,67 $\pm$ 3,80 ab
	Avrankou	9,48 $\pm$ 0,99 a	146,61 $\pm$ 0,51a	44,62 $\pm$ 2,20 ab
	Moyenne	9,35 $\pm$ 0,42 A	144,90 $\pm$ 0,24 A	42,794 $\pm$ 1,04 A
<b>Plateau</b>	Pobè	9,50 $\pm$ 1,42 a	143,89 $\pm$ 0,82a	52,65 $\pm$ 2,28 a
	Ifangni	10,83 $\pm$ 1,09 a	144,75 $\pm$ 0,71a	50,51 $\pm$ 2,42 ab
	Adja-Ouèrè	10,03 $\pm$ 1,11 a	144,76 $\pm$ 0,45a	47,65 $\pm$ 1,74 ab
	Sakété	8,77 $\pm$ 0,56 a	145,20 $\pm$ 0,34a	53,43 $\pm$ 1,37 a
	Moyenne	9,44 $\pm$ 0,43 A	145,70 $\pm$ 0,25 A	51,01 $\pm$ 1,02 B
<b>Probabilité</b>		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

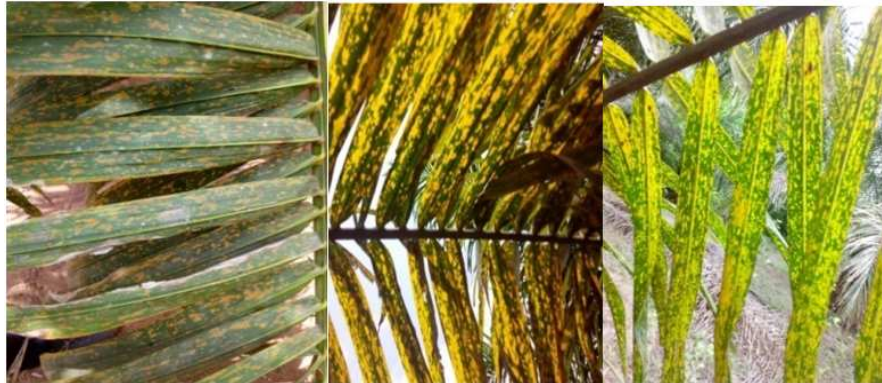
Dans une même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres alphabétiques ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ ) d'après le test de Student Newman Keuls.

### **2.3. Symptômes de déficiences minérales observés dans la zone d'étude**

La Figure 3 montre un symptôme rencontré dans les palmeraies visitées. L'ensemble des feuilles ont présenté une coloration allant de jaune pâle à jaune paille. La coloration jaune était plus intense dans la partie supérieure de la plupart des feuilles en s'éloignant du pétiole. Les feuilles présentaient des taches jaunes à jaunes orangées de formes irrégulières observées le long des bordures du limbe de certaines folioles, ou éparpillées sur tout le limbe d'autres folioles (Figure 4), notamment sur les feuilles plus âgées. De même, il a été observé au cours de la prospection, dans d'autres plantations des arbres avec des feuilles dont les folioles présentaient des déformations très variées (Figure 5). Elles étaient plissées (Figure 5 a), atrophiées (Figure 5 b), en crochet (Figure 5 d) ou gaufrées (Figure 5 e), ou encore des folioles dépigmentées sur les bordures du limbe (Figure 5 c) ou sur la partie centrale (Figure 5 f). Les symptômes que nous avons rattachés à une déficience en bore ont été rencontrés surtout sur les sols ferrallitiques. D'autres symptômes de déficiences minérales, qui ont été rencontrés lors de la prospection sont ceux de la Figure 6. Les folioles avaient une coloration verte olive (Figure 6 a) ou jaune-orangée (Figure 6 b). Toutefois, il a été observé que certaines feuilles ou des folioles qui ne sont pas exposées directement au soleil étaient restées vertes (Figures 6 b et c). Il a été observé que les folioles présentaient des aspects orange de part et d'autre de la nervure principale qui est restée verte.



**Figure 3** : Symptôme de déficience en azote chez un jeune plan de palmier à huile



**Figure 4** : Symptôme de déficience en potassium au niveau d'une feuille de palmier à huile



**Figure 5** : Symptôme de déficience en bore (a: feuille plissée; b: Feuille atrophiée; c et f : Bande blanche longitudinale; d : feuille en crochet; e : feuille ondulée ou gaufrée)



**Figure 6:** Symptôme de déficience en magnésium au niveau d'une feuille de palmier à huile

Ces différents symptômes de déficience minérale ont été parfois observés, dans la même palmeraie sur des arbres différents ou dans des plantations différentes, et pourraient impacter négativement la production de régimes à l'échelle de l'arbre ou de la parcelle. De plus il est à noter, que les manifestations visibles des symptômes de déficience relatives à l'azote, potassium, magnésium et au bore sont observées au niveau de toutes les plantations. Toutefois, les symptômes de déficience en bore sont plus observés dans les plantations du département du plateau (observation du « *white strip* ») (Figure 5 c).

#### **2.4. Distribution spatiale des plantations prospectées selon les types de sols**

Sur la base de la carte pédologique (Figure 7), quatre types de sol (Tableau 4) au sud Bénin sont favorables à la culture du palmier à huile : les sols ferrallitiques (87,03% et 85,85% respectivement dans l'Ouémé et le Plateau correspondant aux Acrisols (FAO, 2006), les sols hydromorphes (10,18% et 1,89% respectivement dans l'Ouémé

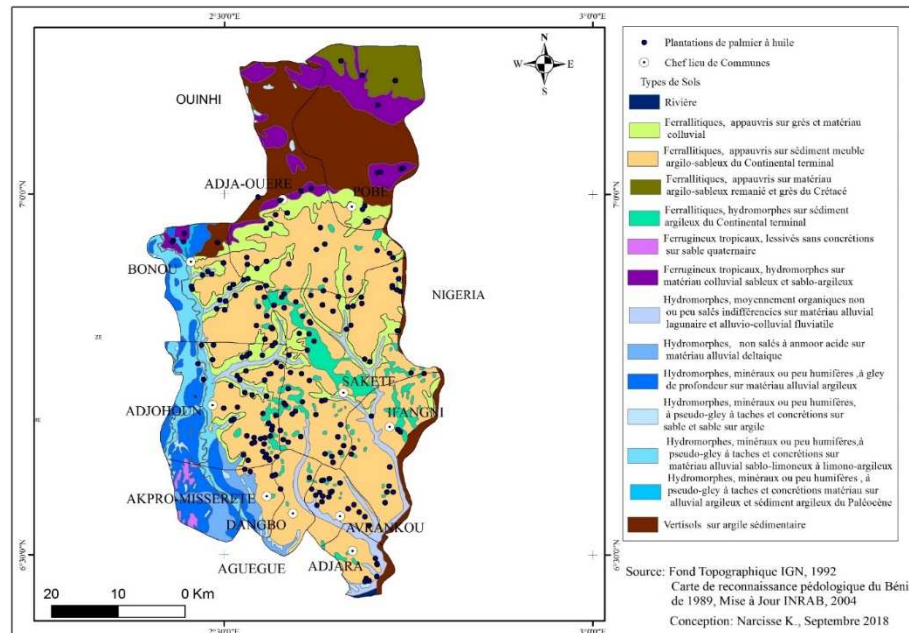
et le Plateau), les sols ferrugineux (1,85% dans l’Ouémé et 8,49% dans le plateau) tropicaux non lessivés (Ferric and Plintic Luvisols) et les vertisols (respectivement 0,93% et 3,77% dans l’Ouémé et le Plateau) avec une dominance du type ferrallitiques appauvris sur sédiment meuble argilo-sableux du Continental Terminal aussi bien dans l’Ouémé (63,89%) que dans le Plateau (66,98%).

**Tableau 4a:** Pourcentage (%) des types de sol sous plantation de palmier à huile dans la zone d’étude

Types de sol sous plantation de palmier	Ferrallitiques, appauvris sur grès et matériau colluvial (Ferral 1)	Ferrallitiques appauvris sur sédiment meuble argilo-sableux du Continental Terminal (Ferral 2)	Ferrallitiques hydromorphes sur sédiment argileux du Continental Terminal (Ferral 4)	Ferrugineux tropicaux hydromorphes sur matériau colluvial sableux et sablo-argileux (Ferru 2)
<b>Ouémé</b>	19,44	63,89	3,70	1,85
<b>Plateau</b>	13,21	66,98	5,66	8,49

**Tableau 4b:** Pourcentage (%) des types de sol sous plantation de palmier à huile dans la zone d’étude

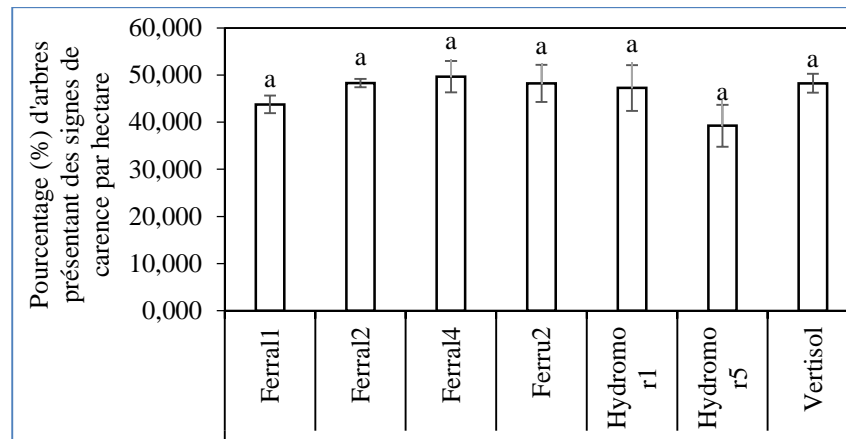
Types de sol sous plantation de palmier	Hydromorphes moyennement organiques non ou peu salés indifférenciés sur matériau alluvial lagunaire et alluvio-colluvial (Hydromor 1)	Hydromorphes, minéraux ou peu humifères, à pseudo-gley à concrétions sur matériau argileux et argileux du Paléocène (Hydromor 5)	Vertisols sur argile sédimentaire
<b>Ouémé</b>	6,48	3,70	0,93
<b>Plateau</b>	1,89	0,00	3,77



**Figure 7 :** Carte de sol avec la distribution spatiale des plantations prospectées

### 2.5. Manifestation des symptômes de déficience des feuilles de palmier à huile en fonction des types de sol

La Figure 8 présente les pourcentages d'arbre présentant des symptômes de déficience minérale dans les palmeraies en fonction des différents types de sol dans la zone d'étude. Il ressort de l'analyse de cette figure que les sols ferrallitiques appauvris sur sédiment meuble argilo-sableux du continental terminal, les sols ferrallitiques hydromorphes sur sédiment argileux du continental terminal et les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes sur matériau colluvial sableux et sablo-argileux présentent les taux de manifestation des carences les plus élevés tandis que les sols Hydromorphes minéraux ou peu humifères, à pseudo-gley à tâche et concrétions sur matériau alluvial argileux et sédiment argileux du Paléocène présentent moins d'arbres affectés. Cependant, les résultats de l'analyse de la variance montrent qu'il n'y a aucune différence significative entre les pourcentages d'arbres présentant des symptômes de déficiences d'un type de sol à un autre.



**Figure 8** : Pourcentage d'arbre présentant des symptômes de déficience suivant les types de sols

Les histogrammes affectés des mêmes lettres alphabétiques ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ ) d'après le test de Student Newman-Keuls.

Le Tableau 5, présente la manifestation des symptômes de déficience selon la pratique ou non de fertilisation sur l'ensemble des sols sous plantation de palmier à huile. L'analyse des résultats du tableau révèle qu'au niveau des sols sous palmeraie ayant reçu une fertilisation minérale, le nombre d'arbre présentant des symptômes de déficience était significativement inférieur ( $P < 0,05$ ) à celui observé sur sols non fertilisés. Ces résultats indiquent que les aspects que présentent les feuilles du palmier à huile dans les plantations pourraient être dus à la baisse de la fertilité du sol d'une part et au manque d'apport régulier de fertilisants nécessaires pour le bon fonctionnement physiologique de l'arbre d'autre part.

**Tableau 5**: Effet des pratiques de fertilisation sur la manifestation des symptômes de déficiences minérales des feuilles de palmier à huile

Pratique de fertilisation	Pourcentage des symptômes de déficience minérale observés
Palmeraies fertilisées	$44,59 \pm 1,07$ a
Palmeraies non fertilisées	$49,75 \pm 0,96$ b
Probabilité	$< 0,0001$

Les moyennes suivies des mêmes lettres alphabétiques ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ ) d'après le test de Student Newman Keuls

### **3. Discussion**

#### **3.1. Manifestation des symptômes de déficience minérale**

Les plantations des départements de l'Ouémé et du Plateau sont pour la plupart constituées de matériel végétal sélectionné (90% et 95% respectivement pour l'Ouémé et le Plateau) dont l'âge moyen est de 9 ans. Cette adoption massive des plants sélectionnés dénote de la volonté des planteurs à augmenter leur rendement en régime et en huile. En ce qui concerne l'âge des plantations, la promotion du palmier sélectionné pour la réalisation des plantations villageoises au Bénin remonte aux années 1990 (Adjé *et al.*, 2001 ; Fournier *et al.*, 2002). Selon H. S. N. Aholoukpè *et al.*, (2013) la proportion de jeunes plantations de moins de 6 ans d'âge est élevée et explique une adoption récente du matériel végétal sélectionné en plantation villageoise au Bénin. Les densités moyennes de plantation dans l'Ouémé et le Plateau sont respectivement de 145 et 146 arbres/ha indépendamment des types de sol. Ces densités de plantation que nous avons observées dans les deux zones d'étude ne s'éloignent pas des densités usuelles telles que 135 - 160 arbres /ha (J-Ch. Jacquemard, 2011, p.48). Nos valeurs avoisinent celles de H. S. N. Aholoukpè *et al.*, (2013), qui ont rapporté que les planteurs installent des plants en bordure du champ qui portent la densité à 150 plants/ha au lieu de 143 arbres/ha suivant le dispositif des plantations industrielles, en triangles équilatéraux de 9 m de côté.

Les feuilles de palmier à huile observées dans les plantations prospectées présentent des signes de chlorose manifestes, des taches de couleur orange, de bande blanche longitudinale, des ondulations et de déformation caractérisée par un rabougrissement des feuilles. Ces symptômes observés dans la plupart des plantations prospectées indépendamment du type de sol, sont comparables aux descriptions faites par T. Fairhust et J. P. Caliman (2001) ainsi que celles de S. K. Behera *et al.*, (2017). Ces auteurs indiquent des manifestations des carences en azote, en potassium, en magnésium et en bore.

Les bandes blanches longitudinales sont également comparables à la description de déficience en bore faite par Fairhurst et Caliman (2001) ou en cas de déséquilibre nutritionnel entre le potassium et le bore, qui empêche la mobilisation du bore par la plante (J-Ch. Jacquemard *et al.*, 2006, p.7). Toutefois la déficience en bore peut présenter d'autres symptômes comme l'apparition de feuilles ressemblant à l'arête de poisson (T. Fairhurst et J. P. Caliman, 2001, p8-30, S. K. Behera *et al.*, 2017). Ce symptôme caractéristique de déficience en bore, n'a pas été rencontré au cours de notre prospection, il est possible que le niveau de déficience dans les plantations prospectées n'ait pas été suffisamment sévère. Il est important de noter que les différentes formes de manifestation des symptômes de déficience minérale en bore pourraient réduire la surface foliaire du moment où les folioles se recroquevillent ou ne sont pas bien épanouies. Cette réduction de la surface foliaire va impacter l'activité photosynthétique à travers la diminution de la fixation de la quantité de CO<sub>2</sub> (L. S. Woittiez *et al.*, 2017, p.57).

Ces différents symptômes de déficience minérale ont été parfois observés, dans la même palmeraie sur le même arbre, sur des arbres différents ou dans des plantations différentes, et pourraient impacter négativement la production de régimes à l'échelle de l'arbre ou de la parcelle. De plus, Selon B. N. Rao *et al.* (2014, p.2), le déséquilibre entre l'azote et le potassium (ratio N/K), la déficience en K, Mg et en B sont les déficiences majeures qu'on observe en plantation et qui affectent la production du palmier à huile.

Nos résultats, suggèrent que dans les plantations visitées, une grande partie des arbres souffrent de déficience minérale, leurs feuilles n'auraient pas une activité photosynthétique optimale du fait de la perte de leur coloration verte. En effet, la coloration verte des feuilles des végétaux supérieurs comme le palmier à huile, leur est donnée par la couleur verte des chlorophylles qui jouent un rôle fondamental dans le transport et l'absorption des photons au cours de la photosynthèse. Quoique de faible niveau de déficience minérale en N et K n'induit pas forcément une réduction de la teneur en chlorophylle (E. Cadet, 2008, p.64), une déficience minérale avec des symptômes visibles de N ou/et du K diminue sans doute la teneur en chlorophylle, puisque l'azote et le Mg entrent dans la composition

chimique des chlorophylles (H. Harkat, 2014, p.5) et tandis que l'effet du K sur la teneur en chlorophylle serait indirect à cause de son implication dans différentes réactions métaboliques (H. Harkat, 2014, p.5). Cependant, la déficience en K a un impact négatif direct sur la photosynthèse puisqu'une déficience potassique induit une fermeture des stomates et une réduction de la vitesse de carboxylation (E. Gérardeaux, 2009, p.329). Nos futures études en relation avec la déficience minérale chez le palmier à huile aborderont ces aspects de la question.

J-Ch. Jacquemard *et al.*, (2006, p.7) ont indiqué que les bandes blanches longitudinales résultent d'un déséquilibre nutritionnel entre l'azote et le potassium et que l'observation des feuilles en crochet pourrait être également due à l'incapacité génétique de l'arbre à mobiliser le bore. De même, l'observation de taches oranges n'est pas systématiquement du fait d'une déficience potassique ou magnésique elle peut être liée à une anomalie génétique (J-Ch. Jacquemard, 2011, p.44). Au cours de notre prospection, nous n'avons pas pu relier les fréquences de manifestation de chaque type de symptôme de déficience aux différents types de sol sous palmeraie. Mais, de façon générale le pourcentage de manifestation à l'hectare de l'ensemble des symptômes de déficience minérale est de 47% dans la zone d'étude. Ce taux de manifestation montre que, la production pourrait être considérablement affectée si rien n'est fait. Par conséquent, il est important que la présente étude de prospection soit complétée par des diagnostics foliaires et des analyses du sol, pour apprécier si les teneurs des feuilles et dans le sol en N, K, Mg et B sont en dessous des seuils critiques afin de procéder à la mise en place d'une nouvelle formule de fertilisation du palmier à huile dans le sud-Bénin.

### **3.2. Type de sol sous palmeraie et pratique de fertilisation sur la manifestation des symptômes**

L'aspect des plantes en culture reflète dans une certaine mesure l'état de fertilité du sol support de la plantation. La projection des coordonnées des plantations prospectées sur la carte pédologique du Sud-Bénin, révèle qu'il y a quatre grands types de sols favorables à la culture de palmier à huile : à savoir les sols ferrallitiques, les sols hydromorphes, les sols Ferrugineux et les vertisols avec une

dominance du type ferrallitique appauvris sur sédiment meuble argilo-sableux du Continental Terminal aussi bien dans l'Ouémé (64%) que dans le Plateau (67%). Nos résultats corroborent ceux de H. S. N. Aholoukpè (2013, p.55) qui ont identifié quatre types de sol (ferrallitiques faiblement désaturés, ferrugineux, hydromorphes et vertisols) sous plantation du palmier à huile dont le plus représentatif est du type ferrallitique (65% de la couverture pédologique du Département du Plateau) avec une dominance (49%) de la sous-classe ferrallitiques formés sur sédiment meuble argilo-sableux du Continental Terminal. Selon les auteurs, cela pourrait être dû d'une part au fait que les palmiers à huile naturels sont plus observés sur les sols ferrallitiques et d'autre part du fait que les précurseurs de la culture du palmier à huile l'ont installé sur ce même type de sol. En effet, les sols ferrallitiques sont plus favorables à la culture du palmier à huile (H. S. N. Aholoukpè, 2013, p.55 ; V. Agossou, 1983, p.10) tandis que les autres types de sols offrent des contraintes physiques plus importantes que les sols ferrallitiques (H. A. Azontondé, 1991, p253-254) et par conséquent sont moins propices à la culture de palmier à huile. Cependant, le palmier à huile est apte sur presque tous les types de sol dont les plus appropriés sont ceux bien drainés, riches en matières organiques avec une capacité de rétention en eau adéquate (S. K. Behera *et al.*, 2017, p.116). En effet, ces mêmes auteurs ont obtenu des résultats similaires sous plantation de palmier à huile en Inde, en identifiant une grande variété de sol allant des « Alfisols, Inceptisols, vertisols à Oxisols » (selon la taxonomie des sols de l'USDA).

Nos résultats ont révélé que la manifestation des symptômes de déficience minérale est relativement faible dans l'Ouémé que dans le Plateau. Mais l'hétérogénéité de la couverture des sols au niveau des départements a suscité une analyse au niveau des communes qui a révélé que la manifestation des symptômes de déficience minérale est sensiblement faible sur sols hydromorphes (Adjohoun, Bonou) que sur sols ferrallitiques (Sakété et Pobè). Cette différence s'explique par le fait que plus de 50% des producteurs du département du Plateau ne fertilisent pas leur plantation alors que la majorité des plantations de ce département se trouvent sur des sols ferrallitiques reconnus déficients en potassium. La déficience du potassium pourrait constituer un élément limitant le prélèvement

d'autres éléments nutritifs. Il est aussi possible que la mobilité des minéraux pendant la saison sèche ait rendu plus difficile l'accès des minéraux aux palmiers notamment sur les sols ferrallitiques que sur les sols hydromorphes qui sont souvent plus humides pendant la saison sèche. En effet, lorsque le sol devient de plus en plus sec pendant la saison sèche, la mobilité des minéraux du sol diminue et leur accès aux plantes devient plus difficile (P. B. Tinker et Nye, 2000, p.285) et pourrait induire des déficiences minérales au niveau des arbres. Cependant, les manifestations des déficiences minérales peuvent ne pas résulter d'une carence minérale dans le sol ou d'un manque de fertilisation ou des difficultés d'accès aux minéraux pendant la saison sèche.

Toutefois, nos résultats indiquent une réduction de la manifestation des symptômes de déficience sur les sols fertilisés comparativement aux sols non fertilisés. Ces résultats montrent l'importance de la fumure minérale pour la culture du palmier à huile. En effet, dans la zone d'étude, plus de 50% des plantations ne sont pas fertilisées alors que le palmier à huile prélève d'important nutriments du sol dont la non restitution entraîne à la longue, une déficience au niveau du sol qui se manifeste à travers le fonctionnement physiologique de l'arbre.

### **Conclusion**

En somme, les palmiers à huile des palmeraies des départements de l'Ouémé et du Plateau présentent des symptômes de chlorose, des taches oranges, feuilles ondulées et gaufrées, des rabougrissements ou malformations ainsi que des bandes blanches longitudinales qui indiquent que quatre types de symptômes de déficiences minérales ont été rencontrés dans les palmeraies prospectées. Il s'agit des symptômes de déficiences en azote, en potassium, en magnésium et en bore. La fréquence des symptômes de déficiences a été plus faible dans les communes de Bonou et Adjohoun que dans les communes de Sakété et de Pobè. Les futures études seront orientées vers le diagnostic foliaire et les analyses du sol pour confirmer la diversité des déficiences minérales dans les deux départements d'une part, et vers l'impact de ces déficiences sur la croissance et les paramètres physiologiques.

## Remerciement

Nous remercions le Centre de Recherche Agricole Plantes Pérennes (CRA-PP) de l'Institut National de Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) pour avoir financé cette étude. Nos remerciements vont également à l'endroit de tous ceux qui ont participé à l'amélioration de la qualité scientifique du manuscrit.

## Références bibliographiques

**Adjé A. Isaac., Adjadi Ernest, 2001**, « Diffusion du matériel végétal amélioré palmier à huile en milieu villageois : l'expérience du Bénin ». *Oléagineux Corps Gras et Lipides*, **8(5)**, 529-533.

**Aholoukpè Nonwègnon Sayimi Hervé, 2013**, Matière organique du sol et développement du palmier à huile sous différents modes de gestion des feuilles d'élagage. Cas des palmeraies villageoises du département du Plateau au Bénin. Spécialité : Ecosystèmes et sciences agronomiques, Thèse de doctorat soutenue au Bénin, délivré par Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier/France & L'Université d'Abomey-Calavi/Bénin., 294p.

**Aholoukpè Nonwègnon Sayimi Hervé, Vissoh Vinasseho Pierre, Amadji Guillaume Lucien, Deleporte Philippe, Dubos Bernard, Nodichao Léfi, Glèlè Kakai Romain, Chotte Jean-Luc, Blavet Didier, 2013a**, « Typologie des plantations villageoises de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) dans le département du Plateau au Bénin ». *Accepté dans International Journal Biology Chemical Science*. **7 (3)** : 978-999.

**Agossou V., 1983**, Les sols béninois et leurs potentialités agricoles. Document de colloque: Premières journées de la science et de la technologie, Cotonou, 10-16 octobre 1983. PNUD/FAO, p. 10.

**Azontondé H. Anastase., 1991**, « Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. Soil Water. Balance in the

SudanoSahelian Zone ». Proceedings of the Niamey Work Shop. February 1991. *IA HS Publication*. **199**: 253-256.

**Bah Lias., 2011**, « Oil palm N P K Mg fertiliser trial (Sei Lakitan) EXPT EG00.1412A ». In: Bah Lias *Annual Report* **1**, 89–92.

**Behera S. K., Suresh K. & Rao B. N., Ramachandrudu K., Manorama K., Harinarayana P., 2017**, Soil fertility and yield-limiting nutrients in oil palm plantations of north-eastern state Mizoram of India, *Journal of Plant Nutrition*, **40**:8, 1165-1171.

**Braconnier S. et d'Auzac J., 1985**, « Anatomical study and cytological demonstration of potassium and chlorine flux associated with oil palm and coconut stomatal opening ». *Oléagineux* **40**, 547–551.

**Broschat T. K., 2005**, Nutrient Deficiencies of Landscape and Field-grown Palms in Florida. ENH1018, one of a series of the Environmental Horticulture Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 12p.

**Broschat T. K., 2009**, « Palm Nutrition and Fertilization ». *Horttechnology*, **19** (4), 690-694

**Cadet E., 2008**, Détection et discrimination des carences en N, P, K par la fluorescence induite par UV chez le tournesol nain (*Helianthus annuus*, “Sunspot”). mémoire de Maitrise en sciences de l'environnement Université du Québec à Trois-Rivières (Canada). 66p.

**Cakmak I. et Yazici A. M., 2010**, « Magnésium: A forgotten Element in cropp production ». *Better crops*, **94**, 22-25.

**Caliman J.P., Daniel C., Tailliez B., 1994**, « La nutrition minérale du palmier à huile ». *Plantation Recherche et Développement*, **1**(3),36-53.

**CeRPA, 2011**, Base de données des producteurs du palmier à huile des départements de l’Ouémé et du Plateau.

**Corley, R.H.V., Tinker, P.B., 2016**. The Oil Palm. John Wiley & Sons, New York, <http://dx.doi.org/10.1002/9781118953297>.

- Dagnelie P., 1998.** *Statistique théorique et appliquée : Tome 1. Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique.* Bruxelles, De Boeck, 517p.
- Fairhurst T. et Caliman J. P., 2001,** *Symptômes de déficiences minérales et anomalies chez le palmier à huile (Elaeis guineensis Jacq.) : description, origine, prévention, correction.* Guide de poche. ESEAP, 7, 60p.
- FAO, 2006,** *World reference base for soil resources*, 2nd edn. World Soil Resources Reports No. 103. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 145p.
- Farrag, E.S.H., and Abo-Elyousr., 2011,** « Occurrence of some fungal disease on date palm trees in upper Egypt and its control ». *Plant Pathology Journal*, **10** :154-160.
- Gérardeaux E. Saur E., Constatin J., Porté A., Jordan-Meille L., 2009,** « Effect of carbonassimilation on dry weight production and partitioning during vegetative growth ». *Plant Soil* **324** :329-343.
- Harkat, 2014.** Appréciation de la nutrition minérale de la vigne (vitis vinifera L.), en quelques vignobles de la region de Skikda par la demarche de l'enquête. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magistère en Biologie et Physiologie Végétale. Université de Constantine 1. 36p.
- Husain S. H., Yaacob A., Goh K. J., 2015.** Nitrogen Fertilization and its Effect on Boron Uptake and Distribution in Young Oil Palm. Conference paper, Poster, 1p.
- IGN, 1992,** Base de données numériques de la carte de reconnaissance pédologique du Bénin.
- Jacquemard J. C., Suryana H. E., Kurnia D., 2006,** Expression of boron deficiency symptoms and link with the genotype in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) Communication presented at IOPC 2006, Bali International Convention Center, NusaDua, Bali Indonesia, 19 - 23 June 2006, 14p.

- Jacquemard J-C, 2011, *Le palmier à huile* ; Editions Qua, RD 10, 78026 Versailles Cedex, Presses agronomiques de Gembloux, 275p.**
- Nodichao L., Aké S. et Jourdan C., 2007, « Effet du potassium et du déficit hydrique modéré sur la transpiration et l'absorption potassique chez six géotypes de palmier au stade juvénile. *Agronomie Africaine* 19(2), 151-160.**
- Nouy B, Baudouin L, Djégui N, Omoré A. 1999, « Le palmier à huile en conditions hydriques limitantes » *Plantation Recherche Développement*, 6 (1) : 31-45.**
- Oettli P., Behera S. K, et Yamagata T., 2018, « Climate Based Predictability of Oil Palm Tree Yield in Malaysia ». *Scientific Reports* 8, 22-71.**
- Rao, B. N., Suresh, K., Behera, S. K., Ramachandrudu, K. and Manorama, K., 2014. Nutrient management in oil palm. *Technical Bulletin*, DOPR, Pedavegi. pp. 1-24.**
- Tinker P. B. et Nye P. H., 2000. *Solute movement in the rhizosphere*. Oxford University press, Oxford. 444p.**
- Tohiruddin, L., Tandiono, J., Silalahi, A.J., Prabowo, N.E., Foster, H.L., 2010, « Effects of N, P and K fertilizers on leaf trace element levels of oil palm in Sumatra ». *Journal Oil Palm Research*. 22, 869-877.**
- Woittie L. S., van Wijk M. T., Slingerl and M., van Noordwijk M., Giller K. E., 2017. Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal Agronomy* 83 : 57-77**