

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR (UCAD)
ECOLE DOCTORALE : SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE
L'ENVIRONNEMENT (ED-SEV)
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2016

N° d'Ordre : 182



Thèse de Doctorat en Biologie-Physiologie et Productions Végétales

Spécialité : Agroforesterie, Ecologie, Adaptation

TITRE : REPONSES AGRONOMIQUES DE L'ANANAS (*Ananas comosus*) A LA
FERTILISATION MINERALE AU BENIN: CROISSANCE, RENDEMENT ET QUALITE DU
FRUIT

Présentée par :

Codjo Emile AGBANGBA

Soutenue le 16 janvier 2016 devant le jury composé de :

Président Rapporteurs	Ibrahima NDOYE	Professeur titulaire	UCAD/FST, Sénégal
	Valentin KINDOMIHOU	Maître de conférences	UAC /FSA, Bénin
	Malainy DIATTA	Maître de recherche	ISRA/ CNRF, Sénégal
	Gustave D. DAGBENONBAKIN	Maître de recherche	INRAB/DS, Bénin
Examineurs	Ibrahima KANE	Chargé d'enseignement	UCAD/FASTEF, Sénégal
	Daouda NGOM	Chargé d'enseignement	UAS, Sénégal
Directeurs de thèse	Léonard Elie AKPO	Professeur titulaire	UCAD/FST, Sénégal
	Gustave D. DAGBENONBAKIN	Maître de recherche	INRAB/DS, Bénin

DEDICACE

- ❖ A mon épouse Elvire Line SOSSA AGBANGBA pour avoir supporté les longs moments d'absence
- ❖ A ma chère maman Yvonne AGBANGBA née SOWU, pour son affection, ses prières, ses soutiens moral et financier et l'éducation qu'elle m'a inculquée.
- ❖ A la mémoire de mon Père Alain Dossou AGBANGBA

REMERCIEMENTS

Au terme de la rédaction d'une thèse, c'est un devoir agréable d'exprimer en quelques lignes la reconnaissance que l'on doit à tous ceux dont on a recherché ou rencontré la collaboration. Au-delà même de l'expression d'une sincère gratitude, c'est justice d'associer les structures et ceux qui ont participé à la réalisation de cette thèse.

Qu'il me soit permis ici d'adresser mes profondes gratitudee:

- au Dieu tout puissant qui me donne par son fils unique Jésus-Christ l'assurance de la vie éternelle et pour son secours durant tout ce travail.
- à l'Office Allemand d'Échange Universitaire (DAAD) pour nous avoir assuré la subsistance de thèse à travers sa collaboration avec le Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration à l'Adaptation à la Sécheresse (CERRAS). Nous encourageons les responsables du DAAD à continuer cette collaboration pour un bon développement de la recherche agricole en Afrique de l'Ouest.
- à ma très chère maman Yvonne AGBANGBA née SOWU, pour son affection, ses soutiens moraux, financiers et l'éducation qu'elle m'a inculquée.
- au Professeur Léonard Elie AKPO, directeur du laboratoire d'Ecologie et d'Eco-hydrologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop, directeur de cette thèse, qu'il trouve ici l'expression de ma sincère gratitude. Il a toujours fait preuve d'une grande disponibilité et d'une rigueur scientifique qui nous a donné le goût du travail bien fait.
- au Dr Gustave Dieudonné DAGBENONBAKIN, Maître de recherche à l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin pour avoir co-supervisé ce travail et pour toutes les discussions fructueuses tout au long de l'encadrement.
- aux membres du Jury qui me font l'honneur d'évaluer mon travail.
- au Pr Ibrahima NDOYE d'avoir accepté de présider ce jury.
- aux Drs Ibrahima KANE et Daouda NGOM d'avoir accepté de juger ce travail malgré leurs nombreuses charges. Qu'ils veuillent bien trouver ici l'expression de ma grande reconnaissance.

- aux Professeurs Valentin KINDOMIHOU, Malainy DIATTA et Gustave D. DAGBENONBAKIN d'avoir accepté de se déplacer jusqu'à Dakar et de m'avoir consacré une partie de leurs précieux temps pour la lourde tâche de rapporteurs de ma thèse.
- aux collègues Drs Amy BAKHOUM, Omar Sarr, Sékouna DIATTA, Babacar DIOP, Aly DIALLO, pour l'atmosphère agréable qu'ils ont créée autour de moi tout au long de mes séjours au Laboratoire d'Ecologie Végétale et d'Ecohydrologie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- au Dr Paul HOUSSOU et au Prof. Joseph HOUNHOUGAN pour m'avoir facilité la compréhension des méthodes utilisées dans l'évaluation sensorielle des fruits et les analyses physico-chimiques au Laboratoire de nutrition et technologie alimentaire de la Faculté des Sciences Agronomiques.
- aux professeurs Ibrahim NDOYE, Léonard Elie AKPO et au Dr Daouda NGOM pour les cours de biostatistique (Statistique descriptive, Tests d'hypothèses, Analyses multivariées et Expérimentation agricole) qu'ils m'ont confiés dans leur formation de master respectivement à l'université Cheikh Anta Diop et à l'Université de Ziguinchor. Vous m'avez donné l'occasion de me mettre à jour afin d'être à la hauteur de la tâche que vous m'aviez confiée.
- au Prof. Valentin KINDOMIHOU, qui m'a aidé énormément en l'occurrence dans la préparation du projet de recherche et dont les critiques n'ont fait qu'augmenter la valeur scientifique de ce travail.
- au Dr Christophe TOSSOU pour ses nombreux conseils et pour m'avoir facilité le contact avec les producteurs.
- à Ir. Adrien BOKO pour m'avoir initié aux analyses de laboratoire et pour m'avoir offert toute sa disponibilité de nuit comme de jour pour la réussite des analyses ; puisse Dieu vous donner longue vie, amen !
- au Responsable de laboratoire M. Louis LAWANI, M. Joseph HOUNGNONVI et à tout le personnel du LSSEE /CRA-Agonkanmey/INRAB, pour la convivialité avec laquelle tout le travail s'était déroulé.
- à mes étudiants Emilienne ASSEA, Djamal AYIFIMI, Ruth AFORA, Crépin HOUENOU, Jean-Pierre MESSEKO pour leur participation active dans la collecte des données de terrain.

- à Félicia AKYO, Prosper AHOTONOU, Théodore AKPAHOUNKOKOU, Barthélémy DEDJI, et Daniel HANYENON DOSSOU, pour vos efforts physiques et techniques lors de la collecte des données de terrain.
- à tous mes frères et sœurs Justin, Roger, Ginette, Alice, Claudel, Pénélope, Annick et David pour leurs soutiens divers.
- à tous les producteurs d'ananas du plateau d'Allada (département de l'Atlantique dans le Sud-Bénin) pour leur hospitalité et leur accueil très chaleureux.

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX.....	9
LISTE DES FIGURES.....	10
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	12
INTRODUCTION GENERALE.....	13
PARTIE I : CADRE DE L'ETUDE	15
CHAPITRE1. MILIEU D'ETUDE.....	16
1.1. Caractéristiques générales	16
1.2. Zones agro-écologiques au Bénin	18
1.3. Zones de production d'ananas	13
CONCLUSION PARTIELLE.....	Erreur ! Signet non défini.
CHAPITRE 2. L'ANANAS : ECOLOGIE, BOTANIQUE, VALEUR NUTRITIVE ET USAGES	18
2.1. Ecologie	18
2.2. Caractéristiques botaniques.....	18
CONCLUSION PARTIELLE.....	Erreur ! Signet non défini.
PARTIE II : STATUT NUTRITIONNEL DE L'ANANAS CULTIVE AU BENIN	25
CHAPITRE 3. FACTEURS NUTRITIONNELS LIMITANT LE RENDEMENT DE L'ANANAS AU BENIN	26
3.1. MATERIEL ET METHODES	27
3.2. RESULTATS.....	31
3.3.DISCUSSION	37
CONCLUSION PARTIELLE.....	41
INTRODUCTION	43
4.1. MATERIEL ET METHODES	43
4.2. RESULTATS.....	49
4.3. DISCUSSION	65
CONCLUSION PARTIELLE.....	67
CHAPITRE 5. INFLUENCE DE LA FERTILISATION MINERALE SUR LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET ORGANOLEPTIQUE DES FRUITS FRAIS ET DU JUS D'ANANAS TRANSFORME AU BENIN	69
INTRODUCTION	71
5.1. MATERIEL ET METHODES	72

5.2. RESULTATS.....	77
5.3. DISCUSSION	86
CONCLUSION PARTIELLE.....	88
CHAPITRE 6. INFLUENCE DE LA FERTILISATION MINERALE SUR LA PRODUCTION DE REJETS.....	89
6.1. MATERIEL ET METHODES	91
6.3. DISCUSSION	98
CONCLUSION PARTIELLE.....	99
PARTIE IV : DISCUSSION, IMPLICATIONS AGRONOMIQUES ET CONCLUSION GENERALE	100
CHAPITRE 7. DISCUSSION GENERALE.....	101
7.1. DISCUSSION GENERALE	Erreur ! Signet non défini.
CHAPITRE 8. IMPLICATIONS AGRONOMIQUES, CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	106
8.1. IMPLICATIONS AGRONOMIQUES.....	106
8.2. CONCLUSION GENERALE.....	107
8.3. PERSPECTIVES.....	108
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	109
ANNEXES	122
ANNEXE 1: ARTICLES PUBLIES DANS LA THESE.....	123
ANNEXE 2: DISPOSITIF EXPERIMENTAL POUR CHACUN DES ESSAIS DE CAYENNE LISSE ET DE PAIN DE SUCRE	127
ANNEXE 3 : REPARTITION DES COUTS DE PRODUCTION D’ANANAS	128
ANNEXE4 : COUT DE REVIENT DE L’ANANAS.....	129
ANNEXE 5: BULLETIN POUR LES TESTS DE DEGUSTATION.....	130

Title of the thesis: Agronomic responses of *Ananas comosus* to mineral fertilizer in Benin: growth, yield and fruit quality

First Name and Surname of the Candidate: AGBANGBA Codjo Emile

Date and place of defense:

Nature: PhD thesis

ABSTRACT: Pineapple is one of the most important tropical fruit species in intensive cultivation in Benin.

In this work, the approach of Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) is used to study the nutritional status of pineapple plantations (*Ananas comosus* (L.) Merr.). The results revealed nutritional imbalance pineapple varieties of (Smooth Cayenne and Sugar Loaf) grown in the South of Benin. For each variety, a complete NPK factorial design was installed in Soyo, a village in the town of Allada, Atlantic Department in southern Benin. Ten treatments N (g / plant) P (g / plant) K (g / plant): T₀: Farmer's practice ; T₁: 6.7-1.6-9.3; T₂: 2.7-2.7-2.7; T₃: 10.7-0.5-2.7; T₅: 10.7-2.7-16; T₆: 2.7-0.5-16; T₇: 2.7-2.7-16; T₈: 10.7-2.7-2.7; T₉: 2.7-0.5-2.7 and T₁₀: 10.7-0.5-16 were compared. The organoleptic, physical and chemical properties of fruit and juice treatments were evaluated by a taste panel. A principal components analysis, followed by a numerical classification were performed on the fruit sensory, physical, and chemical characteristics. For Smooth Cayenne, treatments T₃, T₆ and T₉ have been promising for pineapple production for fresh consumption while the treatments T₁, T₃, T₅ and T₆ have yielded significant organoleptic quality juice. For Sugar Loaf, treatments T₃, T₅, T₆ and T₉ are promising for a quality production of pineapple for fresh consumption, while fertilizers T₁, T₅, T₆, T₇ and T₁₀ gave juice average organoleptic quality and also allow to have an appreciable yield juice. Economic doses of fertilizer N, P₂O₅ and K₂O to advocate for the Sugarloaf are 6.55 g/plant for nitrogen, 1.60 g/plant for phosphorus and 9.38 g/plant for potassium for a yield of 114 t/ha and a profit of FCFA 6,889,047 per hectare. As for the Smooth Cayenne, the fertilizer doses corresponding to maximum profit are 6.75 g/plant for nitrogen, 1.60 g/plant for phosphorus and 9.36 g/plant for potassium. The optimal doses that provides optimal performance of 2.76 Kg/plant is 165.6 t/ha and a profit of 11,526,318 CFA. These economic doses approach the T₁ treatment that has helped not only to get a good fruit yield and quality juices in both varieties but also to have a large number of plant ratoons in length and heavy weight. The use of economic doses will therefore assures trees objectives: pineapple production for fresh consumption, production for processing into juice and production of ratoons.

Keywords: Nutritional Status Pineapple qualities, economic doses, ratoons

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Types de sols aptitudes et possibilités d'aménagement (Adapté de Dagbénonbakin et Sokpon, 2003 ; Azontondé et al., 2009).....	12
Tableau 2. Propriétés physiques et chimiques des sols au début du diagnostic foliaire.....	32
Tableau 3. Détermination des normes SIDR pour la variété Cayenne lisse	34
Tableau 4. Détermination des normes SIDR pour la variété Pain de sucre	36
Tableau 5. Moyenne et écart-type des paramètres α' et α liés aux conditions initiales de croissance et de la vitesse de croissance (β , β') des plants d'ananas en fonction des traitements chez la Cayenne lisse	51
Tableau 6. Effet de la fertilisation P2O5 et K2O sur le poids, la hauteur et la surface foliaire de la feuille D..	53
Tableau 7. Effet de l'azote, du potassium et du phosphore sur le rendement du Pain de sucre et ses composantes.....	55
Tableau 8. Effet de l'azote, du potassium et du phosphore sur le rendement de la Cayenne lisse et ses composantes.....	56
Tableau 9. Modèles linéaires d'estimation de la production de Pain de sucre.....	57
Tableau 10. Modèles linéaires d'estimation de la production de Cayenne lisse.....	58
Tableau 11. Modèles non linéaires d'estimation de la production de Pain de sucre	59
Tableau 12. Modèles non linéaires d'estimation de la production de Cayenne lisse	60
Tableau 13. Doses maximale et économique de N, P2O5 et K2O	61
Tableau 14. Effet de N, P et K sur le rendement en jus, la teneur en sucres totaux et l'acidité totale du fruit .	78
Tableau 15. Variables discriminantes des classes de traitements pour la qualité physico-chimique et organoleptique de tranches d'ananas frais de Cayenne lisse.....	80
Tableau 16. Variables discriminantes des classes de traitements pour la qualité physico-chimique et organoleptique de tranches d'ananas frais de Pain de sucre	82
Tableau 17. Variables discriminantes des classes de traitements pour la qualité physico- chimique et organoleptique du jus d'ananas de Cayenne lisse	84
Tableau 18. Variables discriminantes des classes de traitements pour la qualité physico- chimique et organoleptique du jus d'ananas.....	86
Tableau 19. Caractéristiques de croissance des rejets Cayenne lisse et Pain de sucre en fonction des traitements	97

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation du Bénin en Afrique.....	16
Figure 2. Différentes zones agro écologiques du Bénin	11
Figure 3. Commune d'Allada dans le département de l'Atlantique	14
Figure 4. Répartition des feuilles d'ananas sur un plant (A – Plus vieille; F – Plus jeune) (Py, 1969; Malavolta, 1982).....	20
Figure 5. Fleur d'ananas, <i>Ananas comosus</i>	22
Figure 6. Fruit d'ananas : . (a) "Pain de sucre" b) "Cayenne lisse"	22
Figure 7. Différents types de rejets.....	24
Figure 8. Distribution des placettes dans les plantations des arrondissements d'Allada	28
Figure 9. Indices de nutriments des variétés d'ananas Cayenne lisse.....	33
Figure 10. Indices de nutriments des variétés d'ananas Pain de sucre	35
Figure 11. Carotte circulaire prélevée sur la feuille D (Source : Agbangba, 2014)	45
Figure 12. Mesure de la hauteur de la feuille D (Source : Agbangba, 2014).....	45
Figure 13. Influence de la fertilisation N, P et K sur la nutrition minérale de l'ananas	49
Figure 14. Influence de la fertilisation N, P et K sur la nutrition minérale de l'ananas Cayenne lisse.	50
Figure 15. Evolution de la hauteur suivant les traitements après la plantation	51
Figure 16. Evolution du nombre de feuilles suivant les traitements.....	52
Figure 17. Courbes de réponses de l'ananas "Pain de sucre" à la fertilisation N, P ₂ O ₅ et K ₂ O ₅	62
Figure 18. Courbes de réponses de l'ananas "Cayenne lisse" à la fertilisation N, P ₂ O ₅ et K ₂ O ₅	62
Figure 19 : a. Prise du poids du jus.....	72
Figure 20. Procédé de préparation du jus d'ananas.....	73
Figure 21. Séance d'évaluation sensorielle du jus d'ananas	75
Figure 22. Séance d'évaluation sensorielle des tranches d'ananas frais	76
Figure 23. Corrélation entre les caractéristiques physico-chimique et organoleptique des tranches d'ananas frais Cayenne lisse et les deux premières dimensions de l'ACP	79
Figure 24. Projection des classes de traitements selon les paramètres physico-chimique et organoleptique de l'ananas frais <i>Cayenne lisse</i> dans le plan factoriel de l'ACP	80
Figure 25. Corrélation entre les caractéristiques physico-chimique et organoleptique des tranches d'ananas frais Pain de sucre et les deux premières dimensions de l'ACP	81
Figure 26. Projection des classes de traitements selon les paramètres physico-chimique et organoleptique de l'ananas frais Pain de sucre dans le plan factoriel de l'ACP	82
Figure 27. Corrélation entre les caractéristiques physico-chimique et organoleptique du jus d'ananas Cayenne lisse et les deux premières dimensions de l'ACP.....	83
Figure 28. Projection des classes de traitements selon les paramètres physico-chimique et organoleptique du jus d'ananas Cayenne lisse dans le plan factoriel de l'ACP	84
Figure 29. Corrélation entre les caractéristiques physico-chimique et organoleptique du jus d'ananas Pain de sucre et les deux premières dimensions de l'ACP	85

Figure 30. Projection des classes de traitements selon les paramètres physico-chimique et organoleptique du jus de d'ananas Pain de sucre dans le plan factoriel de l'ACP	85
Figure 31. Rejets sur des tiges du cultivar Cayenne lisse (floraison naturelle):.....	92
Figure 32. Nombre de feuilles moyen par types de rejet de la variété Cayenne lisse	93
Figure 33. Poids moyen par types de rejet de Cayenne lisse	93
Figure 34. Longueur moyenne par types de rejet de Cayenne lisse	94
Figure 35. Nombre de feuilles moyen par types de rejet de Pain de sucre	94
Figure 36. Poids moyen par types de rejet de Pain de sucre	94
Figure 37. Longueur moyenne par types de rejet de Pain de sucre	95
Figure 38. Projection des paramètres de croissance des rejets et de l'effet des traitements dans le plan factoriel de l'ACP pour la variété Cayenne lisse	96
Figure 39. Projection des paramètres de croissance des rejets et de l'effet des traitements dans le plan factoriel de l'ACP pour la variété Pain de sucre.....	96

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ASECNA :	Agence pour la sécurité et de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar.
Ca :	Calcium
CEC :	Capacité d'Echange Cationique
CeCPA:	Centre Communal de Promotion Agricole
CV:	Coefficient de Variation
DRIS:	Diagnosis and Recommendation Integrated System
FASTEF :	Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation
FST :	Faculté des Sciences et Techniques
GV:	Groupement Villageois
INRAB :	Institut National de Recherche Forestière
INRAB	Institut National des Recherches Agricoles du Bénin
INSAE:	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
K :	Potassium
LSSEE :	Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement
Mg :	Magnésium
N :	Azote
NBI :	Nutrient Balance Indice
P :	Phosphore
PADFA:	Programme d'Appui aux Filières Agricoles
RGPH:	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
S :	Soufre
SBEE:	Société Béninoise d'Energie Electrique
SCRp:	Stratégie de Croissance pour la Réduction de la Pauvreté
SD :	Standard Deviation (Ecart type)
TIF:	Traitement d'Induction Florale
TROPAGRI :	Tropical Agriculture
UAS :	Université Assane Seck de Ziguinchor
UCAD :	Université Cheikh Anta Diop de Dakar
UCPA :	Union Communale des Producteurs d'Ananas
VAR :	Variance
Zn :	Zinc

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur agricole, base de l'économie béninoise occupe 80% de la population active et contribue à 40% au produit intérieur brut (Sare, 2012). Il est dominé par la culture du coton qui est la principale culture de rente (Togbé *et al.*, 2014). Les difficultés que rencontre actuellement le secteur cotonnier ont amené l'Etat à penser de plus en plus à d'autres filières. Ainsi, dans le but de réduire la pauvreté, le gouvernement du Bénin a décidé de promouvoir l'exportation d'autres cultures dont l'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merrill). Principale culture dans le sud, particulièrement dans le département de l'Atlantique, l'ananas est cultivé par environ 70% des producteurs de ce département qui réalise environ 95% de la production totale dans le Bénin (Helvetas-Bénin, 2008). L'ananas est cultivé aussi bien pour la consommation locale que pour l'exportation. La production est destinée à l'exportation régionale (40%), à la consommation locale en frais (35%), à la transformation en jus (15%), à l'exportation sous la forme d'ananas séché (8%) et 2% sont exportées vers l'Union européenne (Agbo, 2008 ; Djalalou-Dine *et al.*, 2013). Ainsi, beaucoup d'emplois directs et indirects, soit respectivement 15000 et 25000, sont créés le long de la chaîne de valeur de ce produit (Djalalou-Dine *et al.*, 2012). Selon INRAB (2006), la culture d'ananas peut rapporter entre 2,5 millions (sans grands investissements) et 5 millions de FCFA (avec beaucoup d'intrants) par hectare.

Cependant, cette culture est sujette à des contraintes dont entre autre la baisse de la fertilité des sols de culture. En dépit de l'importance de cette culture au Bénin, il n'existe pas encore de travaux de recherche au Bénin sur l'influence de la fertilisation minérale sur la croissance, le rendement et la qualité du fruit. De plus, la nutrition et la fertilisation de l'ananas ont bénéficié de très peu d'attention de la part de la recherche agricole au Bénin. Les documents scientifiques sur la fertilisation de l'ananas se résument en des fiches techniques et des enquêtes sur les pratiques en milieu paysan (Agbangba, 2008 ; Dagbenonbakin *et al.*, 2010). Les paysans utilisent des quantités variables d'engrais minéraux notamment le sulfate de potasse et l'urée (Sossa *et al.*, 2014). Le Mémento de l'agronome (2002) recommande 4 à 14 g N, 10 à 20 g K₂O, 5 g P₂O₅ et 5 g MgO par plant d'ananas. Or, non seulement les quantités d'engrais appliquées sont largement insuffisantes par rapport aux recommandations du Mémento, mais aussi aucune quantité de P et de Mg n'est épandue (Sossa *et al.*, 2014). Ces éléments minéraux qui ne sont pas appliqués sur l'ananas et qui sont aussi importants pour cette culture peuvent déterminer non seulement la production, mais aussi jouer sur la qualité du fruit.

Dans ce contexte de diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols, quel est le statut nutritionnel des variétés d'ananas cultivées au Bénin ?, quelles sont les doses optimales d'éléments minéraux N, P_2O_5 et K_2O pour la production d'ananas destinée à la consommation en fruit frais et à la transformation en jus au Bénin ? et quelle est l'influence de la fertilisation minérale sur la production de rejets ?

L'étude vise l'amélioration de la production et la qualité de l'ananas au Bénin par une gestion efficiente de la fertilisation minérale. De façon spécifique, il s'agira (1) d'évaluer le statut nutritionnel des variétés d'ananas cultivées au Bénin ; (2) de déterminer les combinaisons d'éléments minéraux N, P_2O_5 et K_2O optimales pour la production d'ananas destiné à la consommation en fruit frais et à la transformation en jus au Bénin ; et enfin (3) d'étudier l'influence de la fertilisation minérale sur la production de rejets d'ananas.

Ce document comprend quatre parties correspondant aux réponses des trois principales questions de recherche. La première partie traite du cadre de l'étude en précisant le milieu d'étude et les généralités sur l'ananas, la seconde partie développe le statut nutritionnel des variétés d'ananas, la troisième partie traite de l'influence de la nutrition minérale sur la production de l'ananas. Enfin, la dernière partie est réservée à la discussion, aux implications agronomiques, à la conclusion générale et aux perspectives.

PARTIE I : CADRE DE L'ETUDE

CHAPITRE1. MILIEU D'ETUDE

1.1. Caractéristiques générales

1.1.1. Situation géographique

La République du Bénin est située dans la zone intertropicale entre les parallèles 6°10' et 12°30' de latitude Nord et les méridiens 1° et 3°40' de longitude Est et couvre 114 763 km². Elle est limitée au Nord par le Niger et le Burkina Faso, au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Est par le Nigeria et à l'Ouest par le Togo (Figure 1).

Le Bénin est subdivisée en 12 départements (Alibori, Atacora, Atlantique, Borgou, Collines, Couffo, Donga, Littoral, Mono, Ouémé, Plateau et Zou), 77 communes, 569 arrondissements comptabilisant 3828 villages et quartiers de villes. La capitale administrative est Porto-Novo (Anonyme, 2001).

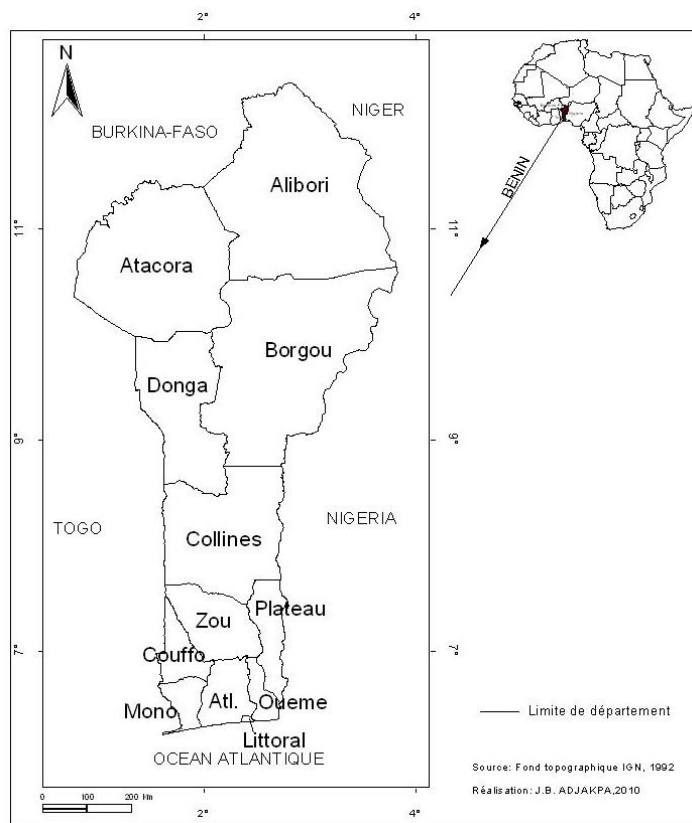


Figure 1. Carte administrative du Bénin en Afrique

1.1.2. Végétation

Selon Adjanohoun (1968) cité par Akoègninou (2004), plusieurs domaines ou zones de végétation sont distingués au Bénin.

1.1.2.1. Formations végétales du domaine guinéen

✓ *Formations littorales*

Elles comprennent :

- les pelouses littorales à *Cyperus maritimus* et *Remirea maritima* ;
- les fourrés littoraux à *Diospyros tricolor* et *Chrysobalanus icaco* var. *orbicularis* constituant un peuplement dense de 2 ou 3 m de hauteur, incliné vers la mer et difficile à pénétrer ;
- les savanes côtières à *Anadelphia afzeliana* et *Schizachyrium pulchellum* ;
- les prairies inondées à *Paspalum vaginatum* et à *Eleocharis mutata* ;
- la mangrove sous le régime des marées rencontrée sur les sols vaseux, salés, hydromorphes et asphyxiants ; les espèces dominantes sont : *Rhizophora racemosa* et *Avicennia germinans* (Paradis et Adjanohoun, 1974) ;
- les forêts marécageuses à *Symphonia globulifera* et *Mitragyna inermis*.

✓ *Formations du domaine des forêts denses humides semi-décidues*

Elles regroupent :

- les forêts denses humides semi-décidues qui occupent les sommets, les pentes de plateaux, les sables quaternaires et la dépression argileuse de la Lama ;
- les fourrés secondaires ou formations non stratifiées dérivant de la dégradation des forêts précédentes et constituées d'arbustes à cimes jointives ;
- les savanes sur sol drainé marquant un terme de dégradation avancée des forêts denses humides semi-décidues ; les principaux types sont les savanes à *Lophira lanceolata*, caractéristiques des cordons anciens, les savanes à *Adansonia digitata*, localisées sur les plateaux de Comé et d'Abomey, les savanes à *Daniellia oliveri* et *Parkia biglobosa*, mieux représentées au Nord de la dépression de la Lama (Adjakidjè, 1984).

1.1.2.2. Formations des domaines soudano-guinéen et soudanien

Elles comprennent :

- les forêts denses sèches peu étendues et souvent incluses dans les forêts claires et savanes soudaniennes ; ce sont des formations très fragiles dont la reconstitution spontanée des aires défrichées est difficile ;
- les forêts claires à *Isoberlinia doka* et *Uapaca togoensis* dérivant des forêts précédentes et très recherchées par les agriculteurs pour leurs sols plus meubles et plus fertiles ;
- les galeries forestières à *Pterocarpus santalinoides* couvrant les rives des grands fleuves Mono, Ouémé, Couffo et des rivières.

1.1.2.3. Formations d'origine anthropique

Elles comprennent :

- les cocoteraies typiques des côtes tropicales et Ouest-africaines en particulier avec *Cocos nucifera* introduit par les navigateurs portugais ;
- les palmeraies dominant le paysage et établies à l'issue de la dégradation des forêts denses semi-décidues ; on distingue les palmeraies naturelles ou "palmeraies-parcs" (Mondjannagni, 1969), localisées dans les régions de Porto-Novo et d'Abomey et les palmeraies à plants sélectionnés de Houin-Agamey, de Hinvi ;
- les teckeraies et autres plantations d'espèces de grandes utilités telles que *Casuarina equisetifolia*, *Melaleuca leucadendron*, *Anacardium occidentale*, *Acacia auriculiformis* et *Eucalyptus camaldulensis*.

1.2. Zones agro-écologiques du Bénin

On distingue au Bénin huit zones agroécologiques (Dagbénonbakin et Sokpon, 2003 ; Azontonde *et al.*, 2009) (Figure 2) qui se différencient par le climat et le type de sol :

- Zone 1 : zone extrême Nord du Bénin

Elle relève de la zone soudano – sahélienne située dans l'Extrême – nord et qui s'étend sur les communes de Karimama et de Malanville. Elle couvre environ 9118 km². Le climat est de type soudano - sahélien à deux saisons. La pluviométrie est de l'ordre de 900 mm/an avec des pluies agressives accompagnées de vents forts. La période de croissance des végétaux est inférieure à 130

jours /an. La densité moyenne de population est de 12 habitants/km². Les principales cultures sont le sorgho, l'igname, le coton, le maïs, le riz, le niébé et l'arachide. Les rendements y sont des meilleurs pour l'igname (>49t/ha) et l'arachide (> 1t/ha) (MAEP 1999 - 2006, INSAE 1996-2006).

- **Zone 2 : zone cotonnière du Nord Bénin**

Elle relève de la zone soudanienne et couvre 20930 km². Le climat est tropical chaud de type soudanien à deux saisons contrastées qui s'alternent : pluvieuse (Juin à Septembre) et sèche (Novembre à Avril). La pluviométrie y varie de 900 à 1000 mm au nord (région de Kandi). Les pluies sont pour la plupart orageuses en début de saison et le faible couvert végétal les rend plus agressives. La période de croissance des végétaux est de 130 à 200 jours/an. La densité humaine est en moyenne de 14 habitants/km². 21 habitants/km². Les principales cultures sont le coton, le sorgho, le maïs, l'arachide, le niébé, le manioc et le riz. Les rendements y sont des meilleurs pour le coton (>1,05 t/ha) et le maïs amélioré (>1,5t/ha) mais des plus faibles pour le niébé (<0,3 t/ha) (RGPH 2002, INSAE 2006, CeRPA/DPP/MAEP 1998-2006).

- **Zone 3 : zone vivrière du sud Borgou**

Elle couvre 18159 km², et caractérisée par un climat soudanien avec une seule saison pluvieuse de 900 à 1300 mm par an, des sols ferrugineux tropicaux très sensibles au lessivage. La savane arbustive et arborée domine la zone et est à dominance de *Vitellaria paradoxa* (Karité). La densité de la population est de 33 habitants/km². Les principales cultures sont le coton, le maïs, le sorgho, l'igname, le manioc, le riz, le niébé et l'arachide. Les rendements y sont des meilleurs pour le maïs (Local : r >0,89 t/ha ; Amélioré : r >1,6t/ha), le manioc (>8t/ha), l'arachide (>8,5t/ha), le coton (>0,9t/ha) mais des plus faibles pour le riz (<2t/ha) (RGPH 2002, INSAE 2006, CeRPA/DPP/MAEP 1998-2006).

- **Zone 4 : zone ouest Atacora**

Elle couvre 19207 km² et caractérisée elle par une variation climatique du soudano-sahélien à soudano-guinéen avec une pluviométrie annuelle de 1000 à 1300 mm. Les sols sont ferrugineux, souvent profonds, mais avec une faible réserve en eau. La période végétative est comprise entre 160 et 220 jours. La densité de la population est de 32 habitants au km². Les principales cultures sont le maïs, le coton, le manioc, l'igname, l'arachide, le niébé et le sorgho. Les rendements y sont des meilleurs pour le manioc (>11,2 t/ha), le coton (>1,07 t/ha), le maïs (>1,2t/ha), l'arachide

(>0,95t/ha) mais des plus faibles pour l'igname (<0,1 t/ha) (RGPH 2002, INSAE 2006, CeRPA/DPP/MAEP 1998-2006).

- **Zone 5 : zone cotonnière du Centre-Bénin**

Elle couvre 32155 km² et s'étend sur les départements du Plateau, du Couffo, des Collines, du Borgou et de la Donga. Le climat de type soudano-guinéen caractérisé par deux saisons des pluies et deux saisons sèches, avec une petite saison sèche à minimum pluviométrique supérieur à 65 mm, évoluant vers le type soudanien à une seule saison des pluies. Au cas où le maximum pluviométrique des saisons sèches se fixe à 50 mm, le climat de la zone s'ajuste au type soudanien. Ce climat qui fait la transition entre type soudano-guinéen caractérisé par deux saisons des pluies et deux saisons sèches et le type soudanien à une seule saison des pluies. La pluviométrie varie de 1000 mm à Aplahoué au Sud-Ouest à 1200 mm à Tchaourou au Nord-Est ; la saison des pluies s'étend de Mars à Octobre avec un maximum en Mai - Juin au Sud et Septembre au Nord de la zone. La densité de la population est de 36 habitants au km². Les principales cultures de la zone sont : le sorgho, l'igname, le maïs, le niébé, l'arachide, le manioc, le riz et le coton. Les rendements y sont des meilleurs pour le niébé (>3,03 t/ha) et des plus faibles pour le coton (<0,5 t/ha) (RGPH 2002, INSAE 2006, CeRPA/DPP/MAEP 1998-2006).

- **Zone 6 : zone de terre de barre**

Elle couvre 7127 km² et s'étend sur les départements de l'Ouémé, de l'Atlantique, du Zou et du Mono, soit 24 communes.

Le climat est soudano- guinéen caractérisé par deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La pluviométrie varie de 700 mm à Dogbo à l'Ouest à 1200 mm à Sakété à l'Est ; la grande saison des pluies s'étend de Mars à Juillet avec un maximum en Juin et parfois en Mai. La petite saison des pluies couvre Septembre à Octobre. La grande saison sèche est marquée par quatre mois à moins de 50 mm de pluie (Novembre, Décembre, Janvier et Février). La petite saison sèche limitée à Août à l'Est est peu marquée à l'Ouest. Le département de l'Atlantique qui abrite nos expérimentations dans le cadre de cette thèse relève bien de cette zone. Les sols sont essentiellement ferrallitiques répartis sur les sept plateaux du Sud Bénin et sont aptes à une production végétale satisfaisante (Azontondé et al., 2009.). Toutefois, la dégradation apparente relève essentiellement de leur surexploitation par le truchement des cultures sur brûlis, des cultures à plat, la destruction des arbres et la mauvaise

orientation des billons. Ainsi la disparition de la matière organique, réduit les réserves minérales et entraîne la dégradation chimique. Le niveau de fertilité est par conséquent bas sur les plateaux d'Aplahoué et d'Allada et moyen sur le plateau de Kétou et le rebord nord-ouest du plateau d'Aplahoué. La densité de la population est la plus élevée et vaut 281 habitants au km². Les principales cultures sont le maïs, le manioc, l'arachide, le niébé, le coton et le sorgho. Les rendements y sont des meilleurs pour le manioc (>19,1 t/ha) et le niébé (>3,1t/ha) mais des plus faibles pour le maïs (<0.7 t/ha) (RGPH 2002, INSAE 2006, CeRPA/DPP/MAEP 1998-2006).

- **Zone 7 : zone de la dépression**

Elle couvre 2497 km² et s'étend sur les départements de l'Ouémé, de l'Atlantique et du Mono. Elle prend donc en compte les communes de Toffo, Lalo, Adja-Ouère et Pobè.

Le climat est de type soudano-guinéen caractérisé par deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La pluviométrie varie de 800 mm à Lalo à l'Ouest, à 1200 mm à Pobè à l'Est ; la grande saison des pluies s'étend de Mars à Juillet avec un maximum en Mai - Juin. La petite saison des pluies de Septembre à Octobre. La grande saison sèche est marquée par quatre mois à moins de 50 mm de pluie (Novembre, Décembre, Janvier et Février). La petite saison sèche est limitée à Août à l'Ouest. La zone de la dépression comporte presque exclusivement des vertisols. Ce sont des sols de fertilité physique moyenne due à leur perméabilité et porosité moyennes. Néanmoins, ils ont un niveau de fertilité chimique élevé disposant de bonnes caractéristiques chimiques. La densité de la population est de 187 habitants au km². Les principales cultures sont : le maïs, le manioc, le niébé, le riz et le coton. Les rendements y sont des meilleurs pour le maïs (local : r >7,5 t/ha ; amélioré : r >1,8t/ha) mais des plus faibles pour l'arachide (<0,6 t/ha) (RGPH 2002, INSAE 2006, CeRPA/DPP/MAEP 1998-2006).

- **Zone 8 : zone des pêcheurs**

Elle couvre 7666 km² et s'étend sur les départements du Littoral, de l'Ouémé et la partie basse de l'Atlantique et du Mono. Elle prend donc en compte les communes de Sèmè-kpodji, Aguégué, Dangbo, Adjohoun, Grand-Popo, Athiémé, Comè, Lokossa, Cotonou, Porto-Novo, Abomey-Calavi et Ouidah. Le climat est subéquatorial maritime à deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La pluviométrie varie de 800 mm à Grand Popo à l'Ouest à 1300 mm à Sèmè-Kpodji à l'Est ; la grande saison des pluies s'étend de Mars au début Juillet avec un maximum en Mai - Juin. Et la petite saison de Septembre à Octobre. La grande saison sèche à moins de 50 mm de pluie (Décembre, Janvier et Février) à l'Est de la zone est plus accusée à l'Ouest (Novembre, Décembre, Janvier et Février). La

petite saison sèche est limitée au mois d'Août à l'Est mais s'étend à Septembre à l'Ouest. La densité de la population est de 156 habitants au km². Les principales cultures sont le maïs, le manioc, le niébé, l'arachide et le coton.

Les rendements y sont élevés pour le manioc (>13,8 t/ha) et le maïs (local : r > 1,1 t/ha ; amélioré : r > 1,3t/ha) mais des plus faibles pour le niébé (<0,6t/ha), l'arachide (<0,7 t/ha) et le coton (<0,7 t/ha) (RGPH 2002, INSAE 2006, CeRPA/DPP/MAEP 1998-2006).

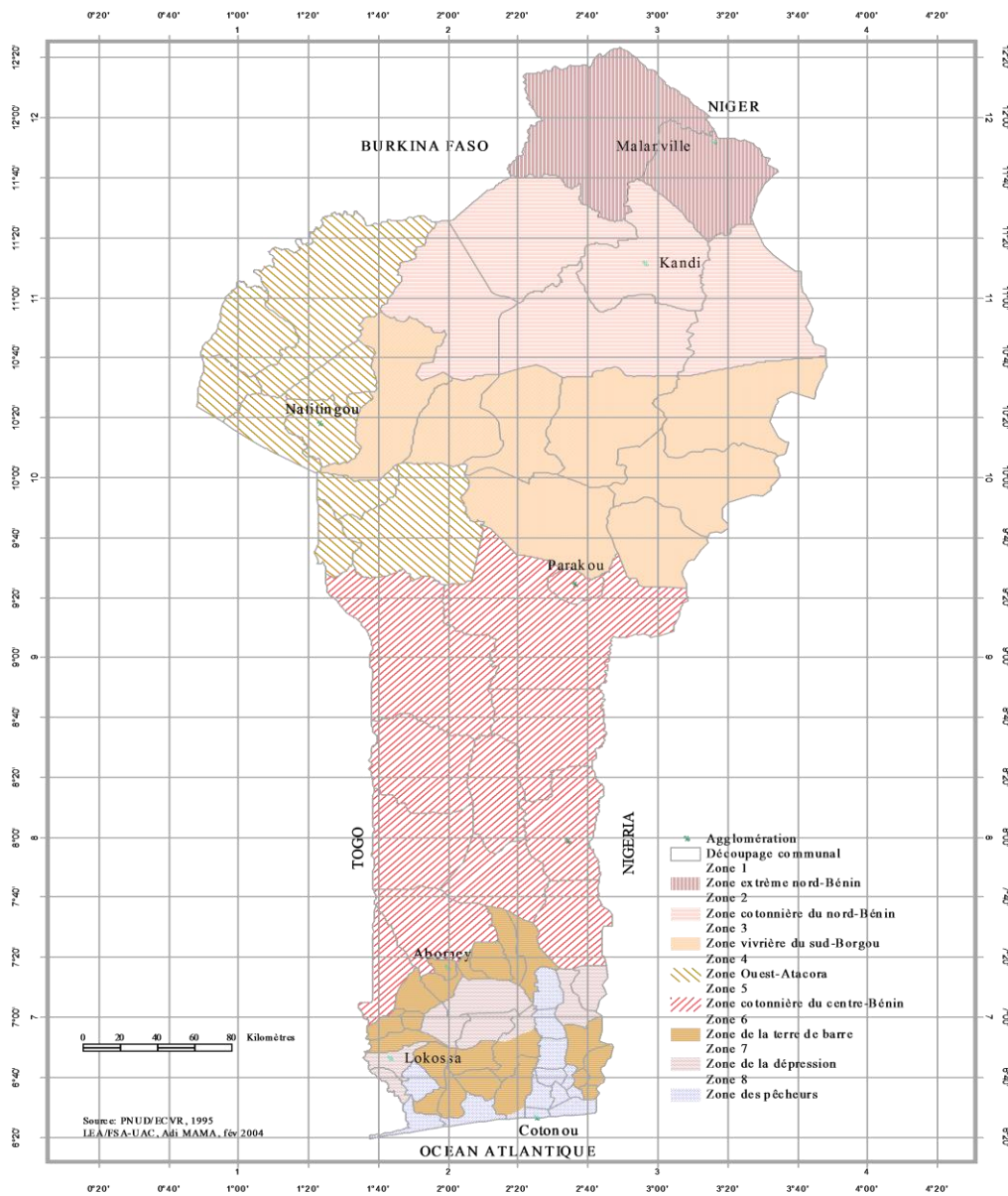


Figure 2. Différentes zones agro écologiques du Bénin

1.3. Sols du Bénin

Les types de sols, leurs aptitudes et les possibilités d'aménagements sont consignés dans le tableau 1. Les conditions pédoclimatiques de la zone agro-écologique 6 de terre de barre (sols ferrallitiques) sont propices à la culture de l'ananas. Les stratégies de gestion de la fertilité de ces sols pour la culture de l'ananas doivent prioriser le maintien ou l'amélioration du stock d'humus et l'apport fractionné d'engrais (Dagbénonbakin et Sokpon, 2003).

Tableau 1. Types de sols aptitudes et possibilités d'aménagement (Adapté de Dagbénonbakin et Sokpon, 2003 ; Azontondé *et al.*, 2009)

Types de sol	Aptitudes culturales	Possibilités d'aménagement	Zones Agro-écologiques
Sols minéraux bruts	A proscrire pour l'agriculture		4 et 8
Sols peu évolués	Plantations de cocotiers, reboisement	Drainage et irrigation	4 et 8
Vertisols	Cultures vivrières, coton	Drainage	7
Sols hydromorphes	Bon supports pour cultures vivrières palmier à huile, coton, tabac, canne à sucre, riziculture là où le taux de salinité est faible	Aménagements hydro-agricoles	1, 5, 6, 7
Sols ferrallitiques	Favorables aux palmiers à huile, à l'ananas, cultures pérennes et vivrières	Maintien ou amélioration du stock d'humus, Apport fractionné d'engrais	4, 5, 6
Sols ferrugineux	Cultures vivrières, cocotier, tabac, plantes de couverture ou jachère arbustive pour paillage ou alimentation animale	Apport fractionné d'engrais, techniques culturales appropriées et lutte anti-érosive, léger aménagement hydro-agricole	2, 3, 4, 5

1.4. Zones de production d'ananas

1.4.1. Localisation géographique

L'étude a été menée dans le département de l'Atlantique dans le Sud (Figure3) sur terre de barre (zone agroécologique 6). Le département de l'Atlantique comporte huit communes : Allada, Torri-Bossito, Toffo, Zè, Abomey-Calavi, Kpomassè, Ouidah, So-Ava (INSAE, 2004). L'ananas est produit dans les cinq premières communes (Allada, Torri-Bossito, Toffo, Zè, Abomey-Calavi). Allada regorge 33% des producteurs d'ananas tandis que Ouidah n'en contient que 4% (Ouinkoun et Lalèyè, 2004). La commune d'Allada a abrité les essais agronomiques et le diagnostic de fertilité y est effectué. Elle est située à environ 54 km de Cotonou, au nord du département entre 6° 34' et 6°47' latitude Nord, 1°59' et 2°15' longitude Est. Elle couvre environ 381 km² soit 0,34% de la superficie totale du Bénin. Elle est limitée au Nord par Toffo, au Sud par Tori-Bossito, à l'Est par Zè, à l'Ouest par Kpomassè et Bopa (Mono). Elle est établie sur le plateau de terre de barre qui descend vers les vallées de l'Ouémé, du Couffo et la dépression de la Lama. En particulier, la commune d'Allada est une zone spécialisée dans la culture d'ananas. Quatre arrondissements ont été choisis sur la base de l'importance de la production et de la situation géographique en vue d'avoir une grande variabilité. L'arrondissement de Sékou (6°39' Nord, 2°13' Est) vient en tête pour la production de Pain de sucre alors qu'à Avakpa (06°39' Nord, 2°02' Est), très peu de terres y sont consacrées. Par contre, l'Arrondissement d'Ahouannonzoun (06°41' Nord, 2°12' Est) produit plus la Cayenne lisse. La production à Allada-Centre (06°38' Nord, 2°10' Est) est relativement moyenne pour les deux variétés.

Les essais ont été installés dans le village de Soyo dans l'arrondissement d'Allada-Centre. La texture des sols est sablo-limoneuse. Les taux de sable et limon étaient respectivement de 84,8% et 4,3 % pour la parcelle de la variété "Cayenne lisse", 84,5% et 4,2% pour celle du "Pain de sucre". La teneur en azote est de 0,08 avec un pH acide (6 pour le site de Cayenne lisse) et faiblement acide pour le Pain de sucre (6,5). Le rapport carbone/azote est de 10,3. Le taux de matière organique de 1,38% est faible. La teneur en potassium des sols est faible (respectivement de 0,14 Cmol kg⁻¹ et 0,03 Cmol kg⁻¹ pour les sites de Cayenne lisse et Pain de sucre). La teneur des sols en phosphore assimilable selon Bray 1 est faible (respectivement de 6 mg kg⁻¹ et 5 mg kg⁻¹ pour les

sites de Cayenne lisse et Pain de sucre). Les sols sont pauvres en Ca et Mg échangeables ($1,8$ à $2,8 \text{ Cmol kg}^{-1}$). La somme des bases et la CEC sont faibles ($4,8$ à $5,4 \text{ Cmol kg}^{-1}$).

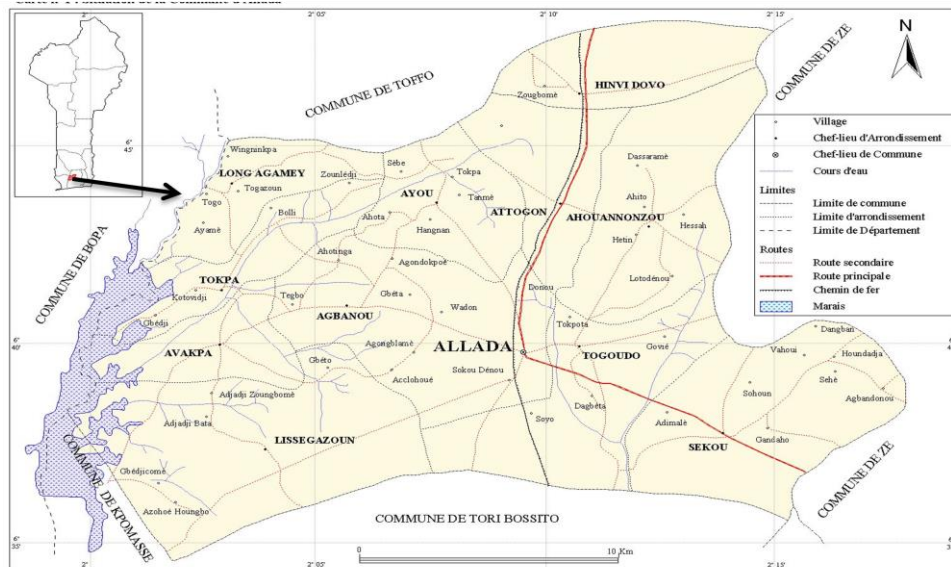


Figure 3. Commune d'Allada dans le département de l'Atlantique

1.4.2 Relief et sols

1.4.2.1. Relief

Le relief de l'Atlantique peu accidenté est constitué de plateaux sédimentaires (Anonyme, 1989). Ces plateaux de terre de barre du Bas-Bénin font suite à la plaine côtière par un talus irrégulier. D'altitude comprise entre 20 et 200 m, ces plateaux sont légèrement inclinés vers le Sud et entaillés par des vallées orientées Nord-Sud (Ouémé, Zou, Couffo). Ils sont subdivisés par une dépression médiane. Au Sud de cette dépression, les unités de ces plateaux morcelés sont entre autres, de l'Ouest à l'Est, le plateau d'Allada (altitude moyenne 100 m).

1.4.2.2. Sols

Les sols du Bénin sont caractérisés par une grande variabilité, tant au plan de leur nature, de leur fertilité que de leur répartition géographique (Volkoff, 1976 ; Faure et Volkoff, 1976 ; Volkoff et Willaine, 1976 ; Dubroeuq, 1977 a,b). Le département de l'Atlantique est principalement caractérisé par les sols ferrallitiques qui couvrent environ 7 à 10% de la superficie totale du pays. Dans le Sud du pays, on rencontre des sols ferrallitiques faiblement désaturés de texture argilo-sableuse avec une fertilité moyenne. Le sol est profond atteignant 10 mètres par endroits. Il a une capacité de rétention en cations et les réserves minérales caractérisées par des taux de potassium extrêmement faibles et des teneurs en P_2O_5 faibles (Agossou, 1983, Dagbenonbakin et Sokpon, 2003). Leur faible niveau de potassium indique qu'une fertilisation potassique adéquate doit être suivie pour les cultures notamment d'ananas qui exploite bien cet élément (Treto, 1992).

1.4.2.3. Réseau hydrographique

Le département de l'Atlantique dispose d'un réseau hydrographique diversifié incluant les fleuves, notamment le Couffo, qui le parcourt sur près de 50 kilomètres et se jette dans le lac Ahémé. Le couffo connaît de fortes crues qui atteignent le point culminant pendant la deuxième saison pluvieuse. De même, le Sô, marqué de fortes crues, parcourt le département sur environ 50 km et se jette dans le lac Nokoué. La rivière Sossou, moins importante, nourrit le lac Toho. Ces cours d'eau occupent mesurent respectivement 140 km² pour le Lac Nokoué, 85 km² pour le lac Ahémé, 15 km² pour le lac Dati et 7 km² pour le lac Toho. Ce réseau est complété à l'intérieur par des rivières, bas-fonds, marigots et sur la côte par un cordon lagunaire.

1.4.2.4. Végétation

La forêt dense humide originelle du département de l'Atlantique a été longtemps en proie aux défrichements sauvages et il s'en suit de petits îlots d'étendues négligeables. La végétation de nos jours se limite globalement à un bush arbustif, associé à des peuplements plus ou moins denses de palmiers à huile que l'on retrouve sur les plateaux soit à l'état naturel, soit en plantations industrielles (Dagbenonbakin et Sokpon, 2003 ; CeRPA, 2005). Le développement de la culture d'ananas a contribué à la destruction des formations végétales (Tossou, 2001). Néanmoins, on peut rencontrer encore des espèces telles que *Triplochiton scleroxylon* (samba), *Blighia sapida*, *Milicia Excelsa* (Iroko), *Ceiba pentandra* (fromager), *Adansonia digitata* (baobab) etc.

1.4.2.5. Population et activités économiques

D'après les résultats du recensement général de la population et de l'habitat effectué en 2014 (INSAE, 2014), la population du département de l'Atlantique est estimée à 1396548 habitants dont 683838 hommes et 712710 femmes.

Les activités économiques dominantes sont le commerce (32%) et l'agriculture (30%). L'agriculture itinérante sur brûlis avec des outils rudimentaires tels que la houe, le coupe-coupe, la hache etc. demeure la tradition paysanne comme ailleurs dans tout le pays. Ceci limite la production qui est essentiellement destinée à la subsistance. Les cultures vivrières bases de l'alimentation dans le département sont le maïs et le manioc. L'arachide domine les oléagineuses annuelles. Les cultures maraîchères développées sont la tomate et des légumes feuilles. En dehors des plantations d'arbres, la culture de l'ananas est également en pleine expansion dans le département. La grande partie de l'ananas produit au Bénin est consommée dans la sous-région (Nigéria et pays de l'interland) et au niveau national. Le reste est valorisé par les unités locales de transformation de jus d'ananas, aussi par l'exportation de l'ananas frais (2%) et l'ananas séché vers l'union européenne (Sohinto, 2008). Il existe aussi des plantations de palmier à huile, et d'agrumes.

L'élevage qui une activité secondaire pour quelques individus, est très peu développé. Les principales espèces animales élevées sont les bovins, les ovins et caprins, les porcins et les volailles (poules, pintade, canard etc). L'engouement pour la consommation de la viande de porc est grandissant ces dernières années pendant que l'offre ne satisfait pas encore la demande. Les espèces d'élevage non conventionnel (lapins, escargots, aulacodes) se développent et constituent une forme de diversification de la production animale.

La pêche, importante activité économique est encore mal structurée. Elle est relativement développée grâce aux nombreux plans et cours d'eau et mobilise une diversité d'acteurs autochtones et allochtones. Elle se pratique sous plusieurs formes : pêche continentale dans les cours d'eau et les étangs piscicoles à partir des filets et acadjas à Abomey-Calavi, Sô-Ava, Ouidah et Kpomassè, la pêche maritime artisanale, et pêche maritime industrielle sur le Littoral.

Le département de l'Atlantique contribue pour une part importante à la production halieutique béninoise, en ravitaillant le marché intérieur.

Dans le domaine des ressources minières, des indices de gisement de pétrole ont été relevés dans la région d'Allada et d'Abomey-Calavi, de phosphate et de gravier à Toffo. Le département abrite une industrie d'extraction d'huile de palme à Hinvi.

Les activités d'artisanat sont assez diversifiées et se développent surtout à Abomey-Calavi, Ouidah et Allada. Une cinquantaine de marchés locaux animent la vie commerciale du département. Les activités commerciales sont orientées aussi bien vers la consommation intérieure que vers l'importation et l'exportation.

La vitalité touristique du département se développe surtout autour des plages pittoresques, des villages lacustres de Ganvié et de Sô-Tchanhoué dans la commune de Sô-Ava et du musée historique d'Ouidah attirent chaque année des milliers de touristes.

CHAPITRE 2. L'ANANAS : ECOLOGIE, BOTANIQUE, VALEUR NUTRITIVE ET USAGES

2.1. Ecologie

2.1.1. Exigences climatiques

La température est le principal facteur déterminant l'aire de répartition de l'ananas ; les valeurs inférieures à 20 °C ou supérieures à 36 °C, défavorisent son développement (Bartholomew et Kadzimin, 1977). L'ananas se cultive sous des températures moyennes de l'ordre de 24 °C à 27 °C, avec des besoins théoriques en eau de 3 à 4 mm/jour, soit 1.200 à 1.500 mm par an (Scohier et Texido, 2001). Si la température est trop basse, le développement de la plante est faible, la chair du fruit brunit et présente un goût amer. Si la température est trop élevée, ($T^{\circ} > 35^{\circ}\text{C}$), les fruits deviennent fragiles et translucides (Mémento de l'agronome, 2002). Ainsi, la croissance est réduite et la chair du fruit montre une plus grande acidité (Scohier et Texide, 2001). L'ananas est une plante xérophYTE (Bartholomew et Kadzimin, 1977). Son rendement optimal requiert la pleine insolation (Scohier et Texide, 2001). La plante peut stocker l'eau dans des tissus foliaires et profiter des moindres pluies et de la rosée (Scohier et Texide, 2001).

2.1.2. Exigences pédologiques

L'ananas tolère mieux les sols légers, sablo-argileux ou argileux sableux meubles, bien aérés et très filtrants (Scohier et Texide, 2001). Le sol sous culture d'ananas doit pouvoir retenir au mieux les éléments nutritifs apportés à la plante puis les restituer au fur et à mesure des besoins (Ganier, 1997). Les meilleurs sols pour cultiver l'ananas sont acides ($4,5 < \text{pH} < 5,5$) (Scohier et Texide, 2001). L'ananas est une plante exigeante en éléments minéraux.

2.2. Caractéristiques botaniques

2.2.1. Systématique

L'ananas est une chamaephyte de l'embranchement des monocotylédones appartenant à la famille des Broméliacées. Le genre *Ananas* compte huit (08) espèces : *Ananas monstrosus*, *Ananas ananassoides*, *Ananas nanus*, *Ananas parguarzensis*, *Ananas lucidus*, *Ananas bracteatus*, *Ananas fritmuelleri* et *Ananas Comosus* (Scohier et Texide, 2001). L'ananas cultivé comprend de nombreux cultivars (Scohier et Texide, 2001) classés en cinq groupes : Cayenne, Queen, Spanish, Pernambuco et Perolera (Py *et al.*,

1984). De ces cinq cultivars commerciaux, la Cayenne représentée essentiellement par la Cayenne lisse est actuellement le cultivar le plus répandu (Scohier et Texide, 2001).

2.2.2. Morphologie

L'ananas cultivé est une monocotylédone herbacée pérenne autostérile qui à l'état adulte atteint de 70 à 120 cm de diamètre (Scohier et Texide, 2001). La plante comporte une tige unique, de racines souterraines et aériennes, de feuilles emboîtées et de rejets (Krauss, 1948a ; Maerere, 1996).

2.2.2.1. Tige

Appelée communément « souche » (Scohier et Texide, 2001), la tige forme l'axe de la plante (Krauss, 1948a). Elle porte les feuilles, les rejets et l'inflorescence. Elle mesure 25 à 30 cm de long sur 2,5 à 3,5 cm de large à la base et 5,5 à 6,5 cm de longueur sous le bourgeon terminal (Krauss, 1948a). La tige entière peut servir comme bouture au cas où du matériel végétal venait à manquer mais la transplantation des rejets résultants ne peut se faire avant deux ans de pépinière.

2.2.2.2. Racines

Les racines sont de deux types : souterraines et aériennes. Les racines souterraines sont très superficielles et très fragiles (Scohier et Texide, 2001). Un sol trop compact entrave leur développement et les excès d'eau provoquent leur asphyxie. Les racines aériennes prennent naissance à la base des feuilles et s'enroulent autour de la tige. Elles sont déterminantes dans l'absorption des engrais (Scohier et Texide, 2001).

2.2.2.3. Feuilles

L'ananas compte entre 70 à 80 feuilles disposées en rosette. Leur forme est variable suivant l'âge (Scohier et Texide, 2001). Elles sont disposées autour de la tige en spirale d'orientation droite ou gauche, la plus ancienne à l'extérieur et la plus jeune vers le centre comme le montre la figure 4 (Krauss, 1948b, Py *et al.*, 1987).

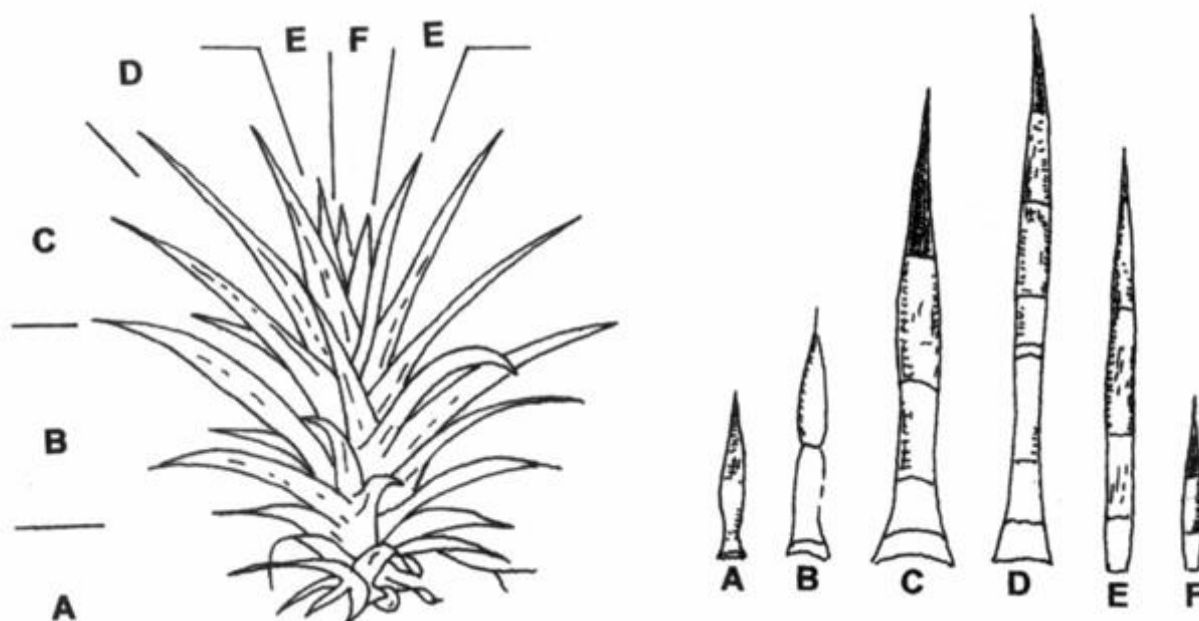


Figure 4. Répartition des feuilles d'ananas sur un plant (A – Plus vieille; F – Plus jeune) (Py, 1969; Malavolta, 1982).

La feuille "D" est la feuille la plus jeune parmi les feuilles adultes et la plus physiologiquement active. Elle est utilisée pour évaluer l'état nutritionnel et la croissance de la plante. Elle est la plus haute des feuilles et présente des bords inférieurs perpendiculaires à la base. La feuille "D" peut être facilement séparée de la plante (Py *et al.*, 1987). En raison de leur nombre et de la petite dimension de la tige, les feuilles forment une rosette dense de configuration spatiale érigée, dans laquelle les jeunes éléments, dont la plupart invisibles extérieurement sont situés au centre (Maerere, 1996). Les feuilles adultes ont une forme de gouttière qui permet à la plante de recueillir à sa base les pluies et les pulvérisations d'engrais. Elles possèdent des tissus aquifères permettant le stockage de l'eau et, à la face inférieure, des excroissances appelées trichomes. Ceux-ci, selon leur position, jouent un rôle dans l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs dissous (Scohier et Texide, 2001).

2.2.2.4. Fleur

La fleur apparaît sur une inflorescence qui se développe à partir du bourgeon terminal de la tige au centre de la rosette des feuilles. Elle se compose de : 3 sépales, 3 pétales, 6 étamines, 1 ovaire à 3 loges surmonté d'un style filiforme portant un stigmate à 3 branches (les fleurs sont hermaphrodites mais autostériles). L'ovaire contient en outre 3 glandes nectarifères qui débouchent à la base du style. Chaque fleur comporte une bractée sous-jacente (Figure 5).

La floraison et la récolte peuvent être prévues et coordonnées par l'application de régulateurs de croissance (Cunha, 1999). En culture commerciale, elle est provoquée par une induction florale artificielle de façon à réduire l'étalement de la récolte sur une même parcelle et surtout en vue d'orienter la production sur une période de vente déterminée (Scohier et Texide, 2001). La floraison peut être induite par des composés, dont les plus courants sont le carbure de calcium et l'acide 2-chloréthylphosphonique (éthéphon) (Reinhardt *et al.*, 2001). Le carbure de calcium peut être appliqué sous forme de granulés ou liquide. D'une part, 0,5 à 1,0 g de granulés par plant est mise dans le cœur de la rosette de feuilles au cours d'une période humide ou pluviale. En présence de l'eau, de l'acétylène est produit à partir du carbure de calcium et ceci pour initier la floraison. D'autre part, en saison sèche, le carbure de calcium est dilué dans l'eau (4 à 5 g/l), dans un récipient hermétiquement fermé et environ 50 ml de solution est appliqué au centre de chaque rosette de feuilles (Reinhardt, 2001).

Le traitement d'induction florale est plus efficace si elle est faite pendant la nuit ou les périodes refroidissantes de la journée (tôt le matin ou en fin d'après-midi (Reinhardt *et al.*, 1987).

L'induction florale est effectuée sur les plantes bien développées, capables de produire des fruits de taille appropriée pour la vente et/ou des rejets. Le poids des fruits est directement lié à la vigueur de la plante pendant l'induction florale (Teixiera *et al.*, 2009), mais aussi des conditions climatiques au cours de son développement (Reinhardt, 2001). Chez la variété Pain de sucre, l'induction florale est recommandée quand la feuille "D" a un poids frais minimum de 80 g et une longueur minimale de 1,0 m, afin d'obtenir des fruits pesant plus de 1,5 kg (Reinhardt, 2001).



Figure 5. Fleur d'ananas, *Ananas comosus*
Source: Agbangba, 2013

2.2.2.5. Formation du fruit

Au milieu de la plante d'ananas, se trouve une tige unique, surmontée d'une couronne de courtes feuilles sous lesquelles se trouve un ensemble de fleurs qui donneront naissance à de multiples fruits coniques (PACIR, 2013). L'ananas n'est pas un véritable fruit, mais un ensemble de fruits (entre 60 et 200) soudés entre eux en spirale autour d'un axe central mesurant 1,00 à 1,50 cm de diamètre (Coppens d'Eeckenbrugge et Leal, 2003). Ces fruits se regroupent pour former à maturité un ananas composé (Figure 6) (PACIR, 2013).



Figure 6 Fruit d'ananas : (a) "Pain de sucre"
Source : Agbangba, 2014

b) "Cayenne lisse"

2.2.2.6. Rejets

Plusieurs types de rejets émergent à différents niveaux de la plante (Figure 7). Le type et le nombre de rejets par plant, leur stade de développement à l'époque de la maturité peuvent être influencés par les conditions écologiques (AFD, 2008). Le rejet porte un nom différent en fonction de sa position sur la charpente de la plante-mère: cayeu, bulbille (AFD, 2008). On distingue cinq catégories de rejets:

- la couronne (c) : au sommet du fruit dans un état dormant. Une fois plantée, elle reprend son développement.
- le cayeu de base (cs): il prend naissance sur la partie souterraine de la tige ou sur le collet de la plante. Il émet des racines dans le sol et possède des feuilles plus longues.
- la bulbille (b): elle prend naissance à la base du fruit et se développe à partir d'un bourgeon axillaire du pédoncule.
- le happa (h): ou rejet intermédiaire entre le cayeu et la bulbille. Il se développe à partir de bourgeon axillaire, situé à la jonction de la tige et du pédoncule du fruit.
- le cayeu de tige (ca): il prend naissance à partir du bourgeon axillaire de la tige. Le cayeu est le plus couramment utilisé comme matériel végétal dans les cultures industrielles (AFD, 2008).

La durée du cycle dépend du type de rejets utilisés à la plantation et de leur poids. Le poids des rejets doit être homogène pour être au même stade de développement au moment de l'induction florale (naturelle ou artificielle) et produire des fruits de calibre homogène (AFD, 2008).

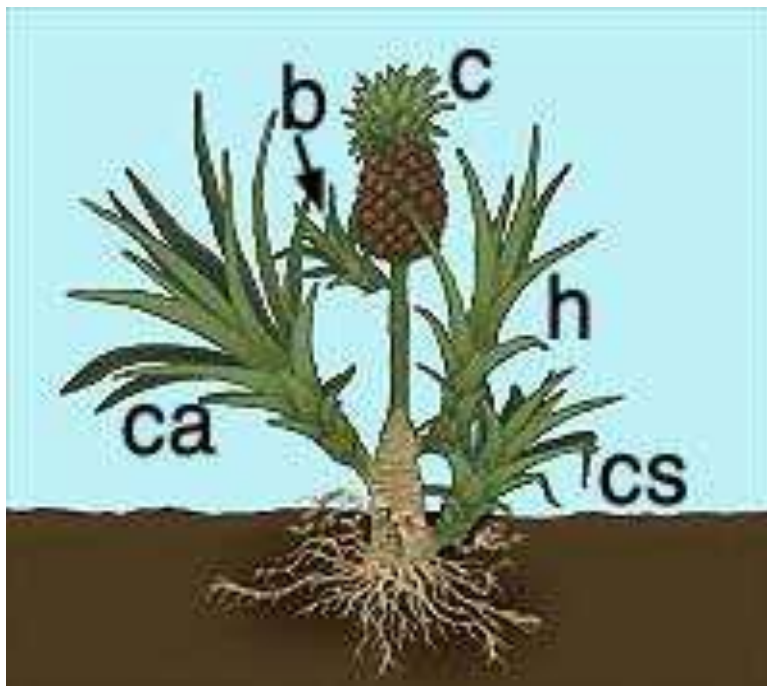


Figure 7. Différents types de rejets

Ca : cayeu de tige, Cs : cayeu de base, b : bulbille, c : couronne, h=happa Source: AFD (2008).

2.3. Composition du fruit d'ananas et usages

L'ananas est une bonne source de vitamines A, B₁, B₆ et C, du cuivre, du manganèse (Mateljan, 2007) et contient 60% de fruit frais, 85% d'eau, 0,4% de protéines, 14% de sucre, 0,1% de matières grasses et 0,5% de fibre (Purseglove, 1972). Il est cultivé dans les pays tropicaux et subtropicaux (Coppens d'Eeckenbrugge *et al.*, 1997) et est destiné à être consommé en fruit frais, conserve ou jus (Scohier et Texido, 2001). L'ananas cru contient de la broméline, substance spéciale utilisée pour attendrir la viande dure. Cette substance disponible dans l'ananas frais, disparaît lorsque l'ananas passe à la cuisson ou mis en conserve (FAO, 1986).

PARTIE II : STATUT NUTRITIONNEL DE L'ANANAS CULTIVE AU BENIN

CHAPITRE 3. FACTEURS NUTRITIONNELS LIMITANT LE RENDEMENT DE L'ANANAS AU BENIN¹

RESUME

Dans ce travail, le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (SIDR) est utilisé pour étudier le bilan nutritionnel des plantations d'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) dans la commune d'Allada au Sud du Bénin. L'étude diagnostique le statut nutritionnel de l'ananas au Bénin. Les normes du SIDR ont été établies sur la base de 60 observations de nutriments et de rendements pour chacune des 2 variétés "Pain de sucre" et "Cayenne lisse". Chez la Cayenne lisse, les teneurs en P, Ca, Mg et S sont adéquates alors que le N et le K sont en excès. Le Zn est très déficient dans les plantes. Le diagnostic établi sur "Pain de sucre" a révélé que les teneurs, en P et en S sont adéquates, le Zn étant en excès. Par contre, les plants sont déficients en Ca et en N et on pourrait parler de déficience latente pour le K et le Mg.

Mots clé : *Ananas*, Bénin, SIDR, indice de nutriments

ABSTRACT

This study highlights the use of DRIS approach to assess pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr) nutrient requirements on Ferric Acrisoils of the Allada District, located in the coastal hinterland of Benin. The aim was to evaluate pineapple nutrient status in the Allada District. The Smooth Cayenne contents are adequate in P, Ca, Mg and S while excessive in N and K. Plants were highly deficient in Zinc. The diagnosis of "Sugar Loaf" highlighted relevant contents in P and S, while excessive in Zn. However, the plants are deficient in Ca and N and would also be deficient in K and Mg.

Key words: Pineapple, Benin, DRIS, nutrient indices.

¹ Articles résultant: African Journal of Agricultural Research et Asian Journal of Scientific Research

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). 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, celle du Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (SIDR) pour évaluer l'état nutritionnel des végétaux. Cette nouvelle méthode qui s'appuie sur 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) avec des avantages sur les autres méthodes. Les paysans béninois utilisent des quantités variables d'engrais minéraux notamment le sulfate de potasse et l'urée (Sossa *et al.*, 2014). Dans ces conditions de diversité de pratiques de fertilisation minérale, il existerait un déséquilibre nutritionnel des sols sous culture d'ananas. Il importe à cet effet, d'évaluer le statut nutritionnel des plantations d'ananas en vue de déterminer les éléments minéraux limitant la production et la qualité du fruit.

3.1. MATERIEL ET METHODES

3.1.1. Méthodes

3.1.1.2. Pose des placettes

Les placettes ont été installées dans quatre arrondissements choisis sur la base de l'importance de la production et de la situation géographique en vue d'avoir une grande variabilité. L'arrondissement de Sékou (6°39' Nord, 2°13' Est) vient en tête pour la production de Pain de sucre alors qu'à Avakpa (06°39' Nord, 2°02' Est), très peu de terres y sont consacrées. Par contre, l'arrondissement d'Ahouannonzoun (06°41' Nord, 2°12' Est) produit plus la Cayenne lisse. La production à Allada-Centre (06°38' Nord, 2°10' Est) est relativement moyenne pour les deux variétés. Pour chaque variété, soixante champs de producteurs choisis de façon aléatoire dans lesdits arrondissements ont

abrité les placettes. Les placettes de dimension 4 m × 4 m ont été installées à l'aide de cordeau. Les coordonnées géographiques ont été prises et projetées sur la carte de la commune (Figure 8).

Les fruits ont été récoltés à la main dans chaque placette 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 en fruit est déterminé par la formule $R_e = \frac{P}{s} * 10000$, où : R_e = rendement en fruits en kg/ha ; P = poids des fruits d'ananas récoltés sur la placette en kg, s = surface d'une placette = 4 m * 4 m = 16 m².

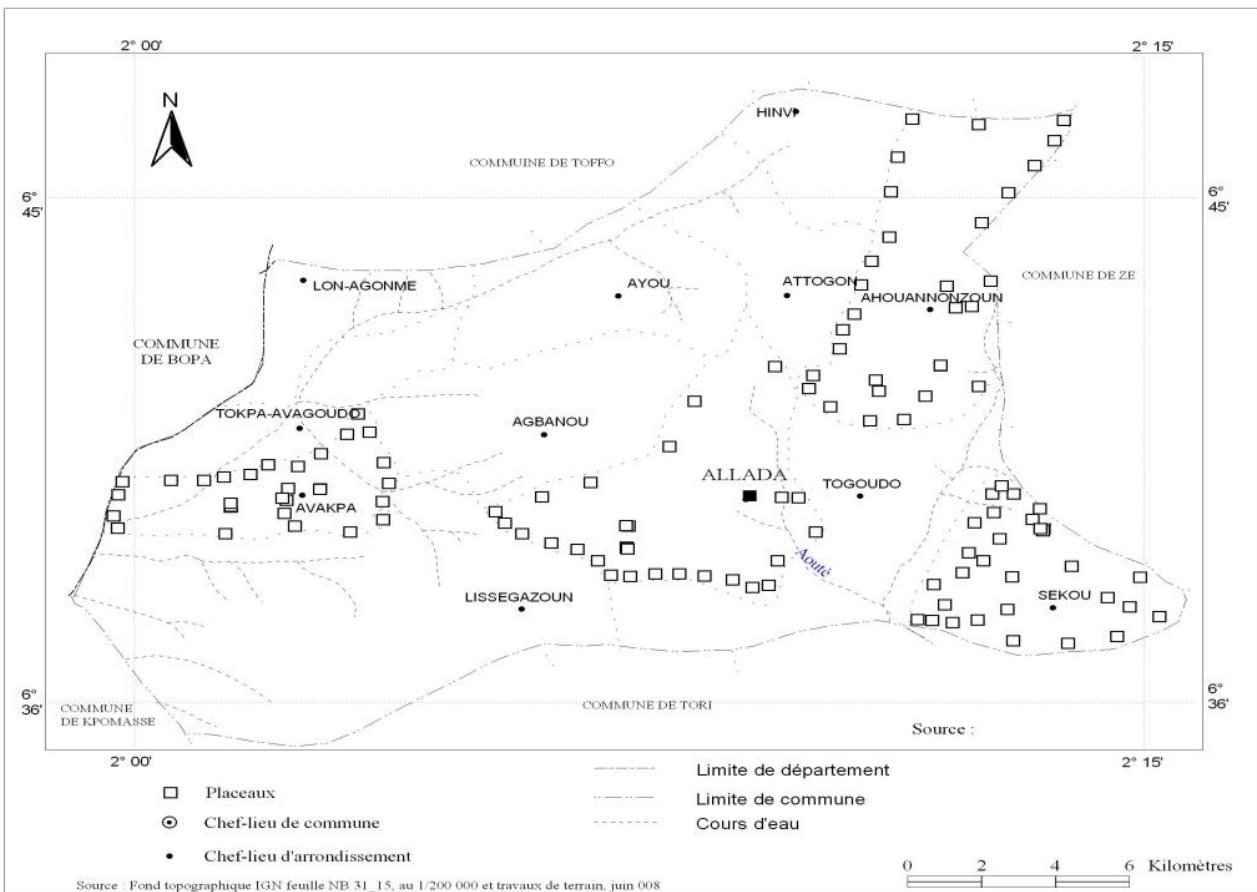


Figure 8. Distribution des placettes dans les plantations des arrondissements d'Allada

3.1.2.1. Prélèvements foliaires

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 *et al.*, 1965). Dès lors, 10 feuilles "D" par placette ont été ainsi prélevées. Le 1/3 inférieur de chacune d'elle a été échantillonné (Siebeneichler *et al.*, 2002) et séché à l'étuve à 65 °C pendant 5 à 7 jours.

3.1.2.2. Analyse des feuilles au laboratoire

Un gramme de poudre végétale a été minéralisé par voie sèche à 550°C pendant 12 heures au moins. Les cendres ont été reprises avec 5 ml d'acide chlorhydrique (HCl 2N) et 2 ml d'acide nitrique concentré, chauffé au bain de sable jusqu'à la dilution complète des cendres. Le contenu est dilué à l'eau distillée et filtré dans une fiole jaugée de 100 CC. Des dilutions au 1/10^{ème} pour le dosage par titration à l'EDTA du calcium et du magnésium, au 1/50^{ème} pour la lecture du potassium au photomètre à flamme et celle du phosphore à la spectrophotométrie 1100. Le dosage du zinc a été fait à la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (AAS). Le soufre a été déterminé par précipitation au sulfate de baryum (BaSO₄). L'azote dans les végétaux a été déterminé par la méthode de KJELDAHL.

3.1.2.3. Prélèvements de sol et analyses au laboratoire

Des échantillons composites de sol ont été constitués et les éléments nutritifs dosés au laboratoire. Les échantillons ont été analysés en utilisant les méthodes (Tran Vin An, 1978) en vigueur au LSSEE basé à Agonkanmey. Les échantillons de sol ont été séchés à l'air ambiant. Ensuite, la séparation de la terre fine du refus fut faite grâce au tamis de 2 mm de maille. Les analyses suivantes ont été réalisées :

- ✓ Granulométrie : 5 fractions par la méthode internationale modifiée par l'emploi de la pipette de ROBINSON.
- ✓ Carbone et matière organique (méthode WALKEY et BLACK)
- ✓ Azote total (méthode de Kjeldahl)

- ✓ pH à l'aide d'un pH-mètre avec (1/2,5) comme ratio sol-eau.
- ✓ Phosphore assimilable selon la méthode de BRAY I
- ✓ Cations échangeables (méthode à l'acétate d'ammonium pH=7)
- ✓ Le calcium et le magnésium dosés par titration à l'EDTA.
- ✓ Le potassium par lecture au Photomètre de flamme.

3.1.2.4. Détermination des nutriments limitants

La méthode du système intégré de diagnostic et de recommandation a été utilisée (Bailey *et al.*, 1997). Le rendement (fruit avec couronne) a été séparé en deux sous-groupes de rendement en utilisant la moyenne des rendements additionnée à l'intervalle de confiance comme critère de subdivision (Dagbénonbakin, 2005 ; Agbangba, 2008 ; Agbangba *et al.*, 2010). Le rapport entre les nutriments deux à deux a été calculé pour chacune des sous-groupes 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 du groupe de rendement faible par celle du groupe 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 SIDR. 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).

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

$$f(X/A) = 100[(X/A)/(x/a) - 1]/CV \text{ Si } (X/A) > (x/a) + SD$$

$$f(X/A) = 100[1 - (X/A)/(x/a)]/CV \text{ Si } (X/A) < (x/a) - SD$$

Dans ces relations, X/A est le ratio des concentrations des nutriments X et A dans le groupe ; x/a , CV et SD sont respectivement la moyenne, le coefficient de variation, et l'erreur standard du paramètre X/A dans le sous-groupe 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 SIDR correspondant.

3.2. RESULTATS

3.2.1. Caractéristiques des sols des localités d'études

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, compris entre 1,31 et 1,43% est faible. La teneur en potassium (0,03 à 0,14 Cmol/kg) est faible. La teneur en phosphore assimilable selon Bray 1, critique (4 ppm) à Sékou et à Ahouannonzoun est bonne dans les autres localités (10 ppm). Les sols sont pauvres en Ca et Mg échangeables (1,8 à 3 Cmol/kg). La somme des bases et la CEC sont faibles (3,06 à 5,29 Cmol/kg) (tableau 2).

Tableau 2. Propriétés physiques et chimiques des sols au début du diagnostic foliaire

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

AVA CL : Avakpa Cayenne lisse ; Sek PS : Sékou Pain de sucre, ALL PS : Allada Pain de sucre, ALL CL : Allada Cayenne lisse, LS : limono-sableux, SL : sablo-limoneux

3.2.2. Bilan nutritionnel de la variété d'ananas "Cayenne lisse"

3.2.2.1. Sélection des normes SIDR de la variété "Cayenne lisse "

Les ratios sélectionnés comme normes SIDR se trouvent dans le tableau 3. Il ressort que 21 ratios ont été sélectionnés comme normes SIDR 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 des ratios sélectionnés ont une variance de ratio supérieure à 2. Dix-sept sur 21 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 et P/S.

3.2.2.2. Nutriments limitant le rendement en fruit de la Cayenne lisse

La figure 9 présente les indices des nutriments calculés. Les indices de nutriment peuvent varier négativement et positivement, selon que le nutriment soit déficient ou en excès dans la plante. Plus la valeur de l'indice d'un nutriment est négative, plus limitant est l'élément. 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.

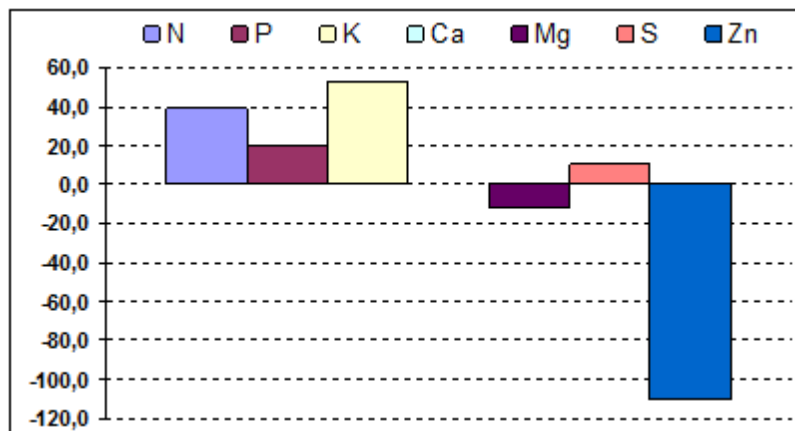


Figure 9. Indices de nutriments de la variété d'ananas Cayenne lisse

Tableau 3. Détermination des normes SIDR pour la variété Cayenne lisse

Paramètres	Sous-groupe de rendements faibles [n=36]				Sous-groupe de rendements élevés [n=24]				Ratio VAR	Ratio choisis
	Moyenne	ET	CV	VAR	Moyenne	ET	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
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

Moyenne (m), écart-type (ET), coefficient de variation (CV), variance (VAR) des paires de ratio de nutriments des sous-groupes de rendements faibles et élevés, ratio de variance et forme de ratio choisie.

3.2.3. Bilan nutritionnel de la variété d'ananas "Pain de sucre"

3.2.3.1. Sélection des normes SIDR de la variété "Pain de sucre"

La moyenne, le coefficient de variation, la variance des ratios de tous les nutriments des sous-populations de rendements faibles (S^2_f) et élevés (S^2_e) sont présentés dans le tableau 4. Presque tous les ratios de nutriments sélectionnés comme normes SIDR ne présentent aucune différence significative entre les moyennes dans les deux sous-populations de rendements. Seulement 4 sur 21 ratios (N/P, N/K, Ca/P et Ca/K) des normes SIDR présentent de différence significative entre les moyennes dans les deux sous-groupes de rendements. Des 21 ratios sélectionnés comme normes SIDR, 13 ont une variance de ratio supérieure à 2. Onze sur 21 ratios sélectionnés comme normes DRIS incluant le Ca/N, N/S, N/Zn, P/S, P/Zn, Ca/K, K/Zn, Ca/S, Ca/Zn, Mg/S, et Mg/Zn présentent des coefficients de variation faibles par rapport à celui de leur forme analogue. La plupart des variances sont significativement différentes dans les deux sous-populations.

3.2.3.2. Nutriments limitant le rendement en fruit du Pain de sucre

La figure 10 présente les indices des nutriments de la variété "Pain de sucre". Les éléments les plus déficitaires sont le calcium, suivi de l'azote, du potassium et du magnésium. Le Zn est l'élément le plus excédentaire suivi du phosphore et du soufre.

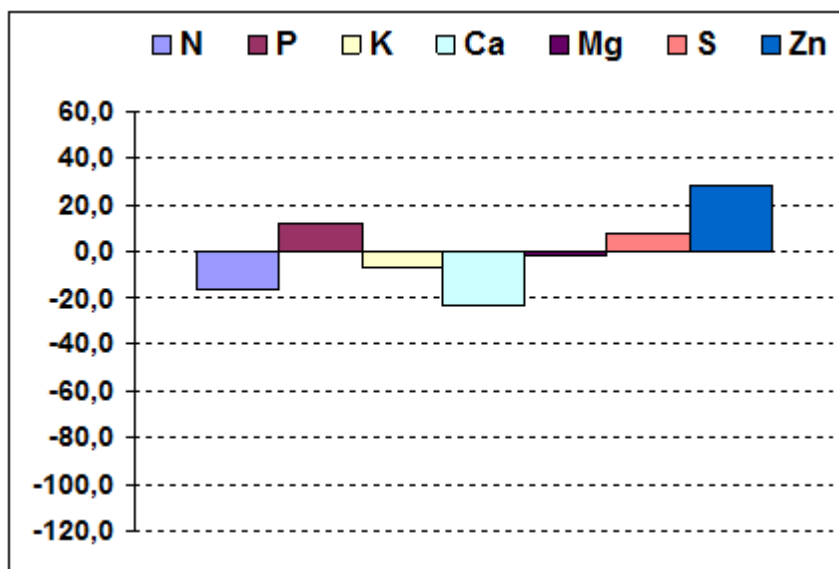


Figure 10. Indices de nutriments de la variété d'ananas Pain de sucre

Tableau 4. Détermination des normes SIDR pour la variété Pain de sucre

Paramètres	Sous-groupe de rendements faibles [n=42]				Sous-groupe de rendements élevés [n=18]				Ratio	Ratio
	Moyenne	ET	CV	VAR	Moyenne	ET	CV	VAR	VAR	choisis
N/P	4,6	2,8	61,0	7,7	2,7	1,4	51,9	2,7	2,86	X
P/N	0,3	0,2	56,3	0,0	0,5	0,2	47,4	0,5	0,06	
N/K	1,0	0,7	70,0	0,5	0,6	0,3	44,5	0,6	0,82	X
K/N	1,3	0,7	49,8	0,5	1,9	0,9	44,3	1,9	0,23	
N/Ca	0,8	0,2	29,0	0,1	0,7	0,2	30,4	0,7	0,07	
Ca/N	1,4	0,4	30,3	0,2	1,6	0,5	30,0	1,6	0,11	X
N/Mg	2,0	0,7	33,6	0,5	1,7	0,6	37,9	1,7	0,27	X
Mg/N	0,6	0,2	30,7	0,0	0,7	0,2	30,4	0,7	0,04	
N/S	20,2	27,9	138,2	780,5	9,6	3,2	32,7	9,6	80,94	X
S/N	0,1	0,1	55,5	0,0	0,1	0,0	40,3	0,1	0,03	
N/Zn	796,8	538,3	67,6	289774,0	595,4	264,0	44,3	595,4	486,73	X
Zn/N	0,0	0,0	111,2	0,0	0,0	0,0	53,4	0,0	0,00	
P/K	0,3	0,2	85,8	0,1	0,3	0,1	54,4	0,3	0,20	
K/P	5,5	2,8	51,4	7,9	5,0	2,8	56,7	5,0	1,59	X
P/Ca	0,2	0,1	53,6	0,0	0,3	0,1	49,3	0,3	0,04	
Ca/P	6,2	3,9	61,8	14,9	4,3	2,5	59,0	4,3	3,47	X
P/Mg	0,6	0,3	61,7	0,1	0,7	0,4	49,3	0,7	0,16	
Mg/P	2,4	1,4	56,8	1,9	1,7	1,0	59,4	1,7	1,08	X
P/S	7,4	10,5	141,6	111,1	3,9	0,4	10,1	3,9	28,28	X
S/P	0,1	0,2	236,1	0,0	0,0	0,1	231,1	0,0	0,54	
P/Zn	207,3	131,6	63,5	17330,0	250,4	114,4	45,7	250,4	69,21	X
Zn/P	0,0	0,0	157,7	0,0	0,0	0,0	72,3	0,0	0,04	
K/Ca	1,0	0,6	54,1	0,3	1,3	0,7	53,2	1,3	0,24	
Ca/K	1,5	1,2	84,1	1,5	0,9	0,4	38,6	0,9	1,58	X
K/Mg	2,6	1,3	49,7	1,6	3,1	1,4	44,6	3,1	0,51	X
Mg/K	0,5	0,4	68,1	0,1	0,4	0,2	42,9	0,4	0,34	
K/S	26,8	29,7	110,8	885,0	14,3	8,4	59,0	14,3	61,91	X
S/K	0,1	0,1	84,8	0,0	0,1	0,0	45,2	0,1	0,06	
K/Zn	987,5	640,9	64,9	410701,7	1101,2	626,5	56,9	1101,2	372,97	X
Zn/K	0,0	0,0	121,2	0,0	0,0	0,0	64,2	0,0	0,00	
Ca/Mg	2,7	0,8	28,9	0,6	2,6	0,9	33,1	2,6	0,23	X
Mg/Ca	0,4	0,1	25,7	0,0	0,4	0,1	23,3	0,4	0,03	
Ca/S	26,4	30,7	116,4	942,8	15,7	3,8	24,3	15,7	59,88	X
S/Ca	0,0	0,0	224,3	0,0	0,0	0,0	234,7	0,0	0,10	
Ca/Zn	1021,3	516,4	50,6	266638,3	893,4	335,0	37,5	893,4	298,46	X
Zn/Ca	0,0	0,0	88,2	0,0	0,0	0,0	46,6	0,0	0,00	
Mg/S	8,4	6,8	80,5	45,8	5,0	0,9	18,8	5,0	9,17	X
S/Mg	0,0	0,1	218,8	0,0	0,0	0,1	233,1	0,0	0,19	
Mg/Zn	410,0	248,1	60,5	61534,1	361,9	140,4	38,8	361,9	170,03	X
Zn/Mg	0,0	0,0	84,8	0,0	0,0	0,0	44,0	0,0	0,00	
S/Zn	11,6	25,8	223,0	668,1	12,1	28,1	231,3	12,1	55,01	X
Zn/S	0,0	0,0	108,5	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,10	

Moyenne (m), écart-type (ET), coefficient de variation (CV), variance (VAR) des paires de ratio de nutriments des sous-groupes de rendements faibles et élevés, ratio de variance et forme de ratio choisie.

3.3. DISCUSSION

3.3.1. Sols sous culture d'ananas

Les sols sous culture d'ananas prélevés présentent des valeurs de capacité d'échange cationique faibles comme la plupart des sols cultivés en ananas dans le monde, plus particulièrement en Afrique Occidentale (Py *et al.*, 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 Texido, 2001). Mais, ils avoisinent les 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 certains oligoéléments tels que le Zn chez les plantes (Nean, 1978). Les pH élevés obtenus s'expliqueraient par une accumulation des bases en réponse aux brûlis résultant de nouvelles friches pour la production d'ananas. Mais la monoculture sur des sols en proie aux pressions de plus en plus fortes acidifierait ces sols comme en Côte d'Ivoire (Godefroy, 1975). Les sols sablo-limoneux et limono-sableux conviennent bien à l'ananas. Somme toute, les sols en cause montrent des propriétés physiques acceptables pour la culture de l'ananas, mais de mauvaises propriétés chimiques. Ils sont donc de faible niveau de fertilité.

3.3.2. Bilan nutritionnel et SIDR : Normes de nutriments

La sélection des formes de ratios utilisés pour les normes SIDR (i.e. N/P ou P/N) a été effectuée en considérant le rapport de variance S_2f/S_2e de la population de rendements faibles et de la population de rendements élevés pour les deux formes de ratios (Hartz *et al.*, 1998). 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, Beaufigli (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 SIDR. D'autres travaux préconisent par contre le ratio de nutriment qui maximise la variance entre les deux sous-populations (Payne *et al.*, 1990). L'objectif de sélection de ratio est d'avoir une plus grande précision (Caldwell *et al.*, 1994). La discrimination entre les plants à statut nutritionnel bon et déséquilibré est maximisée quand la variance de ratios de nutriments entre les deux sous-populations est élevée (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 SIDR établies. En effet, plus le coefficient de variation du ratio est faible, plus la contribution au rendement des éléments nutritifs du ratio est importante, s'ils se trouvent dans ce rapport dans la plante (Dagbénonbakin, 2005).

3.3.3. Bilan nutritionnel et SIDR : Statut nutritionnel de la plante

3.3.3.1. Cas de la Cayenne lisse

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 (Kelling et Shulte, 1986). Wadt (1996) propose une méthode d'interprétation qui a l'avantage de déceler 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. Selon cet auteur, pour un nutriment Nut, l'élément est déficient si son indice est négatif et en valeur absolue supérieure à l'indice d'équilibre nutritionnel. La teneur de l'élément est adéquate si la valeur absolue de son indice de nutriment est inférieure à l'indice d'équilibre nutritionnel. Enfin, l'élément est excédentaire si son indice est positif et supérieur à l'indice d'équilibre nutritionnel.

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 Mg, Ca, S et Zn. De plus, l'interprétation selon Wadt (1996) révèle une adéquation de P, un excès de N et de K. L'indice positif du soufre confirme les travaux de Py *et al.* (1965) qui stipulent que les besoins de la plante en cet élément sont largement couverts par les engrais sulfatés comme le sulfate de potassium.

La satisfaction de la teneur en Ca observée chez la variété Cayenne lisse est 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 est 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 g l⁻¹. Logiquement, le producteur applique environ 50 cm³ d'acétylène par plant, soit 0,375 g de carbure de calcium par plant. L'hormonage de la culture apporte donc 0,23 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.

En somme, les teneurs en P, Ca, Mg et S sont adéquates alors que le N et le K sont en excès. Le Zn est très déficient dans les plantes.

3.3.3.2. Cas du Pain de sucre

Plus la valeur de l’indice d’un nutriment est négative, plus limitant est l’élément. L’équilibre d’un élément nutritif avec les autres éléments est meilleur lorsque la valeur de l’indice du nutriment tend vers zéro. Le Mg est le seul élément qui semble être en équilibre avec les autres éléments. Selon Kelling et Shulte (1986), les indices de N et de Ca se situant entre les valeurs -15 et -25, indique une probable déficience des plants en ces éléments. Par contre les indices de P, S, Mg et K peuvent être rangés entre les valeurs -15 et +15, ce qui indique un bon équilibre de ces éléments nutritifs. Ces résultats sont conformes à l’interprétation des indices de nutriments selon Wadt (1996). Mais l’analyse selon Wadt (1996) révèle un excès de Zn ce que l’interprétation de Kelling et Shulte (1986) ne peut permettre d’appréhender.

En résumé, les concentrations en P, K, S et Mg sont satisfaisantes. Par contre le Ca et l’N sont déficients et le Zn est en excès. La quantité de Ca indirectement pourvue de l’hormonage au carbure de calcium dilué à froid serait insuffisante pour satisfaire les besoins de la plante. Si l’on devrait s’en tenir à ce que plus la valeur de l’indice d’un nutriment est négative, plus limitant est l’élément, on serait tenté de déceler une déficience ou du moins une déficience latente pour le Mg et le K. En effet, aucune quantité de Mg n’est apportée aux plantes par les engrais, la teneur satisfaisante diagnostiquée ne serait en réalité qu’une compensation des déficits de charges positives créée dans la plante par une déficience en K. Le même phénomène a été observé par Bailey *et al.* (1997) qui constate une accumulation du Ca et du Mg dans les herbages d’une prairie déficiente en K.

Par ailleurs, le K est étroitement lié à l’N, les deux étant importants pour la production de fruits. Si N est faible, K l’est également (Tran *et al.*, 1979). En accélérant la croissance de l’ananas, l’N augmente les besoins en K et en Mg principalement (Py *et al.*, 1965). Il est donc clair que la déficience en N pourrait influencer l’absorption du K et du Mg. Ainsi, il existerait une déficience latente pour le K et le Mg. La déficience en N pourrait s’expliquer non seulement par les apports faibles, mais aussi par le fait que la plupart des producteurs, surtout les petits producteurs qui sont d’ailleurs majoritaires,

sèment le maïs entre les interlignes ou sur les chemins des champs d'ananas. Or, les besoins du maïs en N sont très élevés ; ce qui pourrait limiter la disponibilité de cet élément à la culture principale les 3 ou 4 mois de cycle du maïs.

Le phosphore dans la feuille est plutôt directement conditionné par la teneur de N dans la feuille. L'excès de P dans la feuille a comme effet compensatoire la déficience en N. Observant ce phénomène, dans le diagnostic foliaire de l'anarcadier, Tran *et al.* (1979) affirment que le P indique une carence en N. La teneur satisfaisante en cet élément dans la plante est aussi imputable à la faible mobilité du P dans le sol qui se lixivie lentement offrant toujours une disponibilité permanente quoique faible à la plante de puiser l'élément.

Six sur les 13 ratios sélectionnés ayant une variance de ratio supérieure à 2 contiennent le Zn. Payne *et al.* (1990) cité par Dagbenonbakin (2005) ont suggéré l'importance possible d'utiliser les normes SIDR des micronutriments qui maximisent le ratio de variance entre les sous-groupes des rendements faibles et élevés, car les besoins en micro-éléments ne sont pas facilement déterminés par les analyses de sol. Les normes contenant le Zinc sont encore plus importantes car cet élément fait souvent défaut dans de nombreux sols (Py *et al.*, 1965). Elles peuvent donc être utilisées dans le calibrage du taux de Zinc dans les formules d'engrais à appliquer. L'indice positif du Zn obtenu dans les conditions de teneur satisfaisante en phosphore est contraire aux observations de Navvabzdeh et Malakouti (1993), qui développant les normes SIDR de la pomme de terre sur sol calcaire en Iran, ont trouvé que la déficience en Zn est liée à des apports élevés de phosphore à la plante. Les fortes teneurs de cet élément dans la plante étaient associées aux teneurs faibles du Zn. La même remarque a été faite par Malakoti *et al.* (1992) sur le maïs qui associaient la déficience du Zn en présence d'excès du phosphore à une forte saturation du sol en base, une teneur élevée en phosphore et à un pH élevé. Ce dernier élément paraît important pour justifier l'équilibre du Zn révélé par le SIDR. En effet, Py *et al.* (1965) trouvent que le contrôle du pH est le moyen le plus efficace pour éviter la dégradation des sols et assurer la nutrition optimale de la plante en oligo-éléments. Les pH obtenus sous "Pain de sucre" dans ces travaux se trouvent être favorables à la culture de l'ananas selon Py *et al.* (1965), Dalldorf et Lagenegger, (1978); donc contribueraient à une bonne nutrition en oligo-éléments dont le Zn.

De tout ce qui précède, le diagnostic établi sur le "Pain de sucre" a révélé que les teneurs, en P et S sont adéquates, le Zn étant en excès. Par contre, les plants sont déficients en Ca et N et on pourrait parler de déficience latente en K et Mg.

CONCLUSION PARTIELLE

Au terme de ce diagnostic, les deux variétés d'ananas cultivées au Bénin manifestent un déséquilibre nutritionnel. Chez la Cayenne lisse, les teneurs en P, Ca, Mg et S sont adéquates alors que le N et le K sont excessifs. Le Zn est très déficient dans les plantes. Le diagnostic établi sur "Pain de sucre" a révélé que les teneurs, en P et S sont adéquates, le Zn étant en excès. Par contre, les plants sont déficients en Ca et N et on pourrait parler de déficience latente pour le K et le Mg. Le déséquilibre nutritionnel observé pour les deux variétés montre que les pratiques actuelles de fertilisation n'entretiennent pas une bonne nutrition des cultures. La détermination des besoins réels d'apport d'engrais minéraux pour ces variétés est donc indispensable pour corriger les déséquilibres nutritionnels diagnostiqués.

CHAPITRE 4. FONCTIONS DE PRODUCTION ET DETERMINATION DES DOSES OPTIMALES DE N, P₂O₅ ET K₂O POUR LA CULTURE DE L'ANANAS

RESUME

L'objectif de l'étude est d'évaluer les modèles habituellement utilisés pour identifier les doses optimales économiques des fertilisants des unités fertilisantes N, P₂O₅ et K₂O. L'étude implique l'ajustement de chaque modèle aux résultats d'analyse chimique des feuilles D, de croissance des plants et de rendements obtenus avec les niveaux de chaque fertilisant N, P₂O₅ et K₂O. On retient que la fertilisation minérale a un effet positif sur la nutrition minérale, la croissance et le rendement de l'ananas. Les modèles quadratiques sont les meilleurs estimateurs du rendement à partir des doses de fertilisants apportées. Les doses économiques de fertilisants N, P et K à préconiser pour le Pain de sucre sont de 6,55 g/plant pour l'azote, 1,60 g/plant pour le phosphore et 9,38 g/plant pour le potassium pour obtenir un rendement de 114 t/ha et un profit de 6889047 FCFA à l'hectare. Quant à la Cayenne lisse, les doses de fertilisants qui correspondent au maximum de profit sont de 6,75 g/plant pour l'azote, 1,60 g/plant pour le phosphore et 9,36 g/plant pour le potassium. L'application des doses optimales permet d'obtenir un rendement optimal de 2,76 Kg/plant soit 165,6 t/ha et un profit de 11526318 F CFA. Ces doses économiques qui permettent d'obtenir des rendements élevés garantissent-elles des fruits et du jus d'ananas de qualité ?

Mots clés : Fertilisation, Ananas, doses économiques, rendement.

ABSTRACT

This study aims to assess the models usually used to identify optimal economic doses of fertilizers units of N, P₂O₅ and K₂O. The study involves the adjustment of each model to the results of chemical analysis of the leaves D, plant growth and yields obtained with the levels of each fertilizer N, P₂O₅ and K₂O. We retain that mineral fertilization has a positive effect on the mineral nutrition, the growth and the yield of pineapple. Quadratic models are the best estimators for yield from fertilizer applied. Economic doses of fertilizer N, P₂O₅ and K₂O to advocate for the Sugarloaf are 6.55 g / plant for nitrogen, 1.60 g / plant for phosphorus and 9.38 g / plant for potassium for a yield of 114 t / ha and a profit of 6,889,047 FCFA per hectare. As for the Smooth Cayenne, the fertilizer doses corresponding to maximum profit are 6.75 g / plant for nitrogen, 1.60 g / plant for phosphorus and 9.36 g / plant for potassium. The application of optimal doses provides an optimal performance of 2.76 Kg / plant, that is 165.6 t / ha and a profit of 11,526,318 FCFA. Do these economic doses achieving high returns guarantee the quality of pineapple fruit and juice?

Key words: Fertilization, pineapple, economic doses, yields.

INTRODUCTION

Les décisions qui concernent la détermination de dose optimale de fertilisants requièrent l'ajustement d'un type de modèle aux données de rendement collectées quand plusieurs niveaux de fertilisants sont appliqués (Cerrato et Blackmer, 1990). Ces décisions sont particulièrement importantes pour la production de l'ananas qui exporte de quantités importantes d'éléments minéraux et donc la recherche de dose optimale est nécessaire pour une production rationnelle. Les recherches antérieures ont montré clairement que la sélection du modèle est un facteur majeur affectant la dose identifiée comme étant optimale et, par conséquent, la raison pour sélectionner un modèle sur les autres doit mériter plus d'attention (Barreto et Westerman, 1987 ; Blackmer et Meisinger, 1990; Cerrato et Blackmer, 1990). Au Brésil, les modèles quadratiques de type $y = \alpha + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$ avec y , rendement, b_1 , b_2 , b_3 et b_4 les constants à estimer et X_1 et X_2 les éléments minéraux étaient les meilleurs pour prédire le rendement à partir des doses de fertilisants (Spironello *et al.*, 2004). Au Bénin, l'étude de la réponse de l'ananas à la nutrition et à la fertilisation de l'ananas a bénéficié de très peu d'attention de la part de la recherche agricole. Les documents scientifiques sur la fertilisation de l'ananas se résument en des fiches techniques et des enquêtes sur les pratiques en milieu paysan. Les doses reconnues optimales actuellement recommandées par les services de vulgarisation ne sont pas issues de résultats de recherche mais simplement une copie de la fumure utilisée en Côte d'Ivoire (Agbangba, 2008 ; Agbangba *et al.*, 2015). L'objectif de l'étude est (1) de comparer et d'évaluer les modèles habituellement utilisés pour identifier les doses économiques optimales des fertilisants et (2) de déterminer les doses maximales et optimales des unités fertilisantes N, P_2O_5 et K_2O .

4.1. MATERIEL ET METHODES

4.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été installés dans le village de Soyo situé dans l'arrondissement d'Allada. Le dispositif expérimental est un plan factoriel complet 2^3 , généré avec le logiciel Minitab16. Les niveaux minimum et maximum pour chaque facteur est de N (2,7 g/plant et 10,7 g/plant) ; P (0,5 g/plant et 2,7 g/plant) et K (2,7 g/plant et 16 g/plant). Les minima et maxima ont été fixés en tenant compte des doses minimales que les producteurs appliquent (Agbangba, 2008 ; Sossa *et al.*, 2014) et des doses maximales que le producteur ne peut excéder (Memento de l'agronome, 2002). Dans le cas des essais factorielles 2^k , l'adjonction d'observations complémentaires situées au centre du schéma factoriel

offre aussi la possibilité de vérifier l'éventuelle linéarité ou non-linéarité de la relation entre les facteurs et la variable observée (Dagnelie, 2003). Ainsi le traitement T1 (6,7g/plant-1,6 g/plant -9,3 g/plant) a été introduit comme point central et répété deux fois par bloc. Les autres traitements (points sommets) ont été répétés deux fois sur l'ensemble du dispositif. Ce qui a permis de générer 9 traitements² : T₁ : 6,7g/plant-1,6 g/plant -9,3 g/plant ; T₂ : 2,7 g/plant -2,7 g/plant -2,7 g/plant; T₃ : 10,7 g/plant -0,5 g/plant -2,7 g/plant; T₅ : 10,7 g/plant -2,7 g/plant -16 g/plant; T₆ : 2,7 g/plant -0,5 g/plant -16 g/plant; T₇ : 2,7 g/plant -2,7 g/plant -16 g/plant; T₈ : 10,7 g/plant -2,7 g/plant -2,7 g/plant; T₉ : 2,7 g/plant -0,5- g/plant 2,7 g/plant et T₁₀: 10,7 g/plant -0,5 g/plant -16 g/plant. Quatre blocs de 6 unités expérimentales chacun ont été ainsi constitués, ce qui a permis d'avoir 24 unités expérimentales. Chaque unité expérimentale est constituée de 6 lignes de 5 plants. L'interligne était de 0,8 m et entre poquets sur une même ligne de 0,4 m, soit une densité de 60000 plant/ha. Les engrais minéraux utilisés sont: L'urée (46% N), le superphosphate triple (46% P₂O₅) et le sulfate de potassium (K₂SO₄, 50% K₂O, 45% SO₃).

Le premier apport a eu lieu une semaine après la plantation (P₂O₅), le second apport à 45 jours après la plantation (JAP) (1/5N + 1/6K₂O), le troisième à 90 JAP (1/5N + 1/6 K₂O), le 4^{ème} à 135 JAP (1/5N + 1/6 K₂O), le 5^{ème} à 180 JAP (1/5N + 1/6 K₂O) et le 6^{ème} à 225 JAP (1/6 K₂O). L'induction florale a eu lieu au 10^{ème} mois à l'aide du carbure de calcium dilué. Un kilogramme du produit est dilué dans un fût de 200 litres. Chaque plant a reçu entre 6 h - 8 h de la journée 50 cm³ de carbure d'acétylène. Les rejets de poids compris entre 400 et 500 g/plant ont été plantés. Les rejets de taille homogène étant utilisés dans chaque répétition.

4.1.2. Paramètres mesurés

4.1.2.1. Paramètres de croissance

Douze plants ont été sélectionnés par unité expérimentale sur lesquels le nombre de feuilles et la hauteur des plants ont été mesurés à intervalle de 30 jours jusqu'au 10^{ème} mois avec un mètre ruban. Après les dernières fertilisations et prises de mesures, 04 plants ont été sélectionnés par unité expérimentale pour le prélèvement des caractéristiques (poids, longueur, surface) de la feuille D à 10 mois. La surface foliaire de la feuille D a été estimée en enlevant des carottes circulaires de 4 cm de diamètre au tiers inférieur au milieu et au tiers supérieur de la feuille (Figures 11 et 12).

² Il n'y a pas un traitement nommé T4



Figure 11. Carotte circulaire prélevée sur la feuille D (Source : Agbangba, 2014)



Figure 12. Mesure de la hauteur de la feuille D (Source : Agbangba, 2014)

La surface foliaire a été ensuite estimée par la formule suivante: $S_D = \frac{m_{sc}}{m_{pc}} * p_D$ avec: S_D = surface feuille D, m_{sc} = surface moyennes des carottes; m_{pc} = poids moyen carottes, P_D = poids feuille D

La biomasse foliaire sèche totale de 2 plants sacrifiés par unité expérimentale et la biomasse sèche de 4 feuilles D par unité expérimentale évaluées ont été mises à l'étuve à 65 °C pendant 5 à 7 jours.

4.1.2.2. Paramètres de rendements

Le pourcentage de floraison, le poids frais des fruits, le diamètre des fruits, la longueur des fruits, le nombre d'yeux, la longueur et le poids de la couronne ont été estimés. Le rendement en fruit est déterminé par la formule $R = P/N$, où : R = rendement moyen des fruits en kg/plant ; P = poids des fruits d'ananas récoltés par parcelle élémentaire en kg ; N = nombre de plants par parcelle élémentaire.

4.1.3. Analyses statistiques

4.1.3.1. Modélisation de l'influence des unités fertilisantes sur la croissance

Des nuages de points ont été établis et expriment le nombre de feuilles émises (NFE) et la hauteur (H) en fonction du nombre de jours après le semis. Pour la plupart des unités expérimentales, l'allure observée pour les deux paramètres est du type logarithmique dont l'équation est : $y = \alpha + \beta \ln(N_j)$. Dans cette expression, y est le paramètre de croissance mesuré, α représente les conditions initiales de croissance et β est lié à la vitesse logarithmique de croissance des paramètres, N_j = nombre de jours après plantation (Dagnelie, 1998).

4.1.3.2. Modélisation de l'influence des unités fertilisantes sur le rendement

4.1.3.2.1. Détermination des doses maximales et optimales de N, P₂O₅ et K₂O

Cas des modèles quadratiques de type $y = \alpha + b_1X + b_2X^2$

Soit X une unité fertilisante et $y = \alpha + b_1X + b_2X^2$ où α , b_1 , et b_2 les constantes à estimer, le modèle quadratique. Les doses des unités fertilisantes N, P₂O₅ et K₂O qui correspondent aux maxima de rendement ont été obtenues en annulant les dérivées du rendement par rapport à l'élément en question ($X_{max} = -b_1/2b_2$). Les limites de confiance de cette dose ont été établies en résolvant par rapport à x , l'équation du deuxième degré (Dagnelie, 1998) :

$$(b_1 + 2b_2x)^2 - \frac{t_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \alpha^2 (SCE_{x^2} - 4x SPE_{x,x^2} + 4x^2 SCE_x)}{SCE_x SCE_{x^2} - SPE_{x,x^2}^2} = 0 \quad \text{à un degré de confiance égale à } 1-\alpha = 95\%$$

($\alpha=5\%$)

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}^2$ est la valeur de la distribution de Student pour un seuil de signification de α

SCE_x est la somme des carrés des écarts de x

SCE_{x^2} est la somme des carrés des écarts de x^2

SPE_{x,x^2} est la somme des produits des écarts de x et de x^2

Cas des modèles quadratiques de type $y = \alpha + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$

Pour les surfaces de réponse de type $y = \alpha + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$ (y est le rendement ; X_1, X_2 sont respectivement les doses d'azote et de potassium ou de phosphore et de potassium ; $\alpha, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ sont les coefficients de régression), les doses maximales des unités fertilisantes sont calculées en résolvant le système d'équation constitué par les dérivées partielles par rapport aux unités fertilisantes:

$$\begin{cases} \frac{\delta y}{\delta X_1} = b_1 + 2b_2X_1 + b_5X_2 = 0 \\ \frac{\delta y}{\delta X_2} = b_3 + 2b_4X_2 + b_5X_1 = 0 \end{cases}$$

4.1.3.2.2. Détermination des doses optimales pour les modèles quadratiques de type

$$y = \alpha + b_1X + b_2X^2$$

Cas des modèles quadratiques de type $y = \alpha + b_1X + b_2X^2$

Soit x, le facteur de production de y, si le coût marginal de ce facteur peut être considéré comme une fonction linéaire de x, et le rendement ou le revenu marginal de y comme une fonction linéaire de y, un optimum relatif à y peut être obtenu en recherchant le maximum de la fonction $y-cx$, dans laquelle le coefficient c désigne le rapport du coût marginal de x au revenu marginal de y. L'abscisse estimée de l'optimum est, dans ces conditions (Dagnelie, 1988) : $x_{opt} = (c - b_1)/(2b_2)$, et les limites de confiance correspondantes ont été calculées comme précédemment, en remplaçant toutefois b_1 par b_1-c .

Cas des modèles quadratiques de type $y = \alpha + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$

Les modèles sont des fonctions de production qui relient les facteurs de production (N, P, K) au rendement de la culture. Deux rapports ont ici une importance majeure (Dagnelie, 1998 ; Ndiaye et Barry, 1995). La première est le rapport entre l'accroissement de la quantité produite et la quantité de facteurs de production consommée, c'est-à-dire la productivité marginale de l'engrais. La seconde est le rapport de prix de l'engrais (P_x) rapporté au prix du produit (P). L'utilisation des fonctions de production permet alors un calcul économique dont l'objectif principal est de déterminer les doses de N, P_2O_5 et K_2O qui procurent le maximum de profit. Pour y arriver, il est nécessaire de considérer les dérivées partielles des fonctions par rapport à N, P_2O_5 et K_2O c'est-à-dire le produit marginal qui est le rapport de la variation de rendement à la variation d'engrais apporté. Le maximum de profit selon (Dagnelie, 1998 ; Ndiaye et Barry, 1995) est obtenu en égalant le produit marginal au rapport de prix facteur/produit :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial N} = b_1 + 2b_2X_N + b_5X_K = \frac{P_N}{P_y} \\ \frac{\partial y}{\partial K} = b_3 + 2b_4X_K + b_5X_N = \frac{P_K}{P_y} \\ \frac{\partial y}{\partial P} = b_1 + 2b_4X_P + b_5X_K = \frac{P_P}{P_y} \end{cases}$$

où P_N , P_p , et P_k sont respectivement le prix d'une unité d'azote, de phosphore et de potassium et P_y est le prix d'une unité du produit récolté.

4.1.3.3. Validation des modèles d'estimation de rendement retenus

Pour évaluer la performance des modèles, une combinaison de représentations graphiques et de mesures statistiques a été utilisée. Les paramètres statistiques retenus sont la valeur de la racine de l'erreur quadratique moyenne relative (RRMSE) et l'indice d'agrément (IA) (Willmott, 1982). La RRMSE est exprimée en pourcentage (%) et l'IA est exprimée en valeur relative. Un modèle ayant une bonne performance a des valeurs de RRMSE et d'IA qui tendent respectivement vers 0 et 1.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n \bar{O}}}$$
$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{P}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

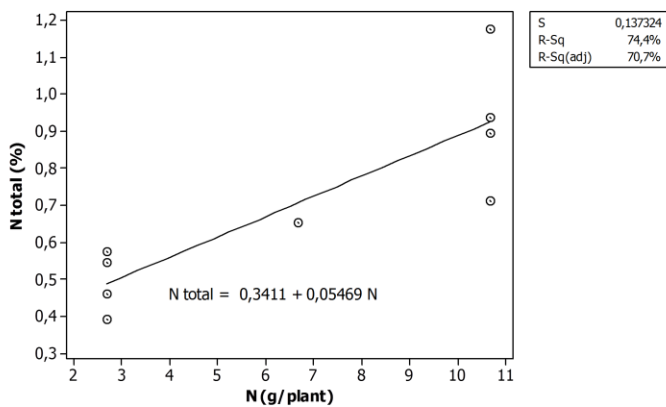
où P_i = valeur prédite, O_i = valeur observée, n = nombre de cas considérés, $\bar{P}$ = moyenne des valeurs prédites, $\bar{O}$ = moyenne des valeurs observées.

Les données collectées dans les exploitations en milieu paysan ont été utilisées pour cette validation.

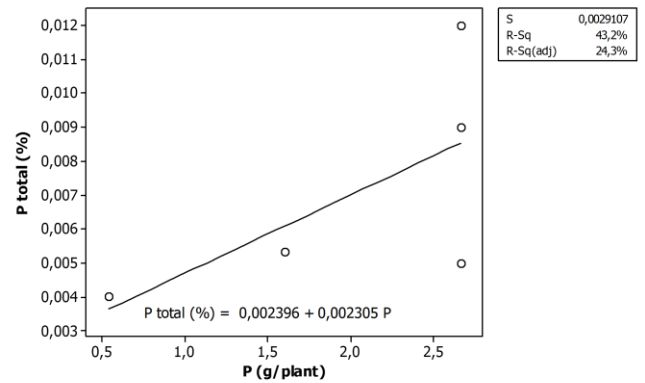
4.2. RESULTATS

4.2.1. Influences de l'N, du K et du P sur la nutrition minérale de l'ananas

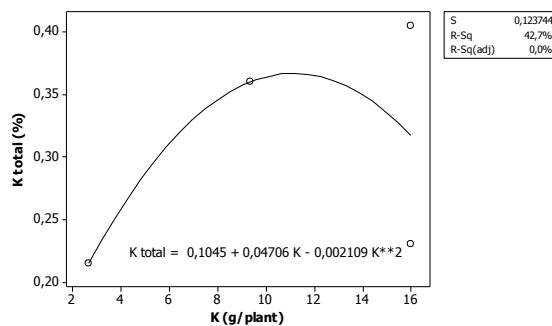
L'application des doses croissantes d'éléments fertilisants N, P et K se traduit par une absorption croissante de la plante (Figure 13 et 14). La réponse d'absorption de N, P chez le Pain de sucre et K chez la Cayenne lisse est linéaire ($p < 0,05$) tandis qu'elle est quadratique pour le K chez le Pain de sucre et le N et P chez la Cayenne lisse ($p < 0,05$). L'absorption est maximale en K chez le Pain de sucre pour des doses de K comprises entre 10 g/plant et 12 g/plant. Chez la Cayenne lisse, l'absorption de N et de P est maximale pour des doses comprises respectivement entre 6 g/plant et 7 g/plant, entre 1,5 g/plant et 2 g/plant.



a



b



c

Figures 13a, b et c. Influence da la fertilisation N, P et K sur la nutrition minérale de l'ananas Pain de sucre

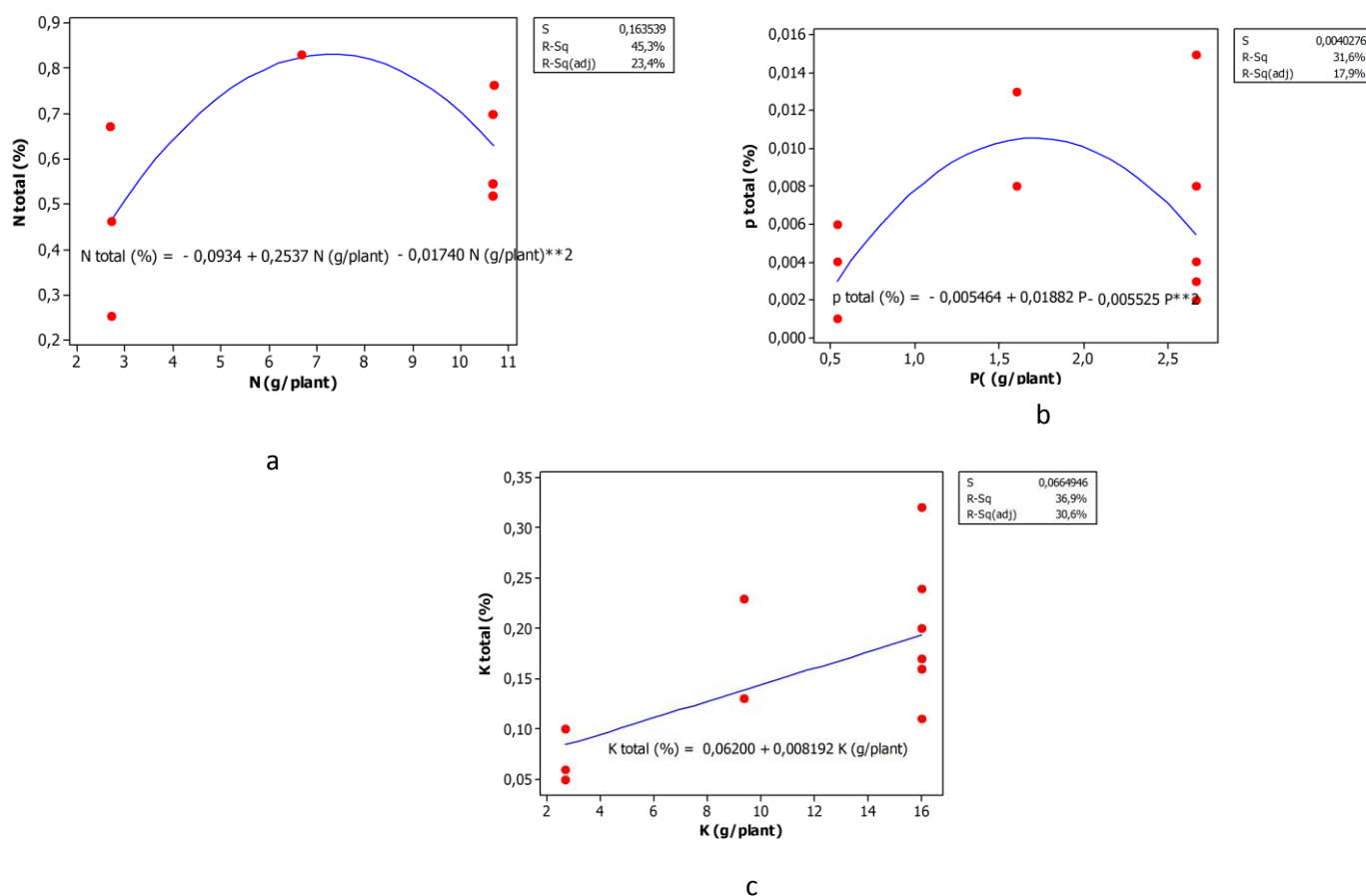


Figure 14 a, b et c. Influence de la fertilisation N, P et K sur la nutrition minérale de l'ananas Cayenne lisse

4.2.2. Influences de l'N, du K et du P sur la croissance de l'ananas

L'allure de la croissance en hauteur et de l'émission foliaire est du type logarithmique chez le Pain de sucre et la Cayenne lisse (Figures 15 et 16). Chez le Pain de sucre, les traitements n'ont pas induit des vitesses différentes de croissance en hauteur et en émission de feuilles. Chez la Cayenne lisse, la vitesse de croissance en hauteur et en émission foliaire varie suivant les traitements (Figures 15 et 16 et tableau 5). Les traitements T₁, T₆, T₇, T₈, T₉ et T₁₀ ont induit une croissance en hauteur plus rapide tandis que T₂ a permis une croissance plus lente des plants. T₉ et T₈ ont induit les vitesses de croissance (nombre de feuilles) les plus élevées, suivis respectivement de T₇, T₆, T₅, T₃ et enfin T₂, T₁₀ et T₁ qui indiquent les plus faibles vitesses d'émission foliaire. Il n'y a pas de différence entre les traitements par rapport aux conditions initiales de croissance. Ceci est dû à l'homogénéité des rejets plantés.

Tableau 5. Moyenne et écart-type des paramètres α' et α liés aux conditions initiales de croissance et de la vitesse de croissance (β , β') des plants d'ananas en fonction des traitements chez la Cayenne lisse

Traitements	Hauteur		Nombre de feuilles	
	B	A	β'	α'
T7	11568,49 $\pm$ 738,88 a	-122937,25 $\pm$ 10639,61 a	11608,96 $\pm$ 132,65 abc	-61200,12 $\pm$ 59716,05a
T8	11440,26 $\pm$ 990,24 a	-111104,38 $\pm$ 10859,22 a	11913,92 $\pm$ 69,53 ab	-15992,96 $\pm$ 4638,21 a
T6	11303,23 $\pm$ 442,75 a	-73495,96 $\pm$ 67637,89 a	11393,27 $\pm$ 33,05 abc	-121076,58 $\pm$ 348,72 a
T10	11262,88 $\pm$ 739,06 a	-62476,54 $\pm$ 70375,92 a	10619,63 $\pm$ 80,55 c	-68784,71 $\pm$ 61454,83 a
T9	10972,78 $\pm$ 840,54 a	-63195,25 $\pm$ 62115,91 a	12228,45 $\pm$ 67,25 a	-129956,54 $\pm$ 712,82 a
T1	10958,35 $\pm$ 160,37 a	-66634,9 $\pm$ 47112,38 a	9782,72 $\pm$ 520,57 d	-70031,78 $\pm$ 31391,11a
T5	10431,44 $\pm$ 1000,57 ab	-79577,62 $\pm$ 53157,28 a	11183,80 $\pm$ 8,54 abc	-72225,88 $\pm$ 65841,72 a
T3	9990,43 $\pm$ 371,23 ab	-75835,17 $\pm$ 50736,21 a	11079,06 $\pm$ 75,34 bc	-71669,67 $\pm$ 64340,82 a
T2	9136,49 $\pm$ 1261,43 b	-80440,79 $\pm$ 28239,43 a	10781,45 $\pm$ 112,48 c	-114568,95 $\pm$ 1194,95 a

Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes

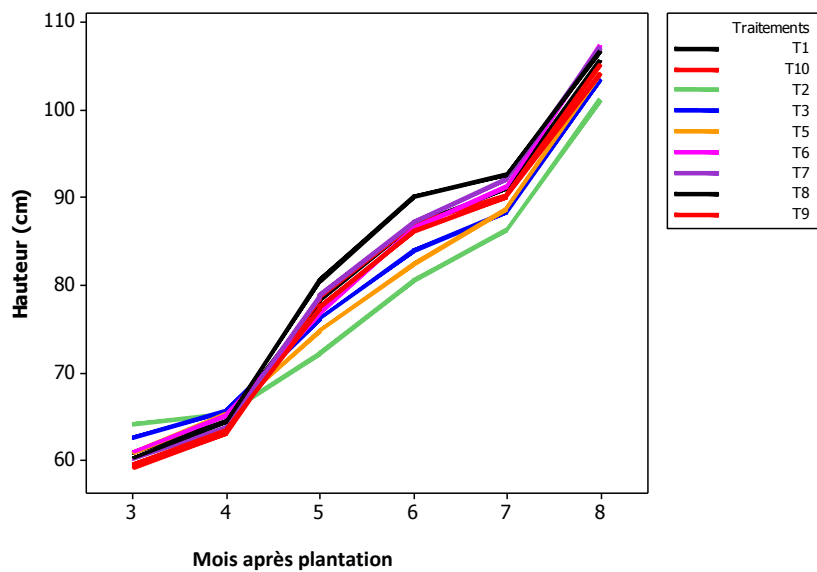


Figure 15. Evolution de la hauteur suivant les traitements après la plantation

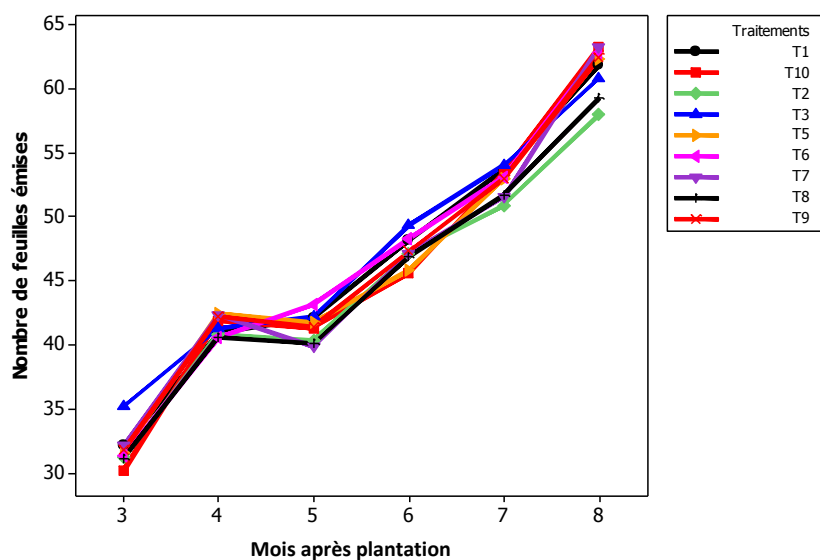


Figure 16. Evolution du nombre de feuilles suivant les traitements

4.2.3. Effet de la fertilisation P_2O_5 et K_2O sur la longueur, la surface foliaire et la matière sèche de la feuille D

Le tableau 6 traduit la réponse des variétés Pain de sucre et Cayenne lisse à la fertilisation minérale sur la croissance de la feuille D. Il ressort que seul le phosphore a un effet significatif sur le poids de la feuille D chez la Cayenne lisse et la longueur de la feuille D chez le Pain de sucre. Par ailleurs, les différents traitements ont eu d'effets significatifs ($P < 0,05$) sur le poids ($p = 0,03$), la hauteur ($p = 0,04$) et la surface foliaire de la feuille D ($p = 0,02$) chez la Cayenne lisse. Les traitements T_6 , T_9 , et T_{10} ont produit des feuilles ayant des poids plus élevés que les traitements T_7 , T_1 , T_8 , T_3 , T_2 et T_5 .

Tableau 6. Effet de la fertilisation P_2O_5 et K_2O sur le poids, la hauteur et la surface foliaire de la feuille D

Niveau de nutriment (g/plant)	Poids feuille D(g)		Hauteur feuille D(cm)		Surface foliaire (cm ²)	
	<i>CL</i>	<i>PS</i>	<i>CL</i>	<i>PS</i>	<i>CL</i>	<i>PS</i>
Azote						
2,7	89,85a	89,40a	101,28a	99,82a	508,77a	548,57a
6,7	89,62a	94,57a	100,22a	100,77a	498,64a	572,90a
10,7	85,72a	94,33a	99,87a	99,31a	485,8a	570,46a
Phosphore						
0,5	90,94a	101,87a	101,17a	101,87a	510,28a	577,89a
1,6	89,62ab	94,56a	100,22a	101,87ab	498,64a	572,90a
2,7	84,63b	94,56a	99,98a	101,87b	484,29a	541,14a
Potassium						
2,7	85,94a	90,56a	100,19a	99,07a	489,21a	554,23a
9,3	89,62a	94,56a	100,22a	100,77a	498,64a	572,90a
16	89,63 ^a	93,17a	100,96a	100,06a	505,35a	564,79a
Traitements						
T ₆	95,1a	92,63a	103,69a	101,45a	537,62a	547,71a
T ₉	91,99a	97,08a	101,44ab	103,90a	516,51ab	599,75a
T ₁₀	91,89a	103,15a	101,16ab	102,83a	514,11ab	594,62a
T ₇	91,29ab	78,27ab	100,6ab	94,60a	507,18ab	521,94a
T ₁	89,62ab	94,57ab	100,22ab	100,76a	498,64ab	572,90a
T ₈	85,96abc	83,17bc	99,89ab	93,75a	493,68ab	522,87a
T ₃	84,79abc	92,35abc	99,66ab	99,30a	473,78b	569,47 a
T ₂	81,02bc	89,62abc	99,31ab	99,32a	472,89b	524,87a
T ₅	80,25c	98,65c	98,84b	101,37a	462,51b	594,89a

CL : Cayenne lisse ; *PS* : Pain de sucre

4.2.4. Influences de l'azote, du potassium et du phosphore sur le rendement et ses composantes

Chez le Pain de sucre, les doses de N (6,7 g/plant), de P (1,6 g/plant) et de K (9,3 g/plant) ont montré les poids de fruit les plus élevés. Des effets significatifs sur le poids moyen des fruits ($p = 0,01$) et le diamètre des fruits ($p = 0,02$) ont été observés. Seul le potassium a un effet significatif ($p = 0,01$) sur le nombre d'yeux du fruit. La différence de l'effet des traitements sur le poids de la couronne, la longueur du fruit et la longueur de la couronne n'est pas significative ($p > 0,05$). La

tendance linéaire de l'effet de l'N, K et P sur le poids moyen et le diamètre du fruit est significative tandis que la tendance quadratique est très hautement significative (tableau 7). La partie linéaire de la tendance de l'effet de l'azote et du phosphore sur la longueur du fruit est significative ($p=0,02$) tandis que la tendance linéaire du potassium est hautement significative ($p=0,002$). Les tendances quadratiques de l'effet de chaque unité fertilisante sur la longueur du fruit est très hautement significative ($p=0,000$). Les tendances linéaires de l'effet de N, P sur la longueur de la couronne n'est pas significative ($p>0,05$) alors que la tendance quadratique est significative ($p=0,01$). L'effet linéaire du K sur ce paramètre est significatif alors que la tendance quadratique ne l'est pas. Enfin pour le nombre d'yeux, seul l'effet linéaire de l'azote n'est pas significatif.

Tableau 7. Effet de l'azote, du potassium et du phosphore sur le rendement du Pain de sucre et ses composantes

Doses de Nutriments	Poids moyen fruit	Poids couronne	Longueur fruit	Diamètre fruit	Longueur couronne	Nombre d'yeux
g/plant	Kg/Plant	g/plant		Cm		
Azote						
2,7	1,60 b	167,16 a	18,54 a	38,76 b	21,87 a	116,75 a
6,7	1,93 a	168,70 a	19,41 a	40,99 a	22,26 a	123,80 a
10,7	1,57 b	188,24 a	23,13 a	37,82 b	23,55 a	113,30 a
Tendances	L*Q***	L ^{ns} Q ^{ns}	L*Q***	L*Q***	L ^{ns} Q*	L ^{ns} Q***
Phosphore						
0,5	1,60 b	174,98 a	23,90 a	38,56 b	22,77 a	115,95 a
1,6	1,93 a	168,70 a	19,41 a	40,99 a	22,26 a	123,80 a
2,7	1,58 b	177,11 a	17,96 a	38,20 b	22,46 a	114,76 a
Tendances	L*Q***	L ^{ns} Q ^{ns}	L*Q***	L*Q***	L ^{ns} Q*	L*Q***
Potassium						
2,7	1,55 b	183,89 a	22,34 a	37,85 b	23,17 a	111,79 b
9,3	1,93 a	168,70 a	19,41 a	40,99 a	22,26 a	123,80 a
16	1,63 b	168,51 a	18,68 a	38,86 b	22,01 a	118,75 ab
Tendances	L*Q***	L ^{ns} Q ^{ns}	L**Q***	L**Q***	L*Q ^{ns}	L**Q***

noyennes portant des lettres différentes sont significativement différentes ; L : tendance linéaire ; Q : tendance ratique; ^{ns}: non significatif * : significatif, ** : hautement significatif, *** : très hautement significatif

Chez la Cayenne lisse, N a un effet significatif ($p=0,01$) sur le rendement en fruit, la longueur de fruit, le diamètre de fruit et la longueur de couronne (tableau 8). Le rendement en fruit le plus élevé est obtenu avec la dose N de 6,7 g/plant. P a eu un effet significatif ($p=0,01$) sur le rendement en fruit et la longueur de fruit. Le rendement en fruit le plus élevé est obtenu avec la dose 1,6 g/plant. La différence de l'effet des doses du potassium sur le rendement en fruit, la longueur du fruit et le diamètre du fruit est significative ($p=0,01$). Les valeurs les plus fortes de ces paramètres ont été obtenues avec la dose 9,3 g/plant.

Seule la tendance linéaire de l'effet de l'azote sur la longueur de la couronne est significative. La tendance quadratique de N, P et K est significative pour le rendement en fruit, hautement significative pour la longueur de fruit et le diamètre du fruit.

Tableau 8. Effet de l'azote, du potassium et du phosphore sur le rendement de la Cayenne lisse et ses composantes

Doses de Nutriments	Poids moyen fruit	Poids couronne	Longueur fruit	Diamètre fruit	Longueur couronne	Nombre d'yeux
g/plant	Kg/Plant	g/plant		Cm		
Azote						
2,7	2,57 a	192,6 a	19,75 b	45,10ab	14,20 a	138,74a
6,7	2,73 ab	161,2 a	20,86 a	47,14a	10,29 b	148,02a
10,7	2,50 b	152,9 a	20,08 b	45,32 b	11,27 b	139,70a
Tendances	L ^{ns} Q*	L ^{ns} Q ^{ns}	L ^{ns} Q**	L ^{ns} Q**	L*Q ^{ns}	L ^{ns} Q ^{ns}
Phosphore						
0,5	2,54 b	174,90 a	19,84 b	45,53 a	12,34 a	140,43a
1,6	2,73 a	160,70 a	20,87 a	47,14 a	10,30 a	147,94a
2,7	2,54 b	173,7 a	19,94 b	45,76 a	13,11 a	138,48a
Tendances	L ^{ns} Q*	L ^{ns} Q ^{ns}	L ^{ns} Q**	L ^{ns} Q**	L ^{ns} Q ^{ns}	L ^{ns} Q ^{ns}
Potassium						
2,7	2,49 b	169,10 a	19,87 b	45,14 b	12,55 a	137,33 a
9,3	2,72 a	159,90 a	20,86 a	47,04 a	10,21 a	147,72 a
16	2,64 b	184,10 a	19,96 b	46,77 a	13,40 a	142,89 a
Tendances	L ^{ns} Q*	L ^{ns} Q ^{ns}	L ^{ns} Q**	L ^{ns} Q**	L ^{ns} Q ^{ns}	L ^{ns} Q ^{ns}

Les moyennes portant des lettres différentes sont significativement différentes ; L : tendance linéaire ; Q : tendance quadratique; ^{ns}: non significatif * : significatif, ** : hautement significatif, *** : très hautement significatif

4.2.5. Modélisation de l'influence de N, K et P sur le rendement

L'ajustement linéaire simple ou multiple des données est significatif ($p < 0,05$). Les modèles linéaires simples ou multiples montrent les plus faibles coefficients de détermination, ajusté et prédictif. Chez le Pain de sucre, le coefficient de détermination varie entre 18,06% et 38,86% et le coefficient de détermination ajusté entre 13,96% et 28,82%. Le coefficient de détermination prédictif pour les modèles linéaires oscille entre -1,32 et 14,30. Les valeurs les plus élevées du critère de validation croisée (PRESS) ont été observées pour les modèles linéaires et varient de 2,23 à 2,63 (tableau 9).

Tableau 9. Modèles linéaires d'estimation de la production de Pain de sucre

Modèles linéaires	F	R ²	R ² ajusté	PRESS	R ² (pred)
Modèle 1. Poids fruit = $1,34 + 0,04 N$	5,36*	21,14	17,20	2,56	1,56
Modèle 2. Poids fruit = $1,35718 + 0,141918 P$	4,41*	18,06	13,96	2,63	-1,32
Modèle 3. Poids fruit = $1,34537 + 0,0275009 K$	6,56*	24,69	20,93	2,39	7,79
Modèle 4. Poids fruit = $1,26442 + 0,030557 N + 0,0931808 P$	3,60*	27,49	19,86	2,47	4,72
Modèle 5. Poids fruit = $1,22268 + 0,0309954 N + 0,02198 K$	5,25*	35,60	28,82	2,23	14,30
Modèle 6. Poids fruit = $1,23483 + 0,101861 P + 0,0225267 K$	4,72*	33,19	26,15	2,28	12,03
Modèle 7. Poids fruit = $1,176 + 0,0241198 N + 0,0680991 P + 0,0198792 K$	3,82*	38,86	28,67	2,31	11,20

^{ns}: non significatif * : significatif, ** : hautement significatif, *** : très hautement significatif

F : statistique de Fisher, R² : coefficient de détermination, R² ajusté : coefficient de détermination ajusté, PRESS : critère de validation croisé, R²(pred) : coefficient de détermination prédictif

Chez la Cayenne lisse, le coefficient de détermination varie entre 36,22% et 66,43% et le coefficient de détermination ajusté entre 32,66 % et 59,72%. Le coefficient de détermination prédictif de ces modèles linéaires oscille entre 16,31% et 46,77%. Les valeurs les plus élevées du critère de validation croisée (PRESS) ont été observées pour les modèles linéaires et varient de 4,55 à 7,07 (tableau 10).

Tableau 10. Modèles linéaires d'estimation de la production de Cayenne lisse

Modèles linéaires	F	R ²	R ² ajusté	PRESS	R ² (pred)
Modèle 1. Poids fruit = $1,74 + 0,11 N$	10,07**	37,21	33,51	7,11	16,71
Modèle 2. Poids fruit = $1,75 + 0,41P$	9,73*	36,40	32,66	7,15	16,31
Modèle 3. Poids fruit = $1,84 + 0,071 K$	9,65**	36,22	32,46	7,07	17,28
Modèle 4. Poids fruit = $1,49 + 0,077 N + 0,29 P$	8,75**	52,23	46,26	5,82	31,89
Modèle 5. Poids fruit = $1,52 + 0,08 N + 0,05 K$	33,64**	54,41	48,71	5,67	33,64
Modèle 6. Poids fruit = $1,45 + 0,33 P + 0,06K$	11,51**	58,99	53,86	5,23	38,80
Modèle 7. Poids fruit = $1,32 + 0,06N + 0,26P + 0,05K$	9,90***	66,43	59,72	4,55	46,77

^{ns}: non significatif * : significatif, ** : hautement significatif, *** : très hautement significatif

F : statistique de Fisher, R² : coefficient de détermination, R² ajusté : coefficient de détermination ajusté, PRESS : critère de validation croisé, R²(pred) : coefficient de détermination prédictif

Les ajustements non linéaires des données de rendement et de dose de fertilisant sont significatifs ($p < 0,05$) à très hautement significatifs ($p < 0,001$). Les modèles non linéaires indiquent des coefficients de détermination, ajustés et prédictifs les plus élevés chez les deux variétés. Les modèles de rendement du Pain de sucre présentent un coefficient de détermination variant entre 38,22% et 89,10% et un coefficient de détermination ajusté oscillant entre 27,93% et 85,31% (tableau 11). Chez la Cayenne lisse, le coefficient de détermination variant entre 67,93% et 95,99% et un coefficient de détermination ajusté oscillant entre 61,52% et 94,73% (tableau 12).

Les modèles non linéaires et non quadratiques (Modèles 11, 12 et 13) ont les plus faibles coefficients de détermination et de détermination ajustés quel que soit la variété. Les plus faibles critères de validation ont été obtenus avec les modèles quadratiques (entre 0, 53 et 0,69 chez le Pain de sucre et 0 et 4,65 chez la Cayenne) (tableau 11 et 12).

Tableau 11. Modèles non linéaires d'estimation de la production de Pain de sucre

Modèles non linéaires	F	R ²	R ² ajusté	PRESS	R ² (pred)
Modèle 8. Poids fruit = $0,88 + 0,33N - 0,03N^2$	52,07***	84,6	82,9	0,53	79,5
Modèle 9. Poids fruit = $0,94 + 1,30P - 0,40P^2$	42,26***	81,6	79,7	0,63	75,79
Modèle 10. Poids fruit = $0,98 + 0,21K - 0,01K^2$	38,69***	80,29	78,21	0,68	73,89
Modèle 11. Poids fruit = $1,10 + 0,08N + 0,24P - 0,03N*P$	4,64*	43,6	34,2	2,35	9,33
Modèle 12. Poids fruit = $1,16 + 0,05N + 0,03K - 0,002N*K$	3,79*	38,74	28,53	2,35	9,41
Modèle 13. Poids fruit = $1,15 + 0,18P + 0,04K - 0,01P*K$	3,71*	38,22	27,93	0,53	9,25
Modèle 14. Poids fruit = $0,85 + 0,53N - 0,15K - 0,04N^2 + 0,003N*K + 0,007K^2$	26,15***	89,1	85,69	0,55	78,79
Modèle 15. Poids fruit = $0,85 + 0,60N - 1,11P - 0,05N^2 + 0,004N*P + 0,34P^2$	18,58***	85,31	80,71	0,69	73,5
Modèle 16. Poids fruit = $0,85 + 5,19P - 0,66K - 1,65P^2 + 0,01P*K + 0,04K^2$	24,42***	88,41	84,79	0,59	77,38
Modèle 17. Poids fruit = $1,29 + 0,25N - 0,11P - 0,03K - 0,02N*N + 0,004N*P + 0,003N*K + 0,008P*K$	23,1***	73,99	57,44	0,79	0,58

ns: non significatif * : significatif, ** : hautement significatif, *** : très hautement significatif

F : statistique de Fisher, R²: coefficient de détermination, R² ajusté : coefficient de détermination ajusté, PRESS : critère de validation croisé, R²(pred) : coefficient de détermination prédictif

Tableau 12. Modèles non linéaires d'estimation de la production de Cayenne lisse

Modèles non linéaires	F	R ²	R ² ajusté	PRESS	R ² (pred)
Modèle 8. Poids fruit = $1,07 + 0,54 N - 0,039 N^2$	46,1***	85,5	83,6	1,74	79,63
Modèle 9. Poids fruit = $1,16 + 2,08P - 0,60P^2$	46,99***	80,67	78,25	2,28	73,32
Modèle 10. Poids fruit = $1,32 + 0,33 K - 0,02K^2$	21,67***	73,03	69,66	3,19	62,69
Modèle 11. Poids fruit = $1,22 + 0,16 N + 0,59P - 0,06N*P$	10,59***	67,93	61,52	4,65	45,57
Modèle 12. Poids fruit = $1,28 + 0,14N + 0,11K - 0,011N*K$	11,35***	69,42	63,3	4,3	49,66
Modèle 13. Poids fruit = $1,20 + 0,57P + 0,12K - 0,05P*K$	16,09***	76,29	71,55	3,28	61,61
Modèle 14. Poids fruit = $0,852 + 1,37N - 0,57K - 0,10N^2 - 0,0012 N*K + 0,03K^2$	62,25***	95,99	94,45	0,81	90,53
Modèle 15. Poids fruit = $0,85 + 2,40N - 7,58P - 0,18N^2 + 0,01 N*P + 2,34P^2$	57,33***	95,66	93,99	1,07	87,44
Modèle 16. Poids fruit = $0,85 + 13,05P - 1,84K - 4,07P^2 + 0,10K^2$	81,97 **	95,9	94,73	0,7	91,75
Modèle 17. Poids fruit = $0,85 + 2,46 N - 8,07P - 0,009 K - 0,19N^2 + 0,05N*P + 0,006N*K + 2,46 P^2 + 0,01P*K - 0,004N*P*K$	74,96 ***	98,68	97,37	0	0

ns: non significatif * : significatif, ** : hautement significatif, *** : très hautement significatif

F : statistique de Fisher, R²: coefficient de détermination, R² ajusté : coefficient de détermination ajusté, PRESS : critère de validation croisé, R² (pred) : coefficient de détermination prédictif

4.2.6. Doses maximales et optimales de N, P₂O₅ et K₂O

Cas des modèles quadratiques simples

L'effet quadratique de N, P et K sur le rendement en fruit étant significatif, la dose maximale est l'abscisse qui annule où la dérivée première de l'équation de la parabole (Figures 17 et 18). Pour le Pain de sucre, la dose maximale de N est 6,63 g/plant (95% IC=4,67-10,25 g/plant), du P₂O₅ est 1,63 et celle du K₂O est 9,86 g/plant (95% IC=8,71-10,45g/plant). La dose économique de N est 5,35 g/plant (95% IC= 5,28-6 g/plant), de P est 1,62 g/plant (95% IC= 1,60-1,64 g/plant) et celle de K₂O est 9,52 g/plant (95% IC= 9,5-10 g/plant). Quant à la Cayenne lisse, les doses maximales solutions des systèmes d'équations sont: N_{max}=6,99 g/plant ; P_{max}= 1,75 g/plant et K_{max} =10,37 g/plant. En résolvant les équations on obtient les doses optimales de N: 6,94 g/plant, de P : 1,75 g/plant et de K : 10,15 g/plant (tableau 13).

Tableau 13. Doses maximale et économique de N, P₂O₅ et K₂O

Unités fertilisantes	Dose maximale (g/plant)		Intervalle de confiance de la dose maximale à 95%		Dose optimale (g/plant)		Intervalle de confiance de la dose optimale à 95%	
	PS	CL	PS	CL	PS	CL	PS	CL
N	6,63	6,99	4,67-8	5,2-7,1	5,35	6,94	5,28-6	5,2-7,0
P ₂ O ₅	1,63	1,75	1,50-1,65	1,50-1,80	1,62	1,75	1,60-1,64	1,50-1,80
K ₂ O	9,86	10,37	8,71-10,45	10-12,3	9,52	10,15	9,5-10	10-12

CL : Cayenne lisse ; PS : Pain de sucre

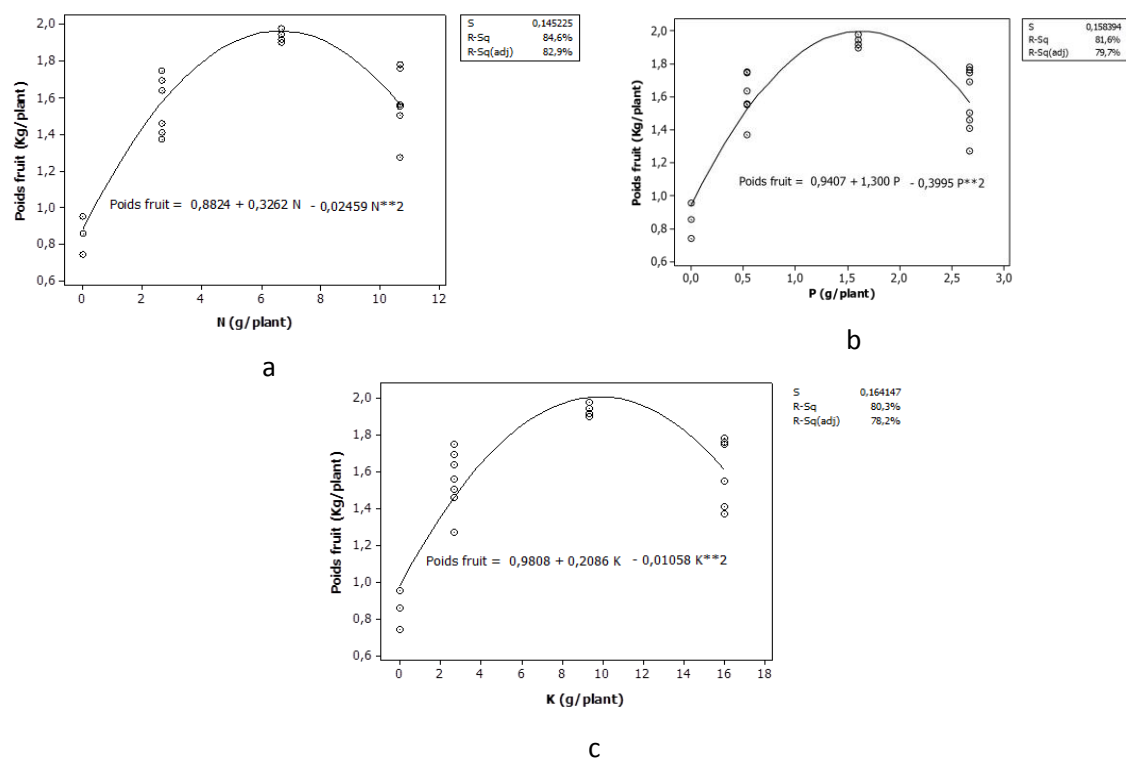


Figure 17 a, b et c. Courbes de réponses de l'ananas "Pain de sucre" à la fertilisation N, P_2O_5 et K_2O_5

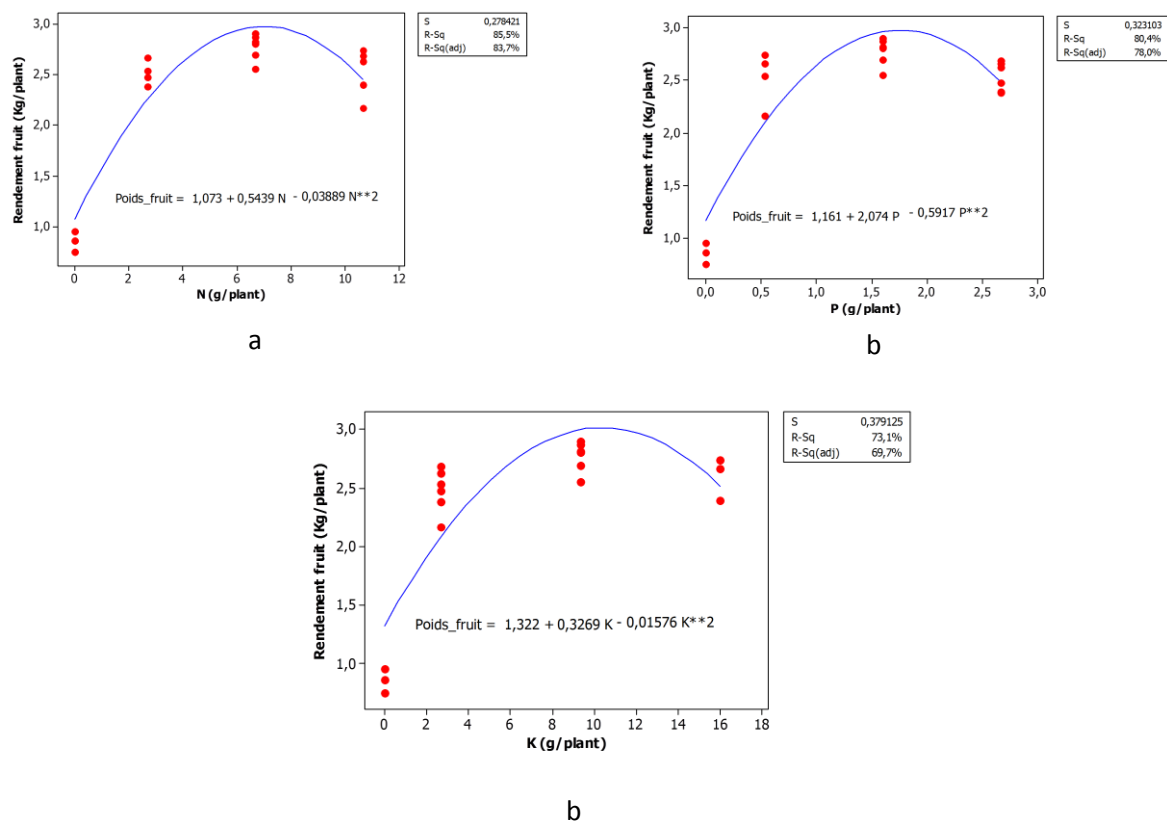


Figure 18 a, b et c. Courbes de réponses de l'ananas "Cayenne lisse" à la fertilisation N, P_2O_5 et K_2O_5

Cas des modèles quadratiques multiples

L'analyse des surfaces de réponse quadratiques a révélé que les modèles 14 et 16 sont les meilleurs estimateurs de la production (R^2 , R^2 ajusté et R^2 (pred) plus grands et PRESS plus faible). Ces surfaces de réponse sont de type $y = \alpha + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$ où y est le rendement ; X_1 , X_2 sont respectivement les doses d'azote et de potassium (Modèle 14) où de phosphore et de potassium (Modèle 16) ; α , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , b_5 sont les coefficients de régression. Le calcul de l'erreur quadratique pour les modèles 14 et 16 a donné 7% et 8% et celui de l'indice d'agrément a donné respectivement de 0,85 et 0,89.

Les doses maximales des unités fertilisantes sont calculées en résolvant le système d'équation constitué par les dérivées partielles par rapport aux unités fertilisantes:

Cas de la variété Pain de sucre

Selon le Modèle 14, on a le système d'équation suivant:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial N} = 0,529 - 0,084N + 0,003K = 0 & (1) \\ \frac{\partial y}{\partial K} = -0,151 + 0,014K + 0,003N = 0 & (2) \end{cases}$$

Selon le modèle 16 on a le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial P} = 5,188 - 3,308P + 0,010K = 0 & (3) \\ \frac{\partial y}{\partial K} = 0,660 + 0,07K + 0,010P = 0 & (4) \end{cases}$$

Les doses maximales solutions des systèmes d'équations sont respectivement pour l'azote $N_{\max} = 6,63$ g/plant ; $P_{\max} = 1,60$ g/plant ; $K_{\max} = 9,44$ g/plant.

Les doses optimales des unités fertilisantes sont solution du système d'équations :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial N} = 0,529 - 0,084N + 0,003K = \frac{P_N}{P_y} \\ \frac{\partial y}{\partial K} = -0,151 + 0,014K + 0,003N = \frac{P_K}{P_y} \\ \frac{\partial y}{\partial P} = 5,188 - 3,308P + 0,010K = \frac{P_P}{P_y} \end{cases} = \begin{cases} \frac{\partial y}{\partial N} = 0,529 - 0,084N + 0,003K = 0,0068 \quad (5) \\ \frac{\partial y}{\partial K} = -0,151 + 0,014K + 0,003N = 0,0053 \quad (6) \\ \frac{\partial y}{\partial P} = 5,188 - 3,308P + 0,010K = 0,0058 \quad (7) \end{cases}$$

En résolvant simultanément les équations (5), (6) et (7), on obtient les doses optimales de N, de P et de K à recommander au producteur et qui correspondent au maximum de profit qui sont de 6,55 g/plant pour N ; 1,60 g/plant pour P et 9,38 g/plant pour K. Ce qui correspond à une dose de 393 kg/ha de N ; 96 kg/ha de P_2O_5 ; 562,8 kg/ha de K_2O . L'application des doses optimales permet d'obtenir un rendement optimal de 1,90 kg/plant soit 114 t/ha.

Au prix de 608,70 FCFA/kg N ; 521,74 FCFA/kg P_2O_5 et 480 FCFA/kg K_2O les engrais représentent un investissement de 559450 F CFA par hectare. Les autres coûts de production (les investissements et leur amortissement, les intrants et la main d'œuvre) (Sohinto, 2008 ; Agbangba, 2014) s'élèvent à 2811503 FCFA. Le coût total de production est donc de 3370953 FCFA. Le bénéfice net est de 6889047 F CFA si l'Ananas est vendu à 90 FCFA/kg.

Cas de la variété Cayenne lisse

Chez la variété Cayenne lisse, selon les Modèle 14 et 16, on a le système d'équation :

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial N} = 1,37 - 0,20N - 0,0012K = 0 \quad (5) \\ \frac{\partial y}{\partial K} = -0,57 + 0,0012N + 0,06K = 0 \quad (6) \\ \frac{\partial y}{\partial P} = 13,05 - 8,14P = 0 \quad (7) \end{cases}$$

Les doses maximales solutions des systèmes d'équations sont respectivement pour l'azote $N_{\max} = 6,79$ g/plant ; $P_{\max} = 1,60$ g/plant ; $K_{\max} = 9,36$ g/plant.

Les doses optimales des unités fertilisantes sont solution du système d'équations :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial y}{\partial N} = 1,37 - 0,20N - 0,0012K = \frac{P_N}{P_y} \quad (8) \\ \frac{\partial y}{\partial K} = -0,57 + 0,0012N + 0,06K = \frac{P_K}{P_y} \quad (9) \\ \frac{\partial y}{\partial P} = 13,05 - 8,14P = \frac{P_P}{P_y} \quad (10) \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial y}{\partial N} = 1,37 - 0,20N - 0,0012K = 0,0068 \quad (5) \\ \frac{\partial y}{\partial K} = -0,57 + 0,0012N + 0,06K = 0,0053 \quad (6) \\ \frac{\partial y}{\partial P} = 13,05 - 8,14P = 0,0058 \quad (7) \end{array} \right.$$

En résolvant simultanément les équations (8), (9) et (10), on obtient les doses optimales de N, de P et de K à recommander à l'agriculteur et qui correspondent au maximum de profit qui sont de 6,75 g/plant pour N ; 1,60 g/plant pour P et 9,36 g/plant pour K. Ce qui correspond à une dose de 405 kg/ha de N ; 96 kg/ha de P₂O₅ ; 561,6 kg/ha de K₂O. L'application des doses optimales permet d'obtenir un rendement optimal de 2,76 Kg/plant soit 165,6 t/ha.

Les engrais représentent un investissement de 566179 F CFA par hectare avec respectivement 608,70 FCFA/kg N, 521,74 FCFA/kg P₂O₅ et 480 FCFA/kg K₂O. Les autres coûts de production (les investissements et leur amortissement, les intrants et la main d'œuvre) (Sohinto, 2008 ; Agbangba, 2014) s'élèvent à 2811503FCFA. Le coût total de production s'élève à 3377682 FCFA. Le bénéfice net vaut 11526318 F CFA si l'ananas est vendu à 90 FCFA/kg.

4.3. DISCUSSION

4.3.1. Qualité des modèles sélectionnés

Dans ce travail, les modèles quadratiques sont les meilleurs estimateurs du rendement à partir des doses de fertilisants apportées. Des réponses quadratiques hautement significatives de l'azote et du potassium sur le rendement de l'ananas ont été aussi obtenues au Brésil par Spironello *et al.* (2004). Les critères de sélection des modèles ont révélé 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. Le coefficient de détermination est une fonction croissante de la complexité du modèle. Il conduit donc toujours à choisir le modèle qui épouse le mieux les données, autrement dit le modèle le plus complexe. A partir du coefficient de détermination, on définit le coefficient de détermination ajusté qui consiste à pénaliser par l'augmentation du nombre de variables utilisées. Le critère de validation croisée permet de sélectionner les modèles ayant un bon pouvoir prédictif (on recherche PRESS le plus petit). R² (pred) indique dans quelle mesure le modèle

prédit des réponses pour de nouvelles observations. Des valeurs plus élevées de R^2 (pred) permettent d'avoir des modèles de plus grande capacité prédictive (Azaïs et Bardet, 2012). Une réponse positive de la croissance et du rendement à l'adjonction du phosphore a été observée. Par contre, aucune réponse au phosphore n'a été signalée malgré les teneurs très faibles de l'élément dans le sol (Spironella, 2004 ; Py *et al.*, 1984). Le phosphore est essentiel à la différenciation de l'inflorescence et de la floraison. Godefroy *et al.* (1971) rapportent cependant que les besoins en P sont limités. La réponse au phosphore s'explique par la déficience caractéristique des sols ferrallitiques en cet élément dans le sud Bénin. Ces sols ont une capacité de rétention en cations et les réserves minérales se caractérisant par des taux de K extrêmement faibles et des teneurs en P_2O_5 faibles (Agossou, 1983). Le potassium est l'élément le plus absorbé par la plante. Des résultats de recherches menées à Cuba pendant 2 décennies indiquent que l'ananas consomme de grandes quantités de potassium (270 à 780 kg/ha) (Treto, 1992).

4.3.2. Doses économiques des unités fertilisantes

Les doses économiques de fertilisants N, P_2O_5 et K_2O à préconiser pour la variété "Pain de sucre" sont de 6,55 g/plant pour N, 1,60 g/plant pour P et 9,38 g/plant pour K. Quant à la "Cayenne lisse", les doses de fertilisants qui correspondent au maximum de profit sont de 6,75 g/plant N, 1,60 g/plant pour P et 9,36 g/plant pour K. Les doses d'unités fertilisantes N et K_2O corroborent les normes du Mémento de l'agronome (2002) qui sont de 4 à 14 g/plant pour N, de 10 à 20 g/plant pour K.

L'interprétation économique des essais de fumures minérales requiert la connaissance des variations continues des rendements et des prix, en fonction des doses de fumures appliquées à travers la fonction de production. Un premier goulot est celui des expressions de rendements en fonction des fumures à partir des résultats discontinus fournis par les essais. Cette question de "l'ajustement" relève du domaine de la statistique. Dans cette étude, des surfaces polynomiales de réponse de second degré ont été utilisées. Il convient cependant de noter que ce polynôme n'est qu'un modèle empirique dont les coefficients de régression restent encore sans aucune signification biologique. L'emploi d'une fertilisation équilibrée permet d'obtenir des rendements élevés en fournissant des quantités appropriées d'éléments nutritifs au sol. Cependant, la notion de fertilisation équilibrée devient complexe lorsqu'on tient compte des facteurs variables, tels que la teneur en éléments nutritifs du sol, variétés utilisées, gestion de l'exploitation, etc. Le rapport Coût/Bénéfice met en évidence la rentabilité d'une fertilisation équilibrée et fait ressortir l'intérêt de l'optimisation, plutôt que de la maximisation du rendement (Ndiaye et Barry, 1995). Un autre aspect qui prend de

l'importance est de savoir si l'agriculteur va accepter l'engrais équilibré dans le cadre de sa capacité d'investissement en engrais. Dans cette étude, il a été admis, comme cela se fait usuellement, que l'objectif majeur de la fertilisation est d'obtenir le maximum de profit pour ceux des agriculteurs qui ont la possibilité financière de payer une fumure minérale.

CONCLUSION PARTIELLE

Cette étude met en relief combien la fertilisation minérale a un effet positif sur la croissance et le rendement de l'ananas. Les modèles quadratiques sont les meilleurs estimateurs du rendement à partir des doses de fertilisant apportées. Les doses économiques de fertilisant N, P et K à préconiser pour le Pain de sucre sont de 6,55 g/plant pour l'azote, 1,60 g/plant pour le phosphore et 9,38 g/plant pour le potassium pour obtenir un rendement de 114 t/ha et un profit de 6889047 F CFA à l'hectare. Quant à la variété "Cayenne lisse", les doses de fertilisant qui correspondent au maximum de profit sont de 6,75 g/plant pour l'azote, 1,60 g/plant pour le phosphore et 9,36 g/plant pour le potassium. L'application des doses optimales permet d'obtenir un rendement optimal de 2,76 Kg/plant soit 165,6 t/ha et un profit de 11526318 F CFA. Ces doses économiques qui permettent d'obtenir des rendements élevés garantissent-elles des fruits et du jus d'ananas de qualité ?

PARTIE III : PRODUCTION D'ANANAS AU BENIN

CHAPITRE 5. INFLUENCE DE LA FERTILISATION MINERALE SUR LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET ORGANOLEPTIQUE DES FRUITS FRAIS ET DU JUS D'ANANAS TRANSFORME AU BENIN³

RESUME

L'objectif de l'étude est d'analyser l'influence de la fertilisation N, P et K sur les caractéristiques physico-chimique et organoleptique des tranches d'ananas frais et du jus produits au Bénin. Un essai en plan factoriel NPK complet a été installé à Soyo, un village de la commune d'Allada du Département de l'Atlantique en République du Bénin. Les traitements NPK appliqués en unités fertilisantes exprimées en g/plant et randomisé dans quatre blocs pour chacune des variétés Cayenne lisse et Pain de sucre ont été les suivants : T₁: 6,7-1,6-9,3 ; T₂: 2,7-2,7-2,7 ; T₃: 10,7- 0,5-2,7 ; T₅: 10,7- 2,7-16 ; T₆: 2,7- 0,5-16 ; T₇: 2,7- 2,7-16 ; T₈: 10,7-2,7-2,7 ; T₉: 2,7-0,5-2,7 ; T₁₀: 10,7- 0,5-16. Le degré Brix du jus a été déterminé au réfractomètre et le pH au pH-mètre. Une évaluation des caractéristiques sensorielles telles que le goût sucré, le goût acide et l'arôme des tranches d'ananas frais et du jus fabriqué des fruits et jus d'ananas a été effectuée par un panel de dégustateurs sélectionnés et entraînés. Une analyse en composantes principales, suivie d'une classification numérique a été réalisée sur les caractéristiques sensorielles et physico-chimiques des fruits. Pour la variété Cayenne lisse, les traitements T₃, T₆ et T₉ ont été prometteurs pour une production d'ananas destinée à la consommation en frais tandis que les traitements T₁, T₃, T₅ et T₆ ont permis d'obtenir des jus de qualité organoleptique appréciable. Chez le Pain de sucre, les traitements T₃, T₅, T₆ et T₉ sont prometteurs pour une production en qualité d'ananas destinée à la consommation en frais, tandis que les fertilisants T₁, T₅, T₆, T₇, et T₁₀ ont donné des jus de qualité organoleptique moyenne et permettent également d'avoir un rendement en jus appréciable.

Mots clés : Intensification, Rendement, Fruit, Evaluation sensorielle, Fumure, Allada.

³ Une partie des résultats a été publiée dans International Journal of Chemical and Biological Science

ABSTRACT

The objective of the study is to analyze the influence of fertilizer N, P and K on the physico-chemical and organoleptic characteristics of slices of fresh pineapple and juice produced in Benin. A complete NPK factorial design was installed in Soyo, a village in the town of Allada, Atlantic Department in the Republic of Benin. The treatments applied NPK in fertilizer units in g / plant and randomized into four blocks for each of the varieties Cayenne smooth and Sugarloaf were as follows: T₁: 6.7-1.6-9.3; T₂: 2.7-2.7-2.7; T₃: 10.7- 0.5-2.7; T₅: 10.7- 2.7-16; T₆: 2.7-0.5-16; T₇: 2.7 2.7-16; T₈: 10.7-2.7-2.7; T₉: 2.7-0.5-2.7; T₁₀: 10.7- 0.5-16. Brix juice was determined using a refractometer and pH with a pH meter. An evaluation of sensory characteristics such as taste sweet, acid taste and aroma of fresh pineapple slices and juice made of fruit and pineapple juice was made by a panel of tasters selected and trained. A principal components analysis, followed by a numerical classification was performed on fruits sensory and physicochemical characteristics. For the Smooth Cayenne variety, treatments T₃, T₆ and T₉ have been promising for pineapple production for fresh consumption while the treatments T₁, T₃, T₅ and T₆ have yielded significant organoleptic juice of quality. For Sugarloaf, the T₃ treatment, T₅, T₆ and T₉ are promising for production quality pineapple for fresh consumption while fertilizers T₁, T₅, T₆, T₇ and T₁₀ gave juice of an average organoleptic quality and also allow having an appreciable yield in juice.

Keywords: Intensification, Yield, Fruit, Sensory Evaluation, Fertilizer, Allada.

INTRODUCTION

L'ananas est le deuxième fruit tropical dans le commerce mondial et contribue à plus de 20% de la production mondiale de fruits tropicaux avec 17 millions de tonnes (FAO, 2012). En Afrique de l'Ouest, le Bénin est le deuxième plus grand producteur d'ananas avec 160.000 tonnes en 2011, après le Nigeria (FAO, 2013). La culture de l'ananas est destinée à être consommée en fruit frais localement et dans les pays tempérés où il est importé. La plus grande partie de la production est cependant mise en conserve dans les pays producteurs, sous forme de tranches ou de dés ; ou est usinée pour produire du jus, de la compote et du concentré (Scohier et Texido, 2001). L'ananas du Bénin est produit principalement pour la consommation en frais et la transformation en jus (Sohinto, 2008). La chair de l'ananas contient (60% du fruit frais), 85% d'eau, 0,4% de protéine, 14% de sucre, 0,1% de matière grasse et 0,5% de fibre (Purseglove, 1972). Le fruit d'ananas est une bonne source de vitamines A, B₁, B₆ et C, de cuivre, de manganèse et un régime à fibre (Morton, 1987 ; Mateljan, 2007). La consommation de l'ananas contribue à l'équilibre alimentaire et nutritionnel des populations en raison de sa forte valeur en nutriments. Malgré l'importance de cette culture au Bénin, aucun travail n'a encore examiné dans les conditions pédoclimatiques locales l'impact de la fertilisation N, P, K sur le rendement et la qualité du fruit. De plus, la nutrition et la fertilisation de l'ananas ont bénéficié de très peu d'attention de la part de la recherche agricole au Bénin. Les documents scientifiques sur la fertilisation de l'ananas se résument en des fiches techniques et des enquêtes sur les pratiques en milieu paysan (Agbangba, 2008 ; Dagbenonbakin *et al.*, 2010). La variété Cayenne lisse est cultivée pour le marché international tandis que les marchés national et régional sont visés par la variété "Pain de sucre" (Achigan-dako *et al.*, 2014). Une analyse de la chaîne d'approvisionnement de l'ananas a révélé que le problème principal que rencontrent les producteurs et les exportateurs est l'hétérogénéité de l'ananas produit ou vendu (Fassinou *et al.*, 2012). Un déséquilibre nutritionnel des sols avait déjà été identifié dans les zones de production d'ananas au Bénin (Agbangba *et al.*, 2010, 2011, Dagbenonbakin *et al.*, 2010). Ces auteurs ont souligné que ce déséquilibre nutritionnel pourrait déterminer non seulement le rendement mais aussi la qualité de l'ananas produit. Owusu- Bennoah *et al.* (1997) trouve qu'une adéquate relation N-K est très importante pour la production de l'ananas. Cette relation n'est pas fixe car selon ces auteurs, elle dépend du milieu physique (type de sol et climat), de la variété de l'ananas et de la densité de plantation. L'influence de la fertilisation minérale sur la qualité pourrait donc varier selon la variété.

La fumure optimale N, P et K à conseiller pour une production de qualité dépendrait de la destination de la production (ananas destiné à la consommation en frais et ananas destiné à la transformation en jus). L'étude évalue l'influence de la fertilisation N, P et K sur les caractéristiques organoleptique et physico-chimique du fruit et du jus d'ananas produit au Bénin.

5.1. MATERIEL ET METHODES

5.1.1. Site d'étude

Les essais ont été installés dans le village de Soyo dans l'arrondissement d'Allada-Centre. Les caractéristiques physico-chimiques des sols ont été décrites dans le chapitre 1. Le dispositif expérimental utilisé et la conduite de l'essai ont été décrits dans le chapitre 4.

5.1.2. Mesure des caractéristiques physico-chimiques et préparation du jus d'ananas

Six fruits par unité expérimentale ont été récoltés au stade de maturité C_4 (fruit entièrement coloré). Chaque fruit a été pelé et broyé. Le broyat a été pressé, le jus frais filtré et le rendement en jus déterminé à l'aide d'une balance de marque DH₂-000050, $\pm 0,0001$ (Figure.19.a.). Le degré Brix (sucres totaux) du jus a été déterminé au réfractomètre HI96801 (Figure 19.b.) et le pH à l'aide du pH-mètre HI96107, $\pm 0,1$ pH (Figure 19. c.).



Figure 19 : a. Prise du poids du jus d'ananas



b. Prise du degré Brix du jus d'ananas



c. Prise du pH du jus d'ananas

Le jus a été préparé suivant les procédés en vigueur dans l'unité de transformation du jus d'ananas "Original Jus d'Ananas" de l'Association Régionale des Producteurs d'Ananas de l'Atlantique (ARPA-ATL) (Figure 20).

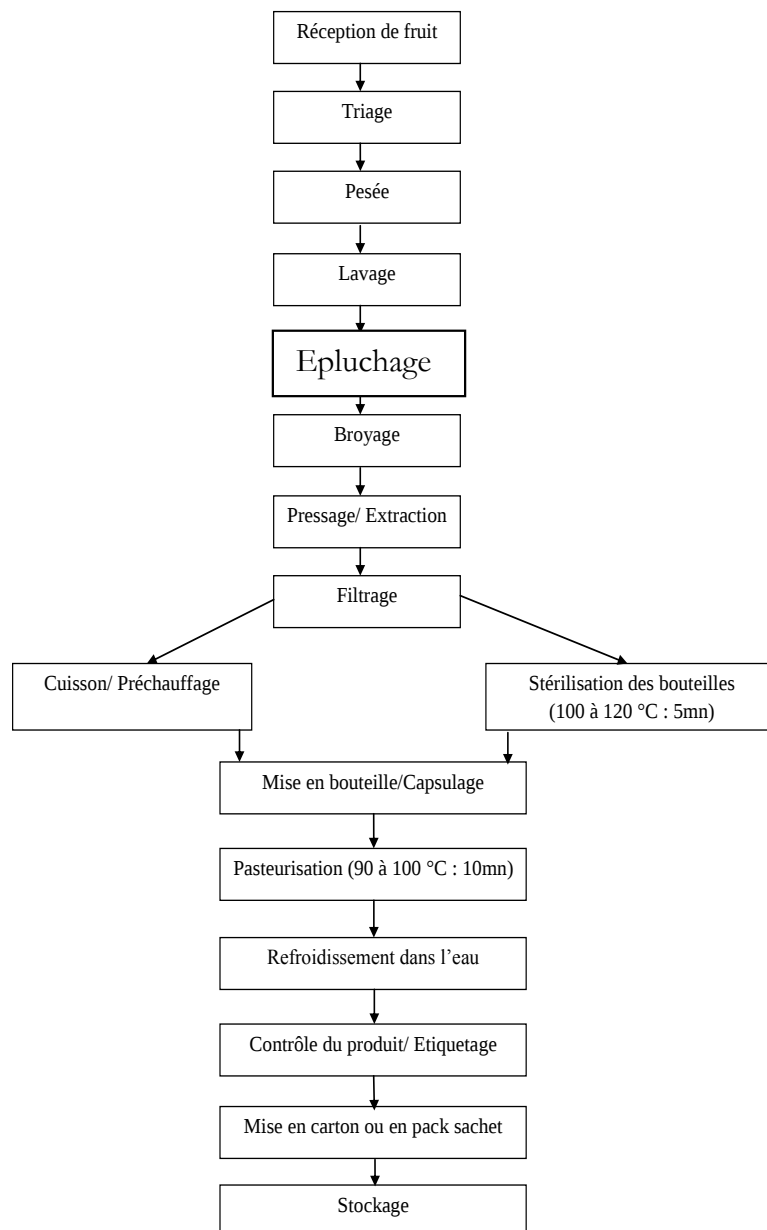


Figure 20. Procédé de préparation du jus d’ananas

5.1.3. Analyses sensorielles

L'évaluation des caractéristiques organoleptiques des tranches d'ananas frais et du jus d'ananas a été faite en s'inspirant du manuel "Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments" de Watts *et al.* (1991).

5.1.3.1. Sélection du panel de dégustateurs experts

Au départ, un groupe de 30 étudiants en agronomie de l'Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest (UCAO) a été choisi puis filtré sur la base de leur acuité sensorielle vis-à-vis de saveurs élémentaires. Dans un premier temps, il leur a été demandé d'identifier les saveurs acide, sucré et amer dans des échantillons de solutions de citron, de sucre et de café. Cet examen a consisté à leur demander d'identifier des saveurs élémentaires et des odeurs des saveurs de base avec des concentrations définies que sont la solution sucré préparée avec le sucre à 1,0% p/v soit (2,5 g/250 ml) ; salé avec le chlorure de sodium à 0,2% p/v soit (0,5 g/250 ml) ; acide avec de l'acide citrique 0,04% p/v soit (0,1 g/250 ml) ; amer avec de la caféine à 0,05% p/v soit (0,125 g/250 mL). La sensibilité des dégustateurs a été testée dans un second temps en les soumettant à un test triangulaire qui a consisté à identifier l'échantillon d'ananas où de jus d'ananas différents parmi trois échantillons qui ont été présentés (deux étant connus identiques et un différent). A l'issue de cette étape, 20 personnes ont été retenues comme ayant le goût plus marqué et étant plus sensibles aux variations d'intensité de saveurs.

Après cette première sélection, les 20 dégustateurs ont été soumis à un test de notation d'intensité pour déterminer leur sensibilité aux différentes caractéristiques du jus et des tranches d'ananas. Trois échantillons d'ananas (jus et tranches), dont les caractéristiques physico-chimiques ont été connues et différentes, ont été utilisés à cet effet.

Un groupe de 13 personnes ayant fait preuve d'une performance supérieure au cours de ces essais a été retenue pour la formation aux essais de notation d'intensité (annexe 5) sur des échantillons d'ananas issus des essais de nutrition minérale. Durant cette étape, les procédures qui convenaient au mieux à la préparation et à la présentation des échantillons ont été mises au point, ainsi que la façon de remplir les bulletins.

5.1.3.2. Réalisation du test de dégustation

Deux fruits représentatifs ont été récoltés par unité expérimentale et les caractéristiques sensorielles évaluées par un panel de dégustateurs sélectionnés et suffisamment entraînés.

Les échantillons de jus d'ananas élaboré selon le diagramme de la figure 20, sont prélevés dans des gobelets jetables codés à raison de 15 ml environ par gobelet (Figure 21). Quant aux tranches, chaque fruit est écorché, épluché et découpé en dés. Au total, dix échantillons provenant des neuf traitements de l'essai en comparaison avec un échantillon issu de la production paysanne (T_0) ont été testés

(Figure 22). Les morceaux d'ananas d'une même unité expérimentale ont été bien mélangés et trois morceaux aléatoirement choisis ont été disposés dans des assiettes blanches en plastique codées avec des numéros aléatoires à 3 chiffres. Chaque échantillon a un numéro distinct. Tous les échantillons ont été présentés simultanément à chaque dégustateur dans un ordre aléatoire. Chaque dégustateur pouvait goûter à volonté plusieurs fois les échantillons tout en se rinçant la bouche à l'eau déminéralisée avant de passer à un autre échantillon. Les caractéristiques sensorielles évaluées sont le goût sucré, le goût acide et l'arôme des tranches et des jus d'ananas par un test de notation d'intensité en utilisant une échelle de catégories à 5 niveaux allant de "Pas (acide, sucré)" à "Extrêmement (acide, sucré)". Les deux types d'échantillons (jus et tranches) ont été évalués sur deux jours différents (annexe 5).



Figure 21. Séance d'évaluation sensorielle du jus d'ananas



Figure 22. Séance d'évaluation sensorielle des tranches d'ananas frais

Une analyse de variance suivie de test de la plus petite différence significative (PPDS) de Fisher pour comparer les moyennes a été effectuée. Ensuite, une analyse en composantes principales suivie d'une classification numérique sur les coordonnées des composantes de l'ACP a été réalisée sur les caractéristiques sensorielles et physico-chimiques des fruits.

Les aides à l'interprétation des classes sont généralement fondées sur des comparaisons des moyennes dans la classe et hors de la classe. Pour sélectionner les paramètres sensoriels et physico-chimiques les plus caractéristiques de chaque classe, on mesure l'écart entre les valeurs relatives à la classe et les valeurs globales. Ces statistiques peuvent être converties en un critère appelé *valeur-test* permettant d'opérer un tri sur les variables, et de désigner ainsi les variables les plus caractéristiques (Morineau ,1984 ; Husson *et al.*, 2010). Les variables les plus caractéristiques d'une classe sont celles dont les valeurs-tests associées sont supérieures en valeur absolue à 2. De plus si cette valeur-test est positive pour une variable, celle-ci a une valeur élevée dans la classe considérée. Par contre si la valeur est négative, la variable a une valeur faible pour la classe considérée. En calculant la moyenne de ces variables on constitue ainsi le profil-type de la classe.

5.2. RESULTATS

5.2.1. Influence de la fertilisation N, P et K sur la qualité physico-chimique du jus d'ananas

La teneur en sucres totaux, l'acidité totale et le rendement en jus les plus élevés ont été observés avec la dose 6,7 g N /plant. La dose 10,7 g N /plant a eu un effet dépressif sur les sucres totaux, le pH et le rendement en jus. Chez la variété Cayenne lisse, N a un effet significatif ($p=0,01$) sur la teneur en sucres totaux, l'acidité totale et le rendement en jus. Par contre, chez la variété Pain de sucre, N n'a pas eu d'effet significatif sur les paramètres. En ce qui concerne le phosphore, la dose 1,6 g P_2O_5 /plant a permis d'obtenir chez la variété Cayenne lisse les valeurs plus élevées pour tous les paramètres étudiés. Toute dose supérieure à 2,7g P_2O_5 /plant chez cette variété provoque de faibles valeurs des sucres totaux, de l'acidité totale et du rendement en jus. Les mêmes tendances ont été observées chez Cayenne lisse avec K où la dose de 9,3 g K_2O /plant a montré les meilleurs résultats (Tableau 14). Chez la variété Pain de sucre, P a affecté significativement ($p= 0,01$) le pH qui a la valeur la plus faible avec la dose 1,6 g P_2O_5 /plant, mais cet élément n'a pas d'effet sur le degré brix et le rendement en jus. K a affecté significativement le pH qui a diminué avec la dose et le rendement en jus qui a augmenté avec la dose, mais cet élément n'a pas d'effet sur le degré brix.

Chez Cayenne lisse, en ce qui concerne l'effet combiné des éléments minéraux, les traitements T_9 (2,7 - 0,5 - 2,7) et T_1 (6,7-1,6-9,3) ont présenté les teneurs les plus fortes en sucres totaux tandis que les plus faibles concentrations ont été observées avec le traitement T_2 (2,7-2,7-2,7). Les traitements T_1 et T_6 (2,7- 0,5-16) ont montré les pH les plus élevés alors que le traitement T_2 a présenté le plus faible pH. Le rendement en jus le plus élevé a été obtenu avec les traitements T_1 et T_{10} (10,7- 0,5-16) et les plus faibles avec T_2 (tableau14).

Au niveau du Pain de sucre, le traitement T_9 (2,7 - 0,5 - 2,7) a montré les teneurs les plus fortes en sucres totaux suivis respectivement des traitements T_{10} , T_6 , T_7 , T_1 , T_8 et T_5 tandis que les plus faibles concentrations ont été observées avec les traitements T_2 (2,7-2,7-2,7) et T_3 . Le traitement T_3 a montré le pH le plus élevé alors que les autres traitements sont similaires. Le rendement en jus le plus élevé a été obtenu avec les traitements T_1 et T_7 puis T_9 et les traitements T_1 , T_5 , T_6 et les plus faibles valeurs ont été obtenues avec les traitements T_3 , T_8 et T_2 .

Tableau 14. Effet de N, P et K sur le rendement en jus, la teneur en sucres totaux et l'acidité totale du fruit

Variété	Pain de sucre			Cayenne lisse		
	Sucres Totaux	pH	Rendement en jus	Sucres totaux	pH	Rendement en jus
Niveau de nutriment	°Brix		l/plant	°Brix		l/plant
g/plant						
Azote						
2,7	15,24 a	5,55 a	0,90 a	14,652 b	5,59 a	1,21 b
6,7	15,15 a	5,42 a	0,91 a	15,634 a	5,64 a	1,38 a
10,7	14,75 a	5,55 a	0,88 a	13,862 b	5,40 b	1,30 ab
Phosphore						
0,5	15,33 a	5,58 a	0,94 a	14,62 b	5,49 ab	1,28 ab
1,6	15,19 a	5,42 b	0,91 a	15,63 a	5,64 a	1,38 a
2,7	14,62 a	5,52 ab	0,84 a	13,89 b	5,31 a	1,23 b
Potassium						
2,7	14,70 a	5,60 a	0,81 b	13,98 b	5,39 b	1,16 b
9,3	15,18 a	5,42 b	0,91 ab	15,63 a	5,64 a	1,38 a
16	15,26 a	5,50 ab	0,97 a	14,53 b	5,41 b	1,35 a
Azote*Phosphore*Potassium						
T ₁ : 6,7-1,6-9,3	15,15 abc	5,42 ab	0,92 abc	15,63 a	5,64 a	1,38 a
T ₂ : 2,7-2,7-2,7	14,23 bc	5,60 ab	0,64 d	13,19 d	5,15 c	1,10 c
T ₃ : 10,7-0,5-2,7	14,02 c	5,72 a	0,78 cd	13,48 cd	5,50 ab	1,27 abc
T ₅ : 10,7-2,7-16	14,49 abc	5,57 ab	0,86 abcd	14,40 bc	5,39 abc	1,39 a
T ₆ : 2,7-0,5-16	15,63 ab	5,45 ab	0,82 bcd	14,99 ab	5,72 a	1,36 ab
T ₇ : 2,7-2,7-16	15,22 abc	5,50 ab	1,08 a	14,57 bc	5,27 bc	1,26 abc
T ₈ : 10,7-2,7-2,7	14,60 abc	5,43 ab	0,78 cd	13,41 cd	5,43 abc	1,17 abc
T ₉ : 2,7-0,5-2,7	15,89 a	5,67 a	1,05 ab	15,86 a	5,46 abc	1,12 bc
T ₁₀ : 10,7-0,5-16	15,71 ab	5,50 ab	1,11 a	14,16 bcd	5,28 bc	1,38 a

Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes

5.2.2. Influence des traitements minéraux sur la qualité physico-chimique et organoleptique de l'ananas tranche

5.2.2.1. Cas de la variété Cayenne lisse

Les résultats de l'analyse en composantes principales ont révélé que les deux premières composantes expliquent 91,87% de la variance totale. Les variables arôme ($r = 0,94$, $p = 0,000$), goût sucré ($r = 0,97$, $p = 0,000$), et pH ($r = 0,77$, $p = 0,04$) ont une corrélation positive et significative avec la première dimension. Le degré Brix a une corrélation positive faible avec la première dimension ($r = 0,27$). Les variables rendement en fruit ($r = 0,84$, $p = 0,00$), goût acide ($r = 0,75$, $p = 0,01$) sont positivement et fortement corrélées à la deuxième dimension (Figure 23).

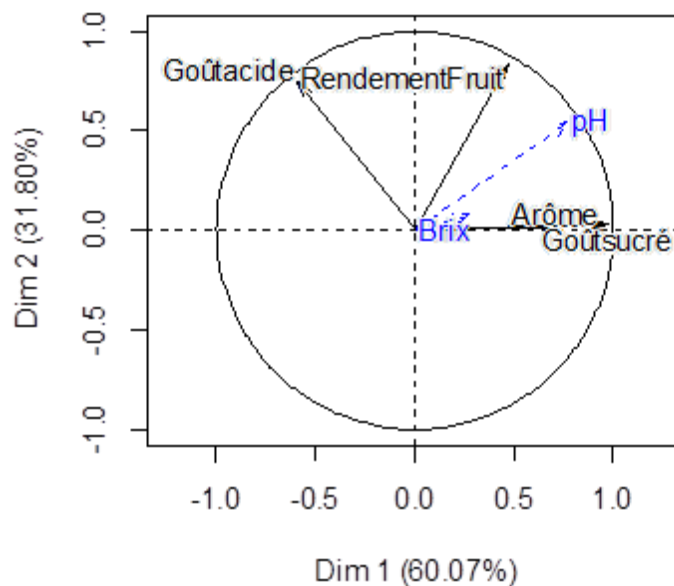


Figure 23. Corrélation entre les caractéristiques physico-chimique et organoleptique des tranches d'ananas frais Cayenne lisse et les deux premières dimensions de l'ACP

La classification ascendante numérique discrimine les traitements de l'essai en 3 classes (Figure 24) à partir des caractéristiques physico-chimique, organoleptique et le rendement en fruit de l'ananas. Les groupes sont : classe 1 (cluster 1) : T_3 , T_6 et T_9 ; classe 2 : T_0 ; classe 3 : T_1 , T_2 , T_5 , T_7 , T_8 et T_{10} . Les variables les plus discriminantes des classes sont : le goût sucré, l'arôme, le goût acide et le rendement fruit. La classe 1 a été caractérisée par des fruits de goût sucré et un arôme prononcé (V. test ≥ 2 et $p < 5\%$). La classe 2 était définie par des fruits de poids faibles et de pH faible. Enfin les fruits de la classe 3 avaient particulièrement un goût acide prononcé (Tableau 15). Les traitements T_3 , T_6 et T_9 sont prometteurs pour une production en qualité d'ananas destinée à la consommation en frais.

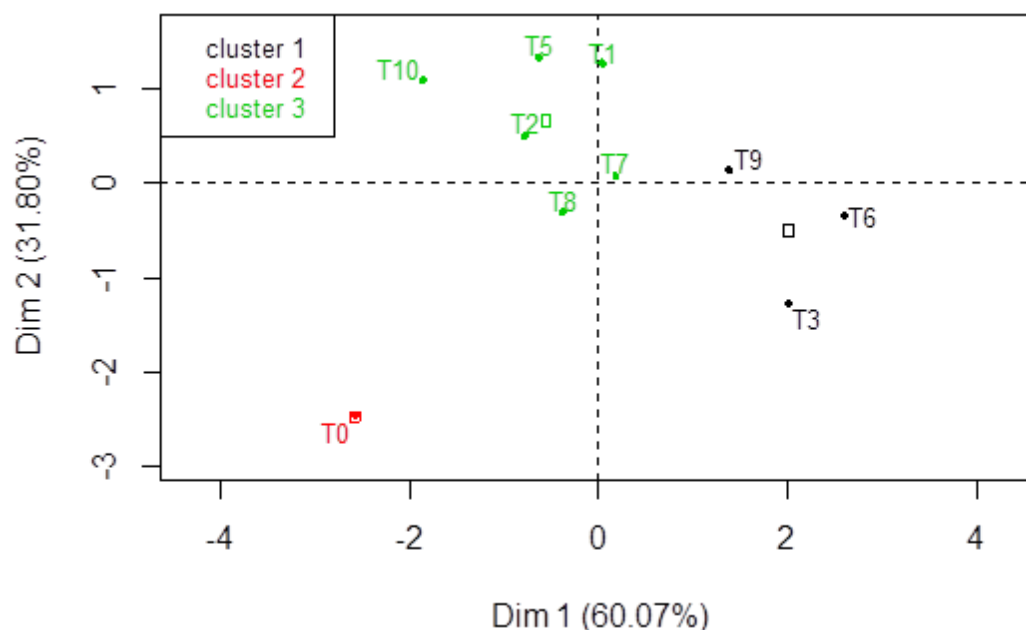


Figure 24. Projection des classes de traitements selon les paramètres physico-chimique et organoleptique de l'ananas frais *Cayenne lisse* dans le plan factoriel de l'ACP

Tableau 15. Variables discriminantes des classes de traitements pour la qualité physico-chimique et organoleptique de tranches d'ananas frais de Cayenne lisse

Propriétés	Classes	V. test	Moyenne	Probabilité
Goût sucré	1	2,44	3,1	0,01
Arôme		2,4	2,92	0,02
Rendement en fruit	2	-2,9	0,85	0,01
pH		-2.58	4,5	0,01
Goût acide	3	2,4	3,06	0,02

5.2.2.2. Cas de la variété Pain de sucre

Les résultats de l'analyse en composantes principales ont révélé que les deux premières composantes expliquent 73,95% de la variance totale. La variable goût sucré ($r = 0,94$, $p = 0,000$), a une corrélation positive et très hautement significative avec la première dimension tandis que le goût acide est fortement et négativement corrélée à cet axe. Le degré Brix a une corrélation positive faible avec la première dimension ($r = 0,44$, $p = 0,05$). Les variables rendement en fruit ($r = 0,63$, $p = 0,00$),

arôme ($r = 0,83$, $p = 0,00$) et le pH ($r = 0,70$, $p = 0,03$) sont positivement et fortement corrélées à la deuxième dimension (Figure 25).

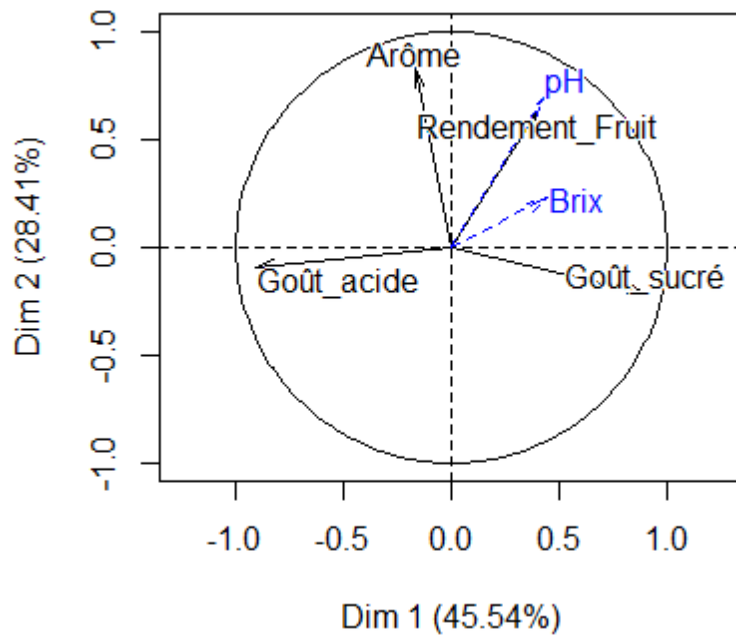


Figure 25. Corrélation entre les caractéristiques physico-chimique et organoleptique des tranches d'ananas frais Pain de sucre et les deux premières dimensions de l'ACP

La classification ascendante numérique a indiqué que les dix traitements ont été regroupés en 3 classes (Figure 26) sur la base des caractéristiques physico-chimique, organoleptique et le rendement en fruit de l'ananas. Les groupes sont : classe 1 (cluster 1) : T_3 , T_5 , T_6 et T_9 ; classe 2 : T_0 ; classe 3 : T_1 , T_2 , T_7 , T_8 et T_{10} . Les variables les plus discriminantes des classes sont : le goût sucré, le goût acide et le rendement fruit. La classe 1 a été caractérisée par des fruits de goût sucré (V. test ≥ 2 et $p < 5\%$) et un goût acide très faible (V. test ≤ -2 et $p < 0,05$). La classe 2 était définie par des fruits de poids faibles et de pH faible. Enfin les fruits de la classe 3 avaient particulièrement un goût sucré faiblement prononcé (Tableau 16). Les traitements T_3 , T_5 , T_6 et T_9 sont prometteurs pour une production en qualité d'ananas destinée à la consommation en frais.

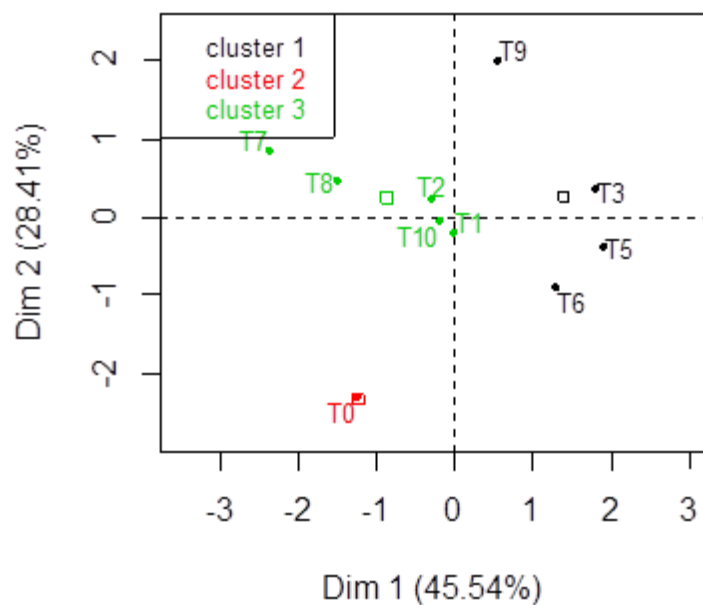


Figure 26. Projection des classes de traitements selon les paramètres physico-chimique et organoleptique de l'ananas frais Pain de sucre dans le plan factoriel de l'ACP

Tableau 16. Variables discriminantes des classes de traitements pour la qualité physico-chimique et organoleptique de tranches d'ananas frais de Pain de sucre

Propriétés	Classes	V. test	Moyenne	Probabilité
Goût sucré	1	2,25	3,61	0,02
Goût acide		-2,47	1,31	0,01
Rendement en fruit	2	-2,58	1	0
pH		-2,93	4	0
Goût sucré	3	-2,23	2,75	0,03

5.2.3. Influence des traitements minéraux sur la qualité physico-chimique et organoleptique du jus d'ananas

5.2.3.1. Cas de la variété Cayenne lisse

Le graphique des valeurs propres montre les deux premiers axes expliquant au total 90,81% de l'inertie. L'axe 1 renfermait 60,06% d'inertie et l'axe 2, 30,75% d'inertie (Figure 27). Le goût acide est négativement corrélé à la première dimension ($r = -0,79$; $p = 0,006$) tandis que l'arôme ($r = 0,81$; $p = 0,003$) ; le goût sucré ($r = 0,91$; $p = 0,000$), le pH ($r = 0,81$; $p = 0,004$) et le Brix ($r = 0,42$) lui sont positivement corrélés. La dimension 2 est caractérisée par le rendement en jus ($r = 0,79$; $p = 0,005$) qui lui est corrélée positivement (Figure 27).

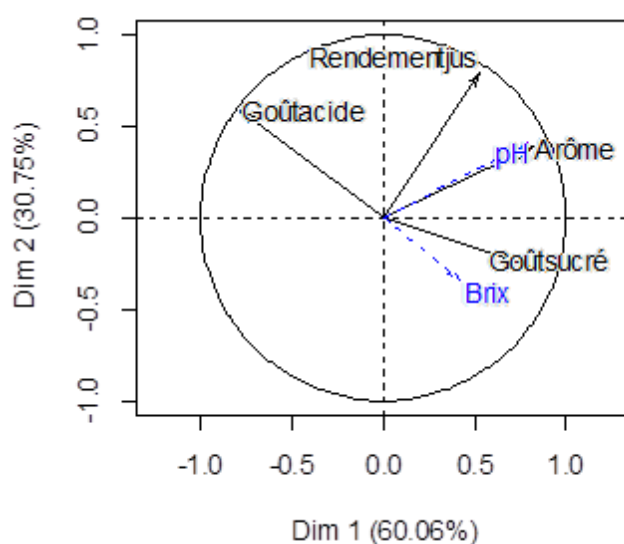


Figure 27. Corrélation entre les caractéristiques physico-chimique et organoleptique du jus d'ananas Cayenne lisse et les deux premières dimensions de l'ACP

Les traitements minéraux sont discriminés en trois classes (Figure 28). La classe 1 est caractérisée par les traitements T_1 , T_3 , T_5 et T_6 ayant donné des jus d'ananas à arôme ($V.\text{test} \geq 2$, $p \leq 0,05$) et un goût sucré ($V.\text{test} \geq 2$, $p \leq 0,05$) élevés. Un pH faible ($V.\text{test} \leq -2$, $p \leq 0,05$) et un rendement en jus faible ($V.\text{test} \leq -2$, $p \leq 0,05$) caractérisaient la classe 2 (T_0). Enfin la classe 3 (T_2 , T_7 , T_8 , T_9 et T_{10}) est caractérisée par un jus à goût acide ($V.\text{test} \geq 2$, $p \leq 0,05$) (Tableau 17). Du point de vue organoleptique, il ressort que les traitements T_1 , T_3 , T_5 et T_6 sont prometteurs et permettent également d'avoir un rendement en jus appréciable.

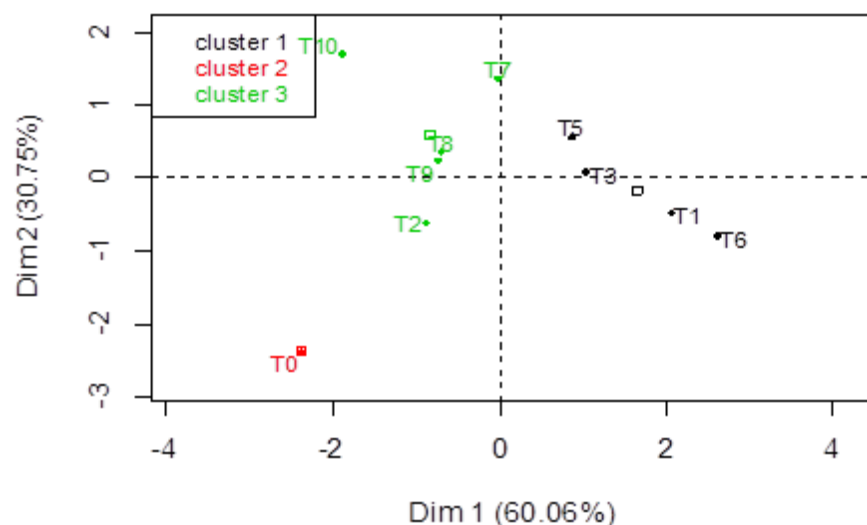


Figure 28. Projection des classes de traitements selon les paramètres physico-chimique et organoleptique du jus de d'ananas Cayenne lisse dans le plan factoriel de l'ACP

Tableau 17. Variables discriminantes des classes de traitements pour la qualité physico- chimique et organoleptique du jus d'ananas de Cayenne lisse

Caractéristiques	Classes	V. test	Moyenne	Probabilité
Arôme	1	2,14	2,54	0,03
Goût sucré		2,32	3,16	0,02
Goût acide		-2,35	1,58	0,02
pH	2	-2,58	4,50	0,01
Rendement en Jus	3	-2,82	0,30	0,00
Goût acide		2,35	2,12	0,02

5.2.3.2. Cas de la variété Pain de sucre

Le graphique des valeurs propres suggérait que les deux premiers axes expliquaient au total 81,6% de l'inertie. Le premier plan factoriel (axe 1) renfermait 58,9% d'inertie et le deuxième (axe 2) 22,67% d'inertie (Figure 29). Les variables goût sucré ($r = 0,91$, $p=0,00$), rendement en jus ($r= 0,79$, $p =0,01$), pH ($r = 0,87$, $p = 0,00$) et Brix ($r = 0,81$) sont fortement et positivement corrélées à la première dimension tandis que la variable goût acide ($r = -0,81$, $p =0,00$) lui est négativement corrélée. L'arôme est corrélé positivement à la dimension 2 ($r = 0,83$, $p =0,00$).

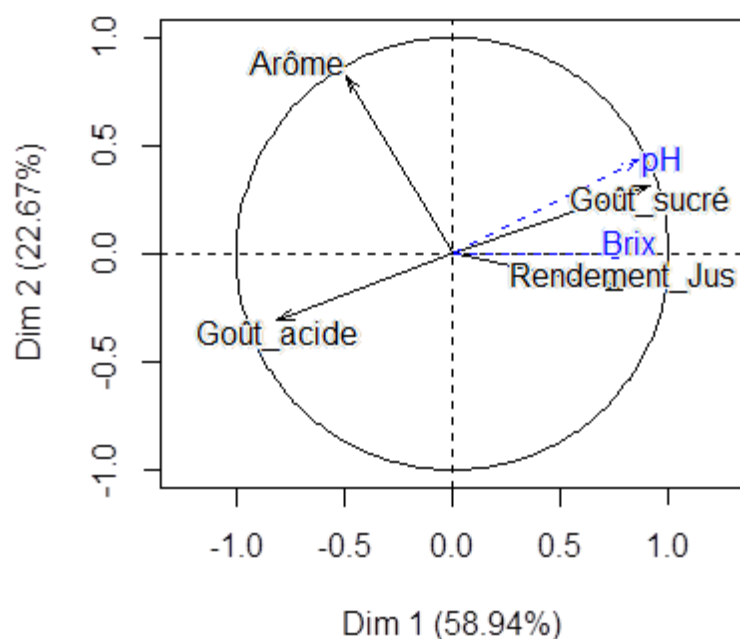


Figure 29. Corrélation entre les caractéristiques physico-chimique et organoleptique du jus d'ananas Pain de sucre et les deux premières dimensions de l'ACP

Les traitements minéraux ont été discriminés en quatre classes (Figure 30). La classe 1 est caractérisée par les traitements T_2 , T_3 , et T_9 ayant donné des jus d'ananas faiblement acide ($V.test \leq -2$, $p \leq 0,05$). Un rendement en jus élevé ($V.test \geq 2$, $p \leq 0,05$) distinguait la classe 2 (T_1 , T_5 , T_6 , T_7 , et T_{10}). La classe 3 (T_0) est caractérisée par un rendement en jus faible, à goût acide ($V.test \geq 2$, $p \leq 0,05$), ayant un degré brix, un goût sucré et un pH faible (Tableau 18). Enfin, du jus bien aromatisé particularise le traitement T_8 . Il ressort que les traitements T_1 , T_5 , T_6 , T_7 , et T_{10} ont une qualité organoleptique moyenne et permettent également d'avoir un rendement en jus appréciable.

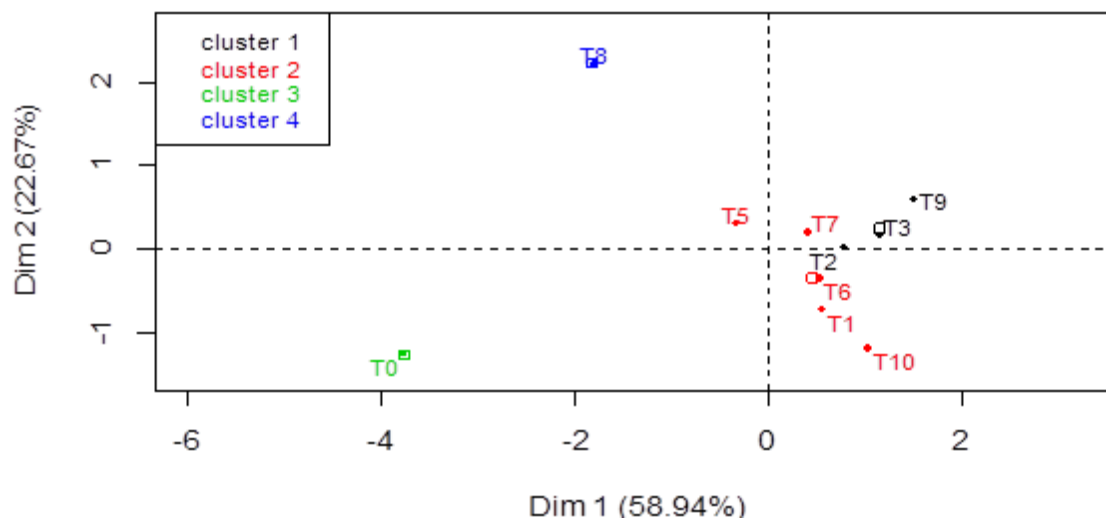


Figure 30. Projection des classes de traitements selon les paramètres physico-chimique et organoleptique du jus de d'ananas Pain de sucre dans le plan factoriel de l'ACP

Tableau 18. Variables discriminantes des classes de traitements pour la qualité physico- chimique et organoleptique du jus d'ananas

Caractéristiques	Classes	Valeur test	Moyenne	Probabilité
Goût acide	1	-2,15	1,42	0,03
Rendement en Jus	2	2,13	0,96	0,03
Goût acide	3	2,25	2,33	0,02
Rendement Jus		-1,97	0,60	0,05
Brix		-2,30	13,00	0,02
Goût sucré		-2,65	2,92	0,01
pH	4	-2,94	4,00	0,00
Arôme		2,45	3,25	0,01

La fertilisation minérale a positivement influencé les caractéristiques physico-chimique et organoleptique de la tranche et du jus d'ananas variété *Cayenne lisse* cultivé au Bénin. L'influence positive de la fertilisation en potassium et en azote sur la taille et la qualité du fruit a été prouvée par Teisson *et al.* (1979); Reinhardt et Neiva (1986); Paula *et al.* (1991) ; Spironello *et al.* (2004). Chez la Cayenne lisse, l'azote a induit une amélioration significative du degré brix, du pH et du rendement en jus à une dose de 6,7 g/plant et au-delà, a eu une action dépressive sur ces paramètres. De nombreuses études menées dans plusieurs pays ont montré que des doses croissantes en azote entraînent une réduction de l'acidité du jus (Py *et al.*, 1984 ; Spironello, 2004 ; Omotoso et Akinrinde, 2013). Des doses croissantes d'azote peuvent réduire la teneur en sucre des fruits ou n'avoir aucun effet significatif sur le degré Brix (Py *et al.*, 1987) comme c'est le cas pour le Pain de sucre dans ce travail. Teisson *et al.* (1979) ont observé qu'une dose croissante de l'azote entraînait la réduction de la teneur en vitamine C du fruit. Le potassium a aussi amélioré significativement le degré Brix, le pH et le rendement en jus à une dose de 9,3g/plant et au-delà, une action dépressive sur ces paramètres a été observée. Les mêmes tendances ont été observées au Brésil sur la même variété *Cayenne lisse* par Spironello *et al.* (2004). Le potassium a un effet significatif sur la qualité du fruit. Une augmentation du niveau de potasse dans la plante a pour effets : i) une amélioration du parfum et de la saveur des

fruits, ii) une augmentation du diamètre du pédoncule, donc de la résistance à la verse, mais aussi une diminution du rendement des tranches, iii) une moins bonne coloration de la pulpe qui reste blanche, iv) une bonne coloration de la peau et v une chair ferme (Py *et al.*, 1984 ; Soler, 1992). Le potassium est l'élément le plus absorbé par la plante. Suite à une compilation des résultats de recherche menée à Cuba pendant 20 ans, Treto (1992) a rapporté que l'ananas consomme de grandes quantités de potassium (270 à 780 kg/ha).

Le phosphore a augmenté significativement la teneur en sucres totaux, le pH et le rendement en jus. Par contre, plusieurs auteurs n'ont pas trouvé de réponse de la plante au phosphore malgré les teneurs très faibles de l'élément dans le sol (Spironella, 2004 ; Py *et al.*, 1984). Le phosphore est essentiel au métabolisme de la plante qui en a particulièrement besoin au moment de la différenciation de l'inflorescence et de la floraison. Une déficience en cet élément à cette période ne manque pas d'entraîner une chute de rendement qui peut être importante (Nightingale, 1936). Godefroy *et al.* (1971) rapportent cependant que les besoins en cet élément sont limités. La réponse du phosphore s'explique par une déficience caractéristique en cet élément des sols ferrallitiques dans le sud Bénin. Ces sols ont une capacité de rétention en cations et les réserves minérales se caractérisant par des taux de potassium extrêmement faibles et des teneurs en P_2O_5 faibles (Agossou, 1983). Les doses des unités fertilisantes N et K_2O prometteuses se situent dans les normes recommandées par le Memento de l'agronome (2002) : 4 à 14 g N, 10 à 20 g K_2O par plant d'ananas. Le rapport K_2O/N des traitements qui ont montré des caractéristiques physico-chimique et organoleptique acceptables se situent entre 0,25 et 5,93. Ce rapport peut avoisiner l'unité pour une production industrielle (tranche, jus) (Schohier et Texido, 2001). Teiwes et Grünberg (1968), ont affirmé qu'une adéquate relation le N et le K est très importante pour la production de l'ananas. Cette relation n'est pas fixe car selon les mêmes auteurs, elle dépend du milieu physique (type de sol et climat), de la variété de l'ananas et de la densité de plantation.

CONCLUSION PARTIELLE

L'étude permet de retenir que les doses des unités fertilisantes N, P_2O_5 et K_2O améliorent la qualité des tranches et du jus d'ananas produit au Bénin. Chez la Cayenne lisse, les traitements T_3 (10,7 g/plant -0,5 g/plant -2,7 g/plant), T_6 (2,7 g/plant -0,5 g/plant -16 g/plant) et T_9 (2,7 g/plant - 0,5 g/plant -2,7 g/plant) sont prometteurs pour une production en qualité d'ananas destinée à la consommation en frais alors que les traitements T_1 (6,7 g/plant -1,6 g/plant -9,3 g/plant), T_3 (10,7 g/plant -0,5 g/plant -2,7 g/plant), T_5 (10,7 g/plant -2,7 g/plant -16 g/plant) et T_6 (2,7 g/plant -0,5 g/plant -16 g/plant) sont prometteurs pour une production en jus de qualité et également permettent d'avoir un rendement en jus appréciable. Chez le Pain de sucre, les traitements T_3 (10,7 g/plant -0,5 g/plant -2,7 g/plant), T_5 (10,7 g/plant -2,7 g/plant -16 g/plant), T_6 (2,7 g/plant -0,5 g/plant -16 g/plant) et T_9 (2,7 g/plant - 0,5 g/plant -2,7 g/plant) sont prometteurs pour une production en qualité d'ananas destinée à la consommation en frais tandis que les fertilisants T_1 (6,7 g/plant -1,6 g/plant -9,3 g/plant), T_5 (10,7 g/plant -2,7 g/plant -16 g/plant), T_6 (2,7 g/plant -0,5 g/plant -16 g/plant), T_7 (2,7 g/plant - 2,7 g/plant -16 g/plant), et T_{10} (10,7 g/plant - 0,5 g/plant -16 g/plant) ont donné des jus de qualité organoleptique moyenne et permettent également d'avoir un rendement en jus appréciable.

CHAPITRE 6. INFLUENCE DE LA FERTILISATION MINERALE SUR LA PRODUCTION DE REJETS

RESUME

L'ananas est une plante vivace dont la pérennité est assurée par des rejets que la plante produit. L'un des problèmes de la filière ananas au Bénin est le manque de rejets pour de nouvelles plantations. L'étude évalue l'effet de la fertilisation minérale sur la production de rejets de la Cayenne lisse et du Pain de sucre. L'effet des traitements minéraux (T_1 : 6,7-1,6-9,3; T_2 : 2,7-2,7-2,7; T_3 : 10,7- 0,5-2,7; T_5 : 10,7-2,7-16; T_6 : 2,7- 0,5-16; T_7 : 2,7- 2,7-16; T_8 : 10,7-2,7-2,7; T_9 : 2,7-0,5-2,7; T_{10} : 10,7- 0,5-16) sur la croissance des rejets a été évalué. Chez la variété Cayenne lisse, les traitements T_1 , T_3 , T_5 , et T_6 ont permis d'avoir des rejets de poids (respectivement de $903,83 \pm 225,86$ g/rejet; $1030,83 \pm 91,46$ g/rejet; $985,48 \pm 203,74$ g/rejet; $975,89 \pm 575,27$ g/rejet) et de nombre de feuilles élevés (respectivement de 37 ± 4 ; 38 ± 2 ; 38 ± 3 ; 38 ± 5) alors que chez le Pain de sucre, les traitements T_1 , T_5 , T_6 , T_7 et T_2 ont permis d'avoir un grand nombre de rejets par plant (respectivement de 9 ± 1 ; 10 ± 1 ; 9 ± 1 ; 9 ± 1 et 10) à longueur (respectivement de $69,07 \pm 5,23$ Cm/rejet; $66,74 \pm 10,34$ Cm/rejet; $67,09 \pm 1,47$ Cm/rejet; $69,96 \pm 2,38$ Cm/rejet et $62,95 \pm 5,77$ Cm/rejet) et à poids importants (respectivement de $330,52 \pm 49,30$ g/rejet; $253,94 \pm 60,55$ g/rejet; $340,41 \pm 46,63$ g/rejet; $297,62 \pm 67,07$ g/rejet et $282,75 \pm 4,33$ g/rejet). Par ailleurs la présence de rejet de type cayeu chez les deux variétés ouvrent la possibilité d'expérimenter la conduite en plusieurs cycles successifs de production avec la même plante mère.

Mots clés : Ananas, Rejet, Fertilisation minérale

ABSTRACT

Pineapple is a vivace plant that reproduces by ratoon. One of the main problems occurring in pineapple sector is the availability of planting material. The research aimed to evaluate the effect of chemical fertilizer on ratoon production in Smooth cayenne and Sugarloaf. The effect of chemical treatments (T_1 : 6.7-1.6-9.3; T_2 : 2.7-2.7-2.7; T_3 : 10.7- 0.5-2.7; T_5 : 10.7- 2.7-16; T_6 : 2.7- 0.5-16; T_7 : 2.7- 2.7-16; T_8 : 10.7-2.7-2.7; T_9 : 2.7-0.5-2.7; T_{10} : 10.7- 0.5-16) on ratoon growth was studied. The results suggested the effect of T_1 , T_3 , T_5 and T_6 in Smooth cayenne allowed obtaining heavier planting material (respectively of 903.83 ± 225.86 g/ ratoon; 1030.83 ± 91.46 g/ ratoon; 985.48 ± 203.74 g/ ratoon; 975.89 ± 575.27 g/ ratoon) with higher functional leaf number (respectively of 37 ± 4 ; 38 ± 2 ; 38 ± 3 ; 38 ± 5) whereas in Sugarloaf, T_1 , T_5 , T_6 and T_7 allowed obtaining higher number of ratoon per plant (respectively of 9 ± 1 ; 10 ± 1 ; 9 ± 1 ; 9 ± 1 et 10) with higher length (respectively of 69.07 ± 5.23 Cm/ratoon; 66.74 ± 10.34 Cm/ratoon; 69.07 ± 5.23 Cm/ratoon; 67.09 ± 1.47 Cm/ratoon; 69.07 ± 5.23 Cm/ratoon; 69.96 ± 2.38 Cm/ratoon et 62.95 ± 5.77 Cm/ratoon) and weight (respectively of 330.52 ± 49.30 g/ratoon; 253.94 ± 60.55 g/ratoon; 340.41 ± 46.63 g/ratoon; 297.62 ± 67.07 g/ratoon et 282.75 ± 4.33 g/ratoon). Furthermore, the presence of ratoon of type cayeu in the two varieties offer the opportunity to experience a successive production cycles with the same mother plant.

Key words: Pineapple, suckering, mineral fertilization

INTRODUCTION

L'ananas est l'une des plus importantes espèces fruitières tropicales. Il est une plante vivace. Sa pérennité est assurée par les méristèmes axillaires de la tige qui édifient des relais; les cayeux et les happa (Maerere, 1996 ; Py, 1965). Ces productions constituent également du matériel de plantation, la multiplication de l'ananas étant obligatoirement végétative puisque l'espèce est stérile (Maerere, 1996). Au Bénin l'un des problèmes que rencontre la filière ananas est le manque de rejets en particulier ceux de la variété Cayenne lisse (Fassinou *et al.*, 2012). On distingue habituellement au total 4 types de rejets: cayeux, happas, bulbilles et couronnes. Ces productions sont au centre de nos préoccupations car elles ont une grande importance agronomique (Maerere, 1996). L'ananas étant autostérile, elles constituent le matériel habituel de multiplication végétative. Le poids de rejet planté détermine la vitesse de croissance de la plante et le rendement fruit obtenu. De gros rejets donnent des fruits de grosse infrutescence et de poids de fruit élevé, une hauteur élevée d'infrutescence mais une hauteur faible de couronne (Reinhardt *et al.*, 2000 ; Fassinou, 2015). Le poids moyen des rejets à la plantation considéré comme minimum admissible peut varier entre 200-800g selon les situations culturales (Maerere, 1996). Or plusieurs auteurs ont remarqué un effet de l'alimentation de la plante sur la capacité à produire des rejets. Il est généralement reconnu qu'une bonne nutrition minérale et hydrique favorise la croissance des rejets, en leur permettant d'atteindre un certain poids ou une certaine taille plus rapidement. Ramirez et Gonzales (1983) considèrent que l'azote favorise la formation des cayeux. Cette étude évalue l'effet de la fertilisation minérale sur la croissance des rejets d'ananas Pain de sucre et Cayenne lisse.

6.1. MATERIEL ET METHODES

6.1.1. Dispositif expérimental et collecte des données

L'essai a été installé dans le village de Soyo, situé dans l'arrondissement d'Allada dans le Sud-Bénin (Voir Chapitres 4 et 5). Les effets sur la production de rejets des 9 traitements étudiés précédemment (en unités fertilisantes exprimées en g/plant qui sont les suivants : T_1 : 6,7-1,6-9,3; T_2 : 2,7-2,7-2,7; T_3 : 10,7- 0,5-2,7; T_5 : 10,7- 2,7-16; T_6 : 2,7- 0,5-16; T_7 : 2,7- 2,7-16; T_8 : 10,7-2,7-2,7; T_9 : 2,7-0,5-2,7; T_{10} : 10,7- 0,5-16) ont été évaluées. Trois plants ont été choisis (les plants numérotés 1, 3 et 10) dans chaque unité expérimentale. Le nombre, le type, la longueur, le nombre de feuilles vivantes et le poids des rejets ont été pris (Figure 31).

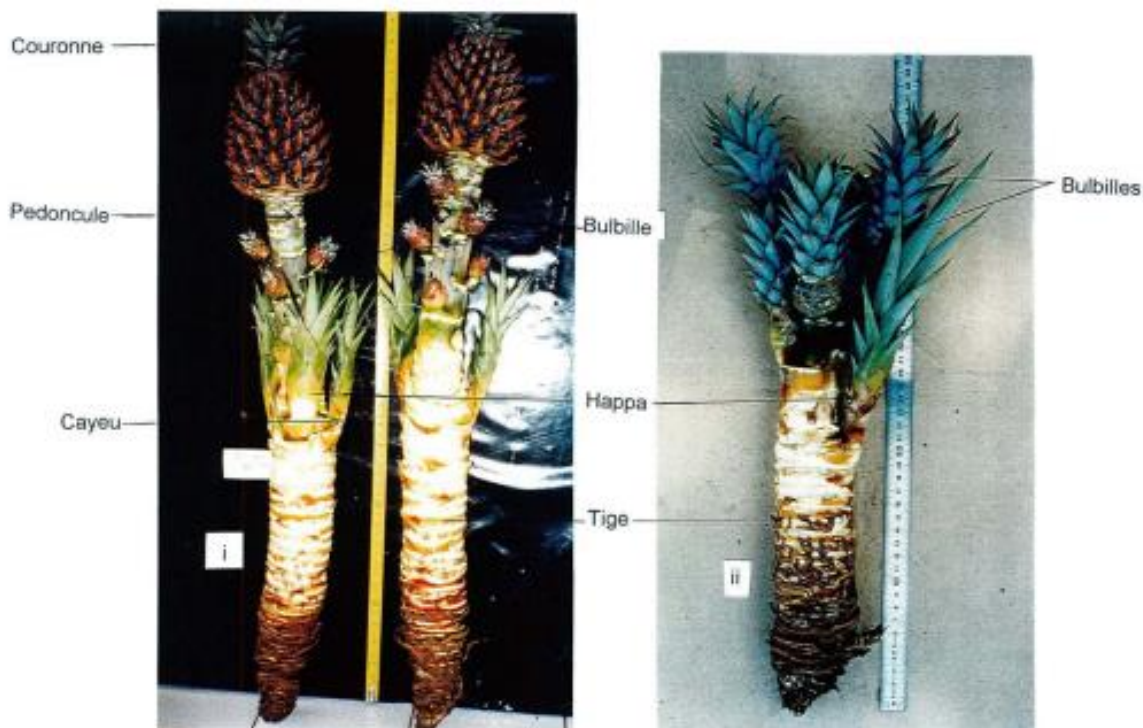


Figure 31. Rejets sur des tiges du cultivar Cayenne lisse (floraison naturelle):

- (i) 3 mois après la différenciation florale, (ii) à la récolte du fruit, parcelle ; plantation de juin 1993. Les feuilles des tiges ont été enlevées, Source : Maerere, 1996.

6.1.2. Analyses des données

Toutes les analyses ont été faites à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2012). Une analyse de variance suivie de test de la plus petite différence significative a été effectuée pour comparer les caractéristiques de croissance des rejets chez les variétés Cayenne lisse et Pain de sucre. Puis une analyse en composantes principales pour caractériser les traitements sur la base de leur effet sur les paramètres de croissance des rejets.

6.2. RESULTATS

6.2.1. Caractéristiques des rejets émis par les variétés

La variété Cayenne lisse présente trois types de rejets : le cayeu de tige (Ca), le happa (H) et le cayeu de base (Cs). Le cayeu de type a le poids et la hauteur les plus élevés ($p < 0,05$) tandis que la longueur des rejets ne présente pas de différence significative (Figures 32, 33 et 34). En plus de Ca, H et Cs, le pain de sucre porte des bulbilles (B). Pour cette variété, les rejets B présentent un nombre de feuilles plus élevé que les rejets Ca, Cs et H (Figure 35). Il n'y a pas de différence significative entre le poids des rejets (Figure 36). Les plus grandes longueurs de rejets sont observées avec les types Ca et H suivi respectivement de Cs et B (Figure 37).

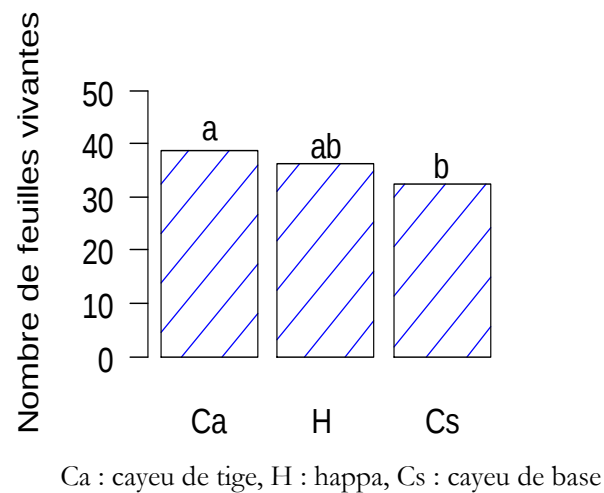


Figure 32. Nombre de feuilles moyen par types de rejet de la variété Cayenne lisse

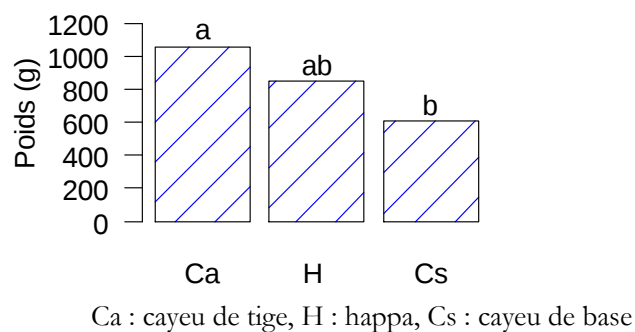
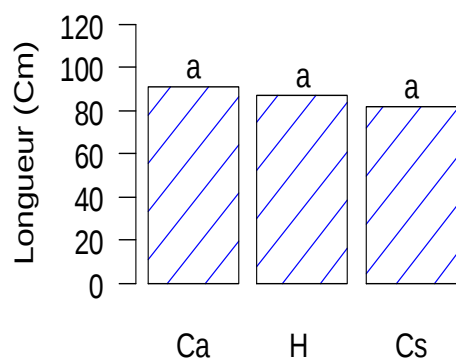
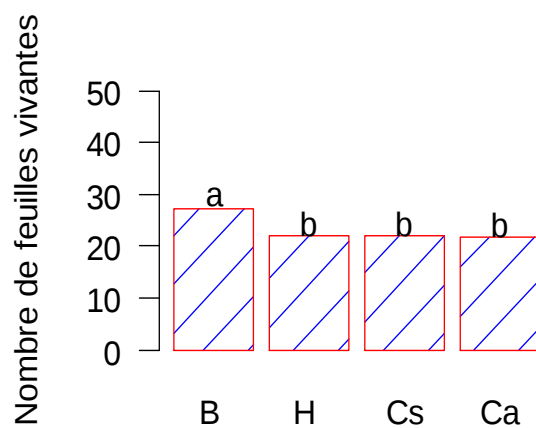


Figure 33. Poids moyen par types de rejet de Cayenne lisse



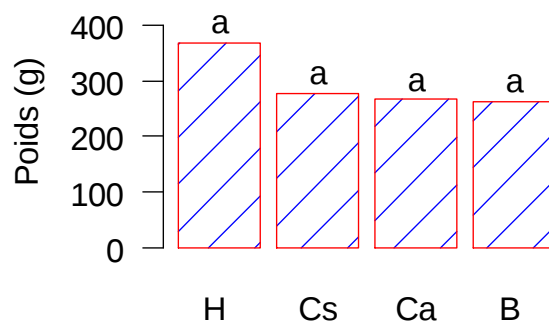
Ca : cayeu de tige, H : happa, Cs : cayeu de base

Figure 34. Longueur moyenne par types de rejet de Cayenne lisse



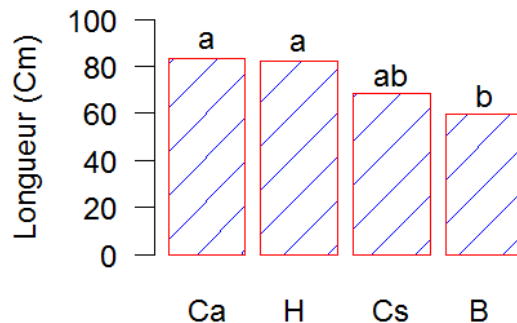
B : bulbille, Ca : cayeu de tige, H : happa, Cs : cayeu de base

Figure 35. Nombre de feuilles moyen par types de rejet de Pain de sucre



B : bulbille. Ca : cayeu de tige. H : happa. Cs : cayeu de base.

Figure 36. Poids moyen par types de rejet de Pain de sucre



B : bulbille, Ca : cayeu de tige, H : happa, Cs : cayeu de base

Figure 37. Longueur moyenne par types de rejet de Pain de sucre

6.2.2. Effet de l'azote, du phosphore et du potassium sur la croissance des rejets

Le positionnement des paramètres de croissance des rejets et de l'effet des traitements dans le système d'axes de l'analyse en composantes principales a montré que les deux premières composantes expliquent 79,9% de la variance totale chez la Cayenne lisse et 82,4% chez le Pain de sucre, ce qui est suffisant pour garantir une bonne interprétation.

Chez la Cayenne lisse, le poids du fruit est corrélé fortement et positivement ($r=0,7$; $p=0,03$) avec le nombre de feuilles vivantes (NFV). Ces deux variables ont une bonne corrélation positive avec la dimension 1. La dimension 1 est donc l'axe des rejets de poids et de nombre de feuilles élevés. Les traitements T_1 : 6,7-1,6-9,3, T_3 : 10,7- 0,5-2,7 , T_5 : 10,7- 2,7-16, et T_6 : 2,7- 0,5-16 se trouvant du côté positif de cet axe ont permis d'avoir des rejets de poids et de nombre de feuilles élevés contrairement aux traitements T_7 : 2,7- 2,7-16 et T_9 : 2,7- 2,7-16 projetés du côté négatif de cet axe (Figure 38, tableau 19).

Chez la variété Pain de sucre, toutes les variables sont corrélées positivement entre elles. La longueur et le poids des fruits sont positivement et fortement corrélés ($r=0,8$; $p=0,01$). Les variables poids, longueur et nombre de rejets sont bien corrélés positivement avec la première dimension, cet axe est donc l'axe des plants à un nombre élevé de rejets à poids et a longueur important. Les traitements T_1 , T_5 , T_6 et T_7 situés du côté extrême gauche ont permis de donner des plants portant un grand nombre de rejets à longueur et à poids importants par opposition aux traitements T_9 . Sur la dimension 2, le traitement T_{10} : 10,7- 0,5-16 caractérisé par des rejets portant peu de feuilles vivantes est opposé au traitement T_8 : 10,7-2,7-2,7 (Figure 39, tableau 19).

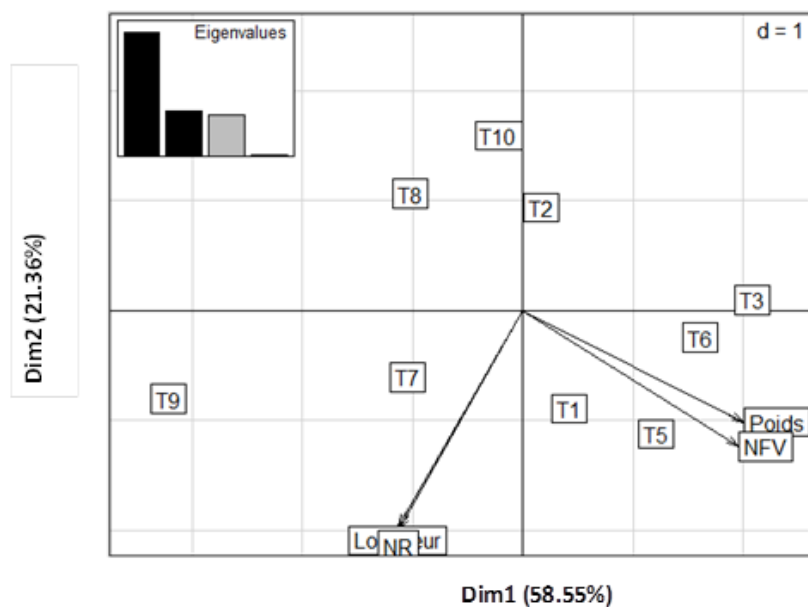


Figure 38. Projection des paramètres de croissance des rejets et de l'effet des traitements dans le plan factoriel de l'ACP pour la variété Cayenne lisse

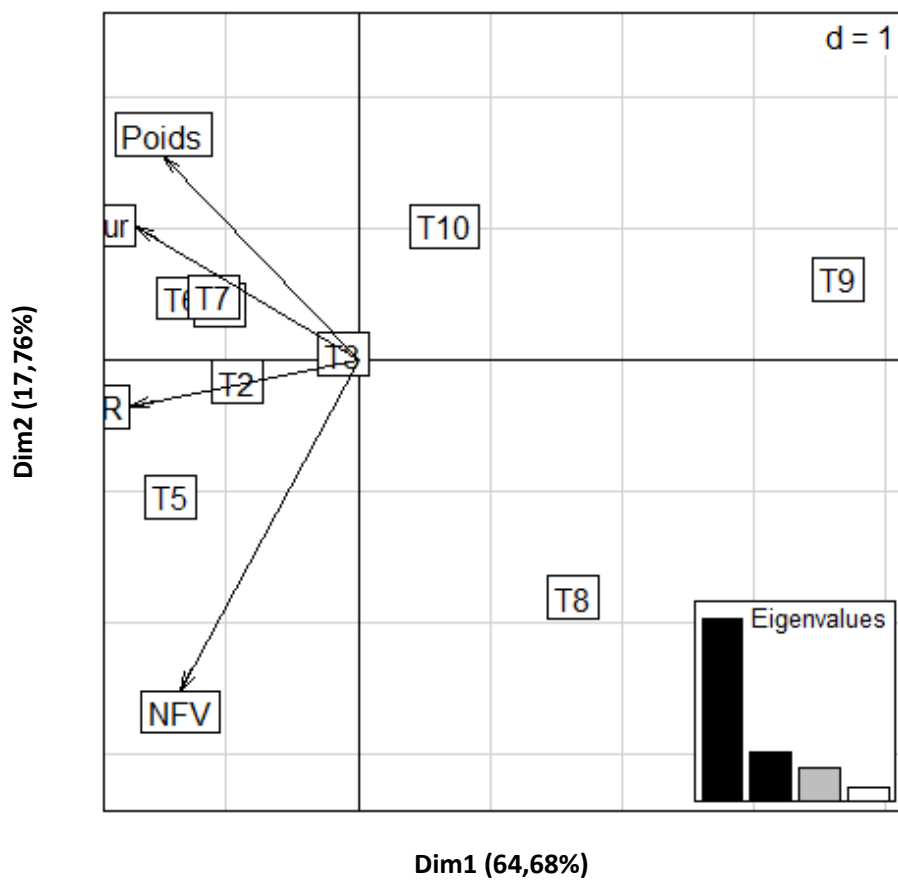


Figure 39. Projection des paramètres de croissance des rejets et de l'effet des traitements dans le plan factoriel de l'ACP pour la variété Pain de sucre

Tableau 19. Caractéristiques de croissance des rejets Cayenne lisse et Pain de sucre en fonction des traitements

Traitements	Cayenne lisse				Pain desucre			
	Poids (g)	Longueur(Cm)	NFV	NR	Poids (g)	Longueur (Cm)	NFV	NR
T1	903,83 ± 225, 86	84,96 ± 7,35	37 ± 4	3 ± 0	330,52 ± 49,30	69,07 ± 5,23	28 ± 2	9 ± 1
T2	818,60 ± 45,58	84,68 ± 9,57	35 ± 1	2 ± 0	282,75 ± 4,33	62,95 ± 5,77	28 ± 1	10 ± 0
T3	1030,83 ± 91,46	81,75 ± 0,11	38 ± 2	2 ± 1	352,49 ± 40,2	55,43 ± 3,61	28 ± 3	8 ± 1
T5	985,48 ± 203,74	82,43 ± 9,21	38 ± 3	3 ± 0	253,94 ± 60,55	66,74 ± 10,34	30 ± 5	10 ± 1
T6	975,89 ± 575,27	88,82 ± 23,31	38 ± 5	2 ± 0	340,41 ± 46,63	67,09 ± 1,47	28 ± 2	9 ± 1
T7	759,05 ± 268,98	91,43 ± 27,09	35 ± 2	3 ± 1	297,62 ± 67,07	69,96 ± 2,38	27 ± 2	9 ± 1
T8	696,68 ± 229,31	71,60 ± 16,42	33 ± 4	3 ± 0	185,04 ± 25,31	53,02 ± 9,32	29 ± 0	7 ± 1
T9	570,04 ± 52,62	108,33 ± 51,41	32 ± 0	3 ± 0	182,66 ± 29,06	50,30 ± 2,33	23 ± 2	6 ± 1
T10	704,45 ± 64,91	79,23 ± 10,77	34 ± 0	2 ± 0	266,02 ± 30,45	63,44 ± 0,32	25 ± 2	8 ± 3

NFV= Nombre de feuilles vivantes ; NR = Nombre de rejets

6.3. DISCUSSION

L'objectif de l'étude était d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale sur la production de rejets des variétés d'ananas Cayenne lisse et Pain de sucre cultivées au Bénin. Les résultats ont révélé d'une part une différence de production de rejets entre les deux variétés et de la taille des rejets au sein d'une même variété. Les bulbilles ont été observées seulement chez la variété Pain de sucre. Py *et al.* (1987) montrent qu'il existe de grandes différences entre les groupes et les cultivars au sein d'un groupe au niveau du nombre de bulbilles et cayeux produits. Ces auteurs considèrent par exemple, les groupes Cayenne et Spanish sont peu producteurs de rejets de tous types. Les groupes Pernambuco et Perolera, producteurs de nombreuses bulbilles ne peuvent que très rarement et tardivement former quelques cayeux. Par contre, certains cultivars du groupe Queen (ex. Queen Victoria) produisent assez précocement un grand nombre de cayeux, mais pratiquement pas de bulbilles. La Cayenne lisse porte entre 1 ou 2 et 3 ± 1 rejets contre 6 ± 1 à 10 ± 1 pour le Pain de sucre. Cependant, le poids moyen des rejets Cayenne lisse est important que celui du Pain de sucre. Des rejets de poids élevés croissent plus rapidement et donnent de gros fruit (Reinhardt *et al.*, 2000 ; Bhugaloo, 2002). Toutes les deux variétés produisent de cayeux souterrains. Le niveau où sont formés les différents rejets sur la plante-mère est un critère à considérer pour les techniques de culture et la qualité des fruits (Maerere, 1996). Le devenir d'un rejet est régi par sa position sur la tige mère. Une insertion très basse au niveau du sol, comme dans le cas des cayeux souterrains, favorise l'émission des racines pour les jeunes pousses leur permettant de devenir autonomes rapidement. Ceux situés au-dessus du niveau du sol, assez bas sur la tige (les cayeux de tige), sont en bonne position pour poursuivre leur croissance sur la plante mère et, comme les précédents, favorisent la conduite de culture en plusieurs cycles de production sans replantation. Lorsque les rejets sont situés très haut sur la tige, par exemple en position de happas, en deuxième cycle, ils ont tendance à se détacher de la souche quand ils atteignent un certain poids, en particulier sous l'effet du vent. Il y a alors perte complète du bénéfice escompté de la technique de conduite en plusieurs cycles (Lacoeuilhe, 1975).

Les effets des traitements sur la production de rejet ont varié en fonction du traitement et de la variété. Les traitements dont les effets sont importants sur la croissance des rejets contiennent pour la plupart soit une dose élevée d'azote et/ou une dose élevée de potassium. Plusieurs auteurs ont remarqué un effet de l'alimentation de la plante sur la capacité à produire des rejets. Il est généralement reconnu qu'une bonne nutrition minérale et hydrique favorise la croissance des rejets,

en leur permettant d'atteindre un certain poids ou une certaine taille plus rapidement. Ramirez et Gonzales (1983) considèrent que l'azote favorise la formation des cayeux.

CONCLUSION PARTIELLE

Cette étude a révélé une influence positive de la fertilisation sur la production de rejets d'ananas au Bénin. Les deux variétés produisent de cayeux, ces travaux ouvrent donc la possibilité d'expérimenter la conduite en plusieurs cycles successifs de production avec la même plante mère.

PARTIE IV : DISCUSSION, IMPLICATIONS AGRONOMIQUES ET CONCLUSION GENERALE

CHAPITRE 7. DISCUSSION GENERALE

Ce travail a examiné les éléments minéraux limitant le rendement et la qualité de l'ananas fruit produit au Bénin ; a déterminé les combinaisons d'éléments minéraux N, P₂O₅ et K₂O optimales pour la production d'ananas l'ananas destiné à la consommation en frais et à la transformation en jus au Bénin ; a étudié l'effet de la fertilisation minérale sur la production de rejets d'ananas. Ces différents objectifs ont été abordés dans les chapitres 3, 4, 5, 6. Les résultats seront discutés dans ce chapitre. La discussion générale aborde les facteurs nutritionnels qui limitent la production de l'ananas au Bénin, l'influence du déséquilibre nutritionnel sur le rendement et la qualité du fruit et du jus d'ananas.

7.1. Facteurs nutritionnels limitant la production de l'ananas au Bénin

Le diagnostic de la nutrition minérale des variétés d'ananas cultivées dans le sud Bénin a montré un déséquilibre nutritionnel des sols sous les plantations d'ananas. La méthode de diagnostic utilisée est le système intégré de diagnostic et de recommandation (SDIR). La méthode qui était couramment utilisée pour évaluer le bilan nutritionnel des plantes cultivées 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 SDIR pour évaluer l'état nutritionnel des végétaux. Le SIDR a été notamment développé sur plusieurs cultures horticoles, ornementales et des plantes fruitières. Parmi les espèces horticoles déjà diagnostiquées par cette méthode, on peut citer: la laitue (Sanchez *et al.*, 1991), la tomate (Caron et Parent, 1989; Hartz *et al.*, 1998; Rouin *et al.*, 1988; Mayfield *et al.*, 2002), la pomme de terre (Mac Kay *et al.*, 1989; Meldal-Johnsen et Sumner, 1980; Navvabzdeh et Malakouti, 1993; Parent *et al.*, 1994a), l'oignon (Caldwell *et al.*, 1994), le concombre (Mayfield *et al.*, 2002), la carotte (Parent *et al.*, 1994b). Le SIDR a été utilisé avec succès pour diagnostiquer les carences tant pour les plantes annuelles que pour les cultures pérennes. Le SDIR se trouve être le meilleur outil pour la détection précoce des déficiences minérales chez le soja (Vigier *et al.*, 1989), le maïs (Beaufils, 1971; Sumner, 1977a), le coton (Dagbenonbakin *et al.*, 2010), l'arachide (Dagbenonbakin *et al.*, 2012), l'igname (Dagbenonbakin *et al.*, 2011), le sorgho (Dagbenonbakin *et al.*, 2013), la canne à sucre (Elwali et

Gascho, 1984) et le blé (Meldal-Johnson et Sumner, 1980; Amundson et Koehler 1987). 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 SDIR est moins sensible à la variation de l'échantillonnage foliaire due 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).

Selon le SDIR, les éléments majeurs les plus déficients dans les sols de culture du Pain de sucre sont l'azote et le potassium. L'azote est l'élément le plus mobile du sol. Le potassium malgré son rôle sur le rendement et la qualité du fruit n'est pas appliqué en quantité suffisante sur cette variété; ce qui explique la déficience des sols de culture en cet élément. Par contre, chez la Cayenne lisse, l'azote et le potassium sont en excès. Les résultats des travaux de Sossa *et al.* (2014) indiquent que les pratiques de fertilisations varient selon les systèmes de productions. Ainsi, les plus fortes quantités d'engrais minéraux sont utilisées par les paysans ayant de grandes exploitations, avec des moyennes de $4749,8 \pm 2259$ kg/ha d'urée et $3667,2 \pm 2259$ kg/ha de NPK alors que les paysans disposant de petites superficies emploient les plus faibles quantités d'engrais avec des moyennes de 175 ± 189 kg/ha d'urée et 150 ± 132 kg/ha de NPK.

La déficience ou l'excès d'un élément limite le rendement et la qualité des fruits. Tout organisme vivant doit, pour assurer ses fonctions vitales, d'une part utiliser une certaine quantité d'énergie et, d'autre part, incorporer une certaine quantité de nutriments présents dans le milieu. Pour une espèce vivant dans un milieu donné, le facteur limitant est celui qui exerce la pression la plus forte sur la présence de l'espèce. S'il tombe au-dessous d'un certain seuil (valeur minimale) ou au contraire dépasse un seuil maximal, la vie de l'espèce est fortement réduite, voire impossible. La loi du minimum qui résulte de la notion de facteur limitant, établit que le développement complet et la croissance d'une espèce, dans un milieu donné, sont conditionnés par le facteur qui se trouve le plus éloigné de la quantité optimale (Schvartz *et al.*, 2005). Nos résultats ont montré que le rendement et la qualité de l'ananas au Bénin sont limités par les éléments fertilisants majeurs N, P et K et qu'il convient de compenser le manque par un apport raisonné, sous forme d'engrais minéral. L'état nutritionnel déséquilibré des plantations d'ananas n'est pas seulement imputable à la fertilisation non appropriée. En effet, Azontondé *et al.* (2009) évaluant la fertilité des sols ferrallitiques de la zone

d'étude ont trouvé que ces sols ont un niveau de fertilité physique bon à moyen ; néanmoins, leur dégradation est élevée. Les principales causes de ce phénomène sont : la surexploitation des sols avec l'utilisation des pratiques dégradantes telles que : les cultures sur brûlis, les cultures à plat, la destruction des arbres et la mauvaise orientation des billons dans les régions où est pratiqué le billonnage. Ces pratiques ont progressivement entraîné la disparition de la matière organique, réduit les réserves minérales et entraîné la dégradation chimique. Le niveau de fertilité est par conséquent bas sur les plateaux d'Aplahoué et d'Allada et moyen sur le plateau de Kétou et le rebord nord-ouest du plateau d'Aplahoué. Particulièrement sur le plateau d'Allada, dans les plantations d'ananas, la technique culturale qui consiste à rendre la terre « propre », en la débarrassant de tout le couvert végétal, en apportant peu d'engrais et sans restitution de matières organiques, fait subir à la terre et à l'environnement une dégradation rapide et souvent irréversible (Agbangba, 2008). Les résidus sont brûlés systématiquement ce qui favorise l'érosion sur les sols sableux (Py *et al.*, 1965). L'appauvrissement en matière organique est important dans ces conditions (Godefroy, 1974). Or il est nécessaire de restituer au sol les éléments organiques et minéraux exportés par les récoltes pour son équilibre structural et nutritif conformément à la loi de restitution. Tous ces facteurs sont amplifiés par le climat tropical avec des pluies agressives qui entraînent une lixiviation importante des éléments minéraux, qui peut conduire à un appauvrissement plus ou moins rapide du sol (Py *et al.* 1965). La question de la restitution des résidus de récolte est discutable. En effet, une grande masse végétale doit être manipulée et le développement des cochenilles est favorisé. Cette technique pose donc des problèmes pratiques et phytosanitaires. Une partie des résidus doit être restituée au sol car leur enfouissement a un effet favorable visible dans le profil pédologique pendant quatre à six mois environs (Sossa *et al.*, 2015 ; Py *et al.*, 1965). La baisse de la densité apparente du sol, engendrée par l'utilisation des résidus de récolte a été démontrée aussi par plusieurs auteurs (Edwards *et al.*, 2000; Abdelhamid *et al.*, 2004; Evanylo *et al.*, 2008). La décomposition des résidus de récolte tout en augmentant la teneur en carbone et la porosité totale du sol, provoque la baisse de la densité apparente du sol (Shaver *et al.*, 2003). De plus, l'incorporation au sol des résidus de récolte augmente la teneur en N, P, K du sol et sa richesse en cations échangeables (Kowaljow et Mazzarino, 2007; Courtney et Mullen, 2008; Sommer *et al.*, 2011 ; Lui *et al.*, 2013) ; ce qui réduit l'utilisation des fertilisants minéraux (Chikae *et al.*, 2006; Gabhane *et al.*, 2012).

Dans ce contexte de dégradation des sols, la problématique de formulation d'engrais spécifique pour l'ananas est plus que jamais importante en vue d'assurer un bilan nutritionnel positif des sols de culture.

7.2. Influences de la nutrition minérale sur le rendement et la qualité de l'ananas

La fertilisation minérale a positivement influencé le rendement et la qualité de l'ananas cultivé au Bénin. L'influence positive de la fertilisation en potassium et en azote sur la taille et la qualité physico-chimique du fruit a été prouvée par Teisson *et al.* (1979); Reinhardt et Neiva (1986); Paula *et al.* (1991); Spironello *et al.* (2004). L'excès des éléments minéraux N, P et K (teneur supérieure à 6,7 pour le N ; 1,6 pour le P et 9,3 pour le K) a des effets dépressifs sur l'accumulation du sucre chez la variété Cayenne lisse. La plupart des études sur l'influence de N et K sur la qualité de l'ananas n'ont pas fait mention de l'effet du manque ou de l'excès de ces nutriments sur l'accumulation de sucre dans le fruit d'ananas (Newsletter of the Pineapple Working Group, 2014).

Dans ce travail, la démarche méthodologique pour sélectionner les traitements minéraux appropriés pour avoir un rendement élevé et de qualité inclut l'analyse sensorielle. On ne s'était pas contenté seulement des caractéristiques physico-chimiques évaluées au laboratoire pour identifier les meilleurs traitements minéraux. On a procédé au test sensoriel qui fait appel à des dégustateurs et à leur sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher et de l'ouïe pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité des tranches d'ananas et du jus transformé (Watts *et al.*, 1991). La qualité du fruit d'ananas, est définie par l'ensemble des caractéristiques qui rendent le fruit plus agréable au goût (Paull, 1993). La taille, la forme, la couleur, les caractéristiques de la pulpe et les propriétés sensorielles sont les caractéristiques qui déterminent l'acceptabilité du fruit sur le marché (Saradhulhat et Paull, 2007). La démarche méthodologique utilisée dans cette étude pourra donc servir à tous les programmes de gestion de fertilité des sols dans la prise en compte non seulement du critère rendements élevées mais aussi des caractéristiques physico-chimiques et sensorielles indispensables pour une adoption durable des technologies développées.

Par ailleurs, alors que le problème principal que rencontre la culture de l'ananas au Bénin est l'hétérogénéité de la qualité (Fassinou *et al.*, 2014), la cause fondamentale de ce problème semble occultée. Ces auteurs ont trouvé que le poids des rejets plantés détermine la qualité du fruit obtenu (Fassinou *et al.*, 2015). C'est connu aussi bien dans la littérature (Selamat, 1997) que dans la pratique paysanne (Agbangba, 2008 ; Sossa *et al.*, 2014) que des rejets de poids important ont une meilleure croissance. Les rejets de poids compris entre 400 et 500 g/plant ont été utilisés dans nos travaux. Le

déséquilibre nutritionnel diagnostiqué dans les sols de culture d'ananas (Agbangba *et al.*, 2012) est à la base des baisses de rendements et de qualité de l'ananas du Bénin. Nos résultats suggèrent plutôt que l'hétérogénéité de la qualité de l'ananas est imputable à la non maîtrise de la fertilisation minérale par les producteurs (Agbangba *et al.*, 2011 ; Agbangba *et al.*, 2015).

Plusieurs études ont abordé l'influence de la nutrition minérale sur le rendement en fruit et la qualité du jus mais très peu de travaux ont examiné l'influence de la nutrition minérale sur le rendement en jus. Or le rendement en jus et la qualité du jus sont les deux facteurs qui intéressent le plus les producteurs de jus. Reinhardt et Neiva, (1986) ; Veloso *et al.* (2001) ont montré l'augmentation de la teneur en jus du fruit avec des doses croissantes d'azote. Les mêmes tendances ont été observées seulement chez la variété Cayenne lisse. Nos résultats ont également révélé une influence positive du potassium sur le rendement en jus chez les deux variétés.

Enfin dans cette étude, il a été constaté la possibilité de produire des cayeux par les deux variétés. Ces travaux ouvrent ainsi la possibilité d'expérimenter la conduite en plusieurs cycles successifs de production avec la même plante mère comme c'est le cas dans certains pays comme le Brésil (Reinhardt, 2000).

CHAPITRE 8. IMPLICATIONS AGRONOMIQUES, CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Cette recherche a abouti à plusieurs résultats applicables en milieu paysan pour améliorer le rendement et la qualité de l'ananas du Bénin. Elle inspire en outre, de nouvelles orientations de recherche pour une production durable.

8.1. IMPLICATIONS AGRONOMIQUES

La recherche de dose optimale est nécessaire pour une production rationnelle et est particulièrement importante pour la production de l'ananas qui exporte de quantités importantes d'éléments minéraux. Pour le Pain de sucre, les doses économiques d'unités fertilisantes à appliquer sont de 6,55 g/plant pour l'azote, 1,60 g/plant pour le phosphore et 9,38 g/plant pour le potassium. Ce qui correspond à une dose de 393 Kg/ha de N ; 96 Kg/ha de P_2O_5 ; 562,8 kg/ha de K_2O . L'application des doses optimales permet d'obtenir un rendement optimal de 1,90 Kg/plant soit 114 t/ha. Le profit net est de 6889047 F CFA/ha si l'ananas est vendu à 90 FCFA/kg. Ce profit fait 3,5 fois celui obtenu chez les producteurs qui est de 1975000/ha (Achigan *et al.*, 2015).

Chez la Cayenne lisse, les doses optimales d'azote, de phosphore et de potassium à recommander à l'agriculteur et qui correspondent au maximum de profit qui sont de 6,75 g/plant pour l'azote ; 1,60 g/plant pour le phosphore et 9,36 g/plant pour le potassium. Ce qui correspond à une dose de 405 Kg/ha de N ; 96 Kg/ha de P_2O_5 ; 561,6 kg/ha de K_2O . L'application des doses optimales permet d'obtenir un rendement optimal de 2,76 Kg/plant soit 165,6 t/ha et le profit procuré est de 11526318 F CFA. Ce bénéfice net est de 4 fois celui obtenu actuellement par les producteurs (Achigan *et al.*, 2015).

Une nutrition minérale équilibrée en potassium et en azote est déterminant dans la qualité du fruit produit par la plante. Le rapport K_2O/N des doses économiques pour la production de Pain de sucre et de Cayenne lisse sont respectivement de 1,44 et 1,39. Selon Schohier et Texido (2001) ce rapport peut avoisiner l'unité pour une production industrielle de qualité de tranche et de jus. Teiwes et Grünberg (1968), ont affirmé qu'une adéquate relation N-K est très importante pour la production de l'ananas. Cette relation n'est pas fixe car selon les mêmes auteurs, elle dépend du milieu physique (type de sol et climat), de la variété de l'ananas et de la densité de plantation.

Par ailleurs ces doses économiques se rapprochent du traitement T_1 (6,7-1,6-9,3) qui a permis non seulement d'obtenir un bon rendement en fruit et en jus de qualité chez les deux variétés mais aussi a permis d'avoir un grand nombre de rejets par plant à longueur et à poids importants. L'emploi des doses économiques assurera donc un triple objectifs : production d'ananas destiné à la consommation en frais, production d'ananas destiné à la transformation en jus et à la production de rejets.

8.2. CONCLUSION GENERALE

Le diagnostic de nutriment indique un déséquilibre nutritionnel des deux variétés d'ananas cultivées au Bénin. Chez la Cayenne lisse, les teneurs en P, Ca, Mg et S sont adéquates alors que le N et le K sont en excès. Le Zn est très déficient dans les plantes. Le diagnostic établi sur "Pain de sucre" a révélé que les teneurs, en phosphore et en soufre sont adéquates, le Zn étant en excès. Par contre, les plants sont déficients en calcium et en azote et on pourrait parler de déficience latente pour le potassium et le magnésium. Le déséquilibre nutritionnel observé pour les deux variétés montre que les pratiques actuelles de fertilisation n'entretiennent pas une bonne nutrition des cultures.

Les essais ont montré un effet positif de la fertilisation minérale sur la croissance, le rendement et la qualité de l'ananas. Les modèles quadratiques sont les meilleurs estimateurs du rendement à partir des doses de fertilisant apportées. Les doses économiques de fertilisant N, P et K à préconiser pour le Pain de sucre sont de 6,55 g/plant pour l'azote, 1,60 g/plant pour le phosphore et 9,38 g/plant pour le potassium pour obtenir un rendement de 114 t/ha et un profit de 6889046,58 F CFA à l'hectare. Quant à la Cayenne lisse, les doses de fertilisant qui correspondent au maximum de profit sont de 6,75 g/plant pour l'azote, 1,60 g/plant pour le phosphore et 9,36 g/plant pour le potassium. L'application des doses optimales permet d'obtenir un rendement optimal de 2,76 Kg/plant soit 165,6 t/ha et un profit de 11526318,18 F CFA.

L'étude permet de retenir que les doses des unités fertilisantes N, P_2O_5 et K_2O améliorent la qualité des fruits frais et du jus d'ananas produit au Bénin. Chez la Cayenne lisse, les traitements T_3 (10,7 g/plant -0,5 g/plant -2,7 g/plant), T_6 (2,7 g/plant -0,5 g/plant -16 g/plant) et T_9 (2,7 g/plant - 0,5 g/plant -2,7 g/plant) sont prometteurs pour une production en qualité d'ananas destinée à la consommation en frais alors que les traitements T_1 (6,7 g/plant -1,6 g/plant -9,3 g/plant), T_3 (10,7 g/plant -0,5 g/plant -2,7 g/plant), T_5 (10,7 g/plant -2,7 g/plant -16 g/plant) et T_6 (2,7 g/plant -0,5

g/plant -16 g/plant) sont prometteurs pour une production en jus de qualité et également permettent d'avoir un rende

ment en jus appréciable. Chez le Pain de sucre, les traitements T_3 (10,7 g/plant -0,5 g/plant -2,7 g/plant), T_5 (10,7 g/plant -2,7 g/plant -16 g/plant), T_6 (2,7 g/plant -0,5 g/plant -16 g/plant) et T_9 (2,7 g/plant - 0,5 g/plant -2,7 g/plant) sont prometteurs pour une production en qualité d'ananas destinée à la consommation en frais tandis que les fertilisants T_1 (6,7 g/plant -1,6 g/plant -9,3 g/plant), T_5 (10,7 g/plant -2,7 g/plant -16 g/plant), T_6 (2,7 g/plant -0,5 g/plant -16 g/plant), T_7 (2,7 g/plant - 2,7 g/plant -16 g/plant), et T_{10} (10,7 g/plant - 0,5 g/plant -16 g/plant) ont donné des jus de qualité organoleptique moyenne et permettent également d'avoir un rendement en jus appréciable. Cette étude a révélé enfin une influence positive de l'effet de la fertilisation sur la production de rejets d'ananas au Bénin.

8.3. PERSPECTIVES

Dans cette étude les résultats ont permis de comprendre la nutrition minérale de l'ananas et son influence sur le rendement, la qualité du fruit et du jus et la production de rejet. Cependant pour une agriculture plus durable des études futures pourront être menée en vue de :

- ✓ étudier l'influence de la fertilisation minérale associée à la fumure organique sur le rendement et la qualité du fruit ;
- ✓ expérimenter des options de gestion de la fertilité des sols qui permettent la conduite en plusieurs cycles successifs de production avec la même plante mère ;
- ✓ étudier l'effet de l'association de l'ananas à d'autres cultures (maïs, niébé, arachide etc) sur le rendement et la qualité du fruit.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achigan-Dako, E. G., Adjé, C. A., Sognigbé, N., Fassinou, H. N. V., Agbangla, C., Ahanchédé, A. 2014. Drivers of conservation and utilization of pineapple genetic resources in Benin. *SpringerPlus* 20: 143-273.
- Abdelhamid M.T., Horiuchi T., Oba S. 2004. Composting of rice straw with oilseed rape cake and poultry manure and its effects on faba bean (*Vicia faba* L.) growth and soil properties. *Bioresource Technology* 93: 183-189.
- Adjakidjè, V. 1984. Contribution à l'étude botanique des savanes guinéennes en République Populaire du Bénin. Thèse de 3ème cycle, Univ. Bordeaux III, 245 p.
- AFD. 2008. Informations techniques sur la culture de l'ananas. www.afd-lv.org/ananas.htm. Consulté le 09/11/2012.
- Agbangba, C.E. 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, 159 p.
- Agbangba, C.E., Dagbénonbakin, D.G., 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.
- Agbangba, C. E., Dagbenonbakin, G. D., Djogbénou, C.P., Houssou, P., Assea, D. E., Sossa, E. L., Kotomalè, U. A., Ahotonou, P., Ndiaga, C., Akpo, L. E. 2015. Influence de la fertilisation minérale sur la qualité physico-chimique et organoleptique du jus d'ananas Cayenne lisse au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Science* 9(3): 1277-1288.
- Agbangba, C. E., Sossa, E. L., Dagbenonbakin, D. G., Diatta, S., Akpo, L. E. 2011. DRIS model parameterization to access pineapple variety 'Smooth Cayenne' nutrient status in Benin (West Africa). *Journal of Asian Scientific Research*, 1(5): 254-264.
- Agbo, B., Agbota, G., E., Sissinto, Akele, O. 2008. Atelier de validation de la stratégie et de l'évaluation de plan d'action de la filière ananas au Bénin Working paper (pp. 119). Cotonou.
- Agossou, V. 1983. Les sols Béninois et leurs potentialités agricoles. Centre National d'Agropédologie (CENAP). Etude n° 260.

- Akoègninou A. 2004.** Recherches botaniques et écologiques sur les forêts actuelles du Bénin. Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 325 p.
- Amundson, R. L. and Koehler F. E. 1987.** Utilisation of DRIS for diagnosis of nutrient deficiencies in winter wheat. *Agron.J.*79, 472-476.
- Angeles, D.E., Sumner, M.E., Barbour, N.W. 1990.** Preliminary nitrogen, phosphorous, and potassium DRIS norms for pineapple. *HortScience* **25**: 652-655.
- Anonyme 1989. Carte géologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200 000 : Feuilles : Pira-Savè-Abomey-Zagnanado-Lokossa-Porto Novo. Notice explicative, mém. n°3, 77 p.
- Anonyme. 1989.** Carte géologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200 000 : Feuilles : Pira-Savè-Abomey-Zagnanado-Lokossa-Porto Novo. Notice explicative, mém. n°3, 77 p.
- Anonyme 2001.** Atlas monographique des Communes du Bénin. Centre d'Information et de Documentation sur les collectivités locales. DGAT– MISP. Cotonou, Bénin
- Azaïs, J.M., Bardet, J.M. 2012.** Le modèle linéaire par l'exemple: Régression, analyse de la variance et plans d'expérience illustrés par R et SAS. 2^{ème} Edition DUNOD.
- Azontonde H. A., Igue A. M., Dagbenonbakin G. 2009.** Carte de fertilité des sols par zone agroécologiques du Bénin. Rapport final. Afrique-Etudes. République du Bénin. Ministère de l'Agriculture de l'élevage et de la pêche.
- Bailey, J.S., Beattie, J. A. M., Kilpatrick, D. J. 1997.** The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: Model establishment. *Plant and Soil*. **197**: 127-135.
- Baldock, J. O. Schulte, E. E. 1996.** Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for maize. *Agronomy Journal*. **88**: 448-456.
- Bartholomew, D.P., Kadzimin S.B. 1977.** Pineapple. In: P. de T. Alvim, et T.T. Kozłowski (ed.) *Ecophysiology of tropical crops*. p. 113-156. Academic Press, New York.
- Beaufils, E. R. 1971.** Physiological diagnosis-A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Fertilizer Society of South Africa Journal* **1**: 1-30.
- Beaufils, E. R. 1973a.** Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Science Bulletin. Univ. of natal, Pietermaritzburg, South Africa* **1**: 1-132.

- Beaufils, E. R., Sumner M. E. 1977.** Effect of time sampling on the diagnosis of the N, P, K, Ca and Mg requirement of sugarcane by the DRIS approach. *Proceedings of the South African Sugar Technology Association*. **51**: 62-67.
- Beaufils, E.R. 1973.** Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Science Bulletin* **1**: 1-132.
- Bhugaloo, R. 2002.** “Crop cycle study in pineapple: preliminary results,” in Fifth Annual Meeting of Agricultural Scientists: Food and Agricultural Research Council, eds J. A. Lalouette and D. Y. Bachraz (Mauritius: University of Mauritius), Available online at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?> [Retrieved 9 Mars, 2015].
- Blackmer, A. M., Meisinger, J. J. 1990.** Re-examination of the methodology used for selecting nitrogen inputs into crop production. *Journal of Contaminant Hydrology*. **78**:571–575.
- Caldwell, J.O., Sumner, M.E., Vavrina, C.S. 1994.** Development and testing of preliminary foliar DRIS norms for onions. *HortScience* **29**: 1501-1504.
- Caron, J., Parent, L.E. 1989.** Derivation and assessment of DRIS norms for greenhouse tomatoes. *Canadian Journal of Plant Science*, **69**, 1027-1035.
- CeRPA 2005.** Plan de campagne 2005-2006, CeRPA-Atlantique-Littoral, Abomey-Calavi Bénin. 78p.+ Annexes.
- Cerrato, M. E., Blackmer, A. M. 1990.** Corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* **82**:138-143.
- Chikae M., Ikeda R., Kerman K., Morita Y., Tamiya E. 2006.** Estimation of maturity of compost from food wastes and agro-residues by multiple regression analysis. *Bioresource Technology* **97**: 1979-1985.
- Courtney R.G. and Mullen G.J. 2008.** Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Bioresource Technology* **99**: 2913-2918.
- Coppens D’Eeckenbrugge, G., Leal F. 1997.** Fruit from America. <http://www.ciat.cgiar.org/ipgri>
- Coppens D’Eeckenbrugge, G., Leal F. 2003.** Morphology, anatomy and taxonomy. In: D.P. Bartholomew, R.E. Paull, and K.G. Rohrbach (ed.) *The pineapple: botany, production and uses*. p. 13-32. CABI Publishing, New York.
- Cunha, G.A.P. da. 1999.** Florescimento e uso de fitorreguladores. In: G.A.P. da Cunha, J.R.S. Cabral, and L.F. da S. Souza. *O abacaxizeiro: Cultivo, agroindústria e economia*. p. 229-251. Org., Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. Brasília.

- Dagbenonbakin G., Sokpon N. 2003.** Aptitudes des sols et leur répartition au Bénin : Etat des lieux et perspectives d'aménagement à l'horizon 2025. Rapport final. Etude n°12. République du Bénin. Ministère de l'environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme. Direction de l'Aménagement du Territoire.
- Dagbenonbakin, D. G., Agbangba, C. E., 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 Chemical and Biological Science* 4 (5) : 1550-1563.
- Dagbenonbakin, G. D. 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, 182 p.
- Dagbenonbakin, D.G., Agbangba, C.E., 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 Chemical and Biological Science* 4(5) :1550-1563.
- Dagbenonbakin G.D., Agbangba E.C., Bognonkpe J.P., Goldbach H. 2011.** DRIS model parameterization to assess yam (*dioscorea rotundata*) mineral nutrition in Benin (West Africa). *European Journal of Scientific Research*, 49(1):142-151.
- Dagbenonbakin G. D., Kindomihou V., Agbangba Emile C., Sokpon N. and Sinsin B. 2013.** Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) model establishment for diagnosing Sorghum (*Sorghum bicolor*) nutrient status in Benin (West Africa). *Scientific Research and Essays*, 8(32): 1562-1569.
- Dagbenonbakin Gustave D., Agbangba Emile C., Kindomihou Valentin, Akpo Léonard Elie, Sokpon Nestor, Sinsin Brice. 2012.** Preliminary DRIS Model Parameterization to access groundnut (*Arachis hypogea* L.) Nutrient Status in Benin (West Africa). *International Journal of Current Research* 4, 108-115.
- Dagnelie, P. 1998.** Théories et Modèles Statistiques, Applications Agricoles, Tome 2, 21ème Édition, p.464.
- Dalldorf, D. B., Lagenegger, W. 1978.** Macroelement fertilization of Smooth cayenne pineapples. Farming in South Africa. *Pineapple Series. E. 2.*

- Del Amor, F., Leon, A., Torrecillas, A. 1984.** Guia práctica para el riego y la fertilización de los cítricos. ISBN 84-505-1117-3.
- Djalalou-Dine A. A. A. 2012.** Governance, marketing and innovations in Beninese pineapple supply chains. A survey of smallholder farmers in South Benin. PhD Thesis, Wageningen University. 194p.
- Dubroeucq D. 1977a.** Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200 000 : feuille Parakou. ORSTOM, notice explicative, n° 66 (5), 37 p.
- Dubroeucq D. 1977b.** Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200 000 : feuille Savè. ORSTOM, notice explicative, n° 66 (3), 45 p.
- Elwali, A. M. O., Gascho, G. J. 1984.** Soil testing, foliar analysis and DRIS as guide for sugarcane fertilization. *Agronomy Journal*. **76**: 466-470.
- Elwali, A.M.O, Gascho, G.J., Sumner, M.E. 1985.** DRIS Norms for 11 nutrients in maize leaves. *Agronomy Journal*. **77** : 506-508.
- Evanylo G, Sherony C, Spargo J, Starner D, Brosius M, Haering K. 2008.** Soil and water environmental effects of fertilizer, manure and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 127: 50-58.
- FAO. 1986.** L'ananas. <http://www.fao.org/wairdocs/x5425f/x5425f0a.htm>. Consulté le 30/03/2015.
- FAO. 2012.** World ranking: Pineapples, by Production (tonnes). Url: [http://mongabay.com/commodities/data/category/1-Production/1-Crops/574-Pineapples/51-Production+\(tonnes\)](http://mongabay.com/commodities/data/category/1-Production/1-Crops/574-Pineapples/51-Production+(tonnes)). Accessed on 11 May 2012
- FAO. 2013.** FAOSTAT. Url: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>. Accessed on 14 July 2013
- Fassinou, H.V.N., Lommen, W. J. M., Van der Vorst, J.G.A.J., Agbossou, E.K., Struik, P. C. 2012.** Analysis of Pineapple Production Systems in Benin Proc. XXVIII th IHC –IS on Citrus, Bananas and Other Trop. Fruits under Subtrop. Conditions Eds.: J.-N. Wünsche and L.G. Albrigo. Acta Horticulturae. 928, ISHS.
- Fassinou, N. H. W., Lommen, J. M., Agbossou, E. K., Struik, P. C. 2015.** Influence of weight and type of planting material on fruit quality and its heterogeneity in pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merrill]. *Frontiers in plant science*, Volume 5, Article 798.

- Faure P., Volkoff B. 1976.** Différenciation régionale des couvertures pédologiques et litho-géomorphologie sur socle granito-gneissique du Bénin (Afrique Occidentale). C. R. Acad. Sc.,t. 322, sér. II a : 393-400.
- Gabhane J., William S.P.M.P., Bidyadhar R., Bhilawe P., Anand D., Vaidya A.N., Wate S.R. 2012.** Additives aided composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity and quality of the finished compost. *Bioresource Technology*. 114: 382-388
- Gauchier, G. 1968.** Traité de Pédologie Agricole. Le sol et ses Caractéristiques Agronomiques. Dunod. Paris.
- Godefroy, J. 1975.** Erosion et pertes par lixiviation ou ruissèlement des éléments fertilisants sous culture d'ananas en fonction des techniques culturales. Essai AN. CI. ORS. 288-298-467. Réunion Annuelle IRFA, doc. Interne, n°6.
- Godefroy, J., PY, C., Tisseau, M.A. 1971.** Action de la fumure phosphatée en culture d'ananas en Côte d'Ivoire et en Guadeloupe. *Fruits*. 26 (3), 207- 210.
- Garnier, C. L. 1997.** *Ananas : la « Queen Tahiti »*. Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et des Forêts Service du Développement Rural. Tahiti, Polynésie française.
- Hallmark, W.B., deMooy C.J., John Pesek. 1987.** Comparison of two DRIS methods for diagnosing nutrients deficiencies. *J. Fert. Issues* v. 4 Number 4, p 151-158.
- Hartz, T.K., Miyao, E.M., Valência, J.G. 1998.** DRIS evaluation of the nutritional status of processing tomato. *HortScience*. **33**: 830-832.
- Helvetas-Bénin, 2008.** Appui à la Filière Ananas Biologique et Équitable: Document du Projet. Helvetas-Benin. Cotonou.
- Hossner, L. R., Freeouf, J. A., Folsom, B. L. 1973.** Solution phosphorus concentration and growth of *Oryza sativa* L. in flooded soil. *Proceedings of Soil Science Society of America*. **37** : 405-408.
- Hubert, P. 1978.** Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage des lycées agricoles à Madagascar - BDPA.
- Husson, F., Lê S., Pagès, G. 2010.** Exploratory Multivariate Analysis by Exemple Using R. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- INRAB., 2006.** Contribution de la Recherche à la Promotion des Filières Agricoles Porteuses du Bénin (2007-2011). 148 p.

- INSAE**, 2014. General Census of the Population and Living Final Results 2014, National Institute for Statistics and Economical Analyses INSAE, Ministry of Planning and Development, Benin National Printing, Cotonou, Benin.
- Jones Benton J., Benjamin Wolf Jr, Harry, A. M. 1991.** PLANT ANALYSIS HANDBOOK, a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide.
- Kelling, K. A., Shulte, E. E. 1986.** Review DRIS as part of a routine plant analysis program. *Journal of Fertility Issues*. **3**(3): 107-112.
- Kowaljow E. and Mazzarino M.J. 2007.** Soil restoration in semiarid Patagonia: Chemical and biological response to different compost quality. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 1580-1588.
- Krauss, B.H. 1948a.** Anatomy of the vegetative organs of the pineapple *Ananas comosus* (L.) Merr. 1. Introduction, organography, the stem and the lateral branch or axillary buds. *Botanical Gazette (Chicago)* 110:159-217.
- Krauss, B.H. 1948b.** Anatomy of the vegetative organs of the pineapple *Ananas comosus* (L.) Merr. 2. The leaf. *Botanical Gazette (Chicago)*. 110:333-404.
- Lacoeuilhe, J. J. 1975.** Le problème de la deuxième récolte en culture d'ananas en Côte d'Ivoire. *Fruits*. 30 (2) : 83 - 89.
- Lagenegger, W., Smith, B.L. 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.
- Llorente, S. 1966.** Influencia del hierro en el balance nutriente del limonero Verna. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, Murcia, Spain.
- Liu C.H., Liu Y., Fan C., Kuang S.Z. 2013.** The effects of composted pineapple residue return on soil properties and the growth and yield of pineapple. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(2): 433-444.
- Mac Kay, D.C., Entz, T., Carefoot, J.M., Dubetz, S. 1989.** Comparison of critical nutrient concentrations with DRIS for assessing nutrient deficiencies of potatoes on irrigated chernozemic soils. *Canadian Journal of Plant Science*, 69, 601-609.
- Maerere, A.P. 1996.** Etude de la ramification de deux cultivars d'Ananas (*Ananas comosus* (L.) MERR.) ; "Cayenne lisse" et "Queen victoria", en relation avec leur développement sous

diverses conditions climatiques de l'île de la Réunion. Thèse de Doctorat de l'Université Henry Poincaré, Nancy1. 216p.

- Malakouti, M.J. 1992.** Determination of the diagnostic norms for corn on the calcareous soils of Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **23**(17-20):2687-2695.
- Malavolta, E. 1982.** Nutrição mineral e adubação do abacaxizeiro. In: C. Rugiero. Simpósio Brasileiro sobre Abacaxicultura. p. 121-153. Anais.1. FCAV. Jaboticabal.
- Marchal, J. 1975.** Masse critique d'azote dans la feuille D. Documents IRFA non publiés.
- Mateljan, G. 2007.** The Worlds Healthiest Foods. Mateljan, G. (eds). United States.Seattle WA.
- Mayfield, J.L.; Simonne, E.H.; Mitchell, C.C.; Sibley, J.L.; Boozer, R.T.; Vinson, E.L. 2002.** Effect of current fertilization practices on nutritional status of double-cropped tomato and cucumber produced with plasticulture. *Journal of Plant Nutrition*, **25**, 1-15.
- Meldal-Johnson, A., Sumner, M.E., 1980.** Foliar diagnostic norms for potatoes. *Journal of Plant Nutrition*, **2**, 569-576.
- Mémento de l'agronome, 2002.** Ministère des Affaires étrangères. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). Groupe de recherche et d'échanges technologiques (GRET).1691 p.
- Mondjannagni A. 1969.** Contribution à l'étude des paysages végétaux du Bas-Dahomey. Annale Université Abidjan, Série. G, 1: 181 p.
- Morineau, A. 1984.** "Note sur la Caractérisation Statistique d'une Classe et les Valeurs-tests", Bulletin Technique du Centre de Statistique et d'Informatique Appliquées **2**(1-2): 20-27. (<http://www.deenov.com/analyse-de-donnees/documents/article-valeur-test.aspx>).
- Morton, J.F., 1987.** Fruits of Warm Climates. Morton, J. F. (eds). Miami. Florida.
- Navvabzdeh, M., Malakouti, M. J. 1993.** Development of DRIS norms for potato in the calcareous soils of Iran. *Journal of Plant Nutrition*, **16**:1409-1416.
- Ndiaye, J. P., Barry, B. 1995.** Fonctions de production, isoquantes et doses optimales d'azote, de phosphore et de potassium pour quelques cultures dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal. horizon.documentation.ird.fr
- Nean, L. 1978.** Effect of pH on growth, ion uptake and mineral content of pineapple. *Journal of Agricultural Association of China*. **103** : 65-74.
- Nightingale, C.T. 1936.** The growth status of the pineapple plant. *Pineapple News* **10**: 68-78.

- Omotoso, S.O., Akinrinde, E.A. 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.
- Ouinkoun G., Lalèyè. 2004.** La traçabilité des produits agricole : cas de l'ananas, quels enjeux pour le Bénin ? Acte de l'Atelier Scientifique National du 14 au 17 décembre 2004 à Abomey-Calavi. 5 : 190-201.
- Owusu-Bennoah, E., Ahenkorah, Y., Nutsukpo, D.X. 1997.** Effect of different levels of N: K₂O ratios on the yield and quality of pineapple in the forest-savanna ecotone of Ghana. *Acta Horticulturae. (ISHS)* 425: 393-402.
- PACIR (Programme D'Appui au Commerce et à l'Intégration Régionale) 2013.** Rapport.
- Paradis G., Adjanohoun E. J. 1974.** L'impact de la fabrication du sel sur la végétation de mangrove et la géomorphologie dans le Bas-Dahomey. *Annale Université Abidjan, Série E* (7): 599-612.
- Parent, L.E., Cambouris, A.n., Muhawenimana, A. 1994a.** Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1432-1438.
- Parent, L.E., Isfan, D., Tremblay, N., Karam A. 1994b.** Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119, 420-426.
- Paula, M.B., Carvalho, R.V., Noyer, F.D., Souza, L.F.S. 1991.** Effet de la chaux, du potassium et de l'azote sur le rendement et la qualité des fruits ananas. *Brésilienne de recherche agricole, Brésil* 26 : 1337-1343.
- Paull, R. E. 1993.** Pineapple and papaya. In: Seymour, G., Taylor, J. and Tucker, G. (eds) *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London, 291–323.
- Payne, G. G., Rechcigl, J. E., Stephenson, R. J. 1990.** Development of diagnosis and recommendation integrated system norms for Bahiagrass. *Agronomy Journal*. **82** : 930-934.
- Purseglove, J.W. 1972.** Tropical crops. Monocotyledons. Purseglove J. W. (eds) Longman, London. pp 75-91.
- Py, T. M. A. 1965.** L'ananas. *Techniques Agricoles et Productions Tropicales*. G. P. Maisonneuve et Larose.
- Py, C. 1969.** La Piña Tropical. Editorial Blume. Barcelona.
- Py, C., Lacoëuilhe, J. J., Teisson, C. 1987.** L'Ananas, sa culture, ses produits. G.-P. Maisonneuve & Larose. Paris. 568 p.

- R Core Team, 2012.** A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Ramirez, C. T., Tejerae, G. 1983.** Spacing, Nitrogen and potassium on yield and quality of Cabezona Pineapple. *Journal of Agriculture of University of Puerto Rico*. 67 (1): 1 – 10.
- Rathfon, R.A., Burger, J.A. 1991.** Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms for Fraser Fir Christmas trees. *Forest Science*, 37,998-1010.
- Reinhardt, D., Souza, L. D. S., and Cabral, J. 2000.** Abacaxi. Produção: Aspectos Técnicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura.
- Reinhardt, D. H. R. C., Neiva, L. P. A. 1986.** NPK et sources de potassium dans l'ananas 'Perola' dans la micro-région à Bahia de Feira de Santana. In: Congrès international de fruits, 8, Brésil, DF. Actes .Brésil, pp 41-46.
- Reinhardt, D.H. 2001.** Clima. In: D.H. Reinhardt, L.F. da S. Souza, and J.R.S. Cabral. Abacaxi irrigado em condições semi-áridas. p. 11. Org. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas.
- Reinhardt, D.H., Costa, J.T.A., da Cunha, G.A.P. 1987.** Influência da época de plantio, tamanho da muda e idade da planta para a indução floral no abacaxi 'Smooth Cayenne' no Recôncavo Baiano. 2. Produtividade e características do fruto. *Fruits*. 42(1):13-23.
- Rouin, N.D., Caron, J., Parent, L.E. 1988.** Influence of some artificial substrates on productivity and DRIS diagnosis of greenhouse tomatoes (*Lycopersicum esculentum* L. Mill., cv "Vedettos"). *Acta Horticulturae*, 221, 45-52.
- Saradhuldhat, P., Paull, R.E. 2007.** Pineapple organic acid metabolism and accumulation during fruit development. *Scientia Horticulturae*. 112: 297–303.
- Sare L. 2012.** Le conseil agricole dans les politiques publiques au Bénin. http://www.interreseaux.org/IMG/pdf/Fiche_Conseil_et_politique_Benin__8-11-2012_-1.pdf . 8p. Consulté le 22/02/2013.
- Selamat, M. M., Ramlah, M. 1997.** The response of pineapple cv gandul to nitrogen, phosphorus, and potassium on peat soil in Malaysia. *Acta Horticulturae* 334: I International Pineapple Symposium.

- Schvartz, C., Jean-Charles, M., Decroux, J. 2005.** Produire mieux. Guide de la fertilisation raisonnée : grandes cultures et prairies. Editions France – Agricole. ISBN : 2-85557-120-0. Groupe France Agricole, 8 Cité Paradis, 75010 Paris.
- Scohier, Texido. 2001.** Ananas. In : Raemaekers H. R. (eds) Agriculture en Afrique Tropical. ISBN 90-806822-2-5, Direction Générale de la Coopération Internationale (DGCI), Rue des Petits Carmes, 15-Karmelietenstraat 15, B-1000 Bruxelles, Belgique.
- Shaver T.M., Peterson G.A., Sherrod L.A. 2003.** Cropping intensification in dryland systems improves soil physical properties: Regression relations. *Geoderma* 116:149-164.
- Siebeneichler, S. C., Monnerat, P. H., Carvalho, A. J. C. De. 2002.** Mineral composition of the leaf in pineapple: effect of the part of the analyzed leaf. *Rev. Bras. Frutic.* **24**(1): 194-198.
- Sohinto D. 2008.** Analyse de la rentabilité économique des chaînes de valeur ajoutée de l'ananas au Bénin, juillet, 2008.76p.
- Soler, A. 1992.** L'ananas : critères de qualité.- Montpellier ; Bruxelles : CIRAD; COLEACP.- 1992, 48 p.
- Soltanpour, P. N., Malakouti, M. J. and Ronaghi, A. 1995.** Comparison of diagnosis and recommendation integrated system and nutrient sufficiency range for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 133-139.
- Sommer, R., Ryan, J., Masri, S., Singh, M., Diekmann, J. 2011.** Effect of shallow tillage, moldboard plowing, straw management and compost addition on soil organic matter and nitrogen in a dryland barley/wheat-vetch rotation. *Soil and Tillage Research.* 115-116: 39-46.
- Sossa, E. L., Amadji, G. L., Vissoh, P. V., Hounsou, B. M., Agbossou, K. E., Hounhouigan, D. J. 2014.** Caractérisation des systèmes de culture d'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merrill) sur le plateau d'Allada au Sud-Bénin. *International Journal of Chemical and Biological Science.* 8(3): 1030-1038.
- Sossa E.L, Amadji G.L, Aholoukpè N.S.H, Hounsou B.M, Agbossou K.E, Hounhouigan D. J. 2015.** Change in a ferralsol physico-chemical properties under pineapple cropping system in southern of Benin. *Journal of Applied Biosciences* 91:8559–8569.
- Spironello, A., Quaggio, J. A., Teixeira, L. A. J., Furlani, P. R., Sigrist, J. M. M. 2004.** Pineapple Yield and Fruit Quality Affected By NPK Fertilization in a Tropical Soil. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP,* **26** (1): 155-159.

- Sumner, M. E. 1977.** Preliminary N P and K foliar diagnosis norms for wheat. *Communication in Soil Science and Plant Anale* **8**: 149-167.
- Sumner, M. E. 1979.** Interpretation of foliar analysis for diagnosis purposes. *Agron. J.* **71** : 343-348.
- Sanchez, C.A., Snyder, G.H., Burdine, H.W.1991.** DRIS evaluation of the nutritional status of Crisphead lettuce. *HortScience*, v.26, p.274-276.
- Teisson, C., Lacoeyllhe, J.J., Combres, J.C. 1979.** Le brunissement interne de l'ananas. V. Recherches des moyens de lutte. *Fruits*. **34**(6): 399-415.
- Teiwes, G., Grünenberg, T. 1968.** Connaissance et expérience de la fécondation de l'ananas. *Ingénierie Agronomique* **4** : 7 - 13.
- Teixeira, L., Quaggio, J., Cantarella, H., Mellis, E. 2011.** Potassium fertilization for pineapple: effects on plant growth and fruit yield, *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal* **33**(2): 618-626.
- Teixeira, L.A.J., Quaggio, J.A. Zambrosi, F.C.B. 2009.** Preliminary Dris norms for 'Smooth Cayenne pineapple and derivation of critical levels of leaf nutrient concentrations. *Acta Horticulturæ* **822** :131-138.
- Togbé C. E., Vodouhè S. D., Gbèhounou G., Haagsma R., Zannou E. T., Guédénou A., Kossou D. K. et Van Huis A. 2014.** Evaluating of the 2009 reform of the cotton sector in Benin: perspectives from the field. *International Journal of Agricultural Sustainability*, Volume **12**, No **3**, 276-295. - ISSN : 1473-5903 (Print), 1747-762X (Online) <http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2014.909637>
- Tomassone, R., Dervin, C., Masson, J. P. 1993.** Biométrie modélisation de phénomènes biologiques. Edition Masson, Paris. ISBN : 2-225-8407-1.
- Tossou C.C. 2001.** Impact de la culture de l'ananas sur l'environnement dans le département de l'Atlantique (République du Bénin). Mémoire de DESS en Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles. FSA-UAC.
- Tran, V. A., 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.
- Tran, V. A., Boko, K. A. 1978.** Recueil des méthodes d'analyses des sols. Projet d'Agro-Pédologie. Cotonou République Populaire du Bénin.
- Treto, E. 1992.** Nutrition et fertilisation des pina: 20 ans de recherche à l'Institut national des sciences agricoles (INCA). *Cultures tropicales*, **13**: 2 - 3.

- Tyner, E. H. 1946.** The relation of maize yields to leaf nitrogen, phosphorous and potassium content. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 11: 317-323.
- Ulrich, A., Hills, F. J. 1973.** Plant analysis as an aid in fertilizing sugar crops. Part I. Sugar beets. P.271-288. In Walsh L. M. and Beaton J. D. (ed). *Soil Science Society of America*. Madison. WI.
- Vigier, B., A.F. Mackenzie et Chen Z. 1989.** Evaluation of diagnosis and recommendation integrated System (DRIS) on early maturing soybeans. *Soil Sci. Plant Anal.*, 20: 685-693.
- Volkoff B. 1976.** Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200 000 : feuille d'Abomey. *ORSTOM, notice explicative*, n°66 (2), 40 p.
- Volkoff B., Willaine P. 1976.** Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200 000 : Feuille de Porto-Novo. *ORSTOM, notice explicative*, n°66 (1), 39 p.
- Wadt, P.G.S. 1996.** Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Viçosa: UFV. 123p. (Tese - Doutorado).
- Walworth, J. L, Sumner M. E. 1986.** Foliar diagnosis- a review. *Adv. Plant Nutr.* V3:193-241.
- Watts, B. M., Ylimaki, G.L., Jeffery, L.E., Elias, L.G. 1991.** Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Ottawa, Ont., CRDI. 159 p.
- Willmott, C. 1982.** Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin of the American Meteorological Society* 63: 1309–1369.

ANNEXES

ANNEXE 1: ARTICLES PUBLIES DANS LA THESE

African Journal of Agricultural Research Vol. 6(27), pp. 5841-5847, 19 November, 2011
Available online at <http://www.academicjournals.org/AJAR>
DOI: 10.5897/AJAR11.889
ISSN 1991-637X ©2011 Academic Journals

Full Length Research Paper

Preliminary DRIS model parameterization to access pineapple variety 'Perola' nutrient status in Benin (West Africa)

Emile C. AGBANGBA^{1,4*}, Gérard Pierre OLODO¹, Gustave D. DAGBENONBAKIN², Valentin KINDOMIHOU³, Léonard Elie AKPO⁴ and Nestor SOKPON¹

¹Department of Plant Sciences, Faculty of Agronomy, University of Parakou, Benin.

²Cotton and Fiber Research Centre, National Institute of Agricultural Research of Benin, Benin.

³Laboratory of Applied Ecology, Department of Natural resources Management, Faculty of Agronomic Sciences, University of Abomey - Calavi, Benin.

⁴Laboratory of Ecology and Eco-hydrology, Department of Crops Science, Faculty of Science and Technology, University Cheikh Anta Diop of Dakar, Senegal.

Accepted 25 October, 2011

Nutritional diagnosis is an important tool for increasing fruit yield and fruit quality through efficient fertilization management. The aim of the study is to investigate whether there are specific DRIS norms for pineapple 'Perola' for a better soil fertility management in Benin. A preliminary Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms for 'Perola' pineapple growing in plantations Allada district (Benin) are presented. DRIS norms were established from a data bank of leaf nutrient concentration (N, P, K, Ca, Mg and Zn) and fruit yield with 60 samples gathered from farmers' plantations. The data were divided into high-yielding (>66.7 t/ha) and low-yielding (<66.7 t/ha) sub-populations and norms were computed using standard DRIS procedures. These norms were developed with data from only one cropping region, so they should be considered as preliminary, probably requiring some modification as more data become available. The norms were significantly different from those presented in the literature, except for N/K whose value is similar to the existing norm. We conclude that our results revealed that DRIS norms depend on pineapple cultivar.

Key words: Perola pineapple, diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) model, nutrient status.

INTRODUCTION

Nutritional diagnosis is an important tool for increasing fruit yield and fruit quality through efficient fertilization management (Mourão, 2004). This aspect was pointed out by Lacoëuilhe (1984) who reviewed some relations between nutritional status of pineapple plants and fruit production. According to Marschner (1997), the use of chemical analysis of plant material for diagnostic purposes is based on the assumption that causal relationships exist between growth rates (and yield) and nutrient content in the shoot dry matter. However, foliar analysis is helpful for assessing plant nutrient status only

if adequate procedures are available for making diagnoses from analytical data (Walworth and Sumner, 1987). Critical leaf nutrient concentrations have frequently been used to diagnose nutritional status of plants (Tyner, 1946; Viets et al., 1954; Beaufils and Sumner, 1977). The critical concentration approach is somewhat erroneous in that 'critical nutrient concentrations' are not independent diagnostics, but can vary in magnitude as the background concentrations of other nutrients increase or decrease in crop tissue (Walworth and Sumner, 1986; Bailey, 1989, 1991, 1993). These criteria have been evaluated for a wide range of crops (Katyal and Randhawa, 1985; Jones et al., 1990; Westfall et al., 1990; Kelling and Matocha, 1990). According to Beaufils (1973) and Walworth and Sumner (1987), an

*Corresponding author. E-mail: agbaemile@yahoo.fr.



DRIS model parameterization to access pineapple variety 'Smooth Cayenne' nutrient status in Benin (West Africa)

Abstract

Authors

Emile C. Agbangba

University of Parakou, Benin, Faculty of Agronomy, Department of Plant Sciences,
E mail: agbaemile@yahoo.fr

Elvire Line Sossa

University of Abomey - Calavi, Benin, Faculty of Agronomic Sciences, Department of Natural resources Management, Laboratory of Applied Ecology

Gustave D. Dagbenonbakin

National Institute of Agricultural Research of Benin, Benin, Cotton and Fiber Research Centre

Sekouna Diatta

University Cheikh Anta Diop of Dakar, Senegal, Faculty of Science and Technology, Department of Crops Science, Laboratory of Ecology and Ecohydrology

Léonard Elie Akpo

University Cheikh Anta Diop of Dakar, Senegal, Faculty of Science and Technology, Department of Crops Science, Laboratory of Ecology and Ecohydrology

Nutritional diagnosis is an important tool for increasing fruit yield and fruit quality through efficient fertilization management. The aim of the study is to investigate whether there are specific DRIS norms for pineapple 'Smooth Cayenne' for a better soil fertility management in Benin. A preliminary Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms for 'Smooth Cayenne' pineapple growing in plantations of the township of Allada (Benin) are presented. DRIS norms were established from a data bank of leaf nutrient concentration (N, P, K, Ca, Mg, S and Zn) and fruit yield with 60 samples gathered from farmers' plantations. The data were divided into high-yielding (>88 t/ha) and low-yielding (<88 t/ha) sub-populations and norms were computed using standard DRIS procedures. These norms were developed with data from only one cropping region, so they should be considered as preliminary, probably requiring some modification as more data become available. The norms were significantly different from those presented in the literature. We conclude that our results revealed that DRIS is not immune to bias from locality effects.

Introduction

Nutritional diagnosis is an important tool for increasing fruit yield and fruit quality through efficient fertilization management (Mourão Filho, 2004). This aspect was pointed out by Lacoëuilhe (1984) who reviewed some relations between nutritional status of pineapple plants and fruit production. According to Marschner (1997), the use of chemical analysis of plant material for diagnostic purposes is based on the assumption that causal relationships exist between growth rates (and yield) and nutrient content in the shoot dry matter. However, foliar analysis is helpful for assessing plant nutrient status only if adequate procedures are available for making diagnoses from analytical data (Walworth and Sumner, 1987). Critical leaf nutrient concentrations have frequently been used to diagnose nutritional status of plants (Tyner, 1946; Viets *et al.*, 1954; Beaufils et Sumner, 1977).

The critical concentration approach is somewhat erroneous in that 'critical nutrient concentrations' are not independent diagnostics, but can vary in magnitude as the background concentrations of other nutrients increase or decrease in crop tissue (Walworth and Sumner, 1986; Bailey 1989, 1991). These criteria have been evaluated for a wide range of crops (Katyal and Randhawa 1985; Jones *et al.*, 1990; Westfall *et al.*, 1990; Kelling and Matocha 1990). According to Beaufils (1973) and Walworth and Sumner (1987), an alternative approach to nutritional status evaluation is the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). This method uses a comparison of leaf tissue concentration ratios of nutrient pairs with norms developed from high-yielding populations to diagnose nutrient status. DRIS has been used successfully to interpret the results of foliar analyses for a wide range of crops such as rubber and sugarcane (Elwali and Gascho 1984), potato



Influence de la fertilisation minérale sur la qualité physico-chimique et organoleptique du jus d'ananas transformé de Cayenne lisse au Bénin

Codjo Emile AGBANGBA^{1,8*}, Gustave Dicudonné DAGBENONBAKIN²,
Coovi Paul DJOGBENOU², Paul HOUSSOU³, Emilienne Devi ASSEA⁴,
Elvire Line SOSSA⁵, Ulrich Assirius KOTOMALÈ⁶, Prosper AHOTONOU⁷,
Cissé NDIAGA⁸ et Léonard Elie AKPO¹

¹Université Cheikh Anta Diop, Département de Biologie Végétale,
Laboratoire d'Ecologie et d'Ecohydrologie, Dakar, Sénégal.

²Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Cotonou, Bénin.

³Institut National des Recherches Agricoles du Bénin,
Programme de Technologie Agricole et Alimentaire (PTAA), Cotonou, Bénin.

⁴Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest, Unité Universitaire de Cotonou,
Département d'Agronomie, Cotonou, Bénin.

⁵Université d'Abomey-Calavi, Département de Production Végétale,
Laboratoire des Sciences du Sol, Cotonou, Bénin.

⁶Université d'Abomey-Calavi, Département de Nutrition et Sciences Alimentaires,
Laboratoire de Microbiologie et Biotechnologie Alimentaire (LMBA), Cotonou, Bénin.

⁷Association Régionale des Producteurs d'Ananas de l'Atlantique, Original Jus d'Ananas,
Commune d'Allada, BP 25, Allada, Bénin.

⁸Regional Centre for Studies on the Improvement of Plant Adaptation to Drought Thies, Senegal.

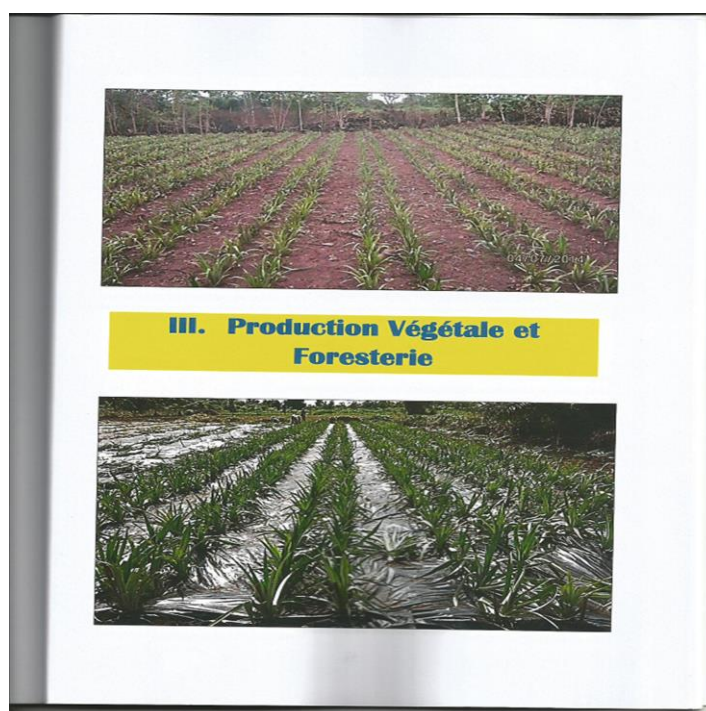
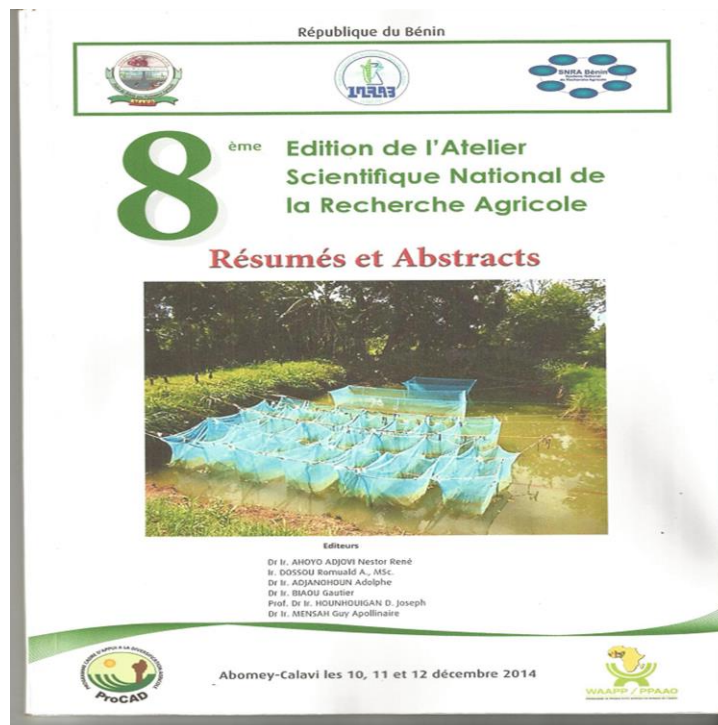
*Corresponding author; E-mail : agbaemile@yahoo.fr

RESUME

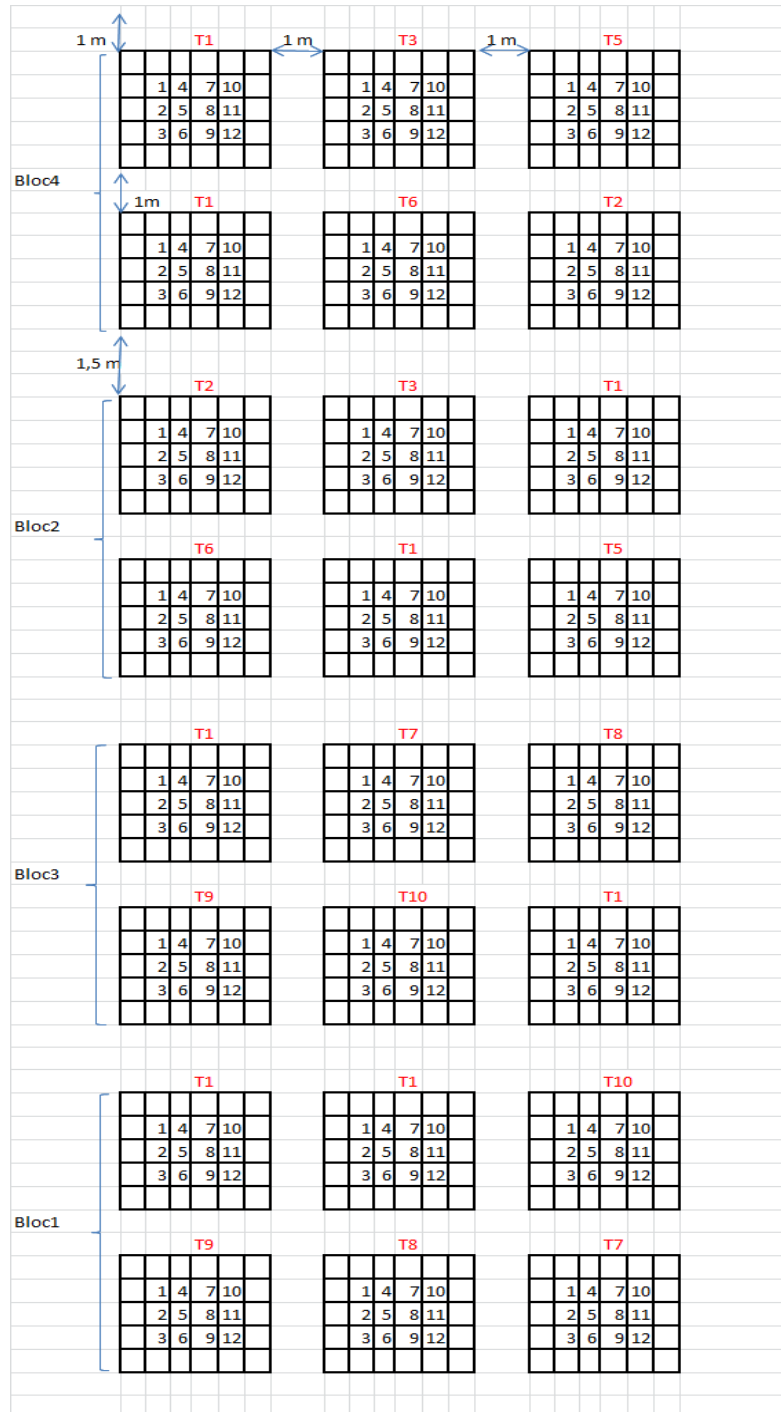
L'objectif de l'étude est d'analyser l'influence de la fertilisation N, P et K sur les caractéristiques physico-chimique et organoleptique du jus Cayenne lisse produit au Bénin. Un essai en plan factoriel NPK complet a été installé à Soyo, un village de la commune d'Allada du Département de l'Atlantique en République du Bénin. Les traitements NPK appliqués en unités fertilisantes exprimées en g/plant et randomisés dans quatre blocs ont été les suivants : T1: 6,7-1,6-9,3 ; T2 : 2,7-2,7-2,7 ; T3: 10,7- 0,5-2,7 ; T5: 10,7- 2,7-16 ; T6: 2,7- 2,7-16 ; T7: 2,7- 2,7-16 ; T8: 10,7-2,7-2,7 ; T9: 2,7-0,5-2,7 ; T10: 10,7- 0,5-16. Le degré Brix du jus a été déterminé au réfractomètre et le pH au pH-mètre. Une évaluation des caractéristiques sensorielles telles que le goût sucré, le goût acide et l'arôme du jus d'ananas fabriqué a été effectuée par un panel de dégustateurs sélectionnés et entraînés. Une analyse en composantes principales, suivie d'une classification numérique a été réalisée sur les caractéristiques sensorielles et physico-chimiques des fruits. Les traitements T1, T3, T5 et T6 ont permis d'obtenir des jus de qualité organoleptique appréciable.

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Intensification, Rendement, Jus, Evaluation sensorielle, Fumure, Allada.



ANNEXE 2: DISPOSITIF EXPERIMENTAL POUR CHACUN DES ESSAIS DE CAYENNE LISSE ET DE PAIN DE SUCRE



ANNEXE 3 : REPARTITION DES COUTS DE PRODUCTION D'ANANAS

N° d'ordre	Désignation	Les investissements et leur amortissement				Amortissement pour un cycle	Amortissement pour un Kg
		nombre	Prix unitaire	Montant	Durée d'amortissement		
1	Coupe- coupe	2	3000	6000	2	4500	0,06
2	Couteau	6	2000	12000	3	6000	0,09
3	Hache	2	3000	6000	4	2250	0,03
4	Houes	4	2000	8000	2	6000	0,09
5	Nichor	2	3000	6000	4	2250	0,03
6	Paire de bottes	4	10000	40000	4	15000	0,21
7	Paire de gants	20	1000	20000	2	15000	0,21
8	Paire de lunettes	2	3000	6000	2	4500	0,06
9	Plantoirs Plastic	6	2000	12000	3	6000	0,09
10	d'épandage	4	1000	4000	2	3000	0,04
11	Pulvérisateur	2	80000	160000	5	48000	0,69
12	Tonneau en plastic	2	20000	40000	5	12000	0,17
13	Bidon de TIF	2	10000	20000	4	7500	0,11
14	Cache-nez	4	3000	12000	2	9000	0,13
15	Cordeau (mètre)	100	200	20000	5	6000	0,09
	Total			372000		147000	2,1

ANNEXE4 : COUT DE REVIENT DE L'ANANAS

	Poste de dépenses	Dépense par ha
Intrants	Rejets	780000
	Urée	207392,5
	Sulfate de potassium	316176
	Superphosphate triple	58434,78
	Carbure	21000
	Ethrel	65000
	Eau	12000
	A-Total Intrants	1460003,28
Main d'œuvre	Défrichement	25000
	Endainage et ramassage	10000
	Essouchage -labour	225000
	Traitements des rejets	130000
	Parcellisation et piquetage	10000
	Mise en terre des rejets	52000
	Sarclage (10 fois)	250000
	Epannage (6 fois)	240000
	Traitements d'induction florale (3 fois)	112500
	Comptage des fleurs/fruits	10000
	Ethrelage	90000
	Récolte	50000
	B-Total Main d'œuvre	1204500
Amortissement par cycle	C-Total Amortissement	147000
TOTAL	A+B+C	2811503,28
Rendement t/ha		119,43
Prix de revient par Kg		23,54

ANNEXE 5: BULLETIN POUR LES TESTS DE DEGUSTATION

Bulletin pour un test d'identification des saveurs de base

Nom :

Date :

Identification des saveurs de base

Veillez goûter chacune des solutions dans l'ordre indiqué sur le bulletin, du haut vers le bas. Les solutions peuvent être sucrées, acides, salées ou amères. Il se peut qu'il y ait sur votre plateau un échantillon ou plus ne contenant que de l'eau. Identifiez la solution dans chaque tasse codée. Rincez-vous la bouche à l'eau avant de commencer à les goûter et entre chaque dégustation.

Code

Saveur

Bulletin du test triangulaire

Nom :

Date :

On vous a remis trois échantillons de jus de citron dilué. Deux sont identiques et un différent.

Goûtez les échantillons énumérés ci-dessous et inscrivez un crochet à côté du numéro de code de l'échantillon différent.

Code

L'échantillon différent est :

Bulletin pour un test de notation d'intensité

Nom :

Date :

Caractéristiques	Echantillon	Pas du tout	Légèrement	Modérément	Fortement	extrêmement
Goût acide	337					
	683					
	362					
	695					
	707					
	337					
	683					
	362					
	695					
	707					
Arôme	337					
	683					
	362					
	695					
	707					
	337					
	683					
	362					
	695					
	707					
Goût sucré	337					
	683					
	362					
	695					
	707					
	337					
	683					
	362					

Bulletin pour le test hédonique sur les échantillons d'ananas en se servant d'une échelle à neuf niveaux

Nom :

Date :

Veillez examiner et goûter chaque échantillon d'ananas dans l'ordre de gauche à droite, tel qu'indiqué sur le bulletin. Indiquez dans quelle mesure vous avez aimé ou pas aimé chaque échantillon en cochant la mention appropriée en dessous du numéro de code de chaque échantillon.

Code : 707	Code : 695	Code : 362	Code : 683	Code : 337
aimé	aimé	aimé	aimé	aimé
_énormément	_énormément	_énormément	_énormément	_énormément
aimé	aimé	aimé	aimé	aimé
_Beaucoup	_Beaucoup	_Beaucoup	_Beaucoup	_Beaucoup
aimé	aimé	aimé	aimé	aimé
_modérément	_modérément	_modérément	_modérément	_modérément
aimé	aimé	aimé	aimé	aimé
_un peu	_un peu	_un peu	_un peu	_un peu
_indifférent	_indifférent	_indifférent	_indifférent	_indifférent
pas aimé	pas aimé	pas aimé	pas aimé	pas aimé
_beaucoup	_beaucoup	_beaucoup	_beaucoup	_beaucoup
pas aimé	pas aimé	pas aimé	pas aimé	pas aimé
pas aimé	pas aimé	pas aimé	pas aimé	pas aimé
_du tout	_du tout	_du tout	_du tout	_du tout
Détesté	Détesté	détesté	détesté	détesté
Commentaires :	Commentaires :	Commentaires :	Commentaires :	Commentaires :