



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Réponse de l'ananas (*Ananas comosus* L. Merrill) à la fertilisation minérale élémentaire sur sol ferrallitique au Sud du Bénin

Gbènoukpo Emile PADONOU^{1*}, Hervé Nonwègnon Sayimi AHOLOUKPE², Elvire Line SOSSA¹, Aliou SAIDOU¹ et Guillaume Lucien AMADJI¹

¹Laboratoire des Sciences du Sol, Département de Production Végétale, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 RP Cotonou, Bénin.

²Centre de Recherches Agricoles Plantes Pérennes, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, BP 01 Pobè, Benin.

*Auteur correspondant ; E-mail : emilepadonou@yahoo.fr, Tél : (+229)97773718

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Projet de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) pour son soutien matériel et financier à la réalisation de ces travaux de recherche.

RESUME

La non disponibilité d'engrais spécifiques pour la culture de l'ananas amène les producteurs à appliquer diverses formulations d'engrais qui affectent négativement le rendement de la culture. Dans la perspective de mettre au point une formule d'engrais pour la culture de l'ananas, des expérimentations ont été conduites dans les communes de Zè et Toffo pour tester la réponse de l'ananas aux doses croissantes d'azote (N), de phosphore (P), de potassium (K) et de magnésium (Mg), suivant un dispositif de bloc aléatoire complet à six traitements et quatre répétitions pour chaque éléments fertilisants. Le N a été apporté sous la forme d'urée, le P sous la forme de Triple superphosphate, le K sous la forme de sulfate de potassium et le Mg sous la forme de sulfate de magnésie. Les doses de N, K et Mg ont significativement augmenté ($p < 1\%$) la vigueur des plants une semaine avant l'induction florale. Les optimums de nutriments déterminés étaient : 276 kg N.ha⁻¹, 121,44 kg P.ha⁻¹, 415 kg K.ha⁻¹, et 21,4 kg Mg.ha⁻¹ pour un niveau de rendement variant de 40 à 98 t.ha⁻¹ d'ananas frais dans les deux communes. Ces doses serviront pour formuler un engrais spécifique à la production de l'ananas au Bénin.

© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Fertilité des sols, courbe de réponse, doses optimales, formulation d'engrais, modélisation

Pineapple (*Ananas Comosus* L. Merrill) response to simple fertilizer on a ferralsol in southern Benin

ABSTRACT

The unavailability of specific fertilizer for pineapple production in Benin let farmers to apply different mineral fertilizer formulae, available in the market. Those formulae reduce

pineapple yield. A study carried out in the Atlantic department, southern part of Benin, aimed at assessing the pineapple response to different level of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and magnesium (Mg) mineral fertilizer in a complete random bloc design with six treatments and four replications. Six doses of specific mineral fertilizer for each nutrient have been tested. Magnesium was supplied in the form of sulphate of magnesia at doses of 0 - 5.35 - 10.7 - 21.4; 32.1 and 42.8 kg K.ha⁻¹. Optimal doses of N, P, K and Mg were determined using quadratic regression. Results showed that nitrogen, potassium and phosphorus had affected significantly ($p < 1\%$) the vigour of pineapple plant at the moment of flowering induction. Pineapple optimal production need 276 kg.ha⁻¹ of nitrogen, 121.44 kg.ha⁻¹ of phosphorus, 415 kg.ha⁻¹ of potassium and 21.4 kg.ha⁻¹ of magnesium whatever the site. These levels of nutrient provided a yield between 40 and 98 t.ha⁻¹. These doses of nutrients could be used to formulate a specific fertilizer to improve pineapple production in southern Benin.

© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Soil fertility, surface response, optimal doses, pineapple fertilization, linear regression.

INTRODUCTION

La culture de l'ananas est en pleine expansion au Bénin où la production est passée de 222 223 tonnes en 2009 à 358 859 tonnes en 2015, soit un accroissement de 61,48% en 6 ans (FAO, 2015). En Afrique de l'Ouest, le Bénin a occupé en 2011, la deuxième place après le Nigéria avec 160.000 tonnes (FAO, 2013). Cependant, plus de 50% de l'ananas béninois exportés vers l'Europe sont rejetés pour non-conformité aux normes. Sur des productions de 222 223 tonnes en 2009 et 220 800 tonnes en 2010, seulement 7 et 28 tonnes d'ananas ont pu être exportées vers l'Europe (FAO, 2009 ; 2011). Le reste de la production est vendue sur les marchés locaux et régionaux, moins exigeant sur la qualité du produit et ce, à un bas prix (Gbénou et al., 2006).

La culture de l'ananas au Bénin est confrontée à plusieurs contraintes dont l'inexistence d'engrais spécifique. Or, au sud du Bénin les mêmes terres sont de plus en plus cultivées en réponse à une large gamme d'externalités (Saidou et al., 2012). L'application des engrais non spécifiques affecte la qualité du fruit et réduit le volume de fruits exportables (Fassinou-Hoteigni et al., 2012). Or en Afrique subtropicale, plusieurs sols ont, de façon intrinsèque, un faible niveau de fertilité. Dans la mesure où les nutriments exportés par les cultures ne sont pas convenablement remplacés, la solution la plus évidente à la baisse de la fertilité est l'apport

de nutriments sous forme d'engrais minéraux (Yemadjè, 2013). L'ananas demande de grandes quantités de nutriments pour sa production et les doses recommandées dépassent souvent ce que la plupart des terres cultivées peuvent apporter (Souza et Reinhardt, 2006). De plus, les pratiques de fertilisation actuellement en cours sont loin de répondre à ces besoins. Très peu de travaux se sont intéressés à la fertilisation minérale de l'ananas au Bénin. Une étude menée sur les différents types de fertilisation minérale de l'ananas dans la commune d'Allada a permis d'affirmer que l'engrais N₁₀P₂₀K₂₀ n'est plus efficace (Kintohou, 2003). Selon une fiche technique de la Fédération des Groupements d'Intérêts économiques de l'Atlantique (FGIA), il est appliqué actuellement pour la production de l'ananas un apport (en 4 fractions) de 88 kg d'urée et de 100 kg de sulfate de potassium pour 10.000 plants; ce qui revient à 4 g de N.plant⁻¹ et 5 g.plant⁻¹ de K₂O. Les travaux de Fassinou (2014) et de Sossa et al. (2014) ont montré que les producteurs appliquaient des doses très variables sur le plateau d'Allada. Or ces doses sont très inférieures à celles recommandées par la Recherche depuis près de 15 ans (Gbèhounou et Gbassi, 2004). Plusieurs chercheurs ont d'ailleurs souligné la nécessité d'actualiser les doses d'engrais recommandées par la Recherche après avoir rappelé le caractère obsolète des recommandations d'engrais en Afrique

subsaharienne (Agbangba, 2008 ; Fassinou, 2014). En effet, ces recommandations ne tiennent compte ni de la dégradation des sols, ni de la diversité des sols et des cultures, ni de la diversité et de la variabilité du climat (Saïdou et al., 2018). Aussi, selon Beltrando (2004), la production de l'ananas est-elle toujours pluviale et subit, comme dans toute l'Afrique de l'Ouest, une fluctuation pluviométrique régionale très marquée depuis les années 1970. La variabilité climatique étant l'un des principaux facteurs de la variabilité de la production agricole dans tous les pays, il est important d'actualiser les besoins nutritionnels de l'ananas. Agbangba et al. (2016) ont mis au point des doses de fertilisant N, P et K pour la nutrition minérale de l'ananas par la modélisation. Ces doses étaient de 6,76 g.plant⁻¹ pour l'azote, 1,60 g.plant⁻¹ pour le phosphore et 9,45 g.plant⁻¹ pour le potassium. Mais ces modèles ont pris comme paramètres d'entrées les faibles doses appliquées par les producteurs et non les besoins réels de la culture pour l'obtention d'un rendement optimal. La présente étude vise à améliorer la production de l'ananas par la détermination des besoins réels en azote, phosphore, potassium et magnésium pour l'expression du potentiel optimal de production de l'ananas dans les conditions pédoclimatiques actuelles du sud Bénin.

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude

Les essais se sont déroulés de novembre 2013 à avril 2015 et ont été répétés de juin 2015 à décembre 2016, dans les champs d'ananas situés dans les communes de Toffo (6°48'41''N et 2°13'50''E) et de Zè (6°42'12''N et 2°15'48''E). Ces deux communes sont situées au sud du Bénin, une région de grande production de l'ananas, dont les emblavures sont croissantes d'année en année. Les sols qui ont abrité les essais sont de type ferrallitique, avec une texture limono-sableuse selon les caractéristiques granulométriques. Ils sont faiblement acides à neutres et disposent de faibles propriétés physico-chimiques (Tableau 1). La zone jouit d'un climat de type subéquatorial, avec quatre saisons dont deux saisons de pluies (de mars à

juin et de septembre à novembre) et deux saisons sèches (juillet à septembre et novembre à mars). Les hauteurs moyennes annuelles des pluies varient entre 1100 et 1400 mm. Cette pluviométrie correspond à la culture de l'ananas, en comparaison avec l'optimum nécessaire à la culture situé entre 1200 et 1500 mm de pluie par an (Scahier et Texido, 2001).

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué des rejets de la variété d'ananas Cayenne lisse. La Cayenne Lisse est une variété dont les fruits à maturité complète ont une forme cylindrique, orange, chair jaune, sucré et acide. Le fruit convient aussi bien pour la transformation que pour l'exportation en frais. C'est une variété plus acide et plus performante que le pain de sucre avec un rendement de 60 à 70 tonnes.

Dispositif expérimental

Un dispositif de Fisher est installé pour chaque élément nutritif dont six doses croissantes répétées quatre fois ont été testé. Les doses croissantes d'engrais minéraux nommées de T0 à T5 et inspirées des besoins réels en N, P, K, Mg de l'ananas (Coleacp, 2009) ont été appliquées. L'azote a été apporté sous forme d'urée aux doses de 0 – 69 – 138 – 276 – 414 et 552 kg N.ha⁻¹ en six fractions égales soit : 0 - 11,5 - 23 - 46 - 69 et 92 kg N.ha⁻¹ par apport. Le phosphore a été apporté sous forme de triple superphosphate (TSP) aux doses de: 0 - 30,36 - 60,72 ; 121,44 - 182,16 et 242,88 kg P.ha⁻¹. Le potassium a été apporté sous forme de K₂SO₄ aux doses de: 0 - 103,75 - 207,5 - 415 - 622,5 et 830 kg de K.ha⁻¹ en 6 fractions soit: 0 - 17,3 - 34,6 - 69,16 - 103,75 et 138,33 kg.ha⁻¹ de potassium par apport. En ce qui concerne le magnésium, il a été apporté sous forme de sulfate de magnésie aux doses de: 0 - 5,35 - 10,7 - 21,4 - 32,1 et 42,8 kg Mg.ha⁻¹. Soulignons que le phosphore et le magnésium ont été appliqués en fumure de fond alors que l'azote et le potassium ont été apportés tous les deux mois à partir du 1^{er} mois après plantation. L'ananas a été planté sur des parcelles élémentaires d'une dimension de 6

m x 5 m sur 8 lignes à une densité de 55 556 plants/ha (0,6m x 0,3m). La fertilisation a été faite par plant.

Collecte de données

Trois variables d'appréciation de la vigueur individuelle des plants d'ananas ont été évaluées une semaine avant le traitement d'induction florale (TIF) sur quatre plants prélevés au hasard sur chaque unité parcellaire. Il s'agit : (1) du nombre de feuille fonctionnelle (NF) (toutes les feuilles vertes à l'exception de celles qui ont jaunies sur au moins 10 cm de leur longueur) ; (2) de la longueur de la feuille D (LD) (la feuille la plus longue sur le plant d'ananas (Malézieux et al., 2003) ; et (3) le produit (NL x LD). Le nombre de feuille fonctionnelle indique l'état de développement du plant à l'induction florale ; la feuille D est utilisée pour évaluer la croissance et le statut nutritionnel du plant d'ananas (Malézieux et al., 2003); le produit NL x LD représente la vigueur du plant à l'induction florale. La feuille D représente la feuille la plus longue identifiée par regroupement de toutes les feuilles de la plante. Sa longueur a été mesurée avec un mètre ruban. A maturité (5 mois après le TIF), les fruits des lignes centrales de chaque unité parcellaire ont été récoltés et pesés. Le rendement a été calculé par extrapolation à

partir du poids moyen d'un fruit de chaque parcelle. Le sol a été prélevé avant la mise en place de l'essai pour la détermination du pH_{eau} et du pH_{KCl} par la méthode potentiométrique (Jakson, 1968), de l'azote par la méthode de Kjeldahl (1883), du phosphore assimilable par la méthode de Bray et Kanza (1945), le potassium et le magnésium par la méthode de Metson (1956).

Analyse des données

La procédure GLM du logiciel Statistical Analysis System version 9.2 (SAS v. 9.2) a été utilisée pour les analyses statistiques de la vigueur des plants avant le TIF. Ces analyses ont essentiellement consisté en des analyses de la variance à deux facteurs (dose, commune). Les valeurs moyennes, ont été comparées entre elles à l'aide du test de Student Newman Keuls au seuil de 5%. Afin de déterminer la relation entre la vigueur du plant à l'induction florale et le rendement, une régression linéaire simple par type d'élément fertilisant a été réalisée avec le logiciel Minitab 17. Les doses optimales de N, P, K et Mg ont été ensuite déterminées par des analyses de régression polynomiales des courbes de réponses en utilisant le logiciel Statistical Analysis System version 9.2 (SAS v. 9.2).

Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques du sol avant essai.

Paramètres	Zè	Toffo	Zè	Toffo	Zè	Toffo
	0-20 cm		20 - 40 cm		40 - 60 cm	
pHeau (1/2,5)	6,47	6,82	6,5	6,52	5,82	5,93
pHKCl	6,2	6,38	5,85	5,76	4,98	5,26
Carbone organique (g.kg ⁻¹)	3,9	6,3	3,2	4,1	2,1	3,3
Azote total (g.kg ⁻¹)	0,4	0,6	0,4	0,5	0,2	0,2
P assimilable (mg.kg ⁻¹)	23,08	36,41	17,12	22,73	16,22	19,93
K échangeable (cmol ⁺ .kg ⁻¹)	0,1	0,09	0,08	0,06	0,12	0,08
Granulométrie (%)	Sable	84,29	86,41	83,77	77,97	80,24
	Limon	6,6	3,9	4,9	9,05	4,05
	Argile	8,75	9,4	10,6	12,65	15,1

RESULTATS

Effet des doses croissantes de fertilisant sur la vigueur des plants avant induction florale sur les deux sites

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 2) ont montré que la vigueur des plants avant induction florale a été significativement ($P < 0,05$ à $P < 0,01$) améliorée par les doses croissantes d'azote et de magnésium dans les champs expérimentaux de Zè et par les doses croissantes de potassium dans les champs expérimentaux de Toffo. Le Tableau 3 présente l'effet des doses croissantes de fertilisants sur la vigueur des plants à l'induction florale. Il ressort de l'analyse de ce tableau que la vigueur des plants d'ananas augmente avec les doses croissantes de chaque type de fertilisant. Donc les éléments fertilisants contribuent chacun à sa manière à la croissance et au développement de la plante avec une nette action de l'azote et du potassium, suivi du magnésium et enfin du phosphore. Les plants les plus vigoureux ont été observés avec les doses de N. Les doses $T0 = 0$ ont présenté les plus faibles vigueur au niveau de chaque type de fertilisant.

Réponses de l'ananas à la fertilisation

Les Figures 1, 2, 3 et 4 présentent le rendement fruit de l'ananas respectivement sous l'effet des doses croissantes d'azote, de phosphore, de potassium et de magnésium. Les doses d'engrais ont induit une croissance quadratique du rendement fruit d'ananas dans chacune des localités. L'analyse des courbes d'évolution des rendements moyens d'ananas a montré qu'il existe une différence très hautement significative ($p < 0,001$) entre les deux communes. Cette différence serait due à la fertilité initiale du sol du site de Toffo qui comporte plus de nutriments que le site de Zè (Tableau1). Les doses optimales de fertilisants sont situées respectivement entre 138 et 414 kg N.ha⁻¹ pour l'azote ; 60,72 et 182,16 kg P.ha⁻¹ pour le phosphore ; 207,5 et 622,5 kg K.ha⁻¹ pour le potassium ; et pour le magnésium entre 21,4 et 42,8 kg Mg.ha⁻¹.

La réponse du rendement d'ananas selon la dose du fertilisant s'est présentée

suivant le modèle quadratique: $Y(x) = aX^2 + bX + c$, avec Y le rendement en ananas exprimé en 10³ kg.ha⁻¹, X la dose de fertilisants exprimée en kg.ha⁻¹, (a) un coefficient quadratique, (b) un coefficient linéaire et (c) une constante. Les coefficients de détermination (R^2) obtenus sont très élevés (0,760 à 0,986), indiquant ainsi que le rendement de l'ananas est fortement corrélé aux doses de fertilisants N, P, K, Mg et que les modèles obtenus sont valides.

L'analyse de cette régression quadratique a montré que les doses optimales (D_{opt}) pour les différents nutriments étudiés étaient: $D_{opt} N = 276$ kg N.ha⁻¹ ; $D_{opt} P = 121,44$ kg P.ha⁻¹ ; $D_{opt} K = 415$ kg K.ha⁻¹ ; $D_{opt} Mg = 21,4$ kg Mg.ha⁻¹. Ces doses ont permis d'obtenir respectivement dans les communes de Zè et de Toffo, les rendements d'ananas de 69 et 88 t.ha⁻¹ d'ananas pour l'azote ; 47 et 70 t.ha⁻¹ pour le phosphore ; 73 et 71 t.ha⁻¹ pour le potassium et 56 et 71 t.ha⁻¹ d'ananas pour le magnésium. Le rendement optimal le plus élevé est obtenu avec la dose de N. De façon générale, le site de la commune de Toffo a présenté les rendements les plus élevés. Ceci pourrait s'expliquer par les teneurs en nutriments du sol de ce site qui sont supérieurs à ceux du sol du site de Zè.

Prédiction du rendement de l'ananas à l'induction florale

Le Tableau 4 présente les résultats de la régression linéaire entre le rendement et la vigueur de la plante avant l'induction florale. L'analyse de ce tableau montre d'une part que le R^2 ajusté est très élevé (0,99) et d'autre part que les constantes et les coefficients sont très hautement significatifs pour tous les éléments fertilisants. Le rendement de l'ananas est donc fortement lié au produit du nombre de feuille de l'ananas par la longueur de la feuille D au moment de l'induction florale. Le fruit de l'ananas est donc le résultat du niveau de développement du plant avant l'induction florale. Plus le nombre de feuille d'un plant d'ananas est élevé et bien développé et plus ce plant donnera un gros fruit.

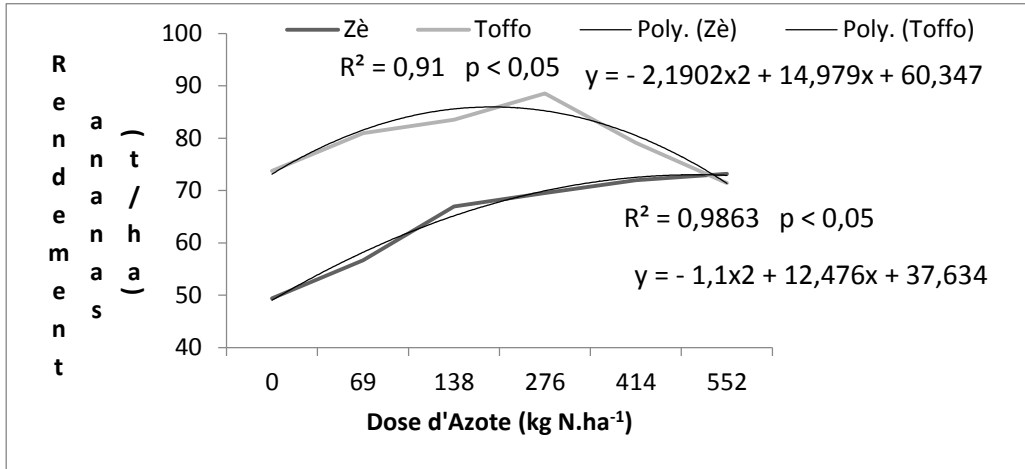
Tableau 2: Valeurs de F et seuil de signification de l'analyse de la variance de l'effet des doses de fertilisants sur la vigueur des plants d'ananas à l'induction florale.

Source de variation	dd l	N		P		K		Mg	
		Zè	Toffo	Zè	Toffo	Zè	Toffo	Zè	Toffo
Doses	5	3,45 *	1,83n s	1,76n s	0,90n s	1,84n s	5,42* *	10,56* **	1,84n s
Communes	1	28,49***		65,49***		6,94*		39,29***	
Doses * communes	5	2,17*		0,77ns		0,72ns		2,07ns	

Tableau 3 : Valeurs moyennes de la vigueur des plants d'ananas en fonction des types et doses de fertilisant à l'induction florale.

Fertilisants	Doses	Zè	Toffo
N	0	2586,60 ± 172,13b	3620,49 ± 228,92 a
	69	2901,39 ± 387,78 ab	3957,31 ± 270,13 a
	138	3315,26 ± 201,46 ab	4066,95 ± 76,99 a
	276	3420,79 ± 51,98 ab	4322,38 ± 294,31 a
	414	3537,76 ± 196,02 a	3861,76 ± 148,15 a
	552	3586,15 ± 109,33a	3513,25 ± 216,92 a
P	0	2141,92 ± 111,14 a	3131,32 ± 45,16 a
	30,36	2370,43 ± 98,56 a	3070,56 ± 151,26 a
	60,72	2314,92 ± 209,94 a	3105,28 ± 150,66 a
	121,44	2504,20 ± 167,47 a	3550,49 ± 209,16 a
	182,16	2528,97 ± 115,35 a	3265,30 ± 280,46 a
	242,88	2717,08 ± 164,72 a	3185,62 ± 192,64 a
K	0	2196,75 ± 109,46 a	2891,58 ± 86,45b
	103,75	2724,79 ± 227,02 a	3226,80 ± 160,75ab
	207,5	3078,23 ± 218,89 a	3474,60 ± 143,09 a
	415	3654,64 ± 725,69 a	3501,02 ± 106,52 a
	622,5	2973,16 ± 199,58 a	3658,04 ± 100,49 a
	830	3089,40 ± 272,47 a	3367,79 ± 64,83 a
Mg	0	2136,70 ± 153,41d	3022,78 ± 152,11 a
	5,35	2511,55 ± 81,78cd	3039,27 ± 57,03 a
	10,7	2595,45 ± 75,43bcd	3203,51 ± 247,72 a
	21,4	2851,18 ± 98,13bc	3469,35 ± 43,37 a
	32,1	3064,03 ± 205,71 ab	3351,99 ± 163,94 a
	42,8	3354,20 ± 133,80 a	3434,22 ± 89,38 a

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique pour chaque élément et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($P < 0,05$) d'après le test de Student Newman Keuls.



Poly = Tendence polynomiale de la courbe.

Figure 1 : Evolution du rendement moyen d'ananas dans les deux communes en fonction des doses croissantes d'azote sur les deux cycles de production.

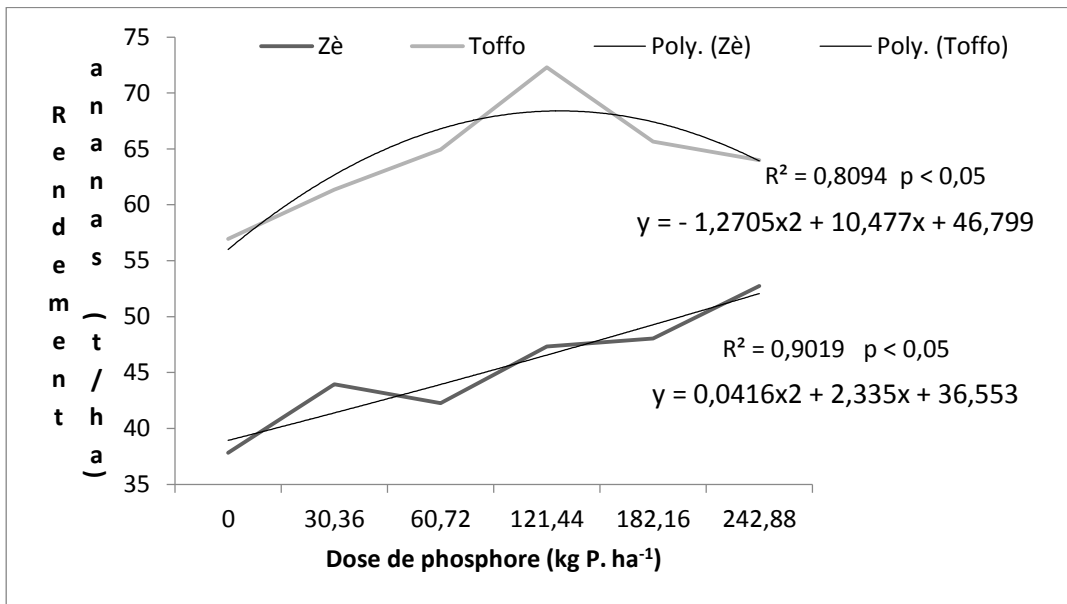


Figure 2 : Evolution du rendement moyen d'ananas dans les deux communes en fonction des doses croissantes de phosphore sur les deux cycles de production.

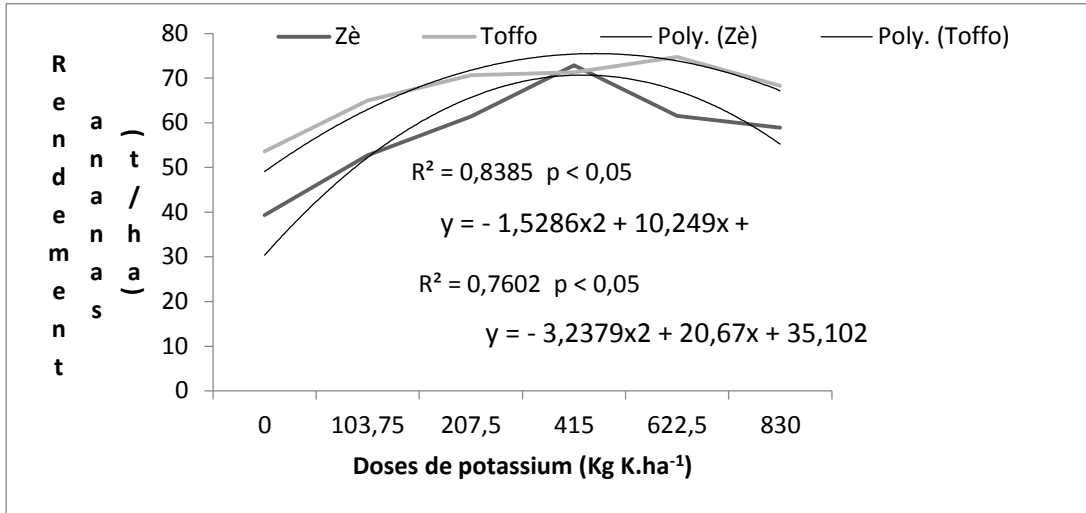


Figure 3 : Evolution du rendement moyen d’ananas dans les deux communes en fonction des doses croissantes de potassium sur les deux cycles de production.

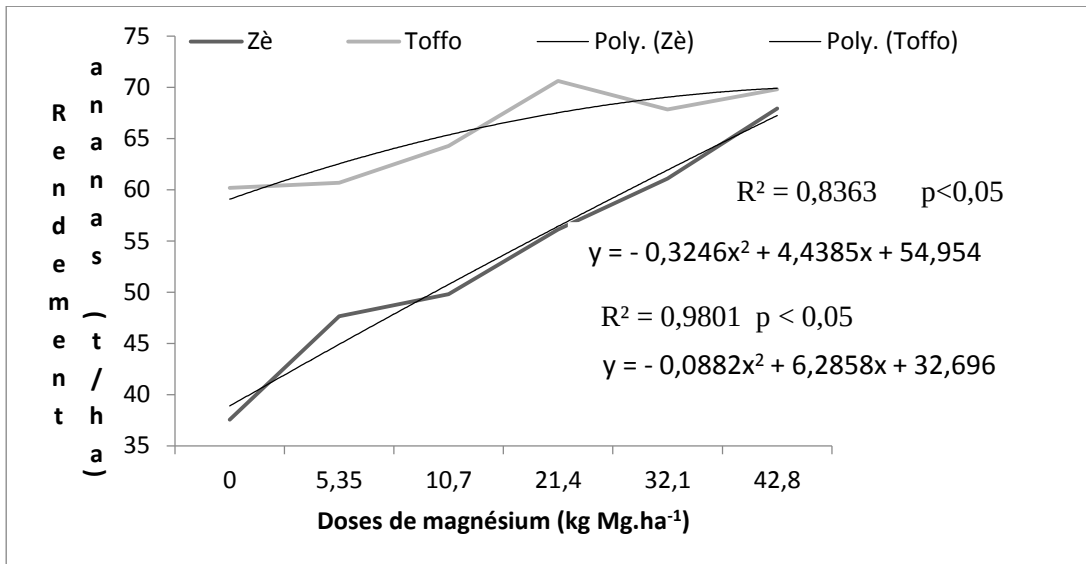


Figure 4 : Evolution du rendement moyen d’ananas dans les deux communes en fonction des doses croissantes de magnésium sur les deux cycles de production.

Tableau 4: Modèles de régression linéaire entre la vigueur du plant à l'induction florale et le rendement suivant chaque élément fertilisant.

Elément fertilisant	Constante	Coefficient	R carré (ajust)
Azote	-0,1588***	0,000450***	0,997
Phosphore	-0,27739***	0,000488***	0,998
Potassium	-0,1712***	0,000453***	0,992
Magnésium	-0,26925***	0,000486***	0,997

*** = P < 0,000

DISCUSSION

Les doses croissantes d'azote, de potassium et de magnésium ont augmenté significativement la vigueur des plants d'ananas avant l'induction florale. Ceci s'explique par le fait que ces doses de fertilisants ont favorisé l'émission des feuilles d'ananas et la longueur de feuille D. Certains auteurs (Souza et Reinhardt, 2006 ; Adabe et al., 2016) ont souligné l'importance de l'azote et du potassium dans la croissance de l'ananas. Le potassium est l'élément le plus absorbé par le plant d'ananas (Dagbénobakin et al., 2010).

Modèles de la réponse du rendement de l'ananas aux doses de nutriment N, P, K et Mg

La réponse du rendement de l'ananas aux doses de fertilisants minéraux a donné des modèles quadratiques. Les critères de choix des modèles ont montré que les modèles non linéaires expriment mieux la relation entre la fertilisation minérale et la croissance de l'ananas d'une part et entre la fertilisation et le rendement en fruit d'autre part. Ceci confirme les résultats de Agbangba (2016) dont les travaux sur l'ananas ont été conduits dans la même région. Les coefficients de détermination (R^2) obtenus sont très élevés (0,706 à 0,984). Ceci signifie d'une part que le rendement en fruit d'ananas est fortement

corrélé à la dose d'azote, de phosphore, de potassium et de magnésium appliquée. Cependant, bien que valides, ces modèles présentent des limites énoncées par Godard (2005). Il s'agit notamment de la difficulté d'interprétation agronomique des paramètres (coefficients quadratiques, coefficients linéaires et constantes). Par exemple si $x = 0$, les constantes c des différents modèles ne correspondent pas exactement aux rendements obtenus sous le traitement (T0). Aussi, il est important de souligner que les résultats obtenus tiennent compte des nutriments contenus dans le sol avant l'essai, et des conditions climatiques du milieu.

Dose optimale de N et de P pour une meilleure production de l'ananas au sud-Bénin

L'analyse des résultats de la présente étude montre que les rendements d'ananas augmentent proportionnellement aux doses de N et de P dans les deux communes jusqu'à un optimum. En effet, selon CIRAD (2011), l'azote est l'un des éléments qui détermine la croissance et le rendement de l'ananas. Il détermine la vitesse de croissance et donc le volume du plant et le poids du fruit (Souza et Reinhardt, 2006). Quant au phosphore, ces besoins sont limités, malgré que l'ananas en ait un bon pouvoir d'absorption. La dose optimale d'azote est de 276 kg N.ha⁻¹ (600

kg.ha⁻¹ d'urée). Ce résultat corrobore les normes du CIRAD (2011), qui recommandent 300 kg.ha⁻¹ d'azote. Mais, cette dose est inférieure à celle proposée par Kobenam et al. (2005) en Côte d'Ivoire, Souza et Reinhardt (2006) sur l'ananas au Brésil, Ahmed et al. (2005) au Malaysia et Agbangba (2016) au Bénin qui ont recommandé respectivement 430,6 ; 300 à 500 ; 704 et 405 kg.ha⁻¹. Par contre, cette dose est supérieure à celle de Omotoso et Akinrinde (2013) au Nigéria sur l'ananas (206,25 kg.ha⁻¹ de N) et à celle de Dagbénongbakin et al. (2010) sur la cayenne lisse à Allada au Bénin (222,64 kg.ha⁻¹ de N). Ces différences observées pourraient être dues à plusieurs facteurs à savoir : la fertilité initiale du sol ; les conditions climatiques des zones ou régions de cultures, la technique de fertilisation utilisée (application sous forme liquide ou solide), la destination des fruits (consommation locale en frais, exportation, transformation en jus, etc.) et la disponibilité des engrais (Souza et Reinhardt, 2006).

La dose optimale de phosphore est de 121,44 kg.ha⁻¹ soit 600 kg.ha⁻¹ de TSP. Ce résultat est conforme aux recommandations de CIRAD (2011) qui est de 122,5 kg.ha⁻¹ de P. Cependant cette dose est supérieure à celles de Ahmed et al. (2006) sur ananas en Malaysia et de Agbangba (2016) sur cayenne lisse au Bénin qui sont respectivement de 36 et 42 kg.ha⁻¹ de P. Cette différence pourrait être due aux conditions pédoclimatiques de la Malaysia. En effet, les travaux de Ahmed et al. (2006) se sont déroulés sur sol tourbeux alors que nos résultats ont été obtenus sur sol ferrallitique. Par contre, la différence avec les résultats de Agbangba (2016) pourraient se justifier par la méthodologie utilisée. En effet, les modèles utilisés par cet auteur se sont basés sur les doses minimales que les producteurs utilisent (25 kg P.ha⁻¹) et la dose

maximale recommandée qui est de 135 kg P.ha⁻¹. Du coup, cette méthode aurait minimisé la dose optimale de P, étant donné que dans la pratique, peu de producteurs utilisent le TSP dans la fertilisation de l'ananas (Sossa et al., 2014).

Détermination de la dose optimale de K et de Mg pour une meilleure production de l'ananas au sud-Bénin

Il ressort de l'analyse des résultats de la régression quadratique des rendements fruits et biomasse d'ananas que les niveaux optima de chacun des nutriments K et Mg sont identiques pour les deux zones d'études et les deux saisons. En effet, ils sont respectivement de 415 kg K.ha⁻¹ et 20,2 kg Mg.ha⁻¹. Ces optima sont les niveaux à partir desquels les augmentations des rendements obtenus sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les doses d'éléments fertilisants s'élèvent. Ce qui est conforme à la loi de Mitscherlich (1909) cité par Monfort et Falisse (2010). L'optimum de potassium obtenu est similaire aux travaux de Kobenam et al. (2005) en Côte d'Ivoire et de Agbangba (2016) au Bénin qui ont recommandé, pour l'ananas, respectivement 453,4 et 466,13 Kg.ha⁻¹ de K. Cette dose est largement inférieure à celle recommandée par Sarita et dos-Reis (2012) pour la variété Pearl d'ananas et à celle de Teixeira et al. (2011) sur la cayenne lisse sur Ultisol au Brésil, qui est respectivement 1008,33 et 583,33 kg.ha⁻¹ de K. Cette variation observée dans les doses de K pourrait s'expliquer par le fait que les besoins de l'ananas en potassium sont très élevés (CIRAD, 2011 ; Teixeira et al., 2011 ; Sarita et dos Reis, 2012). Aussi, une relation K/N adéquate est très importante pour la production de l'ananas (Owusu Bennoah et al., 1999 ; Agbangba et al., 2017). Or, pendant que CIRAD (2011) conseillent un rapport

$K/N \geq 1,5$, OIC (2005) et Adabe et al. (2016) recommande un rapport K/N de 2 à 2,5. Par ailleurs, les conditions pédoclimatiques des zones de cultures et la destination des fruits peuvent également expliquer ces grandes valeurs de potassium, étant donné que le potassium est l'élément le plus absorbé par la culture d'ananas (Souza et Reinhardt, 2006 ; Adabe et al., 2016).

En ce qui concerne le magnésium, la dose de 20,2 kg Mg.ha⁻¹ est inférieure à celle proposée par CIRAD (2011), Lin et Sheu (2011) sur l'ananas au Taiwan et celle révélée par les travaux de Adabe et al., 2016 sur l'ananas au Cameroun qui sont respectivement de 99,9 ; 30 et 138, kg.ha⁻¹ de Mg. Cette différence pourrait s'expliquer par les conditions pédo-climatiques qui varient d'une région à une autre et d'un pays à un autre. Il faut aussi souligner que comme l'ont noté plusieurs auteurs comme Souza et Reinhardt (2006) et CIRAD (2011) le magnésium n'intervient pas dans l'accroissement du rendement de l'ananas mais dans la qualité du fruit (teneur en sucre, saveur, résistance et tenue du fruit).

Prédiction du rendement de l'ananas à l'induction florale

Les modèles de régression ont présenté des R² ajusté très élevés. En d'autres termes, plus il y aura de feuilles sur le plant à l'induction florale, plus le fruit serait gros. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le pédoncule qui porte l'ananas est le prolongement de la tige qui porte les feuilles d'ananas. Donc plus la tige est robuste, plus elle portera de feuille et plus le pédoncule serait solide et porterait un fruit proportionnel. Cette relation entre le poids du fruit et la vigueur à l'induction florale montre l'importance du bon développement de la plante et de son port, pour la qualité finale du

fruit, comme l'ont mentionné les travaux de Bartholomew et al. (2003); concernant l'induction florale tardive de toutes les cultures. Ces résultats confirment les travaux de Fassinou (2014) à Allada sur l'ananas.

Par ailleurs, il est important que les différentes doses de nutriments soient validées avec d'autres morphotypes d'ananas (Tossou et al., 2015) tout en tenant compte de la fertilité initiale du sol et des conditions climatiques du milieu.

Conclusion

Cette étude a permis de déterminer les doses optimales d'éléments minéraux pouvant garantir une bonne production de l'ananas Cayenne lisse dans le département de l'Atlantique au sud du Bénin. Ces doses sont de 276 kg.ha⁻¹ de N ; 121,4 kg.ha⁻¹ de P ; 415 kg.ha⁻¹ de K et 20,2 kg.ha⁻¹ de Mg. Le rendement de l'ananas peut également être prédit avant l'induction florale à partir du nombre de feuille et de la longueur de la feuille D. Il est nécessaire de tester la combinaison raisonnée de ces doses de nutriments, afin de dégager une formule d'engrais spécifique pouvant améliorer la compétitivité de l'ananas du Bénin.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères gratitude à Messieurs Mouka ADAM DADE et Ernest GANGAN pour avoir aidé à la collecte des données et aux analyses des échantillons de sol.

Les auteurs remercient également tous ceux qui ont lu et amélioré la qualité de ce manuscrit.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Gbènoukpo Emile PADONOU a rédigé le protocole, conduit les essais sur le terrain et a rédigé le manuscrit de l'article. Guillaume Lucien AMADJI a contribué à la correction du protocole, à la supervision des essais et à la correction du draft du manuscrit. Aliou SAIDOU a contribué aux analyses statistiques et à la correction du draft du manuscrit. Hervé Nonwègnon Sayimi AHOLOUKPE et Elvire line SOSSA ont contribué à la correction du draft du manuscrit.

REFERENCES

- Adabe KE, Hind S, Maïga A. 2016. Production et Transformation de l'Ananas. Collection Pro-Agro : Wageningen-Pays-Bas. 44p.
- Agbangba CE, 2008. Contribution à la formulation d'engrais spécifique pour la culture de l'ananas par le diagnostic foliaire dans la commune d'Allada, Thèse d'ingénieur agronome, Université de Parakou, Parakou, 159p.
- Agbangba CE, Dagbenonbakin GD, Djogbénu CP, Houssou P, Assea DE, Sossa EL, Kotomalè UA, Ahotonou P, Ndiaga C, Akpo LE. 2015. Influence de la fertilisation minérale sur la qualité physico-chimique et organoleptique du jus d'ananas Cayenne lisse au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(3):1277–1288. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.13>.
- Agbangba CE. 2016. Réponses agronomiques de l'ananas (*Ananas comosus*) à la fertilisation minérale au Bénin : Croissance, rendement et qualité du fruit. Thèse de Doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 183p.
- Ahmed OH, Husni MHA, Hanafi MM. 2006. Phosphorus loss of phosphorus fertilizer applied to tropical peat soils in pineapple cultivation. *International Journal of Soil Sciences*, **1**(1) 85-90.
- Baize D. 2000. *Guide des Analyses en Pédologie*. (2ème édition revue et augmentée). INRA: Paris. 257p.
- Bartholomew DP, Malézieux E, Sanewski GM, Sinclair E. 2003. Inflorescence and fruit development and yield. In *Bartholomew DP, Paull RE, Rohrbach KG. (Eds.), The Pineapple: Botany, Production and Uses* (pp. 167-202). Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Beltrando G. 2004. Les Climats: Processus, Variabilité et Risques. Ed Armand Colin / Sejer. Paris. 244p
- Bray RH, Kurtz LT. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, **59**: 39-45.
- CIRAD. 2011. La culture de l'ananas Victoria à la Réunion pour l'exportation. Recueil de bonnes pratiques. 11p.
- Dagbénonbakin DG, Agbangba CE, Kindomihou V. 2010. Comparaison du système intégré de diagnostic et de recommandation et de la méthode de la valeur critique pour la détermination du statut nutritionnel de l'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr) variété Cayenne Lisse au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **4**(5): 1550-1563. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v4i5.65564>.
- FAO. 2013. FAOSTAT. Url: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>. Accessed on 7 août 2013.
- FAO. 2015. FAOSTAT. Url: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>. Accessed on 20 mai 2016.

- Fassinou HVN, Lommen WJM, Vorst van der, JGAJ, Agbossou EK, Struik PC. 2012. Analysis of pineapple production systems in Benin. *Acta Horticulturae*, **928**: 47-58. DOI : <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.928.4>.
- Fassinou HVN. 2014. Using Agronomic Tools to Improve Pineapple Quality and its Uniformity in Benin, PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, 302 pages.
- Gbèhounou G, Gbassi P. 2004. Guide pratique pour une production d'ananas de qualité au Bénin. Cotonou. 22p.
- Gbénou RK, Traoré M, Sissinto E. 2006. Etude Accélérée de Marché (EAM) sur les différents produits ananas au Benin. 42p. Helvetas-Benin, Cotonou.
- Godard C. 2005. Modélisation de la réponse du rendement des grandes cultures et intégration dans un modèle économique d'offre agricole à l'échelle européenne. Application à l'évaluation des impacts du changement climatique. Thèses de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Ecole doctorale ABIES, UMR Economie publique, INRA-INA P-G.Paris.
- Kintohou, 2003. Utilisation de l'engrais formule unique sur l'ananas dans la Commune d'Allada. Mémoire d'ingénieur agronome FSA/UAC 2003, 121p.
- Kobenan K, Assienan AB, Yao T, Gnonhouiri GP, Kouassi KS. 2005. Bien cultiver l'ananas en Côte d'Ivoire. Centre national de recherche agronomique. 4p
- Lin YH, Chen JH. 2011. Effects of dolomite and borax on the quality of Tainung No. 13 pineapple. *Pak. J. Bot.*, **43**(1): 549-558.
- Metson AJ. 1956. Methods of Chemical Analysis For Soil Survey Samples. NZ Soil Bur Bull (n°2).
- Monfort B, Falisse A. 2010. La « quadratique double linéaire » QDL, nouvelle fonction de la réponse des rendements des cultures à la fumure azotée. Présentation. Gembloux, Belgique.
- Omotoso SO, Akinrinde EA. 2013. Effect of nitrogen fertilizer on some growth, yield and fruit quality parameters in pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) plant at Ado-Ekiti Southwestern, Nigeria. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, **3**(1): 11- 16.
- Owusu-Bennoah E, Ahenkorah Y, Nutsukpo DX. 1997. Effect of different levels of N:K 2 0 ratios on the yield and quality of pineapple in the forest-savanna ecotone of Ghana. *Acta Hort. (ISHS)*, **425**: 393-402.
- Saïdou A, Balogoun I, Ahoton LE, Igue AM, Youl S, Ezui G, Mando A. 2018. Fertilizer recommendations for maize production in the South Sudan and Sudano-Guinean zones of Benin. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **110**(3): 361–373. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9902-6>.
- Saïdou A, Kossou DK, Acakpo C, Richards P, Kuyper TW. 2012. Effects of farmers practices of fertilizer application and land use types on subsequent maize yield and nutrient uptake in central Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **6**(1): 365-378. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i1.32>.
- Sarita L, dos Reis LL. 2012. Potassium Fertilization on Fruits Orchards: A Study Case from Brazil. <http://dx.doi.org/10.5772/53210>.

- Scahier P, Texido R. 2001. Ananas. In: Raemaekers H. Romain., 2001.
- Sossa EL, Amadji GL, Vissoh PV, Hounsou BM, Agbossou KE, Hounhouigan DJ. 2014. Caractérisation des systèmes de culture d'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merrill) sur le plateau d'Allada au Sud-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(3): 1030 – 1038. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.17>
- Souza da Silva LF, Reinhardt DH. 2006. Pineapple. Brazil. 23p
- Teixeira LAJ, Quaggio JA, Cantarella H, Mellis EV. 2011. Potassium fertilization for pineapple: effects on plant growth and fruit yield. *Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal*, **33**(2): 618-626. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000200035>.
- Tossou CC, Capo-Chichi DBE, Yedomonhan H. 2015. Diversité et caractérisation morphologique des variétés d'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merrill) cultivées au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, **87**: 8113–8120. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v87i1.2>
- Yémadjè M, H, R. 2013. Political ecology in the oil palm-based cropping system on the Adja plateau in Benin: Connecting soil fertility and land tenure. PhD Thesis. Wageningen University. Netherlands. 126p.