

Faculté des bioingénieurs

**Identification des facteurs
environnementaux et agronomiques
affectant la réponse à la fertilisation
microdose dans le sud du Burkina
Faso**

Auteur : Chloé Rosy

Promoteur(s) : Prof. Charles Bielders (UCL/ELI/ELIE)

Lecteur(s) : Prof. Philippe Baret (UCL/ELI/ELIA)

Prof. Pierre Bertin (UCL/ELI/ELIA)

Année académique 2018-2019

Master en sciences et technologies de l'environnement

Option : Ressources en eau et en sol

Remerciements

Je voudrais en premier remercier mon promoteur Charles Bielders, pour son encadrement, ses conseils avisés et sa patience lors de la réalisation de ce mémoire.

Ensuite, je remercie particulièrement Yacouba Ouedraogo pour m'avoir fait part de ses connaissances au sujet de la microdose et de ses expériences de terrain et à M. Taonda pour m'avoir donné l'occasion de travailler au sein du projet MICROFERTI et d'avoir rendu possible ce voyage au Burkina Faso.

Je tiens aussi à remercier mon interprète, Daouda Sankara, pour son sérieux durant les interviews en Sissili. Merci pour ce travail de qualité et pour les longs trajets à moto entre les villages.

Merci aussi au technicien de la Sissili, Baba, pour ses connaissances de la région, des personnes et des bons plans de Léo.

Je remercie également Alain Guillet pour son expertise statistique lors de la réalisation de la régression linéaire.

Je suis également reconnaissante envers les 38 agriculteurs qui m'ont accordé leur temps et fait partager leur expérience durant les enquêtes de terrain.

Je remercie aussi ma mère pour sa relecture, très consciencieuse, de ce long travail.

Enfin, un grand merci à mes amis pour leur encouragement, leurs conseils et leur confiance lors de ces moments d'analyse et d'écriture.

Tables des matières

1. INTRODUCTION.....	1
2. CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....	2
2.1 Situation au Burkina Faso.....	2
2.2 Secteur agricole au Burkina Faso	4
3. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	7
3.1 Gestion de la fertilité en Afrique de l'Ouest.....	7
3.2 Définition de la fertilisation microdose	8
3.3 Aspects techniques de la pratique de la microdose	9
3.3.1 Engrais utilisés	9
3.3.2 Aspects techniques de la fertilisation microdose	10
3.4 Avantages de la fertilisation microdose.....	10
3.4.1 Disponibilité des engrais minéraux.....	10
3.4.2 Influence sur le rendement et la production de biomasse	11
3.4.3 Avantage économique.....	12
3.4.4 Augmentation de l'efficacité de l'utilisation des nutriments	12
3.4.5 Bilan des nutriments	13
3.5 Contraintes associées à la technique de la microdose	15
3.6 Variabilité de la réponse à la fertilisation microdose	16
3.6.1 Aperçu de la variabilité.....	16
3.6.2 Facteurs de variabilité	17
4. OBJECTIFS	20
5. MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	21
5.1 Zone d'étude : Présentation de la Sissili.....	21
5.2 Essais en milieu paysan	23
5.2.1 Mise en place des essais microdose	23
5.2.2 Mise en place des essais de variabilité	24
5.2.3 Facteurs à tester	25
5.2.4 Données de rendements.....	26
5.2.5 Analyse des données de rendements.....	26
5.3 Enquêtes auprès des agriculteurs	30
5.3.1 Objectif des enquêtes.....	30
5.3.2 Elaboration du questionnaire.....	30
5.3.3 Échantillonnage	31
5.3.4 Enquête semi-directive	32

5.3.5	<i>Données collectées</i>	33
5.3.6	<i>Analyse des résultats d'enquêtes</i>	35
6.	RÉSULTATS ESSAIS	37
6.1	Caractéristiques régionales	37
6.2	Facteurs influençant la réponse du sorgho à la fertilisation microdose.....	40
6.2.1	<i>Variabilité de la réponse au sorgho</i>	40
6.2.2	<i>Analyse multivariée pour le sorgho</i>	40
6.3	Facteurs influençant la réponse du maïs à la fertilisation microdose	44
6.3.1	<i>Variabilité de la réponse au maïs</i>	44
6.3.2	<i>Analyse multivariée pour le maïs</i>	45
7.	RÉSULTATS DES ENQUÊTES	48
7.1	Statistiques descriptives.....	48
7.1.1	<i>Données socio-économiques</i>	48
7.1.2	<i>Système agricole</i>	49
7.1.3	<i>Fertilisation</i>	50
7.1.4	<i>Fertilisation microdose</i>	52
7.2	Comparaison connaisseurs – primo-pratiquants.....	55
8.	DISCUSSION	65
8.1	Discussion des essais microdose	65
8.1.1	<i>Discussion des essais sur le sorgho</i>	65
8.1.2	<i>Discussion des essais sur le maïs</i>	67
8.1.3	<i>Discussion générale des essais</i>	70
8.2	Discussion des enquêtes	71
8.2.1	<i>Comparaison avec les données dans l'Oubritenga</i>	71
8.2.2	<i>Limites des enquêtes</i>	74
9.	CONCLUSION	76
10.	BIBLIOGRAPHIE	77
11.	ANNEXES	85

Liste des figures

Figure 2.1: Représentation des trois zones climatiques au Burkina Faso (CIFOR, 2015).....	3
Figure 2.2: Structure du secteur primaire en 2010 (IAP, 2012)	4
Figure 2.3: Evolution de l’agriculture céréalière entre 1961 et 2017 concernant les surfaces cultivées pour les céréales, les rendements et la production totale de céréales au Burkina Faso. FAOSTAT (10/01/19)	5
Figure 3.1: Illustration de la variation de la balance partielle lorsqu’il y a association de matière organique (M.O.) avec la microdose (MD1 et MD 2). (Tovihoudji, 2018)	15
Figure 3.2: Fonction de probabilité cumulative du rendement de maïs (en kg/ha) pour différents traitements en 2015. MD1 et MD2= 2 traitements de microdose, RR= dose recommandée, FYM= fumier de ferme (3T/ha) (Touvioudji, 2018)	17
Figure 5.1: Provinces de Burkina Faso et représentation des sites d’études du projet MICROFERTY.	21
Figure 5.2: Répartition des cultures en Sissili en 2009 (Guenot et Huchet-Bourdon, 2014)... ..	22
Figure 5.3: Représentation de la disposition des parcelles d’essai en Sissili et des traitements utilisés.....	25
Figure 6.1: Pluviométrie cumulée sur la saison culturale et nombre de producteur ayant choisi une date de semis.....	37
Figure 6.2: Courbe de densité de probabilité cumulée pour la réponse du sorgho à la fertilisation microdose.	40
Figure 6.3: Courbe de densité de probabilité cumulée pour les rendements du maïs témoin et sous microdose.	44
Figure 7.1: Proportion des différents niveaux d’éducation des producteurs dans les trois villages autour de Léo.	48
Figure 7.2: Répartition des surfaces cultivées entre les cultures pratiquées dans la commune de Léo pour les producteurs enquêtés.	49
Figure 7.3: Nombre de champs de case, village et brousse dans les villages pour les parcelles des producteurs interrogés.....	50
Figure 7.4: Répartition de l’utilisation d’engrais NPK entre les différentes cultures pour les producteurs dans la province de la Sissili. Le sésame et le niébé représentent une petite partie de la quantité d’engrais utilisée et leurs valeurs sont donc proches de 0% (~0,3%).....	51
Figure 7.5: Représentation du nombre d’années depuis lesquelles un producteur applique la technique de la fertilisation microdose.....	53
Figure 7.6: Représentation de l’importance des contraintes liées à la technique de la fertilisation microdose dans le département de Bieha.	55
Figure 7.7: Comparaison des niveaux d’éducation des producteurs de la Sissili en fonction de leur niveau de connaissance concernant la microdose.	56
Figure 7.8: Représentation des critères d’efficacité pour le choix d’une parcelle par les agriculteurs connaisseurs, lors de l’application de la microdose. Chaque producteur a opté pour un ou plusieurs critères.....	57

Figure 7.9: Représentation des critères d'efficacité pour le choix d'une parcelle par les agriculteurs primo-pratiquants, lors de l'application de la microdose. Chaque producteur a opté pour un ou plusieurs critères.	58
Figure 7.10: Comparaison des préférences des producteurs de la Sissili concernant les types de sols adaptés pour la microdose en fonction de leur niveau de connaissance concernant la microdose (connaisseurs et primo-pratiquants).....	59
Figure 7.11: Cultures préférentielles pour l'application de la microdose. Chaque bâtonnet représente la proportion d'agriculteurs connaisseurs qui ont choisi de cultiver cette culture. Les agriculteurs ont au minimum proposé 1 choix et au maximum 3 choix de cultures.....	60
Figure 7.12: Cultures préférentielles pour l'application de la microdose. Chaque bâtonnet représente la proportion d'agriculteurs primo-pratiquants qui ont choisi de cultiver cette culture. Les agriculteurs ont au minimum proposé 1 choix et au maximum 4 choix de cultures.	60
Figure 7.13: Proportion des choix fait par les agriculteurs sur les techniques agronomiques et aménagements en champ permettant d'améliorer l'efficacité de la fertilisation microdose. Les connaisseurs et les primo-pratiquants pouvaient proposer plusieurs choix.	61
Figure 7.14: Proportion des choix faits par les agriculteurs concernant les causes de la variabilité dans la réponse à la fertilisation microdose. Les connaisseurs et les primo-pratiquants pouvaient proposer plusieurs choix.....	63
Figure 8.1: Représentation du rendement du témoin fertilisé chez le maïs (F), du témoin sous microdose chez le maïs (MD) et le rendement sans engrais hypothétique du maïs (T) qui vaut le rendement témoin du sorgho en fonction des classes de distance.....	69

Liste des tableaux

Tableau 5.1: Plan d'échantillonnage dans le département de Bieha.....	32
Tableau 6.1: Statistiques descriptives de la pluviométrie totale durant la saison de culture 2018.	37
Tableau 6.2: Répartition des parcelles selon leur classe d'enherbement.	38
Tableau 6.3: Répartition des parcelles selon leur incidence au striga.....	38
Tableau 6.4: Répartition des types de sol et de leur distance depuis la concession de l'agriculteur.	39
Tableau 6.5: Statistiques descriptives des rendements du sorgho sous microdose et du sorgho témoin.	40
Tableau 6.6: Résultats de l'ANOVA pour la régression linéaire stepwise du sorgho. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « . » indique une significativité à 10%, « * », une significativité de 5% et « ** », une significativité à 1%.	41
Tableau 6.7: Résultats de la régression linéaire stepwise du sorgho. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « . » indique une significativité à 10%, « * », une significativité de 5% et « ** », une significativité à 1%.	41
Tableau 6.8: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « application de NPK en 2017 ». « . » indique que la réponse est significativement différente, au seuil de 10%, entre les deux modalités et « ** » au seuil des 1%.	42
Tableau 6.9: Résultats de la régression linéaire stepwise du sorgho sans la variable « application de NPK en 2017 ». Les astérisques indiquent la significativité des variables. « . » indique une significativité à 10% et « ** », une significativité à 1%.	42
Tableau 6.10: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « topographie de la parcelle ».	43
Tableau 6.11: Statistiques descriptives des rendements du maïs sous microdose et du maïs témoin.	44
Tableau 6.12: Résultats de l'ANOVA pour la régression linéaire stepwise du maïs. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « ** », une significativité de 1%. « . » pour une significativité de 10%.	45
Tableau 6.13: Résultats de la régression linéaire stepwise du maïs. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « ** », une significativité de 1%, « * », une significativité de 5% et « . » indique une significativité de 10%.....	45
Tableau 6.14: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « occupation du sol environnant ». « . » indique une significativité de 10%.	46
Tableau 6.15: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « occupation du sol environnant ». « . » indique une significativité de 10%.	46
Tableau 6.16: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « Type de sol ».	47

Tableau 7.1: Comparaison de la structure de l'exploitation entre connaisseurs et primo-pratiquants de la microdose considérant le nombre de parcelles moyens pour ces deux catégories, le nombre moyen d'hectares par producteur de chaque catégorie et le nombre moyen d'hectare par parcelle. La p-valeur est obtenue grâce au test de Shapiro-Wilk avec une p-valeur seuil de 0,05 et le test de Khi² pour le même p-valeur (utilisé pour le pourcentage de producteurs ayant de 1 à 4 parcelles 56

Tableau 8.1: Résultats de la régression linéaire stepwise pour le nombre d'années depuis la mise en culture.. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « ** » indique une significativité à 1% et « *** » une significativité à 0,1%. 66

1. INTRODUCTION

La population d'Afrique de l'Ouest continue sa croissance rapide. Le nombre d'habitants de la région est même supposé dépasser le milliard d'individus d'ici 2050 (United Nations, 2015). La demande alimentaire de cette population grandissante implique une intensification agricole qui utilise désormais des engrais minéraux comme intrants dans leur système (Ichami et al., 2018). Les chercheurs recommandent en général des doses élevées de matière organique et d'engrais minéral (Mugwira et Murwira, 1997). Cependant, le manque de moyens des agriculteurs les empêche souvent d'accéder à ces engrais, pourtant indispensables afin de garantir un rendement suffisant dans le long terme (Hayashi, 2008, Bationo et al., 2007). Des nouvelles technologies, prenant en compte les dimensions biophysique, socio-économique et politique, doivent donc être mises en place afin d'assurer la production agricole à court et long terme (Izac, 2000). La microdose est l'une de ces techniques. Développée depuis les années 1990, elle encourage les agriculteurs à l'utilisation des engrais minéraux, en diminuant les quantités utilisées tout en conservant un rendement suffisant (Tabo et al., 2006 ; ICRISAT, 2009). La technique consiste à enfouir dans le trou de semis, ou à proximité, une faible quantité d'engrais minéral, au moment du semis ou quelques semaines après la levée. La technique a fait ses preuves durant ces dernières années avec des augmentations significatives de rendements et une meilleure rentabilité économique pour le producteur que le mode de fertilisation à la volée et sans apport d'engrais. Mais, ces augmentations de rendements ne sont pas toujours aussi rentables qu'annoncées et, dans certains cas, elles sont insuffisantes pour compenser l'investissement en engrais (Biielders et Gérard, 2015). Cette variabilité pourrait constituer un frein à l'adoption à plus grande échelle de la technique de la microdose puisque certains agriculteurs ne peuvent pas se permettre d'investir dans une technique non fiable. Il devient donc important d'étudier les effets de la microdose à l'échelle de la parcelle afin d'établir des recommandations qui tiennent compte des propriétés de ces parcelles et des conditions économiques et sociales des agriculteurs.

Le projet MICROFERTI a été proposé en 2016 afin d'étudier la variabilité de la réponse des cultures céréalières à la fertilisation microdose au Burkina Faso, un des premiers pays ayant adopté la technique à grande échelle. La région étudiée dans le cadre de ce mémoire est située dans le sud du Burkina Faso, dans la province de la Sissili, près de la frontière avec le Ghana.

Ce travail se divise en 8 parties. L'état actuel du secteur agricole au Burkina Faso est d'abord présenté. S'en suit un état de l'art sur la fertilisation microdose. Les objectifs du travail sont aussi abordés ainsi que la méthodologie utilisée pour répondre à ces objectifs. Ensuite, les résultats de l'étude sont ensuite exposés, d'abord ceux concernant les essais microdose puis les résultats des enquêtes de terrain. Enfin, une analyse sur ces deux derniers points est exposée et la conclusion vient finaliser cette étude.

2. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

2.1 Situation au Burkina Faso

Le Burkina Faso est un pays d'Afrique de l'Ouest bordé par la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo, le Bénin, le Niger et le Mali. Sa superficie totale est de 271 200 km² et est divisée entre les 13 régions et 45 provinces composant le pays. En 2018, la population burkinabé atteignait 20 253 000 habitants avec un taux de croissance de 3,16% par an (FAO) en 2018.

En 2017, 31,5% de la population vivait en milieu urbain (FAOSTAT, 2017), principalement dans les villes de Ouagadougou et Bobo Dioulasso où se concentrent 58% de la population urbaine (Banque Mondiale, 2010). La population est en grande majorité analphabète avec un taux d'alphabétisation estimé à seulement 28,3% pour les plus de 15 ans (Ministère de l'Enseignement de Base et de l'Alphabétisation, 2011).

Concernant le développement humain, le pays se situait, en 2017, au 198^{ème} rang sur 205 pays (PopulationData). Malgré ses potentialités agricoles appréciables, 46% de la population au Burkina Faso vit dans la pauvreté¹ avec 52% de pauvreté dans les zones rurales contre 20% en milieu urbain (Adingra et Ambagna, 2015). Et 4,4 millions de personnes sont sévèrement touchées par l'insécurité alimentaire (FAOSTAT, 2017).

Le climat, sous l'influence de climats tropicaux secs, est soumis à l'alternance saisonnière d'air humide de mousson venant des hautes pressions océaniques et d'air sec provenant des latitudes sahariennes. Ses principales caractéristiques sont une saisonnalité bien marquée par deux périodes très contrastées : la saison des pluies, de 3 à 6 mois (de mai-juin à septembre-octobre) avec des précipitations comprises entre 300 mm et 1200 mm et la saison sèche, de novembre à avril, durant laquelle souffle l'harmattan, un vent chaud, sec et chargé de poussière, originaire du désert du Sahara. La saison sèche est de plus en plus longue au fur et à mesure que l'on monte vers le Nord. L'alternance des deux types de saison est déterminée par le déplacement du front intertropical (FAO, 2015 ; FAO, 2013).

Le Burkina Faso est divisé en trois zones climatiques définies en fonction des températures moyennes annuelles et des précipitations annuelles : la zone sahélienne au Nord, la zone soudano-sahélienne, plus étendue, au centre et la zone soudanienne au Sud (Figure 2.1).

¹ Estimé à 82.720 FCFA en 2003 (source : EBCVP, 2003)

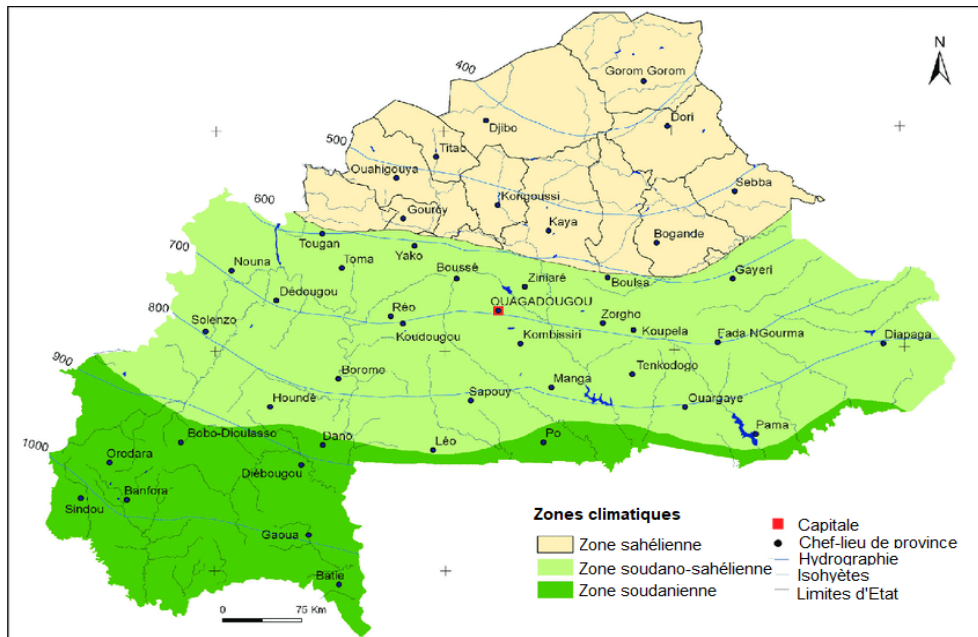


Figure 2.1: Représentation des trois zones climatiques au Burkina Faso (CIFOR, 2015)

La zone sahélienne est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 600 mm, une courte saison des pluies (4 mois au plus) et de fortes amplitudes thermiques diurnes et annuelles, de 15 à 45°C. La zone soudano-sahélienne est une zone intermédiaire pour les pluies et les précipitations avec une saison des pluies de 5 mois environ. Enfin, la zone soudanienne est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle supérieure à 900 mm, une saison des pluies de près de 6 mois et des amplitudes diurnes et annuelles de températures faibles (CIRIDD, 2006).

Ces zones climatiques définissent également l'occupation du sol. La zone sahélienne est principalement recouverte de steppe arbustive à épineux, l'agropastoralisme, à dominance pastorale, y est fort pratiqué et l'agriculture est de type vivrière, à base de mil, sorgho et niébé. La végétation de la zone soudano-sahélienne s'apparente à des savanes arborées et arbustives. Cette zone est également le bassin cotonnier et les cultures pratiquées sont essentiellement du sorgho, du mil, du niébé et des arachides. L'élevage pastoral transhumant y est aussi pratiqué. Au sud, davantage de savanes arbustives et boisées sont présentes, ainsi que des forêts claires. La zone soudanienne est à vocation agricole, caractérisée par les cultures pérennes, la culture cotonnière, du manioc et des céréales comme le sorgho, le mil et le maïs. C'est également une zone d'accueil des transhumants en saison sèche (FAO, cité par la Banque Mondiale, 2010). Le climat semi-aride est enclin à de fortes variabilités dans les précipitations (Nicholson, 2018). La pluviométrie semble augmenter depuis la fin des années 80 mais le régime pluviométrique n'est pas complètement revenu aux conditions d'avant la période de sécheresse (1968 – 1990). La variabilité interannuelle semble croître également avec de plus nombreuses alternances entre des années anormalement sèches et les suivantes anormalement humides. La variabilité intra-annuelle est aussi marquée par une saison des pluies plus courte qui commence plus tard dans l'année (Nicholson, 2017).

2.2 Secteur agricole au Burkina Faso

Le secteur agricole contribue fortement à la formation de la richesse nationale du Burkina Faso. Il emploie près de 90% de la population burkinabé, représente 35 à 40% du PIB et fourni plus de 37 % des exportations nationales (Saba et al. 2017, FAO, 2013).

Le secteur primaire (production végétale, élevage, sylviculture, pêche) est dominé par l'agriculture (production végétale vivrière et de rente) et l'élevage qui représentent à eux deux plus de 90% de la valeur ajoutée du secteur en 2010 (MEF/IAP, 2012). 60 000 km² sont alloués en terres arables et la même superficie est destinée à la prairie et aux pâturages (FAOSTAT, 2012). On constate une augmentation importante de la part de l'élevage entre 2001 et 2010, passée de 28,9% à 46% du secteur primaire, ceci se faisant principalement aux dépens de l'agriculture dont la part est passée de 59,3% à 44% (Figure 2.2). L'agriculture est principalement de type pluvial avec seulement 0,89% de terres irriguées (FAO, AQUASTAT, 2017).

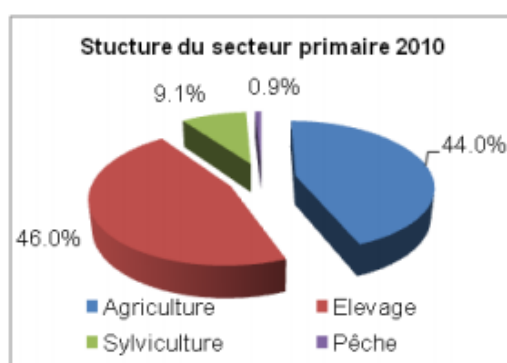


Figure 2.2: Structure du secteur primaire en 2010 (IAP, 2012)

La valeur ajoutée de la production végétale (vivrière et rente) constitue cependant la plus grande part de la valeur ajoutée agricole. On observe une domination nette de la production végétale dans la valeur ajoutée agricole entre 1990 et 2005 avec une part moyenne de 57%, contre une moyenne de 30% pour l'élevage et 13 % pour la sylviculture et la pêche. (FAO, 2013).

L'activité agricole est toujours extensive avec une prédominance, de 72%, de petites exploitations de moins de 5 ha en 2008 (FAO, 2013). La production agricole est dominée par les céréales, qui occupent 71% de la production totale (période 2001-2010) et dont la production ne cesse d'augmenter (Figure 2.3) (FAOSTAT, 2017).

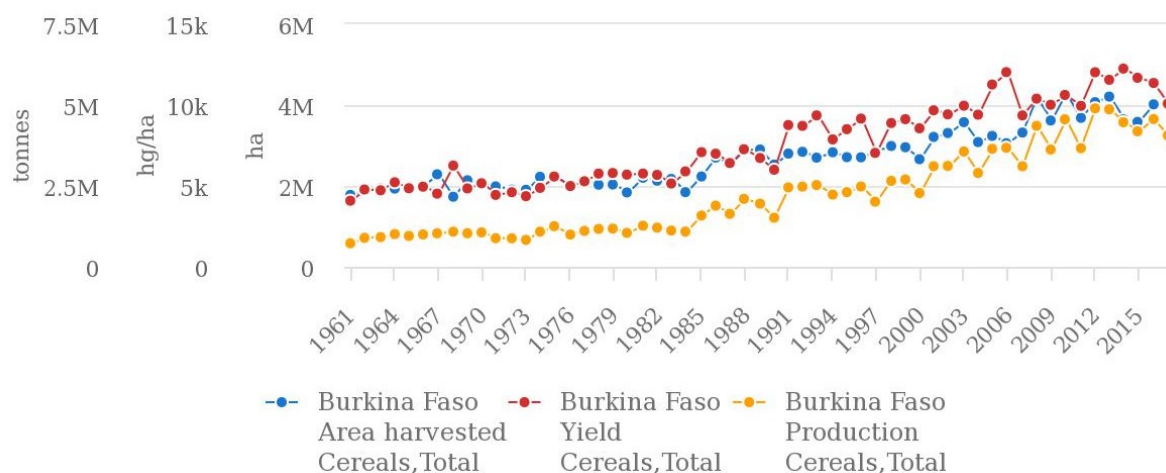


Figure 2.3: Evolution de l'agriculture céréalière entre 1961 et 2017 concernant les surfaces cultivées pour les céréales, les rendements et la production totale de céréales au Burkina Faso. FAOSTAT (10/01/19)

La production céréalière est elle-même dominée à 44% par le sorgho, suivi du mil avec 31% et du maïs et du riz avec respectivement 21 et 4 % de la production. La culture de ces deux dernières céréales est cependant en pleine expansion, grâce à leurs fortes valeurs ajoutées et à leurs productivités supérieures par rapport aux autres cultures céréalières² (FAO, 2013). Le coton a également une part importante dans la production agricole du Burkina Faso et domine les exportations agricoles. Les cultures de rente (coton, sésame, arachide et soja) représentent en moyenne 18% de la production agricole au Burkina entre 2001 et 2010 et sont essentiellement destinées à l'exportation (FAO, 2013). La consommation alimentaire est, quant à elle, centrée sur les céréales sèches et le riz (DGPER, 2010).

L'agriculture burkinabé est cependant limitée par plusieurs facteurs biophysiques, des facteurs liés aux infrastructures ou des facteurs institutionnels. Premièrement, la faible fertilité inhérente des sols. Les roches mères sont parmi les plus anciennes du monde et sont couvertes en général par des sols très anciens et lessivés. Le taux de matière organique des sols est très faible (< 1 %) et les carences en azote et en phosphore limitent fortement la production agricole (Banque Mondiale, 2010). L'exposition des populations rurales aux risques liés au climat ne fait aussi que croître. Le secteur agricole souffre des précipitations instables et imprévisibles et de manque d'eau répétés et chroniques (Banque Mondiale, 2010). Les grandes fluctuations du climat connues dans le pays entraînent une volatilité des prix beaucoup plus forte. (Adingra et Ambagna, 2015). Ensuite, le réseau de communication (pistes rurales) est insuffisant et précaire, surtout pour des villages isolés (FAO, 2013). La faiblesse de l'équipement est également l'une des contraintes majeures de l'agriculture au Burkina Faso. La mécanisation de l'agriculture repose principalement sur la traction animale et sur une expérience limitée de vulgarisation de l'usage du tracteur (FAO, 2013). De plus, au Burkina Faso, l'accès aux intrants est encore difficile pour les producteurs. Cette difficulté est

² L'évolution des rendements entre 1961 et 2010 nous montre que le riz et le maïs demeurent les cultures les plus productives sur toute la période avec des rendements atteignant 1 944 kg/ha pour le maïs et 2 572 kg/ha pour le riz. (FAO, 2013 ; DGPSA, 2008)

essentiellement liée au problème de disponibilité et au coût élevé des intrants. On constate une baisse de la consommation d'intrants minéraux de près de 28% entre 2005 et 2009 (FAOSTAT, 2012). L'accès au crédit demeure aussi l'une des principales contraintes de l'agriculture burkinabé ; en 2008 seuls 7% des producteurs avaient accès au crédit. La principale difficulté d'accès au crédit est l'absence de structure de crédit (Ministère de l'agriculture et de l'Hydraulique, 2008). Finalement, les filières agricoles sont peu structurées et rencontrent des problèmes de commercialisation liés à la faiblesse de l'intégration de l'économie agricole au marché sous régional et mondial (FAO, 2013).

3. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

3.1 Gestion de la fertilité en Afrique de l'Ouest

Depuis des décennies, l'Afrique de l'Ouest rencontre des problèmes de fertilité des sols, de dégradation des terres et de désertification (Schlecht et Buerkert, 2005). Ces facteurs influencent la productivité des sols et les agriculteurs de la région éprouvent beaucoup de difficultés à augmenter leurs rendements afin de faire face à la population grandissante.

Les problèmes de fertilité des sols sont liés à la faible disponibilité des nutriments, l'azote et le phosphore étant les plus limitants, et au peu de matière organique dans les sols (Bationo et Buerkert, 2001). Les sols africains des régions subsahariennes, souvent pauvres en nutriments, acidifiés et peu structurés, sont peu propices à la production agricole, et la productivité de ces sols tend à diminuer. Plusieurs facteurs sont à prendre en compte. Premièrement, l'augmentation de la population exerce une pression sur les sols en diminuant la période de jachère, limitant le retour de fertilité et causant ainsi une baisse des rendements et une perte de stabilité structurale des sols (Bationo et Mokwunye, 1991). Ensuite, les systèmes agricoles d'Afrique de l'Ouest sont principalement extensifs avec peu d'apport de ressources extérieures (engrais, matière organique) (Sombda et al, 2002). Avec l'exportation des matières produites et sans l'apport d'intrants, la réserve en nutriments et en carbone des sols diminue et l'acidité du sol augmente (Zingore, 2007). La perte annuelle en carbone est estimée à 4,7% pour les sols sableux et 2% pour les sols limoneux d'Afrique de l'Ouest (Bationo et al., 2007). Cette perte, combinée à la diminution de nutriments, entraîne une réduction importante des rendements. D'autres facteurs, tels que l'érosion, éolienne ou hydrique, et la redistribution des éléments, influencent également la quantité de carbone et de nutriments dans les sols et leur productivité (Bationo et Buerkert, 2001). Selon Lal (1995), la réduction de rendement due à l'érosion devrait atteindre 14,5% en 2020 pour l'Afrique subsaharienne. Enfin, le lessivage des nutriments dans ces sols peu structurés entraîne également une perte de productivité (Bationo et Mokwunye, 1991).

La quantité de précipitations et leur répartition au cours de l'année impactent aussi la production agricole. La variabilité inter et intra annuelle des pluies, associée à des températures hautes et à une forte évapotranspiration, ne permettent pas aux cultures de se développer dans des conditions optimales.

Des facteurs sociaux et institutionnels tels que le manque de connaissance des producteurs à propos de leur sol ou de leurs cultures, l'accès au crédit limité ou le manque de soutien institutionnel sont eux aussi des freins à la production agricole.

Des techniques sont développées afin de restaurer la fertilité des sols et de maintenir la productivité pour cette population africaine grandissante. Afin de compenser la perte en nutriments, des amendements organiques ou des engrais minéraux doivent être apportés mais ceux-ci sont souvent peu disponibles et/ou utilisés de façon inappropriée (Bationo et al., 2007 ; Bationo et Buerkert, 2001). Des mesures de conservation comme l'application de paille ou l'abandon des résidus de cultures sur le champ, sont mises en place afin de limiter la dégradation

des terres et de recycler des nutriments (Bationo et Mokwinye, 1991). En revanche, cette technique est sujette à une forte compétition avec la nutrition du bétail. De plus, l'intégration du bétail est favorisée pour profiter de leurs fèces, produites à partir de ce qu'ils ont mangé. L'apport d'amendements organiques comme les déchets ménagers ou le compost est également une technique utilisée. Les champs sont aussi laissés en jachère pendant quelques années dans le but de restaurer la fertilité inhérente du sol (Schelcht et Buerkert, 2005). Cette pratique est cependant limitée par les surfaces disponibles et l'augmentation démographique augmente la pression sur ces terres et diminue la période de jachère.

Une gestion intégrée de la fertilité, combinant la matière organique et les intrants minéraux se développe depuis des années. La matière organique est utilisée pour favoriser l'activité des microorganismes et améliorer la structure du sol alors que les engrais minéraux ont pour but d'apporter les éléments déficitaires au sol (Vanlauwe et Giller, 2006). L'utilisation des engrais minéraux n'est donc pas à bannir afin de permettre une agriculture durable. Les doses actuellement recommandées sont d'environ 200 kg de NPK₁₄₋₂₃₋₁₄ pour du maïs (Taonda, 2015). Cependant, ces doses tiennent peu compte de l'hétérogénéité des sols et ne sont donc pas toujours adaptées aux producteurs (Zingore, 2007). De plus, l'investissement dans les engrais minéraux est encore faible à cause du manque de moyens et des risques climatiques et biotiques encourus durant la saison de culture (ICRISAT, 2009 ; Hayashi, 2008). La fertilité des sols diminuant, ces engrais deviennent alors indispensables afin de garantir un rendement suffisant dans le long terme. De nouvelles technologies doivent donc être étudiées et des aides institutionnelles mises en place afin de réduire les contraintes socio-économiques des agriculteurs et leur permettre de produire et de se développer dans de meilleures conditions (Bationo et al., 2007 ; Biielders et Gérard, 2015). La technique de la fertilisation microdose est une de ces technologies conçues afin de répondre à la demande en engrais minéraux sans que l'agriculteur n'ait besoin de contracter des dettes importantes.

3.2 Définition de la fertilisation microdose

La fertilisation microdose est une technique qui consiste à enfouir de petites quantités d'engrais minéraux dans le poquet de semis ou juste à côté, au moment du semis ou quelques semaines après l'émergence (Hayashi et al., 2008, ICRISAT 2009). Le concept de la microdose est né vers 1994 et des essais en stations sont mis en place au Niger avec la collaboration de ICRISAT-Niger, l'Université de Hohenheim (à Stuttgart, en Allemagne), le centre international pour le développement des engrais (IFDC) et l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN). Les résultats sont encourageants et, à partir de 1996, d'autres essais en champ sont mis en place par le Projet Intrants de la FAO, en partenariat avec ICRISAT. Vers 2002, les essais se répandent vers le Burkina Faso et le Mali où les rendements en sorgho et mil augmentent de 44 à 120% suite à la fertilisation microdose, puis au Zimbabwe, en association avec des pratiques d'agriculture de conservation (Tabo et al., 2006). La technique se développe maintenant dans beaucoup de régions de l'Afrique et est accompagnée de stratégies de réduction des risques, de formations en champ-école paysans, du renforcement des boutiques d'intrants coopératives et d'autres aides institutionnelles (Tabo et al., 2006 ; FAO, 2012).

Contrairement à la dose recommandée, son but n'est pas de maximiser le rendement ou le profit mais de maximiser le retour sur l'investissement et donc d'optimiser les rendements (ICRISAT, 2009). La technique de la fertilisation microdose permet de diminuer la quantité d'engrais utilisée tout en gardant un rendement suffisant. Les sols africains étant fortement déficients en nutriments, l'apport même d'une faible quantité de phosphore ou d'azote peut booster la production agricole (ICRISAT, 2009).

En Afrique de l'Ouest, 25 000 petits exploitants au Mali, Burkina Faso et Niger ont appris la technique de la fertilisation microdose (ICRISAT, 2009) mais ne la pratiquent pas forcément car, même si les gains de la technique sont peu discutables, la microdose est aussi chronophage, demandeuse de main d'œuvre et il n'est pas facile d'apporter la même quantité d'engrais pour chaque plant (ICRISAT, 2009).

3.3 Aspects techniques de la pratique de la microdose

3.3.1 Engrais utilisés

Les éléments déficients dans les sols de l'Afrique subsaharienne étant principalement le phosphore et l'azote, les engrais minéraux apportés doivent corriger ces déficiences. Les engrais utilisés pour la technique microdose sont des engrais minéraux ternaires, comme le NPK₁₄₋₂₃₋₁₄ ou NPK₁₅₋₁₅₋₁₅ ou des engrais phosphatés, comme le di-ammonium phosphate DAP (18-46-0 – 18kg d'azote et 46 kg de P₂O₅³ pour 100 kg de produit) (Taonda et al., 2015). Les engrais sont choisis en fonction des éléments limitants du sol et de leur coût. Si le phosphore est très limitant, l'utilisation de NPK n'est pas recommandée car le prix par unité de phosphore est trois fois plus élevé que le DAP (Bielders et Gérard, 2015). Une dose d'urée (46 kg de N dans 100 kg de produit) apportée lors de la montaison est également recommandée pour rendre le traitement plus efficace (Taonda et al., 2015).

La technique de la fertilisation microdose permet de diminuer la quantité d'engrais utilisée de 37,5% par rapport à la dose recommandée (Taonda et al., 2015) et donc de réduire le risque financier. Les doses d'engrais à apporter dans chaque poquet varient en fonction de la culture et de l'engrais utilisé. Les doses varient entre 2 et 6 g par poquet pour le NPK₁₅₋₁₅₋₁₅ et sont souvent de 2 g par poquet pour le DAP (Blessing et al. ; 2016, Buerkert, 2001). La quantité d'urée généralement utilisée, surtout sur les graminées, est de 1 à 2 g par poquet (Taonda et al., 2015).

L'association de la technique microdose avec des amendements organiques est aussi prometteuse puisque l'apport de matières organiques permet de restituer la fraction de la matière organique qui se minéralise chaque année et favorise alors la structuration du sol et l'activité des microorganismes (Taonda et al., 2015). L'association avec du fumier animal, du compostage, des résidus de cultures ou des cultures fixatrices d'azote est régulièrement utilisée. La fumure organique peut également être placée dans le poquet (Tovihoudji, 2018) et il a été

³ L'unité fertilisante P₂O₅ correspond à l'élément phosphore, et celle K₂O correspond à l'élément potassium. En réalité, ces formes chimiques n'existent pas dans le sol mais, par convention, les formulations d'engrais ainsi que le calcul des apports et des exportations se font dans ces unités (Taonda et al., 2015)

prouvé que cette technique permet d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de cette matière organique et d'augmenter les rendements. Cette application localisée de fumure permet de favoriser le développement de racines autour de la plante (Ibrahim, 2015).

3.3.2 Aspects techniques de la fertilisation microdose

Contrairement à la dose recommandée qui n'impose pas de techniques particulières d'utilisation d'engrais (celui-ci est donc souvent distribué à la volée sur le champ, voire la volée ciblée), la technique de la microdose impose aux agriculteurs d'appliquer l'engrais dans un poquet, petit trou creusé à l'aide d'une houe. Deux techniques sont utilisées afin de mesurer les doses d'engrais minéraux à apporter dans le poquet. La première consiste à quantifier cette dose grâce à une capsule de Coca-Cola, correspondant à une dose de 4g de NPK (Taonda et al., 2015), technique à l'abandon de nos jours car elle requiert le travail de trois personnes, une pour creuser le trou, l'autre pour mettre les semences et la dernière pour enfouir l'engrais. La deuxième, désormais plus répandue, est la mesure avec une pincée de trois doigts, qui ne nécessite dans ce cas que deux travailleurs, le premier pour faire le trou, le second pour mettre l'engrais et refermer le trou (Housseini Malam Laminour, 2013). Les techniques varient cependant en fonction du type de sol et des conditions climatiques. Ainsi, dans le sud de l'Afrique, les producteurs adopteront plus aisément la technique de la capsule tandis que celle des trois doigts est plus répandue en Afrique de l'Ouest (ICRISAT, 2009). La mesure de la dose d'engrais n'est cependant pas très précise puisque la quantité d'engrais mesurée par la technique de la pincée varie légèrement d'un agriculteur à l'autre et celle mesurée via l'usage d'une capsule de Coca-Cola varie selon qu'elle soit totalement remplie ou « légèrement plus que la moitié », comme pour le niébé par exemple (Taonda et al., 2015). Cela dépend alors de l'appréciation du producteur.

La première étape de l'application consiste à ouvrir un poquet de semis. Il faut ensuite prendre une pincée de 3 ou 4 doigts selon la culture et verser cet engrais dans le poquet. Après, il est nécessaire de recouvrir cet engrais d'une mince couche de terre pour éviter que l'engrais ne soit en contact direct avec la semence. Il faut finalement déposer la semence et refermer le poquet (Taonda et al., 2015). L'application de l'engrais peut également se faire quelques jours après la levée juste à côté du poquet de semis sans aucune diminution du rendement (Hayashi, 2008). L'application après la levée permet de diminuer les dépenses au début de la saison culturale, période assez critique en termes de main d'œuvre et d'alimentation – les stocks étant réduits, et donne aux producteurs une autre chance de préserver leur productivité (Hayashi, 2008). Cela réduit aussi le risque, en cas d'échec de la levée suite à une poche de sécheresse.

3.4 Avantages de la fertilisation microdose

3.4.1 Disponibilité des engrais minéraux

Les grandes quantités d'engrais recommandées par les autorités ne sont pas toujours accessibles pour les petits producteurs et entraînent des risques financiers importants (Chianu et al., 2012). Souvent, les petits exploitants sont incapables de s'acheter des sacs d'engrais minéraux de 50 kg mais les sacs de 5 ou 10 kg sont plus facilement accessibles (ICRISAT, 2009). Le coût de

l'investissement peut dès lors être géré plus aisément avec les capitaux de l'agriculteur ou grâce à des crédits octroyés (Tabo et al., 2006).

La microdose permet aussi un dosage plus approprié d'engrais. En effet, la quantité d'engrais en microdose est définie par poquet et dépend donc de la densité du semis, tandis que la dose recommandée exprime la quantité d'engrais par hectare, ne prenant pas en compte la densité de semis (Bationo et al., 1992, Tabo et al., 2007). Or celle-ci peut fortement varier d'un producteur à l'autre, d'une parcelle à l'autre ou même au sein d'une parcelle.

3.4.2 Influence sur le rendement et la production de biomasse

De nombreuses études ont été réalisées afin de quantifier l'augmentation de rendement due à la microdose par rapport aux techniques traditionnelles ou à la dose recommandée. Cependant, les résultats ne correspondent pas toujours aux études précédentes et l'augmentation de rendement sous microdose est très variable en fonction des années, des éco-régions, de la culture, des pratiques culturales... Généralement, une augmentation de rendement par rapport à la technique traditionnelle (pas d'apport d'engrais) est visible mais cette augmentation est moins perceptible lorsqu'on la compare à la dose recommandée.

Les premières études réalisées au Burkina Faso, Niger et Mali montrent une augmentation des rendements du sorgho et du millet de 44 et 120 % respectivement (ICRISAT, 2006). Au Burkina Faso, l'augmentation de rendement d'une culture de millet sous microdose est de 44% à 75% par rapport à la pratique traditionnelle. Pour le sorgho, cette augmentation de rendement va de 74 à 82% (Tabo et al., 2008). Pour le maïs, les gains additionnels en rendement en grains sont de 107% par rapport à la non fertilisation et de 32% par rapport à la dose vulgarisée. Le niébé quant à lui enregistre des valeurs de gains additionnels en rendement en grains de 90% par rapport à la non fertilisation et de 10% par rapport à la dose vulgarisée (Taonda et al., 2015). Dans l'étude de Aune et al. (2011), la microdose (0,9 g/poquet) a permis d'augmenter la taille du sorgho de 19 à 31% et le rendement en grains de 109%. Selon Twomlow et al. (2010), au Zimbabwe, la technique de fertilisation microdose (17kg de N par hectare) augmente de 19 à 51% le rendement du maïs par rapport à une parcelle contrôle gérée traditionnellement (894-1546 kg/ha). L'étude récente de Tovihoudji (2018) au Bénin, également sur le maïs, montre que les augmentations du rendement en grains suite à la microdose (2g de NPK 15 :15 :15 par poquet) et à la dose recommandée sont de 99% et 123% respectivement, par rapport à la technique traditionnelle. La dose recommandée apporte donc un meilleur rendement mais demande également davantage d'engrais.

Aussi utilisée en cultures combinées, une étude montre que, au Burkina Faso, la microdose permet une augmentation des rendements par rapport à l'épandage à la volée avec la dose recommandée. En diminuant de moitié la quantité d'engrais NPK et en effectuant un apport localisé, on obtient une légère augmentation des rendements en grains de 4 et 11% respectivement pour l'association maïs-pois d'Angole et maïs-mucuna par rapport à l'épandage à la volée avec la dose recommandée (Coulibaly et al., 2017).

3.4.3 Avantage économique

La diminution de la dose d'engrais appliquée entraîne aussi un retour financier plus avantageux (Blessing et al., 2016) et une meilleure valorisation du revenu que la dose recommandée. En effet, la quantité d'engrais utilisée est plus faible mais le rendement ne diminue pas proportionnellement (ICRISAT, 2009). Au début des années 2000, au Niger, Mali et Burkina Faso, on a constaté que les revenus des agriculteurs avaient augmenté de 52 à 134% grâce à la technique de la microdose (ICRISAT 2006). Tabo et al. (2008) relèvent un gain monétaire net⁴ pour le mil en microdose qui est 68% plus élevé que le retour net des pratiques traditionnelles sans apport d'engrais et 33% plus élevé que le gain avec la dose recommandée (Tabo et al., 2008). Un indicateur généralement utilisé pour évaluer l'apport d'une technique est le RVC (rapport valeur-coût). Pour compenser l'investissement financier, le RVC doit être supérieur à 1 (Biielders et Gérard, 2015) mais certaines études montrent également que le RVC doit être supérieur à 2 pour l'adoption de nouvelles pratiques, voire même atteindre des valeurs de 3 ou 4 pour des environnements plus risqués (CIMMYT Economic's Program, 1988, cité par Blessing et al., 2016). Les valeurs de RVC varient beaucoup d'une étude à l'autre en fonction des rendements obtenus. En général, la microdose permet une augmentation du RVC. Les études de Biielders et Gérard (2015) sur la fertilisation microdose au DAP sur le mil au Niger montrent que 66 % des producteurs testés obtiennent un RVC plus élevé que 1 lorsqu'ils appliquent de l'engrais en microdose. Selon Taonda et al. (2015), le RVC moyen du niébé en microdose au Burkina Faso est de 5,5, c'est-à-dire 2,1 fois plus élevé que celui de la dose vulgarisée. Cependant, pour l'arachide, le RVC en microdose n'est que légèrement plus important que celui pour la dose vulgarisée, de 2,7 et 2,5 respectivement (Taonda et al., 2015). Récemment, une étude faite au nord du Bénin sur le maïs montre un RVC moyen de 4,3 pour 51 parcelles traitées avec 2 g de NPK₁₅₋₁₅₋₁₅ et 1 g d'urée par poquet. Cette valeur est 2 fois plus élevée que le RVC de la dose recommandée (200 kg de NPK et 100 kg d'urée par hectare). Le coût de la main d'œuvre a cette fois été pris en compte mais le coût d'investissement plus faible des engrais compense largement cette main d'œuvre. Le RVC augmenterait jusqu'à 6,5 si le coût du travail n'avait pas été pris en compte (Tovihoudji, 2018).

L'avantage économique de la fertilisation microdose est donc bien visible mais aussi très variable en fonction de la densité de semis (Biielders et Gérard, 2015), des cultures (Taonda et al., 2015), de la quantité d'engrais apportée et des éco-régions qui seront plus ou moins propices à la production agricole.

3.4.4 Augmentation de l'efficience de l'utilisation des nutriments

Afin de diminuer la quantité d'engrais pour la microdose tout en conservant un rendement suffisant, il faut s'assurer que les nutriments apportés soient captés de manière efficiente, en limitant les pertes. Celles-ci sont principalement dues au lessivage qui dépend fort du traitement apporté (microdose ou autre technique) ou, plus faiblement, à la volatilisation de l'urée (Tovihoudji, 2018). L'exportation des nutriments lors de la récolte, dans les grains et les résidus

⁴ Le gain net correspond à la différence entre le revenu dû à la vente de grains sur le marché et le coût des engrais utilisés. Il ne tient ici pas compte du coût de la main d'œuvre.

de cultures, induit aussi l'épuisement des sols. Afin d'évaluer l'efficacité du prélèvement de nutriments, il faut regarder la réserve de nutriments déjà présente dans le sol (Tovihoudji, 2018). Si celle-ci est faible et que la plante peut capter beaucoup de nutriments, l'efficacité du prélèvement est importante. Les sols sableux et pauvres en matière organique d'Afrique subsaharienne possèdent un stock limité de nutriments, dû à la dominance de minéraux argileux de type 1 :1, et ce stock est épuisé rapidement (Hayashi, 2008). La technique de la fertilisation microdose permet d'améliorer l'efficacité dans l'utilisation des nutriments, c'est-à-dire le rendement en grains par unité d'engrais (ICRISAT, 2002 ; Tabo et al., 2006) par rapport à l'épandage sur tout le champ (ICRISAT, 2009). Ceci peut s'expliquer par le fait qu'un apport localisé concentre l'engrais aux pieds des cultures, ce qui favoriserait une meilleure utilisation par rapport à l'application à la volée qui induirait des pertes (Coulibaly, 2017). L'étude de Tovihoudji (2018) sur le maïs, dans le nord du Bénin, montre que l'efficacité de l'utilisation de nutriments est meilleure pour un traitement de microdose par rapport à la dose recommandée. Ce rendement vaut respectivement 8 à 19 kg de grains par kg d'engrais pour la microdose (NPK 15 :15 :15) et 4,6 à kg de grains par kg d'engrais pour la dose recommandée (Tovihoudji, 2018).

De plus, l'association de la microdose avec de la matière organique, apportée dans le poquet, permet aux racines de capter plus de nutriments car leur prolifération est plus importante grâce à cette méthode (Ibrahim et al., 2015). L'efficacité de l'utilisation d'eau est également renforcée de 35% en plaçant de la matière organique en poquet par rapport à un épandage traditionnel (Saba, 2017).

3.4.5 Bilan des nutriments

Le prélèvement des nutriments est influencé par la fertilité inhérente du sol et les pratiques de gestion du sol (Tovihoudji, 2018) et de la fertilité. L'étude de Towmlow (2010) portait déjà sur la durabilité de cette faible utilisation d'engrais pour les sols. En effet, si la quantité de nutriments apportés est faible, selon le principe de la microdose, mais que le rendement des plantes, et donc l'exportation de ses nutriments, est élevé cela mène à une balance négative en nutriments qui, sur le long terme, joue un rôle dans la dégradation des sols (Okebalama et al., 2016). Afin de ne pas appauvrir les sols, il faut respecter la balance en nutriments. Celle-ci peut se calculer sous forme de balance partielle, calculée en soustrayant la quantité de nutriments trouvés dans les grains récoltés et dans les résidus de cultures à la quantité de nutriments apportés par les engrais minéraux et les amendements organiques ; ou de balance totale, en prenant en compte la perte par volatilisation, due à l'érosion et le lessivage (Tovihoudji, 2018), composante non négligeable dans les sols sableux d'Afrique de l'Ouest (Ibrahim, 2015). Il faut donc s'assurer que cette balance reste positive afin d'obtenir un système durable. En 2016, Ibrahim et al. montrait que la balance partielle en nutriments augmente, négativement, lorsque la technique de la fertilisation microdose est utilisée (6g de NPK par poquet), et est plus négative que le témoin, sauf pour le phosphore pour lequel la balance est légèrement plus positive. Cette balance partielle est de -19,0 kg N/ha, +1,8 kg de P/ha et -16,4 kg de K/ha (Ibrahim et al., 2016). L'étude de Tovihoudji (2018) montre la même tendance mais avec des balances plus négatives: avec la microdose, le prélèvement des nutriments (azote, phosphore et potassium) est plus

important que l'apport de ces nutriments, la balance partielle de nutriments est donc négative et est de -24 kg/ha, -18 kg/ha et -64 kg/ha pour le N, P et K respectivement. Pour le phosphore et le potassium, cette balance est davantage négative pour la microdose que pour le témoin. Même concernant la dose recommandée, la balance partielle reste négative, sauf pour l'azote, où elle reste légèrement positive car la dose d'azote apportée est plus importante. Si les pertes par lessivage sont considérées, la balance totale en azote est désormais négative. Dans le long terme, l'application d'engrais par la technique de la microdose sans autres sources de nutriments augmentera donc la dégradation des sols et l'exploitation des nutriments par rapport à un sol où aucun engrais n'a été appliqué (Tovihoudji, 2018).

Afin de limiter cette perte en nutriment, la technique de la microdose est souvent accompagnée d'amendements organiques. Les amendements les plus utilisés sont la fumure organique, le compost ou le parage. En 2007, Tabo et al. affirmait déjà que sans apports en matières organiques dans ses sols, il y avait un risque évident de dérégler la balance en nutriments. La matière organique améliore la structure des sols, la rétention d'eau et de nutriments et stimule l'activité microbienne (Tabo et al., 2007 ; Gambo et al., 2008). En Afrique, la matière organique utilisée vient principalement des résidus de cultures et des apports extérieurs de fumure organique. La fumure organique fournit des macronutriments, azote, phosphore, potassium, fortement déficient dans ces sols. La concentration de calcium et magnésium semble également augmenter (Edmeades, 2003). L'urine est apportée au sol, lors du parage, pour augmenter le pH du sol et cela augmente la disponibilité du phosphore, élément fort limitant dans les sols tropicaux (Nziguheba, cité par Tovihoudji, 2018). Les amendements organiques à eux-seuls pourraient être suffisants pour la croissance des plantes. Cependant, la combinaison des amendements organiques avec des engrais minéraux est la plus souvent utilisée car, la plupart du temps, les deux apports ne sont pas disponibles séparément en quantités suffisantes ; l'association des deux est donc importante pour entretenir la fertilité du sol et la production sur le long terme (Vanlauwe et al., 2010). L'étude de Ibrahim et al. (2016) montre qu'avec l'apport de fumure organique (300 g par poquet), la balance en nutriments devient plus négative, sauf pour le P. Il y a une diminution de 12,6 et 9,3 kg/ha pour le N et le K respectivement. Ceci est probablement dû au fait que les nutriments deviennent plus disponibles avec l'apport de fumure organique et que les plantes, plus vigoureuses, développent un système racinaire plus dense et plus profond (Ibrahim, 2016). Selon l'étude de Tovihoudji (2018), l'apport de fumier, associée à la microdose (3T/ha au poquet) rend la balance partielle en nutriment moins négative pour le N et le P. Cette balance partielle (2) est dès lors la même que pour le contrôle non fertilisé auquel de la matière organique a été ajouté (3). Ce qui n'était pas le cas sans l'apport de matière organique car le contrôle avait une balance partielle plus petite (4) que les parcelles sous microdose (1) (Figure 3.1).

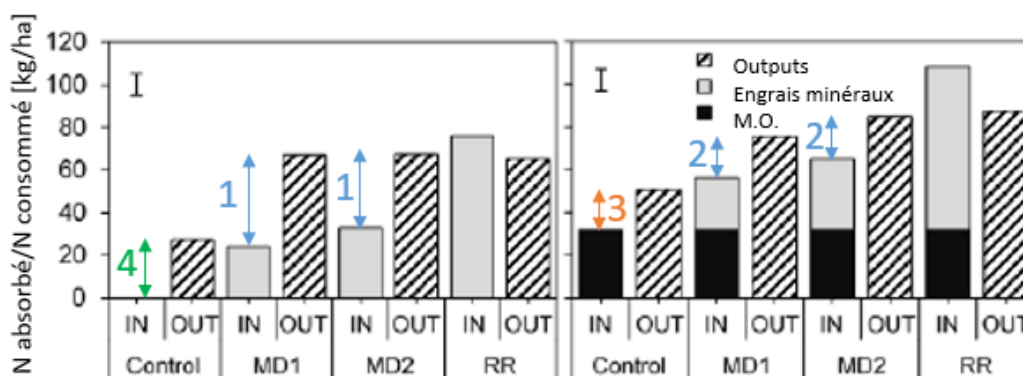


Figure 3.1: Illustration de la variation de la balance partielle lorsqu'il y a association de matière organique (M.O.) avec la microdose (MD1 et MD 2). (Tovihoudji, 2018)

3.5 Contraintes associées à la technique de la microdose

Une des contraintes majeures à l'adoption de la microdose est la force et le temps de travail qu'elle nécessite (Tabo et al., 2007). La technique est aussi plus chronophage pour le travailleur car la méthode est plus spécifique par rapport à l'application à la volée. Afin de réduire la charge de travail, des petites plaquettes contenant des doses appropriées de fertilisants seront prochainement disponibles pour les producteurs en fonction de leurs besoins (ICRISAT, 2009). Cependant, selon Coulibaly, pour les cultures associées légumineuses-céréales, la technique de fertilisation par microdose engendre un temps de travail supplémentaire mais cette augmentation n'est pas assez importante pour être significative (Coulibaly, 2017).

Un autre obstacle à l'adoption de la technique de la microdose est le manque de moyens financiers des agriculteurs. C'est dans ce cadre que des coopératives de producteurs se sont formées afin de promouvoir l'accès au micro-crédit. Le système de warrantage propose aux agriculteurs de stocker leurs grains dans des greniers locaux afin d'obtenir un prêt pour pouvoir, lors de la saison sèche, s'occuper d'autres activités génératrices de revenus telles que l'élevage des bovins, ovins et caprins, le maraîchage accompagné d'irrigation, l'extraction d'huile, la transformation des peaux et le commerce de ces produits. Les grains stockés pourront être revendus à des prix plus avantageux plus tard dans l'année, quand l'offre aura baissé mais pas la demande. Le warrantage permet aussi de distribuer les ressources alimentaires tout au long de l'année et ainsi de réduire le risque d'insécurité alimentaire (ICRISAT, 2009 ; Tabo et al., 2006).

Cependant, la technique rencontre quelques obstacles qui stoppent son adoption : l'accès aux engrais minéraux et au crédit est limité, les informations des producteurs concernant la technique sont insuffisantes et les politiques des pays, limitant l'accès aux intrants ou favorisant les cultures d'exportations à la place des cultures vivrières, ne sont pas encore bien adaptées (Bachmann, 2016). Il y a un besoin réel d'institutions favorables au développement des techniques et d'accès au marché, autant pour l'achat d'engrais et/ou d'amendements que pour la vente de la production agricole (ICRISAT, 2009).

3.6 Variabilité de la réponse à la fertilisation microdose

Beaucoup d'études démontrent que la technique de la microdose permet d'améliorer les rendements tout en limitant la quantité d'engrais minéral. Cependant, l'augmentation, voire la diminution, des rendements est variable et encore peu renseignée. Peu d'informations sont effectivement disponibles concernant les effets des pratiques de gestion du sol ou des facteurs environnementaux et agronomique (type de sol, pluviométrie, préparation du sol, attaque de pathogènes...) sur les rendements après fertilisation microdose (Biielders et Gérard, 2015). Or ce genre d'information est important afin d'évaluer si un input a plus ou moins de chance d'avoir un impact positif à tel ou tel endroit et ainsi permettre une meilleure adoption de la technique (Sileshi, 2010).

3.6.1 Aperçu de la variabilité

Afin de se rendre compte de cette variabilité, nous pouvons analyser la distribution des rendements pour une même expérience. Selon l'étude de Twomlow et al. (2008) au Zimbabwe, la réponse à la fertilisation microdose varie d'environ -250 kg/ha à 2000 kg/ha mais seuls 7,8 % des essais traités par microdose (17kg de N/ha) ont une réponse négative ou nulle. Cette diminution de rendement par rapport au témoin est expliquée par le fait que le producteur peut avoir planté ses graines tardivement, qu'il n'ait pas appliqué d'engrais, ou très peu, et qu'il n'ait pas bien géré les adventices de sa parcelle. Les rendements importants sont, quant à eux, obtenus par des apports supplémentaires de nutriments (fumure organique, ajout d'engrais...). Cette tendance est également rapportée dans l'étude de Camara et al. (2013) qui montre que la proportion de parcelles de sorgho ayant un gain de rendement plus grand que 50% par rapport au témoin. Dans l'étude, cette proportion varie de 50 à 88%, pour une même année. Biielders et Gérard (2015) montrent également que, au Niger, 23% des essais testés avec du NPK₁₅₋₁₅₋₁₅ ont des rendements plus faibles que le contrôle. La variabilité est également étudiée par Pierre Touvihoudji (2018) au Bénin. La distribution du rendement est différente en fonction de l'application, ou non, d'engrais. Sur deux années d'expérience, le témoin a la plus faible variabilité de rendement, il varie de 420 kg/ha à 1687 kg/ha. Ensuite, plus la dose d'engrais augmente, plus la variabilité dans le rendement augmente. Pour la microdose, la différence est de 1541 kg/ha entre le minimum et maximum de rendement et pour la dose recommandée, cette différence est de 2392 kg/ha (Figure 3.2). Avec l'ajout de matière organique, cette variabilité dans le rendement est encore plus forte et la différence entre le rendement maximum et minimum est cette fois de 2402 kg/ha.

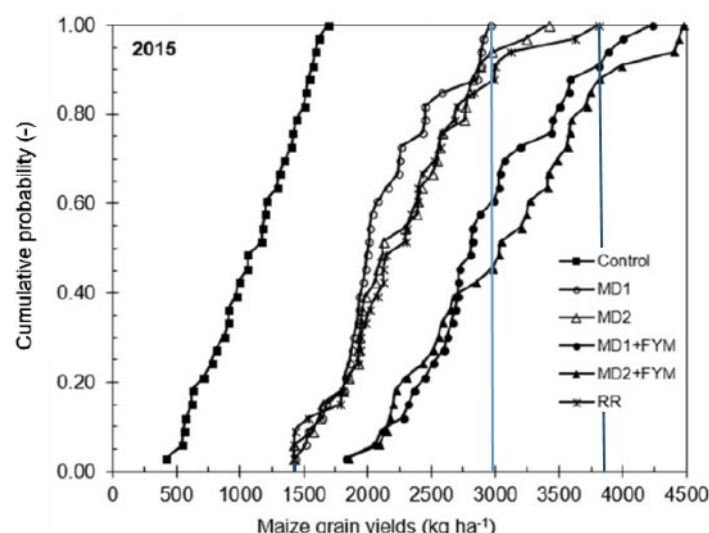


Figure 3.2: Fonction de probabilité cumulative du rendement de maïs (en kg/ha) pour différents traitements en 2015. MD1 et MD2 = 2 traitements de microdose, RR = dose recommandée, FYM = fumier de ferme (3T/ha) (Touvioudji, 2018)

Les recommandations d'engrais doivent donc être adaptées à cette variabilité dans la réponse due à l'hétérogénéité des sols sub-sahariens (Tittonell et al., 2008).

3.6.2 Facteurs de variabilité

Afin de faciliter l'adoption de la technique de la microdose et de la rendre plus efficace, il faut d'abord déterminer les facteurs qui jouent un rôle dans la variabilité pour pouvoir dès lors adapter la technique à des situations précises. Peu d'études ont déjà été réalisées dans ce sens mais le début de la recherche peut se baser sur d'autres études, ayant relevé des informations concernant les facteurs affectant la réponse à la fertilisation en général et qui peuvent donc être reliées aux études sur la microdose. Un des facteurs souvent mis en avant pour expliquer la variation de rendement en réponse à la fertilisation est *la fertilité du sol* avant l'apport d'engrais. L'étude de Sileshi et al. (2010) montre également que le gain en rendement de maïs est plus important, jusqu'à 8 T/ha, lorsque le rendement de la parcelle contrôle est plus faible (< 2T/ha) et ce gain diminue lorsque le rendement sur la parcelle contrôle augmente. En général, au plus les nutriments sont présents et disponibles dans les sols, au moins l'engrais aura de l'effet. Cet effet de la fertilité des sols est également marqué pour des études concernant la microdose. Selon l'étude de Biielders et Gérard (2015), la réponse à la fertilisation microdose tend à être systématiquement positive lorsque le rendement de la parcelle témoin est faible (< 100kg/ha pour le millet) et elle est souvent plus faible lorsque le rendement du témoin est élevé (> 800kg/ha). L'étude de Touvioudji (2018) indique que la réponse du maïs à la fertilisation microdose tend à être meilleure en l'absence d'amendements organiques et diminue lorsque la fertilité des sols augmente. Enfin, Tittonell (2008) démontre que la réponse du rendement de maïs à la fertilisation NPK tend à diminuer lorsque la teneur en carbone organique et de phosphore disponible augmente dans les sols.

En Afrique de l'Ouest, les sols sont souvent pauvres en nutriments et carbone organique, cependant, ils sont aussi fort hétérogènes, et cela même au niveau d'une ferme voire d'une parcelle (Smaling et al., 2002). La distance par rapport à la concession est une des explications

de cette hétérogénéité et un champ proche de la concession sera plus riche en nutriments et matière organique qu'un champ plus éloigné (Tittonell, 2008). En 2006, une étude réalisée au Kenya sur la réponse de l'apport d'engrais sur le rendement du maïs montre que la réponse à l'apport d'azote diminue avec la distance depuis la concession (Vanlauwe et al., 2006). L'apport d'engrais permet donc de réduire la différence de rendement entre des champs hétérogènes (Tittonell, 2008).

L'efficacité de la fertilisation est également liée à la *quantité de matière organique*. En général, le rendement en grains augmente avec l'apport d'engrais mais l'effet est nettement moins marqué lorsqu'il y a application de matière organique (Egball, 1995). L'étude de Sileshi (2010) recommande une gestion intégrée de la fertilité des sols en appliquant de la matière organique avec des quantités modérées d'engrais azoté (<50 kg de N/ha) pour optimiser les rendements et l'efficacité de l'utilisation du N.

Les différents *types de sols* sont également un facteur de variation. L'étude de Sileshi et al. (2010) montre que l'application d'engrais minéral diminue la variabilité du rendement entre sols. En effet, en considérant les parcelles contrôles, des différences de rendement significatives sont observées entre les sols, avec des rendements plus élevés pour les nitisols et plus faibles pour les acrisols. Lorsque l'engrais est ajouté, les différences ne sont plus significatives entre sols même si la tendance des nitisols à donner un rendement plus élevé est quand même visible. Cependant, sur ces sols, la probabilité d'obtenir un rendement plus faible que le contrôle est élevée. En 2012, Fehmi et Kong montrent également, pour un sol « sableux très graveleux », que la quantité de biomasse produite est plus faible lorsque de l'engrais est appliqué sur ce type de sol. La fertilisation serait donc moins efficace. Cette même tendance est constatée chez Zingore et al. (2007) où les différences dans la réponse des cultures aux engrais sont plus importantes pour des sols à textures plus grossières. Le facteur « type de sol » se retrouve également dans quelques études sur la microdose. Twomlow (2008) montre que la microdose est plus efficace sur un sol limoneux ou argilo-limoneux, pour la culture de maïs. Le sol sableux offre des performances plus faibles.

La *gestion des sols* peut également affecter la réponse à la fertilisation minérale. En améliorant les techniques de gestion agronomique, la différence de rendement entre les plants fertilisés et ceux non fertilisés diminue (Tittonell et al., 2008). De plus, cette gestion est corrélée avec la fertilité du sol et donc avec la réponse à la fertilisation. En effet, la quantité disponible de certains éléments dépend de la gestion de la parcelle durant les saisons précédentes (Zinore et al., 2007). Ainsi, l'application de fumure organique, le chaulage, les techniques de conservation... permettent de favoriser certains éléments ou augmenter leur disponibilité.

D'autres facteurs influençant la réponse à la fertilisation sont également supposés mais moins étudiés. Sileshi et al. (2010) montrent, grâce à un modèle quadratique, que la teneur en argile du sol et l'altitude principalement et les précipitations annuelles moyennes ensuite, sont corrélés à l'augmentation de rendement grâce aux engrais. Cependant, les trois variables n'expliquent qu'une petite partie de la variabilité ($R^2=0,287$).

Le modèle linéaire proposé par Biielders et Gérard (2015) explique 47% de la variance totale pour le rendement du millet au Niger. Les traitements, avec de l'engrais et de la fumure organique, expliquent 27% de la variance totale et les facteurs environnementaux en expliquent 20%. Concernant les variables affectant la réponse des cultures à la fertilisation microdose, trois facteurs sont retenus : le rendement de la parcelle de contrôle, la densité de plants et la présence de pluie durant le premier tiers de la saison culturale. Le premier facteur mentionné est également le plus important et est corrélé négativement à la réponse du rendement à la microdose.

Un autre modèle de régression fait par Touvihoudji en 2018, intégrant toutes les variables significatives, explique 80% de la variabilité du rendement du maïs au nord Bénin. Avec 61% de la variabilité expliquée par les traitements du sol et 19% due à la gestion et aux facteurs environnementaux, dont 9% expliqué par la pluie, et les variables corrélées, 7% expliqué par la gestion des cultures et 3% par les facteurs caractérisant les sols. Selon cette étude, les facteurs significatifs influençant la réponse à la fertilisation microdose sont le carbone total du sol, le pH et le taux d'argile et de limon. La réponse à la microdose est corrélée négativement au carbone total, au pH et au taux de limon et positivement au taux d'argile. La quantité de magnésium échangeable du sol est également négativement corrélée avec la réponse à la microdose mais seulement quand des amendements organiques sont apportés. Les augmentations de rendement grâce à la microdose se font également davantage ressentir pour les essais pour lesquels la parcelle de contrôle est moins fertile avec en moyenne une augmentation de rendement de 1300 kg/ha, alors que pour des parcelles contrôle à plus haut rendement, l'augmentation par microdose est de 100 kg/ ha.

4. OBJECTIFS

Le premier objectif de ce mémoire est de **déterminer les facteurs agronomiques et environnementaux affectant la réponse à la fertilisation microdose dans la commune de Bieha**. Cet objectif se base sur des parcelles d'essais mises en place dans le cadre du mémoire de Y. Ouedraogo. Les informations récoltées, reprenant les caractéristiques environnementales des parcelles d'essais (type de sol, topographie, élévation...), les caractéristiques agronomiques (gestion de l'enherbement, incidence des attaques...) et la pluviométrie, seront analysées grâce à un modèle de régression linéaire multivarié afin d'en faire ressortir les facteurs principaux.

Le second objectif a pour but d'**évaluer la connaissance et l'intérêt des producteurs de la commune de Bieha à propos de la technique de la fertilisation microdose**. Pour ce faire, des enquêtes de terrain ont été réalisées auprès des producteurs en août et septembre 2018. Il fut d'abord nécessaire d'établir le contexte agronomique de la région, c'est-à-dire, identifier comment les producteurs gèrent leurs parcelles, leurs intérêts et la façon dont ils utilisent les engrais minéraux. Aussi, une comparaison entre les connaisseurs de la technique et les nouveaux pratiquants est réalisée afin de mettre en avant la variabilité perçue, par les deux groupes, sur leurs parcelles et faire ressortir certaines caractéristiques environnementales ou/et agronomiques affectant la réponse à la fertilisation microdose. Des combinaisons de facteurs favorables à l'implantation de la technique pourront alors être mises en évidence par rapport à la perception de la technologie par les producteurs.

5. MATÉRIELS ET MÉTHODES

5.1 Zone d'étude : Présentation de la Sissili

Le mémoire s'intègre dans un projet de grande ampleur (projet MICROFERTI, financé par l'ARES) étudiant la réponse à la fertilisation microdose dans trois provinces du Burkina Faso, à savoir, le Zondoma, dans la région du Nord, l'Oubritenga dans la région du Plateau Central et la Sissili, dans la région du Centre-Ouest (Figure 5.1). Ces trois régions ont été choisies afin de considérer plusieurs zones agro-climatiques et les cultures associées à celles-ci.

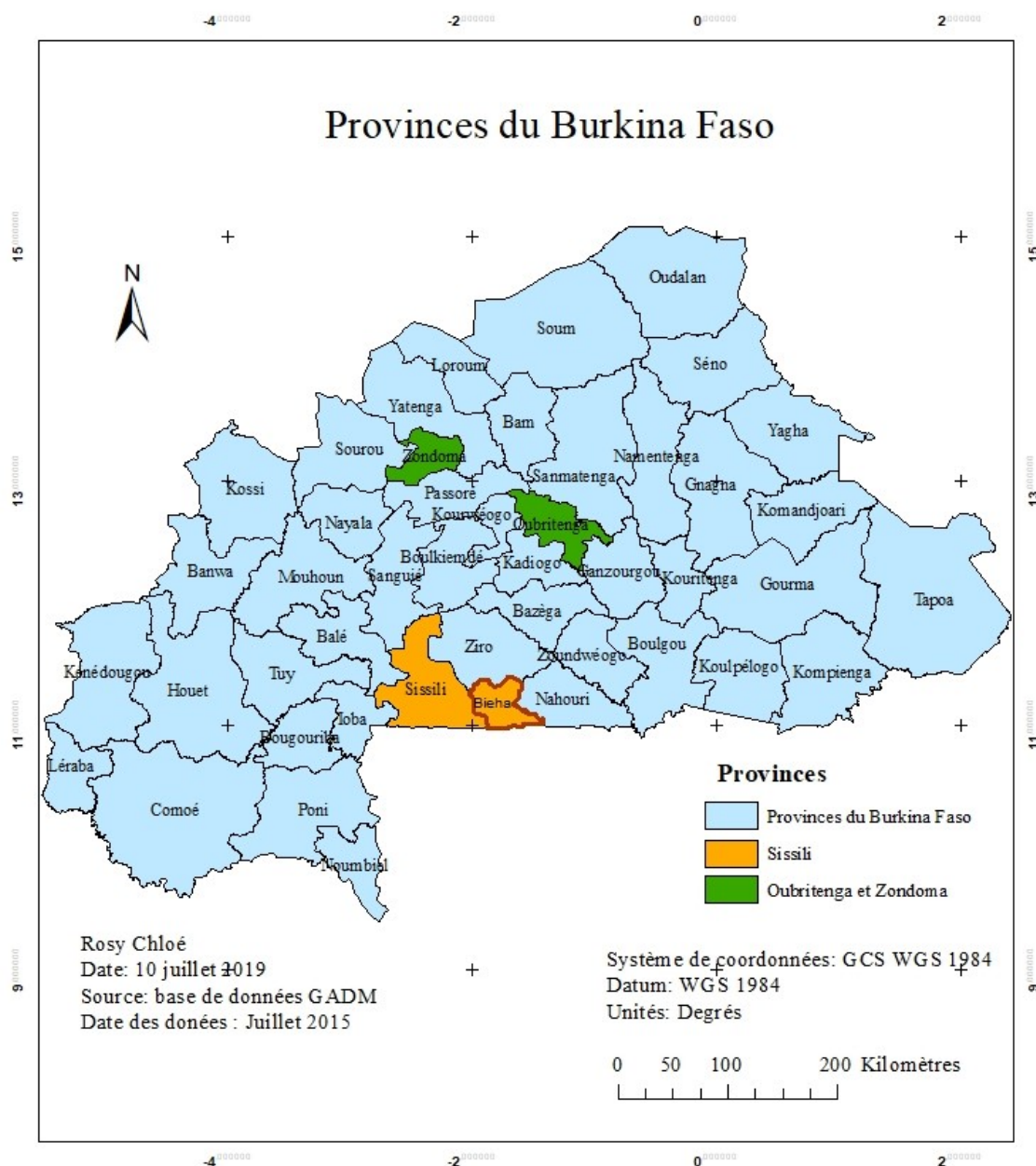


Figure 5.1: Provinces de Burkina Faso et représentation des sites d'études du projet MICROFERTY.

La région étudiée dans le cadre du mémoire se trouve dans la province de la Sissili (de 10° 58' à 11° 55' Nord et de 2° 48' à 1° 25' Ouest) (Figure 5.1). Celle-ci est frontalière avec le Ghana. La province couvre 7227 km² et est caractérisée par un relief faiblement accidenté avec une

altitude moyenne de 300 mètres (Guenot et Huchet-Bourdon, 2014 ; Ouedraogo, 2010). Elle compte sept départements : Biéha, Boura, Léo, Nabelianayou, Niabouri, Silly et To (Dalla, 2006). La Sissili comptait, en 2006, 205 267 habitants (INSD, 2009). Sa population est constituée de quatre groupes ethniques principaux : les Nouni, les Gourounsi, les Mossi et les Fulani (Ouedraogo, 2010 ; Paré et al., 2008). La Sissili se trouve dans la zone soudano-sahélienne. Le type de climat dominant est de type Aw, climat tropical de savane selon la classification de Köppen (Climat-Data.org). La saison des pluies dure en moyenne 6 mois, de mai à Octobre (Ouedraogo et al., 2010). Les précipitations annuelles moyennes sont de 859 +/- 32 mm et la température moyenne annuelle est de 27,1°C avec un maximum en Avril, de 31,7 °C et un minimum en Août, de 25,3°C (Paré et al., 2008). Le paysage se compose de terres cultivées, de savanes ouvertes et de zones de forêts de feuillus (Paré et al., 2008). Les sols sont principalement de types ferrugineux tropicaux lessivés avec des matériaux sableux, argileux-sableux et gravillonnaires (INSD, 2009). Ils sont fortement altérés, avec une accumulation d'hydrates ferriques associés à très peu d'oxydes aluminiques (Ouedraogo et al., 2010 ; Driessen et al., 2001 ; Youssouf et Lawani, 2000). Les caractéristiques agronomiques des sols ferrugineux sont très variables et hétérogènes. Ils peuvent constituer d'excellents milieux de croissance pour les plantes malgré leur faible teneur en éléments nutritifs. Ces sols conviennent bien aux cultures de coton, arachide, maïs, sorgho, mil, igname, manioc, ricin et tabac (Youssouf et Lawani, 2000).

Le secteur agricole et l'élevage sont les principaux domaines d'activités de la province. Le système agricole est basé sur le maïs et les tubercules en tant que cultures de subsistance et sur le coton et les arbres fruitiers comme culture de rente (Paré, 2008 ; Coulibaly, 2009). Les cultures vivrières dominent et correspondaient, en 2014, à 93% du chiffre d'affaire total (Guenot et Huchet-Bourdon, 2014). Ce sont principalement des facteurs sociaux liés aux cultures vivrières qui guident les producteurs vers la production de maïs, sorgho, sésame et soja. Les exploitations sont souvent peu mécanisées. L'économie de la Sissili est complétée par une production de bois de chauffage et autres produits forestiers non ligneux ainsi que par l'élevage (Coulibaly, 2009).

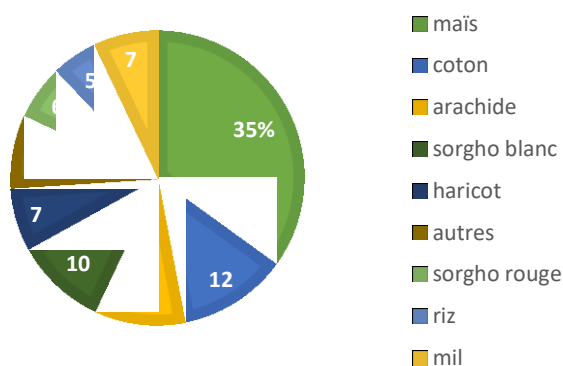


Figure 5.2: Répartition des cultures en Sissili en 2009 (Guenot et Huchet-Bourdon, 2014).

La région se caractérise par une certaine diversification. L'assolement par le maïs est le plus répandu, suivi par le coton, l'arachide et le sorgho (Figure 5.2). Les surfaces cultivées en maïs ne cessent d'ailleurs d'augmenter avec un léger processus d'intensification.

C'est autour de la ville de Léo, dans la commune du Bieha, que les essais de microdose ainsi que les enquêtes auprès des agriculteurs ont été menés. Trois villages ont été sélectionnés, les villages de Yalle, Yelboug et Biniou, situés respectivement à 21, 22 et 39 kilomètres de Léo en suivant les pistes. Une voie bitumée relie Léo à Yalle mais pour Yelboug et Biniou, une grande partie du trajet se fait via des pistes en terre.

5.2 Essais en milieu paysan

5.2.1 Mise en place des essais microdose

Les parcelles d'essai ont été choisies afin de rendre compte de la diversité des caractéristiques environnementales des terres pour permettre d'étudier la variabilité dans la réponse à la fertilisation microdose. Les trois villages ont été sélectionnés sur base de la présence d'organisations paysannes dans la région. Autour de Léo, la FNZ (Fédération Nian Zwe) assure la communication entre les chercheurs et les producteurs et facilite donc l'implémentation du projet MICROFERTI. La participation des cultivateurs au projet est volontaire, mais les engrais et semences sont fournis aux producteurs et ceux-ci allouent une partie de leurs terres pour le projet et cultivent comme indiqué dans l'itinéraire technique. Il faut toutefois s'assurer que les villages et les producteurs choisis couvrent une diversité suffisante de situations environnementales et socio-économiques susceptibles d'impacter la réponse agronomique (Proposition de projet PRD Microferti, 2016). Les techniciens ont dispensé des formations aux producteurs participants aux essais. Ces formations, ainsi que d'autres supports et fiches techniques utilisables pour le projet sont préparés à l'aide du réseau MARP (Réseau pour le développement et la promotion des Méthodes Actives de Recherche et de Planification Participatives).

Le premier critère mis en avant pour la sélection des parcelles est le type de sol. Il fallait donc s'assurer de couvrir des types de sols différents. Dans cette optique, une rencontre a été organisée, en avril 2018, entre les membres de l'équipe de recherche, les représentants des villages et trois membres de la FNZ afin de caractériser l'hétérogénéité de terrain et inventorier les différents types de sols existants dans les localités. Cinq types de sols sont retenus. Ils seront ici repris selon leur dénomination endogène puis traduits pour être identifiés à des sols caillouteux, gravillonnaire, sableux, argileux et de couleur noire, ce dernier correspondant à un sol riche en matière organique. Les représentants de chaque village ont également classé les parcelles en 3 catégories en fonction de leur distance par rapport à la concession. Ceci reflète le gradient de fertilité, qui diminue lorsque la distance depuis la concession augmente. Les champs de case sont situés à environ 500 m autour des concessions, les champs de village de 500 m à 2 km autour du village et les champs de brousse situés à plus de 2 km du village. Ces deux critères, type de sols et distance des champs aux concessions, ont été convenus comme les critères de stratification qui serviront de base pour le choix des parcelles.

Une visite des parcelles sur le terrain s'en est suivie afin de tester la potentialité des essais à cet endroit et d'en ressortir d'autres facteurs importants (accessibilité, distance depuis la concession, profondeur du sol...). Pour les parcelles retenues, une caractérisation de terrain plus approfondie a été faite par le technicien et le doctorant du projet afin de déterminer la topographie, le profil de surface, la forme et la direction de la pente, l'occupation du sol environnant, la présence d'éléments grossiers, l'affleurement de roche, les signes d'érosion et la présence d'ouvrages anti-érosifs. Les signes d'érosion sont répertoriés en nombre de « griffes » (rigoles) sur une unité de distance perpendiculaire aux griffes.

Des questionnaires ont également été soumis aux agriculteurs afin de connaître l'année de mise en culture de la parcelle, l'assolement l'année précédente et les successions culturales des 4 années précédentes, la dernière fois que la parcelle a été amendée en matière organique, en engrais ou en urée, la gestion des résidus sur cette parcelle, l'utilisation d'herbicides, la préparation des sols, la technique de désherbage, les problèmes liés à cette parcelle et les solutions potentiellement apportées. L'équipement de l'agriculteur pour le travail du sol est également recensé. Ces données sont encodées à la main puis remises dans un tableau Excel® pour faciliter leur analyse.

En 2018, durant la saison des pluies, des essais ont été mis en place chez 76 producteurs, répartis inégalement entre les trois villages : 42 parcelles à Binou et 17 parcelles chacune pour Yelboug et Yalle.

5.2.2 Mise en place des essais de variabilité

Dans la province de la Sissili, les cultures testées sur les essais microdose sont le sorgho et le maïs. Celles-ci sont bien acclimatées à la région et ce sont des cultures pour lesquelles la technique de la fertilisation microdose a été largement vulgarisée. La variété utilisée pour le maïs est la SR21 et pour le sorgho, la variété Kapelga, à cycle intermédiaire, originaire du Burkina Faso, a été choisie.

Pour les 3 villages, les parcelles testées sont d'environ 1200 m². Ces parcelles sont divisées en 4 sous-parcelles, 2 sous-parcelles pour les témoins en maïs et sorgho et 2 sous-parcelles pour les essais de fertilisation microdose pour ces mêmes cultures. Le schéma d'une parcelle est repris dans la Figure 5.3. Toutes les parcelles n'ont cependant pas cette disposition car des contraintes physiques empêchent l'établissement d'une grande parcelle carrée (présence d'arbres, de chemins). Cela n'impacte cependant qu'une minorité de parcelles et influence peu le résultat final.

Il n'y a pas de réplicat, chaque producteur ne possède qu'une parcelle avec les 4 traitements. La fumure organique n'est pas appliquée sur ces parcelles. L'application de l'engrais s'est faite selon la technique apprise par le technicien de la Sissili, c'est-à-dire dans un poquet, creusé à environ 10 cm des jeunes plants, autour du 15^{ème} jour après semis.

Maïs Témoin 150 kg d'engrais/ha 50 kg d'urée/ha	Sorgho Témoin Pas d'engrais
Sorgho Fertilisation microdose 2g NPK/poquet 1g d'urée/poquet	Maïs Fertilisation microdose 4g NPK/poquet 2g d'urée/poquet

Figure 5.3: Représentation de la disposition des parcelles d'essai en Sissili et des traitements utilisés

L'engrais utilisé pour les essais est le NPK₁₄₋₂₃₋₁₄, avec 6 unités de S et 1 unité de B. Afin de représenter les conditions de culture du maïs généralement pratiquées par les producteurs et de permettre à celui-ci d'avoir des rendements suffisants, 150 kg d'engrais/ha sont appliqués sur le témoin. Le témoin du sorgho reste sans engrais, comme dans la technique traditionnelle. Les doses utilisées pour la fertilisation microdose sont de 2 g et 4 g de NPK par poquet pour le sorgho et le maïs respectivement. Elles ont été déterminées sur base de la littérature scientifique et d'études précédemment faites au Burkina Faso.

Une dose d'urée (46% de N) est également apportée aux cultures à environ 45 jours après le semis. 50 kg/ha sont apportés pour le maïs témoin et 1 g/poquet et 2 g/poquet sont apportés pour le sorgho et le maïs en microdose, respectivement.

Afin de limiter la variabilité et réduire le risque d'échec des traitements sur les parcelles, la densité de semis et la dose d'engrais et d'urée sont fixées. Les autres facteurs de l'itinéraire technique sont décidés par les producteurs en fonction de leurs moyens et de la météo. Ceux-ci concernent la technique de préparation du sol à adopter, les techniques pour le semis et resemis, la gestion de l'enherbement, le moment du démariage, et la période d'application d'engrais et d'urée même si ces dernières sont recommandées au 15 et 45^{ème} jour après semis. Les semis ont eu lieu du 23 juin au 17 juillet en fonction de l'appréciation des producteurs. La date de la récolte est également fixée par le producteur, en présence du technicien, mais doit être la même pour les 4 traitements.

5.2.3 Facteurs à tester

Afin de caractériser l'hétérogénéité de la pluie, un réseau de 14 pluviomètres est installé autour des trois villages. Ceux-ci se trouvent au maximum à deux kilomètres de parcelles d'essais. Les pluviomètres sont posés sur des pieds afin d'éviter le rejaillissement d'eau et de saleté et les effets de la végétation. Des producteurs sont désignés pour aller recenser le niveau d'eau dans le/les pluviomètres qui leur sont attribués après chaque pluie. Chaque quantité d'eau tombée a

dû être recensée mais il est possible que de très faibles précipitations (<1-2mm) soient passées inaperçues. Ces données sont ensuite encodées par un technicien afin d'être traitées par la suite.

Le monitoring des pluies commence au mois de juillet et les données sont recueillies jusqu'à la fin de la saison culturale, qui peut aller jusqu'à mi-novembre pour certains producteurs. Certains producteurs ayant commencé à cultiver vers la fin juin, il a dû y avoir des précipitations avant cette période mais elles n'ont pas été enregistrées par le réseau de pluviomètres en place.

Les autres facteurs à tester sont tous ceux pouvant potentiellement influencer le rendement, c'est-à-dire les facteurs environnementaux et agronomiques répertoriés dans des études préliminaires de la parcelle (voir 5.2.1) et suivis sur le terrain, comme l'état d'enherbement de la parcelle et l'incidence des attaques (striga, chenille légionnaire, termite). Ces variables seront reclassées par la suite (voir point 5.2.5). Des fiches de suivi sont aussi réalisées tout au long de la saison culturale par l'animateur endogène de chaque village. Ces fiches ont pour but de répertorier les étapes de l'itinéraire technique et de noter certaines observations sur l'état de la parcelle. Les dates de chaque mesure, le nombre de personnes employées, le temps de travail et le type d'outil utilisé sont recensés pour chaque producteur. Des informations sont donc disponibles sur le labour, la pulvérisation d'herbicide total et sa quantité, le semis, le resemis, la pulvérisation d'herbicide sélectif, les désherbages, l'application d'engrais et d'urée, le sarclage et le buttage. Elles sont encodées à la main puis retravaillées dans un tableau Excel.

5.2.4 Données de rendements

Afin de déterminer les rendements, 5 placettes de 25 m² sont définies aléatoirement au sein de chacun des 4 traitements. Sur ces 5 placettes, le nombre de pieds et le nombre d'épis sont comptés. Ensuite, la biomasse obtenue dans ces 5 placettes est rassemblée pour déterminer le rendement. Certaines parcelles étant partiellement endommagées, l'analyse de rendement s'est directement portée sur la totalité de la parcelle, c'est-à-dire sur 300m². Les données analysées en laboratoire sont le poids frais de l'épi de maïs et sorgho, le poids frais de la paille, le poids sec de l'épi, le poids sec des grains, tous ces poids exprimés en kg. Un échantillon de paille de 10 kg (poids frais) est aussi prélevé et séché pour obtenir le poids sec de cet échantillon.

5.2.5 Analyse des données de rendements

Sélection des variables d'intérêt

La première étape de l'analyse statistique consiste à retravailler les variables catégorielles en regroupant les données en classes. Le but est ici d'avoir suffisamment de données par classe pour que la régression linéaire multiple fonctionne. En effet, la régression est valable si le nombre de catégories dans chaque variable est plus faible que le nombre d'observations. Il a donc fallu faire un compromis entre le nombre de classes, influençant la précision des données, et le nombre d'observations par classe. Au plus le premier augmente, au plus le second diminue. Il est souvent recommandé d'avoir au minimum 8 à 10 observations par classes. Comme il reste trop de paramètres à estimer dans le modèle par rapport au nombre d'observations, certaines variables ont été retirées. C'est le cas de la préparation du sol en 2017, l'application d'herbicide

en 2017, la gestion des résidus en 2017, le désherbage en 2017, la culture de la saison précédente en 2017 et l'application d'urée en 2017 qui se confond avec l'application du NPK en 2017.

Les variables qualitatives étudiées et les classes établies sont reprises dans les tableaux en annexe (Annexe A). Les autres variables qualitatives nominales sont gardées comme elles ont été observées sur le terrain ou définies par les agriculteurs. Elles sont reprises dans le tableau en annexe A. Enfin, les variables qualitatives ordinales sont classées en fonction d'un intervalle choisi. Ces données sont reprises dans le tableau de l'Annexe A.

Les variables qualitatives utilisées dans le modèle sont :

- Les caractéristiques de surface (texture du sol en surface)
- La proportion d'éléments grossiers
- L'affleurement de roche
- La structure de surface
- L'occupation du sol environnant (autour de la parcelle)
- La topographie du paysage (situation de la parcelle à plus grande échelle)
- La topographie de la parcelle (en pente, plateau...)
- La distance depuis la concession, classée en champ de case, village et brousse
- L'application de NPK l'année précédente (en 2017)
- La classe d'enherbement de la parcelle déterminée à mi saison
- L'incidence du striga sur les parcelles déterminée à mi saison

Les variables quantitatives utilisées dans les analyses sont :

- La réponse de la culture (sorgho ou maïs) à la fertilisation microdose [kg grains secs/ha]
- Le rendement de la parcelle témoin [kg grains secs/ha]
- La profondeur du sol [cm]
- L'élévation [m]
- L'année depuis la mise en culture. Pour cette variable, certains choix des agriculteurs étaient imprécis, ainsi :
 - « environ 30 ans » a été encodé comme 31 ans
 - « plus de 30 ans » a été encodé comme 39 ansCette variable peut être utilisée en tant que variable quantitative sans influencer trop fortement les résultats
- La pluviométrie totale est également testée pour le stade de développement le plus critique du sorgho (de 39 à 87 jours après semis (Suhas, ND ; Gerik, 2003)) et du maïs (de 46 à 96 jours après le semis (Belfield et Brown, 2014)). Ce stade correspond au moment auquel la plante est la plus sensible au manque d'eau et où le rendement en sera fort affecté
- La pluviométrie totale sur le 1^{er} tiers de la saison culturale
- La pluviométrie totale sur les 2^{ème} et 3^{ème} tiers de la saison culturale

Une analyse factorielle des données mixtes (Annexe B) a été réalisée en prétraitement et les pluviométries totales sur les 2^{ème} et 3^{ème} tiers de la saison culturale étaient fortement corrélées.

Il a donc été décidé de regrouper ces deux mesures. La pluviométrie sur le 1^{er} tiers de la saison culturale est négativement corrélée à ces deux valeurs, elle a donc fait l'objet d'une variable supplémentaire.

Prétraitement des données

Les analyses suivantes ont été réalisées grâce au logiciel R i386 3.4.2. et à son environnement de développement intégré, Rstudio.

Premièrement, une détection des outliers est réalisée grâce à des boîtes à moustaches (fonction *boxplot* dans R) liant la réponse de la culture à la fertilisation microdose et une des variables catégorielles. Lorsque les données observées étaient hors des moustaches de la boîte (calculées en utilisant 1,5 fois l'espace interquartile), elles étaient revues dans les données brutes afin de voir si cette parcelle pouvait être considérée comme outlier au vu des commentaires répertoriés dans la base de données. Pour certaines parcelles, aucune analyse de rendement n'a été faite car la parcelle avait été détruite ou mal gérée. Ces données ne sont donc pas considérées par la suite.

Régression linéaire multiple

Les variables utilisées pour expliquer la réponse à la microdose sont parfois conjointement liées. Il est donc peu fiable d'établir des conclusions lorsqu'une seule variable est utilisée pour caractériser la réponse à la fertilisation microdose (analyse bivariable). L'analyse linéaire multiple permet de démêler les informations entre la variable à expliquer (ici la réponse à la fertilisation microdose) et les variables explicatives.

La réponse à la fertilisation microdose est calculée comme la différence entre le rendement de la culture sous microdose avec le rendement de la culture témoin (non fertilisé pour le sorgho et fertilisé pour le maïs).

Le modèle linéaire réalisé est le suivant :

$$\begin{aligned}
 &\text{Réponse à la fertilisation microdose} \\
 &= \beta_0 + \beta_1 * \text{Rendement témoin} + \beta_2 * \text{profondeur du sol} + \beta_3 \\
 &\quad * \text{élévation} + \dots + \beta_6 * \text{distance concession}_{case} + \beta_7 \\
 &\quad * \text{distance concession}_{village} + \beta_8 * \text{type de sol}_{caillouteux} + \beta_9 \\
 &\quad * \text{type de sol}_{gravillonnaire} + \beta_{10} * \text{type de sol}_{sableux} + \dots + \varepsilon
 \end{aligned}
 \tag{équation 1}$$

Avec :

- 1) β_0 : l'intercepte de la régression linéaire multiple
- 2) β_i : les coefficients des variables du modèle avec i allant de 1 à 42 pour les 7 variables quantitatives et les 35 modalités des 12 variables qualitatives
- 3) ε : le terme d'erreur, correspondant aux résidus du modèle. Il résume l'information manquante, non expliquée par les variables explicatives

L'analyse est réalisée grâce à la fonction *lm* dans R.

Pour les variables catégorielles à plusieurs modalités, le logiciel R les recode automatiquement en autant de variables binaires qu'il y a de modalités, moins 1. En effet, une des modalités n'est pas encodée et sert de référence pour les autres modalités de la variable. Les résultats de la régression linéaire multiple pour les variables catégorielles à plusieurs modalités sont donc à comparer avec la modalité de référence, choisie car première dans l'ordre alphabétique.

La fonction *glht* (du package *multcomp*) dans R permet cependant de comparer toutes les modalités d'une variable qualitative entre elles et pas seulement de comparer les modalités par rapport à la modalité de référence. La correction de Tukey est ici utilisée pour réduire les chances de trouver des comparaisons significatives par hasard.

Les coefficients β_i donnés par le modèle indiquent de combien la réponse varie quand la variable pour laquelle on regarde le coefficient augmente d'une unité lorsqu'il s'agit d'une variable continue, ou bien lorsque l'on change de catégorie par rapport à la catégorie de référence tout en maintenant les coefficients des autres variables nuls.

La régression stepwise (fonction *step*) est également utilisée afin de déterminer le meilleur modèle, celui pour lequel la somme des carrés des résidus est la plus faible (STHDA, 2018). La fonction débute avec toutes les variables du modèle linéaire et retire les variables les moins significatives (méthode backward) en se basant sur le critère de l'AIC (Akaike information criterion), une mesure de la qualité d'un modèle. L'AIC retient les variables les plus pertinentes pour les modèles, variables pour lesquelles l'information n'est pas redondante (Rakotomalala, 2015). Lorsque la régression atteint un minimum pour l'AIC, nous considérons que le modèle trouvé est le meilleur modèle de régression linéaire multiple. L'inconvénient de la régression linéaire stepwise est qu'elle regarde les corrélations entre variables et retire une des variables corrélées. La variable gardée est souvent celle qui contient le moins de modalités car l'AIC est plus faible dans ce cas. Ce n'est donc pas toujours la variable la plus intuitive qui est conservée.

Les variables du jeu de données présentent des problèmes de multi colinéarité, c'est-à-dire que certaines variables explicatives donnent les mêmes informations. Ceci peut être problématique car les variances des coefficients de régression augmentent et deviennent instables et difficiles à interpréter (Barnier et al., 2019). Afin de corriger le problème de multi colinéarité dans les variables, il faut examiner les facteurs d'inflation de la variance (FIV). Ceux-ci estiment de combien la variance d'un coefficient est augmentée en raison d'une relation linéaire avec d'autres prédicteurs (Barnier et al., 2019). Un facteur égal à 1 indique qu'il n'y a pas de multi colinéarité entre les variables. Il n'y a cependant pas de consensus sur la valeur au-delà de laquelle il faut considérer la multi colinéarité (Barnier et al., 2019). Selon Rakotomalala (2015), les variables avec un FIV supérieur à 4 sont à supprimer pour limiter les erreurs. Pour calculer le FIV, la fonction *vif* (package *car*) est appliquée sur le modèle linéaire utilisant la régression stepwise.

Un tableau d'analyse de la variance est également réalisé avec les variables du modèle. La fonction *Anova* (du package *car*) permet de représenter l'effet global d'une variable. La somme

des carrés représente la différence entre les valeurs prédites pour chaque valeur et la moyenne de toutes les valeurs. Pour les résidus, cette somme des carrés vaut la différence, au carré, entre les valeurs observées et les valeurs prédites. Le but est qu'elle soit minimisée par le modèle. La F-valeur est une valeur caractéristique du test de Fisher permettant de savoir si la moyenne de chaque groupe est égale. Elle donne les mêmes informations que la p-valeur. L'hypothèse nulle est ici que les moyennes de chaque groupe testé soient égales. Lorsque la p-valeur est plus faible qu'un seuil, ici de 5%, la différence entre les groupes est significative.

5.3 Enquêtes auprès des agriculteurs

5.3.1 Objectif des enquêtes

Les enquêtes ont pour but de comprendre la connaissance que possèdent des producteurs vis-à-vis de la technique de la fertilisation microdose. Deux questionnaires distincts sont proposés. L'un vise les expérimentateurs connaissant la microdose depuis plusieurs années et ayant donc un regard plus objectif sur la technique. Ils seront appelés les connaisseurs de la technique. Le questionnaire permet d'identifier les pratiques courantes de microdose dans la région, de déterminer les bénéfices et les inconvénients de la fertilisation microdose, de comprendre comment ils la valorisent au mieux et de percevoir quels sont, selon ces expérimentateurs, les facteurs qui engendrent une différence de rendement. Le second questionnaire est adapté pour des agriculteurs ne pratiquant la microdose que depuis cette année, dans le cadre du projet MICROFERTI. Ce sont les primo-pratiquants. Il est alors question d'identifier les connaissances acquises sur la technique et les contraintes qui limitent son adoption. Le questionnaire se base sur des hypothèses sur l'efficacité de la technique où la microdose serait la mieux adaptée, sur quelles cultures et les causes d'une certaine variabilité ? Les connaissances de terrain des primo-pratiquants sont donc utilisées pour répondre à ces questions.

5.3.2 Elaboration du questionnaire

Les questionnaires utilisés sont une modification d'un questionnaire réalisé dans le cadre d'un autre mémoire sur le même projet, mais dans une autre province durant les mois d'avril, mai et juin 2018. Celui-ci a été légèrement revu en se concentrant sur les aspects pratiques de la fertilisation microdose et sur la variabilité dans sa réponse. Deux questionnaires distincts sont proposés car certaines réponses concernant les techniques de microdose et les résultats ne sont objectifs que si le producteur a une connaissance suffisante de la fertilisation microdose et un producteur non « aguerri » dans la technique pourrait apporter un biais trop important et rendre les résultats tronqués.

Afin de permettre la communication avec les agriculteurs des trois villages, un interprète était présent lors des entretiens. Celui-ci est un participant du projet, pratiquant la microdose et il a donc une vision précise des objectifs voulus et de l'importance des enquêtes. Cette personne, un producteur de la région, permet aussi de limiter la distance qu'il peut y avoir avec les paysans. Une préparation aux entretiens a été prévue afin d'éviter les interprétations des questions et proposer une traduction la plus littérale possible. Lorsqu'une question n'était pas

comprise, il était nécessaire de la reformuler pour ensuite la transmettre au traducteur afin de ne pas orienter la question. Certaines questions étaient également annotées afin de permettre une reformulation plus efficace ou de se figurer les réponses attendues. Cependant, ces notes n'étaient pas communiquées aux personnes enquêtées afin de ne pas leur fournir de propositions de réponses.

5.3.3 Echantillonnage

Les trois régions du Burkina Faso sélectionnées pour le projet MICROFERTI se différencient de part leur pluviométrie différente et leurs systèmes de cultures variés. Cela s'est cependant fait indépendamment de la connaissance des gens sur la technique de la microdose. En Sissili, au sud du Burkina Faso, la pratique n'est pas très répandue, les conditions de cultures étant assez favorables. Les agriculteurs se concentrent donc sur les techniques traditionnelles de fertilisation et ceux connaissant la microdose restreignent cette pratique à une partie de leur superficie. Dans les trois villages sélectionnés autour de Léo, il a donc été compliqué de trouver des agriculteurs connaissant la microdose depuis plus d'une année. Pour les agriculteurs ne pratiquant pas la microdose depuis plusieurs années, il est essentiel qu'ils aient participé au projet pour que leur avis puisse être retenu. Pour ce questionnaire, tous les participants au projet MICROFERTI constituent la population à échantillonner. L'autre questionnaire destiné aux connaisseurs de la technique aurait pu s'adapter à un échantillon plus large regroupant tous les habitants des villages qui pratiquent la microdose. Cependant, dans la région, ces personnes sont limitées et les pratiques peu connues. Pour des raisons de facilité, il a été plus aisé de restreindre cet échantillon aux agriculteurs du projet MICROFERTI, qui sont plus facilement identifiables par le technicien de la Sissili ou par les animateurs endogènes des villages. Le fait que les personnes interviewées fassent partie du projet permet également de s'affranchir de l'erreur potentielle due au fait que la participation ou non aux essais influence la perception vis-à-vis de la technique. Il est aussi à noter que tous les producteurs choisis sont des hommes, le critère social du genre n'étant pas investigué dans le cadre du mémoire. Les producteurs sont alors répartis en deux populations : les primo-pratiquants de la microdose, participant au projet MICROFERTI mais n'ayant jamais appliqué la microdose par eux-mêmes dans leur champ et les connaisseurs de la microdose, utilisant déjà la technique hors du projet et ayant déjà obtenu des résultats. Le plan d'échantillonnage dans la Sissili est repris dans le tableau ci-dessous (Tableau 5.1).

Les différences se font ressentir dans la connaissance de la microdose entre villages. A Biniou, bien que le nombre de participants soit élevé, très peu d'entre eux pratiquent la microdose. A Yelboug, au contraire, les connaisseurs de la microdose sont assez nombreux. Ceci n'est cependant pas représentatif du pourcentage de producteurs connaisseurs de la microdose dans ces villages. En effet, au vu de la faible proportion de producteurs connaissant la microdose, nous étions obligés de les sélectionner dans les villages, l'échantillonnage n'est donc pas aléatoire. Le rapport primo-pratiquants / connaisseurs surestime certainement la réalité.

Tableau 5.1: Plan d'échantillonnage dans le département de Bieha

Village	Nombre de participants au projet	Nombre de personnes interviewées	
		Primo-pratiquants	Connaisseurs
Biniou	42	12	4
Yallé	17	10	3
Yelboug	17	3	6
Total	76	25	13

5.3.4 Enquête semi-directive

Le type d'enquête choisi est l'enquête semi-directive. Certaines questions attendent une réponse précise et d'autres font appel à la connaissance de l'agriculteur et sont alors plus libres et ouvertes. Ce type d'entretien permet donc une liberté d'expression sur les avis et les préoccupations de l'agriculteur et d'autres questions, plus fermées, recadrent le débat. Cela permet de caractériser les systèmes de cultures, le plan parcellaire, leur utilisation de la technique de la microdose mais aussi d'avoir un débat plus avancé sur les préoccupations des agriculteurs et de connaître leur avis sur les avantages et inconvénients de la technique.

Le guide d'entretien répertorie l'ensemble des thèmes abordés, et offre un cadre directif à l'enquête. Il débute en fixant le cadre général, avec le plan parcellaire et les techniques adoptées traditionnellement dans les champs, pour ensuite se focaliser sur la fertilisation microdose, les sources de connaissance, la description de l'application de la technique de la microdose et la variabilité en résultant, les techniques associées à la microdose et les propositions des producteurs afin d'améliorer la technique. Les deux questionnaires sont élaborés suivant ces thèmes mais les questions sont légèrement différentes quand il s'agit d'un connaisseur ou d'un primo-pratiquant de la technique.

Les réponses aux questions sont souvent qualitatives mais certaines restent quantitatives, telles que les surfaces cultivées, la distance depuis la concession, la quantité d'engrais utilisée... Les questions restent ouvertes, et rares sont celles où il y a un choix à faire entre plusieurs propositions. Les questions sont souvent posées de telle sorte que l'agriculteur réponde le plus librement possible sans être orienté dans ses choix.

Les entretiens duraient entre 20 et 40 minutes pour les primo-pratiquants et de 45 minutes à 1h pour les connaisseurs. Ils se sont déroulés durant le mois d'août 2018 dans les trois villages. Cette période de l'année, lors de la saison culturale, n'était pas la plus adaptée à ce genre de rencontres, le travail étant abondant, les agriculteurs n'avaient pas toujours beaucoup de temps à consacrer aux interviews. Cependant, nous arrivions toujours à dégager une heure afin de permettre ces échanges. De plus, l'intérêt que des chercheurs portent à leur système de cultures motive les agriculteurs qui se portent alors plus facilement volontaires pour ce genre d'interviews.

La prise de notes lors des interviews se faisait sur le questionnaire. Les données ont ensuite été encodées dans un document Excel. Pour les questions ouvertes, les réponses ont été classées en sous-catégories afin de faciliter leur analyse.

5.3.5 Données collectées

Les différentes sections du guide d'entretien sont expliquées ci-dessous. Les questionnaires sont repris en annexe (Annexe C)

Composition du ménage et personnes actives dans l'exploitation

Le premier axe abordé reprend la situation socio-économique des agriculteurs de la Sissili. Il est alors question de leur famille, leur âge et de leur niveau d'éducation. Le fait qu'ils soient éleveurs ou non est aussi évoqué. Nous parlons également de l'accès au crédit.

Plan parcellaire

Afin de comprendre les systèmes de cultures des producteurs, nous récoltons des données sur la configuration de l'exploitation, le nombre de parcelles, leur superficie, leur distance depuis la concession de l'agriculteur. Concernant chaque parcelle, nous nous intéressons au nombre d'années depuis lesquelles elles sont cultivées, leur mode de propriété, nous informant ainsi sur la sécurité foncière ; ainsi qu'aux caractéristiques pédologiques et environnementales comme le type de sol et la topographie. Les données pour les types de sols sont souvent renseignées en nom vernaculaire que nous avons retranscrits tels quels dans les réponses afin d'éviter les conclusions trop hâtives sur le type de sol. Ces données ont été revues par la suite pour les traduire en type de sols gravillonnaires, sableux ou argileux. Souvent, plusieurs types de sols se retrouvent sur une parcelle. Par exemple, lorsqu'un champ est en pente, son sol sera sableux puis argileux vers le bas-fond. Et souvent, un agriculteur différencie ses sols en appliquant préférentiellement des cultures sur un des types de sols ou en n'appliquant la microdose que sur une partie de sa parcelle. Il s'agit alors de différencier les parcelles ayant un sol sableux puis argileux en bas fond par rapport aux parcelles ayant un sol sablo-argileux, où le sable et l'argile se mélangent, en proportion variable.

Les cultures ont ensuite été discutées. Nous parlons ici des cultures de l'année 2017 et 2018. Les enquêtes étant réalisées durant le moins d'août, les cultures de l'année 2018 avaient déjà été plantées. Il fallait aussi déterminer la superficie de chaque culture et la quantité d'engrais apportée. A cette question, les réponses étaient en nombre de sacs d'engrais par hectare, que nous convertissons ensuite en kilogramme par ha, un sac équivalant à 50 kg. Les rotations de cultures sont ensuite abordées. Cette question a dû être reformulée, les agriculteurs n'étant pas familiarisés avec le terme « rotation ». Nous demandions donc s'ils laissaient leurs cultures au même endroit ou s'ils changeaient d'endroit entre parcelles ou à l'intérieur de la même parcelle. La question suivante concernait l'application de paillage sur le champ mais le terme étant également peu compris, nous l'avons remplacé par des résidus de cultures.

La dernière question était plus globale et portait sur l'utilisation de fumier ou de compost sur les parcelles et de la raison pour laquelle ces parcelles étaient choisies.

Ces deux premières parties étaient communes aux agriculteurs connaisseurs et primo-pratiquants de la microdose puisque la microdose n'y était pas abordée.

Source de connaissance de la technologie d'application de la microdose

Les premières informations à détenir concernent l'expérience du producteur avec la microdose. La question abordait donc le nombre d'années depuis lesquelles la technique de la microdose était connue puis appliquée. Ensuite, les sources de connaissances étaient discutées et, si l'agriculteur avait suivi une formation, nous parlions également du type de formation, de la période pendant laquelle elle a été suivie, de la durée de celle-ci et de l'organisme d'où venait le formateur.

S'en suivait aussi quelques questions plus pratiques pour voir si la technique est appliquée chaque année et si non, la raison pour laquelle elle ne l'est pas. Pour les primo-pratiquants de la technique, qui n'appliquent la microdose que depuis l'arrivée du projet, cette dernière question concernait les contraintes de la microdose et les raisons pour lesquelles celle-ci n'était pas appliquée.

Description de l'application de la technique de microdose

Cette partie se consacre aux aspects techniques de la microdose, sur quelle(s) parcelle(s) elle est le plus souvent appliquée et sur les critères qui guident les agriculteurs dans le choix de l'une ou l'autre parcelle. Ensuite, il faut déterminer si l'application est uniforme au sein de la parcelle et dans le temps (« la quantité d'engrais est-elle la même chaque année » ?). Les cultures sur lesquelles la microdose est appliquée sont aussi abordées, ainsi que les critères de choix pour ces cultures. D'autres aspects plus techniques sont ensuite discutés, comme la période d'application de l'engrais en fonction des cultures, le mode d'application et les éventuelles adaptations. Des questions sur la variabilité dans l'efficacité de la fertilisation microdose sont ensuite énoncées afin de voir si cette variabilité est observée, sur toutes les parcelles, sur une parcelle ou un endroit en particulier ou sur toutes les cultures ou une culture en particulier. Ensuite, nous parlons des causes de cette variabilité. La question était souvent reformulée par « si vous appliquez une culture sur une parcelle avec de l'engrais mis en microdose, pourquoi, à certains endroits de la parcelle, les rendements sont-ils différents ? » Cette question est délicate car fort large et les causes de variabilité recensées sont souvent dues à des causes extérieures à celles dues spécifiquement à la fertilisation microdose. Souvent les agriculteurs parlent de la fertilisation en général et ont moins d'avis sur la fertilisation microdose spécifiquement.

Pour les primo-pratiquants, cette section est plus restreinte puisqu'ils ne connaissent pas encore toutes les subtilités de la technique. Les questions sont souvent formulées au conditionnel. Nous discutons également des parcelles sur lesquelles la microdose serait plus efficace et pourquoi. Les questions concernant l'efficacité sur certaines parcelles ou certains endroits de parcelles ne sont ici pas abordées. Nous parlons ensuite des cultures choisies en préférence pour l'application de la microdose suivies par d'autres explications plus techniques sur la période d'application de l'engrais qui leur semblerait la plus propice.

La question des causes de la variabilité dans l'efficacité de la technique sont aussi abordées. Même si ces agriculteurs ont peu d'expérience sur le sujet, leur expérience de terrain peut leur permettre de répondre à cette question.

Techniques associées à la microdose qui ont été mises en œuvre

Cette cinquième partie concerne les moyens mis en œuvre afin d'améliorer la technique de la microdose. Nous discutons ici de la pratique de travail du sol avec et sans microdose, de l'association avec la matière organique ou avec d'autres cultures. Ensuite, nous leur demandons de proposer des techniques qui pourraient être mises en œuvre afin d'améliorer l'efficacité de la microdose et les contraintes associées à ces techniques.

Pour les primo-pratiquants, seules les techniques mises en œuvre pour améliorer l'efficacité de la microdose sont abordées ainsi que les contraintes par rapport à ces techniques.

Appréciation des producteurs

Ce dernier axe reprend une question globale sur la satisfaction par rapport à la technique de la microdose et les avantages qu'elle permet.

Cet axe n'est pas abordé chez les primo-pratiquants.

5.3.6 Analyse des résultats d'enquêtes

Les résultats des 38 enquêtes sont étudiés via Excel et le logiciel R (R x64 3.4.2). L'enquête se voulant semi-directive, les données récoltées doivent être retravaillées afin de pouvoir y appliquer des tests statistiques.

Premièrement, les questions pour lesquelles la réponse est ouverte et fait appel à la réflexion de l'agriculteur, doivent être revues afin de les classer dans des catégories. Par exemple, la question « quelles sont, selon-vous, les causes de la variabilité dans la réponse à la microdose ? », n'attend aucun type de réponses en particulier et celles-ci sont dès lors très variées. Cette réflexion sur les réponses et la classification a été faite grâce à l'expérience acquise sur le terrain et dans la littérature et avec l'aide du doctorant du projet. Le nombre de catégories a été défini en fonction de la diversité des réponses proposées.

Ensuite, lorsqu'une question ouverte entraîne plusieurs pistes de réponses, les réponses sont divisées en plusieurs choix et nous ne considérons pas les associations de choix. Par exemple, pour les critères privilégiés pour l'application de la microdose, si l'agriculteur choisit d'appliquer la microdose sur un sol fertile *et* sur le maïs, ces deux choix sont pris en compte séparément et pas comme une combinaison fertilité-maïs. En effet, dans ce cas, trop de modalités sont possibles et les résultats de l'analyse ne sont pas satisfaisants. A la place, tous les choix sont gardés et nous comptons le nombre de producteurs ayant fait ce choix. Ce système entraîne des biais puisque, déjà, un choix qui n'a pas été émis par un producteur ne veut pas dire que ce producteur n'est pas en accord avec cette réponse mais qu'il n'y a peut-être pas pensé et, ensuite, certains producteurs choisissent effectivement une combinaison de critères pour appliquer la microdose et un seul choix ne les satisfait pas.

Enfin, certaines questions demandent des hiérarchisations, par exemple, les types de cultures privilégiés lors de l'application de la microdose. Dans ces cas, le nombre de modalités est élevé par rapport au nombre de producteurs. Beaucoup de modalités (listes hiérarchisées de cultures préférées) ne sont donc choisies qu'une seule fois. Cela apporte peu d'information lors de l'analyse. Cette hiérarchisation est dès lors divisée en plusieurs choix et les analyses se font sur le 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} choix plutôt que sur une liste hiérarchisée. Le 1^{er} choix est donc évalué pour tous les producteurs mais les 2^{ème} et 3^{ème} choix ne sont pas toujours représentés.

Afin de comparer les producteurs « participants » et « primo-pratiquants », le nombre de producteurs est ramené en proportion pour les deux sous échantillons. L'inconvénient de cette manière de procéder est que, au vu du faible nombre de producteurs interrogés, la précision des données est faible, de plus ou moins 8% pour les connaisseurs et plus ou moins 4% pour les primo-pratiquants.

Les analyses des données des enquêtes sont séparées en deux parties. La première partie concerne les données économiques, le système agricole et les techniques de fertilisation de la Sissili. Ces analyses sont exclusivement descriptives. Elles se font sur base des moyennes de chaque réponse pour l'échantillon des 38 agriculteurs. Les valeurs manquantes sont retirées des analyses. La présence d'outliers est directement discutée dans la partie résultats.

La seconde partie s'intéresse à la comparaison entre les connaisseurs et les primo-pratiquants de la microdose et permet de dégager certaines tendances entre ces deux groupes. Afin d'être assuré d'une différence entre les moyennes de ces deux groupes, des tests de Student sont réalisés lorsque les données sont quantitatives. Le test de Wilcoxon-Mann-Whitney est une alternative non paramétrique au test de Student pour des échantillons indépendants. Ces deux tests ont pour hypothèse nulle qu'il n'existe pas de différence entre les moyennes des deux groupes de l'échantillon. Le test de Shapiro-Wilk permet de déterminer si l'échantillon suit une loi gaussienne. Lorsque cette hypothèse est rejetée, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney est utilisé. Pour les variables qualitatives, la différence entre les 2 sous échantillons de connaisseurs et primo-pratiquants est déterminée grâce au test du χ^2 d'homogénéité (selon la méthode de Pearson) et au test exact de Fisher, son alternative lorsque les effectifs théoriques sont inférieurs à 5 ou lorsque les sommes marginales du jeu de données sont très déséquilibrées (XLSTAT, 2017). Vu le faible nombre de personnes interrogées dont nous disposons, le test de χ^2 n'est souvent pas applicable et le test de Fisher doit être utilisé. Celui-ci est certes moins puissant que le test du χ^2 mais s'adapte mieux à l'échantillon. L'hypothèse nulle ici testée est que les deux variables qualitatives soient indépendantes.

Un test de χ^2 de conformité est aussi appliqué sur les variables afin de voir si la distribution des données suit une probabilité théorique. Dans le cas étudié, il est utile de juger si certains avis sont cités plus souvent ou s'ils ne s'écartent pas significativement de ce qui aurait pu être observé si nous avions une distribution uniforme (c'est-à-dire qu'aucun avis ne serait sorti du lot). L'hypothèse nulle de ce test est que l'observation diffère de la théorie et elle est réalisée lorsque la p-valeur est plus faible que 0,05. La théorie signifie ici la distribution uniforme.

6. RÉSULTATS ESSAIS

6.1 Caractéristiques régionales

Pluviométrie et date de semis

La pluviométrie cumulée sur la saison culturale recensée sur les 14 pluviomètres ainsi que la date de semis choisie par le producteur sont reprises dans la figure ci-dessous (Figure 6.1).

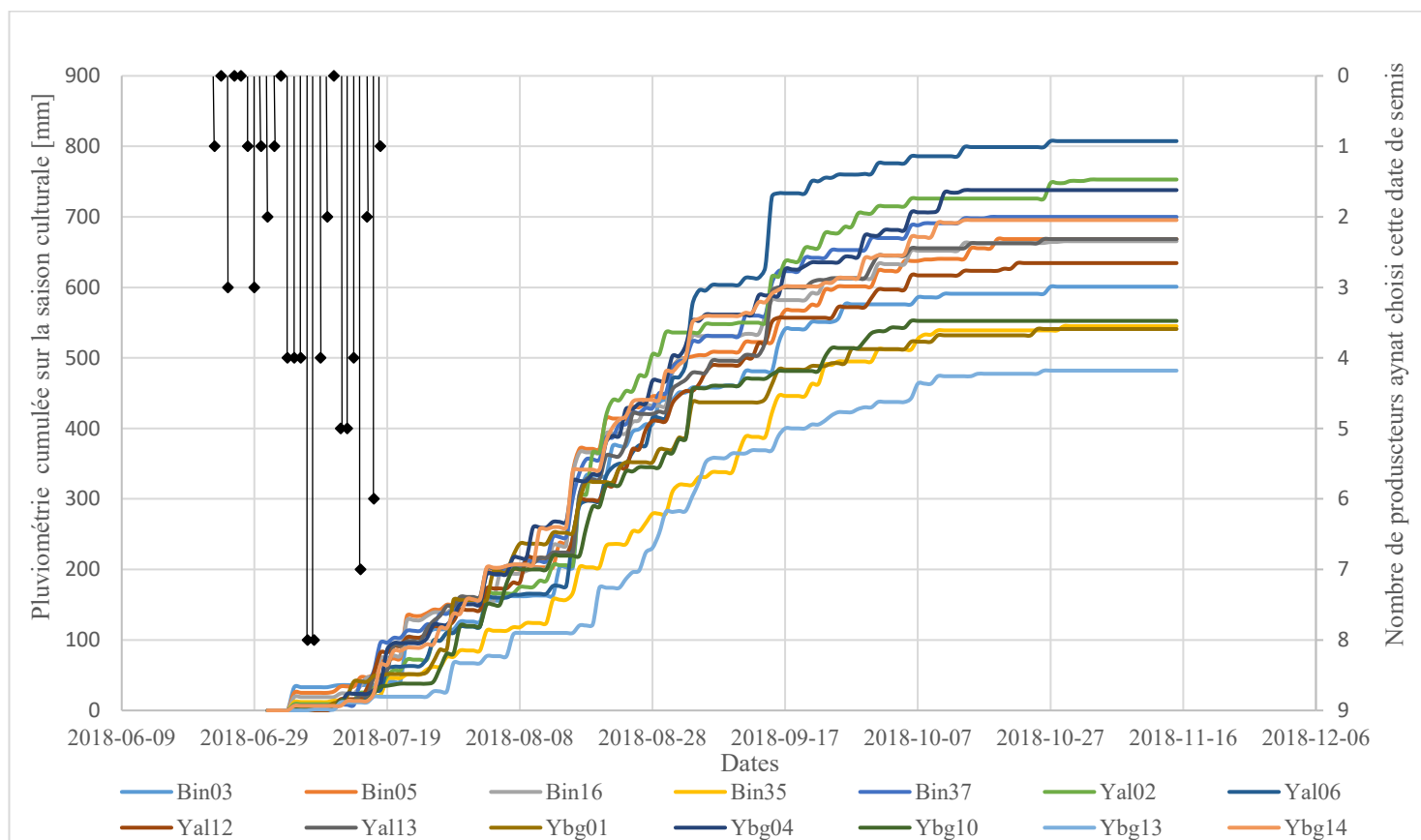


Figure 6.1: Pluviométrie cumulée sur la saison culturale et nombre de producteur ayant choisi une date de semis.

Tableau 6.1: Statistiques descriptives de la pluviométrie totale durant la saison de culture 2018.

		Moyenne [mm]	Ecart type [mm]	Min [mm]	Max [mm]
Pluviométrie totale sur la saison de culture	Biniou	636	50.4	545	700
	Yallé	715.875	64.375	634.5	807.5
	Yelbougua	601.8	91.96	482	738
pluviométrie sur la période critique		316.559211	106.637421	150	599.5

Les moyennes, écart-types, minima et maxima sont calculés à partir des pluies totales recensées sur les pluviomètres correspondants à chaque village (Tableau 6.1).

Les premières pluies recensées par les pluviomètres datent du 5 juillet 2018 dans 10 des 14 pluviomètres installés. Cependant, les semis ont commencé le 26 juin, pour un des agriculteurs de Yelbougua et 16 agriculteurs en tout ont semés avant le 5 juillet. Il y a donc dû y avoir une

certaine quantité de pluie avant cette date afin de rendre le semis possible. Cette pluie n'est cependant pas renseignée par les pluviomètres. Cette anomalie peut être expliquée par le fait que la pluie de juin était très faible et donc non recensée par les agriculteurs ou bien car la collecte des données de pluies s'est faite à partir du mois de juillet et certains producteurs n'étant pas encore formés à la lecture sur le pluviomètre avant cette date.

Les dates de semis varient du 23 juin ou 18 juillet. Avec un maximum de 16 agriculteurs ayant semé le 7 et 8 juillet et 14 agriculteurs le 15 et 17 juillet (Figure 6.1).

Enherbement et incidence du striga à mi-saison

Les tableaux Tableau 6.2 et Tableau 6.3 reprennent le nombre de parcelles appartenant à chaque catégorie d'enherbement et d'incidence du striga pour le maïs et le sorgho recensé à la mi-saison.

Tableau 6.2: Répartition des parcelles selon leur classe d'enherbement.

% enherbement	Maïs	Sorgho
0-10%	46	35
11-30%	14	17
31-50%	7	12
> 50%	11	10

Tableau 6.3: Répartition des parcelles selon leur incidence au striga.

Incidence du striga	Maïs	Sorgho
absence	60	58
faible	14	12
moyenne	0	1
forte	2	2

Concernant les classes d'enherbement, la majorité des parcelles de maïs (61%) et de sorgho (46%) sont dans des classes d'enherbement faible. A mi-saison, certaines parcelles sont dans des classes d'enherbement élevées. Cela semble avoir un impact sur le rendement final puisque, pour le sorgho, le rendement n'a pas pu être calculé sur 16 parcelles et, dans ces 16 parcelles, 11 ont des classes d'enherbement élevées (> 31%). La tendance est moins visible pour le maïs car seules 6 parcelles à classe d'enherbement élevée (> 31%) n'ont pas eu une analyse de rendement. Pour les 10 autres parcelles à classes d'enherbement élevées, le rendement a été calculé.

Pour le striga, l'incidence du striga à mi-saison semble avoir moins d'impact sur le rendement final. En effet, pour le maïs, une seule parcelle à incidence de striga forte, sur deux parcelles classées, n'a pas de valeur de rendement. Pour le sorgho, les 3 parcelles à incidence forte de striga ont eu leurs rendements calculés.

Cultures précédentes

Les cultures les plus représentées sur les parcelles d'essais l'année avant la mise en place des essais sont le sorgho, maïs, sésame et coton, avec respectivement 28, 27, 15 et 14% des cultures

présentes. La figure représentant la répartition de l'ensemble des cultures se trouve en annexe (Annexe D). Les assolements pour l'année 2014, 2015, 2016 et 2017 ont aussi été enregistrés mais leur nombre de modalités est trop élevé pour pouvoir en sortir de l'information.

Engrais, Amendements et herbicides utilisés

La matière organique a été utilisée par 10 producteurs sur leur parcelle depuis 2015. Les quantités varient de 10 à 60 charrettes à l'hectare.

Le NPK est utilisé chez 39 % des agriculteurs. Et particulièrement à Yelbougga où seuls 2 agriculteurs n'utilisent pas de NPK, sur les 15 agriculteurs pour lesquels l'information est renseignée. La quantité moyenne utilisée est de 151 kg de NPK/ha et cette quantité varie de 12 à 267 kg de NPK par ha. La composition de NPK n'est cependant pas renseignée ici, ni les cultures sur lesquelles ce NPK est préférentiellement appliqué.

De l'urée est également appliquée chez 37% des agriculteurs. Avec une moyenne de 69kg/ha variant de 36 à 115 kg/ha. Seul 1 agriculteur applique du NPK sans urée.

Concernant les herbicides, 65% des producteurs appliquent de l'herbicide total et de l'herbicide de pré-levée. Vingt-deux % d'entre-eux n'appliquent que de l'herbicide total. Huit % n'en appliquent pas, 3 % (c'est-à-dire 2 producteurs) utilisent de l'herbicide total, de prélevée et de post-levée et 3% encore n'utilisent que de l'herbicide de pré-levée.

Gestion des résidus

La gestion des résidus est principalement faite par vaine pâture, dans 68% des cas, suivie par un stockage total pour 12 % des producteurs puis un stockage partiel avec vaine pâture pour 11% d'entre eux. Six agriculteurs (8%) ont pratiqué le brulis en 2017.

Age des parcelles, types de sols et distance depuis la concession

Les parcelles étudiées sont mises en cultures depuis 17,5 ans en moyenne, avec des parcelles très récentes, mises en culture en 2018 et d'autres cultivées depuis plus de 30 ans.

Tableau 6.4: Répartition des types de sol et de leur distance depuis la concession de l'agriculteur.

Distance concession Type de sol	case	village	brousse	Σ type de sol
caillouteux, affleurement de cuirasse	0	8	5	13
sableux	6	6	4	16
gravillonnaire	5	8	9	22
argileux et de couleur noir	6	3	16	25
Σ classe de distance	17	25	34	

Les types de sols les plus représentés dans les parcelles d'essais sont les sols argileux et de couleur noire. La majorité de ces sols (64%) se situent en brousse. Les sols caillouteux et affleurement de cuirasse sont les moins présents (16% de la répartition des sols) et se situent en

village et en brousse. Les parcelles d'essais se situent principalement en brousse (45% des parcelles), puis dans le village (33%) et près de la concession (22%) (Tableau 6.4).

6.2 Facteurs influençant la réponse du sorgho à la fertilisation microdose

6.2.1 Variabilité de la réponse au sorgho

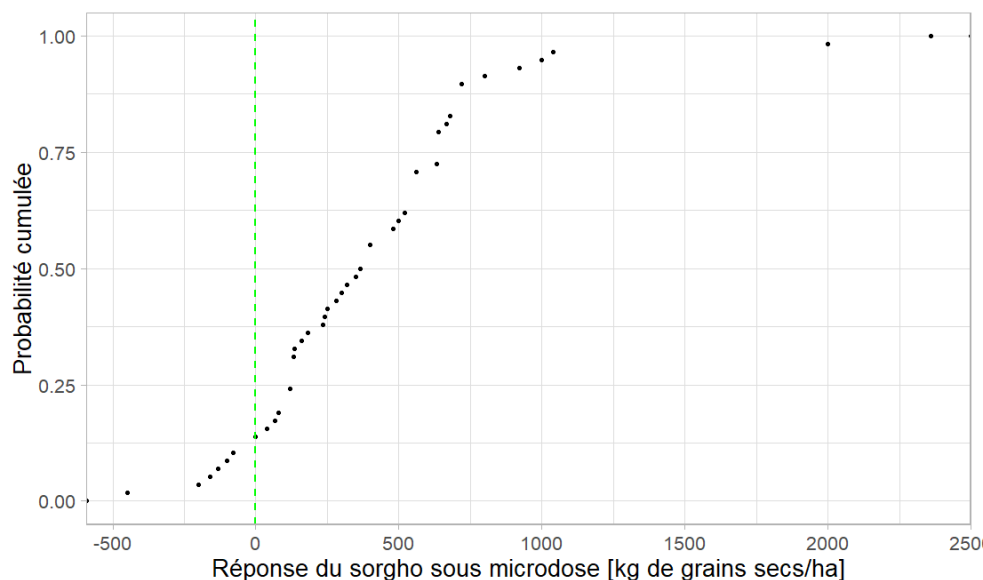


Figure 6.2: Courbe de densité de probabilité cumulée pour la réponse du sorgho à la fertilisation microdose.

Tableau 6.5: Statistiques descriptives des rendements du sorgho sous microdose et du sorgho témoin.

	Sorgho microdose	Sorgho témoin
Moyenne [kg de grains secs/ha]	1422	1003
Médiane [kg de grains secs/ha]	1280	960
Min [kg de grains secs/ha]	200	117
Max [kg de grains secs/ha]	4000	3520
Écart type [kg de grains secs/ha]	879	699

Le test de Student renseigne que la différence entre les moyennes des deux traitements est significative (p-valeur de 0,005). La réponse du sorgho varie ici de – 450 à 2360 kg de grains secs/ha. Treize % des réponses sont négatives. Deux observations ont une réponse nulle, leur rendement sous microdose vaut leur rendement témoin (Figure 6.2). L'application d'engrais sous microdose mène à une augmentation moyenne de rendement de 42% par rapport au témoin. Le rendement du sorgho sous microdose est plus variable que celui du témoin, qui a un écart type plus faible. Les autres statistiques descriptives sont reprises dans le Tableau 6.5.

6.2.2 Analyse multivariée pour le sorgho

Pour la régression linéaire multiple du sorgho, la donnée de Biniou 21, avec une réponse à la microdose de 2360 kg de grains secs/ha (réponse la plus élevée) a été supprimée car elle ne permet pas de valider l'hypothèse de normalité. Les autres hypothèses de la régression sont présentées à l'Annexe E.

Le modèle trouvé se compose de 8 variables dont 6 sont significatives (Tableau 6.6). Le R^2 du modèle est de 0,561.

Tableau 6.6: Résultats de l'ANOVA pour la régression linéaire stepwise du sorgho. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « . » indique une significativité à 10%, « * », une significativité de 5% et « ** », une significativité à 1%.

	Somme des carrés	Pr(>F)
Rendement témoin	147757	0,223
Elévation	305825	0,083 .
Année depuis la mise en culture	885516	0,005**
Occupation du sol environnant	513643	0,083 .
Application de NPK en 2017	1242256	0,004**
Classe d'enherbement	418947	0,129
Incidence du striga	372722	0,057 .
Période de semis	688945	0,039*
Résidus	3266062	

Tableau 6.7: Résultats de la régression linéaire stepwise du sorgho. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « . » indique une significativité à 10%, « * », une significativité de 5% et « ** », une significativité à 1%.

	Coeff. estimés	erreur standard	Pr(> t)
Intercepte	-2292,6	1359,2	0,10
Rendement témoin	-0,1	0,08	0,22
Elévation	7,5	4,2	0,083 .
Année depuis la mise en culture	14,5	4,7	0,005**
Occupation du sol environnant_brousse	-201,1	150,4	0,19
Occupation du sol environnant_concession	-293,3	147,4	0,055 .
Application de NPK en 2017_élevée	431,7	130,0	0,002**
Application de NPK en 2017_faible	346,8	144,2	0,022*
Classe d'enherbement_faible	267,2	137,6	0,060 .
Classe d'enherbement_moyen	81,1	137,4	0,56
Incidence du striga_présence	258,8	131,4	0,057 .
Semis_tard	-93,2	117,9	0,44
Semis_tôt	-356,5	133,3	0,011*

Les résultats de la régression sont repris dans le Tableau 6.7. Pour les variables quantitatives, les valeurs estimées correspondent à la pente de la droite reliant la réponse du sorgho à la variable quantitative. Les valeurs estimées des variables qualitatives correspondent à une augmentation (>0) ou diminution (<0) de la réponse à la fertilisation microdose par rapport à la modalité de référence de cette variable, qui n'est ici pas représentée dans le tableau.

Le facteur le plus explicatif de cette régression est l'application de NPK en 2017. Lorsque l'application est élevée ou faible l'année précédant l'application de microdose, la réponse à la microdose sera plus élevée que si il n'y avait pas eu d'application de NPK. Il n'y a pas de différence dans la réponse entre une application faible et élevée de NPK (Tableau 6.8).

Cependant, cette observation va à l'encontre d'une gestion de la fertilité avec la microdose. En effet, si le but est de développer la technique de la microdose, il est inconcevable de conseiller, pour avoir une meilleure réponse, une application élevée de NPK (>120kg/ha) sur le champ l'année précédente. De plus, en pratique, cela n'est faisable que si les agriculteurs appliquent du NPK sur le maïs ou coton, les deux cultures fertilisées, puis, l'année suivante, cultivent le sorgho en microdose sur la même parcelle.

Tableau 6.8: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « application de NPK en 2017 ». « . » indique que la réponse est significativement différente, au seuil de 10%, entre les deux modalités et « ** » au seuil des 1%.

	Coeff. estimé	erreur standard	Pr(> t)
aucun – faible	346,8	144,2	0,055 .
aucun – élevé	431,72	129,9	0,006 **
élevé – faible	-84,9	158,7	0,85

Les coefficients représentent l'augmentation (>0) ou la diminution (<0) de rendement lorsque l'on passe de la première à la deuxième modalité dans le tableau (par exemple, augmentation de 348,8 kg/ha lorsque l'on passe d'une parcelle sans application de NPK à une parcelle avec une faible application de NPK en 2017).

Cette variable explicative, bien que correcte dans la régression, est donc retirée du modèle pour correspondre avec les principes de la microdose.

Une autre régression linéaire multiple est donc réalisée en retirant la variable « application de NPK l'année précédente ». Les résultats se trouvent dans le Tableau 6.9. Dans ce modèle, seules 3 variables sont significatives. Le R^2 vaut ici 0,43. Les variables « distance depuis la concession » et « caractéristiques de surface » ont dues être enlevées du modèle afin de respecter la colinéarité.

Tableau 6.9: Résultats de la régression linéaire stepwise du sorgho sans la variable « application de NPK en 2017 ». Les astérisques indiquent la significativité des variables. « . » indique une significativité à 10% et « ** », une significativité à 1%.

	Coeff. estimés	erreur standard	Pr(> t)
Intercepte	-2484,68	1560,21	0,120
Elévation	8,35	5,12	0,112
Année depuis la mise en culture	14,82	5,04	0,006**
Topographie de la parcelle_pente	391,93	193,99	0,051.
Topographie de la parcelle_plateau	82,66	153,36	0,593
Occupation du sol environnant_brousse	-211,33	172,64	0,229
Occupation du sol environnant_concession	-260,36	156,70	0,105
Incidence du striga_présence	423,44	135,71	0,003**
Semis_tard	-175,61	137,51	0,210
Semis_tôt	-245,68	147,68	0,105

Le nombre d'années depuis la mise en culture

Le coefficient estimé renseigne que, au plus le nombre d'années depuis la mise en culture augmente, au plus la réponse du sorgho à la microdose sera élevée. Pour une augmentation de une année, la réponse augmente de 14 kg de grains secs/ha.

Incidence du striga

Le striga est une plante parasite des racines. Plus de 2/3 des espèces de striga se retrouvent en Afrique de l'Ouest et Afrique centrale. Ses effets peuvent être dévastateurs pour les cultures céréalières et les légumineuses (Berner, 1995). La présence de striga induit une réponse positive du sorgho. Les rendements sous microdose augmentent en moyenne de 423,44 unités par rapport au rendement témoin lorsque qu'il y a présence de striga.

La topographie de la parcelle

Cette variable est significative au seuil de 10%. Une parcelle en pente permet une meilleure réponse (augmentation moyenne de 391 unités de rendement) qu'une parcelle en bas fond (lit de rivière et bas de pente) ou sur un plateau même si la différence entre la pente et le plateau n'est pas significative (Tableau 6.10). Le tableau ci-dessous n'indique pas de valeur significative au seuil de 10% car la correction de Tukey a été appliquée pour la comparaison et influence donc la significativité de coefficients. La variable est cependant gardée comme variable explicative.

Tableau 6.10: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « topographie de la parcelle ».

	Coeff. estimé	erreur standard	Pr(> t)
bas-fond – pente	391.93	194,0	0,120
bas-fond – plateau	82.66	153,4	0,851
pente – plateau	-309,27	170,0	0,175

6.3 Facteurs influençant la réponse du maïs à la fertilisation microdose

6.3.1 Variabilité de la réponse au maïs

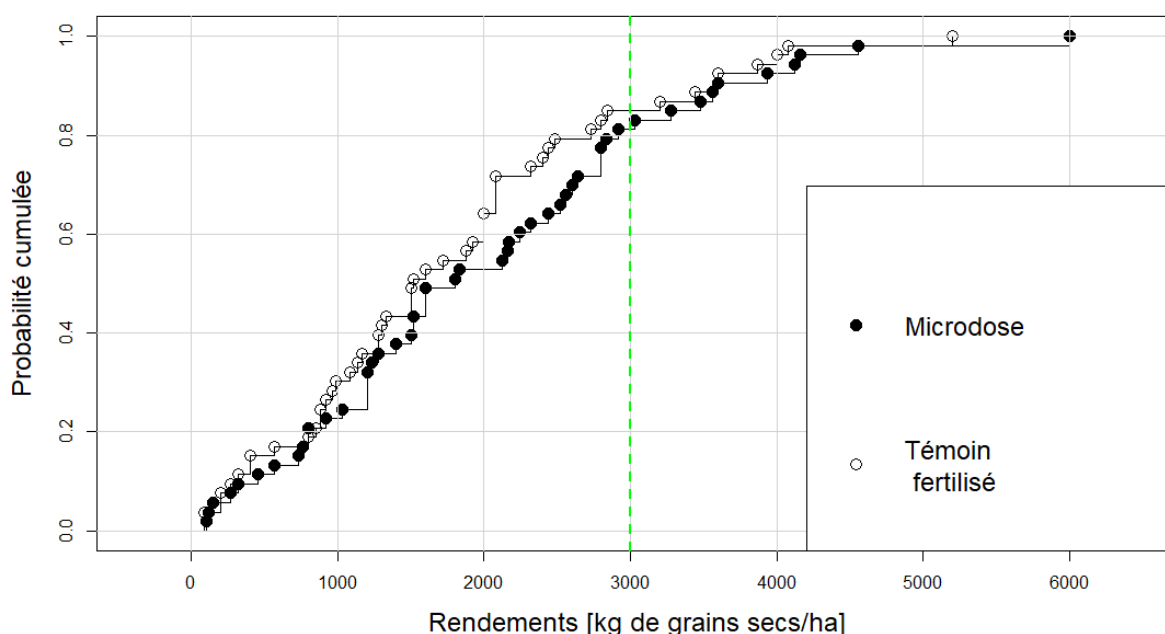


Figure 6.3: Courbe de densité de probabilité cumulée pour les rendements du maïs témoin et sous microdose.

Les deux traitements sont comparés en utilisant des courbes de probabilité cumulative pour le rendement témoin fertilisé et le rendement sous microdose (Figure 6.3). Nous comparons ici la probabilité d'atteindre la cible fixée de 3 T de grains secs/ha, cité comme étant le rendement minimum afin d'atteindre la suffisance alimentaire en Afrique sub-saharienne (Sanchez, 2015).

Tableau 6.11: Statistiques descriptives des rendements du maïs sous microdose et du maïs témoin.

	Maïs microdose	Maïs témoin fertilisé
Moyenne [kg de grains secs/ha]	2006	1770
Médiane [kg de grains secs/ha]	1800	1520
Min [kg de grains secs/ha]	100	83
Max [kg de grains secs/ha]	6000	5200
Écart type [kg de grains secs/ha]	1277	1171
Probabilité de dépasser un rendement de 3 t/ha	18,7%	14,8%

Le test de Student nous montre cependant que la moyenne entre les échantillons n'est pas significativement différent (p -valeur=0,32).

Le gain de rendement obtenu via la fertilisation microdose varie entre -800 (perte de rendement via la fertilisation microdose) et 1440 kg de grains secs/ha. Il y a 28,4% des parcelles qui ont un rendement sous microdose plus faible que le rendement témoin. L'augmentation de rendement avec la fertilisation microdose est de 13,3% par rapport au témoin fertilisé. Le maïs

sous microdose à une variabilité de rendement plus importante que le témoin fertilisé lorsque l'on compare les deux écarts types (Tableau 6.11).

6.3.2 Analyse multivariée pour le maïs

Le modèle de régression multiple pour le maïs se compose de 5 variables dont une variable significative au seuil de 1% et 4 variables significatives au seuil de 10%. La première régression, grâce à la fonction *stepwise*, a sorti 13 variables mais les FIV étaient élevés. Il a donc fallu retirer les variables « topographie du paysage » et « occupation du sol environnant » (Annexe H). La nouvelle régression *stepwise* renseigne un R^2 de 0,363, plus faible que les R^2 des deux autres modèles (Annexe H) mais où la multi colinéarité a été prise en compte. Les hypothèses du modèle sont reprises dans l'annexe G. Les résultats de l'ANOVA et de la régression sont repris dans le Tableau 6.12 et le Tableau 6.13 respectivement.

Tableau 6.12: Résultats de l'ANOVA pour la régression linéaire *stepwise* du maïs. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « ** », une significativité de 1%. « . » pour une significativité de 10%.

	Somme des carrés	Pr(>F)
Elévation	681514	0,067 .
Distance depuis la concession	1138936	0,064 .
Caractéristique de surface	1052922	0,158
Classe d'enherbement	1124018	0,066 .
Pluviométrie sur la période critique	1674198	0,006**
Residus	6269975	

Tableau 6.13: Résultats de la régression linéaire *stepwise* du maïs. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « ** », une significativité de 1%, « * », une significativité de 5% et « . » indique une significativité de 10%

	Coeff. estimés	erreur standard	Pr(> t)
Intercepte	4549,70	1685,46	0,011*
Elévation	-8,85	4,67	0,067 .
Distance depuis la concession _case	-267,21	218,98	0,231
Distance depuis la concession _village	-516,43	210,95	0,02*
Caractéristique de surface _caillouteux et affleurement de cuirasse	-414,41	231,42	0,083 .
Caractéristique de surface _gravillonnaire	-350,21	177,31	0,057 .
Caractéristique de surface _sableux	-394,76	227,64	0,092 .
Classe d'enherbement _faible	-106,15	177,68	0,554
Classe d'enherbement _moyen	-416,19	178,77	0,026*
Pluviométrie sur la période critique	-2,43	0,82	0,006**

Les variables explicatives du modèle sont expliquées ci-dessous, dans leur ordre de significativité croissante.

La pluviométrie sur la période critique

Le paramètre estimé pour cette variable est de -2,43. Ce qui signifie qu'une augmentation de la pluviométrie de 1 mm entraîne une perte de rendement sous microdose de 2,43 kg de grains secs/ha par rapport à un témoin fertilisé.

La distance par rapport à la concession

La réponse à la fertilisation microdose est la plus importante lorsque la distance depuis la concession est supérieure à 2 km. En effet, le champ de brousse, semble le plus répondant à la fertilisation microdose par rapport aux deux autres classes de distance. Le champ de village à une perte de rendement par la fertilisation microdose la plus élevée, de 516 unités par rapport au champ de brousse. Le champ de case à une valeur intermédiaire (Tableau 6.14).

Tableau 6.14: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « occupation du sol environnant ». « . » indique une significativité de 10%.

	Coeff. estimé	erreur standard	Pr(> t)
brousse – village	-516,4	211,0	0,051 .
brousse – case	-267,2	219,0	0,45
case – village	-249,2	212,7	0,48

La classe d'enherbement

La modalité « élevé » de la classe d'enherbement a la plus grande réponse à la fertilisation microdose, tandis que la classe d'enherbement moyenne engendre une perte de rendement de 416 kg de grains secs/ha par rapport à la classe d'enherbement élevée. Il n'y a pas de différence significative entre une classe d'enherbement moyenne et faible (Tableau 6.13).

Tableau 6.15: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « occupation du sol environnant ». « . » indique une significativité de 10%.

	Coeff. estimé	erreur standard	Pr(> t)
élevé – moyen	-416,2	178,8	0,066 .
élevé – faible	-106,1	177,7	0,82
faible – moyen	-310,1	175,4	0,20

Les types de sols

La modalité « sol caillouteux et affleurement de cuirasse » à la plus importante perte de rendement avec la fertilisation microdose, comparé au témoin fertilisé. En moyenne, la perte est de -414 kg de grains secs/ha sur un sol caillouteux et affleurement de cuirasse par rapport à un sol argileux. Pour des sols sableux et gravillonnaires, la perte de rendement est de 395 et 350 kg/ha par rapport au sol argileux. Le sol argileux et de couleur noire semble le mieux adapté pour bénéficier des avantages de la fertilisation microdose par rapport aux trois autres types de sols. Il est cependant impossible de différencier les sols caillouteux et gravillonnaires, caillouteux et sableux ou sableux et gravillonnaires car leurs différences ne sont pas significatives (Tableau 6.16). Dans ce cas encore, la correction de Tukey ne renseigne plus de significativité comme annoncé dans le Tableau 6.16.

Tableau 6.16: Augmentation ou diminution de la réponse à la fertilisation microdose en fonction des modalités de la variable « Type de sol ».

	Coeff. estimé	erreur standard	Pr(> t)
argileux et de couleur noire – caillouteux et affleurement de cuirasse	-414,4	231,4	0,29
argileux et de couleur noire – gravillonnaire	-350,2	177,3	0,22
argileux et de couleur noire – sableux	-394,8	227,6	0,32
caillouteux et affleurement de cuirasse – gravillonnaire	64,2	227,4	0,99
caillouteux et affleurement de cuirasse – sableux	19,7	246,3	1,0
gravillonnaire – sableux	-44,53	220,3	1,0

L'élévation

L'élévation est la variable la moins significative. La pente renseignée par le modèle est de - 8.85. Le rendement dû à la fertilisation microdose diminue donc de 8,85 kg de grains secs/ha lorsque l'élévation augmente de 1 m.

7. RÉSULTATS DES ENQUÊTES

7.1 Statistiques descriptives

Nous débutons ici par une description des données recueillies dans les trois villages : Yallé, Yelbougna et Biniou. Le but n'est pas ici de comparer les techniques entre villages puisque le nombre de personnes interrogées est restreint et il est donc difficile de déterminer si la technique utilisée dépend de la personne considérée ou de la manière de faire dans le village. Les descriptions proposées ci-dessous représentent donc la situation près de Léo, généralisée au département de Bieha, afin de restituer le contexte agricole et de comprendre les stratégies d'application de la microdose.

L'échantillon analysé ci-dessous concerne 38 agriculteurs, connaisseurs et primo-pratiquants de la microdose. Ceux-ci possèdent au total 74 parcelles pour 385 ha.

7.1.1 Données socio-économiques

Niveau d'éducation

Les niveaux d'éducatons rencontrés dans les 3 villages varient de « aucune éducation » au « niveau supérieur ». Leur répartition est reprise dans la Figure 7.1.

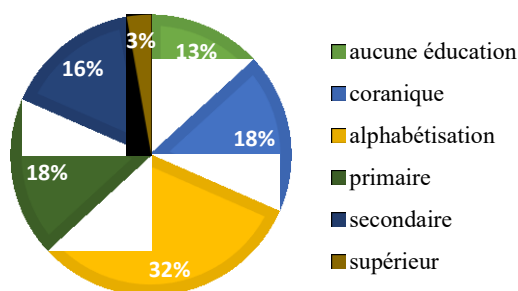


Figure 7.1: Proportion des différents niveaux d'éducation des producteurs dans les trois villages autour de Léo.

Le niveau d'éducation le plus élevé est le niveau supérieur, atteint par un producteur de Biniou, qui combine ses cultures avec son travail en tant que directeur d'école. Son cas est jugé exceptionnel. S'en suit l'école secondaire pour 16% des agriculteurs interrogés. La plupart des producteurs de la Sissili ont une éducation sommaire et seuls 37 % d'entre eux passent par l'école primaire. L'alphabétisation, 32%, et l'éducation coranique, 18%, restent les principaux niveaux d'apprentissage de la région. Une partie des producteurs, 13%, reste encore non instruite.

Accès au crédit

L'accès au crédit est octroyé à 63 % des producteurs de la Sissili.

Les producteurs interrogés appartiennent tous à la FNZ (Fédération Nian Zwe), à l'exception du directeur d'école. Cette association d'agriculteurs permet d'avoir un accès plus aisé aux

crédits, aux engrais et aux semences et de faciliter le transfert d'informations et de connaissances.

7.1.2 Système agricole

Les producteurs de la région possèdent en moyenne 1,68 parcelles à raison de 6,02 ha par parcelle. Parmi ces surfaces, certaines sont mises en jachère. Au total, sur les 385 ha de terres recensées dans les enquêtes, 35 ha sont en jachère, ce qui correspond à 9% des terres agricoles. Concernant les surfaces cultivées, elles sont principalement occupées par du maïs (représentant 31% de la surface cultivée), suivi par le sésame (20%) et le sorgho (16%) (Figure 7.2).

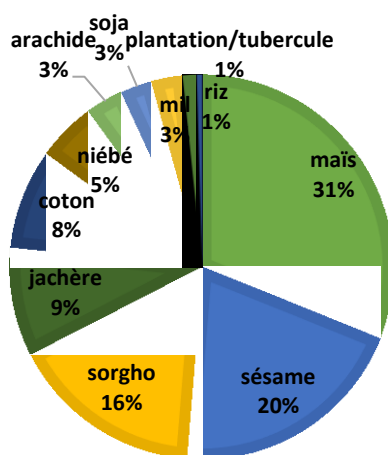


Figure 7.2: Répartition des surfaces cultivées entre les cultures pratiquées dans la commune de Léo pour les producteurs enquêtés.

La distance des parcelles par rapport à la concession est également évaluée. Le résultat est présenté dans la figure suivante (Figure 7.3). Le nombre de parcelles dans chaque classe de distance est renseigné par village. Pour les producteurs interrogés, les champs de brousse sont les plus courants avec 39% des parcelles considérées, suivis par les champs de village, 35% puis de case, 26%. C'est à Biniou que la proportion de champs de case est la plus élevée. Il y a aussi des champs de village mais très peu de champs de brousse. Pour ces derniers, la proportion la plus importante se retrouve à Yelboug. Yallé possède une quantité mieux répartie de champs de case, village et brousse. Selon le test χ^2 de conformité, les distributions entre champs de case, village et brousse sont significativement différentes d'une distribution uniforme (p valeur de 0,013).

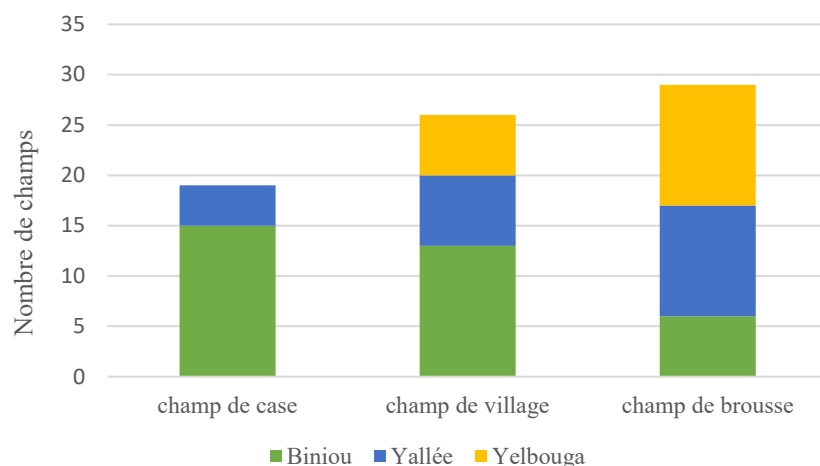


Figure 7.3: Nombre de champs de case, village et brousse dans les villages pour les parcelles des producteurs interrogés.

Aucun des producteurs interrogés ne pratique l'association de cultures. Seuls certains arbres sont laissés sur leurs parcelles car leur production peut générer des revenus (fruits, bois...) et leur emplacement être utile (ombrage).

Les adventices sont gérées par sarclage, souvent avant d'appliquer l'engrais. Les producteurs utilisent aussi des herbicides. A Yelbougá, cette pratique est fort utilisée si bien que le sarclage est parfois abandonné et remplacé par une dose importante de pesticides. Dans cette région, les producteurs sont souvent peu informés en ce qui concerne l'usage de ces pesticides, leurs effets néfastes pour la santé et l'environnement. Certains herbicides sont utilisés à mauvais escient et endommagent les cultures. Plusieurs parcelles visitées présentaient des signes de mauvaises gestions des herbicides et pesticides et la culture présente était détruite.

Les parcelles sont souvent gérées par le chef de famille mais de l'aide est toujours apportée par d'autres membres de la famille. Nous considérons ici que chaque enfant de plus de 8 ans et de moins de 15 ans travaille, durant une partie de son temps, à la ferme tout comme les femmes qui s'adonnent à certaines tâches au champ. Dans l'échantillon interrogé, un homme a, en moyenne, 1,48 femmes et 2,44 enfants entre 8 et 15 ans pour l'aider au champ. Les enfants de plus de 15 ans sont souvent considérés comme adultes mais peuvent également fournir de l'aide supplémentaire en cas de besoin. D'autres membres de la famille (mère, frère et sœur, neveux et nièce) viennent également en aide, surtout aux jeunes agriculteurs (<30 ans) ou à l'agriculteur plus vieux et chef de village n'ayant ni le temps ni la force d'effectuer tout le travail seul dans ses champs. L'aide moyenne au champ est donc de 4,32 effectifs, sans compter le propriétaire du champ.

7.1.3 Fertilisation

Fertilisation minérale

La fertilisation minérale est pratiquée par tous les agriculteurs questionnés, en quantité variable. Le maïs est la culture la plus fournie en engrais, avec 78% de l'engrais acheté utilisé pour cette culture. Un agriculteur mettra en moyenne 4,46 sacs d'engrais par hectare de maïs, correspondant à 223 kg/ha. Ceci est légèrement plus élevé que la dose recommandée pour le

maïs au Burkina Faso, de 200 kg de de NPK₁₄₋₂₃₋₁₄ par hectare (Taonda et al., 2015). D’ailleurs, aucun agriculteur ne cultive le maïs sans y apporter de l’engrais NPK.

S’en suit le coton, souvent vendu en culture de rente et pour lequel les agriculteurs apportent en moyenne 3,78 sacs d’engrais par hectare, approximativement 190 kg/ha. Un agriculteur sur 12 cultivant du coton n’apporte pas d’engrais sur cette culture. Pour le sorgho, seuls 4 agriculteurs sur 24 apportent de l’engrais sur leur culture avec en moyenne 2,25 sacs/ha, ce qui correspond également à la dose recommandée de 100kg de NPK par hectare (Taonda et al., 2015).

La figure suivante reprend la répartition de l’utilisation d’engrais entre les différentes cultures (Figure 7.4).

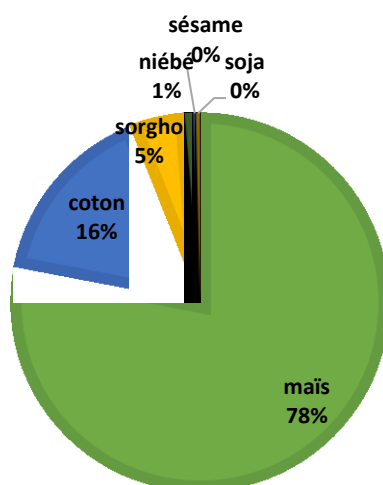


Figure 7.4: Répartition de l'utilisation d'engrais NPK entre les différentes cultures pour les producteurs dans la province de la Sissili. Le sésame et le niébé représentent une petite partie de la quantité d'engrais utilisée et leurs valeurs sont donc proches de 0% (~0,3%)

En plus de l’engrais NPK, les agriculteurs apportent de l’urée sur leur culture. Cette information n’a cependant pas été récoltée durant les enquêtes de terrain.

Différentes raisons poussent les agriculteurs à favoriser l’application d’engrais sur le maïs. La première raison évoquée par les agriculteurs est que le maïs est une culture qui pousse mal sans apport d’engrais et sans cet apport, le rendement serait presque nul. Ensuite, le maïs est une culture de rente, comme le coton, et il est lucratif sur le marché. Le maïs est également consommé par une grande partie de la population. Enfin, la Sissili est connue pour sa culture de maïs, il y a donc un savoir-faire qui s’est établi dans cette région. Le maïs dans cette région se cultive donc par habitude. Cependant, contrairement au coton, l’engrais pour le maïs n’est pas subsidié par l’Etat. Certains agriculteurs détournent cependant l’engrais du coton vers le maïs.

L’engrais s’applique souvent à la volée ou à la volée ciblée, il se retrouve donc sur toute la surface du champ dans le premier cas ou à côté du plant pour la volée ciblée, mais il n’est pas enfoui dans le sol. La raison du choix de l’une ou l’autre technique n’a pas pu être mise en avant

car la méthode d'application d'engrais dépend de la culture et de la quantité d'engrais. La question de l'application d'engrais, hors microdose, n'a pas été précisée pour chaque culture.

Fertilisation organique

La fertilisation organique se réalise de trois manières : via le fumier, provenant de la déjection animale apportée sur le champ et par parcage, le compostage des déchets organiques et les résidus de cultures sur les champs. Cette dernière méthode est la plus répandue et seul un agriculteur interrogé ne laisse pas les résidus de cultures sur son champ mais les brûle. Chez tous les autres agriculteurs, les résidus de cultures sont laissés sur la parcelle après la récolte et une petite quantité est parfois utilisée pour servir de nourriture aux animaux.

La fumure organique est également fort répandue et moins contraignante que le compostage qui nécessite des formations pour sa mise en œuvre, des fosses à compost et une bonne humidité. Le parcage n'est mentionné que par un agriculteur. Ceci peut s'expliquer par le fait que la question ne portait pas sur la façon d'appliquer les amendements organiques mais plutôt s'ils en appliquaient, sur quelle parcelle et pour quelle raison. Aussi, même si tous les agriculteurs de la région sont éleveurs, leur cheptel n'est pas toujours composé de bovins qui apportent de grandes quantités de déjections mais aussi de caprins et volailles qui déambulent souvent autour de la concession.

82% des agriculteurs de Sissili utilisent de la fumure organique et/ou du compost. Trois critères sont mis en avant lors du choix des parcelles pour l'application d'amendements organiques. Premièrement, les parcelles proches des concessions sont favorisées. La capacité à transporter cette matière organique étant limitée et les fosses fumières et à compost se trouvant assez proches des concessions, il est dès lors plus simple de ne pas apporter les amendements trop loin. Ensuite, une attention particulière est apportée au type de sol et les sols pauvres sont enrichis préférentiellement en matière organique. Enfin, la culture de maïs, déjà favorisée par l'apport d'engrais minéral, est souvent amendée en matière organique. La quantité appliquée est en moyenne de 25 charrettes⁵ par ha mais l'écart type, assez élevé, est de 12. L'apport de matière organique varie beaucoup d'une année à l'autre et certains agriculteurs ne la pratiquent pas chaque année.

La jachère est également utilisée mais seuls 26 % des agriculteurs la pratiquaient en 2018 avec une surface moyenne de 3,5 ha. La surface en jachère est souvent une portion d'une plus grande parcelle cultivée. Seulement 2 agriculteurs pratiquent cette jachère sur l'entièreté de la surface d'une parcelle.

7.1.4 Fertilisation microdose

La fertilisation microdose est ici vue comme l'enfouissement des engrais et amendements dans le sol. Elle concerne ici principalement les engrais NPK et l'urée. L'enfouissement de la matière organique, si elle est utilisée, ne doit pas obligatoirement se faire pour que la technique utilisée

⁵ Une charrette vaut environ 125 kg de matière organique

puisse être considérée comme de la microdose. La volée ciblée, qui n'implique pas l'enfouissement, n'est ici pas considérée comme la fertilisation microdose.

Sources de connaissance

La fertilisation microdose est pratiquée par 13 agriculteurs de l'échantillon : 6 agriculteurs à Yelbougna, 4 à Biniou et 3 à Yallé. Dans l'échantillon, 4 agriculteurs pratiquaient la microdose depuis moins de 4 ans mais tous avaient au moins vécu une saison culturale avec la microdose. Les autres étaient plus expérimentés et 2 producteurs pratiquaient la microdose depuis plus de 30 ans (Figure 7.5). Selon le test de Khi², les distributions ne sont pas significativement différentes d'une distribution uniforme (p-valeur de 0,7358).

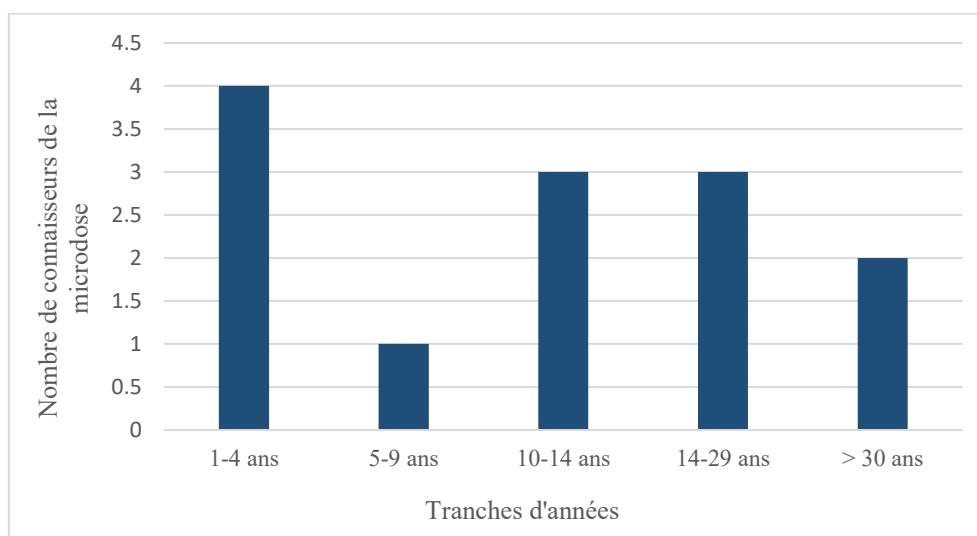


Figure 7.5: Représentation du nombre d'années depuis lesquelles un producteur applique la technique de la fertilisation microdose.

La source de connaissance principale concernant la microdose est la formation, donnée par un technicien, et suivie par 9 agriculteurs connaisseurs. La famille et les amis constituent la seconde source de connaissance, pour les 4 autres agriculteurs.

Pour les 9 agriculteurs formés, les formations sont variées. Deux des agriculteurs ont suivi la formation dans leur village d'origine. Le premier via un service fourni dans la province du Bam (au nord du Burkina Faso) et le second au centre de formation agricole de Goundi, au centre du pays. Ce même agriculteur a aussi été formé par le CFJA (Centre de formation des jeunes agriculteurs). Deux des agriculteurs ont été formés par des techniciens du réseau MARP (Méthodes Actives de Recherche et de Planification Participatives) et deux autres par des agents de la SOFITEX (Société Burkinabè des fibres textiles). Enfin, les 3 autres connaisseurs interrogés n'ont pas pu nous renseigner sur la société employant les encadreurs venus les former. Les formations durent de quelques jours (surtout pour les encadreurs de la SOFITEX) à plusieurs mois couvrants la saison culturale. Les formations mêlent souvent la théorie et la pratique en champ. La plupart des formations sont spécifiques à la microdose (semis, bénéfice économique, engrais utilisé) et le service fourni dans la province du Bam est plus général avec

aussi une étude du zaï, des demis-lunes, en plus de la microdose. Un des agriculteurs de Biniou a suivi une trentaine de petites formations au sujet de la microdose.

Application de la microdose

Neuf agriculteurs pratiquent la technique chaque année et 4 ne le font pas à chaque fois. Les raisons évoquées par 2 de ces agriculteurs sont qu'il faut suffisamment de pluie pour utiliser la microdose, sans cela, l'agriculteur ne pratique pas. Un autre n'applique la microdose que sur le coton. Les années où cette culture n'est pas cultivée, il n'utilise pas la microdose. Un agriculteur évoque également que, durant les années pendant lesquelles la main d'œuvre est limitante, il préfère ne pas appliquer la microdose.

Sur les 13 connaisseurs interrogés, 6 utilisent la microdose sur des champs de case, 6 autres sur des champs de brousse et un seul le pratique sur un champ de village. Cependant, ce n'est pas un critère de choix relevant pour l'application de la microdose (voir section 7.2.3).

Cent pourcent des connaisseurs appliquent la microdose après le premier sarclage, environ au 14^{ème} jour, à côté du poquet de semis. Cette période d'application ne varie presque pas : seuls 2 agriculteurs font varier la période d'application, le premier en la faisant coïncider avec le sarclage, qu'il ne fait pas toujours après le 14^{ème} jour et l'autre ajoute une nouvelle dose d'engrais pour des variétés de cultures à cycle long. L'application de l'engrais est uniforme sur la parcelle pour 77% des connaisseurs. Deux d'entre eux se concentrent sur une culture, en particulier le maïs, et un autre ajoute de la fumure organique préférentiellement sur le maïs.

Le dosage d'engrais se fait principalement grâce à la technique des trois doigts⁶, pour 10 connaisseurs. La capsule⁷ et la mesure des trois doigts sont utilisées par un seul agriculteur et ce dernier utilise ces deux méthodes sans avoir de préférence. La daba (une sorte de houe) est utilisée pour enfouir l'engrais dans 92% des cas. Un des connaisseurs utilise un bois taillé.

En fonction de la technique apprise, seul 1 connaisseur a modifié la technique en fonction de son besoin, en utilisant moins d'engrais que recommandé quand il lui en manquait. D'autres techniques ont cependant aussi été implémentées avec la microdose afin d'améliorer son efficacité. Là où la microdose est appliquée, 38% des connaisseurs vont privilégier le labour, 69% appliquent des amendements organiques et 23% y mettent des résidus d'engrais verts (feuilles de soja, d'arachide et autres cultures fixatrices d'azote).

Contraintes liées à la technique de la microdose

Les primo-pratiquants ont évoqués les raisons pour lesquelles ils n'appliquaient pas la microdose. Elles sont reprises sur la Figure 7.6.

⁶ Technique qui consiste à utiliser le pouce, l'index et le majeur afin de former une pincée pour mesurer de manière adéquate la quantité d'engrais à placer dans le poquet

⁷ Technique qui consiste à utiliser une capsule de soda pour mesurer la quantité d'engrais. La capsule peut être totalement remplie ou à moitié remplie en fonction de la dose voulue

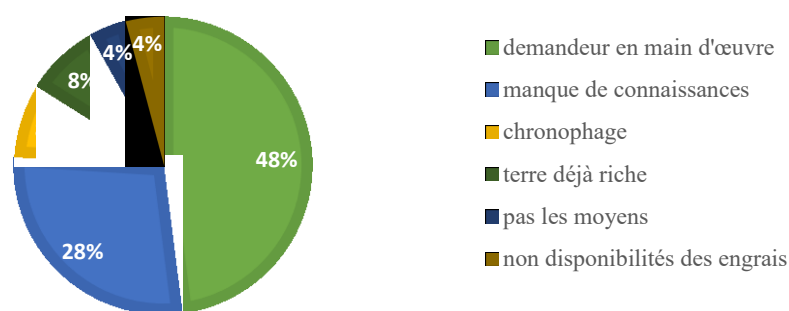


Figure 7.6: Représentation de l'importance des contraintes liées à la technique de la fertilisation microdose dans le département de Bieha.

Les primo-pratiquants affirment que, la plupart du temps, c'est la main d'œuvre limitante qui limite l'utilisation de la technique. Ensuite vient le manque de connaissance sur la technique de la fertilisation microdose. Seuls 28 % des primo-pratiquants ont suivi une formation à propos de la microdose. De plus, vu que la technique n'est pas fort répandue en Sissili, le bouche à oreille fonctionne peu. L'option d'une « terre déjà riche » a été choisie par 8 % des primo-pratiquants, c'est la seule caractéristique intrinsèque au sol qui est évoquée, les autres contraintes sont liées à des limitations sociales ou économiques.

7.2 Comparaison connaisseurs – primo-pratiquants

Cette section compare les dires des agriculteurs connaisseurs et primo-pratiquants de la microdose. Ces réponses pourront ensuite être comparées aux résultats de terrains pour voir si la technique est bien comprise, par les connaisseurs et les primo-pratiquants, et ainsi permettre une vulgarisation future.

7.2.1 Influence de la composition de l'exploitation sur le fait de pratiquer ou non la microdose

Tableau 7.1: Comparaison de la structure de l'exploitation entre connaisseurs et primo-pratiquants de la microdose considérant le nombre de parcelles moyens pour ces deux catégories, le nombre moyen d'hectares par producteur de chaque catégorie et le nombre moyen d'hectare par parcelle. La p-valeur est obtenue grâce au test de Shapiro-Wilk avec une p-valeur seuil de 0,05 et le test de Khi² pour le même p-valeur (utilisé pour le pourcentage de producteurs ayant de 1 à 4 parcelles)

		Connaisseurs	Primo-pratiquants	p-valeurs
Nombre moyen de parcelles [nombre de parcelles]		1,85 +/- 1,0	2,0 +/-0,7	0,36
Nombre moyen d'ha par producteur [ha/producteur]		11,0 +/- 3,9	9,7 +/-4,3	0,22
Nombre moyen d'ha par parcelle [ha/parcelle]		7,0 +/- 3,0	5,0 +/- 1,8	0,025
Pourcentage de producteurs ayant : [%]	1 parcelle	46	20	0,21
	2 parcelles	31	60	
	3 parcelles	15	20	
	4 parcelles	8	0	

Le test du Shapiro-Wilk montre que les primo-pratiquants semblent en moyenne posséder davantage de parcelles mais celles-ci sont plus petites. Le pourcentage de producteurs possédant une parcelle tend à être plus grand chez les connaisseurs que chez les primo-pratiquants. Ces derniers possèdent le plus souvent 2 parcelles. Mais ces résultats ne sont pas significativement différents entre les primo-pratiquants et les connaisseurs (Tableau 7.1).

7.2.2 Influence du niveau d'éducation sur la pratique de la microdose.

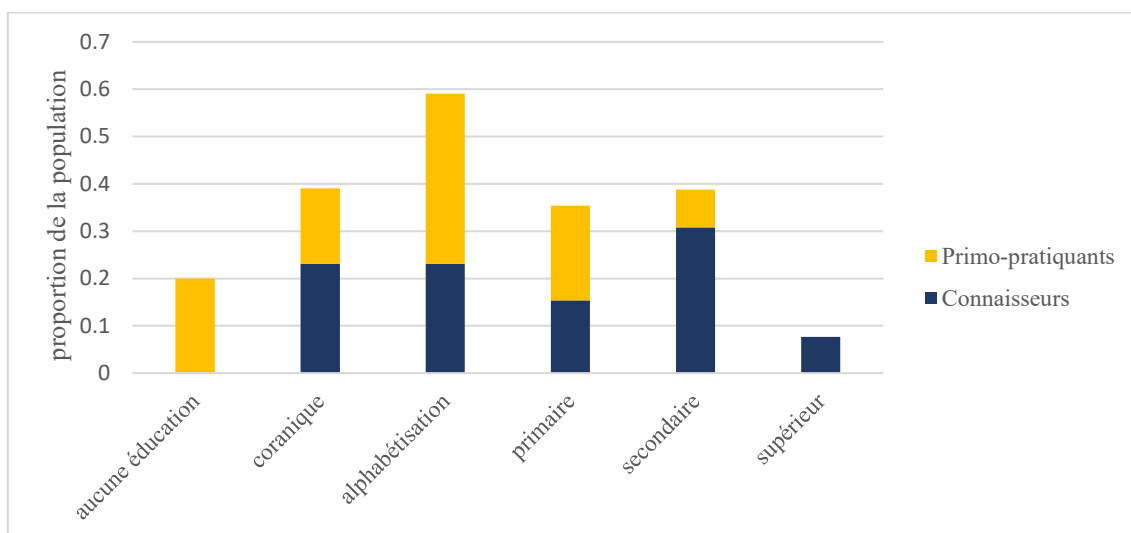


Figure 7.7: Comparaison des niveaux d'éducation des producteurs de la Sissili en fonction de leur niveau de connaissance concernant la microdose.

La Figure 7.7 permet de se rendre compte de la différence d'éducation entre connaisseurs et primo-pratiquants. En effet, les connaisseurs de la microdose tendent à avoir un niveau d'éducation plus élevé que les primo-pratiquants et 54% d'entre eux ont suivi l'école primaire contre seulement 28 % des primo-pratiquants. Cependant, le test exact de Fisher renseigne qu'il n'y a pas de différence significative, avec une p-valeur de 0,05, entre les niveaux d'éducation des connaisseurs et des primo-pratiquants. Et le test χ^2 de conformité montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre ces distributions et une distribution uniforme.

7.2.3 Quelles sont les critères qualifiants une parcelle sur laquelle la fertilisation microdose est efficace ?

Afin d'évaluer les facteurs environnementaux affectant la réponse à la fertilisation microdose, intéressons-nous aux parcelles accueillant la fertilisation et voyons l'avis des producteurs concernant les critères qualifiants les parcelles les plus réceptives à l'application de l'engrais par microdose. Ici encore, il faut différencier les connaisseurs des primo-pratiquants car leur point de vue sur l'efficacité de la technique est différent.

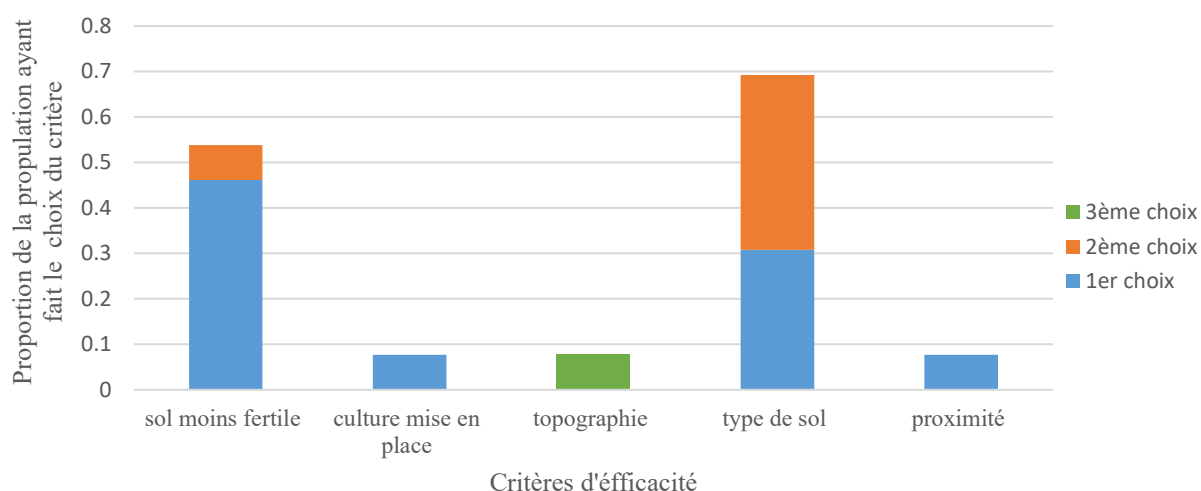


Figure 7.8: Représentation des critères d'efficacité pour le choix d'une parcelle par les agriculteurs connaisseurs, lors de l'application de la microdose. Chaque producteur a opté pour un ou plusieurs critères.

Chez les connaisseurs (Figure 7.8), le premier critère de choix est la faible fertilité du sol. Quarante-six pourcent d'entre eux auront donc tendance à appliquer la microdose sur des parcelles où le sol est moins fertile. Le second critère choisi est le type de sol. Ces deux premiers critères sont bien sûr liés mais la fertilité du sol ne dépend pas que du type de sol mais aussi d'autres facteurs (depuis combien d'années la parcelle a été cultivée, a-t-elle été mise en jachère récemment, y a-t-il application de matière organique ?...). Le critère type de sol a été choisi par 4 agriculteurs (31%) comme premier choix. C'est également le second critère le plus choisi par les producteurs connaisseurs de la microdose. Les types de sols choisis préférentiellement seront discutés dans la section suivante. La topographie semble avoir moins d'impact sur le choix des parcelles, ce critère n'est effectivement choisi que par un agriculteur en 3^{ème} choix. Ceci est expliqué par le fait que les connaisseurs de la microdose remarquent que, en enfouissant l'engrais dans le sol, le risque de perte d'engrais par ruissellement est diminué. La technique de

la microdose permet donc de réduire l'effet négatif de la pente car l'engrais est moins mobile lorsqu'il est enfoui dans le sol. Le critère de proximité n'a été choisi que par un agriculteur dont les parcelles se trouvent relativement loin de la concession (1, 4 et 6 km). Il applique la microdose sur la parcelle à 4 km de sa concession.

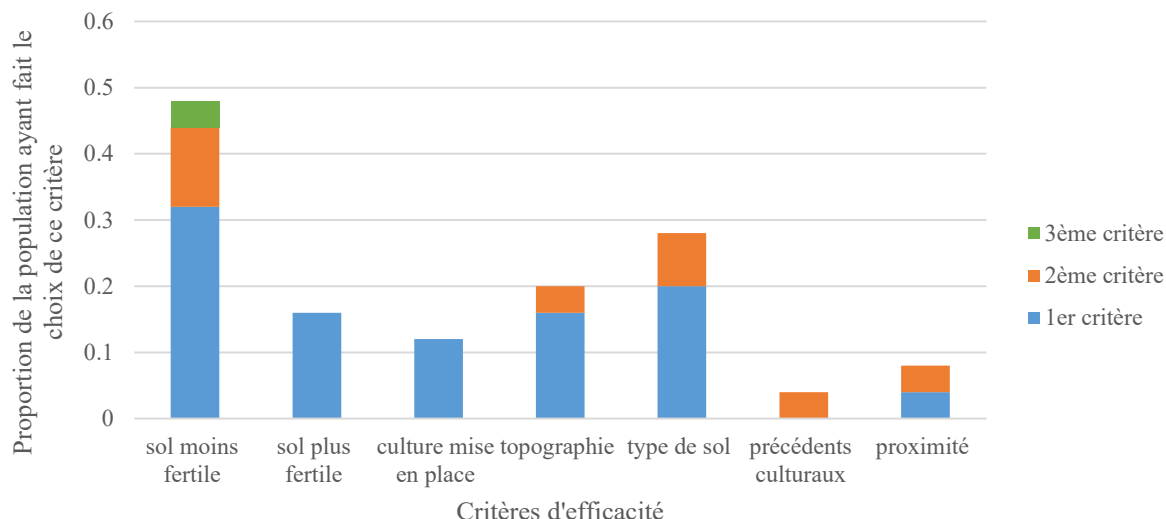


Figure 7.9: Représentation des critères d'efficacité pour le choix d'une parcelle par les agriculteurs primo-pratiquants, lors de l'application de la microdose. Chaque producteur a opté pour un ou plusieurs critères.

Pour les primo-pratiquants, la tendance pour des critères préférentiels est moins claire. Comme les connaisseurs, ils préféreraient appliquer la microdose sur les sols moins fertiles et le critère du type de sol est aussi mis en avant. Cependant, d'autres critères rentrent également en compte dans le choix de leur parcelle (Figure 7.9).

La topographie est un critère plus important pour les connaisseurs puisque 4 producteurs (16%) l'ont choisie comme premier choix. La fertilité du sol plus élevée est également choisie par 4 primo-pratiquants mais ne l'était pas par les connaisseurs. Les précédents cultureaux constituent aussi un nouveau critère mentionné par les primo-pratiquants. Il faut aussi prendre en compte le fait que la question était ouverte (« Pourquoi pensez-vous que la technique serait plus efficace sur ces parcelles ? »), aucun choix a priori n'était présenté. Les connaisseurs interrogés étaient moins nombreux et aucun d'entre eux n'a pensé à citer ces critères, ce qui ne signifie pas qu'ils ne les auraient pas acceptés si des propositions de réponses avaient été énoncées.

Le test exact de Fisher réalisé pour les premiers choix des connaisseurs et primo-pratiquants renvoie une p-valeur de 0,42. Donc, malgré une tendance vue graphiquement, les critères d'efficacité de la microdose ne diffèrent pas significativement entre les primo-pratiquants et les connaisseurs. Le test du Khi² de conformité renseigne qu'il n'y a pas non plus de différence entre les distributions des critères d'efficacité et une loi uniforme. Il ne semble donc pas avoir de préférence pour l'un ou l'autre critère (p-valeur de 0,11 pour les connaisseurs et 0,27 pour les primo-pratiquants).

7.2.4 Y'a-t-il des types de sols qui semblent préférables pour l'application de la microdose ?

Un des facteurs environnementaux souvent relevé qui pourrait influencer la réponse à la fertilisation microdose est le type de sol. Il est donc utile de se demander si les agriculteurs voient une différence d'efficacité entre les sols lors de l'application de la microdose et quels sols ils jugent/jugeraient les plus favorables pour l'implantation de cette technique ? Cette question reste ouverte et 5 types de sols sont relevés : les sols sableux, gravillonnaires, argileux, sablo-argileux et sablo-gravillonnaires. Les connaisseurs préfèrent appliquer la microdose sur les sols sableux, pour 54% d'entre eux, puis sur les sols gravillonnaires pour 31% de l'échantillon de connaisseurs. Les primo-pratiquants préfèrent quant à eux les sols argileux et sableux pour, respectivement, 36 et 28% de l'échantillon primo-pratiquants. Les autres résultats sont repris dans la figure ci-dessous (Figure 7.10). Les raisons qui guident les connaisseurs et les primo-pratiquants dans le choix de ces sols sont explicitées à la section 1.2.7.

La p-valeur de 0,044 déterminée grâce au test de Fisher montre une différence significative entre les sols choisis par les connaisseurs et les primo-pratiquants. Cependant, selon le test du Khi², il ne semble pas y avoir de préférence pour l'un ou l'autre type de sol (p-valeur de 0,23 pour les connaisseurs et 0,09 pour les primo-pratiquants).

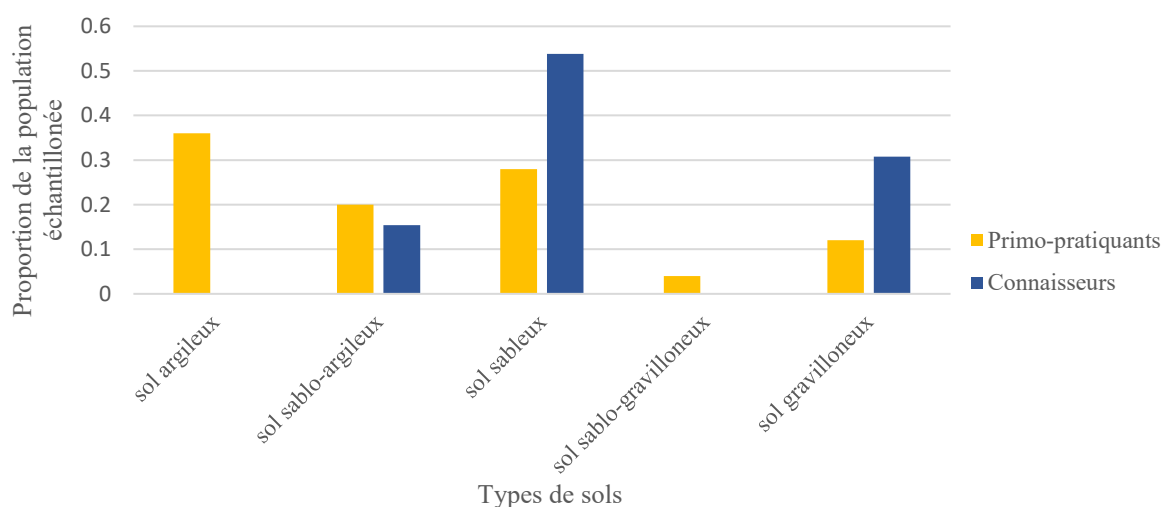


Figure 7.10: Comparaison des préférences des producteurs de la Sissili concernant les types de sols adaptés pour la microdose en fonction de leur niveau de connaissance concernant la microdose (connaisseurs et primo-pratiquants).

7.2.5 Cultures choisies pour l'application de la microdose

Ces cultures ont été choisies pour plusieurs raisons mais aucune de ces raisons n'indique que la microdose est plus efficace pour l'une ou l'autre culture. Cela reflète davantage le choix de privilégier telle ou telle culture en y ajoutant de l'engrais plutôt que le fait que certaines de ces cultures soient plus réceptives à l'application de la microdose. La hiérarchisation des cultures est représentée à la Figure 7.11 pour les connaisseurs et la Figure 7.12 pour les primo-pratiquants.

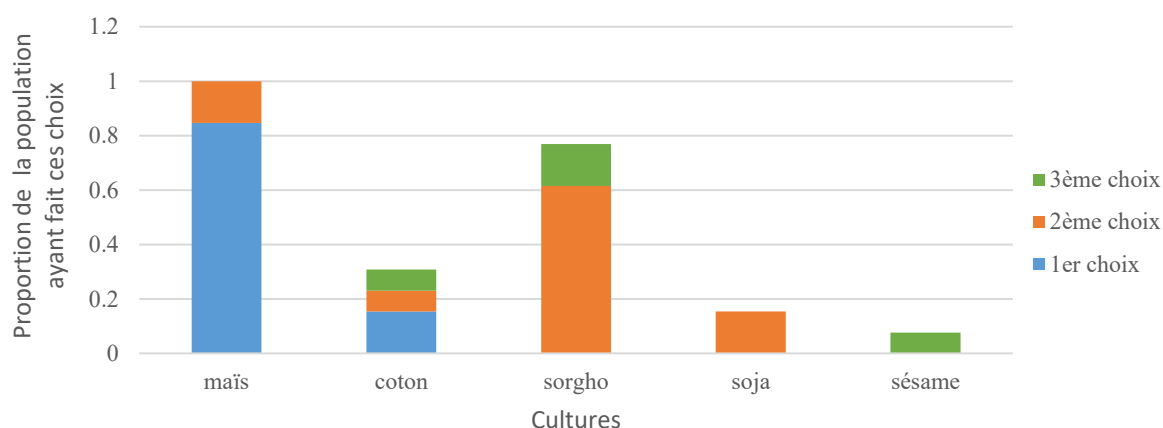


Figure 7.11: Cultures préférentielles pour l'application de la microdose. Chaque bâtonnet représente la proportion d'agriculteurs connaisseurs qui ont choisi de cultiver cette culture. Les agriculteurs ont au minimum proposé 1 choix et au maximum 3 choix de cultures.

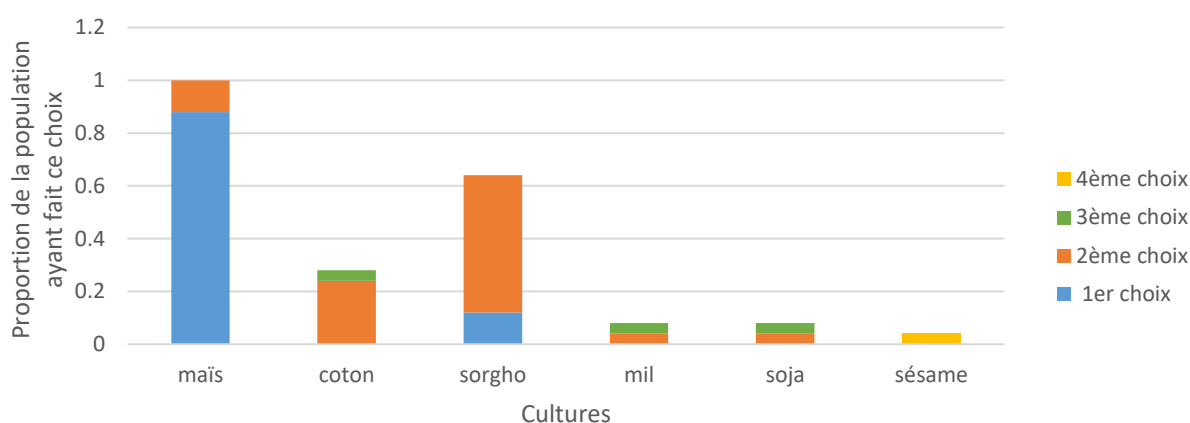


Figure 7.12: Cultures préférentielles pour l'application de la microdose. Chaque bâtonnet représente la proportion d'agriculteurs primo-pratiquants qui ont choisi de cultiver cette culture. Les agriculteurs ont au minimum proposé 1 choix et au maximum 4 choix de cultures.

La culture préférentiellement choisie est le maïs (85% des connaisseurs et 88% des primo-pratiquants), suivi du sorgho. Celui-ci compte le plus de second choix, 61% des agriculteurs connaisseurs et 52% des primo-pratiquants choisissent le maïs puis le sorgho en second choix. Pour les connaisseurs et primo-pratiquants, le coton est la troisième culture pour laquelle les agriculteurs sont disposés à appliquer la microdose. Pour 24% des primo-pratiquants, le coton est également vu comme un second choix après le maïs alors que ce n'est le cas que pour un seul connaisseur. Le soja et le sésame sont également mentionnés par les deux groupes mais ce ne sont jamais les cultures prioritaires. Enfin, le mil est un choix fait par deux des primo-pratiquants en 2^{ème} et 3^{ème} choix.

Cinq raisons principales poussent les agriculteurs à privilégier ces cultures pour l'application de la microdose. La première, surtout avancée par les connaisseurs et les primo-pratiquants, est que ces cultures sont plus lucratives sur le marché et utilisées pour la commercialisation. La seconde raison la plus invoquée est que ces cultures sont plus productives et donc que le rendement est meilleur. Cette raison est la moins maintenue par les primo-pratiquants mais c'est la raison principale poussant les connaisseurs à appliquer la microdose sur les cultures. Ensuite,

les cultures utilisées pour la consommation (principalement le maïs et le sorgho) sont propices à l'utilisation de la microdose. Cette troisième raison est retenue par les connaisseurs et les primo-pratiquants. La quatrième raison, donnée principalement par les primo-pratiquants, est que les agriculteurs ont pris l'habitude de cultiver ces cultures dans la région. Enfin, le fait que certaines cultures, ici le maïs et le sorgho, ont des rendements très faibles sans engrais pousserait les primo-pratiquants à y appliquer de la microdose. Cette dernière raison n'est pas retenue par les connaisseurs. Cependant, cette évocation ne répond pas vraiment à la question posée (« Pourquoi cette hiérarchisation ? », en parlant des cultures préférentielles) mais plutôt à une question plus générale : « Pourquoi de l'engrais est-il appliqué sur ces cultures ? », et n'insiste donc pas sur le fait que cet engrais soit utilisé sous microdose.

Les cultures choisies, en considérant le 1^{er} critère, ne diffèrent pas significativement entre les primo-pratiquants et les connaisseurs (p-valeur de 0,09). Le 1^{er} critère a ici été choisi pour l'analyse statistique car tous les producteurs n'ont pas annoncé leur 2^{ème} choix, une comparaison est alors compliquée puisqu'elle ne va pas seulement dépendre de la réponse mais aussi du nombre de personnes qui ont répondu. Grâce au test du Khi² de conformité, on peut affirmer que les différences entre les deux cultures sont ici significatives

7.2.6 Techniques agronomiques

Nous avons demandé aux connaisseurs et aux primo-pratiquants quelles sont les techniques qui, selon eux, pouvaient augmenter l'efficacité de la fertilisation microdose. Les données recueillies pour les connaisseurs et les primo-pratiquants sont reprises dans la figure ci-dessous (Figure 7.13).

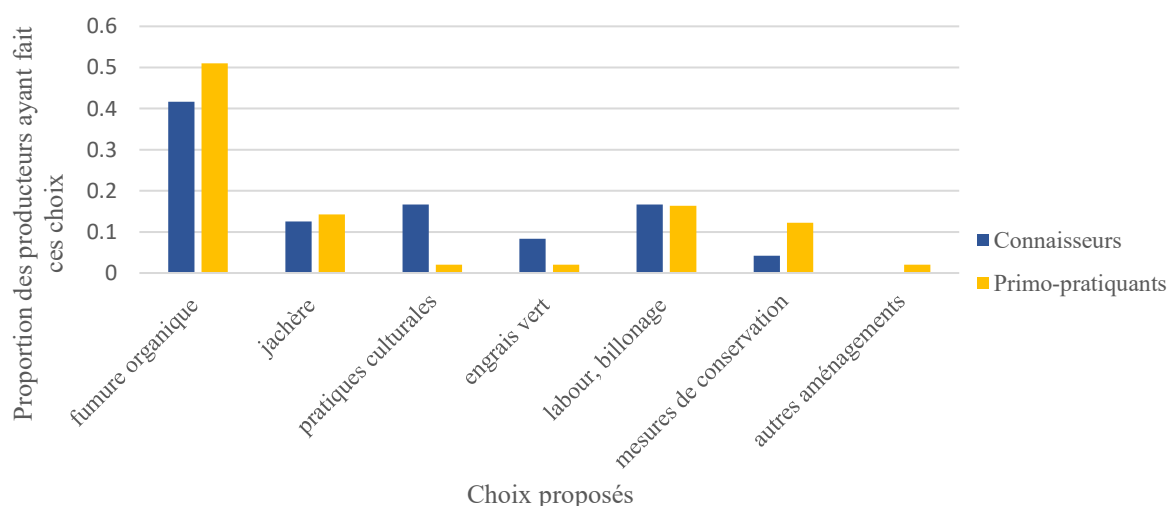


Figure 7.13: Proportion des choix fait par les agriculteurs sur les techniques agronomiques et aménagements en champ permettant d'améliorer l'efficacité de la fertilisation microdose. Les connaisseurs et les primo-pratiquants pouvaient proposer plusieurs choix.

La technique la plus largement abordée est la fumure organique, l'apport de fumier étant préféré au compost. Rappelons que 82% des agriculteurs apportent déjà de la fumure organique, sous forme de compost ou fumier, sur leur champ. Celle-ci est donc disponible et possiblement transposable aux parcelles où la microdose est appliquée. La question a été posée aux

connaisseurs pour savoir s'ils avaient changé leur technique de fertilisation organique lorsque la parcelle était cultivée sous microdose. Neuf d'entre eux (64%) ajoutent de la fumure organique (7 producteurs ajoutent du fumier et 2 du compost). La matière organique semble donc être préférablement appliquée conjointement à la microdose. Les contraintes majeures soulignées par les producteurs sont le manque d'équipement pour le transport et pour la mise en place d'une fosse compostière, le manque d'animaux pour le fumier, le manque d'eau pour le compost et le manque de connaissance sur les techniques.

La deuxième technique relevée autant par les connaissances que les primo-pratiquants est le travail du sol, par labour et billonnage. Huit connaissances interrogées affirment ne pas appliquer préférentiellement le labour sur une parcelle en microdose et ne pas changer la technique de travail du sol. Ceci ne veut cependant pas dire que la technique est inefficace. Au contraire, elle est même prônée comme technique pouvant améliorer l'efficacité de la fertilisation microdose, mais d'autres facteurs empêchent peut-être les connaissances d'appliquer le labour sur certaines parcelles. Les contraintes les plus souvent émises sont : le manque d'équipements et d'animaux de traits, la rareté des pluies et la difficulté du travail.

La jachère est aussi mentionnée comme pouvant améliorer la technique de la microdose et est contrainte par le manque de superficie. Les changements des pratiques culturales et les engrais verts sont préconisés par les connaissances mais pas par les primo-pratiquants. Par pratiques culturales, les connaissances entendent le semis en ligne, les rotations et pour les engrais verts, les feuilles de soja et les feuilles d'arachides sont utilisées par deux producteurs. Un des connaissances affirme aussi utiliser des cultures fixatrices d'azote en association avec ses propres cultures.

Les mesures de conservation des sols, comme les diguettes, le zaï et les demi-lunes, sont aussi abordées avec 12% des primo-pratiquants mais les deux dernières ne sont pas pratiquées.

Ici encore, la différence entre primo-pratiquants et connaissances n'est pas significative (p-valeur de 0,21). Les distributions pour les deux échantillons s'éloignent significativement d'une loi uniforme (p-valeur de 0,028 pour les connaissances et $1,76 \cdot 10^{-11}$ pour les primo-pratiquants).

7.2.7 Causes de la variabilité dans la réponse à la fertilisation microdose

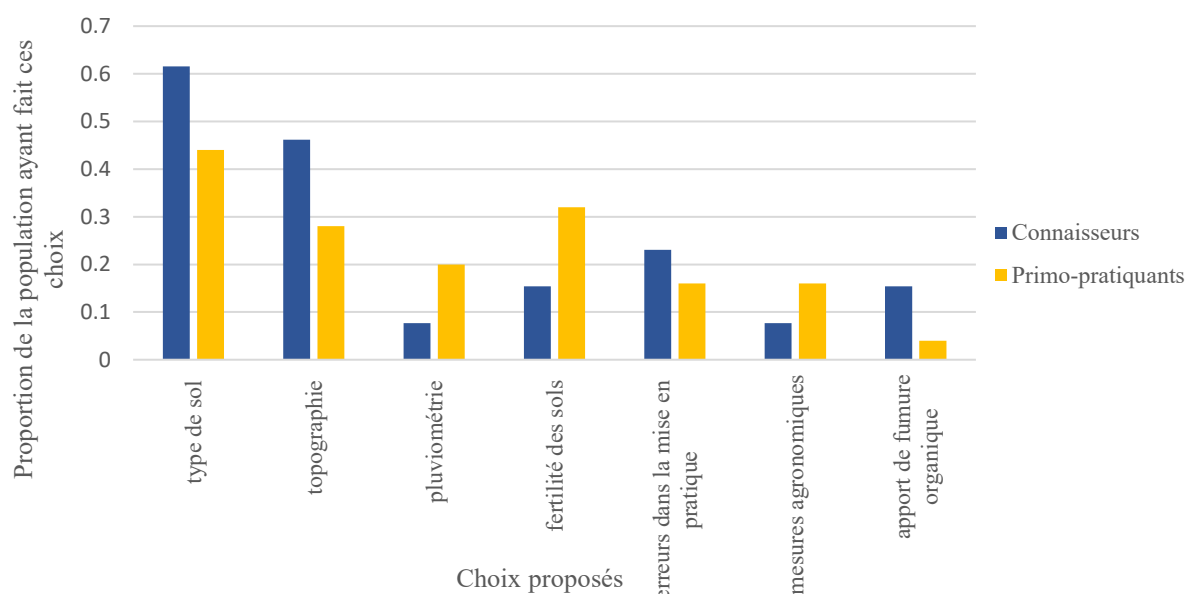


Figure 7.14: Proportion des choix faits par les agriculteurs concernant les causes de la variabilité dans la réponse à la fertilisation microdose. Les connaisseurs et les primo-pratiquants pouvaient proposer plusieurs choix.

Tous les choix proposés par les agriculteurs sont repris dans la figure ci-dessus (Figure 7.14). Certains choix ne sont ici pas présentés car ils ne répondaient pas à la question posée mais davantage à une question qui serait : « Pourquoi des augmentations ou baisses de rendements sont-elles observées dans certaines parcelles ? ». Par exemple, « la maladie et les attaques (chenilles, striga, rongeurs...) » engendrent des baisses de rendement mais n'influencent pas la réponse à la fertilisation microdose. La réponse à la fertilisation microdose ne dépend pas non plus directement de la « qualité de la semence ». Cette semence affecte la fertilisation en générale. Les effets retardés sont explicités par 2 primo-pratiquants. Pour eux, lorsque l'engrais est apporté sous forme de microdose, « l'effet de l'engrais se remarque moins vite mais au final, il perdure et permet à la plante de grandir plus ». Ceci n'est donc pas vraiment lié à la réponse à la fertilisation microdose mais davantage à une différence entre la fertilisation et la microdose.

Les choix les plus largement proposés sont cependant pertinents et répondent à la question posée. Pour 8 connaisseurs et 11 primo-pratiquants, le *type de sol* va influencer la réponse à la fertilisation microdose. Comme vu dans la section 1.2.4, les sols sableux, gravillonnaires pour les connaisseurs et argileux pour les primo-pratiquants, sont les plus propices à la fertilisation microdose. Un agriculteur précise que pour lui, « le sol gravillonnaire est plus variable que le sable ou l'argile lors de la pluie ». Le critère suivant, choisi comme une cause à la réponse à la microdose est la *topographie*. Les producteurs expliquent que, quand les pentes sont plus fortes, l'engrais, même enterré, subit un plus grand risque de ruissellement. Cependant, d'autres producteurs ont une explication avec un sens différent. Selon eux, la microdose permet aux engrais de mieux résister au ruissellement que lors de l'application classique. Cette justification n'est pas satisfaisante pour comprendre la variabilité dans la réponse à la fertilisation microdose.

La *pluviométrie*, surtout avancée par les primo-pratiquants, rentre aussi en compte en tant que facteur de variabilité. Peu d'informations sur les composantes des pluies (moments dans la saison, quantité et intensité) sont précisées. Seul un agriculteur nous informe que ce sont les pluies mal réparties qui influencent la réponse à la fertilisation microdose.

Le critère suivant, reconnu par 16% des primo-pratiquants, est la *fertilité du sol*. Dans la section 1.2.3, ceux-ci manifestaient leur envie d'appliquer la microdose sur un sol moins fertile, même si 4 d'entre eux appliqueraient l'engrais sur un sol déjà plus fertile. Un autre critère, cité lui par les connaisseurs, est l'apport de *fumure organique*, qui influe sur la fertilité du sol. Ces deux critères ont été séparés puisque la fertilité n'est pas uniquement due à la matière organique.

D'autres critères, d'importance moindre sont repris dans la Figure 7.14: les *mesures agronomiques* englobent ici le labour, le désherbage et la densité de semis. Elles ont été mises en avant par 1 connaisseur et 4 primo-pratiquants. Les erreurs dans la mise en pratique de la microdose sont aussi abordées, par 3 connaisseurs et 4 primo-pratiquants. Elles concernent des profondeurs d'enfouissement diverses, des écartements plant-poquet non optimaux ou une dose non respectée. Ces erreurs lors de l'application de la microdose constituent certes une source de variabilité de celle-ci mais elles sont difficilement quantifiables. Il faut aussi prendre en compte que 3 agriculteurs primo-pratiquants n'avaient aucune réponse à cette question.

Les avis concernant la variabilité dans la réponse à la fertilisation microdose varient d'un sous échantillon à l'autre (pratiquants et connaisseurs) mais le test exact de Fisher montre que cette différence n'est pas significative (p-valeur de 0,75). Selon le test de Khi², la distribution des causes de variabilité est significativement différente d'une loi uniforme pour les connaisseurs (p-valeur de 0,040). Par contre, les primo-pratiquants semblent avoir des avis plus divergents et la distribution des causes ressemble à une loi uniforme (p-valeur de 0,085).

8. DISCUSSION

8.1 Discussion des essais microdose

Les interprétations de la réponse à la microdose sur le sorgho et le maïs sont différentes. Dans le 1^{er} cas, la réponse concerne la fertilisation ainsi que la technique de fertilisation microdose, consistant à enfouir l'engrais dans le sol. Pour le maïs, seule la technique de la fertilisation microdose est prise en compte car le témoin utilisé est fertilisé. La dose utilisée pour le témoin fertilisé est de 150kg de NPK/ha, légèrement plus élevée que la dose utilisée pour la fertilisation microdose, de 4g de NPK par poquet, ce qui correspond à 125 kg de NPK/ha en considérant la densité de semis. Dans les deux cas, de l'urée est également appliquée.

8.1.1 Discussion des essais sur le sorgho

Discussion des rendements microdose-témoin

L'augmentation moyenne des rendements du sorgho avec la microdose est de 42% (419 kg de gain/ha en moyenne) par rapport au témoin. Cette valeur est relativement faible par rapport à d'autres études réalisées au Burkina Faso qui indiquent des augmentations de rendement pour le sorgho de 47%⁸ pour la méta-analyse de Tonitto (2015), 48 et 82%⁹ (Tabo, 2007), 110%¹⁰ (Taonda, 2015) et 120%¹¹ (Saba, 2017). Cette faible augmentation peut être due aux différentes attaques qu'ont subies les parcelles (termites, chenille légionnaire, striga) empêchant la microdose de prouver son potentiel. Ceci est déjà remarqué sur les rendements témoin pour lesquels la moyenne, de 1004 kg/ha est plus faible que la moyenne obtenue en milieu paysan, de 1200kg/ha (CIRAD, 2001).

Ensuite, le rendement du sorgho sous microdose est plus variable que celui du témoin. Cette observation est aussi relevée dans l'étude de Kafesu et al. (2018) qui rapporte que les stratégies d'intensification, notamment l'apport d'engrais minéraux mènent à de plus grandes valeurs d'écart type.

Discussion des facteurs de variabilité

Nous discutons ici du second modèle linéaire créé en supprimant la variable « application de NPK en 2017 ».

L'*incidence du striga* est mentionnée comme 1^{er} facteur significatif affectant la réponse à la fertilisation microdose par rapport au témoin. Dans notre cas, la fertilisation microdose permet d'avoir un meilleur rendement sur le sorgho que l'absence de fertilisation. Cela s'explique par le fait que le striga se développe plus facilement sur des sols peu fertiles (Tonitto, 2016) mais aussi que les engrais minéraux permettent une meilleure croissance des plantes, les rendant plus résistantes aux attaques. Selon Tabo et al., (2007) et Saba (2017), la performance de la

⁸ Microdose avec N + P

⁹ 4 à 6 g de NPK₁₅₋₁₅₋₁₅ /poquet

¹⁰ 2 g NPK₁₄₋₂₃₋₁₄/poquet

¹¹ 2 g NPK₁₄₋₂₃₋₁₄/poquet

microdose serait en grande partie due au développement précoce des plants ce qui permet aux plantes de maintenir une bonne vigueur dès le départ pour lutter contre les différents stress.

Ensuite, la réponse du sorgho tend à augmenter significativement avec *l'année de mise en culture*. Des parcelles plus âgées sont donc plus répondeuses à l'utilisation de la microdose. Cependant, cette variable en cache d'autres. Pour rappel, la régression réalisée trouve le meilleur modèle qui limite la colinéarité entre les variables et supprime donc celles expliquant les mêmes informations. L'année de mise en culture est donc gardée par la régression mais d'autres facteurs, plus parlant, peuvent expliquer la même réponse. Les variables explicatives pour le nombre d'années depuis la mise en culture sont reprises ci-dessous (Tableau 8.1).

Tableau 8.1: Résultats de la régression linéaire stepwise pour le nombre d'années depuis la mise en culture.. Les astérisques indiquent la significativité des variables. « ** » indique une significativité à 1% et « *** » une significativité à 0,1%.

	Coefficients estimés	erreur standard	Pr(> t)
Intercepte	-25,49	9,53	0,011*
Distance depuis la concession_case	10,91	4,54	0,021*
Distance depuis la concession_village	4,38	3,81	0,257
Occupation du sol environnant_brousse	-4,27	3,55	0,237
Occupation du sol environnant_concession	10,58	5,00	0,041*
Affleurement de roche_présence	11,41	5,00	0,028*
Pluviométrie_p2p3	0,06	0,02	< 0,001***
Pluviométrie_p1	0,06	0,02	0,010*

La pluviométrie sur le 2^{ème} et 3^{ème} tiers de la saison culturale est significativement corrélée avec le nombre d'années depuis la mise en culture. Cette relation n'est pas conceptuellement visualisable mais les parcelles d'essais étudiées qui sont mises en culture depuis plus longtemps ont reçu davantage de pluie en 2018. La pluviométrie totale sur le 2^{ème} et 3^{ème} tiers de la saison culturale influence donc positivement la réponse à la fertilisation microdose sur le sorgho. Silieshi et al., (2010) montrait déjà que les précipitations annuelles moyennes étaient corrélées à l'augmentation des rendements grâce aux engrais.

La réponse au sorgho est également influencée par la *topographie de la parcelle*. Une parcelle en pente répondra mieux à la fertilisation microdose qu'une parcelle en bas-fond. Ceci peut être expliqué par deux facteurs. Premièrement, le fait d'enfouir l'engrais dans le sol le rend moins sensible aux pertes suite à l'érosion et au ruissellement, plus importants en pente. L'engrais reste donc plus disponible pour la plante. Ensuite, la teneur en eau dans les sols en pente est plus faible car l'eau a moins le temps de s'infiltrer. La plante semble moins sensible à ce manque d'eau lorsque la technique de la fertilisation microdose est appliquée. Ceci peut être dû au fait que la microdose permet une meilleure prolifération et croissance des racines qui deviennent alors plus aptes à capter l'eau (Brück, 2003).

8.1.2 Discussion des essais sur le maïs

Discussion des rendements microdose-témoin fertilisé

La différence entre le rendement du maïs sous microdose et le rendement du témoin n'est pas significative, au contraire du sorgho. Ceci a déjà été observé chez plusieurs auteurs pour lesquels le rendement sous microdose n'était pas statistiquement différent par rapport au rendement sous dose vulgarisée (Taonda et al, 2008, Saba, 2017 ; Tovihoudji, 2018).

La variabilité observée est plus importante pour les parcelles avec le maïs sous microdose que sur les parcelles témoins fertilisées. L'inverse est observé dans l'étude de Tovihoudji là où la variation est plus importante pour la dose recommandée. Cette variabilité plus importante pour la microdose par rapport à la dose recommandée n'est pas attendue. Comme mentionné pour le sorgho, une augmentation de la quantité d'engrais apportée mène le plus souvent à une plus grande variabilité (Kafesu et al., 2018). Cette observation peut quand même être nuancée dans notre étude puisque, premièrement, les doses de NPK apportées par microdose ne sont que légèrement plus faibles que les doses apportées sur le témoin (différence de 25kg de NPK/ha) et ensuite, la microdose étant moins connue dans la région, la mise en oeuvre de la technique entraîne plus de variabilité, pour mesurer la dose ou enfouir l'engrais, que la fertilisation à la volée, traditionnellement utilisée pour le maïs.

La variabilité plus importante observée sur les rendements sous microdose, du maïs et sorgho, entraîne une réticence de l'agriculteur à investir dans une technique considérée comme peu fiable. En effet, l'augmentation de rendement devient alors un indicateur moins fiable pour les agriculteurs (Tovihoudji, 2018).

Discussion des facteurs de variabilité

Le facteur le plus explicatif déterminé grâce à la régression est la *pluviométrie sur la période critique*, c'est-à-dire de 46 à 96 jours après semis. Traore et al., (2013) a observé que la pluviométrie est positivement corrélée avec les rendements en maïs dans les régions relativement sèches et Chivenge (2010) montre que les augmentations de rendements sont plus faibles dans les régions où la pluviométrie moyenne annuelle est plus faible que 600 mm. La microdose semble ici contrer les effets négatifs d'un manque de pluie sur le maïs. En effet, lorsque la pluviométrie diminue, les rendements sous microdose sont meilleurs que ceux des parcelles témoin.

La *classe d'enherbement* influence positivement la réponse, lorsque le pourcentage d'enherbement est plus élevé, la réponse à la fertilisation est plus importante. Ceci peut s'expliquer par le fait que la microdose limite l'enherbement par rapport à la technique traditionnelle de fertilisation. En effet, l'engrais étant plus localisé, il ne profite qu'au plant et pas aux adventices aux alentours, comme c'est le cas lors de la fertilisation à la volée. Une autre hypothèse est proposée par Blashaw (2004). Dans son étude, il annonce que l'application localisée d'engrais joue un rôle dans le contrôle des adventices car il favorise l'acquisition des nutriments par les cultures et leur permet donc d'être plus compétitives par rapport aux adventices.

La *distance de la parcelle* par rapport à la concession a aussi un impact sur les variations de rendements avec la fertilisation microdose. Avec une diminution de rendement significative (de 516 kg/ha) entre la réponse à la microdose sur une parcelle de village par rapport à une parcelle de brousse. Les classes de distance cachent en réalité d'autres informations plus pertinentes. La Figure 8.1 montre ici que les rendements du témoin fertilisé semblent plus importants dans les villages (même si les intervalles de confiance à 95% - représentés par les moustaches de la boîte - se superposent). Ces sols seraient moins fertiles que ceux de cases, car ils ne reçoivent pas autant de matière organique, mais également que ceux de brousse, plus récemment mis en culture (Annexe I) et donc encore peu appauvris. Les parcelles de brousses étudiées sont aussi celles qui ont la plus grande proportion de sols argileux et de couleur noir (Tableau 6.4), réputés comme plus fertiles. Il est cependant difficile d'affirmer, avec les résultats du maïs, que les parcelles sont moins fertiles en village puisque les informations dont nous disposons pour l'observation de la fertilité ne concernent qu'un témoin fertilisé. Si nous regardons les résultats du sorgho, pour lequel un rendement non fertilisé est testé, les sols de villages semblent en effet moins fertiles (Figure 8.1).

Les sols des villages, qui ont un rendement fertilisé plus important, sont plus répondeurs à l'apport d'engrais minéraux que ceux de case ou de brousse (Figure 8.1). En 2006, Valauwe avait déjà observé que la réponse aux engrais était plus importante lorsque les parcelles étaient éloignées de la concession¹². L'apport de NPK sous forme de fertilisation microdose fait donc peu augmenter les rendements, la réponse à l'engrais étant déjà élevée, la technique importe peu.

La technique de la microdose semble quand même être légèrement plus favorable que la technique à la volée puisque tous les rendements sous microdose sont plus importants que les rendements témoins. La différence n'est cependant pas significative pour toutes les classes de distances. La régression multiple montre une différence significative entre la réponse du sol de brousse et de village mais cette réponse ne peut pas être expliquée grâce au témoin fertilisé puisque les différences entre ces deux traitements ne sont pas significatives. Une parcelle témoin non fertilisé moins fertile semble cependant répondre mieux à l'engrais et à la fertilisation microdose, comme expliqué pour le sorgho.

¹² Dans l'étude de Vanlauwe, les parcelles éloignées étaient également les moins fertiles.

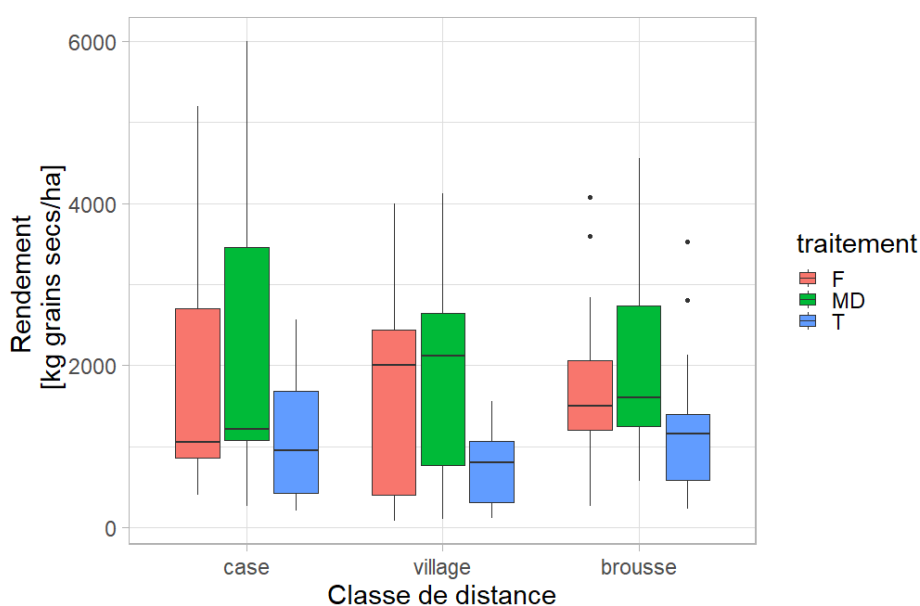


Figure 8.1: Représentation du rendement du témoin fertilisé chez le maïs (F), du témoin sous microdose chez le maïs (MD) et le rendement sans engrais hypothétique du maïs (T) qui vaut le rendement témoin du sorgho en fonction des classes de distance.

Dans l'étude, les *sols* à texture fine semblent mieux adaptés à la technique de la fertilisation microdose avec des gains de rendements plus importants pour les sols argileux et de couleur noire. La différence de rendement n'est cependant perçue que lorsque la réponse sur un sol argileux est comparée aux réponses des autres sols, pour lesquels la perte de rendement est la plus importante que sur le sol argileux (Tableau 6.16). Le sol caillouteux subit la plus grande perte de rendement dû à la fertilisation microdose, s'en suit le sol sableux et gravillonnaire. La différence entre ces derniers n'est cependant pas significative. Une explication serait que les sols gravillonnaires ou caillouteux sont intrinsèquement pauvres, l'apport d'engrais permet donc d'augmenter fortement les rendements (Sileshi, 2019), la technique de la microdose, en tant que telle, n'apporterait rien de plus. Les résultats de l'analyse concordent avec d'autres études analysant la réponse du maïs à la fertilisation microdose en comparant ce rendement avec un témoin non fertilisé. Dans ce cas, on observe que la réponse à la fertilisation microdose est positivement corrélée avec le contenu en argile (Tovihoudji, 2018) ou aussi que les sols argileux et argilo-limoneux ont une meilleure réponse à la fertilisation microdose que les sols sableux (Twomlow, 2008). Lors de fortes pluies, les sols caillouteux ou gravillonnaires devraient cependant voir leur réponse augmenter puisque ces sols retiennent moins l'engrais, la fertilisation microdose apporte donc un réel avantage par rapport à la volée en facilitant l'accès à l'engrais, se situant juste à côté du plant.

Enfin, l'élévation joue un rôle dans la variabilité du rendement avec une diminution de la réponse lorsque l'élévation augmente. Dans le contexte de l'étude, la différence d'élévation maximale est de 75 m. Cette variation a très peu de chance d'impacter les cultures. D'autres facteurs influençant l'élévation peuvent donc avoir un impact sur la variabilité des rendements. Pour rappel, la régression réalisée trouve le meilleur modèle qui limite la colinéarité entre les variables et supprime donc celles expliquant les mêmes informations. L'élévation est donc

gardée par la régression mais d'autres facteurs, comme la topographie de la parcelle ou le nombre d'années depuis la mise en culture, peuvent expliquer la même information. La topographie de la parcelle peut également influencer le bilan hydrique, les sols de bas-fond recevant plus d'eau que ceux de pente.

8.1.3 Discussion générale des essais

Les modèles testés pour comprendre la variabilité dans la réponse à la fertilisation microdose correspondent à des modèles linéaires. Cependant, la courbe de réponse à la fertilisation ne suit pas toujours une droite, cela dépend de la capacité de réponse des sols. Certains sols sont peu répondeurs à l'engrais car ils ont d'autres limitations (manque d'eau, mauvais développement des racines, ruissellement, éléments limitants autres que le N, P et K...) qui ont besoin d'être corrigées avant que les nutriments utilisés aient de l'effet (Kihara, 2016). La réponse de ces sols, à l'engrais et à la fertilisation microdose, est donc presque nulle. D'autres sols sont plus répondeurs à l'engrais, car leurs déficiences peuvent être corrigées par l'apport d'engrais (Kihara, 2016). La microdose peut donc montrer son potentiel sur ces sols, comparé à une technique traditionnelle. La réponse à la microdose est importante dans ce cas. Enfin, certains sols sont déjà fertiles, la technique de microdose n'a donc pas d'impact remarqué sur ces sols.

Dans la littérature, le rendement témoin revient souvent comme un facteur explicatif de la réponse à la fertilisation microdose et à l'engrais en général. Avec une augmentation de la réponse lorsque le rendement témoin diminue (Biielders et Gérard, 2015 ; Tovihoudji, 2018). Dans l'étude réalisée, le rendement témoin n'apparaît pas comme un facteur explicatif de la réponse. Il explique 1,3 % de la réponse du sorgho et 0,18 % de la réponse pour le maïs. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la différence entre les rendements témoin et fertilisé du sorgho est assez faible par rapport aux autres études et que les rendements témoin fertilisé et sous microdose du maïs ne sont pas significativement différents. De plus, d'autres facteurs, repris dans la régression linéaire, sont en relation avec le rendement témoin. C'est le cas du type de sol, de la distance par rapport à la concession, de l'application de NPK l'année précédente, de l'année depuis la mise en culture... Ces variables sont conservées préférentiellement au rendement témoin dans les modèles. La relation linéaire simple de la réponse à la microdose par rapport au rendement témoin pour le sorgho et le maïs est reprise en Annexe J.

Dans les modèles proposés, une partie de la variabilité n'a pas pu être expliquée, de 57% pour le modèle du sorgho et 63% pour le maïs. Ceci peut être dû à des facteurs biotiques, autres que le striga, tels que les chenilles légionnaires, termites, oiseaux granivores et bovins, à des facteurs climatiques, poche de sécheresse, stress hydrique, difficilement étudiables avec les données de pluies (Tovihoudji, 2018). Ou bien encore des déficiences en nutriments, autres que le N, P et K, qui sont des facteurs limitants empêchant le développement de la plante même avec l'apport d'engrais. Des analyses de sols supplémentaires, pour les concentrations en P, Mg, Ca, Al... peuvent se révéler utiles afin de mieux cerner ces déficiences.

D'autres variables ont été répertoriées mais n'ont pas été utilisées, à priori, dans les modèles de régression linéaire à cause du trop faible nombre d'observations par rapport au nombre de variables. Celles-ci pourraient cependant également expliquer la réponse à la fertilisation microdose, un plus grand nombre d'observations serait alors requis.

Certaines variables ont aussi été supprimées, a posteriori, des modèles de régression car elles créaient de la multi colinéarité dans les données. Une connaissance plus fine de ces variables aurait donc dû être observée sur le terrain afin de ne pas répertorier plusieurs variables donnant les mêmes informations.

Une information pertinente non mentionnée dans les modèles concerne les effets combinés des variables. Dans un modèle de régression linéaire multiple, les coefficients représentent la variation de la réponse grâce à la variable explicative d'intérêt, les coefficients des autres variables explicatives étant considérés comme nuls. Cependant, il peut y avoir des effets d'interactions à prendre en compte, comme la topo séquence et le type de sol, la pluviométrie et le type de sol...

Il est également intéressant de s'intéresser à la robustesse des modèles. Un modèle est dit robuste s'il est applicable même si toutes les hypothèses sous-jacentes du modèle probabiliste ne sont pas réunies (Rapacchi, 1994). Dans notre étude, les modèles créés pour le sorgho et le maïs sont considérés comme peu robustes puisque de faibles changements de distribution (lors du retrait de la donnée de Bin 21 pour le sorgho) entraînent des changements de significativité de certains coefficients. Lors du retrait d'une des variables (application de NPK l'année précédente), le modèle est également différent. Les modèles finaux incluent un maximum d'observations, dans la limite acceptable des hypothèses de normalité et de la présence d'outliers, et un maximum de variables, étant donné ce nombre d'observations. Ce nombre de variables aléatoires, assez élevé, entraîne inévitablement une augmentation de la variance et donc de l'incertitude (Baudot, 2008).

Un nombre d'observations suffisant est difficilement récolté en milieu paysan. Déjà, lors de la saison culturale, les agriculteurs ont peu de temps à consacrer à de petites parcelles, pas toujours proches de leurs parcelles principales. Celles-ci sont donc parfois négligées lors de l'application d'engrais ou de l'entretien de la parcelle. Cette mauvaise gestion a un impact sur les rendements. Ensuite, l'intérêt du producteur passe parfois avant l'intérêt pour la recherche. Certains vont alors appliquer des doses plus importantes de NPK ou bien de la matière organique sur les parcelles afin d'augmenter leur rendement. Ces parcelles ne peuvent donc pas être considérées dans l'analyse.

8.2 Discussion des enquêtes

8.2.1 Comparaison avec les données dans l'Oubritenga

Les résultats des enquêtes de terrain peuvent être comparés aux résultats obtenus par Carleta Spitz, une étudiante de l'Université de Liège qui a réalisé son mémoire sur l'adaptation de la technique microdose par les agriculteurs de la commune de Nagréongo, dans la province de l'Oubritenga, située dans la région centrale du Burkina Faso (Spitz, 2018). Dans cette région,

la microdose est couramment utilisée et certaines précisions peuvent être apportées au travail dans la Sissili grâce à cette nouvelle source d'information. De plus, l'échantillon de Carleta Spitz concerne 120 agriculteurs. Grâce à cet échantillon plus large, de nouvelles pistes de réponses pourront donc être envisagées. Les résultats seront certes différents car les conditions socio-économiques, environnementales et agronomiques dépendent de la situation géographique mais certains aspects peuvent tout de même être comparés.

Concernant la technique de la pratique de la microdose, les résultats sont relativement semblables entre la commune de Bieha et Nagréongo. Cependant, les innovations apportées à la microdose sont un peu différentes: 69% des connaisseurs en Sissili appliquent des amendements organiques contre 32,5% à Nagréongo (Spitz, 2018). Cette augmentation de l'utilisation de la matière organique en Sissili peut être expliquée par le fait que les producteurs de la Sissili possèdent davantage de gros bétail pour déféquer sur les parcelles. Cependant cette hypothèse n'a pas été vérifiée par les enquêtes et aucune question ne concernait le nombre de bœufs possédés. De plus, la pluviométrie plus importante de la Sissili facilite la fabrication de compost, applicable sur les parcelles. Aussi, une intensification du labour sur les parcelles où la microdose est appliquée est remarquée dans la Sissili et dans l'Oubritenga. Carleta Spitz (2018) fera quand même remarquer que cette intensification pourrait conduire, dans le long terme, à une dégradation des terres et une diminution de leur productivité.

D'autres facteurs ne sont pas mentionnés par les producteurs de la Sissili mais sont repris par ceux de l'Oubritenga. C'est le cas des associations de cultures. En Oubritenga, 4,1% des agriculteurs disent pratiquer les associations de cultures (surtout le sorgho et le niébé). Une autre modification, aussi appliquée dans l'Oubritenga, est la diminution de l'utilisation d'herbicides et d'insecticides là où la fertilisation microdose est appliquée. Finalement, 22% des agriculteurs de l'Oubritenga disent augmenter leurs résidus de cultures sur les parcelles de microdose. Ces résidus peuvent représenter une solution, à long terme, pour équilibrer les bilans nutritifs négatifs résultants de la fertilisation microdose (Spitz, 2018).

Concernant les combinaisons favorables à l'application de la fertilisation microdose en Sissili, l'échantillon des connaisseurs pratique de préférence la microdose sur un sol moins fertile (46% d'entre eux en 1^{er} choix). Ils regardent ensuite le type de sol voulu (31% en 1^{er} choix) et préfèrent les sols sableux (54%) ou gravillonnaires (31%) pour l'application de la microdose. Ils y cultiveront essentiellement du maïs et du sorgho. La plupart d'entre eux (42%) appliqueraient, s'ils le pouvaient, de la fumure organique.

Les primo-pratiquants ont également tendance à se tourner vers des sols moins fertiles (32% en 1^{er} choix) mais accordent aussi de l'importance à la topographie (16% en 1^{er} choix) et aux sols plus fertiles (16% en 1^{er} choix). Le type de sol est également pris en compte (pour 20% des primo-pratiquants) et les sols argileux (36%), sableux (28%) puis sablo-argileux (20%) sont retenus. Ce qui est un peu contradictoire avec la recherche d'une plus faible fertilité puisque les sols argileux sont souvent reconnus comme plus fertiles. Ceci peut être expliqué par un manque de connaissance de la fertilité du sol. En effet, 7 primo-pratiquants sur 11 ayant choisi le critère d'un sol moins fertile ont répondu qu'un sol argileux ou sablo-argileux répondrait bien à la

fertilisation microdose. De plus, la fertilité du sol ne dépend pas seulement du type de sol mais également du nombre d'années depuis la mise en culture, l'application de fumure organique ou le parage des animaux sur cette parcelle. Si les sols argileux ou sablo-argileux sont cultivés depuis longtemps et si très peu d'amendements organiques y sont apportés, le sol peut être très peu fertile. Ceci montre bien les limites de l'analyse univariée. Il est nécessaire d'établir des connections entre les réponses de plusieurs variables pour ne pas déduire des liens aberrants.

Dans l'étude de Carleta Spitz (2018), 47,5% des sondés ont mentionné qu'ils privilégiaient les parcelles avec un sol plus fertile et seulement 27,4% privilégient les parcelles caractérisées par un sol moins fertile. Ces résultats ne correspondent pas aux conclusions tirées à partir des enquêtes dans la Sissili où les producteurs utilisent préférentiellement la microdose sur un sol moins fertile (pour les connaisseurs et les primo-pratiquants). Seize pourcent des primo-pratiquants affirment quand même préférer un sol plus fertile. L'étude de P. Tovihoudji (2018) renseigne pourtant que la réponse à la fertilisation microdose est significativement plus élevée sur un sol moins fertile, comme l'ont préféré les producteurs connaisseurs de la Sissili. La propension des primo-pratiquants de la Sissili à se tourner également vers des sols moins fertiles peut provenir de diverses raisons. Déjà, le fait de ne pratiquer la microdose que depuis quelques mois n'assure pas un avis objectif sur la question. Pour ces agriculteurs, la technique paraît bénéfique pour les cultures et ils pourraient avoir tendance à vouloir privilégier au maximum les cultures sous microdose en appliquant de l'engrais sur des sols déjà riches. De plus, les sols déjà fertiles sont moins amendés en matière organique, l'agriculteur déciderait alors de bénéficier des avantages de la microdose sur une des parcelles, celle déjà fertile, et ceux de la matière organique sur un sol moins fertile. Carleta Spitz relève aussi que le risque financier, bien que diminué par rapport aux doses recommandées, persiste et incite les agriculteurs à appliquer l'engrais sur une parcelle plus fertile.

Dans la commune de Bieha, 1 seul agriculteur primo-pratiquant mentionne le précédent cultural comme critère de choix pour la microdose. Il précise qu'il ferait une rotation maïs-coton en appliquant la microdose sur le maïs. Dans le mémoire de Carleta Spitz, 5,8% des agriculteurs prêtent attention au précédent cultural. Les agriculteurs préfèrent, dans ce cas, appliquer la microdose sur une culture céréalière précédée d'une autre culture céréalière. Cependant, le rendement d'une culture céréalière est souvent meilleur lorsque cette culture est précédée d'une culture légumineuse (Bado, 2002).

La topographie est renseignée par 16% des primo-pratiquants en premier choix et par 8% des connaisseurs (c'est-à-dire un seul des connaisseurs). Ce critère n'a pas été repris dans l'analyse des enquêtes de Carleta Spitz.

Concernant les techniques permettant d'améliorer l'efficacité de la fertilisation microdose, dans les deux mémoires, la fertilisation organique se distingue, elle correspond à 42% pour les connaisseurs et 51% pour les primo-pratiquants de la Sissili et à 40,8% pour les agriculteurs de l'Oubritenga. En Sissili, les diguettes en terre pour diminuer le ruissellement sont mentionnées par 4 agriculteurs, le zaï et les demi-lunes sont mentionnés une fois mais ne sont pas utilisés. Dans l'Oubritenga, le zaï est mentionné par 32% des agriculteurs, 29% parlent des cordons

pierreux, 4% de combiner la microdose et l'association de cultures, 2 agriculteurs disent laisser les bœufs dans la parcelle et un agriculteur propose de planter quelques arbres sur les parcelles, « pour limiter l'érosion, profiter de l'ombre et apporter de la matière organique supplémentaire ». Ces pratiques de conservation de l'eau et du sol ne sont cependant pas assez souvent associées à la fertilisation microdose. Cette gestion de la technique ne s'intègre donc pas à un mode de gestion durable (Spitz, 2018).

8.2.2 Limites des enquêtes

Le premier biais rencontré est la traduction du questionnaire dans la langue locale par le traducteur. Déjà, toutes les nuances de la langue française ne peuvent être traduites en mooré. Des précautions ont été prises dans ce sens lors de la préparation de l'interview avec le traducteur (voir Méthodologie) mais certains agriculteurs ont demandé des précisions sur les questions et il fut parfois difficile de reformuler, à chaud, la question pour que sa traduction en mooré soit la plus littérale possible. Ensuite, la présence du traducteur induit un filtrage de l'information à travers le travail d'interprétation et augmente la distance entre ce que le producteur dit et ce qui est perçu et traduit (par l'interprète) et noté par l'enquêteur (Defourny, 2016).

Le niveau d'instruction limite également les réponses puisque certains termes ne sont pas compris par les agriculteurs. L'enquêteur et le traducteur doivent alors trouver une reformulation des termes et parfois illustrer la question avec des exemples qui ont pu influencer la personne enquêtée. Ainsi, la définition même de « fertilisation microdose » pose problème puisque certains considèrent la volée ciblée comme de la fertilisation microdose. L'enquête ne concerne en effet que les agriculteurs pratiquant la microdose par enfouissement, les autres utilisant la volée ciblée ne sont pas répertoriés dans l'échantillon de connaissances. Cela s'est assez vite remarqué dans le questionnaire et a pu donc être corrigé.

De plus, le contexte dans lequel les enquêtes ont été réalisées n'est pas optimal. En effet, durant la saison culturale, les agriculteurs se trouvent, pour la plupart, dans leur champ. Les entretiens se sont donc déroulés lors d'un moment de pause, au bord du champ ou dans une petite hutte. Les conditions ne sont donc pas réunies pour un entretien dans le calme et où la sérénité s'impose. Le regroupement attire parfois d'autres agriculteurs curieux. Ceci entraîne alors un autre biais, à savoir celui de la désirabilité sociale qui renvoie au fait que le répondant va tenter de donner une image positive de lui-même à l'enquêté et auprès des autres producteurs présents (Lugen, ND). Aussi, certains agriculteurs sont tentés de se baser sur les réponses des autres agriculteurs interrogés afin d'appuyer leur raisonnement.

Enfin, d'autres biais présents dans les enquêtes sont difficiles à éviter. Par exemple, le fait que les agriculteurs ajustent leur discours en fonction des besoins de l'enquête. Ou bien que ces discours soient influencés par les caractéristiques physiques ou personnelles de l'enquêteur. L'effet de cadrage est également à prendre en compte. Les réponses dépendent toujours partiellement du contexte dans lequel la question est posée et de la manière avec laquelle elle est posée (Lugen, ND).

L'analyse des informations récoltées est aussi sujette à quelques hypothèses simplificatrices. Premièrement, l'examen des résultats d'enquêtes d'un entretien semi-directif requiert une classification de l'information récoltée sur base de la similitude des réponses afin de proposer des résultats clairs. Ceci entraîne inévitablement une simplification de l'information.

Ensuite, le faible nombre de participants aux enquêtes donne des statistiques simplifiées. En effet, afin de comparer les deux sous échantillons, les résultats sont remis sous forme de pourcentage. Cependant, un pourcentage calculé sur base d'un petit échantillon de données est difficilement interprétable. De plus, les tests statistiques appliqués sont choisis pour correspondre au mieux aux données choisies. Souvent, ce ne sont pas les tests les plus robustes qui sont utilisés. Il a fallu faire un compromis entre la validité des tests et leur caractère pertinent.

Enfin, l'analyse des enquêtes se fait sous forme de tri à plat mais des analyses bivariées et multivariées auraient également pu être menées afin de préciser l'information. Ce n'était cependant pas le but recherché ici.

9. CONCLUSION

La fertilisation microdose a été développée en Afrique de l'ouest depuis des décennies afin d'optimiser les rendements et d'améliorer le revenu des petits producteurs. Dans la zone étudiée, la commune de Bieha au sud de la province de la Sissili, la technique de la microdose est peu utilisée. Les contraintes principales, abordées avec les producteurs, sont le manque de main d'œuvre et le manque de connaissances de la technique. Ils reconnaissent également la variabilité dans les rendements due à cette technique et pointent le type de sol et la topographie comme deux facteurs de variabilité influençant le plus la réponse à la fertilisation microdose.

La technique de la fertilisation microdose semble prometteuse pour la Sissili, essentiellement pour la culture de sorgho. Même si les augmentations sont relativement faibles, les rendements sous microdose du sorgho sont significativement plus élevés que les rendements du témoin. Cependant, la technique de la microdose semble moins adaptée pour la culture de maïs. En effet, comparé à la technique traditionnelle, la fertilisation microdose, n'apporte pas de gain de rendement supplémentaire mais demande une main d'œuvre plus importante. De plus, la variabilité observée sur les parcelles microdose est aussi plus élevée que pour les parcelles témoins fertilisées. Les quantités d'engrais utilisées ne sont pas non plus très différentes entre les deux techniques. Pour le maïs, la technique traditionnelle reste donc, à ce stade, plus avantageuse pour un producteur du département de Bieha.

Certaines améliorations peuvent cependant être apportées à la technique de la fertilisation microdose afin de la rendre plus efficace. Du point de vue des producteurs, l'efficacité de la technique semble être améliorée lorsque la microdose est appliquée sur les sols peu fertiles et en tenant compte du type de sol, que les connaisseurs préfèrent sableux et les primo-pratiquants argileux. Afin d'améliorer l'efficacité de la technique, les connaisseurs et les primo-pratiquants recommandent l'utilisation de la matière organique. L'étude des facteurs de variabilité a également permis d'établir les conditions dans lesquelles la réponse à la fertilisation microdose est plus favorable. Pour le sorgho, la présence de striga et une parcelle en pente sont des facteurs permettant une meilleure réponse à la fertilisation microdose. Une parcelle plus âgée a également un meilleur rendement sous microdose que sur un témoin non fertilisé. Pour le maïs, une pluviométrie plus importante sur la période critique et l'élévation de la parcelle sont corrélées négativement avec le gain de rendement dû à la microdose. Une parcelle se situant en village et une classe d'enherbement moyen font également diminuer la réponse du maïs. Un sol argileux et de couleur noir améliore la réponse du maïs à la fertilisation microdose. Les régressions linéaires établies n'expliquent cependant qu'une partie de la variabilité. Des études plus approfondies sur la réponse des cultures à la technique de la microdose, associées à une compréhension des contraintes physiques, économiques et sociales de cette technique favorisent l'adoption de la microdose dans la région et œuvrent au développement dans la province de la Sissili.

10. BIBLIOGRAPHIE

Pages web

- Banque Mondiale, Département du Développement Social Institutions sociales et changement climatique. 2010. Développement local, Institutions et Changement climatique, Analyse de la situation et Recommandations opérationnelles : Draft final. [en ligne]. Disponible sur : http://siteresources.worldbank.org/EXTSOCIALDEVELOPMENT/Resources/244362-1232059926563/5747581-1239131985528/5999762-1242914244952/BurkinaRapportFinal_FR.pdf Consulté le 10/01/19
- Barnier, J., Biaudet, J., Briatte, F., Bouchet-Valat, M., Gallic, E., Giraud, F., Gombin, J., Kauffmann, M., Lalanne, C., Larmarange, J., Robette, N. 2019. Introduction à l'analyse d'enquêtes avec R et RStudio, p591-596 : Multicolinéarité dans la régression. [en ligne]. Disponible sur : <http://larmarange.github.io/analyse-R/analyse-R.pdf> Consulté le 03/07/2019. Consulté le 21/06/2019
- Baudot, J.Y. 2008, mis à jour en 2019. La Robustesse en Statistique. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.jybaudot.fr/Stats/robustesse.html> Consulté le 07/07/2019
- Burkina Faso. In PopulationData, Atlas des populations et pays du monde [en ligne]. PopulationData, 14/12/18. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.populationdata.net/pays/burkina-faso/> Consulté le 29/12/18
- CIRIDD (*Centre international des ressources et d'innovation pour le développement durable*). Les traits régionaux du climat du Burkina Faso. In MédiaTerre, Le système d'information francophone pour le développement durable. MédiaTerre, 13/03/06. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.mediaterre.org/afrique/actu,20060313164249.html> . Consulté le 29/12/18
- Della Vedova, C. Tutoriel R: Comment évaluer si deux variables numériques continues sont liées. 28/12/17. In Statistiques et Logiciel R, Apprenez à analyser vos données. [en ligne]. Disponible sur : <https://statistique-et-logiciel-r.com/tutoriel-r-comment-evaluer-si-deux-variables-numeriques-continues-sont-liees/> Consulté le 18/05/18.
- FAO (*Food and Agriculture Organization for the United Nations*), AQUASTAT. 2015. Burkina Faso. [en ligne]. Disponible sur : http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/BFA/ Consulté le 10/01/19
- Kassambara, A. STHDA (*Statistical tools for high-throughput data analysis*). Stepwise Regression essential in R. 11/03/2018. [en ligne]. Disponible sur <http://www.sthda.com/english/articles/37-model-selection-essentials-in-r/154-stepwise-regression-essentials-in-r/>. Consulté le 25/06/2019
- Rakotomalala, R. 2015. Pratique de la Régression Linéaire Multiple Diagnostic et sélection de variables. [en ligne]. Disponible sur : http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours/La_regression_dans_la_pratique.pdf Consulté le 03/07/2019
- United Nations. 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision, United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. [en ligne]. Disponible sur : <http://esa.un.org/unpd/wpp/dataquery>. Consulté le 22/06/19

Xlstat, Solution d'analyse des données. Test du khi² et test exact de Fisher dans Excel. 2017. [en ligne]. Disponible sur <https://help.xlstat.com/customer/fr/portal/articles/2062459-test-du-khi%C2%B2-et-test-exact-de-fisher-dans-excel>. Consulté le 22/05/2019

Youssouf, I., Lawani, M. (Centre national d'agropédologie, CENAP). ND. Les sols béninois : classification dans la Base de référence mondiale. 2000. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/005/Y3948F/y3948f05.htm> Consulté le 28/01/19

Articles et documents consultés

Adams, A.M., Gillespie, A.W., Kar, G., Koala, S., Ouattara, B., Kimaro, A.A., Peak, D. 2016. Long-term effects of reduced fertilizer rates on millet yields and soil properties in the West-African Sahel. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 106:17-29

Adingra, K.G., Ambagna, J.J. 2015. Spéculation sur le marché du mil au Burkina-Faso

Aune, J. B., Ousman, A. 2011. Effect of seed priming and micro-dosing of fertilizer on sorghum and pearl millet in western sudan. *Experimental Agriculture*, 47(03), 419–430.

Bachmann, E., Natcher, D., Kulshreshtha, S., Nasser Baco, M., P. B. I. Akponikpe, Peak, D. 2016. Profitability and Institutional Constraints to the Adoption of Fertilizer Microdosing in Northwest Benin. *Sustainable Agriculture Research*; Vol. 5, No. 3; 2016

Bado, V. B. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones Guinéenne et Soudanienne du Burkina Faso. Thèse de doctorat, Québec, Université de Laval. Résumé court et p104.

Bationo, A., Buerkert, A. 2001. Soil organic carbon management for sustainable land use in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61: 131-142

Bationo, A., Christianson, CB, Baetgen, W.E., Mkwunye, A.U. 1992. A farm-level evaluation of nitrogen and phosphorus fertilizer use and planting density for pearl millet production in Niger. *Fertilizer Research* 31: 175-184

Bationo, A., Kihara, J., Vanlauwe B., Waswa, B., Joseph, K. 2007. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agricultural System*, 94: 13-25

Bationo, A., Mkwunye, A.U. 1991. Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production: With special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. *Fertilizer Research*, 29(1), 117–125

Belfield, S., Brown, C. 2014. *Field Crop Manual: Maize A Guide to Upland Production in Cambodia*.

Biielders, C.L., Gérard, B. 2015. Millet response to microdose fertilization in south-western Niger: Effect of antecedent fertility management and environmental factors. *Field Crop Research*, 171: 165-175

Blackshaw, R. E., Molnar, L. J., & Janzen, H. H. 2004. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. *Weed Science*, 52(04), 614–622.

- Blessing, C.O., Ibrahim, A., Safo, Y.E., Yeboah, E., Abaidoo, C.R., Logah, U., Monica, I.U. 2016. Fertilizer micro-dosing in West Africa low-input cereals cropping: Benefits, challenges and improvement strategies. *African Journal of Agricultural Research*, 12(14): 1169-1170
- Brück, H., Sattelmacher, B., Payne, W. 2003. Varietal differences in shoot and rooting parameters of pearl millet on sandy soils in Niger. *Plant and Soil*, 251: 175
- Buerkert, A., Bationo, A., Piepho, H.P. 2001. Efficient phosphorus application strategies for increased crop production in sub-Saharan West Africa. *Field Crops Res.* 72(1):1-15.
- Camara, B.S, Camara, F., Berthe, A., Oswald, A. 2013. Micro-dosing of fertilizer – a technology for farmer's needs and ressources. *International Journal of AgriScience Vol.3* (5): 387-399
- Chianu, J.N., Chianu, J.N., Mairura, F. 2012. Mineral fertilizers in the farming systems of sub-Saharan Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32:545–566.
- CIFOR (*Centre de recherche forestière internationale*). Hermann W. Kambire, H.W., Djenontin, I.S., Kabore, A., Djoudi, H., Balinga, M.B., Zida, M., Assembe-Mvondo., S. 2015. La REDD+ et l'adaptation aux changements climatiques au Burkina Faso Causes, agents et institutions. Document occasionnel
- CIMMYT Economics Program. 1988. From agronomic data to farmer recommendations: An economics training manual, 17
- CIRAD (*Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement*), INERA (*Institut de l'Environnement et Recherches Agricoles*). 2001. Fiche technique de sorgho Kapelga.
- Coulibaly, K., Koutou, M., Diallo, A.M., Sangare, S. 2017. Performances agro-économiques de la micro-dose d'engrais sur les cultures associées en zone cotonnière de l'Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 20: 170-196
- Coulibaly, P., Tigabu, M., Savadogo, P., Oden, P.-C., & Ouadba, J.-M. (2009). Determinants of access to forest products in southern Burkina Faso. *Forest Policy and Economics*, 11(7), 516–524.
- Defourny, M. (UCL). 2016. Efficacité agronomique et perception paysanne de la fertilisation par microdose sur le maïs : Essais en milieu paysan et enquête au Nord Bénin.
- Dercon, S., Christiaensen, L. (2011). Consumption risk, technology adoption and poverty traps: Evidence from Ethiopia. *Journal of Development Economics*, 96(2), 159–173
- DGPER (*Direction générale de la Promototion de l'Economie Rurale*). 2010. Productivité agricole et efficacité de la dépense publique : analyse d'impact, Rapport final
- Driessen P., Deckers J., Spaargaren O. 2001. Lectures Notes on the Major Soils of the World. World Soil Resources, Report-94.
- Edmeades, D.C. 2003. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66: 165 – 180
- Eghball, B., Power, J. F., Binford, G. D., Baltensperger, D. D., Anderson, F. N. 1995. Maize Temporal Yield Variability under Long-Term Manure and Fertilizer Application: Fractal Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 59(5), 1360-1364

- FAO (*Food and Agriculture Organization for the United Nations*). 2012. La fertilisation localisée au semis des cultures ou microdose, Fiche d'information. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/iarbic/doc/1_fiche_microdoses-2_11/11/2018
- FAO (*Food and Agriculture Organization for the United Nations*), 2013. Cadre de Programmation Pays 2013-2015 : Burkina Faso. <http://www.fao.org/3/a-bp648f.pdf> (consulté le 09/01/19)
- FAO (*Food and Agriculture Organization for the United Nations*). 2013. Revues des politiques agricoles et alimentaire au Burkina Faso, Rapport Pays. http://www.fao.org/fileadmin/templates/mafap/documents/Burkina_Faso/BURKINA_FASO_Country_Report_FR_July2013.pdf consulté le 10/01/19
- Fehmi, J.S., Kong, T.M. 2012. Effects of soil type, rainfall, straw mulch, and fertilizer on semi-arid vegetation establishment, growth and diversity. *Ecological Engineering* 44: 70– 77
- Gambo, B.A, Magaji M.D., Yakubu, A., Dokko, A.U. Effects of Farm Yard Manure and weed interference on the growth and yield of onion (*Allium cepa* L). *Sustainable Agriculture Environ.* 3(2) : 97-92
- Gerik, T., Bean, B.W., Vanderlip, R. (Texas A&M University System, PROFIT). 2003. Sorghum Growth and Development.
- Guenot, A., Huchet-Bourdon, M. 2014. Rôle du coton sur la filière maïs au Burkina Faso. *Économie rurale*
- Hayashi, K., Abdoulaye, T., Gerard, B., & Bationo, A. 2008. Evaluation of application timing in fertilizer micro-dosing technology on millet production in Niger, West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 80, 257–265.
- Housseini Malam Laminou, R. 2013. Effet de la fertilisation par microdose sur la productivité de deux variétés de Sésame (*Sesamum indicum* L.), la variation des teneurs et les bilans partiels des nutriments. Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du développement rural.
- Ibrahim, A., Abaidoo, R.C., Fatondji, D., Opoku, A. 2015a. Hill placement of manure and fertilizer microdosing improves yield and water use efficiency in the Sahelian low input millet-based cropping system. *Field Crops Research*, 180:29–36
- Ibrahim, A., Abaidoo, R.C., Fatondji, D., Opoku, A. 2016. Fertilizer micro-dosing increases crop yield in the Sahelian low-input cropping system: A success with a shadow, *Soil Science and Plant Nutrition*, 62:3, 277-288, DOI: 10.1080/00380768.2016.1194169
- Ibrahim, B. 2013. Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé. *Hydrologie*. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2012. Français
- Ichami, S., Sheperd, K., Sila, A., Stoorvogel, J., Hoffland, E. 2018. Fertilizer response and nitrogen use efficiency in AGrica smallholder maize farms. *Nutrient Cycle Agroecosystem* 113 : 1-19
- ICRISAT (*International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*). 2002. Grey to green revolution. ICRISAT annual report, Patancheru, India.

- ICRISAT (*International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*). 2006. The story of fertilizer microdosing in Africa.
- ICRISAT (*International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*). 2009. Fertilizer Micro-dosing : Boosting Production in Unproductive Lands.
- INSD (*Institut National des Statistiques et de la Démographie*) La population du Burkina Faso de 1997 à 2006 par régions et provinces. Août 2009. Ministère de l'économie et des finances, Ouagadougou.
- Izac AMN. 2000. What Paradigm for Linking Poverty Alleviation to Natural Resources Management? Proceedings of an International Workshop on Integrated Natural Resource Management in the CGIAR: Approaches and Lessons, 21-25 August 2000, Penang – Malaysia.
- Kabore, M., Ouedraogo, F-G. (INSD : *Institut National des Statistiques et de la Démographie*). 2009. Recensement général de la population et de l'habitation de 2006 (RGPH-2006) : Monographie de la Région du Centre-Ouest.
- Kabore, D.B., Kam, S., Ouedraogo, G., Bathiebo, D.J. 2017. Etude de l'évolution climatique au Burkina Faso de 1983 à 2012 : Cas des villes de Bobo Dioulasso, Ouagadougou et Dori. *Arabian Journal of Earth Sciences*, Vol.4 (2017) - Issue 2: 50-59
- Kafesu, N., Chikowo, R., Mazarura, U., Gwenzi, W., Snapp, S., & Zingore, S. 2018. Comparative fertilization effects on maize productivity under conservation and conventional tillage on sandy soils in a smallholder cropping system in Zimbabwe. *Field Crops Research*, 218, 106–114
- Kihara, J., Sileshi, G.W., Nziguheba, G., Kinyua, M., Zingore, S., Sommer, R. 2016. Application of secondary nutrients and micronutrients increases crop yields in sub-Saharan Africa. *Agronomy for Sustainable Development*, 37: 1-14.
- Lal, R. 1995. Erosion-Crop Productivity Relationships for Soils of Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:661-667. doi:10.2136/sssaj1995.03615995005900030004x
- Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Hwat, S., Ding, L., Liu, Q., Liu, S., Fan, T. 2010. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma*, 158:173–180.
- Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, DGPER (*Direction générale de la Promototion de l'Economie Rurale*), DPSAA (*Direction de la Prospective et des Statistiques Agricoles et Alimentaires*). 2008. Rapport Général du module Pluvial, Phase 2 : RGA 2008.
- Muehlig-Versen, B., Buerkert, A., Bationo, A., Roemheld, V. 2003. Phosphorus placement on acid arenosols of the West African Sahel. *Experimental Agriculture*, 39(3), 307–325
- Mugwira, L.M., Murwira, H.K. 1997. Use of cattle manure to improve soil fertility in Zimbabwe. Soil fertility network research results working paper 2, CIMMYT, Harare, Zimbabwe
- Nicholson, S.E., Funkb, C., Andreas H. Fink, 2017. Assessing recovery and change in West Africa's rainfall regime from a 161-year record. *International Journal of Climatology*, 38: 3770 – 3786.

- Nicholson, S.E., Funk, C., Andreas H. Fink, A.H. 2018. Rainfall over the African continent from the 19th through the 21st century. *Global and Planetary Change* 165 (2018) : 114-127
- Nziguheba, G., Zingore, S., Kihara, J., Merckx, R., Njoroge, S., Otinga, A., Vanlauwe, B. 2016. Phosphorus in smallholder farming systems of sub Saharan Africa: implications for agricultural intensification. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 104: 321–340
- Ouedraogo, I., Tigabu, M., Savadogo, P., Compaoré, H., Odén, P. C., & Ouadba, J. M. 2010. Land cover change and its relation with population dynamics in Burkina Faso, West Africa. *Land Degradation & Development*. *Land Degradation and Development*, 21 : 453-462
- Paré, S., Söderberg, U., Sandewall, M., & Ouadba, J. M. 2008. Land use analysis from spatial and field data capture in southern Burkina Faso, West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127(3-4), 277–285.
- Rapacchi, B. (Centre Interuniversitaire de Calcul de Grenoble). 1994. Une introduction à la notion de robustesse.
- Saba F., Jean S., Taonda B., Serme I., Bandaogo A. A., Sourwema A. P., & Kabre A. 2017. Effets de la microdose sur la production du niébé, du mil et du sorgho en fonction la toposéquence. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 11(5), 2082–2092.
- Sanchez, P.A. 2015. En route to plentiful food production in Africa. *Nature Plants* vol 1
- Sanou, J. 1993. Choisir sa variété de maïs au Burkina Faso. Doc. CNRST/INERA- Burkina
- Schlecht, E., Buerkert, A., Tielkes, E., Bationo, A. 2006. A critical analysis of challenges and opportunities for soil fertility restoration in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76(2-3), 109–136.
- Sileshi, G., Akinnifesi, F.K., Debusho, L.K., Beedy, T., Ajayi, O.C., Mong'omba, S. 2010. Variation in maize yield gaps with plant nutrient inputs, soil type and climate across sub-Saharan Africa. *Field Crops Research* 116: 1–13
- Sileshi, G., Jama, B., Vanlauwe, B., Negassa, W., Harawa, R., Kiwira, A., Kimani, D. 2019. Nutrient use efficiency and crop yield response to combined application of cattle manure and inorganic fertilizer in sub-Saharan Africa. *Nutr Cycl Agroecosyst* 113: 181-199
- Smaling E.M.A., Stoerboog J.J., de Jager A. 2002. Decision making on integrated nutrient management through the eyes of the scientist, the land-user and the policy maker. Dans: Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N. and Merckx R. (eds) *Integrated sub-Saharan Africa: From Concept to Practice*. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 265–284.
- Somda, J., Nianogo, A. J., Nassa, S., & Sanou, S. 2002. Soil fertility management and socio-economic factors in crop-livestock systems in Burkina Faso: a case study of composting technology. *Ecological Economics*, 43(2-3), 175–183.
- Spitz, C. (ULg). 2018. Mémoire de fin d'étude : l'adaptation de la technique micro dose par les agriculteurs de la commune de Ngréongo s'intègre-t-elle à un mode de gestion durable ?
- Suhas P. Wani, S.P., Albrizio, R., Vajia, N.R. ND. Crop Yield Response To Water: Sorghum

- Tabo, R., Bationo, A., Diallo Maimouna, K., Hassane, O., Koala, S. 2006. Fertilizer microdosing for the prosperity of small-scale farmers in the Sahel: Final report. Agroecosystems Report no. 23. ICRISAT, Niamey (Niger) 28p
- Tabo, R., Bationo, A., Gerard, B., Ndjeunga J., Marchal, D., Amadou B., Annou, M. G., Sogodogo D., Sibiry Taonda, J.B., Hassane O., Diallo, M.K., Koala, S. 2007. Improving cereal productivity and farmers' income using a strategic application of fertilizers in West Africa.
- Tabo, R., Bationo, A., Hassane O., Amadou, B., Fosu, M., Sawadogo-Kabore, S., Fatondji, D., Korodjouma, O., Abdou, A., Koala, S. 2008. Fertilizer microdosing for the prosperity of resource poor farmers : a success story. Proceedings of the international workshop on rainfed cropping systems. Ghana, 22-25 septembre 2008.
- Taonda, S.J., Compaore, E., Zongo, N. 2015. Guide de Formation en Technique de Microdose
- Taonda, S.J.B., Yagho, E., Soubeiga, J., Kabré, A. 2008. Projet « Transfert de la technologie de fertilisation microdose et des variétés tolérantes à la sécheresse pour la prospérité des petits producteurs agricoles du Sahel ». Burkina Faso, Rapport final 2005-2008, 66p.
- Tonitto, C., Ricker-Gilbert, J.E. 2016. Nutrient management in Africa sorghum cropping systems: applying meta-analysis to assess yield and profitability. *Agronomy for Sustainable Development* 36:10
- Traore, B., Corbeels, M., van Wijk, M. T., Rufino, M. C., & Giller, K. E. 2013. Effects of climate variability and climate change on crop production in southern Mali. *European Journal of Agronomy*, 49, 115–125.
- Twomlow, S., Rohrbach, D., Dimes, J., Rusike, J., Mupangwa, W., Ncube, B., Hove, L., Moyo, M., Mashingaidze, N., Mahposa, P. 2008. Microdosing as a pathway to Africa's Green Revolution: evidence from broad-scale onfarm trials. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88: 3-15.
- Valbuena, D., Tui, S.H.K., Erenstein, O., Teufel, N., Duncan, A., Abdoulaye, T., Swain, B., Mekonnen, K., Germaine, I., Gérard, B. 2014. Identifying determinants, pressures and trade-offs of crop residue use in mixed smallholder farms in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Agricultural Systems*, 134: 107-118
- Vanlauwe, B., Chianu J., Giller, K.E., Merckx, R., Mkwunye, U., Pypers, P., Shepherd, K., Smaling, E., Woomer, P.L., Sanginga, N. 2010. Integrated soil fertility management: operational definition and consequences for implementation and dissemination. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australie
- Vanlauwe, B., Giller, K. 2006. Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116(1-2), 34–46
- Vanlauwe B., Tittonell P., Mukalama J. 2006. Within-farm soil fertility gradients affect response of maize to fertilizer application in western Kenya. In: Bationo A., Waswa B., Kihara J., Kimetu J. (eds) *Advances in Integrated Soil Fertility Management in sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*. Springer, Dordrecht

Zingore, S., Murwira, H.K., Delve, R.J., Giller, K.E. 2007. Soil type, management history and current resource allocation: three dimensions regulating variability of maize yields and nutrient use efficiencies on African smallholder farms. *Field Crop Research* 101:296–305

Zingore, S., Delve, R. J., Nyamangara, J., Giller, K.E. 2008. Multiple benefits of manure: the key to maintenance of soil fertility and restoration of depleted sandy soils on African smallholder farms. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 80(3): 267-282

11. ANNEXES

A. Variables qualitatives utilisées lors de la régression linéaire

Classification des variables qualitatives nominales utilisées dans les analyses.

Variable qualitative nominale	Modalités énoncées/ observées sur le terrain	Modalités reformulées
Caractéristique de surface	Sol argileux et de couleur noire	argileux et de couleur noire
	couleur noir (teneur élevée en matière organique)	
	Sol sableux	sableux
	Sol gravillonnaire	gravillonnaire
	Sol caillouteux, affleurement de cuirasse	caillouteux, affleurement de cuirasse
Topographie de la parcelle	Bas de pente	bas fond
	Lit de rivière	
	Mi-pente	pente
	Haut de pente	plateau
	Plateau	
	Butte	
Occupation du sol environnement	Culture	Culture
	Culture et concession	Culture et concession
	Culture et brousse	Culture et brousse
	Culture et forêt	

Modalités des variables qualitatives nominales utilisées dans les analyses.

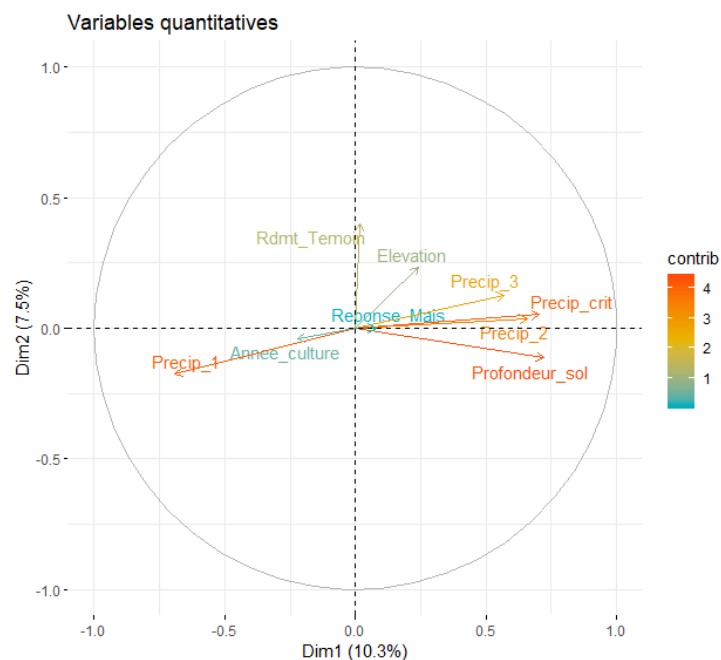
Variable qualitative nominale	Modalités de la variable
Topographie paysage	vallée
	bas-versant
	mi-versant
	haut-versant
	plateau
Structure de surface	particulière
	fragmentaire

Intervalles choisis et modalités correspondantes des variables qualitatives ordinales utilisées dans les analyses.

Variable ordinale	Intervalles choisis	Modalités de la variable
Distance depuis la concession	0 – 500 m	case
	500m – 2km	village
	> 2km	brousse
Affleurement de roche	≤ 5%	absence

	> 5%	présence
Proportion d'éléments grossiers	0%	absence
	> 0%	présence
Application de NPK en 2017	0 kg/ha	aucun
	≤ 120 kg/ha	faible
	> 120 kg/ha	élevé
Enherbement	0 – 10%	faible
	11 – 30 %	moyen
	> 30%	élevé
Incidence du striga	Pas de striga	absence
	faible	présence
	Moyen	
	Forte	
Semis	Du 23 juin au 1 ^{er} juillet	Tôt
	Du 2 juillet au 12 juillet	Moyen
	Du 13 juillet au 18 juillet	tard

B. Analyse factorielle des données mixtes : variables quantitatives



Le cercle des corrélations représente la corrélation entre une variable et une composante principale

Contrib vaut la contribution de chaque variable aux composantes principales

C. Questionnaire des connaisseurs et des primo-pratiquants

Questionnaire des connaisseurs

Questionnaire destiné aux producteurs agricoles connaisseurs de la microdose dans leurs propres parcelles (Connaisseurs)

Avant tout, il est important de préciser qu'en répondant à ce questionnaire, vous stipulez votre accord à ce que les réponses que vous avez fournies à celui-ci soient utilisées pour une analyse statistique, concernant le mode d'application de la technique micro dose par les producteurs agricoles, dans le cadre de mon mémoire.

Je vous certifie que les données seront traitées de manière strictement anonyme. Aucun lien ne pourra t'être fait entre les réponses et ceux qui les ont produites.

Identification

Date :

Nom :

Village :

A. Composition du ménage et personnes actives dans l'exploitation

Tableau 1.

Personne	Nombre	Age	Education (Alphabétisation, primaire, secondaire, supérieur, coranique, illettré)	Eleveur (oui/non)	Accès au crédit (warrantage ou autre)
					Oui/non
Chef de ménage	/				
Epouse 1	/	/	/	/	/
Epouse 2	/	/	/	/	/
Epouse 3	/	/	/	/	/
Enfants > 15 ans		/	/	/	/
Enfants 8-15		/	/	/	/
Enfants < 8 ans		/	/	/	/
Autres :.....					

B. Plan Parcellaire

Tableau 2.

N° parcelle	Superfici e (ha)	Distance concessi on (km)	Cultivée depuis combien d'années ?	Mode de propriété ? (Propriété, prêt, location, autre)	Type de sol s'agit-il ? (Nom local au besoin)	Topogra phie (Bas fond, bas de versant, haut de versant, plateau, ...)	2018 :		2017		Rotati ons ?	Paillages/r ésidus de cultures
							Cultures + Superficie en ha	Engrais (quantité/ha)	Cultures + Superficie en ha	Engrais (quantité/ha)		

A1. Si utilisation de fumier ou compost, pourquoi sur cette/ces parcelle(s) ?

.....
.....

.....
.....

.....
.....

.....
.....

.....
.....

C. Source de connaissances de la technique d'application de l'engrais microdose

1. Depuis combien d'années connaissez-vous la technique microdose ?

.....

2. Quelles sont les sources de vos connaissances de la technique ? (Producteurs, ONG, O.P., services de l'agriculture, radio, ...) (plusieurs réponses possibles)

.....
.....

3. Avez-vous suivi des formations ? Oui / Non

4. Si oui :

Type de formation	quand	durée	Par qui

5. Depuis quand appliquez-vous la technique micro dose?

.....

6. L'appliquez-vous chaque année ? Oui/non

7. Si non, pourquoi ?

.....
.....

D. Description de l'application de la technique micro dose

8. Sur quelle parcelle avez-vous tendance à appliquer la technique micro dose ? (N° de la parcelle) (si possible aller voir la parcelle) (Quelles parcelles privilégieriez-vous en cas d'insuffisance d'engrais ?)

.....

.....

.....

.....

9. Quelles sont les choix qui vous guident dans l'application de la micro dose sur ces parcelles? (*Type de sol, topographie, localisation, fertilité du sol, culture, précédent cultural...*) Pouvez-vous hiérarchiser ? (*Culture>fertilité>autres ...*)

.....

.....

.....

.....

10. Si vous avez déjà appliqué la micro dose sur différentes parcelles, avez-vous pu constater des différences d'efficacité ? Oui / Non ; Précisez les parcelles (leur classement de productivité)

.....

.....

11. A quoi attribuez-vous cette différence de productivité ?

.....

.....

.....

.....

12. L'appliquez-vous uniformément au sein de la parcelle ? Expliquez

.....

.....

.....

.....

13. Appliquez-vous la même quantité d'engrais chaque année ? En fonction de quoi cela varie-t-il ?

.....

.....

.....

.....

14. Sur quelles cultures appliquez-vous la micro dose ?

.....

.....

15. Pouvez-vous hiérarchiser les cultures par ordre d'importance par rapport à la technique MD? (Par exemple Mil>Sorgho>...)

.....
.....

16. Pourquoi cette hiérarchisation ?

.....
.....

17. Quelle est la période d'application ? (*Au semis, à la levée, après le premier sarclage...*)

.....
.....

18. Pourquoi (*contrainte de main d'œuvre, meilleure efficacité, réduction risque, ...*) ?

.....
.....

19. Varie-t-elle selon la culture, expliquez ?

.....
.....

Comment appliquez-vous la micro dose ? (Seriez-vous d'accord de me montrer ?)

20. Dans le poquet / à côté du poquet

21. Quel outil utilisé pour mesurer la dose (capsule, trois doigts, ...)

22. Quel outil utilisé pour enfouir la micro dose

23. Par rapport à la technique apprise, avez-vous adapté la technique en fonction de vos besoins spécifiques ?

.....
.....
.....
.....

24. Lors de l'application de la technique, observez-vous que l'efficacité varie au sein de la parcelle ? oui / non

25. Cette variabilité est-elle observée sur tout type de culture ou sur une culture en particulier ?

.....
.....

26. Sur quelle(s) parcelle(s) ? :

.....
.....

27. Est-ce toujours aux mêmes endroits de la parcelle que l'efficacité est meilleure ou moins bonne ? (Si oui, pouvez-vous me décrire le sol de l'endroit concerné, si possible voir l'endroit concerné)

.....

28. Quelle(s) explication(s) donnez-vous à cela ? (causes de la variabilité)

.....

E. Techniques associées à la micro dose qui ont été mises en œuvre

Là où vous appliquez la micro dose, est-ce que vous avez modifié :

	Si oui, expliquer brièvement
29. La pratique habituelle de préparation du sol ?	
30. La pratique habituelle de fertilisation organique (compost, fumier)	
31. Association de cultures (fixatrice d'azote ?)	
Autres ?	

32. Quelles techniques recommanderiez-vous afin d'améliorer l'efficacité de la micro dose sur vos parcelles ?

Pour l'orienter si besoin : cela peut être des pratiques d'association avec la matière organiques (fumier, compost, parcase,,), des pratiques de conservation (Zaï, diguette ou cordons, demi-lune, résidus de culture), ou des pratiques agronomiques (associations de cultures, rotation, jachère)

.....

33. Quelles sont les contraintes associées à ces techniques (main d'œuvre, pas les outils, charge de travail) ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

F. Propositions apportées par les producteurs

34. Quelles appréciations faites-vous de la productivité suite à l'application de la micro dose par rapport à la pratique habituelle ? (Très élevé, moyennement élevé, sensiblement égale, plus faible).

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Questionnaire des primo-pratiquants

Questionnaire destiné aux producteurs agricoles primo-pratiquants, ne pratiquant la microdose que depuis le projet microferti

Avant tout, il est important de préciser qu'en répondant à ce questionnaire, vous stipulez votre accord à ce que les réponses que vous avez fournies à celui-ci soient utilisées pour une analyse statistique, concernant le mode d'application de la technique micro dose par les producteurs agricoles, dans le cadre de mon mémoire.

Je vous certifie que les données seront traitées de manière strictement anonyme. Aucun lien ne pourra t'être fait entre les réponses et ceux qui les ont produites.

Identification

Date :

Nom :

Village :

A. Composition du ménage et personnes actives dans l'exploitation

Tableau 1.

Personne	Nombre	Age	Education (Alphabétisation, primaire, secondaire, supérieur, coranique, illettré)	Eleveur (oui/non)	Accès au crédit (warrantage ou autre) Oui/non
Chef de ménage	/				
Epouse 1	/	/	/	/	/
Epouse 2	/	/	/	/	/
Epouse 3	/	/	/	/	/
Enfants > 15 ans		/	/	/	/
Enfants 8-15		/	/	/	/
Enfants < 8 ans		/	/	/	/
Autres :.....					

B. Plan Parcellaire

Tableau 2.

N° parcelle	Superfici e (ha)	Distance concessi on (km)	Cultivée depuis combien d'années ?	Mode de propriété ? (Propriété, prêt, location, autre)	Type de sol s'agit-il ? (Nom local au besoin)	Topogra phie (Bas fond, bas de versant, haut de versant, plateau, ...)	2018 :		2017		Rotati ons ?	Paillage
							Cultures + Superficie en ha?	Engrais (quantité/ha)	Cultures + Superficie en ha	Engrais (quantité/ha)		

A1. Si utilisation de fumier ou compost, pourquoi sur cette/ces parcelle(s) ?

.....

.....

.....

.....

.....

C. Source de connaissances de la technique d'application de l'engrais microdose

1. Depuis combien d'années connaissez-vous la technique microdose ?

.....

2. Quelles sont les sources de vos connaissances de la technique ? (Producteurs, ONG, O.P., services de l'agriculture, radio, ...) (plusieurs réponses possibles)

.....

.....

3. Avez-vous suivi des formations ? Oui / Non

4. Si oui :

Type de formation	quand	durée	Par qui

5. Quelles sont les raisons pour lesquelles vous n'appliqueriez pas la fertilisation microdose (manque de connaissances, manque de moyens financiers pour acheter les engrais, manque main-d'œuvre, efficacité incertaine ou insuffisante,) ?

.....

.....

.....

.....

.....

D. Application de la technique micro dose

Compte tenu de ce que vous savez sur la technique de par vos observations ou les formations suivies :

6. Sur quelle parcelle pensez-vous que la micro dose serait la mieux valorisée ? (N° de la parcelle) (si possible aller voir la parcelle) (Quelles parcelles privilégieriez-vous en cas d'insuffisance d'engrais ?)

.....

.....

.....

.....

7. Pourquoi pensez-vous que la technique serait plus efficace sur ces parcelles ? (*Type de sol, topographie, localisation, fertilité du sol, culture, précédent cultural...*) Pouvez-vous hiérarchiser ? (*Culture>fertilité>autres ...*)

.....

.....

.....

.....

8. Sur quelles cultures préféreriez-vous appliquer la micro dose ? Pouvez-vous hiérarchiser les cultures par ordre d'importance ? (*Par exemple Mil>Sorgho>...*)

.....

.....

9. Pourquoi cette hiérarchisation (*plus productif, localisation favorable, plus lucratif sur la marché, plus facile*)?

.....

.....

.....

.....

10. Quelle est la période d'application choisiriez-vous pour la fertilisation micro dose? (*Au semis, à la levée, après le premier sarclage...*)

.....

.....

11. Pourquoi (*contrainte de main d'œuvre, meilleure efficacité, réduction risque, ...*) ?

.....

.....

12. La période d'application varierait-elle selon la culture, expliquez ?

.....

.....

13. Quelles pourrait, selon vous, être les causes de la variabilité dans l'efficacité de la micro dose ?

.....

.....

.....

.....

E. Propositions apportées par les producteurs

14. Selon-vous, quelles techniques ou pratiques agronomiques pourraient augmenter l'efficacité de la technique micro dose. Et pourquoi choisir ces techniques ?

.....

.....

.....

.....

.....

15. Quelles seraient les contraintes associées à ces techniques ? (*Main d'œuvre, pas les outils, charge de travail*)

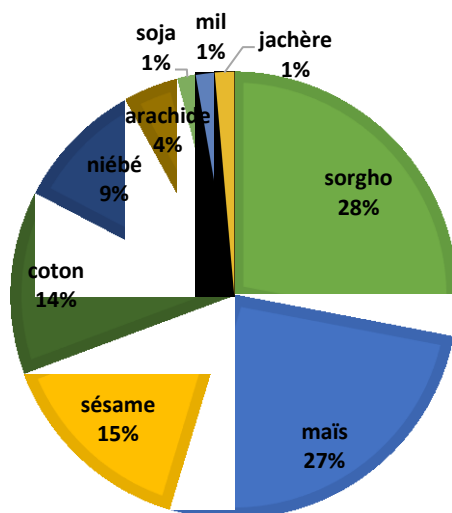
.....

.....

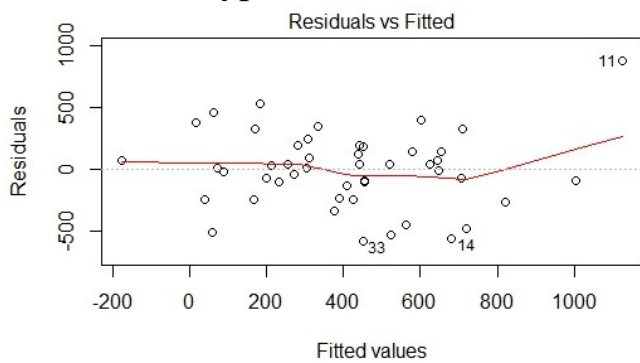
.....

.....

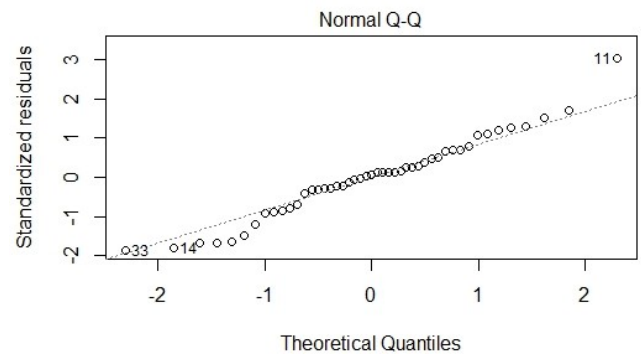
D. Cultures répertoriées en 2017 sur les parcelles d'essais.



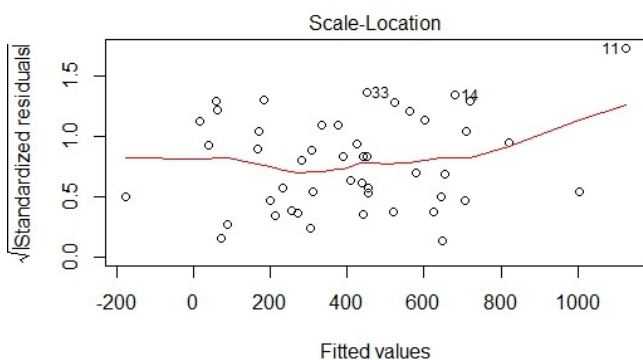
E. Hypothèses du modèle de régression linéaire multiple pour le sorgho



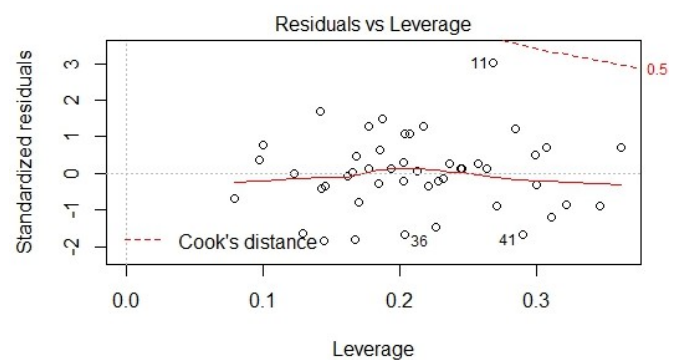
La ligne rouge correspond à la ligne de tendance des résidus. Elle se rapproche de la ligne pointillée. On considère donc qu'il y a **indépendance** des résidus. Les données se placent aussi autour de 0, les résidus sont bien **répartis autour de la moyenne**. La donnée 11 s'écarte significativement de la ligne pointillée mais, au vu des données, elle ne peut être considérée comme outliers.



Test de **normalité des résidus**: si les données se concentrent autour de la droite de pente 1, l'hypothèse de normalité est acceptée. Dans notre cas, les données 11 et 14 posent quelques problèmes mais cela reste acceptable et le modèle ne sera pas trop influencé par cette donnée.



L'hypothèse d'**homogénéité des résidus** est acceptée si les points sont globalement distribués dans un rectangle. C'est le cas ici. Le test de Breusch-Pagan confirme cette hypothèse.



La distance de Cook nous montre quel(s) point(s) ont le plus d'influence dans le modèle. Ici, les données 11, 36 et 41 sont importantes. La première a une réponse à la fertilisation microdose relativement importante, de 2000 kg de grains secs/ha et la donnée 41 a une réponse de 240 kg de grains secs/ha. La donnée 36 à la réponse à la fertilisation microdose la plus faible (-450 kg de grains secs/ha).

F. Valeurs des facteurs d'inflation de la variance pour le sorgho

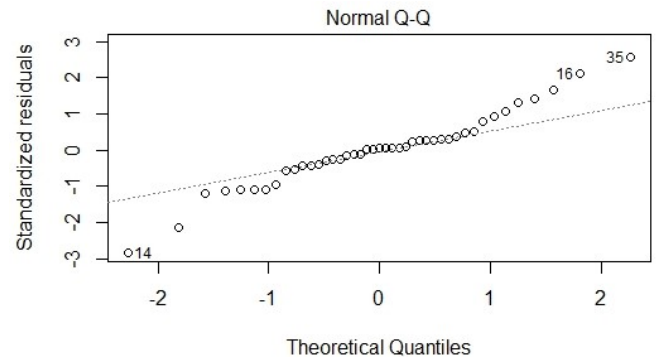
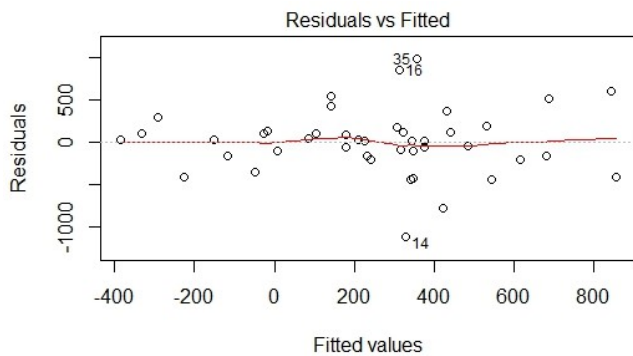
Tableau des FIV pour le sorgho, avec retrait de la donnée 15. Toutes les variables sont incluses dans le modèle. Modèle après la régression stepwise.

	GVIF
Rendement.temoin..kg.grain.sec.ha.	1.57
elevation..m.	2.81
annee.depuis.la.mise.en.culture	1.88
occupation.du.sol.environnant	2.36
Application.NPK.l.annee.precedente	1.89
classe.enherbement	1.78
Incidence.du.striga	1.41
semis	1.60

Tableau des FIV pour le sorgho, avec retrait de la donnée 15 et des variables « application de NPK en 2017 », « caractéristiques de surface » et « distance depuis la concession ».
Modèle après la régression stepwise.

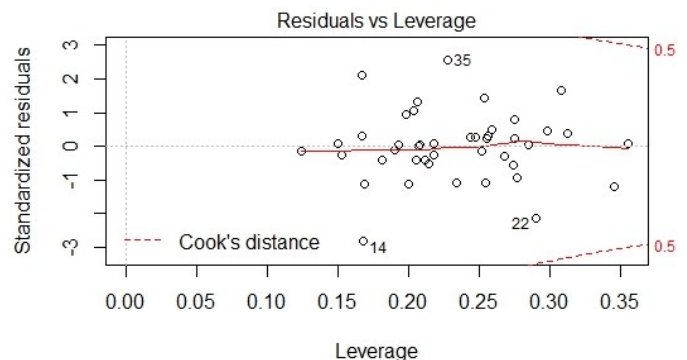
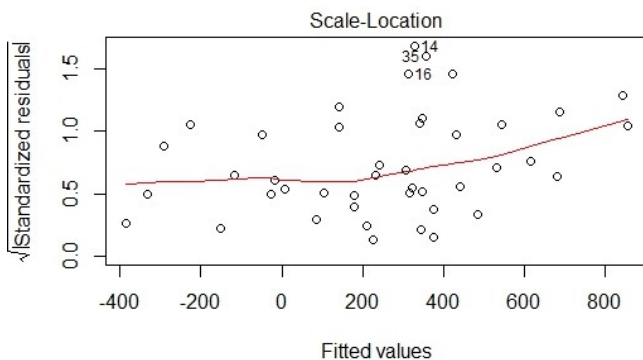
	GVIF
elevation..m.	3.53
annee.depuis.la.mise.en.culture	1.76
topographie_parcelle	2.29
occupation.du.sol.environnant	2.48
Incidence.du.striga	1.26
semis	1.97

G. Hypothèses du modèle de régression linéaire multiple pour le maïs



Les résidus se situent aléatoirement autour de la moyenne, il y a **indépendance des résidus**. Les données 14, 16 et 35 se situent à l'écart mais, ne se trouvant pas aux extrémités de la figure, elles ne posent pas trop de problème. Ces données ont des réponses de 680 et de 1333 kg de grains secs/ha pour les données 16 et 35 respectivement. La donnée 14 a une réponse de -480 kg de grains secs/ha.

L'hypothèse de **normalité des résidus** est difficilement acceptée, certaines données se situant autour de la droite de pente 1.



L'hypothèse d'**homogénéité des résidus** est acceptée si les points sont globalement distribués dans un rectangle. C'est le cas ici. Le test de Breusch-Pagan confirme cette hypothèse.

La distance de Cook nous montre quel(s) point(s) ont le plus d'influence dans le modèle. Ici, les données 14, 22 et 35 sont importantes.

H. Valeurs des facteurs d'inflation de la variance pour le maïs et R² pour les modèles correspondants

Tableau des FIV pour le maïs. Toutes les variables sont incluses dans le modèle. Modèle après la régression stepwise.

	GVIF
Rendement.temoin..kg.grain.sec.ha.	1.88
profondeur.de.sol..cm.	2.8
dist.concession	8.03
topographie_paysage	8.09
occupation.du.sol.environnant	5.33
classe.enherbement	1.64
pluviometrie.sur.la.pperiode.critique	1.92

Les valeurs en rouge représentent des FIV trop élevés.

R²= 0,57

Tableau des FIV pour le maïs, avec retrait de la variable « topographie du paysage ». Modèle après la régression stepwise.

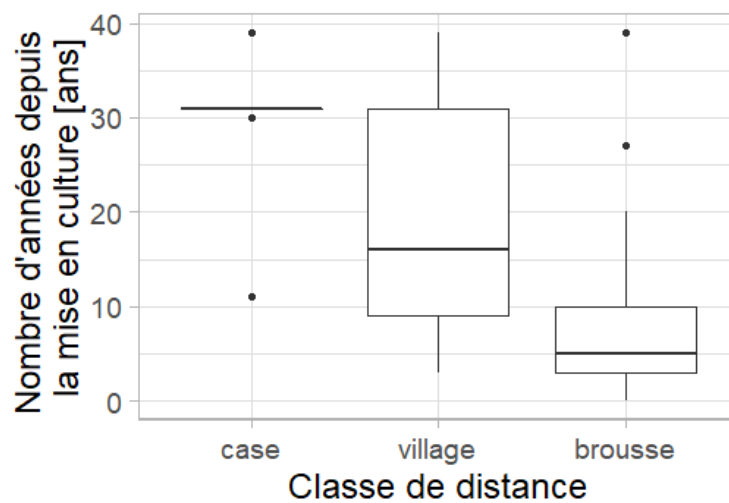
	GVIF
Rendement.temoin..kg.grain.sec.ha.	1.63
profondeur.de.sol..cm.	3.29
dist.concession	4.01
caracteristique.de.surface	4.64
occupation.du.sol.environnant	4.64
classe.enherbement	1.45
pluviometrie.sur.la.pperiode.1	1.47

R²=0,52

Tableau des FIV pour le maïs, avec retrait des variables « topographie du paysage » et « occupation du sol environnant ». Modèle après la régression stepwise.

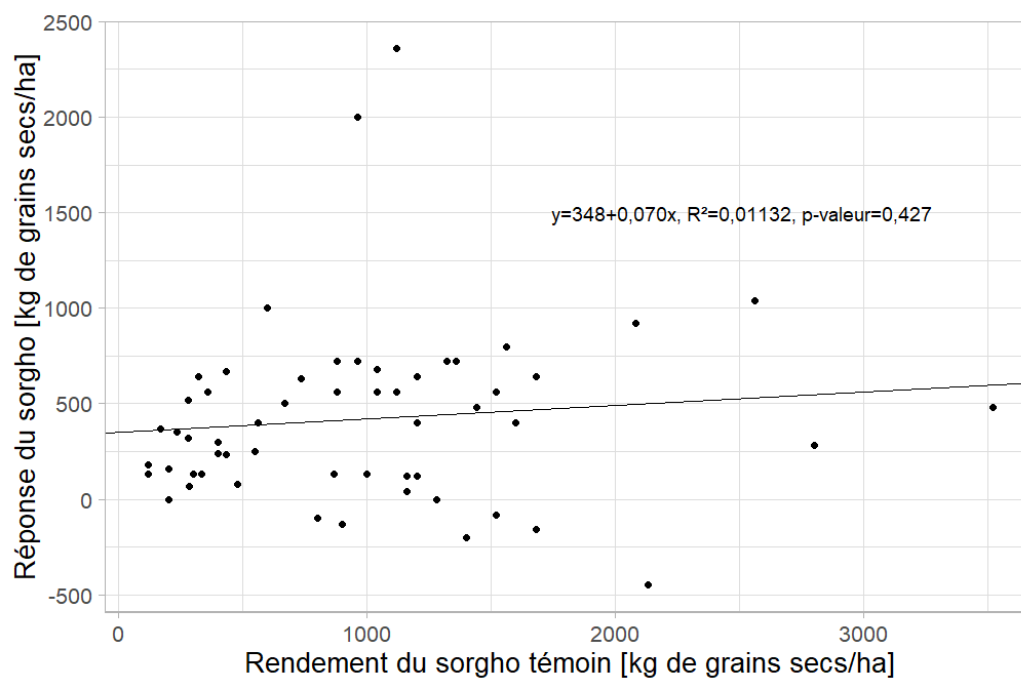
	GVIF
elevation..m.	1.87
dist.concession	2.63
caracteristique.de.surface	1.84
classe.enherbement	1.37
pluviometrie.sur.la.pperiode.critique	1.81

I. Boite à moustache : Année depuis la mise en culture-distance depuis la concession pour le maïs

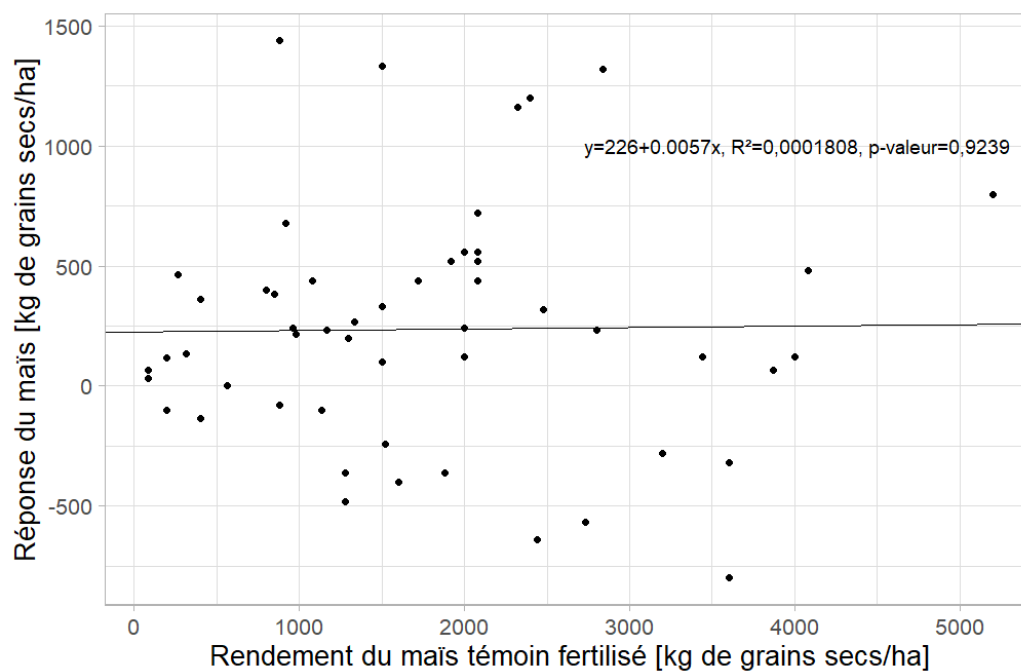


J. Modèle linéaire simple entre le rendement témoin et la réponse à la fertilisation microdose pour le sorgho et le maïs

Sorgho



Maïs



Identification des facteurs environnementaux et agronomiques affectant la réponse à la fertilisation microdose dans le sud du Burkina Faso.

Présenté par **Chloé Rosy**

Résumé. La fertilisation microdose a été largement recommandée en Afrique afin de maintenir la production agricole sans avoir recours à des grandes quantités d'engrais. Cependant, une grande variabilité des rendements sous microdose rend la technique moins attractive et son adoption reste partielle dans certaines régions. Il est dès lors indispensable de comprendre les facteurs engendrant cette variation afin de proposer une technique fiable qui puisse se répandre.

L'étude réalisée se concentre sur la Sissili, une province dans la région du centre-Ouest du Burkina Faso, où, en 2018, 3 villages ont servi à l'implantation de parcelles d'essais. Premièrement, un séjour dans la région a permis d'enquêter auprès de certains producteurs. De ces enquêtes, il ressort que la microdose est une technique qui est appréciée dans la région mais peu utilisée à cause de la demande en main d'œuvre qu'elle nécessite et du manque de connaissance à propos de la technique. Les facteurs de variabilité sont aussi abordés avec le type de sol et la topographie qui sont mentionnés. Les sols moins fertiles et les sols sableux et argileux sont préférés par les agriculteurs pour l'implémentation de la technique.

Ensuite, sur les parcelles d'essais, 4 traitements sont testés: pour la microdose, 2g de NPK et 1g d'urée sont utilisés pour la culture du sorgho et 4g de NPK et 2g d'urée pour le maïs. Chaque parcelle comporte un témoin non fertilisé pour le sorgho et un témoin avec 150 kg d'engrais et 50 kg d'urée pour le maïs. Une augmentation significative, de 42%, est constatée entre le rendement du sorgho sous microdose et le témoin. Pour le maïs, il n'y a statistiquement pas de différence entre le rendement d'une parcelle sous microdose et une parcelle témoin fertilisée. La variabilité sous microdose est plus importante que les témoins pour les deux cultures. Une analyse multivariée a permis de définir les facteurs qui jouent un plus grand rôle dans la réponse à la fertilisation microdose. Ceux-ci sont la présence de striga sur les parcelles, le nombre d'années depuis la mise en culture et la topographie de la parcelle pour le sorgho. Pour le maïs, la pluviométrie, la distance de la parcelle depuis la concession, l'enherbement, l'élévation et le type de sol influencent la réponse à la fertilisation microdose.