



Original Paper

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

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

Gustave D. DAGBENONBAKIN¹, Emile C. AGBANGBA^{2,3} et
Valentin KINDOMIHOU^{4,5*}

¹ Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Recherches Coton et Fibres, INRAB, Cotonou Bénin ;
E-mail: dagust63@yahoo.fr

² Département des Sciences et Techniques de Production Végétale, Faculté d'Agronomie, Université de
Parakou, Bénin ; E-mail : agbaemile@yahoo.fr

³ Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Centre de Recherche Agricole Plantes Pérenne de Pobè.

⁴ Département de Production Animale, Faculté des Sciences Agronomiques, UAC, Bénin.

⁵ Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Département d'Aménagement et de Gestion de l'Environnement, Faculté
des Sciences agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

* Auteur correspondant, E-mail : kindomihou@gmail.com; valentin.kindomihou@fsa.uac.bj

RESUME

Le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS), et la Méthode de la Valeur Critique (CVM) ont été utilisés pour évaluer le statut nutritionnel de la variété "Cayenne lisse" d'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr) sur un sol ferrallitique faiblement désaturé dans la Commune d'Allada, située dans le Département de l'Atlantique au Sud-Bénin. L'étude vise à: comparer DRIS et la CVM, établir les normes DRIS pour cette variété d'ananas et en évaluer les pratiques actuelles de fertilisation. La population de rendement a été subdivisée en sous-population de rendements élevés (> 87,9 t.ha⁻¹) d'effectif 24 et sous-population de rendements faibles (< 87,9 t.ha⁻¹) de taille 36 en utilisant la moyenne additionnée à l'intervalle de confiance comme séparateurs de rendements. Les résultats d'analyses foliaires ont été comparés aux normes préexistantes pour les deux méthodes. Les résultats montrent que les deux méthodes permettent de faire des diagnostics fiables pour le S, Mg, Ca et Zn pour cette variété d'ananas. Cependant, alors que le DRIS décèle avec fiabilité un excès de N et K sur la "Cayenne lisse", la CVM détecte une déficience en N et K. Par conséquent, la méthode DRIS accroît la précision dans le diagnostic par rapport à la CVM.

© 2010 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : CVM, DRIS, indice de nutriments.

INTRODUCTION

Le diagnostic nutritionnel est un instrument important qui permet d'accroître le rendement et la qualité des fruits à travers une gestion efficace de la fertilisation (Mourão, 2004). Cet aspect a été souligné par

Lacoeuilhe et Tesson (1983) et Teixeira et al. (2009) qui établissent des relations entre le statut nutritionnel des plants d'ananas et leur production en fruit. L'analyse chimique du matériel végétal constitue un outil utilisable par l'agronome pour l'appréciation de

© 2010 International Formulae Group. All rights reserved.

l'alimentation minérale de la plante (Pochtier, 1970). Cependant, l'analyse foliaire n'est fiable pour évaluer le statut nutritionnel des plants que si une méthode adéquate est employée (Walworth et Sumner, 1987). La méthode couramment utilisée pour évaluer le bilan nutritionnel des plants d'ananas est la méthode de la valeur critique qui stipule que les nutriments dont les concentrations sont au-delà ou en dessous des valeurs critiques sont associés au retard de croissance de la plante, à la baisse de la production et de la qualité des produits (Beaufils et Sumner, 1977; Lagenegger et Smith, 1978 ; Jones et al., 1991). Pourtant la valeur critique d'un nutriment varie avec la concentration des autres éléments nutritifs, avec l'âge de la plante, l'organe prélevé et la variété (Tyner, 1946 ; Bailey et al., 1997). Beaufils (1973) et Walworth et Sumner (1987) proposent alors une méthode alternative qui est le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS) pour évaluer l'état nutritionnel des végétaux. Le DRIS se trouve être le meilleur outil pour la détection précoce des déficiences minérales chez le soja (Vigier et al., 1989). Cette nouvelle méthode utilisant la comparaison des ratios de paires de nutriments avec des normes développées dans une population de rendements élevés, permet de diagnostiquer les déséquilibres de nutriments (Soltanpour et al., 1995) et présente des avantages sur les autres méthodes de diagnostic. Le DRIS est moins sensible à la variation de l'échantillonnage foliaire dû à l'âge de la plante ou au rang de la feuille et permet ainsi l'utilisation d'une gamme variée de tissus ; ce qui n'est pas possible avec la méthode de la valeur critique (Angeles et al., 1990). Les normes DRIS développées par Angeles et al. (1990) étaient plus efficaces dans le diagnostic du nutriment le plus limitant entre le N, P et K que dans les valeurs critiques utilisées (Angeles et al., 1990 ; Teixeira et al., 2009).

Au Bénin, la fertilisation de l'ananas

demeure une préoccupation en ce sens qu'il n'existe pas encore une gestion de la nutrition minérale de la plante basée sur des résultats de recherche. 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 $N_{10}P_{20}K_{20}$ 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, pour 10.000 plants de 88 kg d'urée et de 100 kg de sulfate de potassium en 4 fractions; ce qui revient à 4 g de N/plant et 5 g/plant de K_2O alors que le Mémento de l'Agronome (2002) recommande 4 à 14 g N, 10 à 20 g K_2O , 5 g P_2O_5 et 5 g MgO par plant d'ananas. Il apparaît que non seulement les quantités d'engrais appliquées sont largement insuffisantes par rapport aux recommandations du Mémento, mais aucune quantité de magnésium n'est appliquée. Il importe à cet effet, d'évaluer le statut nutritionnel des plantations sous culture ananas au Bénin afin de faire des recommandations visant à améliorer les pratiques actuelles de nutrition de la culture d'essai. Ainsi, la présente étude vise à (1) comparer l'approche DRIS à la CVM pour le diagnostic foliaire de l'ananas "Cayenne lisse" au Bénin (2) établir les normes DRIS de cette variété d'ananas (3) et enfin d'évaluer les pratiques actuelles de fertilisation de la culture d'ananas Variété "Cayenne lisse".

MATERIEL ET METHODES

Choix du site

La commune d'Allada située dans le département de l'Atlantique au Sud du Bénin a été retenue pour cette étude en raison du plus grand nombre de producteurs qui y cultivent l'ananas (Ouinkoun et Lalèyè, 2004). Elle est située au nord du département entre 6° 34' et 6°47' latitude Nord, 1°59' et 2°15' longitude Est à 54 km de Cotonou, capitale économique du Bénin (Figure 1). Elle couvre

environ 381 km², soit 0,34% de la superficie totale du Bénin. Elle jouit d'un climat de type subéquatorial, avec quatre (04) 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.

Les sols ferrallitiques couvrant la grande partie de notre zone d'étude. Les arrondissements d'Avakpa (06°39' Nord, 2°02' Est), d'Allada-Centre (06°38' Nord, 2°10' Est), d'Ahouannozoun (06°41' Nord, 2°12' Est) et de Sékou (6°39' Nord, 2°13' Est) sont concernés dans cette étude.

Pose des placettes et prélèvements foliaires

Soixante (60) placettes de 16 m² (4 m × 4 m) chacune ont été installées à l'aide de cordeau dans les parcelles paysannes. Des prélèvements de feuilles à la floraison (45 jours après le traitement d'induction floral) ont été réalisés.

Face aux lignes ou aux bandes d'ananas, les 5^{ème}, 10^{ème}, 15^{ème}, 20^{ème}, 25^{ème}, 30^{ème}, 35^{ème}, 40^{ème}, 45^{ème} et le 50^{ème} plants en comptant toujours de la ligne de l'extrême gauche dans la placette ont été choisis pour le prélèvement de la feuille D. Quel que soit le type d'échantillon, prélevé au tiers médian de la partie non chlorophyllienne ou au niveau de la feuille entière, la feuille D, la seule facilement repérable est celle qui est la plus représentative qui rend compte avec fidélité et sensibilité de l'état nutritionnel de la plante (Py Tisseau, 1965). C'est pour cette raison que les feuilles D ont été prélevées pour le présent diagnostic. Dix (10) feuilles par placette ont été ainsi prélevées. Le tiers (1/3) inférieur de chaque feuille D a été échantillonné (Siebeneichler *et al.*, 2002), séché à l'étuve à 65 °C pendant 5 à 7 jours.

Prélèvement des échantillons de sol

Des échantillons composites de sol ont été constitués et les éléments nutritifs dosés au

laboratoire. Les caractéristiques de ces échantillons de sol prélevés sont présentées dans le Tableau 1. La texture des sols est limono-sableuse à sablo-limoneuse avec des taux de sable et limon, variables respectivement entre 78,9 et 84,8 pour le sable et 4,2 et 6,8 pour le limon. La teneur en azote varie de 0,07 à 0,08% avec un pH acide (6,1) à faiblement acide (6,5) et moyenne à bonne. Le rapport carbone/azote varie de 10 à 10,3. Le taux de matière organique (1,31-1,43%) est faible. La teneur en potassium (0,03 à 0,14 méq/100g) est faible. La teneur en phosphore assimilable selon Bray 1, critique (4 ppm) à Sékou et à Ahouannozoun est bonne dans les autres localités (10 ppm). Les sols sont pauvres en Ca et Mg échangeables (1,8 à 3 méq/100g). La somme des bases et la CEC sont faibles (3,06 à 5,29 méq/100g).

Analyses des échantillons de sol et de végétaux au laboratoire

L'azote a été déterminé par la méthode de KJELDAHL, le calcium et le magnésium ont été dosés par titration à l'EDTA, la lecture du potassium a été faite au photomètre à flamme et celle du phosphore à la spectrophotométrie 1100, le dosage du zinc a été fait par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (AAS), le soufre a été déterminé par précipitation au sulfate de baryum (BaSO₄).

Les fruits ont été récoltés à la main dans chaque placette (sur les 16 m²) et leur poids frais avec couronne a été pris à l'aide d'une balance de portée maximale 10 kg, le jour de la récolte. Le rendement fruit a été ensuite estimé.

Méthodologie du système intégré de Diagnostic et de Recommandation

La population de rendement (fruit avec couronne) a été séparée en deux sous-populations des rendements en utilisant la moyenne des rendements additionnée à

l'intervalle de confiance comme critère de subdivision (Dagbénonbakin, 2005 ; Agbangba 2008 ; Agbangba et al., 2010). La sous-population des rendements élevés (rendement > 87,9 t.ha⁻¹) est d'effectif 24 et celle des rendements faibles (rendements < 87,9 t.ha⁻¹) de taille 36.

Le rapport entre les nutriments deux à deux a été calculé pour chacune des sous-populations et chaque élément apparaîtra au numérateur et au dénominateur (par exemple N/P et P/N). Pour chacune de ces formes de rapport, la variance dans les deux sous-groupes a été calculée. Les ratios de variance de ces deux formes de rapport de nutriments ont été calculés en divisant la variance du ratio de la population de rendement faible par celle de la population de rendement élevé pour la même forme de rapport (Elwali et al., 1985; Amundson et Koehler, 1987; Payne et al., 1990). Pour chaque paire de ratio, celle qui donne la plus grande variance de rapport de variance a été retenue pour l'évaluation des normes DRIS.

Les moyennes et l'écart-type des paramètres de référence du sous-groupe de rendements élevés ont été utilisés dans la formule ci-dessous pour calibrer le modèle (Hallmark et al. 1987; Rathfon et Burger, 1991; Bailey et al., 1997).

$$X_{\text{indice}} = [f(X/A) + f(X/B) + \dots - f(M/X) - f(N/X) - \dots]$$

où

$$f(X/A) = 100[(X/A)/(x/a) - 1]/CV$$

$$\text{si } (X/A) > (x/a) + SD$$

$$f(X/A) = 100[1 - (X/A)/(x/a)]/CV$$

$$\text{si } (X/A) < (x/a) - SD$$

Dans ces relations, X/A est le ratio des concentrations des nutriments X et A dans l'échantillon, x/a , CV et SD , sont respectivement la moyenne, le coefficient de variation, et l'erreur standard du paramètre X/A dans la sous-population de rendement élevé. Les autres ratios de

nutriments X/B , M/X , N/X , etc., ont été calibrés par rapport aux paramètres, x/b , m/x , n/x , de référence du DRIS correspondant.

Interprétation des indices de nutriment

L'indice d'un nutriment est la moyenne arithmétique des ratios obtenus après leur calibrage. Il est obtenu pour chaque individu de la sous population de rendement élevé en affectant dans la formule de la moyenne le signe (-) à l'élément dont on veut déterminer l'indice et qui se trouve au dénominateur du ratio et le signe (+) lorsque cet élément est au numérateur. La moyenne de tous les individus d'un nutriment de la sous-population de rendements élevés constitue alors l'indice de ce nutriment. Selon Kelling et Shulte (1986), un indice de nutriment entre -15 et 15 indique un bon équilibre nutritionnel, entre -15 et -25 une probable déficience et inférieur à -25, une déficience du nutriment.

Wadt (1996) propose une méthode d'interprétation qui a l'avantage de détecter même les excès de nutriments. Il compare l'indice du nutriment ou sa valeur absolue à l'indice d'équilibre nutritionnel (NBI). L'indice d'équilibre nutritionnel étant la moyenne de la distance à zéro de tous les indices de nutriments. Soit pour N indices, on a :

$$NBI_a = (| \text{Index A} | + | \text{Index B} | + \dots + | \text{Index N} |)/N.$$

Selon cet auteur, pour un nutriment Nut, on pourrait faire les conclusions suivantes :

- ◆ Déficience = $INut. < 0$ et $|INut.| > NBI_a$
- ◆ Adéquat = $|INut.| < NBI_a$
- ◆ Excès = $INut. > 0$ et $|INut.| > NBI_a$

Analyses statistiques

Les tests de comparaison de moyenne et de variance des concentrations de nutriments et les ratios calculés ont été effectués avec le logiciel Statistix 8.1. Le test de Levenne a été

réalisé avec le logiciel Minitab 14. Les teneurs des nutriments ont été comparées aux normes établies par Dalldorf et Langenegger (1978) et Jones *et al.* (1991).

RESULTATS

Bilan nutritionnel de la culture de l'ananas "Cayenne lisse" par la Méthode de la Valeur Critique (CVM)

Les teneurs en nutriments des feuilles D de la variété "Cayenne lisse" sont consignés dans le Tableau 2. La sous-population de rendements élevés de taille $n = 24$ regroupe les rendements moyens supérieurs à $87,9 \text{ t.ha}^{-1}$ et celle de rendements faibles, les rendements moyens inférieurs à $87,9 \text{ t.ha}^{-1}$.

La différence entre les deux sous-groupes de rendements est hautement significative ($p = 0,000$). Par contre il n'existe pas de différence significative entre les teneurs des éléments nutritifs dans les deux sous-populations. Les éléments les plus importants selon leur teneur dans les deux sous-populations sont K, Ca, N, Mg, P puis S et Zn. Les teneurs des nutriments N, K des deux sous-groupes sont inférieures aux normes de nutriments établies par Jones *et al.* (1991) et Dalldorf et Langenegger (1978). La teneur en Zn est faible dans les deux sous-populations selon les normes de Jones *et al.* (1991) mais cette teneur est faible seulement dans le sous-groupe des rendements élevés comparée à la norme de nutriment de Dalldorf et Langenegger (1978). Les concentrations foliaires en Ca et Mg se situent entre les valeurs critiques de ces nutriments selon Jones *et al.* (1991) et Dalldorf et Langenegger (1978). La concentration en phosphore est élevée, comparativement aux normes proposées par ces auteurs.

Bilan nutritionnel de la variété d'ananas "Cayenne lisse" par le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS)

Sélection des normes DRIS

Les ratios sélectionnés comme normes DRIS se trouvent dans le Tableau 3.

De l'analyse de ce tableau, il ressort que

21 ratios ont été sélectionnés comme normes DRIS sur la base de leurs ratios de variance élevés par rapport à celui de leur forme analogue. Les ratios choisis sont présentés dans la dernière colonne du tableau. Onze (11) des ratios sélectionnés ont une variance de ratio supérieure à 2. Dix sept (17) des ratios sélectionnés présentent un coefficient de variation faible par rapport à leur forme analogue. Il s'agit de P/N, Ca/N, Mg/N, S/N, Zn/N Ca/P, Mg/P, Zn/P, S/K, Zn/K, Mg/Ca, Ca/S, Zn/Ca, Mg/S, Zn/Mg, Zn/S, P/S.

Indices des nutriments

La Figure 2 présente les indices des nutriments calculés. Il ressort de l'analyse de ce graphe que seuls les indices du Zn et du Mg sont négatifs. L'indice de nutriment le plus faible est celui du Zn ($I_{zn} = -110$) et le plus élevé, celui du K ($I_k = +48$). Selon l'ordre de grandeur croissante de l'indice des nutriments, on trouve le Zn, Mg, S, P, N et K

DISCUSSION

Variation des performances physiques et chimiques des substrats de culture de l'ananas

Les sols sous culture d'ananas prélevés lors de ce travail présentent tous une capacité d'échange cationique faible comme la plupart des sols cultivés en ananas dans le monde, plus particulièrement en Afrique Occidentale (Py Tisseau, 1965).

Le rapport Ca/Mg est plus faible que 2, 5 et indique selon Dalldorf et Langenegger (1978), un état de déficience en Ca et Mg des sols sous lesquels est pratiquée la culture d'ananas. En outre, le rapport K/Mg < 1 est un bon indicateur de limitation de l'antagonisme du potassium sur le magnésium (Gauchier, 1968). Les pH des sols sont un peu plus élevés comparés à l'optimum 4,5 à 5,5 (Schoier *et al.*, 2001). Mais, ils se rapprochent plus des normes de Hubert (1978) soit 5,6 à 6 sous la "Cayenne lisse". Or des pH plus élevés limitent le développement racinaire et provoquent le blocage de l'accumulation de

Tableau 1 : Propriétés physiques et chimiques des sols au début du diagnostic foliaire.

Sites	Argile	Limon	Sable	Texture	N	M.O.	C/N	pH _e au	pH _{KCl}	Ca	Mg	K	S	CEC	T	P _{ass} * Bray ₁
	[%]				[%]		[Cmol/kg]					[%]		[mg kg ⁻¹]		
AVA	13,0	6,8	80,4	LS	0,081	1,43	10,2	6,1	5,2	3,0	2,2	0,09	5,29	5,5	96,2	6
SEK	18,0	4,5	78,9	SL	0,076	1,31	10,0	6,0	4,8	1,8	1,2	0,06	3,06	5,3	57,7	4
ALL 1	12,6	4,2	84,5		0,078	1,38	10,3	6,5	5,0	2,8	1,8	0,03	4,69	5,4	86,9	10
ALL 2	11,9	4,3	84,8		0,078	1,38	10,3	6,0	5,2	2,8	2,0	0,14	3,08	4,8	64,2	10
AHOU	12,7	4,5	83,8		0,070	1,24	10,3	6,1	5,1	2,0	1,6	0,05	3,65	4,0	91,3	4

AVA : Avakpa ; SEK : Sékou ; ALL1 : Allada-Centre 1 ; ALL2 : Allada-Centre 2 ; AHOU : Ahouannozoun

Tableau 2 : Moyenne, coefficient de variation CV et variance VAR des nutriments des feuilles D d'ananas "Cayenne lisse" dans les deux sous-populations de rendement (faible et élevé) et les valeurs critiques de nutriments.

Paramètres	Sous population de rendements faibles (rendements < 87,9 t.ha ⁻¹ , n = 36)			Sous population de rendements élevés (rendements > 87,9 t.ha ⁻¹ , n = 24)			Ratio VAR	Normes selon Jones et al. (1991)	Normes selon Dalldorf et Langenegger (1978)
	Moyenne	CV	VAR	Moyenne	CV	VAR			
Rendement* (t ha ⁻¹)	68,3±13,6	19,9	185,6	103,6±11,8	11,4	139,0	1,3	-	-
N (g kg ⁻¹) ns	6,6±0,2	26,2	0,0	6,8±0,2	32,2	0,0	0,6	15-17	15 à17
P (g kg ⁻¹) ns	2,3±0,1	38,5	0,0	2,3±0,1	61,9	0,0	0,4	< 1	± 1
K (g kg ⁻¹) ns	13,0±0,7	54,9	0,5	13,6±0,7	50,3	0,5	1,1	22-30	22-30
Ca (g kg ⁻¹) ns	8,9±0,1	16,2	0,0	9,7±0,2	21,3	0,0	0,5	8-12	8 -12
Mg (g kg ⁻¹) ns	4,3±0,1	32,7	0,0	4,0±0,1	19,4	0,0	3,3	< 3	± 3
S (g kg ⁻¹) ns	0,5±0,02	49,9	0,0	0,5±0,02	45,8	0,0	0,9	-	-
Zn (mg kg ⁻¹) ns	10,6±7,5	71,0	56,9	8,0±3,5	44,2	12,5	4,5	>20	+10

*: différence hautement significative entre les deux sous-populations de rendement ; ns : différence non significative entre les deux sous-populations de rendement.

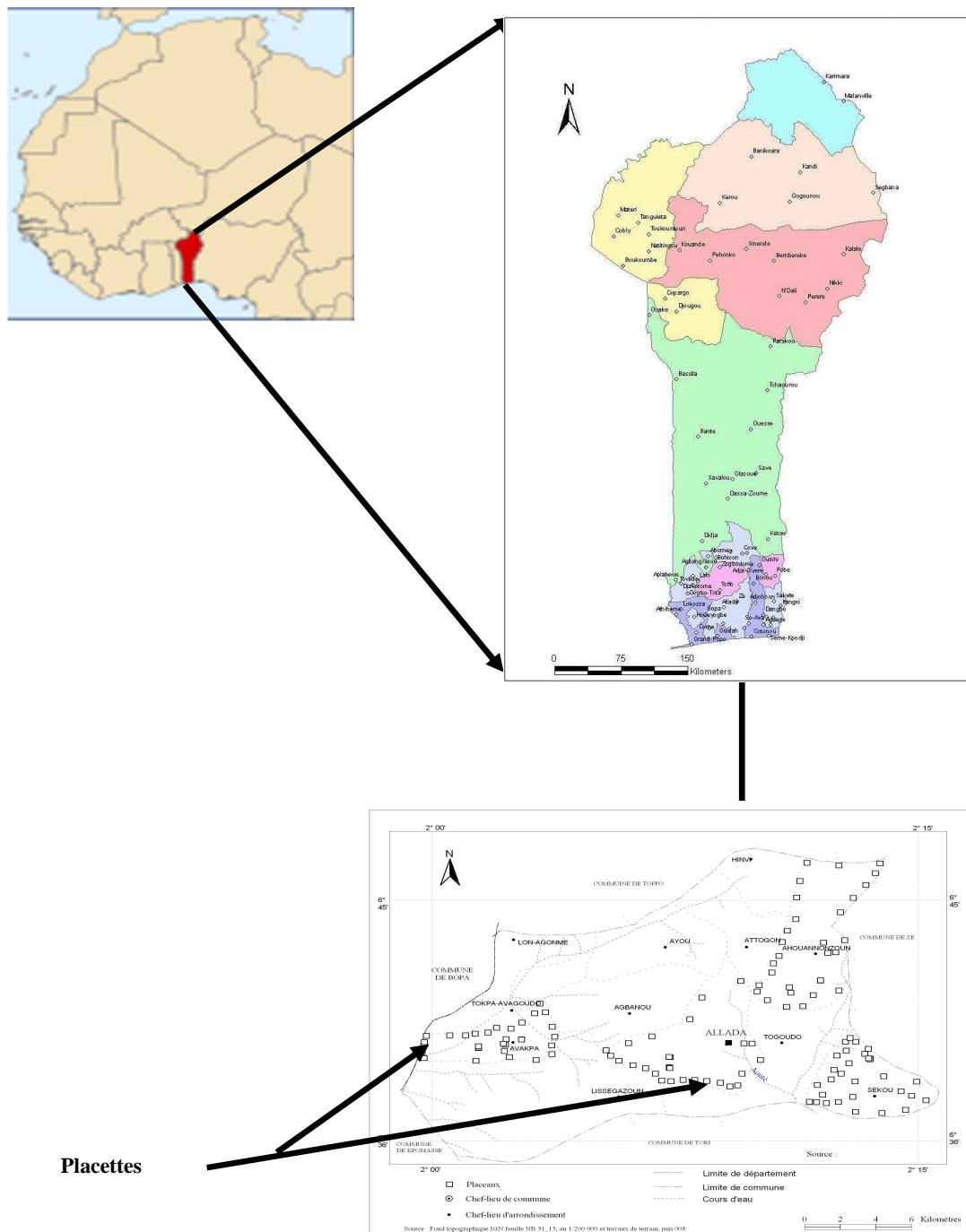
Tableau 3 : Moyenne, coefficient de variation (CV), variance (VAR) des pairs de ratio de nutriments des sous-populations des rendements faibles et élevés de la variété “Cayenne lisse”, ratio de variance et forme de ratio choisie.

Paramètre	Sous population de rendements faibles [n=36]			Sous population de rendements élevés [n=24]			Ratio VAR	Ratio choisis
	Moyenne	CV	VAR	Moyenne	CV	VAR		
N/P	3,3±1,5	46,5	2,4	3,8±2,1	54,7	4,3	0,6	
P/N	0,4±0,2	42,6	0,0	0,3±0,1	41,9	0,0	1,3	X
N/K	0,9±1,2	132,5	1,5	0,8±1,0	124,5	0,9	1,6	X
K/N	2,1±1,2	58,0	1,5	2,2±1,1	49,0	1,1	1,3	
N/Ca	0,8±0,2	29,2	0,0	0,7±0,3	39,1	0,1	0,6	
Ca/N	1,4±0,4	27,7	0,2	1,5±0,5	31,3	0,2	0,7	X
N/Mg	1,7±0,7	42,4	0,5	1,8±0,8	43,3	0,6	0,9	
Mg/N	0,7±0,2	35,9	0,1	0,6±0,2	32,2	0,0	1,4	X
N/S	16,6±16,5	99,5	273,6	16,7±12,4	74,1	152,5	1,8	
S/N	0,1±0,0	47,5	0,0	0,1±0,0	39,1	0,0	2,0	X
N/Zn	953,0±754,7	79,2	569560,4	1315,7±1322,4	100,5	1748867,8	0,3	
Zn/N	0,0±0,0	65,6	0,0	0,0±0,0	49,6	0,0	2,9	X
P/K	0,3±0,5	138,8	0,2	0,3±0,4	151,8	0,2	1,3	X
K/P	6,8±4,2	62,8	18,1	7,9±4,9	62,2	24,1	0,7	
P/Ca	0,3±0,1	37,3	0,0	0,2±0,2	65,9	0,0	0,4	
Ca/P	4,5±2,2	48,0	4,7	5,8±3,3	56,7	10,9	0,4	X
P/Mg	0,6±0,3	45,5	0,1	0,6±0,5	75,6	0,2	0,3	
Mg/P	2,1±0,9	42,2	0,8	2,5±1,5	59,3	2,2	0,4	X
P/S	8,8±10,6	120,3	112,5	5,1±4,5	88,3	20,0	5,6	X
S/P	0,0±0,1	281,3	0,0	0,2±0,2	137,1	0,0	0,3	

P/Zn	288,0±156,0	54,2	24340,0	387,7±391,7	101,0	153398,3	0,2	
Zn/P	0,0±0,0	74,5	0,0	0,0±0,0	60,6	0,0	1,8	X
K/Ca	1,5±0,9	60,7	0,9	1,5±0,9	57,5	0,7	1,2	
Ca/K	1,2±1,3	113,6	1,8	1,0±0,8	77,4	0,6	2,9	X

Tableau 3 (suite)

Paramètre	Sous-population de rendements faibles [n=36]			Sous-population de rendements élevés [n=24]			Ratio VAR	Ratio choisis
	Moyenne	CV	VAR	Moyenne	CV	VAR		
K/Mg	3,5±2,4	68,6	5,9	3,6±2,1	59,2	4,5	1,3	
Mg/K	0,7±1,1	157,0	1,1	0,4±0,3	78,6	0,1	10,6	X
K/S	33,1±7,8	23,5	60,4	45,7±45,7	99,8	2086,1	0,0	
S/K	0,0±0,0	25,6	0,0	0,0±0,0	50,2	0,0	0,2	X
K/Zn	1829,4±1435,8	78,5	2061388,9	2310,6±2288,9	99,1	5239081,3	0,4	
Zn/K	0,0±0,0	269,3	0,0	0,0±0,0	56,1	0,0	172,6	X
Ca/Mg	2,3±0,8	36,4	0,7	2,5±0,6	25,6	0,4	1,7	
Mg/Ca	0,5±0,2	36,9	0,0	0,4±0,1	24,4	0,0	3,1	X
Ca/S	25,8±20,3	78,7	411,3	23,9±19,8	82,7	391,9	1,0	X
S/Ca	0,0±0,0	258,5	0,0	0,0±0,0	118,4	0,0	0,5	
Ca/Zn	1276,6±966,9	75,7	934805,4	1891,1±2463,4	130,3	6068376,3	0,2	
Zn/Ca	0,0±0,0	69,7	0,0	0,0±0,0	44,4	0,0	5,1	X
Mg/S	15,6±21,1	135,7	446,6	10,7±9,0	84,9	81,8	5,5	X
S/Mg	0,0±0,1	270,2	0,0	0,1±0,1	123,4	0,0	0,6	
Mg/Zn	601,0±451,8	75,2	204104,6	775,6±862,2	111,2	743474,8	0,3	
Zn/Mg	0,0±0,0	73,8	0,0	0,0±0,0	50,4	0,0	3,4	X
S/Zn	9,0±25,4	282,5	646,8	66,5±143,4	215,7	20556,3	0,0	
Zn/S	0,0±0,0	118,7	0,0	0,0±0,0	100,4	0,0	4,0	X



Placettes

Figure 1 : Carte de localisation de la commune d'Allada avec les différentes placettes.

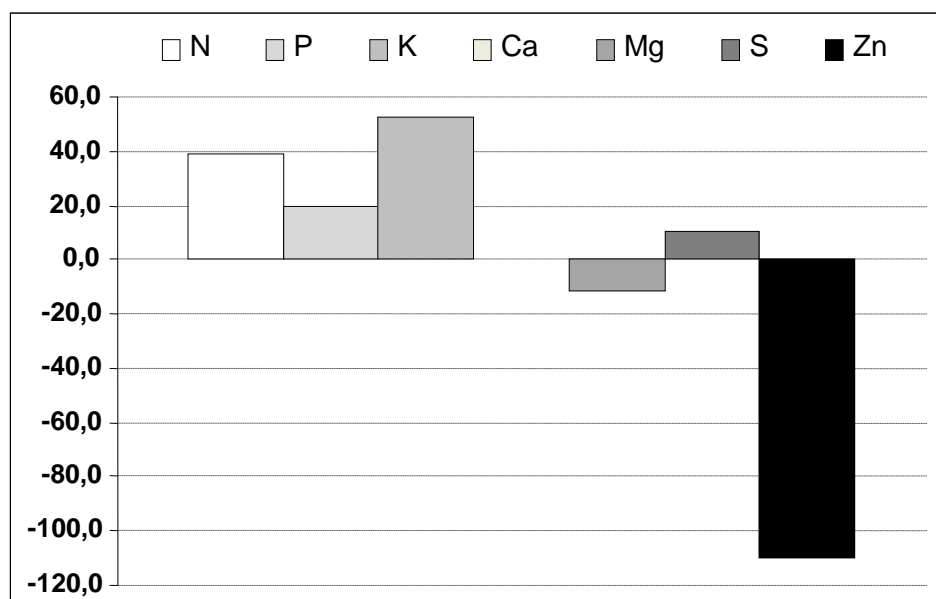


Figure 2 : Indices DRIS pour "Cayenne lisse" dans la commune d'Allada.

certaines oligoéléments chez les plantes (Nean, 1978). Des niveaux élevés de pH obtenus pourraient être expliqués par une accumulation des bases, suite aux brûlis le plus souvent pratiqués après de nouvelles friches par les producteurs d'ananas des localités d'étude. Mais la pratique de la monoculture sur des sols subissant des pressions de plus en plus fortes conduira à l'acidification de ces sols comme en Côte d'Ivoire (Godefroy, 1975).

Les textures sablo-limoneuses et limono-sableuses des sols conviennent bien à l'ananas. Somme toute, il apparaît que les sols présentent des propriétés physiques acceptables pour la culture de l'ananas, mais de mauvaises propriétés chimiques. C'est donc des sols à faible niveau de fertilité.

Bilan nutritionnel par la Méthode de la Valeur Critique

Jones et al. (1991) ont établi des normes de nutriments en utilisant des échantillons foliaires d'*Ananas comosus*

privés de leur base chlorophyllienne, tandis que Dalldorf et Langenegger (1978) ont utilisé des feuilles D entières dans leur étude.

Les nutriments N, K et Zn sont déficients dans les deux sous-groupes selon les normes de Jones et al. (1991). De plus, la teneur en Zn est déficiente seulement dans le sous-groupe des rendements élevés selon Dalldorf et Langenegger (1978) (Tableau 2). Les plantes ont une bonne nutrition en Ca et Mg selon ces auteurs. Le phosphore se trouve en excès selon ces normes.

Le magnésium dont la teneur est adéquate selon la CVM proviendrait du recyclage des résidus de la culture d'ananas, puisque les engrais utilisés sont exempts du Mg. Le niveau adéquat de cet élément pourrait s'expliquer par la déficience en K observée selon la CVM. Puisque le K et le Mg sont des éléments antagonistes (Gauchier, 1968). La déficience en K pourrait favoriser l'absorption de Mg. La satisfaction de la teneur en Ca observée pour les deux variétés serait due aux apports indirects.

En effet, l'hormonage des plants d'ananas par le carbure de calcium (C_2Ca) à froid produit l'acétylène qui induit la floraison et l'hydroxyde de calcium ($Ca(OH)_2$). Ce dernier en forme de poudre blanche sur les feuilles serait absorbé par la plante. La pratique au Bénin est typique avec une dilution de 1 kg de C_2Ca dans un fût de 200 litres rempli au 2/3 (133,33 l), soit $7,5\text{ g l}^{-1}$. Logiquement, le producteur applique environ 50 cm^3 d'acétylène par plant, soit $0,375\text{ g}$ de carbure de calcium par plant. L'hormonage de la culture apporte donc $0,23\text{ g plant}^{-1}$ de calcium. Une telle quantité pour la "Cayenne lisse" est apportée parfois trois fois car la réussite de l'induction florale n'est pas garantie pour cette variété au premier traitement. Ces quantités de Ca suffiraient donc pour satisfaire les besoins des plants selon la présente méthode de diagnostic.

Relation entre minéraux du sol et de la feuille

Les résultats d'analyses chimiques des sols et d'analyses foliaires par la CVM montrent que l'azote de la feuille ne semble pas être lié à l'azote du sol, puisqu'il y a une teneur satisfaisante dans le sol et une carence dans les feuilles de la plante. Ceci reflète par conséquent un mauvais état nutritionnel azoté de la feuille.

L'excès de phosphore dans la feuille selon la CVM semble être influencé par la disponibilité en phosphore dans le sol, puisque la teneur en phosphore assimilable du sol est satisfaisante. L'assimilation du phosphore par la plante peut excéder de 100 à 1000 fois la disponibilité de cet élément dans le sol (Hossner *et al.*, 1973). Elle est conditionnée par le pH du sol. Les pH du sol variant de 6 à 6,1 pourraient alors expliquer les teneurs élevées en phosphore observées selon Bray 1. Par ailleurs, Tran *et al.* (1979) travaillant sur le statut nutritionnel d'une plantation d'anacardier, trouve que l'excès de phosphore dans la feuille a comme effet compensatoire de la déficience en N. La teneur élevée observée en phosphore pourrait donc être induite par la déficience en N.

Bilan nutritionnel et DRIS : Normes de nutriments

La sélection des formes de ratios utilisés pour les normes DRIS (i.e. N/P ou P/N) a été effectuée en considérant le rapport de variance S^2_f/S^2_e de la population de rendements faibles et de la population de rendements élevés pour les deux formes de ratios (Hartz *et al.*, 1998) (Tableau 3). Plus grand est le rapport de variance entre les sous-populations des rendements faibles et élevés, plus importants sont les nutriments dans ce rapport pour obtenir un rendement élevé (Payne *et al.*, 1990). Cependant, Beaufils (1973) suggère que toutes les formes de ratios qui révèlent une différence significative de ratio de variance entre les deux sous-populations peuvent être utilisées comme des normes DRIS. D'autres travaux de recherches ont préconisé par contre le ratio de nutriment qui maximise la variance entre les deux sous-populations (Payne *et al.*, 1990). L'objectif de cette sélection de ratio est d'avoir une plus grande précision (Caldwell *et al.*, 1994).

La discrimination entre les plants ayant un bon statut nutritionnel et ceux nutritionnellement déséquilibrés est maximisée quand la variance de ratios de nutriments entre les deux sous-populations est maximisée (Walworth *et Sumner*, 1986).

Le fait que les ratios de nutriments sélectionnés présentent des coefficients de variation faibles, par rapport à leur forme analogue, est une preuve de la fiabilité des normes DRIS établies. En effet, plus faible est le coefficient de variation du ratio, plus importante est la contribution au rendement de ces éléments nutritifs qui composent le ratio s'ils se trouvent dans ce rapport dans la plante (Dagbénonbakin, 2005).

Bilan nutritionnel et DRIS : Statut nutritionnel de la plante

Les indices de S et de Mg peuvent être rangés entre les valeurs critiques -15 et +15. Selon Kelling *et Shulte* (1986), ces éléments sont adéquats.

L'indice de Zn, inférieur à -15 traduit une déficience prononcée en cet élément. Les indices de N, P, et K ne peuvent pas être interprétés selon Kelling et Shulte (1986) car les valeurs excèdent +15. L'interprétation des résultats selon Kelling et Shulte (1986) est conforme à celle selon Wadt (1996) pour les nutriments Mg, Ca, S et Zn. Mais de plus, l'interprétation selon Wadt (1996) révèle une adéquation de P, un excès de N et de K.

De tout ce qui précède, les éléments Ca, Mg, et S sont adéquats selon DRIS et la CVM. Le Zn est déficient selon DRIS et la CVM. Un excès de N et de K a été révélé par DRIS.

On pourrait faire de fausses recommandations si on se basait seulement sur la CVM seule par des corrections de fumures en excès de N ou de K (Beaufils, 1956; Agbangba et al., 2010). Cela entraînerait une consommation de luxe ou une toxicité des éléments pour les plantes. La CVM se trouve alors inefficace dans le diagnostic de N, P et K. Des conclusions similaires ont été trouvées par Angeles et al. (1990) qui ont montré que la CVM n'est pas appropriée pour le diagnostic de N, P, K.

L'indice positif du soufre confirme l'affirmation de Py Tesseau (1965) qui stipule que les besoins de la plante en cet élément sont largement couverts par les engrais sulfatés comme le sulfate de potassium. Somme toute, la CVM et DRIS peuvent permettre de faire des diagnostics fiables pour le Ca, Mg, S et Zn sur la "Cayenne lisse" alors que la CVM est inefficace dans le diagnostic de N, P et K.

Conclusion

Au terme de ce diagnostic de nutriments utilisant DRIS, la CVM et l'analyse de sol, il apparaît que l'approche DRIS basée sur l'équilibre des nutriments est la plus précise et efficace. Se basant sur la CVM et DRIS, les teneurs en P, Mg et S sont satisfaisantes. Le diagnostic de N, K, et Zn varie suivant les méthodes. Un apport de Zn et une diminution des quantités de N, K et P apportées actuellement pourraient être envisagés pour une meilleure production.

REFERENCES

- 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, p. 159.
- Agbangba CE, Dagbénonbakin DG, Kindomihou V. 2010. Etablissement des normes du Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation de la culture d'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr) variété Pain de sucre en zone subéquatoriale du Bénin. *Annales de l'Université de Parakou, Série Sciences Naturelles et Agronomie*, **1**: 51-69.
- Amundson RL, Koehler FE. 1987. Utilization of DRIS for diagnosis of nutrient deficiencies in wheat. *Agronomy Journal*, **79**: 472-476.
- Angeles DE, Sumner ME, Barbour NW. 1990. Preliminary nitrogen, phosphorus and potassium DRIS norms for pineapple. *HortScience*, **25**: 652-655.
- Bailey JS, Beattie JAM, Kilpatrick DJ. 1997. The diagnosis and integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: Model establishment. *Plant Soil*, **197**: 127-135.
- Beaufils ER. 1956. Mineral equilibrium in the foliage and latex of *Hevea brasiliensis*. *Annals of Agronomy*, **2**: 205-218.
- Beaufils ER. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Science Bulletin*, **1**: 1-132.
- Beaufils ER, Sumner ME. 1977. Effect of time sampling on the diagnosis of the N, P, K, Ca and Mg requirement of sugarcane by the DRIS approach. *Proc. S. Afr. Sugar. Tech. Assoc.*, **51**: 62-67.
- Caldwell JO, Sumner ME, Vavrina CS. 1994. Development and testing of preliminary foliar DRIS norms for onions. *HortScience*, **29**: 1501-1504.
- Dagbenonbakin GD. 2005. Productivity and water use efficiency of important crops in the Upper Oueme Catchment: influence of nutrient limitations, nutrient balances and soil fertility. PhD Thesis,

- Bonn University, Bonn, p.182.
- Dalldorf DB, Langenegger W. 1978. Macroelement fertilization of Smooth cayenne pineapples. Farming in South Africa. Pineapple, Ser. E. 2.
- Elwali AMO, Gascho GJ, Sumner ME. 1985. DRIS Norms for 11 nutrients in maize leaves. *Agronomy Journal*, **77**: 506-508.
- Gauchier G. 1968. Traité de Pédologie Agricole. Le sol et ses Caractéristiques Agronomiques. Dunod. Paris.
- Godefroy J. 1975. Erosion et pertes par lixiviation ou ruissellement des éléments fertilisants sous culture d'ananas en fonction des techniques culturales. *IRFA, Doc. Internes*, **6**: 288-298.
- Hallmark WB, deMooy CJ, John P. 1987. Comparison of two DRIS methods for diagnosing nutrients deficiencies. *J. Fert.*, **4**(4): 151-158.
- Hartz TK, Miyao EM, Valência JG. 1998. DRIS evaluation of the nutritional status of processing tomato. *HortScience*, **33**: 830-832.
- Hossner LR, Freeouf JA, Folsom BL. 1973. Solution phosphorus concentration and growth of *Oryza sativa* L. in flooded soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, **37**: 405-408.
- Jones JB, Eck HV, Voss R. 1991. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. *Soil Sci. Soc. Am.*, **55**: 521-547.
- Kelling KA, Shulte EE. 1986. Review DRIS as part of a routine plant analysis program. *J. Fert.*, **3**(3): 107-112.
- Kintohou J. 2003. Utilisation de l'engrais formule unique sur l'ananas dans la Commune d'Allada. Thèse d'ingénieur agronome, Université d'Abomey-Calavi Abomey-Calavi, p.121.
- Lacoeuilhe J, Teisson C. 1983. *L'ananas, sa Culture, ses Produits*. Ed. Maisonneuve et Larose.
- Lagenegger W, Smith BL. 1978. An evaluation of the DRIS system applied to pineapple leaf analysis. *Proc.*, 8th International colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems., pp. 63-272.
- Mémento de l'agronome. 2002. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). p. 1691.
- Neau L. 1978. Effect of pH on growth, ion uptake and mineral content of pineapple. *J. Agric. Ass. China*, **103**: 65-74.
- Ouinkoun G, Lalèyè P. 2004. La traçabilité des produits agricole : cas de l'ananas, quels enjeux pour le Bénin ? *Atelier Sci. Nat. Act.*, **5**: 190-201.
- Payne GG, Rechcigl JE, Stephenson RJ. 1990. Development of diagnosis and recommendation integrated system norms for Bahiagrass. *Agronomy Journal* **82**: 930-934. Pochtier G. 1970. Résultats d'analyse foliaire du sorgho (*Sorghum vulgare* var 51-59). *Agro-Tropical*, **25**: 250-543.
- Py Tisseau M A. 1965. *L'ananas. Techniques Agricoles et Productions Tropicales*. G. P. Maisonneuve et Larose.
- Rathfon RA, Burger JA. 1991. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms for Fraser Fir Christmas trees. *Forest Science*, **37**: 998-1010.
- Siebeneichler SC, Monnerat PH, Carvalho AJ, Cordeiro De. 2002. Mineral composition of the leaf in pineapple: effect of the part of the analysed leaf. *Rev. Bras. Frutic.*, **24**(1) : 194-198.
- Soltanpour PN, Malakouti MJ, Ronaghi A. 1995. Comparison of diagnosis and recommendations integrated system and nutrient sufficiency rage for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **59**: 133-139.
- Teixeira LAJ, Quaggio JA, Zambrosi FCB. 2009. Preliminary DRIS Norms for 'Smooth Cayenne' Pineapple and Derivation of Critical Levels of Leaf Nutrient Concentrations. *Act. Hort.* **822**: 131-138.
- Tran VA, Berding F, Agossou V, Boko A.

1979. Contribution à l'étude de la fertilité des sols et du diagnostic foliaire de l'anacardier de la plantation de Logozohe. Projet d'Agro-Pédologie, Etude n°209.
- Tyner EH. 1946. The relation of maize yields to leaf nitrogen, phosphorous and potassium content. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **11**: 317-323.
- Vigier, B., A.F. Mackenzie et Z. Chen. 1989. Evaluation of diagnosis and recommendation integrated System (DRIS) on early maturing soybeans. *Soil Sci. Plant Anal.*, **20**: 685-693.
- Wadt PGS.1996. Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Viçosa: Tese - Doutorado UFV. p. 123.
- Walworth JL, Sumner ME. 1986. Foliar diagnosis - a review. *Adv. Plant Nutr*, **3**: 193-241.
- Walworth JL, Sumner ME. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil. Sc.*, **6**: 149-158.