

Diagnostic participatif de la fertilité des sols des exploitations agricoles à base de maïs (*Zea mays*) dans les départements du Zou et des Collines au Bénin

S. Kodjo²⁵, A. Adjanohoun²⁶, T. P. Akondé²⁷, K. Aïhou²⁵, G. Kpagbin²⁸, H. Gotoechan²⁹
et A. M. Igue²⁸

Résumé

La gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) qui a été appliquée dans les 5 villages pilotes du Centre Bénin a permis d'asseoir une approche basée sur l'efficacité des interventions en matière d'intensification agricole en mettant en symbiose aussi bien, les innovations techniques que celles des institutions partenaires. Cette opération visait également à promouvoir l'accès des agriculteurs aux fondamentaux des engrais et aux informations. L'expérimentation au cours des 2 années a contribué à la dissémination d'informations clé liées à la gestion intégrée de la fertilité des sols aux agriculteurs et leurs organisations ainsi qu'aux partenaires impliqués dans la vulgarisation agricole dans la zone d'intervention, les organisations de développement, les politiques et les donateurs. Ces 2 années ont également servi à asseoir des fora de discussions et d'échanges d'expériences entre divers acteurs sur l'intensification et l'agriculture durables. Des outils clés ont été produits et disséminés à l'échelle régionale. Tout ceci peut, à terme, faciliter le développement de systèmes plus compétitifs et stimuler les activités de collaboration entre diverses institutions partenaires dotées d'expériences et de potentialités variées.

Mots clés : Diagnostic, fertilité, intégrée, exploitations, maïs.

Participative diagnosis of the soil fertility of maize (*Zea mays*) production's farm in the departments of Zou and Collines in Benin

Abstract

The Integrated Soil Fertility Management (ISFM) implemented in the 5 pilot sites helped to develop an agribusiness development approach that focuses on agricultural intensification processes and hinges on both institutional and technical innovation. It aims at improving access of farmers at the grassroots to inputs and information. These implemented actions during the 2 years contributed to the dissemination of ISFM-related information to farmers and their organizations, agricultural extension dealers, development agencies, policy makers and donors. These two years have been also used to provide a forum for exchange of information and of experiences related to sustainable agricultural intensification; produce and disseminate tools to identify opportunities for sustainable agricultural intensification at the regional level. This can help to facilitate the development of competitive agricultural systems and stimulate collaborative activities, involving facilitating institutions with different experiences and background.

Key words: Integrated, soil, fertility, management, maize.

²⁵ MSc. Ir. Siaka KODJO, Centre de Recherches Agricoles Centre (CRA-Centre), Institut National de Recherche Agronomique du Bénin (INRAB), B.P. 112 Savè, Tél.: (+229) 97328205, 95052731 ; E-mail : kodsese@yahoo.fr, République du Bénin

Dr Ir. Kouessi AIHOU, CRA-Centre/INRAB, B.P. 112 Savè, E-mail : k_ahou@yahoo.fr, République du Bénin

²⁶ Dr Ir. Adolphe ADJANOHOON, Centre de Recherches Agricoles Sud, INRAB, BP 03 Attogon (Niaouli), Tél. : (+229) 90 02 98 16, E-mail : adjanohouna@yahoo.fr, République du Bénin

²⁷ Dr Ir. Pierre T. AKONDE, INRAB, Cotonou Tél. +229 97 68 23 80 ; Email : akondetpierre@yahoo.fr, République du Bénin

²⁸ Ir. Gustave KPAGBIN, Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement, Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey, Institut National de Recherche Agronomique du Bénin, 01 B.P. 988 Recette Principale, Cotonou 01, République du Bénin, Tél. : (+229) 97093958. E-mail : agkpagbin@yahoo.fr

Prof. Dr Ir. Attanda Mouinou IGUE, Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement, Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey, Institut National de Recherche Agronomique du Bénin, 01 B.P. 988 Recette Principale, Cotonou 01, Tél. : (+229) 97 472153, E-mail : igue_attanda@yahoo.fr, République du Bénin

²⁹ MSc. Ir. Henriette GOTOECHAN-HODONOU, Unité Planification Suivi Evaluation, Direction Scientifique, INRAB, Tél. : (+229) 21 30 02 64 / 97 47 77 04 / 95 42 80 64, E-mail : henriette_hodonou@yahoo.fr, République du Bénin

INTRODUCTION

Des actions de Recherche-Actions ont été entreprises dans 5 villages pilotes des Départements des Collines et du Zou par le Centre des Recherches Agricoles du Centre (CRA-Centre) et le Centre International pour le Développement des Fertilisants avec l'appui financier du Projet d'appui à la Gestion des Forêts Communales (PAGEFCOM) en 2007 et 2008. Ces actions ont porté sur le diagnostic de la fertilité des sols dans 5 villages pilotes. Le présent document fait le point de la mise en œuvre des activités menées en matière de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) et des résultats obtenus sur les 2 années d'exercice. Ces activités ont été menées en collaboration avec les Centres Communaux pour la Promotion Agricole (CeCPA) de Glazoué, Savalou et Zagnanado.

L'objectif principal de ce volet est de développer des pratiques de Gestion Intégrée de la fertilité des Sols (GIFS) pour l'intensification agricole dans les zones d'influence (villages périphériques) des Forêts communales implantées par le PAGEFCOM dans les Départements des Collines et du Zou.

Il s'agit spécifiquement de : -i- appuyer les agriculteurs ayant développé leur Plan de Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (PGIFS) ; -ii- renforcer les capacités d'innovation des agriculteurs à travers leur implication dans les processus d'apprentissage ; -iii- coordonner les actions de l'Equipe de recherche du CRA-Centre avec celles des autres partenaires tels que l'équipe IFDC (International Center for Soil Fertility and Agricultural Development) au Bénin, le Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement (LSSEE) du Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey (CRA-Agonkanmey) et les autres acteurs du dispositif d'intervention.

MATERIEL ET METHODES

Les performances des cultures sur les parcelles diagnostiques ont été observées à partir d'un dispositif expérimental d'essais à deux facteurs: la plante-test qu'est le maïs et les engrais minéraux.

Dispositif expérimental

Le dispositif devrait respecter le principe des essais soustractifs impliquant les trois éléments fertilisants majeurs: Azote (N), Phosphore (P) et Potassium (K). Le dispositif était un bloc à 5 traitements dont 4 traitements soustractifs (NPK, NP, NK et PK) et un cinquième traitement de référence (T₀), la pratique paysanne sans apport d'engrais minéral. La parcelle diagnostique était subdivisée en 5 sous-parcelles disposées en bloc selon le schéma de la figure 1. Ce dispositif a permis lorsque l'observateur est au carrefour principal, d'avoir une vue d'ensemble sur les sous-parcelles et de réaliser les comparaisons lors des séances participatives d'observation ou d'évaluation.

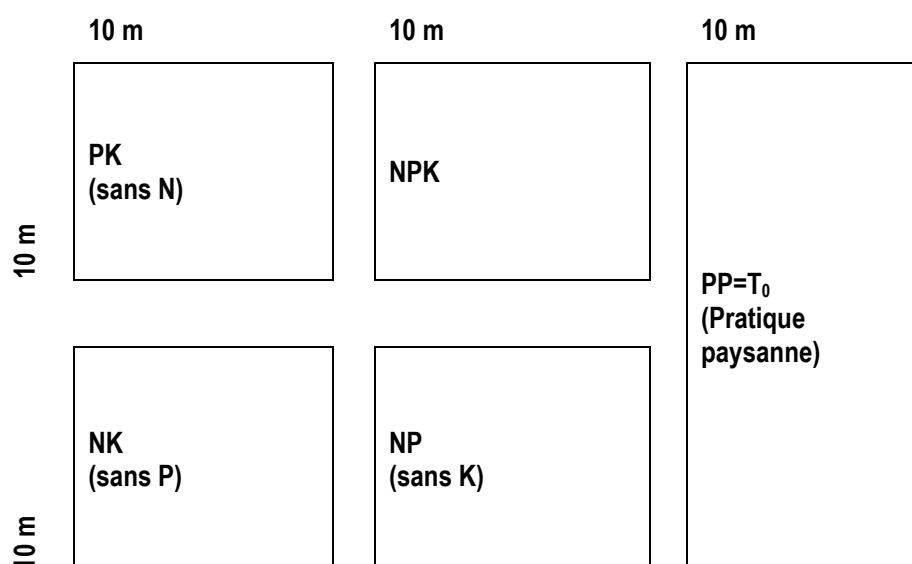


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental d'une parcelle diagnostique

Deux types d'essais ont été installés sur les parcelles diagnostiques selon le dispositif expérimental ainsi décrit. Chaque type d'essai portait sur un système de culture donné: le système maïs en culture pure et le système "association maïs – manioc". La variété de maïs utilisée sur tous les sites était le DMR à cycle court et pour le manioc, la variété BEN 86 052 a été utilisée.

L'urée 46% d'azote, le triple superphosphate (TSP) à 46% de P₂O₅ et le chlorure de potassium (KCl) à 60% de K₂O ont été les trois engrais simples utilisés dont les doses d'éléments fertilisants appliquées par système de culture ont été consignées dans le tableau 1. La dose d'azote a été fractionnée en les deux apports égaux suivants sur le maïs en culture pure : 15 à 21 jours après semis (JAS) ; 40 à 45 JAS. Pour l'association maïs-manioc, la dose d'azote a été fractionnée en les trois apports égaux suivants : les deux premiers apports aux mêmes périodes que pour le maïs pur ; le troisième apport après le désherbage (sarclage des chaumes) suite à la récolte du maïs. Les doses de phosphore et de potassium ont été appliquées en fumure de fond.

Tableau 1. Doses d'éléments fertilisants par système de culture et par traitement (kg/ha)

Élément fertilisant	Doses d'éléments fertilisants (kg/ha) dans le système							
	Maïs en culture pure				Association maïs-manioc			
	NPK	NP	NK	PK	NPK	NP	NK	PK
N	90	90	90	0	150	150	150	0
P ₂ O ₅	40	40	0	40	70	70	0	70
K ₂ O	30	0	30	30	100	0	100	100

Transects dans les villages pilotes et validations des cartes de terroirs

La réalisation des transects a été faite à titre démonstratif dans le village de Lama avec l'appui du LSSEE et dans les 2 autres villages de Gossoé et Houin par les équipes du CRA-Centre. Ces transects ont permis aux producteurs de découvrir et d'échanger sur la diversité des terroirs villageois notamment la classification des types de sol identifiés par eux au cours des diagnostics. Au cours des transects, des sondages ont été réalisés à certains points d'arrêt. Ces sondages ont permis aux agriculteurs de connaître les différences entre les types de sol. De plus des profils pédologiques ont été installés pour faire toucher du doigt aux producteurs le caractère stratifié des différents horizons de l'écorce terrestre tout au moins dans le 1^{er} mètre.

Les transects ont également eu pour intérêt de compléter et corriger les informations contenues dans les cartes de terroir des villages précédemment élaborés lors des diagnostics rapides exécutés avec l'appui de l'IFDC et ses équipes de collaborateurs au début de l'année 2008. Un autre intérêt majeur de ces opérations a été d'identifier par les producteurs eux-mêmes, les utilisations, les tendances et les problèmes de chaque zone du terroir ainsi que les solutions envisageables pour une gestion plus rationnelle et durable de la ressource "sol" dans les terroirs des villages-cibles.

Des échantillons ont été ensuite prélevés sur chaque type de sol pour la réalisation participative des tests de décantation de stabilité et d'infiltration. Le rôle important de l'argile et de la matière organique dans la fertilité des sols a été mis en évidence et a permis de sensibiliser davantage les producteurs sur la nécessité d'une bonne gestion de la matière organique au niveau de leurs exploitations. Ceci a eu pour intérêt d'aider les agriculteurs à mieux conduire avec efficacité, la conservation de leurs sols pour une utilisation beaucoup plus durable. Sur les différents sites, les essais ont été menés sur différents types de sols (Tableau 2) classés en langue locale et dans les classifications, CPCS (1967) et FAO (1998).

A Lama par exemple, les tests ont porté sur ce qui suit :

- le sol appelé "Ado" en mahi qui est le sol ferrugineux tropical lessivé modal dans la classification CPCS (française) et Luvisol eutrique dans la Légende FAO et
- le sol dénommé "Kozo" en "mahi" appelé sol brun eutrique hydromorphe dans la classification CPCS et Cambisol gleyique dans la Légende FAO.

Tableau 2. Corrélation entre typologies paysannes et scientifiques des sols

Type de sols	Miniffi	Gomé	Gbanlin	Akpéro	CPCS	BRMRS
Sols peu profonds	–	–	Sangué	Ilè tchowa	Sols peu évolués, d'érosion	Leptosols hapliques
Sols sableux	Yinkin	Ilè yanri	Ado wéwé	Ilè yanri	Sols peu évolués, d'apport	Arénosols hapliques
Sols graveleux	Kin	–	Ado wéwé	Ilè tchowa	Sols ferrugineux tropicaux remaniés	Régosols aréniques
Sols rouges	Ko vovo	–	Ayikoungban vovo	Ilè kpikpa	Sols ferrallitiques peu désaturés	Acrisols chromiques
Sols brun-jaunâtre peu concrétionnés	Ko wiwi	Ilè odan, ilè kpoto	Ado wiwi	Ilè akété, Ilè gbigbèdè	Sols ferrugineux tropicaux lessivés peu concrétionnés	Luvisols eutriques
Sols brun rouge très concrétionnés ou indurés	–	Ilè itcho gui	Ahouanlin kin	Ilè tchowa	Sols ferrugineux tropicaux très concrétionnés ou indurés	Plinthosols ferriques
Sols bruns des axes de drainage et Sols bruns eutrophes	ko wéwé	Ilè aman	Ayikoungban wiwi	Ilè amon	Sols alluviaux et ferrugineux hydromorphes	Fluvisols et Lixisols gleyiques ; Cambisols eutriques

Collecte de données et analyses

Dans chaque village les opérations effectuées sur les parcelles diagnostiques installées par les agriculteurs ont été marquées par 2 étapes essentielles suivantes:

- au plan qualitatif, les observations et évaluations participatives en phase végétative et,
- au plan quantitatif, les évaluations et mesures participatives de rendements à la phase de récolte.

Les observations et évaluations participatives ont été collectées à l'aide de fiches élaborées avec la participation active des agriculteurs-expérimentateurs.

Les données quantitatives de récolte ont été encodées avec le tableur MS Excel. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS pour les statistiques descriptives et par la comparaison des moyennes par paire au moyen du test t de Student apparié.

RESULTATS ET DISCUSSION

Site expérimental de Lama (commune de Savalou)

À Lama, un seul système de culture, 'maïs en pur' a été réalisé au cours de la campagne 2008-2009. Les résultats de rendement grain pour l'ensemble des 3 types de sols du terroir villageois ont été présentés dans la figure 2 et le tableau 3. L'application des différentes combinaisons des types d'engrais (en mode soustractif) a occasionné des accroissements de rendements en maïs grain par rapport au traitement témoin (T0) de l'ordre de 115,6 à 258,9% pour les sols de type Ado. Pour les sols de type Ahouanninkin, les accroissements observés étaient de 30,7 pour le traitement PK à 94,3% pour le NPK par rapport à T0. Concernant les sols de type Kozo, les accroissements de rendements enregistrés ont varié de 40,3 à 141,4% respectivement pour les traitements PK et NPK. Sur l'ensemble des sols du village pilote de Lama, l'élément le plus limitant restait incontestablement l'azote (N) suivi du phosphore (P) et du potassium (K) par ordre de priorité comme le montre la figure 2, quel que soit le type de sol.

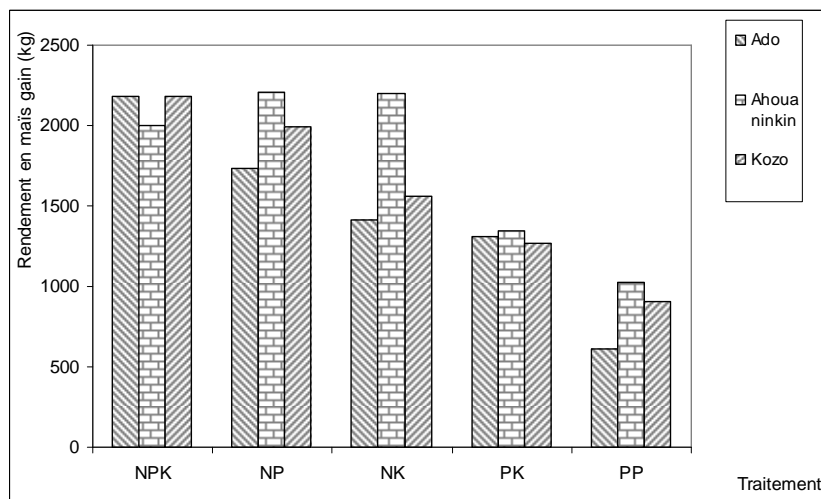


Figure 2. Rendements moyens en maïs-grain des différents traitements par type de sol à Lama, système maïs en pur

Tableau 3. Comparaison des rendements moyens en maïs-grain des traitements de 17 parcelles diagnostiques à Lama et taux d'accroissement des rendements sur les différents types de sols, système maïs en pur

Traitement par type de sol	T1	T2	T3	T4	T ₀
	NPK	NP	NK	PK	00
Ado (n = 8)	2.185,3 ^(a)	1.734 ^(ab)	1.417,5 ^(b)	1.312,8 ^(b)	608,9 ^(c)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	258,9	184,7	132,8	115,6	--
Ahouanninkin (n = 4)	1.998,5 ^(a)	2.203 ^(ab)	2.199,5 ^(ac)	1.344,5 ^(bc)	1.028,8 ^(bc)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	94,3	114,1	113,8	30,7	--
Kozo (n = 5)	2.178,8 ^(a)	1.987,4 ^(a)	1.558,2 ^(b)	1.266,4 ^(bc)	902,6 ^(d)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	141,4	120,2	72,6	40,3	--

Les valeurs moyennes sur une même ligne suivie de lettre(s) différente(s) sont significativement différentes ($p < 0,05$).

Dans ce village, les rendements les plus élevés ont été obtenus par le traitement NPK avec des valeurs de 2185,3; 1998,5 et 2178,8 kg/ha respectivement pour les sols Ado, Ahouanninkin et Kozo. Les plus faibles rendements ont été obtenus sur le traitement T₀ avec des valeurs qui ont varié de 608,9 kg/ha à 1028,8 kg/ha respectivement pour les sols Ado et Ahouanninkin. Dans ce village de Lama, le type de sol le plus intéressant relativement en matière de culture de maïs reste Ahouanninkin. Les sols de type Ado paraissent relativement moins intéressants avec des rendements relativement inférieurs à ceux des autres types de sols pour tous les traitements.

Dans le village de Lama, les éléments limitants dans l'ordre d'importance sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Dans les 3 types de sols explorés dans le village à savoir Ado, Ahouanninkin et Kozo et dans le système de culture "maïs pur", la comparaison des rendements des parcelles sur les traitements NPK et ceux des parcelles de soustraction et même des parcelles paysannes ont montré que les trois éléments ont été limitants (tableau 3 et figure 2).

Les recommandations qui ont découlé a priori de cette analyse en matière d'amendements envisageables pour la gestion de la fertilité des sols dans ce village doivent viser à donner la priorité aux options qui corrigent qualitativement et quantitativement les carences en azote. De plus l'on devrait veiller à un bon apport en phosphore comme élément de 2^{ème} ordre tout en conservant un bon équilibre dans les apports de potassium et de phosphore. La fertilisation de ces sols devrait imposer donc l'application ou la mise en œuvre de pratiques favorables à l'apport équilibré des trois éléments fertilisants majeurs N, P et K de préférence sous forme organo-minérale.

Ces résultats ont confirmé ceux obtenus en 2007 qui ont révélé que le type de sols Ahouanninkin était celui qui présentait la meilleure aptitude en matière de production de maïs de par son potentiel de richesse intrinsèque en nutriments P et K. De même l'ordre de priorité identifié en 2007 pour les carences en nutriments pour l'ensemble des types de sols n'avait pas varié: N, P et K.

Site expérimental de Gossoé (commune de Zagnanado)

À l'instar du village de Lama, un seul système de culture, 'maïs en pur' a été expérimenté au cours de la campagne 2008-2009 dans le village pilote de Gossoé. Les résultats de rendement en maïs-grain pour l'ensemble des 3 types de sols du terroir villageois ont été présentés dans le tableau 4.

Tableau 4. Comparaison des rendements moyens en maïs-grain des traitements de 13 parcelles diagnostiques à Gossoé et taux d'accroissement des rendements sur les différents types de sols, système maïs en pur

Traitement par type de sol	T1	T2	T3	T4	T0
	NPK	NP	NK	PK	00
Yinkin (n = 5)	1.752,4 ^(a)	1.487,6 ^(a)	1.391,8 ^(ab)	676,8 ^(b)	277,2 ^(c)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	532,1	436,7	402,0	144,1	--
Veissa (n = 4)	3.082,8 ^(a)	2.775,8 ^(a)	1.966 ^(ab)	1.480 ^(c)	928 ^(d)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	232,2	199,1	111,8	59,5	--
Kozo (n = 4)	2.737,8 ^(a)	2.082,3 ^(b)	1.586,5 ^(bc)	820,8 ^(cd)	418,2 ^(ce)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	554,6	397,9	279,3	96,3	--

Le degré de signification entre les traitements relatifs au sol rouge n'a pas été analysé en raison de nombre réduit des observations limité à 3. Les valeurs moyennes sur une même ligne suivie de lettre(s) différente(s) sont significativement différentes ($p < 0,05$).

L'application des différentes combinaisons d'engrais simples (dans un système soustractif) a occasionné des accroissements de rendements en maïs-grain par rapport au traitement témoin (T0) de l'ordre de 144,1% à 532,1% pour les sols de type Yinkin. Pour les sols de type Veissa, les accroissements observés sont de 59,5% pour le traitement PK à 232,2% pour le NPK par rapport à T0. Concernant les sols de type Kozo, les accroissements de rendements enregistrés varient de 96,3 à 554,6% respectivement pour les traitements PK et NPK par rapport à T0. Sur l'ensemble des sols du village pilote de Gossoé, l'élément le plus limitant reste l'azote (N) suivi du phosphore (P) et du potassium (K) par ordre de priorité. Sur les sols de type Yinkin et Veissa, les rendements des traitements NPK et NP ne sont pas statistiquement différents. Cela rend compte d'un potentiel intrinsèque de richesse en potassium de ces 2 types de sols dans la zone.

Pour une meilleure visibilité des résultats sur les grands groupes de sol du terroir du village, des rendements par type de sol ont été présentés dans la figure 3. Dans le village de Gossoé, les rendements les plus élevés ont été obtenus par le traitement NPK avec des valeurs de 1751,4; 2737,7 et 3083 kg/ha respectivement pour les sols Yinkin, Kozo et Veissa. Les plus bas rendements ont été obtenus sur le traitement T0 avec des valeurs qui varient entre 277,2 kg/ha à 928 kg/ha respectivement pour les sols Yinkin et Veissa en passant par 418,3 kg/ha pour le type Kozo. Dans le village de Gossoé, le type de sols relativement le plus intéressant en matière de culture de maïs est le Veissa. Les sols de type Yinkin paraissent relativement moins intéressants avec des rendements quelque peu inférieurs à ceux des autres types de sols pour tous les mêmes traitements.

Les recommandations faire en matière d'amendements à apporter aux sols dans ce village doivent viser essentiellement le relèvement du niveau de fertilité de l'azote et la correction de sa carence pour tous les 3 types de sols. De plus il faudra veiller à une correction de la carence en phosphore et enfin du potassium.

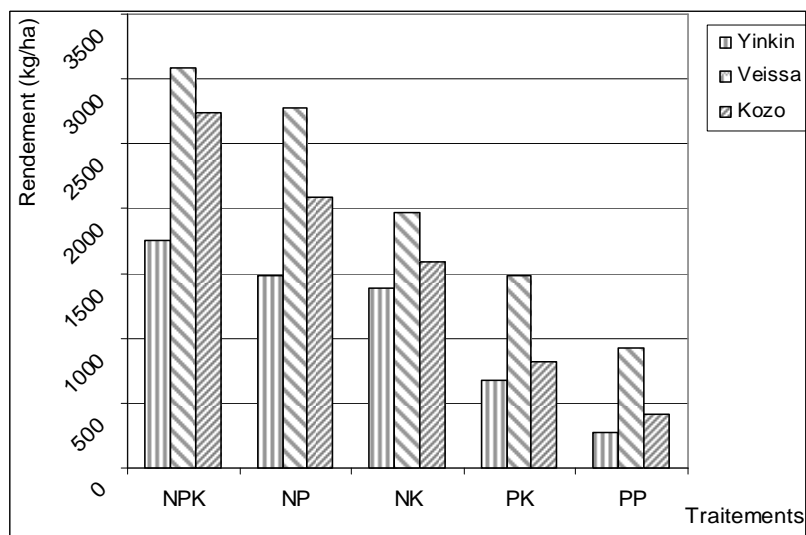


Figure 3. Rendements moyens en maïs-grain des différents traitements par type de sol à Gossoé, système maïs en pur

Site expérimental de Houin (commune de Glazoué)

Système de culture maïs en pur

A Houin, les deux systèmes de cultures, 'maïs en pur' et "association maïs-manioc" ont été expérimentés au cours de la campagne 2008-2009. Les résultats de rendement en maïs-grain pour l'ensemble des 2 types de sols du terroir du village ont été consignés dans le tableau 5.

Tableau 5. Comparaison des rendements moyens en maïs-grain des traitements de 7 parcelles diagnostiques à Houin et taux d'accroissement des rendements sur les 2 types de sols, système maïs en pur

Traitement par type de sol	T1	T2	T3	T4	T0
	NPK	NP	NK	PK	00
Sol noir (n = 4)	1.987,5(a)	1.907(ab)	1.537,3(ab)	1.308(b)	556,3(c)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	257,2	242,8	176,3	135,1	--
Sol rouge (n = 3)	1.698,7	1.755,7	1.174,7	1.132,3	481,3
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	252,9	264,7	144,1	135,2	--

Les valeurs moyennes sur une même ligne suivie de lettre(s) différente(s) sont significativement différentes ($p < 0,05$).

L'application des différentes combinaisons d'engrais simples (dans un système soustractif) occasionne des accroissements de rendements en maïs-grain par rapport au traitement témoin (T₀) de l'ordre de 135,1% à 257,2% pour les sols noirs. Pour les sols rouges, les accroissements de rendements en maïs grain observés sont de 135,2% pour le traitement PK à 252,9% pour le NPK par rapport à T₀.

Dans le village de Houin, les rendements les plus élevés ont été obtenus par le traitement NPK avec des valeurs de 1987,5 et 1907 kg/ha respectivement pour les sols noir et rouge (figure 4). Les plus bas rendements ont été obtenus sur le traitement T₀ avec des valeurs de 556,3 kg/ha et 481,3 kg/ha respectivement pour les sols noir et rouge. Il ressort de ces résultats que dans ce village, le type de sol relativement le plus intéressant en matière de culture de maïs est le sol noir. Le sol rouge paraît relativement moins intéressant avec des rendements quelque peu inférieurs à ceux du type noir pour tous les traitements. Dans tous les cas, les rendements obtenus sur sol noir sont supérieurs à ceux obtenus sur sol rouge.

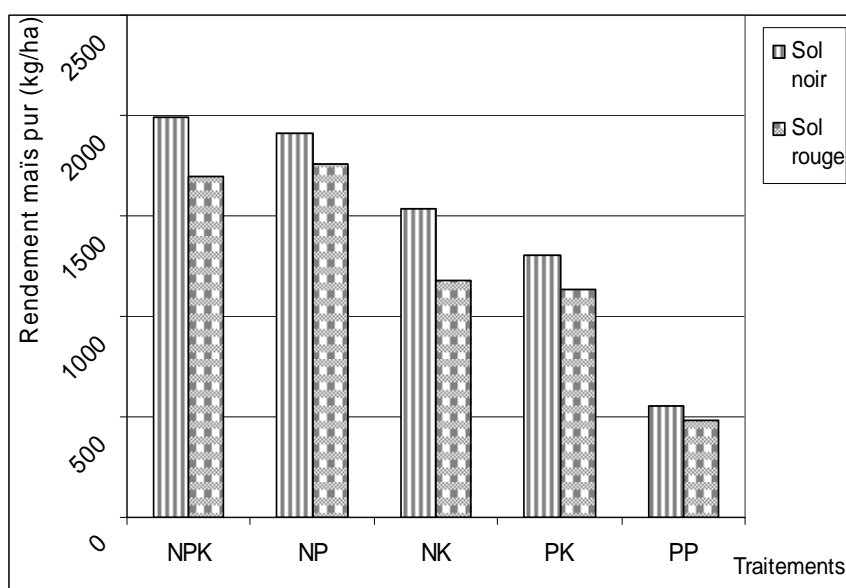


Figure 4. Rendements moyens en maïs-grain des différents traitements par type de sol Houin, système maïs en pur

Par ailleurs, les rendements obtenus pour les différents traitements ont montré que les éléments les plus limitants sont par ordre d'importance l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) pour les sols noirs. Pourtant, sur les sols rouges, cet ordre de priorité entre le P et K n'est pas perceptible de façon nette. Les rendements entre les traitements NP et NK sur les sols rouges sont très semblables et ne dénotent pas de priorité entre ces 2 fertilisants. Il ressort de ces résultats qu'il faudrait recommander et prioriser les amendements favorables à la correction des carences en N, P et K dans le village pour les sols noirs. Toutefois Concernant les sols rouges, il faudrait veiller après la correction de l'azote au maintien d'un bon équilibre entre le P et le K.

Système de culture maïs-manioc en association

Pour ce système de culture, les différents résultats obtenus sur l'ensemble des sols sont consignés dans le tableau 6.

Tableau 6. Comparaison des rendements moyens en maïs-grain des traitements de 7 parcelles diagnostiques à Houin et taux d'accroissement des rendements sur les 2 types de sols, système association maïs- manioc

Traitement par type de sol	T1	T2	T3	T4	T0
	NPK	NP	NK	PK	00
Sol noir (n = 4)	1.945,3(a)	1.601,5(a)	1.295,5(a)	1.064(b)	535,5(c)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	263,6	199,1	141,9	98,7	--
Sol rouge (n = 3)	1.636,3	1.566	1.359	584	456
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	258,8	243,4	198	28,1	--

Les valeurs moyennes sur une même ligne suivie de lettre(s) différente(s) sont significativement différentes ($p < 0,05$).

L'application des différentes combinaisons d'engrais simples (dans un système soustractif) occasionne des accroissements de rendements en maïs-grain par rapport au traitement témoin (T₀) de l'ordre de 98,7% à 263,3% pour les sols noirs. Pour les sols rouges, les accroissements observés sont de 28,1% pour le traitement PK à 258,8% pour le NPK par rapport à T₀. Sur les sols noirs, les rendements des 3 traitements NPK, NP et NK sont semblables (statistiquement). La soustraction de K

ou P n'a pas d'incidence significative sur les rendements du maïs-grain dans le système association maïs manioc. Sur les sols rouges par ailleurs, les accroissements de rendements entre NP et NPK respectifs de 243,4 et 258,8% sont semblables. Entre les traitements NP et NK les écarts entre les taux d'accroissements de 243,4 et 198% sont d'un autre côté relativement élevés. Il en résulte que la soustraction de P induit une baisse de rendement assez considérable. En somme, l'ordre de priorité des différents éléments est N, P et K sur l'ensemble des sols.

Les résultats obtenus sur les 2 types de sols ont été présentés dans la figure 5.

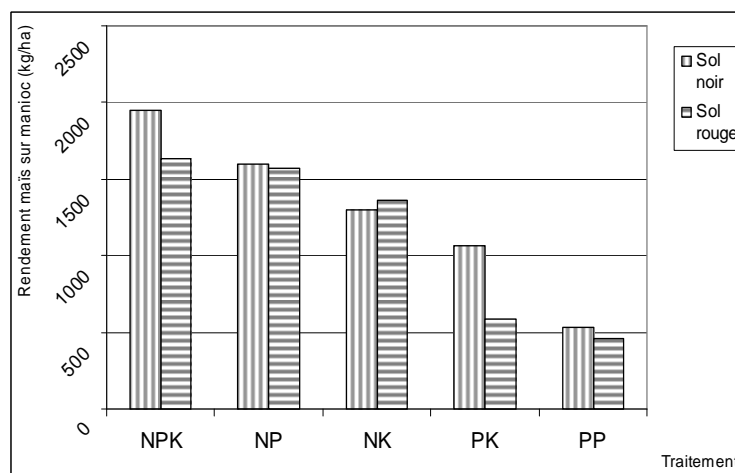


Figure 5. Rendements moyens en maïs-grain des différents traitements par type de sol à Houin, système maïs-manioc

Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec le traitement NPK avec des valeurs de 1.945,3 et 1.636 kg/ha respectivement pour les sols noir et rouge (figure 5). Les plus faibles rendements ont été obtenus sur le traitement T0 et PK. Les valeurs de rendements obtenus varient de 535,5 kg/ha à 456 kg/ha respectivement pour les sols noir et rouge. Il ressort de ces résultats que dans le village de Houin, le type de sol relativement le plus intéressant pour la production du maïs sur les associations de maïs-manioc est le sol noir. Le sol rouge apparaît quelque peu moins intéressant pour l'expression des potentialités de rendements du maïs. Les rendements produits en maïs-grain en association maïs-manioc ne sont semblables pas entre les traitements NP et NK d'une part et NK et PK d'autre part sur le sol noir. Concernant les sols rouges, les rendements en maïs grain sont semblables entre NPK et NP, NPK et NK d'une part et d'autre part entre NP et NK et enfin entre PK et T0. Si des amendements doivent être proposés, ils doivent viser à corriger les carences en azote ensuite celle en P et enfin, les carences en K. L'inexistence de priorité entre le P et le K telle que décrite dans le système maïs en pur, peut trouver son explication dans les prélèvements en K probables de potassium par le manioc qui inhibe et voile certainement cet état de chose.

Site expérimental d'Alafia (commune de Savè)

A Alafia, un seul système de culture, 'maïs en pur' a été expérimenté de façon concluante au cours de la campagne 2008-2009 dans le village. Les rendements en maïs-grain pour l'ensemble des 2 types de sols (sableux et gravillonnaire) du terroir villageois ont été consignés dans le tableau 7.

La non application des différents types d'engrais induit des baisses de rendements en maïs grain assez sensibles de l'ordre de 8,1 à 52,3% par rapport à l'application de la combinaison NPK comme référence sur des sols sableux par exemple un sol ferrugineux tropical appauvri (Tableau 7). De manière analogue sur sol gravillonnaire (sol ferrugineux tropical concrétionné) les baisses de rendements observées sont de l'ordre de 19,5 à 65,2% du traitement NP à T0 avec le NPK comme traitement de référence. Ainsi, sur l'ensemble des 2 types de sols du village pilote d'Alafia, l'élément le plus limitant reste l'azote (N) suivi du phosphore (P) et du potassium (K).

A Alafia, les rendements les plus élevés ont été obtenus par le traitement NPK avec des valeurs de 2297 et 1454,5 kg/ha respectivement pour les sols sableux et gravillonnaire (figure 6). Les plus bas rendements ont été obtenus sur le traitement T0 avec des valeurs de 1094,9 kg/ha et 505,8 kg/ha respectivement pour les sols sableux et gravillonnaire. Il ressort de ces résultats que dans ce village, les 2 types de sols présentent des rendements relativement semblables pour la culture de maïs. Les rendements sont semblables avec les traitements NPK et NP d'une part, NP et NK d'autre part et NP

et PK par ailleurs sur les sols sableux. Concernant les sols gravillonnaires, les rendements sont semblables (statistiquement) entre NP et NK.

Tableau 7. Comparaison des rendements moyens en maïs-grain des traitements de 13 parcelles diagnostiques à Alfia et taux d'accroissement des rendements sur les 2 types de sols, système maïs en pur

Traitement par type de sol	T1	T2	T3	T4	T0
	NPK	NP	NK	PK	00
Sol sablonneux (n = 7)	2.297(a)	2.109,7(ab)	1.990,3(ab)	1.632,7(b)	1.094,8(c)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	109,8	92,7	176,3	81,8	--
Sol gravionnaire (n = 6)	1.454,5(a)	1.171,2(b)	1092,5(b)	723,2(c)	505,8(d)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	187,5	131,5	115,9	42,9	--

Les valeurs moyennes sur une même ligne suivie de lettre(s) différente(s) sont significativement différentes (p<0,05).

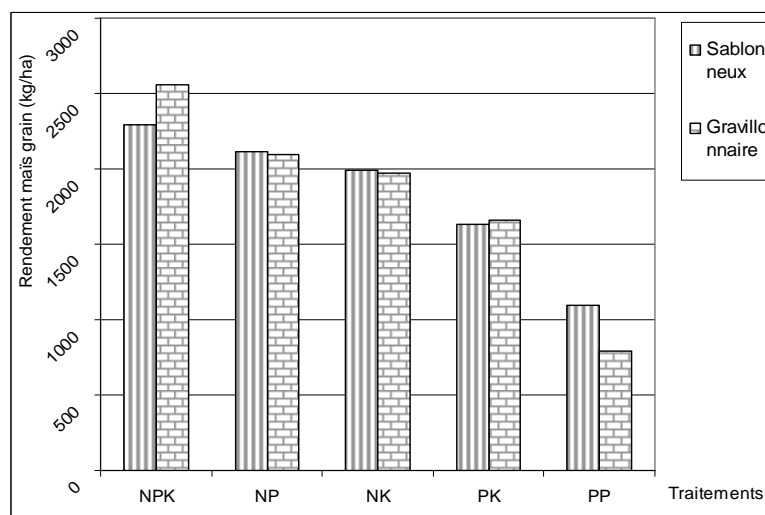


Figure 6. Rendements moyens en maïs-grain des différents traitements par type de sol à Alafia, système maïs en pur

Au total les rendements obtenus pour les différents traitements montrent que les éléments limitants sont, par importance l'azote (N). Concernant le P et le K, l'ordre d'importance n'est pas formellement établi. Les rendements entre les traitements NP et NK sont semblables statistiquement sur les 2 types de sols dans le village. Les amendements favorables à la correction des carences en N doivent être recommandés et ensuite un équilibre dans l'apport de P et K doit être respecté.

Site expérimental de Kèmon (commune de Ouessè)

A Kèmon, les deux systèmes de cultures, "maïs en pur" et "association maïs-manioc" ont été expérimentés. Les évaluations de rendement en maïs-grain ont été réalisées pour l'ensemble des 3 types de sols du terroir du village et ont été consignés dans le tableau 8 de comparaison des rendements moyens en maïs-grain des traitements de 28 parcelles diagnostiques à Kèmon et taux d'accroissement des rendements sur les différents types de sols, système maïs en pur.

Tableau 8. Comparaison des rendements moyens en maïs-grain des traitements de 28 parcelles diagnostiques à Kèmon et taux d'accroissement des rendements sur les différents types de sols, système maïs en pur

Traitement par type de sol	T1	T2	T3	T4	T ₀
	NPK	NP	NK	PK	0
Ignanrin (n = 6)	1.551,3 ^(a)	1.436,3 ^(a)	1.025,2 ^(b)	732,5 ^(c)	510 ^(d)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	204,1	181,6	100,9	43,6	--
Ilèdudu (n = 6)	1.618 ^(a)	1.172 ^(b)	1.053,5 ^(b)	943,2 ^(bc)	592,3 ^(c)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	173,1	97,8	77,8	59,2	--
Tchowa (n = 16)	1.831,6 ^(a)	1.622,5 ^(b)	1.472,7 ^(bc)	836,3 ^(cd)	614,2 ^(ce)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	198,2	164,1	139,7	36,1	--

Les valeurs moyennes sur une même ligne suivie de lettre(s) différente(s) sont significativement différentes ($p < 0,05$).

Système maïs en pur

Dans ce village pilote de Kèmon, les rendements les plus élevés ont été obtenus par le traitement NPK avec des valeurs de 1.551,3, 1.618,0 et 1.831,6 kg/ha respectivement pour les sols Ignanrin, Ilè dudu et Tchowa. Les plus faibles rendements ont été obtenus sur le traitement T0 avec des valeurs qui varient entre 510 kg/ha à 614,2 kg/ha respectivement pour les sols Ignanrin et Tchowa en passant par 592,3 kg/ha pour le type de sol Ilè dudu. Dans le village de Kèmon, le type de sol le plus intéressant relativement pour la culture de maïs est le Tchowa dans le système de culture pure de maïs (tableau 8). Les 2 autres types de sols Ignanrin et Ilè dudu apparaissent relativement moins intéressants avec des rendements quelque peu inférieurs à ceux des autres types de sols pour tous les traitements sauf PK.

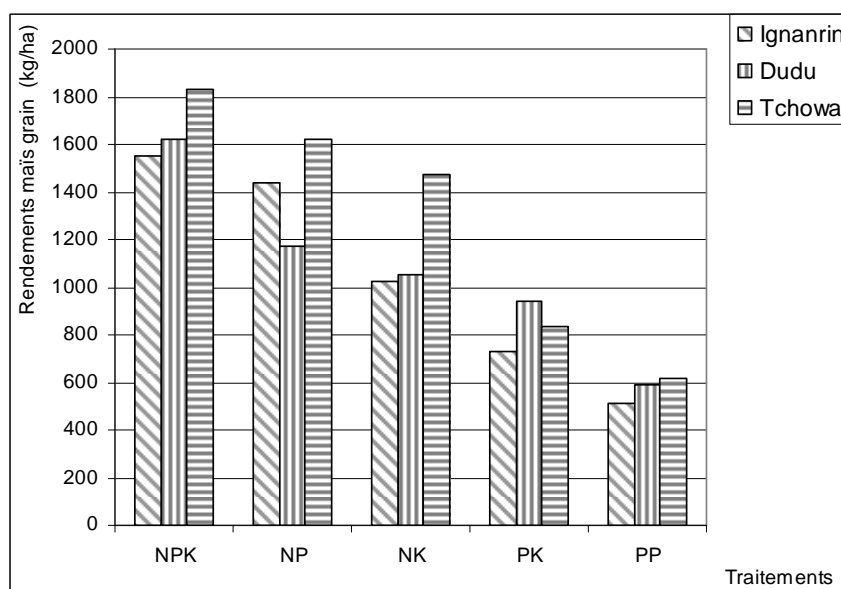


Figure 7. Rendements moyens en maïs-grain des différents traitements par type de sol à Kèmon, système maïs en pur

Pour les différents traitements, les éléments limitant la productivité sont dans l'ordre d'importance l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) pour les 3 types de sols. Les rendements obtenus pour le type de sol Ignanrin ne sont pas différents pour les traitements NPK et NP alors que les rendements de tous les autres traitements diffèrent significativement entre eux. Cela signifie que le

potentiel de ce type de sol en potassium (K) paraît assez important et permet de couvrir dans une certaine mesure les besoins potassiques du maïs utilisé dans l'expérience comme plante-test.

Pour le type de sol Ilè dudu, plusieurs traitements n'ont pas été statistiquement différents au seuil de signification de 5%, du point de vue des rendements en maïs grain sur le système "maïs en pur". Au nombre de ceux-ci, on été notés NP et NK, NP et PK, NK et PK, PK et T0. Ces résultats ont prouvé que sur les sols de type Ilè dudu (sol noir), le premier nutriment qui limite la production est l'azote au vu des rendements obtenus. Toutefois, l'ordre de priorité entre le P et le K n'est pas formellement établi. Ce type de sol dispose dans une certaine mesure d'un potentiel remarquable en P et K qui ne permet pas à ces traitements soustractifs de s'exprimer différemment en matière de production du maïs. L'ordre de priorité peut être schématisé de la façon suivante: N>P=K.

Les apports à recommander sur ce type de sol doivent viser à assurer un apport important de N et un bon équilibre entre les éléments P et K.

Concernant le type de sol Tchowa, les rendements ont été dans la plupart des cas plus importants par rapport aux autres types de sols pour tous les traitements en dehors de PK. Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, que ce type de sol, dispose d'un potentiel de fertilité plus important que les 2 autres sols. Les seuls traitements qui ont des résultats semblables sont NP et NK. Tous les autres traitements sont différents au seuil de signification de 5%. Les accroissements de rendements obtenus entre les traitements NPK comparé aux autres traitements montrent que l'ordre de priorité des fertilisants est l'azote suivi de P et K. En revanche, la hiérarchie entre P et K n'est pas bien établie. La hiérarchie entre les fertilisants limitants peut être schématisée comme suit : N>P=K.

Système association maïs-manioc

L'addition des différents types d'engrais simple induit des accroissements sensibles de rendements en maïs grain de l'ordre de 12,7 à 257% par rapport à l'application de la combinaison T0 de PK à NPK avec T0 comme référence sur les sols de type Ignanrin (tableau 9). Concernant les sols Ilè dudu, (sol noir) les accroissements de rendements observés varient entre 41,8 et 122,9% et tous les traitements en présence sont statistiquement différents. Pour les sols Tchowa, les accroissements enregistrés sont de 9,1 à 151,6% en évoluant de PK à NPK en prenant T0 comme référence. Aucune différence significative n'est observée entre les traitements NPK et NP. De même, aucune différence significative n'est observée entre NP et NK d'une part et entre PK et T0 d'autre part.

Tableau 9. Comparaison des rendements moyens en maïs-grain des traitements de 28 parcelles diagnostiques à Kèmon et taux d'accroissement des rendements sur les différents types de sols, système association maïs-manioc

Traitement par type de sol	T1	T2	T3	T4	T ₀
	NPK	NP	NK	PK	0
Ignanrin (n = 6)	1.713,6 ^(a)	1.524 ^(ab)	1.398,3 ^(b)	541 ^(cd)	480 ^(d)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	257	217,5	191,3	12,7	--
Ilèdudu (n = 6)	1.446 ^(a)	1.202,7 ^(b)	1.004,3 ^(c)	919 ^(d)	648,6 ^(e)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	122,9	85,4	54,8	41,8	--
Tchowa (n = 16)	1.725,1 ^(a)	1.627,5 ^(ab)	1.504 ^(b)	748,2 ^(cd)	685,5 ^(d)
Taux d'accroissement par rapport à T ₀ (%)	151,6	137,4	119,4	9,1	--

Les valeurs moyennes sur une même ligne suivie de lettre(s) différente(s) sont significativement différentes (p<0,05).

Dans le village de Kèmon, les rendements les plus élevés ont été obtenus avec le traitement NPK pour des valeurs de 1.551,3, 1.618,0 et 1.831,6 kg/ha respectivement pour les sols Ignanrin, Ilè dudu et Tchowa (Figure 8). Les plus bas rendements ont été obtenus sur le traitement T0 avec des valeurs qui ont variées entre 510 kg/ha à 614,2 kg/ha respectivement pour les sols Ignanrin et Tchowa en passant par 592,3 kg/ha pour le type Ilè dudu. Dans le village de Kèmon, le type de sol le plus intéressant relativement pour la culture de maïs est le Tchowa dans un système de culture d'association maïs-manioc (tableau 9). Les 2 autres types de sols Ignanrin et Ilè dudu paraissent

relativement moins intéressants avec des rendements quelque peu inférieurs à ceux du type de sol Tchowa pour tous les traitements sauf PK.

Les rendements obtenus pour le type de sol Ignanrin ne sont pas différents pour les traitements NPK et NP alors que les rendements de tous les autres traitements diffèrent significativement entre eux. Cela signifie que le potentiel de ce type de sol en potassium (K) est relativement important et permet de couvrir dans une certaine mesure les besoins potassiques du maïs utilisé comme plante test en association avec le manioc. D'autre part, les accroissements de rendements entre NP et NK respectivement de 217,5 et 191,3% sont assez semblables. En somme sur le type de sol Ignanrin, la hiérarchie des éléments fertilisants qui limitent le rendement du maïs en culture associée maïs–manioc est $N > P = K$.

Pour le type de sol Ilè dudu, tous les traitements sont statistiquement différents au seuil de signification de 5%, du point de vue des rendements en maïs grain sur le système maïs -manioc. Ici, l'ordre de priorité des fertilisants qui limitent la productivité du maïs est N, P et K. Les apports à recommander sur ce type de sol doivent viser à assurer un bon apport d'N en qualité et en quantité et veiller à un bon équilibre entre les deux autres éléments fertilisants P et K.

Concernant le type de sol Tchowa, les rendements de NPK et NP sont semblables ($p > 0,05$). Entre les traitements NP et NK également il n'y a pas de différence significative (1.627,5 kg/ha et 1.504 kg/ha) c'est-à-dire des accroissements de rendements de respectifs de 137,4 et 119,4% par rapport au traitement témoin T0. En somme, toutes choses égales par ailleurs, que sur ce type de sol, la hiérarchie des fertilisants qui limitent les rendements du maïs est $N > P = K$.

Une récapitulation des résultats obtenus en 2007 sur les 3 villages pilotes de Gossoé (Zagnanado), Lama (Savalou) et Houin (Glazoué) présente des situations relativement semblables à ceux de 2008 (Figures 8 et 9).

Par ailleurs, des baisses de rendements semblables sont observées et sont révélatrices par rapport à l'azote qui constitue un élément majeur très important dans les amendements à apporter aux différents types de sols et dans les systèmes de cultures des villages d'expérience (figure 10 ; Igué *et al* 2007; Igué, 2009). Sa soustraction induit des baisses de rendements par rapport à NPK de plus de 50% dans tous les types de sols et les 2 systèmes de culture (Kodjo, 2008). Concernant le phosphore, sa soustraction induit des baisses de rendements relativement moindres de l'ordre de 25 à 35%, ce qui donne la preuve que les sols des zones d'expérience disposent d'un potentiel acceptable en phosphore (Azontondé *et al.*, 2010). Concernant le potassium, sa soustraction notamment dans les villages de Gossoé et de Houin, a induit des baisses de l'ordre de 25 à 35%, situation semblable à celle du phosphore. Les sols de ces villages disposent ainsi d'un potentiel relativement satisfaisant en potassium (Igué, 2009). Ces caractéristiques rappellent à merveille celles des sols ferrugineux tropicaux sur socle de caractères variables de la zone agro écologique n°5 (INRAB, 1995; Agossou et Igué, 2002).

Les résultats ainsi obtenus dans les villages expérimentés sont semblables à ceux décrits dans le nord Togo par Mando et Ezui (2010) qui stipulent que l'azote (N) constitue le facteur limitant pour la production du maïs. Ainsi, la connaissance de la capacité intrinsèque du sol est cruciale pour la gestion intégrée de la fertilité applicable à chaque site, spécialement lorsque les possibilités d'utilisation des engrais minéraux sont réduites (Haefele *et al.* 2003a ; Igué *et al.*, 2008).

Les doses recommandées en matière d'application d'azote par exemple au nord Togo (situation semblable au Bénin) mettent un grand accent sur le phosphore, qui n'est pas nécessaire et spécialement une perte de ressources dans les champs qui contiennent des niveaux élevés de P, tels qu'observés à travers les parcelles de soustraction et dans les laboratoires d'analyses. Ces observations sont actuellement en train d'être faites directement par les agriculteurs (Mando et Ezui, 2010).

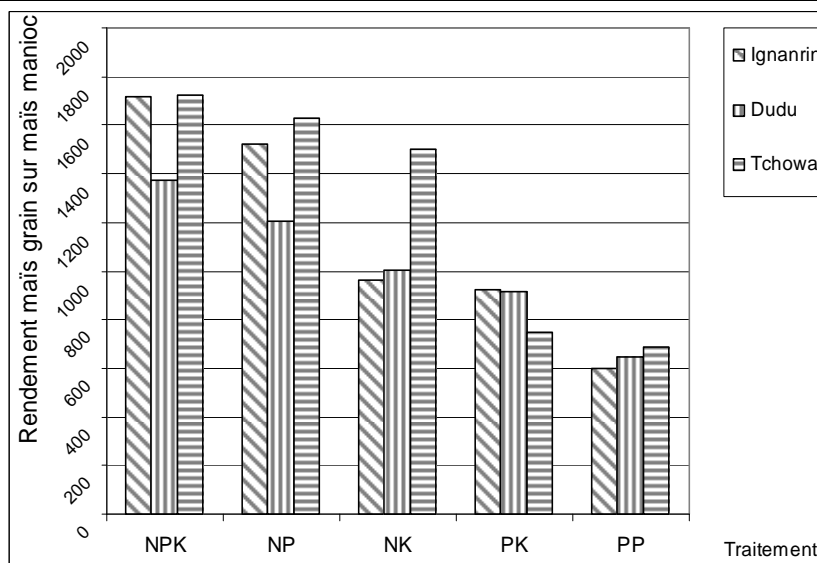


Figure 8. Rendements moyens en maïs-grain des différents traitements par type de sol à Kèmon, système maïs-manioç

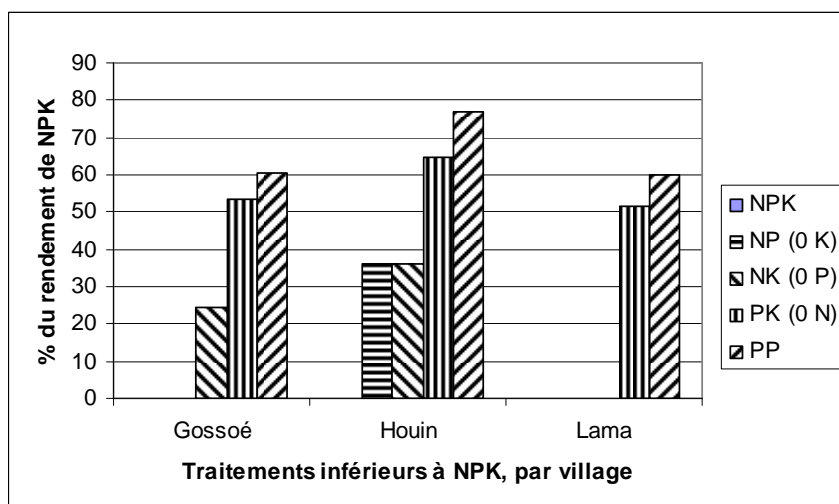


Figure 9. Baisse de rendement en maïs-grain par rapport à NPK, système maïs en pur

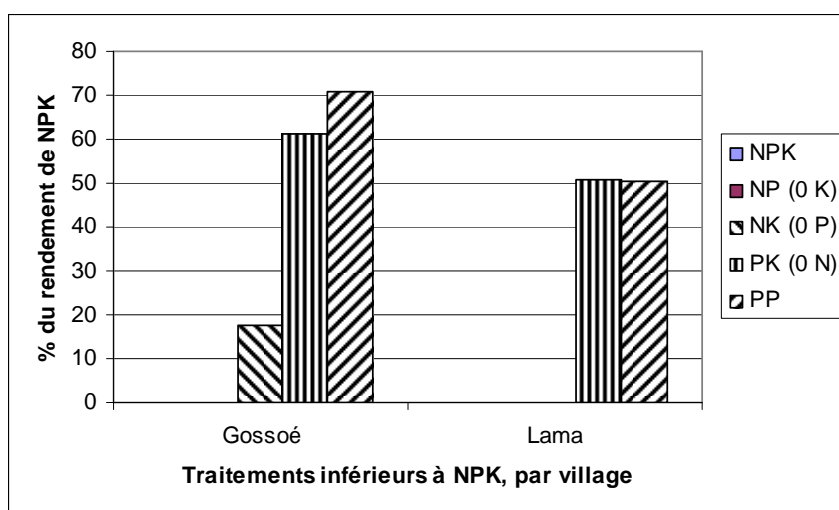


Figure 10. Baisse de rendement en maïs-grain par rapport à NPK, système maïs-manioç en association

CONCLUSION

Au Bénin, la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) peut servir de tremplin pour une meilleure planification et une gestion plus efficace de la ressource terre et des applications nécessaires pour redresser les déficiences réelles des sols. De plus la GIFS peut apparaître comme un outil important de prise de décision aussi bien au niveau des producteurs agricoles qu'au niveau national pour limiter les applications de paquets technologiques figés avec des clichés définis depuis des décennies qui ne tiennent que très peu ou pas compte des spécificités réelles des sols des zones de production. Ce type d'analyse lorsqu'il est ramené au niveau de l'exploitation elle-même rend le producteur agricole plus responsable du patrimoine sol et le rend plus apte à mieux planifier ses interventions sur l'espace agricole.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Projet de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) qui a i) organisé l'atelier au cours duquel le bilan des travaux de recherche sur la gestion de la fertilité des sols pour accroître la productivité agricole en Afrique de l'Ouest a été fait et ii) facilité la publication des résultats de leurs travaux de recherche dans le présent Numéro Spécial du BRAB.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agossou, V., Igué, A.M., 2002: Caractérisation des sols des sites de recherche développement du CRA-Centre: classification dans la base de référence mondiale et actualisation de leur niveau de dégradation. Actes 1^{er} Atelier Scientifique du Programme Régional Centre du Bénin. Recherche Agricole pour le Développement tenu à Dassa-Zoumé du 18 au 19 Décembre 2002. p.136-150.
- Agossou, V., A.M. Igué, K. Aïhou, 2005: Gestion de la fertilité des sols: Expériences d'extension, d'innovations de gestion de la fertilité des sols dans les exploitations agricoles du Bénin. Communication présentée aux journées scientifiques lors du Centenaire de la Station de Recherches de Niaouli et de la Recherche Agricole du Bénin. 7 au 14 février 2005. INRAB, Cotonou, Bénin.
- Azontondé, H. A., A.M. Igué, G. Dagbénonbakin, 2010 : Carte de fertilité des sols du Bénin par zone agro-écologique du Bénin. Rapport final, LSSEE/CRA-Agonkanmey/INRAB/Bénin, 128 p.
- Igué, A.M., 2009: Impact of Land Use on Chemical and Physical Soil Characteristics in Collines, Benin. *Advances in GeoEcology* 40: 72-80.
- Igué A.M., V. Agossou, T.F. Ogouvidé, 2008: Influence des systèmes d'exploitation agricole sur l'intensité de la dégradation des terres dans le département des Collines au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique*, N° 61, 39-51.
- Igué, A.M., M. Bello, T. Gaiser, K. Stahr, 2007: Dégradation des terres du bassin versant de Lotho dans la Commune de Dassa-Zoumé (Département des Collines). 4^{ème} édition de l'Atelier Scientifique National de la Recherche Agricole au Bénin. Abstract p. 34. 11 au 14 décembre 2007, Dassa Zoumé, Bénin.
- Kodjo, S., 2007 : Volet 'Fertilité des Sols' du PAGEFCOM. Rapport annuel du CRA-Centre Savè, Bénin. 32 p.
- Kodjo, S., 2008 : Volet 'Fertilité des Sols' du PAGEFCOM. Rapport annuel du CRA-Centre, Savè, Bénin. 50 p.
- Mando, A., Ezui, K.S., 2010. The framework for site Specific ISM Option Development: Field Level and Farm level. Regional Training Program on Integrated Soil Fertility management in West Africa. IFDC.