



Typologie des systèmes de production de maïs (*Zea mays* L.) dans un contexte de changement climatique au Nord Bénin

Filikibirou Tassou Zakari, Ibidon Firmin Akpo, Kassimou Issaka, Francis Oninkitan Agani, Jacob Afouda Yabi*

Université de Parakou. Faculté d'Agronomie. Laboratoire d'Analyse et de Recherche sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES). BP 123 Parakou (Bénin). E-mail : ja_yabi@yahoo.com

Reçu le 10 août 2022, accepté le 30 septembre 2022, publié en ligne le 29 octobre 2022

RESUME

Description du sujet. Les agriculteurs fournissent énormément d'énergie pour le travail du sol face au problème induit par le changement climatique. Cependant, la productivité reste faible au Bénin pour des raisons liées en partie au faible taux d'utilisation des nouvelles innovations.

Objectif. Cet article analyse les systèmes de production de maïs axé sur l'agrobiologie face aux effets du changement climatique au Nord Bénin.

Méthodes. La technique d'échantillonnage aléatoire simple, raisonnée simple, complétée par endroits par celle de la boule de neige, a permis la collecte des données auprès de 186 producteurs de maïs. L'Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM) et de Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) a été utilisée.

Résultats. Trois systèmes de production de maïs ont été identifiés : le système (S1) utilisant des engrais chimiques et organiques à faible proportion à dominance des outils rudimentaires (34 %), le système (S2) utilisant des engrais biologiques à forte proportion à dominance des cultures attelées (15 %) et enfin le système (S3) utilisant des engrais chimiques à forte proportion à dominance des tracteurs agricoles (51 %). De par ces résultats, il ressort que la diversité des producteurs de maïs dans le fonctionnement des exploitations agricoles constitue un frein au développement de l'agriculture béninoise.

Conclusion. Cet article suggère un soutien important au profil des producteurs de maïs dans l'accès aux semences certifiées, aux tracteurs agricoles pour augmenter la superficie et aux fertilisants organiques pour la restauration de la fertilité des sols en vue d'une amélioration de la productivité, de revenus et de la sécurité alimentaire des populations.

Mots clés : Système de production, engrais chimique et biologique, maïs, analyse factorielle des données mixtes, Nord-Bénin

ABSTRACT

Typology of maize (*Zea mays* L.) production systems in a context of climate change in northern Benin

Description of the subject. Farmers provide a lot of energy for tillage, in the face of the problem induced by climate change. However, productivity remains low in Benin for reasons linked in part to the low rate of use of new innovations.

Objective. This article analyzes maize production systems based on agrobiology in the face of the effects of climate change in northern Benin.

Methods. The simple random sampling technique, reasoned simple, supplemented in places by that of the snowball, allowed the collection of data from 186 maize producers. Factor Analysis of Mixed Data (AFDM) and Ascending Hierarchical Classification (AHC) were used.

Results. Three maize production systems have been identified: the system (S1) using low proportion chemical and organic fertilizers with dominance of rudimentary tools (34 %), the system (S2) using high proportion organic fertilizers with dominance of crops harnessed (15 %) and finally the system (S3) using chemical fertilizers with a high proportion, predominantly agricultural tractors (51 %). From these results, it appears that the diversity of maize producers in the operation of farms constitutes an obstacle to the development of Beninese agriculture.

Conclusion. This article suggests strong support for the profile of maize producers in access to certified seeds, agricultural tractors to increase the area and organic fertilizers for the restoration of soil fertility for improved productivity, income and then the food security of the populations.

Keywords: Production system, chemical and biological fertilizer, maize, factor analysis of mixed data, North Benin

1. INTRODUCTION

La question de la sécurité alimentaire face à l'évolution démographique croissante est l'une des préoccupations majeures dans les pays en voie de développement. Une étude sur la lutte contre la faim a révélé que les personnes vivant dans la pauvreté absolue sont d'environ 30 à 60 % dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest (Nkansah, 2020). Pour pallier à ce problème aussi mondial que national, plusieurs Etats ont opté pour l'intensification de l'agriculture (Riedacker et Adjahossou, 2009 ; Semassa *et al.*, 2016). En effet, l'agriculture est le domaine dans lequel beaucoup de pays africains, particulièrement ceux de l'Afrique de l'Ouest, focalisent leur attention pour accéder au développement. Dans ce domaine, l'utilisation accrue de technologies visant à stimuler la productivité, y compris la mécanisation, la fertilisation et les semences améliorées, est fondamentale pour améliorer la sécurité alimentaire en Afrique (Mabaya *et al.*, 2020).

Le bienfait de l'Agriculture tant sur le plan économique, social et commercial n'est plus à démontrer. Sur le plan socioéconomique, l'agriculture occupe une place prépondérante et sa contribution au taux de croissance de l'économie béninoise est plus forte que celle des autres secteurs. Estimés jusqu'à 23 % de la formation du Produit Intérieur Brut (PIB), 70 % de la population active et 75 % des recettes d'exportation dont 15 % des recettes de l'Etat, elle joue un rôle très capital dans l'économie et la sécurité alimentaire (INSAE, 2016 ; Hinnou *et al.*, 2021). Par ailleurs, les produits céréaliers sont incontournables dans la lutte contre l'insécurité alimentaire. Sur les treize filières porteuses qui pourront relever non seulement l'économie nationale mais en plus réduire l'insécurité alimentaire figure la filière maïs qui est l'une des spéculations la plus cultivée au Bénin à cause de son importance dans la consommation (Degla, 2020). En effet, le maïs constitue l'aliment de base avec une diversité de formes de consommation (maïs frais, maïs grillé, pâte de maïs, galette, akassa) (Arouna *et al.*, 2011). Outre sa fonction d'aliment de subsistance, il est aussi l'objet d'échanges commerciaux tant à l'intérieur du pays que vers les marchés sous régionaux (Achigan-Dako *et al.*, 2014). Une partie importante de sa production est mise en vente sur le marché même si l'objectif premier du producteur est d'assurer l'autoconsommation du ménage (Degla, 2020).

Malgré son importance économique, sociale et commerciale incontestable, le rythme de croissance de l'agriculture en particulier la filière maïs n'est

donc pas suffisant pour sortir de la pauvreté, les populations vivant dans les zones rurales (Diagne, 2013). Des faiblesses, notamment la faible productivité du maïs, sont observées dans plusieurs zones de production. Pourtant, les innovations agricoles introduites depuis quelques années étaient pour améliorer la productivité, augmenter les revenus et assurer la sécurité alimentaire (Dakar, 2017). Ces innovations ne sont pas limitées seulement aux intrants et outils importés mais aussi à la valorisation des matières organiques (parcages rotatifs, des fientes de bœuf, des fientes de volailles) et des déchets très riches pour la fertilisation des sols.

A cet effet, beaucoup d'études effectuées ont lié la faible productivité de l'agriculture à la pauvreté des sols (Nkansah, 2020 ; Adekambi *et al.*, 2021), la faible mécanisation de l'agriculture utilisant des outils traditionnels, le faible taux de financement des activités de productions (Sossou, 2015), l'impact négatif des facteurs climatiques sur l'agriculture (Yegbemey *et al.*, 2014 ; Gandji *et al.*, 2019) et la politique agricole (Diagne, 2013). Ainsi, les études récentes ont porté également sur les typologies et les caractéristiques des exploitations agricoles dans le but de proposer une bonne politique agricole (Sossou *et al.*, 2013 ; Comlan et Ibrahim, 2015 ; Assogba *et al.*, 2017 ; Diallo et Diouf, 2017 ; Abou *et al.*, 2018 ; Adeyandjou *et al.*, 2020). D'autres ont mis l'accent sur l'utilisation des fertilisants (organiques et chimiques) et des mesures de gestion durable des terres (GDT) (Koulibaly *et al.*, 2010 ; Savadogo *et al.*, 2011 ; Biaou *et al.*, 2016 ; Assogba *et al.*, 2017). Toutefois, les efforts fournis par l'Etat et les projets/programmes ne sont pas à la hauteur des résultats attendus, c'est à dire l'agriculture béninoise peine à décoller de façon significative. La réflexion sur le fonctionnement des exploitations agricoles au Bénin, devient de ce fait très importante afin de prendre les dispositions idéales au développement de l'agriculture béninoise.

La présente étude vise à analyser les différents systèmes de production de maïs face aux effets du changement climatique dans la promotion de l'agriculture biologique afin de renforcer la sécurité alimentaire et le bien-être de la population.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

Situé au Nord-Est du Bénin, le département du Borgou est limité au Nord par celui de l'Alibori, au Sud par le département des Collines, à l'Est par la République Fédérale du Nigéria et à l'Ouest par les départements de l'Atacora et de la Donga. Sa

superficie est de 25415 km² soit 22,57 % du territoire national. En particulier, les communes de Nikki et Pèrère sont situées à l'Est du Borgou et N'dali à l'Ouest. Elles couvrent respectivement une superficie de 3200 km², 2150 km² et 3748 km². Dans ce département, le climat est du type continental soudano-guinéen avec l'alternance d'une saison pluvieuse et d'une saison sèche marquée par l'harmattan. Le relief est essentiellement constitué de plaines et plateaux surmontés par endroits de collines dont les hauteurs maximales tournent autour de 300 m. Ainsi, les sols sont ceux du socle granito-gneissique pour la plupart ferrugineux et généralement aptes à l'agriculture. Dans les plaines alluviales, dominent les sols alluviaux, argilo-sableux assez riches du fait de l'apport de matières

organiques par les hautes eaux annuelles des fleuves. Le département du Borgou a une végétation de type soudano-guinéen. Il est couvert par un ensemble de formations végétales qui varient des savanes arbustives aux savanes arborées. Par endroits, des forêts classées, des forêts galeries et des plages complètement nues y sont rencontrées. En général, l'étude a été conduite dans trois (03) communes du département à savoir une hautement productrice, une autre moyennement productrice et une troisième faiblement productrice. Sur la base des informations disponibles au niveau du MAEP, la commune de Nikki est choisie comme hautement productrice, celle de N'Dali moyennement et celle de Pèrère faiblement productrice.

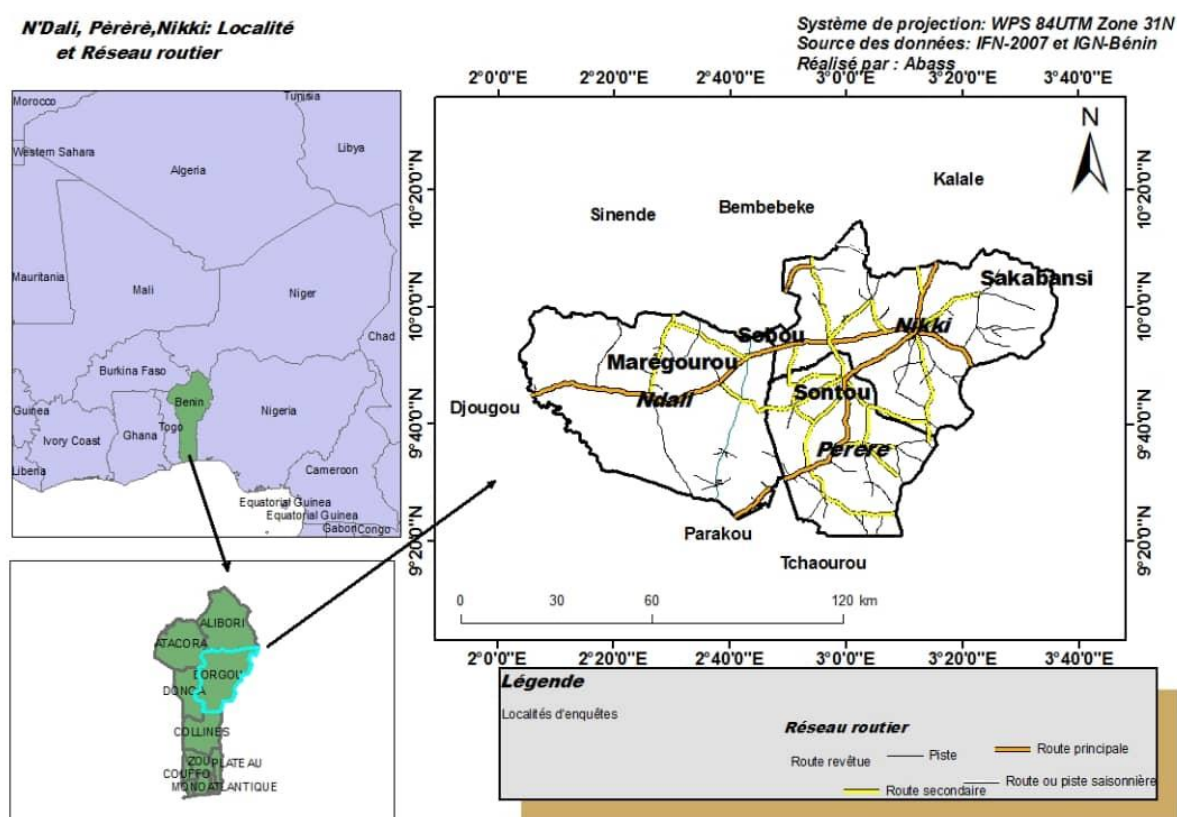


Figure 1. Carte de la zone d'étude

2.2. Echantillonnage

L'unité de recherche est le producteur de maïs. Dans le souci de garantir la représentativité de l'échantillon, l'étude a utilisé une combinaison de méthodes d'échantillonnage. La méthode aléatoire simple, raisonnée simple, et par endroits celle dite de "boule de neige" ont été sollicitées pour choisir les producteurs enquêtés. En effet, dans tous les villages, la plupart des producteurs cultivent du maïs. Donc procéder à un recensement de tous les producteurs de maïs du village devient très difficile compte tenu des contraintes du temps et de ressources financières disponibles. Alors dans

chaque village, des personnes ressources ont été utilisées en vue d'orienter l'enquête vers les producteurs de façon à prendre en compte les différentes catégories (gros producteurs et petits producteurs, producteurs moyens), les producteurs disposant des tracteurs agricoles et ceux n'en disposant pas, les producteurs utilisant des matières organiques, les différents groupes socio-culturels, les groupes socio-professionnels, et le genre en matière de production de maïs. C'est ainsi que les 31 producteurs de maïs ont été sélectionnés et enquêtés par village à raison de deux villages par commune. Soit un total de 186 producteurs de maïs dans la zone

d'étude. Le tableau 1 ci-dessous montre la structure de l'échantillon.

Tableau 1. Répartition des enquêtés par Arrondissement et par village

Communes	Arrondissements	Villages	Nombre de producteurs enquêtés
N'Dali	N'Dali	Suanin	31
	Bori	Marégourou	31
Nikki	Gnonkourokali	Soubo	31
	Nikki	Sakabanssi	31
Pèrèrè	Sontou	Sontou	31
	Guinangourou	Guinangourou	31
Total	-	-	186

2.3. Collecte des données

De manière générale, les données collectées concernent les caractéristiques socio-économiques des producteurs, le prix de vente de maïs, les rendements et revenus obtenus par ménage enquêté, les coûts de production et les données relatives aux intrants chimiques et organiques, les types de semences utilisées, les types d'élevage et le nombre de têtes d'animaux domestiques. Ainsi, la méthode

utilisée pour la collecte de ces données est la méthode mixte à savoir, les données quantitatives et qualitatives. De plus, des entretiens semi-structurés ont été réalisés à l'aide d'un questionnaire numérisé sur l'application KoBoCollect et administré aux producteurs enquêtés. De ces données, celles qui ont servi des variables discriminantes pour l'identification des différents systèmes de production sont décrits dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. Variables discriminantes l'AFDM

Variables	Description des variables
Utilisation des charrues agricoles	En culture attelée : la présence de charrues métalliques, de charrettes et plus accessoirement de herses, de cultivateurs, et de houes, s'avère très indispensable (Gaury, 1962). Cet article fait recours à l'utilisation des charrues métalliques attaché derrière les bœufs pour le labour du sol dans le département de Borgou.
Utilisation des tracteurs agricoles	En culture motorisée et seulement dans les grands domaines : les tracteurs et les matériels de défrichage sont les plus utilisés pour la production agricole (Lashermes <i>et al.</i> , 2007) . Cet article met l'accent sur les tracteurs utilisés pour le labour du sol dans le département de Borgou
Utilisation d'engrais chimiques	Les engrais chimiques correspondent aux engrais minéraux qui sont obtenus par la transformation mécanique et/ou chimique de « matières extraites de gisements de roches, éruptives, sédimentaires ou salines... ». Ces engrais chimiques correspondent aux trois principaux minéraux fertilisants : l'azote, l'acide phosphorique ou phosphate de calcium et la potasse. Cet article fait référence des engrais chimiques NPK et UREE utilisés pour la fertilisation des sols en vue d'améliorer les rendements de maïs dans le département de Borgou.
Utilisation des engrais organiques (Parcage, fientes de volailles, de caprins, d'ovins et de bœufs)	Les engrais organiques sont des déchets issus des activités agricoles, urbaines ou industrielles ou des produits issus de leur traitement (Knittel, 2017). Pour ce travail, il s'agit des matières organiques telles que les Parcages, des fientes de volailles, des bouses de caprins, des bouses d'ovins et des bouses de vaches, utilisés pour la fertilisation du sol pour accroître en quantité et en qualité le rendement de maïs dans le département de Borgou.
Utilisation d'herbicide	Les herbicides sont des produits chimiques toxiques très utilisés en agriculture pour des entretiens phytosanitaires. Parmi les plus utilisés, on retrouve les herbicides tels que le glyphosate (Yahi et Djefal, 2020). Le glyphosate est un moyen efficace de lutte contre toutes les mauvaises herbes. Cet article met l'accent sur l'herbicide total, Kalach qui est l'herbicide sélectif utilisé pour les entretiens culturaux.
Utilisation des semences améliorées	Les semences issues des centres de vulgarisation sont constituées de variétés améliorées provenant des centres de recherche de l'INRAB et multipliées par les agriculteurs multiplicateurs (Achigan-Dako <i>et al.</i> , 2014). Aussi, appelées semences certifiées, elles sont distribuées par les semenciers, l'ATDA et les ONG de développement agricole
Pratique des systèmes traditionnels	Le système traditionnel est un système dans lequel les outils utilisés de la production à la récolte sont archaïques ou rudimentaires. Dans ce système, tout ce

	fait manuellement avec beaucoup d'énergies humaines. Les outils les plus utilisés sont la machette, les houes, les dabas, la hache...pour les entretiens culturaux.
Les communes d'étude	Milieu dans lequel l'étude a été effectuée. Il s'agit du département de Borgou, principalement les communes de N'dali, Pèrèrè et Nikki.
Elevage	L'élevage, c'est « l'action d'élever des animaux domestiques ». De cette définition, apparaît la dualité de ce terme «élevage», tout autant activité humaine que techniques d'exploitation d'un ensemble d'animaux (Dedieu <i>et al.</i> , 2008). Dans cet article, il est question du nombre de volailles, de caprins, d'ovins et de bovins que possède l'exploitant.
Superficie emblavée	La superficie emblavée concerne le nombre d'espace emblavé à l'hectare par les producteurs de maïs. Cette superficie peut être en fonction du système de production pratiquée (tradition, semi mécanisé ou mécanisé).

2.4. Analyse des données

Une typologie des producteurs selon les systèmes de production de maïs axé sur l'utilisation des intrants et des outils agricoles qu'il soit traditionnel ou mécanisé à l'aide d'Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM).

Dans la plupart des études sur la typologie des exploitations, la méthode d'Analyse Factorielle des Correspondantes Multiples (AFCM), l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM ou *FAMD* pour *Factor Analysis of Mixed Data* en anglais) sont les plus utilisées. Le choix d'utilisation de l'une ou l'autre de ces méthodes se fait en fonction des critères discriminants et de la nature des variables mises en jeux. Ainsi, l'ACP est généralement considérée comme une technique statistique utilisée pour réduire un ensemble de variables hautement corrélées en un ensemble plus petit de variables non corrélées, appelées composantes principales (CP) (Yannick et Bergaly, 2020). Ainsi, l'utilisation de l'ACM est similaire à celle de l'ACP, à la seule différence que celle-ci utilise uniquement des variables qualitatives tandis que l'ACP prend seulement des variables quantitatives. Ces méthodes couramment utilisées dans plusieurs études sur la caractérisation et les typologies des exploitations agricoles ont été considérées comme ancrage méthodologique dans la typologie des exploitations agricoles par beaucoup d'autres chercheurs (Sossou *et al.*, 2014 ; Ayedegue *et al.*, 2020).

Par ailleurs, l'utilisation de l'ACM ou l'ACP de façon isolée a des insuffisances quand on parle des systèmes de production, car elle ne prend pas en compte les deux types de variables (qualitatives et quantitatives). De ce fait, il est évident d'utiliser l'Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM ou *FAMD* pour *Factor Analysis of Mixed Data* en anglais) afin de contrôler ces insuffisances. L'AFDM est une méthode destinée à analyser un jeu de données, dans lequel les individus sont décrits à la fois par des variables qualitatives et quantitatives (Pagès, 2004). De façon pratique, l'algorithme AFDM peut être considéré comme mixte entre l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse des correspondances multiples (ACM). Elle a fait objet d'étude sur la typologie des exploitation agricole (Ayeni *et al.*, 2021). Elle permet également de résoudre une nouvelle classe de problèmes que l'on ne peut pas traiter directement avec les techniques usuelles (Cazes *et al.*, 1997). Cette étude constitue donc une importante contribution à la littérature sur les méthodes d'analyse multidimensionnelle au fonctionnement des exploitations agricoles.

3. RESULTATS

3.1. Caractéristiques socioéconomiques du producteur

Description des variables qualitatives

Le tableau 3 ci-dessous montre la répartition des enquêtés selon leur genre et l'ethnie.

Tableau 3. Caractéristiques socio-économiques de l'échantillon

Caractéristiques	Effectifs	Fréquences (%)
Sexe		
Masculin	158	84,9
Féminin	28	15,1
Ethnies		
Bariba	140	75,3
Dendi	6	3,2
Peulh	3	1,6
Boo	17	9,1
Gando	7	3,8

Autres	13	7,0
Niveau d'éducation		
Aucun	114	61,2
Primaire	43	23,1
Secondaire 1er Cycle	23	12,4
2nd cycle et supérieur	6	3,2
Situation matrimoniale		
Célibataire	2	1,1
Marié	175	94,1
Veuf	2	1,1
Divorcé	7	3,8
Religion		
Islam	152	81,7
Christianisme	22	11,8
Animisme	6	3,2
Autres	6	3,2
Mode de faire valoir		
Direct	159	85,5
Mixte	3	1,6
Indirect	24	12,9
Accès ou non au crédit		
OUI	4	2,1
NON	182	97,8
Appartenance à un groupement		
OUI	75	59,6
NON	75	40,3

Sexe et ethnies des producteurs enquêtés

Le tableau 3 montre que les unités enquêtées au cours de cette étude sont constituées aussi bien d'hommes que de femmes. Les chefs d'unités sont en général des hommes (84,9 %) sauf des cas rares où la femme représente le chef de ménage (15,1 %) par suite du décès de son époux ou d'un divorce. Ensuite, comme l'illustre le tableau ci-dessous, la majorité des enquêtés sont des bariba soit 75,3 % (contre 9,1 % de Boo ; 3,2 % de Dendi; 3,8 % de Gando et 1,6 % de peulh). Les autres ethnies représentent un taux de 7 %. Ce constat se traduit par le fait que les villages qui ont fait l'objet de notre étude sont constitués majoritairement des autochtones.

Niveau d'instructions des producteurs enquêtés

Le tableau 2 présente la répartition en % des producteurs enquêtés selon leur niveau d'instruction. De l'analyse de ce tableau, il ressort que la majorité des enquêtés n'ont aucun niveau de scolarisation (61,2 % des enquêtés) et d'alphabétisation (60 % des enquêtés). C'est une situation qui pourrait constituer un frein à la vulgarisation agricole dans la zone d'étude. Seulement 23,1 % des enquêtés ont le niveau de scolarisation primaire. Ceux qui ont le niveau du premier cycle et du second cycle sont respectivement de 12,4 % et de 3,2 % dans la zone d'étude. Notons qu'aucun chef d'exploitation n'a reçu une éducation supérieure et la plupart de ceux

qui ont été scolarisés parmi les producteurs enquêtés sont aussi alphabétisés.

Statut matrimonial des producteurs enquêtés

Plus de la moitié des chefs de ménage enquêtés sont mariés, soit 94 % contre 4 % de divorces, et 1 % de célibataire et veuf. Ceci s'explique non seulement par des exigences religieuses (la plupart de producteurs enquêtés étant musulmans) mais aussi pour des raisons socioculturelles car selon les propos des producteurs, pour être bien respecté en milieu Bariba et pour maintenir l'équilibre dans son foyer, il faut pouvoir garder sous son toit au moins une femme.

Religion et mode de fait valoir des producteurs enquêtés

La répartition des enquêtés selon leur religion et le mode de faire valoir de la terre (tableau 2) montre que des producteurs enquêtés sont des musulmans (81,7 %). Les chrétiens représentent 11,8 % de l'ensemble des enquêtés. Les animistes sont très peu représentés dans l'ensemble des enquêtés (3,2 %). Il ressort donc que les musulmans dominent la population de la zone de recherche. Quant à la terre qui est le premier facteur de production dans les exploitations agricoles, elle est dans la plupart des cas gérée par les chefs d'unité de production. L'accès à la terre est soumis à des contraintes qui varient dans la zone d'étude. Seul le mode de faire-valoir direct

(81,7 %) ; mode dans lesquels l'exploitant agricole est propriétaire du patrimoine foncier exploité a été plus observé dans la zone d'étude. Dans les villages d'étude, la terre ne semble pas encore être un facteur limitant pour la production agricole, car les principaux modes de faire-valoir rencontrés sont l'héritage et le don, ce qui montre que la terre ne se vend pas encore dans la zone d'étude. Mais est transmise du père au fils, et de génération en génération.

Accès aux crédits et appartenance à un groupement

Le crédit agricole dans les milieux ruraux permet de booster les activités agricoles. Ces derniers sont souvent offerts par les structures comme CLCAM, CAVECA et PADME, etc. Le tableau 2 ci-dessous montre la répartition des enquêtés selon l'accès ou non au crédit et l'appartenance à un groupement de producteurs de maïs. L'analyse judicieuse de ce tableau montre clairement que la majorité 98 % des producteurs n'a pas accès au crédit agricole. Seulement 2 % ont accès au crédit formel octroyé par les Services Financiers Décentralisés (SFD). Plus de la moitié (60,7 %) des chefs d'exploitation n'appartiennent pas à un groupement. Ceci ne leur

permet pas de bénéficier des avantages qu'offre la vie en groupement. Il ressort de ces résultats que, l'accès au crédit agricole et l'appartenance à un groupement des producteurs de maïs sont liés. Plus les producteurs évoluent en groupement, plus ils ont la chance d'avoir un crédit formel au niveau des institutions de microfinance.

Description des variables quantitatives

Le tableau 3 ci-dessous montre l'âge, la taille du ménage, le nombre d'actifs agricoles, la superficie totale du chef de ménage et celle emblavée par les producteurs enquêtés. En effet, l'analyse de ce tableau révèle que l'âge moyen des enquêtés est de 43±10 ans dans l'ensemble de la zone d'étude. Ainsi, le nombre moyen de la taille du ménage est de 15±9 personnes et le nombre d'actifs agricoles moyen permanents est de 6±4 personnes. Le ménage dispose d'une superficie totale moyenne de 8±7 ha pour l'ensemble des producteurs. Quant à la superficie de terre allouée à la production du maïs, elle est en moyenne de 4±3 ha pour l'ensemble des producteurs enquêtés.

Tableau 3. Description des variables quantitatives

Caractéristiques	Moyenne	Ecart-type
Age	42,48	10,00
Superficie totale	8,00	7,76
Superficie emblavée	4,15	4,1505
Taille du ménage	14,96	9,00
Nombre d'actifs agricoles	6,43	4,22

3.2. Description des systèmes de production

Valeurs propres et proportions d'informations sur les dimensions de l'AFDM

Les proportions de variance expliquée par les différentes dimensions (axes) sont présentées dans le 4 ci-dessous. Les résultats issus de l'AFDM révèlent que les variables introduites dans le modèle apportent 46,92 % des informations contributives suivant les deux premières dimensions, ce qui est

suffisant pour garantir une précision d'interprétation des données de départ. Les 27,41 % de variation des informations non expliquées sont dues aux facteurs qui n'ont pas été pris en compte dans l'analyse. Ainsi, il convient de s'attendre à ce que le cumul des cinq dimensions donne 100 %, au lieu de 74,325 %. Cela s'explique par le fait que parmi les producteurs enquêtés, d'autres n'ont pas les caractères ou les critères discriminants considérés pour la typologie.

Tableau 4. Valeurs propres et proportions d'informations sur les dimensions

Dimensions	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Variance	5,642	2,763	2,088	1,734	1,152
% de la var.	31,344	15,347	11,600	9,634	6,399
Cumulative de la var. (%)	31,344	46,92	58,292	67,92	74,325

La figure 2 ci-dessous présente une représentation graphique des corrélations entre les composantes principales et les variables initiales. Sur le premier axe, les variables commune de N'dali, le système traditionnel utilisant l'engrais organique et les charrues pour le labour sont les mieux représentées alors que la variable association des cultures,

l'utilisation des engrais chimiques, la commune de Nikki, les herbicides, l'utilisation des tracteurs, le nombre de caprins, ovins et bovins sont bien représentés sur le deuxième axe. En résumé, les variables qualitatives sont les mieux représentées sur les deux premières dimensions.

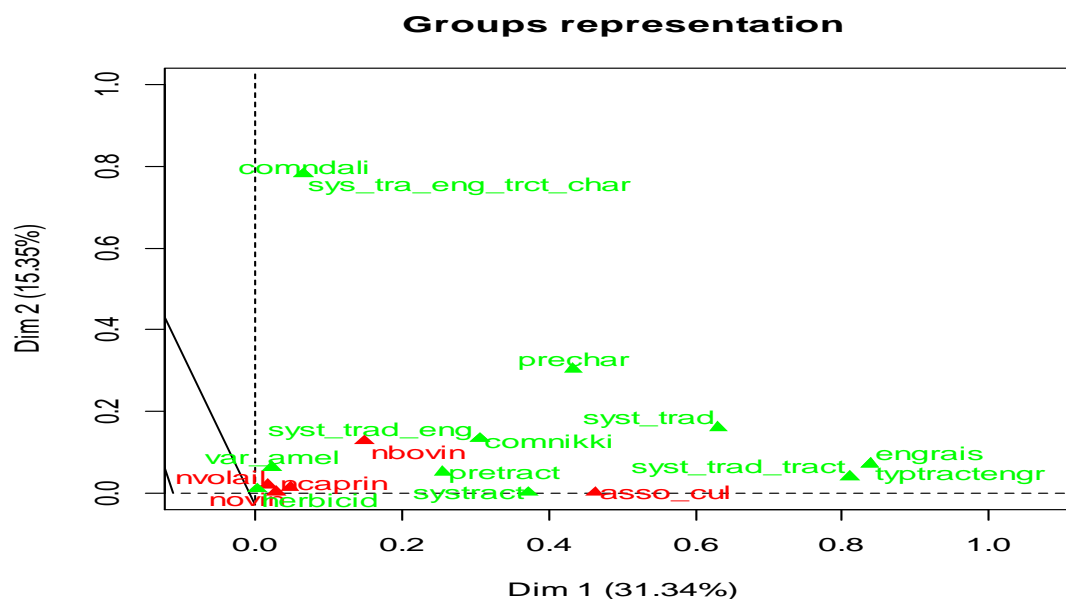


Figure 2. Rapport de corrélation entre les variables et les principaux axes

Les **figures 3 et 4** présentent les résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) réalisée à partir des coordonnées des observations sur les deux premières dimensions retenues à partir de l'AFDM.

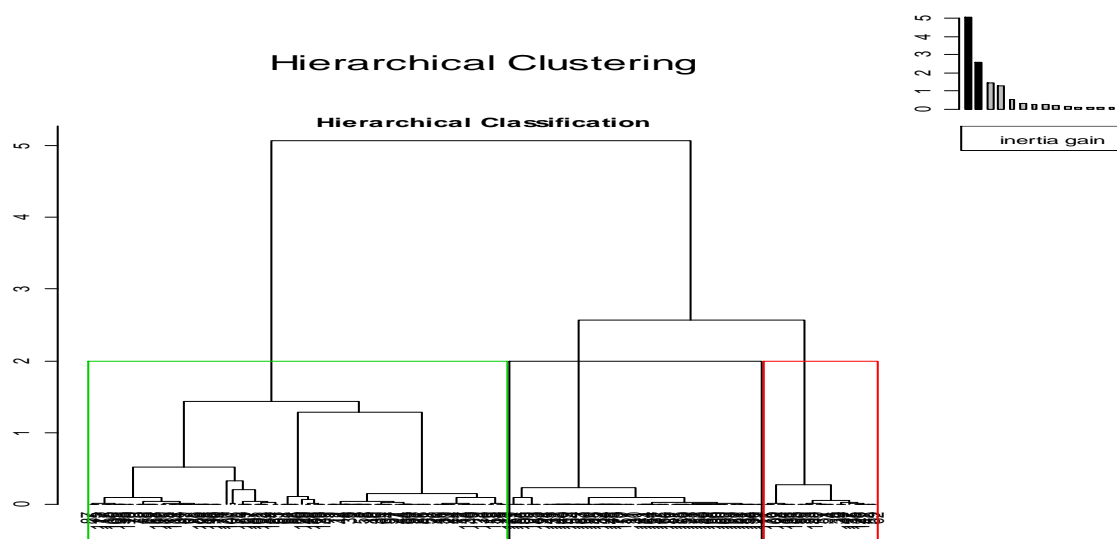


Figure 3. Dendrogramme des exploitations agricoles à base du maïs dans le département du Borgou

Description de groupes de producteurs selon les systèmes de production du maïs

Il ressort de l'analyse des résultats de l'AFDM que le premier groupe (S1) représente environ 33,9 % de l'échantillon totale alors que le deuxième système de production (S2) regroupe 15,0 % des enquêtés et enfin, plus de la moitié soit 52,0 % constituait le troisième système de production (S3).

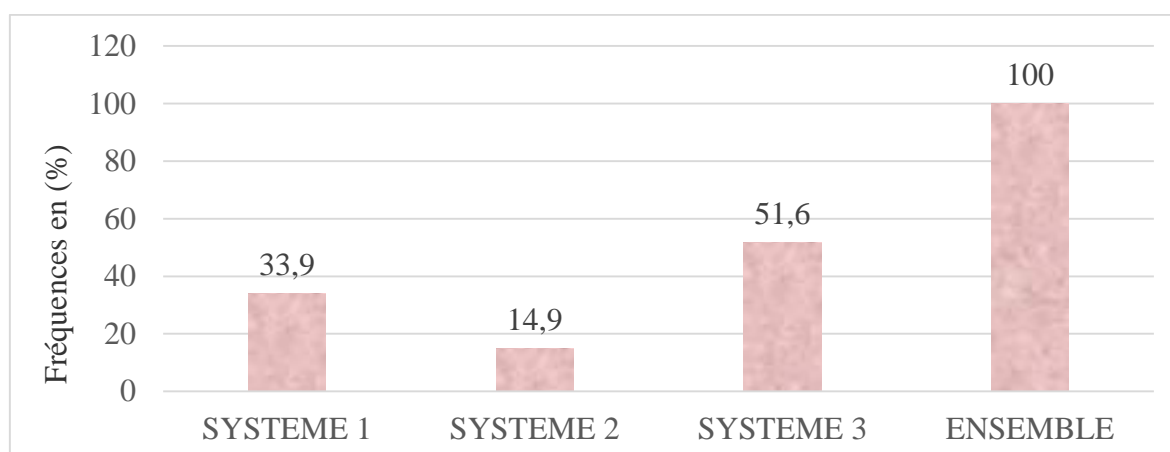


Figure 4. Effectif des groupes de producteurs selon les systèmes de production

Projection des individus est présentée dans la figure ci-dessous.

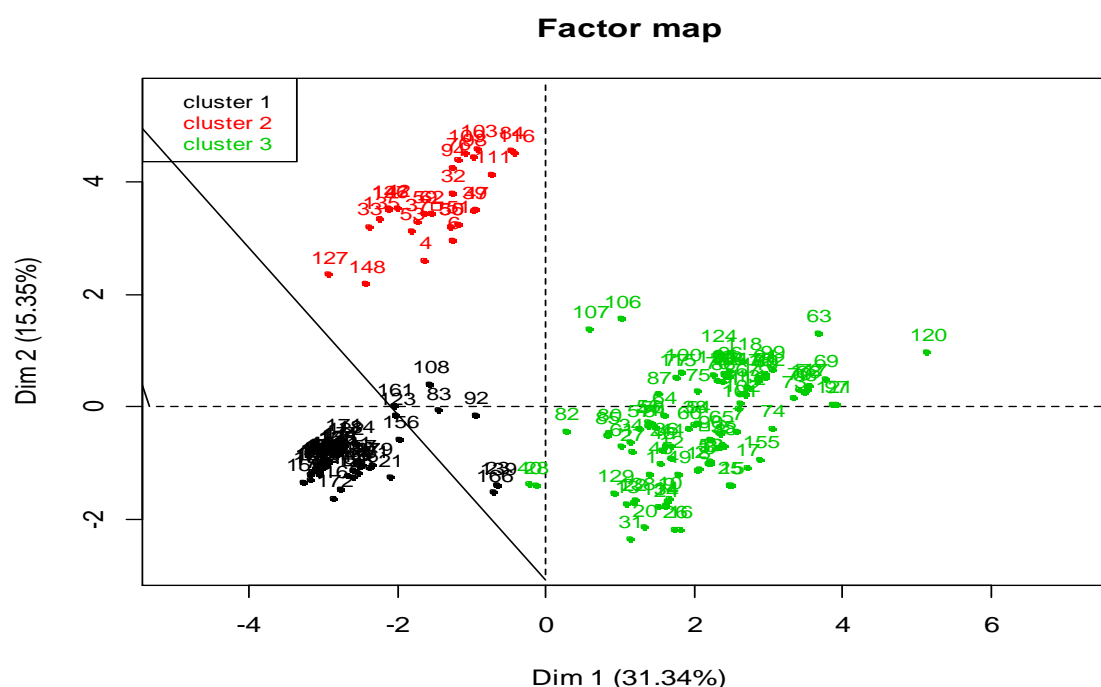


Figure 5. Projection des individus dans le plan formé par les deux premières dimensions

Système de production n° 1

Le premier système de production de maïs (S1) est constitué de 63 producteurs soit 33,9 % de l'échantillon total. Les exploitations de ce système constituées moyennement des exploitants utilisant des engrais chimiques et organiques à faible proportion à dominance des outils rudimentaires. Les membres de ce système de production font la culture du maïs avec les techniques traditionnelles sans recours à l'innovation ou l'utilisation des outils modernes. Ces producteurs utilisent la houe, la daba, le coupe-coupe et la hache pour la production de maïs. Tout le travail se fait manuellement à la main avec beaucoup d'énergie. Seulement 6 % utilisent de charrue pour le labour, 13 % utilisent les engrais chimiques contre 3 % pour l'engrais bio et 4 % l'herbicide. Aucun membre de ce groupe n'utilise les semences améliorées, ils utilisent toujours les semences issues des productions antérieures. Dans cette catégorie, les producteurs de maïs ont en moyenne 26 ± 20 ; 9 ± 7 ; 4 ± 3 et $2 \pm 1,5$ respectivement des têtes de volailles, de caprins, d'ovins et de bovins. La superficie moyenne emblavée par ces producteurs est de $2,57 \pm 3,89$ ha. Ces producteurs de maïs font la production du maïs à petite échelle avec une superficie non négligeable et peuvent être caractérisés de système utilisant des engrais chimiques et organiques à faible proportion à dominance des outils rudimentaires. La majorité de ces producteurs se trouve dans la commune de Pèrère.

Système de production n° 2

Le deuxième système (S2), est constitué de 27 producteurs soit 14,5 % de l'échantillon total. Les exploitants de ce système de production utilisent des engrais organiques à forte proportion à dominance des cultures attelées. Ils sont constitués des petits producteurs qui font la culture du maïs avec les techniques traditionnelles en faisant recours à l'innovation ou l'utilisation des intrants semi-modernes (engrais organiques, l'utilisation des charrues et l'utilisation des semences améliorées). Environ 81,0 % des membres de ce groupe utilisent de charrue pour le labour, 96,9 % utilisent les engrais bio et 19 % l'herbicide. Ainsi, 50 % des membres de ce groupe utilise des semences améliorées. Dans cette catégorie, les producteurs de maïs ont en moyenne 14±14 ; 8±8 ; 8±7 et 4±3 respectivement des têtes de volailles, de caprins, d'ovins et de bovins. La superficie moyenne emblavée par ces producteurs est de 4,5(±3,8) ha. Ces producteurs font la production du maïs à moyenne échelle avec des superficies importantes et peuvent être caractérisés de système utilisant des engrais organiques à forte proportion à dominance des cultures attelées. La majorité de ces producteurs se trouve dans la commune de N'dali.

Système de production n° 3

Qualifier des producteurs utilisant des engrais chimiques à forte proportion à dominance des tracteurs agricoles, l'analyse des résultats du troisième système (S3) montre un effectif de 96 producteurs de maïs soit 51 % de l'échantillon total. Il est constitué principalement des exploitations de grandes tailles. Les membres de ce groupe font de la culture du maïs en faisant recours à l'innovation ou l'utilisation des outils modernes. On constate une forte utilisation des tracteurs pour le labour (100,0 %), l'utilisation des engrais chimiques (80,6 %) contre 6,9 % d'engrais bio et de l'herbicide (76,9 %). Environ 50 % des membres de ce groupe utilisent les semences améliorées. Dans cette catégorie, les producteurs de maïs ont en moyenne 17±10 ; 10±9 ; 9±8 et 6±5 respectivement des têtes de volailles, de caprins, d'ovins et de bovins. La superficie moyenne emblavée par ces producteurs est de 5,1±4,2 ha. Ces producteurs font une production de maïs à grande échelle avec des superficies importantes. Eu égard, à leurs caractéristiques, les producteurs du système n° 3 peuvent être qualifiés parmi ceux utilisant des engrais chimiques à forte proportion à dominance des tracteurs agricoles. La majorité de ces producteurs se trouve dans la commune de Nikki.

Tableau 5. Fréquences en (%) des variables qualitatives les systèmes de production

Variables	Modalités	S 1	S 2	S 3	Total (%)
Utilisation des charrues	Oui	6	81,0	13,1	100
	Non	56,9	27,5	15,7	
Utilisation d' engrais chimiques	Oui	12,9	6,5	80,6	100
	Non	15,3	46,7	37,1	
Utilisation des tracteurs	Oui	0,0	0,0	100	100
	Non	63,0	27,0	10	
Utilisation engrais biologique	Oui	3,1	96,9	6,9	100
	Non	34	36,0	30	
Utilisation d'herbicide	Oui	4,1	19,0	76,9	100
	Non	34,7	15,6	49,7	
Utilisation des semences améliorées	Oui	0	50,0	50,0	100
	Non	34,2	14,1	51,6	
Système traditionnelle	Oui	100,0	0,0	0,0	100
	Non	2,4	21,4	76,2	
Commune de N'dali	Oui	0,0	100,0	0,0	100
	Non	39,6	0,0	60,4	
Commune de Nikki	Oui	6,5	12,9	80,6	100
	Non	47,6	15,3	37,1	
Commune de Pèrèrè	Oui	85,5	8,1	6,5	100
	Non	8,1	17,7	74,2	

Tableau 6. Fréquences des variables quantitatives des systèmes de production

Variables	SYST 1	SYST 2	SYST 3
Nombre de volailles	26±20	14±14	17±10
Nombre de caprins	9±7	8±8	10±9
Nombre de bovins	4±3	8±7	9±8
Nombre d'ovins	2±1,5	4±3	6±5
Superficie emblavée (ha)	2,5±3,8	4,3±4,0	5,1±4,2

4. DISCUSSION

Cette étude a révélé trois systèmes de production de maïs au sein des exploitations agricoles, avec deux catégories de producteurs dans le département du Borgou au Nord-Bénin. Les producteurs du groupe (S1) sont ceux qui emblavent moins de superficie de maïs (2,5 ha en moyenne), utilisant des engrais chimiques et biologiques à faibles proportions à dominance des outils rudimentaires pour la production de maïs mais ne faisant pas recours aux outils de mécanisation agricole (charrues, tracteurs, etc.) et à l'utilisation importante des innovations modernes (engrais, herbicides, semences améliorées, etc.) de production. Tout le travail se fait manuellement. Leur système de production est dit traditionnel. Par contre, les producteurs du deuxième groupe (S2) emblavent en moyenne 4,5 ha avec usage des équipements traditionnels et un recours à l'utilisation des charrues pour le labour et l'utilisation des engrais organiques à forte proportion et à dominance des cultures attelées. Leur système de production est dit semi-mécanisé. Enfin, le troisième groupe des producteurs utilisent une forte proportion des engrais chimiques à dominance des tracteurs agricoles. C'est le groupe des grands producteurs dont le système de production est dit mécanisé. Ceux-ci emblavent en moyenne 5,1 ha de superficie de maïs avec forte utilisation des outils mécanisés et des innovations agricoles modernes de production.

Les résultats de cette étude sont similaires à ceux de Bayiha *et al.* (2019) qui ont mis en évidence trois types d'agriculture biologique : l'agriculture certifiée selon un cahier des charges international, l'agriculture hybride de par sa nature entrepreneuriale sans certification et l'agriculture « naturelle sans certification », qui fait référence à des pratiques traditionnelles, avec une faible utilisation d'intrants (Bayiha *et al.*, 2019). Aussi, ces résultats corroborent avec celui de Saër (2013) qui a identifié trois types d'exploitations dans la production de maïs. Ce dernier a montré aussi que les exploitations les plus mécanisées sont celles disposant d'importance quantité de matériels agricoles, utilisant d'importance quantité d'intrants agricoles et emblavent des superficies importantes. Les exploitations disposants moins de matériels agricoles ayant ainsi un fort taux de location de matériels et utilisant moins d'intrants sont les moins mécanisées. La troisième exploitation est celle qui dispose essentiellement de matériel manuel et à traction animale, utilisant assez de matériels empruntés et emblavent moins de superficies. Mais ce dernier n'a pas mis l'accent sur les intrants organiques combinés à des outils de production. De ce fait, les travaux d'Ayeni *et al.* (2021) sur la typologie des exploitations de maïs dans le sous-bassin de l'Okpara au Bénin ont identifié les

exploitations traditionnelles (cultivant le maïs sur des terres fertiles, sans recours aux innovations techniques), les exploitations modernes (adoptant des innovations) et enfin les exploitations agro écologiques (production biologique du maïs). Aussi, les travaux de Yabi *et al.* (2012) ont identifié quant à eux six systèmes dans la production rizicole : le système irrigué, le type de labour (manuel ou mécanique), le système de mode de semis, le système utilisant ou non l'engrais et enfin le système utilisant ou non les pesticides. Ces différents types d'exploitations agricoles retracent non seulement le fonctionnement de l'agriculture béninoise mais aussi leur niveau de mécanisation dans le contexte de l'agriculture durable. Selon Sossou *et al.* (2014), la diversité des exploitations agricoles auxquelles assiste l'agriculture béninoise s'explique par leur niveau de revenu, leur capacité d'investissement et leur accessibilité aux microcrédits. C'est pour contrôler la faiblesse de la mécanisation agricole que Simon *et al.* (2000) ont montré dans leur étude sur la recherche d'indicateurs de fonctionnement des exploitations agricoles la part de l'agriculture sans bétail, l'élevage sans culture intensive, les systèmes agricoles intégrés cultures fourragères-élevage, l'agriculture mixte avec l'élevage.

En général, les résultats de cette étude révèlent que l'agriculture béninoise n'a pas encore atteint un niveau de mécanisation promis dans les ODD, car elle demeure toujours dans les outils rudimentaires avec un besoin significatif en mains d'œuvre, au tracteur agricole et en fertilisants organiques. C'est le constat fait par Adeyandjou *et al.* (2020) qui ont montré que l'ensemble des systèmes de production au Bénin reste traditionnel avec l'utilisation des moyens rudimentaires et une faible maîtrise de l'eau en dehors des périmètres maraîchers où l'irrigation est utilisée. De ce fait, l'agriculture béninoise nécessite un accompagnement en termes d'intrants et outils agricoles pour améliorer la productivité et la sécurité alimentaire. Les producteurs de maïs souffrent des intrants tels que le tracteurs, les engrais biologiques spécifiques pour le maïs, des moissonneuses et autres outils pour l'entretien cultural. Alors, l'amélioration de la productivité des cultures céréalières doit passer par l'accessibilité aux ressources naturelles, une meilleure intégration de l'élevage et l'accès aux intrants adéquats et aux outils agricoles (Sissoko *et al.*, 2015). La promotion des fertilisants organiques et l'utilisation des outils modernes doit être au centre de prise de décision des politiques agricole dans la promotion de l'agriculture au Bénin.

5. CONCLUSION

Face au problème du changement climatique et des besoins perpétuels de la main d'œuvre, il était important de faire un état de lieu sur les intrants et

outils de production utilisés par les producteurs de maïs au Nord Bénin. Dans cette logique, les résultats sur la typologie des systèmes de production de maïs ont montré trois groupes des producteurs dont trois systèmes dans la zone d'étude : le système utilisant des engrais chimiques et biologiques à faible proportion et à dominance des outils rudimentaires, le système utilisant des engrais organiques à forte proportion et dominance des cultures attelées et enfin, le système utilisant des engrais chimique à forte proportion et à dominance des tracteurs agricoles. Il convient de noter que tous les trois systèmes de production ont en commun l'utilisation des outils traditionnels qui varie d'un groupe à un autre. La promotion des fertilisants organiques et l'utilisation des outils modernes doit être au centre de décision des politiques agricole au Bénin. A cet effet, un soutien fort est indispensable au profit des producteurs de maïs dans l'accès aux semences certifiées, aux tracteurs agricoles pour augmenter la superficie et aux fertilisants (matières organiques) pour la restauration des sols afin d'améliorer la productivité, le revenus et la sécurité alimentaire des populations.

Références

- Abou M., Yabi I., Yolou I. & Ogouwale E., 2018. Caractérisation des systèmes de production sur les sites d'aménagements hydro-agricoles dans le doublet Dangbo-Adjohoun au sud du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12, 462–478.
- Achigan-Dako E.G., Houdegbe A.C., Glèlè M. & Nono-Womdim R., 2014. Analyse du système de production et de distribution des semences de maïs (*Zea mays* L.) au Sud-Bénin. 18 (1), 49-60
- Adekambi S.A., Codjovi J.E.A. & Yabi J.A., 2021. Facteurs déterminants l'adoption des mesures de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) au nord du Bénin: une application du modèle probit multivarié au cas de producteurs de maïs. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 15, 664–678.
- Adeyandjou Y.O., Yabi B.F., Adeoti B.O.E. & Ibouaïma Y., 2020. Caractérisation des Systèmes de Production dans les Bas-Fonds des Communes de Save et de Ouesse au Centre du Benin. *Int. J. Progress. Sci. Technol.* 22, 367–377.
- Arouna A., Adégbola P.Y. & Biaou G., 2011. Analyse des coûts de stockage et de conservation du maïs au Sud-Bénin. *Bull Rech Agro Bénin* 2, 12–23.
- Assogba S.C.-G., Akpinfa É., Gouwakinnou G., Stiem L., Amadji F., Allabi P.M., Akpo R., Canty R., Amadji B. & Menestin C., 2017. La Gestion Durable des Terres: Analyse d'expériences de projets de développement agricole au Bénin. *Inst. Adv. Sustain. Stud. IASS*. DOI: [10.2312/iass.2017.005](https://doi.org/10.2312/iass.2017.005)
- Ayedegue L.U., Issaka K., Yabi A.J. & T., 2020. Typologie et déterminants des stratégies d'adaptation aux changements climatiques en riziculture au nord et centre du Bénin. *Eur. Sci. J. ESJ*, 16, 206–234.
- Ayeni G.A., Loumedjinon E.V.S., Agani F.O. & Yabi A.J., 2021. Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture. *Rev. Afr. D'Environnement D'Agriculture*, 4, 46–56.
- Bayiha G.D.L.P., Temple L., Mathe S. & Nesme, T., 2019. Typologie et perspective d'évolution de l'agriculture biologique au Cameroun. *Cahiers Agricultures*, 28(3), 1-8.
- Biaou D., Yabi J.A., Yegbemey R.N. & Biaou G., 2016. Performances technique et économique des pratiques culturales de gestion et de conservation de la fertilité des sols en production maraîchère dans la commune de Malanville, Nord Bénin. *Int. J. Innov. Sci. Res.*, 21, 201–211.
- Cazes P., Chouakria A., Diday E. & Schektman Y., 1997. Extension de l'analyse en composantes principales à des données de type intervalle. *Rev. Stat. Appliquée*, 45, 5–24.
- Comlan A.B.G. & Ibrahim A.T., 2015. Typology of Lagune cattle farms located in the Oueme valley in Southern Benin. *Int. J. Sci. Adv. Technol.*, 5, 1–6.
- Dakar A.D., 2017. Les déterminants et l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho dans le bassin arachidier du Sénégal (PhD Thesis). Université Cheikh Anta Diop de Dakar., 196
- Dedieu B., Faverdin P., Dourmad J.-Y. & Gibon A., 2008. Système d'élevage, un concept pour raisonner les transformations de l'élevage. *Prod. Anim.*, 21, 45–58.
- Degla P.K., 2020. Analyse comparative des performances économiques des systèmes de production du maïs dans la commune de Banikoara au Nord-Bénin. *Sci. Vie Terre Agron.*, 8 (1), vol. 8, no 1. SSN 2424-7235
- Diagne A., 2013. *Les politiques agricoles: alignement sur les objectifs officiels et efficience. Consortium pour la recherche économique et sociale*. p. 5
- Diallo B.H. & Diouf M.E., 2017. *Caractérisation du système de production agricole dans la commune de Oudalaye*. Rapport de Master Univ. Cheikh Anta Diop DAKAR, 26
- Gandji L., Boni S. & Gbaguidi T., 2019. *Analyse de l'effet du changement climatique sur l'agriculture au Benin*. Université de Parakou.
- Gaury G.S., 1962. *La mécanisation de l'agriculture dans les régions insuffisamment développées - Agritrop* [WWW Document]. URL <https://agritrop.cirad.fr/460035/> (accessed 3.1.22).
- Hinnou C.L., Kossoko O.-C.D., Adekambi A.S. & Agbotridja V.D., 2021. Effets des systemes agropastoraux sur la rentabilite financiere de la production du maïs au nord du Benin. *Agron. Afr.*, 33, 45–56.
- Knittel F., 2017. Agronomie des engrais en France au xixe siècle. *Hist. Soc. Rural.* 48, 177–200.
- Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D., Zombré P.N. & Bondé D., 2010. Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso. *Tropicicultura*, 28, 184–189.
- Lashermes G., Houot S., Nicolardot B., Parnaudeau V., Mary B., Morvan T., Chaussod R., Lineres M., Metzger

- L. & Thuriès L., 2007. Apport de matières organiques exogènes en agriculture: indicateur de potentialité de stockage de carbone dans les sols et définition de classes de disponibilité d'azote. *Journ. Tech. Retour Au Sol Prod. Résiduaire Org.*, 27 p.
- Mabaya E., Dao A., Traore E.V., Waithaka M., Tihanyi K. & Mugoya M., 2020. Burkina Faso Rapport Pays., 36 p. DOI: [10.22004/ag.econ.317013](https://doi.org/10.22004/ag.econ.317013)
- Mbetid-Bessane E., Havard M., Nana P.D., Djonnewa A., Djondang K. & Leroy J., 2007. Typologies des exploitations agricoles dans les savanes d'Afrique centrale : un regard sur les méthodes utilisées et leur utilité pour la recherche et le développement. Cirad-Prasac, 10 p.
- Nkansah K.O., 2020. *La Lutte Contre la Faim en Afrique de l'Ouest: Une Perspective syndicale*, URI: <http://ugspace.ug.edu.gh/handle/123456789/36221>
- Pagès J., 2004. Analyse Factorielle de Données Mixtes. *Revue Statistique Appliquée*, 93–111.
- Riedacker A. & Adjahossou D.F., 2009. *Sécurité alimentaire et changement climatique en Afrique subsaharienne* no 3, p. 124-132.
- Savadogo M., Somda J., Seynou O., Zabré S. & Nianogo A.J., 2011. *Catalogue des bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso*. Ouagadougou Burkina Faso UICN Burkina Faso, 60 p.
- Sébillotte M., 1977. Jachère, système de culture, système de production, méthodologie d'étude. *J. Agric. Tradit. Bot. Appliquée*, 24, 241–264.
- Semassa, A. J., Padonou, S. W., Anihouvi, V. B., et al. Diversité Variétale, Qualité Et Utilisation Du Maïs (Zea Mays) En Afrique De l'Ouest: Revue Critique. *European Scientific Journal*, 2016, vol. 12, no 18.
- Simon J.-C., Grignani C., Jacquet A., Le Corre L. & Pagès J., 2000. Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitation agricole: recherche d'indicateurs de fonctionnement. *Agronomie*, 20, 175–195.
- Sissoko F., Coulibaly D., Cissé O. & Dugué P., 2015. *Évaluation de l'arrière effet de la culture du coton sur la production céréalière en zone cotonnière du Mali*. PAG, p.160
- Sossou C., Dogot T., Lebailly P., Adjovi G. & Coulibaly O., 2014. Analyse des déterminants de l'accès au crédit des exploitations agricoles au Bénin. *Bull. Rech. Agron. Bénin BRAD*, 27–35.
- Sossou C., Lebailly P. & Léonard H.C., 2013. *Essai de typologie des exploitations agricoles axées sur le financement de la production agricole au Bénin*, in: 7èmes Journées de Recherches En Sciences Sociales: Actes Du Colloque. SFER, p. 23.
- Sossou C.H., 2015. *Le financement de l'agriculture au Bénin: Stratégies de gestion et d'adaptation des exploitations agricoles* (PhD Thesis). Gembloux Agro-Bio Tech Université de Liège, Gembloux, Belgique P. 181. <https://hdl.handle.net/2268/188999>
- Yabi J.A., Paraïso A., Yegbemey R.N. & Chanou P., 2012. Rentabilité économique des systèmes rizicoles de la commune de Malanville au Nord-est du Bénin. *Bull. Rech. Agron. Bénin BRAB Numéro Spéc. Prod. Végétales Anim. Econ. Sociol. Rural*, 12 p.
- Yahi L. & Djeflal A., 2020. *L'Effet protecteur de la supplémentation en vitamines C contre la cytotoxicité induit par l'herbicide glyphosate* URI: <http://hdl.handle.net/123456789/9427>
- Yannick D.F. & Bergaly K.C., 2020. Productivité Agricole en Afrique Subsaharienne, 25 p.
- Yegbemey R.N., Yabi J.A., Aïhoun G.B. & Paraïso A., 2014. Modélisation simultanée de la perception et de l'adaptation au changement climatique: cas des producteurs de maïs du Nord Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cah. Agric.*, 23, 177–187.