



REPUBLIQUE DU BENIN

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI (UAC)

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET DE L'EAU

Formation doctorale : Sciences et Techniques de Production Végétale (STPV)

Option : Ressources phytogénétiques et protection des cultures

Spécialité : Horticulture et Systèmes Cultureux

Systèmes de culture et durabilité des pratiques agricoles au Sud-Kivu (République Démocratique du Congo)



THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

Présenté par **Shakanye NDJADI Serge**

Directeur de la thèse

Professeur Léonard Essèhou AHOTON, Professeur Titulaire, Université
d'Abomey-Calavi, Bénin

Août 2021

Pour citer ce document:

Ndjadi, S. S. (2021). Systèmes de culture et durabilité des pratiques agricoles au Sud-Kivu (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 150 pages.

In memorium

A mon Père, Paul OLEKO LOPAKA arraché à mon affection durant le cheminement de cette thèse ;
Cher Papa, je garderai pleinement de toi, les souvenirs d'un repère ; Dieu étant souverain, dans la
félicité céleste, réjouis-toi de cette œuvre dont tu es le principal artisan et qui honore ta mémoire.

Dédicace

A Jokebed et Eunice, mes chères filles, c'est bien vous les déterminants de ma motivation. Daigne l'Etre Suprême vous accorde la grâce de me surpasser !

Remerciements

Les quatre années qui viennent de s'écouler furent fortement riches en émotion ; je vais donc prendre le temps à travers cette plume pour exprimer ma reconnaissance et sympathie à toutes les personnes tant physiques que morales qui m'ont soutenu dans ce cheminement.

Tout d'abord à toi l'agneau de la rédemption, Jésus de Nazareth pour ta mort sacrificielle qui n'a pas été vaine pour moi, source d'un bonheur infaillible par la volonté du Dieu le père.

L'aboutissement de ce travail est le fruit d'une collaboration tripartite entre le RUFORUM (Le Forum des universités régionales pour le renforcement des capacités en agriculture), l'Université Evangélique en Afrique et l'Université d'Abomey-Calavi. A travers le mécanisme de collaboration mis en place, l'Université d'Abomey-Calavi m'a accordé la gratuité totale des frais d'inscription et de formation ; l'Université Evangélique en Afrique, mon Université de provenance a soutenu mes frais de voyage et les autres frais y afférants ainsi qu'une partie de la recherche. Le RUFORUM pour sa part a formalisé le cadre de collaboration et a supporté financièrement une partie de la recherche. Ma sincère reconnaissance va à l'endroit de cette coopération et à ces trois institutions.

J'ai une pensée pleine de gratitude à l'égard de mes promoteurs, le Professeur Léonard Essèhou Ahoton pour avoir accepté de prendre la direction de cette thèse, pour ses remarques, orientations combien pertinents ainsi que pour le climat de travail très convivial, lequel climat a contribué significativement à ma formation et à l'heureux l'aboutissement de cette œuvre. Les vertus tant scientifiques qu'humaines rattachées à votre personnalité Professeur vaudront toujours toute mon admiration. Je vais exprimer en outre mon sentiment de reconnaissance à l'endroit du Professeur Aliou Saïdou et du Docteur Pierre Vissoh pour le temps qu'ils m'ont accordé malgré leurs multiples charges. Ces précieux moments accordés et hautement appréciés m'ont permis de conduire ce travail à terme. Estimés Professeurs, daignez recevoir ma haute reconnaissance. Je remercie de tout cœur, en toute modestie, le Professeur Roger Vumilia Kizungu, c'est avec lui que j'ai commencé les réflexions sur la thématique de cette thèse, il a toujours été à mon écoute en cas de besoin, grâce à ses jugements et reflexes d'expert, je suis parvenu à l'aboutissement de cette étude ; cher maître, je garderai de vous les souvenirs d'un grand motivateur !

Je tiens à remercier diligemment le Professeur Gustave Mushagalusa Nachigera, Recteur de mon Université et mon promoteur local pour les divers soutiens accordés. Je suis conscient de la confiance qu'il a placée en moi et de son implication directe dans les étapes clés de mon parcours

tant universitaire que professionnel et de la réalisation de cette thèse. En sa qualité de promoteur local, il m'a aidé à prendre certaines décisions clés pour un bon aboutissement de cette œuvre. Mes hommages les plus déférents Professeur !

Au Professeur Katcho Karume, Doyen de la faculté des sciences agronomiques et environnement, pour son sens de responsabilité, d'écoute et de rigueur. Grâce à ses conseils et orientations combien appropriées, me voici au bout de cette œuvre, Recevez par la présente, l'expression de ma profonde gratitude Professeur !

Les pensées avancées dans cette œuvre sont généralement basées sur mes perceptions d'ingénieur agronome phytotechnicien et d'environnementaliste, raison pour laquelle, je suis humblement reconnaissant à l'égard de mes institutions formatrices : de prime à bord, la Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement de l'Université Evangélique en Afrique, le Centre International d'Agriculture Tropicale à travers son projet Harvestplus, la Plateforme Diobass au Kivu, l'Institut International d'Agriculture Tropicale, station de Kalambo ainsi que la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey - Calavi. Je tiens à exprimer ma gratitude à l'endroit des animateurs de toutes ces institutions. Nommément, je vais citer les professeurs Espoir Bisimwa, Antoine Kanyenga et Philippe Laleye, les Docteurs Bello Daouda, Félix Kouélo, Euloge Togbé et Léon Nabahungu, mais aussi Monsieur Sylvain Mapatano, coordonateur de la Plate-forme Diobass au Kivu. J'apprécie énormément le concours et la collaboration de tous mes collègues, amis et aînés de la Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement de l'Université Evangélique en Afrique. Chers amis, prière trouver ici, l'expression de ma profonde reconnaissance pour votre sens de bienveillance et multiples contributions dans la réalisation de cette thèse.

Je suis reconnaissant à l'égard de tous mes facilitateurs et maraîchers que j'ai rencontrés dans le cadre de cette étude, vous êtes au centre de ce travail qui vous doit largement son effectivité : M. Idelphonse Kajangu, M. Delphin Amani, Ir. Achiza Bayisha et Ir. Serge Nachigera, je suis conscient de votre précieux apport.

Que mon parrain de mariage, Elysée Mushagalusa, mon pasteur Max Mwamba, ma belle-famille ; mes amis et connaissances : Professeur Ayagirwe et son épouse Alliance, Professeur Azine, Yannick et son épouse Marie, Jack et son épouse Joyce, Noël et son épouse Irène, David et son épouse Claudine, Dr Noël et son épouse Chanceline, Jean – Gomez et son épouse Henriette, Christophe et son épouse Christelle, Francine, Espoir, Arsène, Julie, Léonard, maman Deborah et toute sa famille trouvent ici ma gratitude pour leurs divers apports combien louables dans la réalisation de cette

œuvre. Je n'oublie pas le grand soutien et faveurs reçus de la part de Papa et maman Michel Etchou Ndjadi, je dis éternellement merci ainsi qu'à toute la grande famille Ndjadi.

Un grand merci, je l'adresse à toute ma famille, mes parents, mon feu père, Paul Oleko Lopaka et ma tendre mère, Stéphanie Alawo Ndjadi, mes frères, sœurs, nièces et tous les membres de ma grande famille tant physique que spirituelle pour toutes formes de soutien indéfectible que vous n'avez jamais cessé de m'apporter en tout temps et circonstance.

Jeannette, tu devais certes te demander quand aurais-tu ton nom dans les écrits de cette section ? Eh bien voilà ; j'ai réservé le meilleur pour la fin ! Je suis humblement conscient que cette thèse ne pouvait aboutir sans ton soutien ma chère épouse ; ta patience et tant de sacrifices que tu as consentis à supporter seule certains durs moments suite à cette cause. Tu as été omniprésente, toujours à l'écoute, m'épaulant, me donnant du courage, me rassurant alors que je doutais parfois de mes compétences. Tu as souvent été triste et parfois tu as coulé des larmes en me voyant m'éloigner de toi à la quête du savoir pour de longs moments. Mais tu as toujours gardé espoir qu'il y aura un jour une fin. Eh oui ma très chère, me voilà à la fin de cette aventure. Merci pour ton indéfectible soutien et tous ces sacrifices consentis ma chère épouse.

Il m'est impossible de citer toutes ces personnes combien formidables et merveilleuses que j'ai rencontrées durant ces quatre années et qui ont contribué parfois même sans s'en rendre compte à ce parcours scientifique mais aussi et surtout humain qu'a constitué cette thèse ; je ne peux que vous être obligé. Ma pensée est à vous mes collègues de promotion de tous les niveaux d'étude, mais aussi à vous tous, citoyens du monde qui avez croisé directement ou indirectement ma trajectoire lors de la réalisation de cette œuvre, je vous dis merci du plus profond de mon cœur pour ce que vous m'avez apporté.

Table des matières

In memorium.....	ii
Dédicace.....	iii
Remerciements.....	iv
Table des matières.....	vii
Liste des tableaux.....	xi
Liste des figures	xii
Sigles et abréviations	xiii
Résumé.....	xiv
Abstract.....	xv
Introduction générale	1
Chapter 1. Advantages and prospects of intercropping systems and organic fertilizers in vegetable production: A review	8
1.1 Introduction	9
1.2 Sustainable agriculture and ecological intensification	11
1.3 The market gardening.....	11
1.4 Advantages of intercropping and organic fertilization in vegetable production.....	12
1.4.1 Overview of intercropping.....	12
1.4.2 Intercropping and vegetable crop productivity.....	12
1.4.3 Intercropping and the phytosanitary management of vegetable crops	15
1.4.4 Intercropping and the nutritional properties of vegetable produce.....	17
1.4.5 Intercropping and economic profitability of vegetable crops.....	18
1.5 Overview of organic fertilization, vegetable crop productivity and soil health.....	19
1.5.1 Organic fertilization in vegetable production.....	19
1.5.2 Benefits of organic fertilization on vegetable crop productivity and soil health.....	19
1.5.3 Organic fertilizers and the quality of vegetable products.....	21
1.5.4 Organic manure and the economic profitability of vegetable crops.....	22
1.6 Prospects for successful organic fertilization and intercropping in vegetable production.....	24
1.7 Conclusion.....	25
Chapter 2: Typology and Prospects for the Improvement of Market Gardening Systems in South-Kivu, Eastern DR Congo	27
2.1. Introduction.....	27

2.2. Method	29
2.2.1 Study area	29
2. 2.2 Sampling, Data Collection, and Analytical Methods	31
2.2.3 Statistical Analysis of the Data.....	31
2.3. Resultados	33
2.3.1 Description of Socio-demographic Characteristics of Producers by groupement.....	33
2.3.2 Educational Background, Technical and Economic Characteristics of Producers.....	35
2.3.3 Diversity of Market Garden Farms in the Study Area.....	36
2.3.4 Description of Three Main Types of Market Garden Farms Encountered in the Study Area	37
2.3.5 Socio-economic and Demographic Characteristics of Market Garden Farmers in the Study Area According to Classes	37
2.3.6 Characteristics Related to Cropping Systems.....	38
2.3.7 Analysis of the Determinants of Production Appreciation.....	41
2.3.8 Separation of Modalities with Significant Determinant Effects.....	41
2.3.9 Frequency Distribution of Market Gardening in the Region.....	43
2.3.10 Frequency Distribution of Vegetable Crop Combinations in the Study Area	44
Chapitre 3 : Evaluation de la durabilité des exploitations maraîchères au Sud-Kivu (Est de la R.D. Congo).....	50
Résumé.....	50
3.1 Introduction	51
3.2 Méthodologie	52
3.2.1 Zone d'étude	52
3.2.2 Echantillonnage et collecte des données	53
3.2.3 Evaluation de la durabilité.....	54
3.2.4 Utilisation et analyse statistique des résultats.....	55
3.3 Résultats	56
3.3.1 Caractéristiques socioéconomiques et techniques des exploitations maraîchères de Kabare	56
3.3.2 Variation de la durabilité des exploitations maraîchères de Kabare.....	58
3.3.3 Durabilité agroécologique.....	58
3.3.4 Durabilité socio-territoriale.....	59
3.3.5 Durabilité économique.....	61
3.4 Discussion	62

3.5 Conclusion.....	64
Chapter 4. Yield potential and land-use efficiency of onion intercropped with groundnut under organic soil fertility management in Eastern D.R. Congo	66
4.1 Introduction	67
4.2 Materials and Methods	68
4.2.1 Site description	68
4.2.2 Experimental design and field management.....	69
4.2.3 Crop harvesting and intercropping system performance assessment	71
4.2.4 Statistical analysis.....	73
4.3 Results	73
4.3.1 Rainfall and temperature variations during the study period	73
4.3.2 Onion bulb yield potential	74
4.3.3 Land Equivalent Ratio (LER) and Area Time Equivalent Ratio (ATER) of onion intercropped with groundnut regarding the different fertilization options	75
4.3.4 Land-use efficiency of onion intercropped with groundnut under different fertilizers options	77
4.3.5 Competitive indices of onion intercropped with groundnut under different fertilization options	78
4.4 Discussion	79
4.5 Conclusion.....	82
Chapitre 5 : Evaluation participative et avantage économique de l'association culturale oignon-arachide au Sud-Kivu, Est de la R.D Congo.....	84
Résumé	84
5.1 Introduction	86
5.2 Matériels et méthodes.....	87
5.2.1 Description du site expérimental	87
5.2.2 Conduite de l'étude et collecte des données	88
5.2.3 Calcul de la profitabilité des systèmes de culture par la méthode Rapport Valeurs–Coûts	89
5.2.4 Méthode d'enveloppement des données : Choix, théorie et efficacité	89
5.2.5 Evaluation participative : collecte des données et méthodes d'analyse	90
5.2.6 Analyse statistique des données	91
5.3 Résultats	91
5.3.1 Evaluation économique	91

5.3.2 Analyse de la variance de la profitabilité et de l'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide sous l'effet des systèmes de culture et de la fertilisation.....	91
5.3.3 Moyenne de profitabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des systèmes de culture.	92
5.3.4 Moyenne de profitabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des options de fertilisation.....	93
5.3.5 Moyenne de profitabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des systèmes et fertilisations	93
5.3.6 Evaluation sociotechnique des opinions des producteurs.....	95
5.3.7 Phase de préparation du terrain et de semis.....	95
5.3.8 Opinions positives	95
5.3.9 Opinions négatives	96
5.3.10 Phase de croissance et de développement	98
5.3.11 Opinions positives	98
5.3.12 Opinions négatives	99
5.3.13 Phase de récolte	100
5.3.14 Opinions positives	100
5.3.15 Opinions négatives	101
5.4 Discussion	102
5.5 Conclusion.....	105
Chapitre 6. Discussion générale, conclusion et perspectives.....	106
6.1 Discussion générale.....	106
6.2 Implication pour le développement.....	111
6.3 Conclusion.....	112
6.4 Perspectives.....	113
Références bibliographiques.....	115
Liste des publications et communications	147
Participation aux séminaires et colloques scientifiques.....	149

Liste des tableaux

Table 1.1: Advantages of intercropping on vegetable crop productivity.....	13
Table 1.2: Advantages of associated crops to plant health management in vegetable crops.....	15
Table 1.3: Advantages of intercropping on the nutritional quality of vegetable crops.....	17
Table 1.4: Advantages of intercropping on the economic profitability of vegetable crop production	18
Table 1.5: Advantages of organic amendment on vegetable crop productivity and soil health	19
Table 1.6: Advantages of organic fertilizer amendments on the quality of vegetable products	21
Table 1.7: Advantages of organic fertilizers on the economic profitability of vegetable crops	23
Table 1.8: Perspectives for successful organic fertilization of associated crops in vegetable production	24
Table 2.1: Description of socio-demographic characteristics of producers according to the groupements	33
Table 2.2: Educational background, technical and economic characteristics of producers.....	35
Table 2.3: Socio-economic and demographic characteristics of market garden farms	37
Table 2.4: Shows the characteristics relates to the cropping systems at Kabare.	38
Table 2.5: Presents the determinants of production appreciation.	41
Table 2.6: Separation of modalities with significant determinant effects.....	41
Table 2.7: Frequency distribution of gardening items in the region.	43
Table 2.8: Frequency distribution of gardening combined items	44
Tableau 3. 1 : Caractéristiques socioéconomiques et techniques des exploitations maraîchères de Kabare	56
Tableau 3. 2: Score de durabilité agroécologique en fonction des types d'exploitations	58
Tableau 3. 3 : Scores de durabilité socio-territoriale en fonction des types d'exploitations	59
Tableau 3. 4 : Scores de durabilité économique en fonction des types d'exploitations	61
Table 4. 1: Soil physico-chemical properties of the experimental site and farmyard manure (FYM) used for soil fertility management	70
Table 4.2: Effect of cropping system, fertilizer and their interaction on Land Equivalent Ratio (LER) and Area Time Equivalent Ratio (ATER) for onion intercropped with groundnut.	76
Table 4.3: Overall competitive indices' variation with cropping systems and fertilizers.....	78

Tableau 5. 1: Structure des traitements	88
Tableau 5.2: Résultats de l'analyse de la variance de la profitabilité et de l'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide sous l'effet des systèmes de culture et de la fertilisation.....	91
Tableau 5.3: Valeurs moyennes de la profitabilité et de l'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des systèmes de culture.....	92
Tableau 5.4 : Valeurs moyennes de profitabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des options de fertilisation.	93
Tableau 5.5 : Valeurs moyennes de profitabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction de l'interaction des systèmes de culture et des fertilisants	94

Liste des figures

Figure 2.1 Map of the study area	30
Fig 3.1. Carte du territoire de Kabare.	53
Figure 4.1: Monthly total rainfalls and average air temperatures for the study period in Kashusha area.	73
Figure 4. 2: Effects of the cropping system on bulb yields of onion intercropped with groundnut in eastern DRC (average of two years).	74
Figure 4.3 Effect of the fertilization options on bulb yields of onion intercropped with groundnut in eastern DRC (average of two years).	75
Figure 4.4 Land-use efficiency: (a-b) as affected by cropping systems and (c-d) by fertilizers.	77

Sigles et abréviations

A	: Agressivité
ACM	: Analyse à Correspondance Multiple
ACP	: Analyse en composantes principales
ANOVA	: Analyse of variance
CIALCA	: Consortium for Improving Agriculture-based Livelihoods in Central Africa
CIAT	: Centro International d'Agriculture Tropicale
CR	: Competitive Ratio
DEA	: Data Envelopment Analysis
DSCR	: Document de stratégie pour la réduction de la pauvreté
EUT	: Efficience d'Utilisation de la Terre
FAO	: Food and Agricultural Organization
IDEA	: Indicateur de la Durabilité de la Production Agricole
IDPM	: Indicateur de la durabilité de la production maraîchère
IFPRI	: The International Food Policy Research Institute
IITA	: International Institute for Tropical Agriculture
INERA	: Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomique
IPAPEL	: Inspection Provinciale d'Agriculture, Pêche et Elevage
MINAGRI	: Ministère de l'Agriculture
PAM	: Programme Alimentaire Mondial
PNIA	: Programme National d'Investissement Agricole
PNUD	: Programme des Nations-Unies pour le Développement
RDC	: République Démocratique Du Congo
RET	: Rendement Equivalent des Terres
RSTE	: Rendement Surface Temps Equivalent
RUFORUM	: Forum des universités régionales pour le renforcement des capacités en agriculture
RVC	: Rapport valeur-coût
SAS	: Statistical Analysis System
SNK	: Student Newman-Skeuls
SNSA	: Service National des Statistiques Agricoles
USAID	: U.S. Agency for International Development

Résumé

Les besoins alimentaires et l'intérêt croissant de la gestion efficiente de facteurs de production imposent la nécessité des actions durables autour des secteurs clés de l'agriculture. Pour ce faire, la présente thèse s'est proposée de contribuer à l'amélioration de la durabilité des agrosystèmes maraîchers à travers l'intensification écologique. Pour y parvenir, la recherche documentaire, le diagnostic généralisé et spécialisé, les essais agronomiques en milieu réel et des travaux de laboratoire ont été réalisés. Le diagnostic généralisé sur la diversité des systèmes de cultures maraîchers a permis de déterminer les catégories des exploitations maraîchères qui se répartissent comme suit : grande taille, superficie comprise entre 0,5 et 1 ha (14,40%) ; taille moyenne, superficie comprise entre 0,25 et 0,50 ha (72,83%) ; et enfin de petite taille, superficie inférieure à 0,25 ha (12,77%). Les exploitations de grande et moyenne tailles sont orientées vers des systèmes de cultures pure et spécialisée, tandis que les exploitations de petite taille sont tournées vers des systèmes de culture diversifiés et intégrés. Les grandes et les moyennes exploitations ont comme contraintes : les variabilités climatiques, la dégradation de la fertilité du sol, les maladies et ravageurs ainsi que la tendance aux sensibilités du marché. En revanche, les petites exploitations n'ont pour contrainte que leur faible superficie. Le diagnostic spécialisé sur la durabilité indique que, sur un maximum de 100 points possibles, les exploitations de petite taille obtiennent des scores de 60 %, 53% et 57% sur les trois dimensions respectives de la durabilité : agroécologique, socio-territoriale et économique. Sur toutes ces dimensions, les grandes exploitations ne dépassent pas la barre de 48% et les moyennes exploitations n'ont obtenu que 52% sur la dimension socio-territoriale. Le modèle d'intensification écologique initié à partir de deux variétés d'oignon et de deux variétés d'arachide sous un plan de fertilisation organique, a indiqué que ces deux cultures sont agro écologiquement compatibles aux regards des indices de productivité et de compétition obtenus. Quelles que soient la combinaison d'associations et la saison culturale, les valeurs du RET (Ratio Equivalent des terres) ont varié de 1,61 à 2,38. En termes de fertilisation, l'engrais organique en apport unique ou saisonnier contribue de façon égale à la formation du rendement de l'oignon (16 t. ha⁻¹). L'oignon est économiquement viable en association avec des valeurs du RVC qui varient entre 4,58 pour une efficience de 90% et 3,53 pour une efficience de 71%. Le scepticisme des producteurs au départ sur l'association culturale oignon–arachide a évolué suite aux effets bénéfiques collectivement identifiés. Ces résultats supposent que l'intégration des légumineuses en culture maraîchère), constitue une stratégie d'intensification écologique pour la durabilité de la production à l'Est de la RD. Congo.

Mots clés : Agroécologie, vulnérabilité, maraîchage, sécurité alimentaire, innovation, RD. Congo

Abstract

Food needs and the growing interest in efficient management of production factors require sustainable actions around key agricultural sectors. To this end, the present thesis aims to contribute to the improvement of the sustainability of vegetable agrosystems through ecological intensification. To achieve this, literature review, generalized and specialized diagnosis, agronomic field trials and laboratory work were conducted. The global diagnosis on the diversity of market gardening systems allow to determine the percentages of farms distributed as follows: large size, area between 0.5 and 1 ha (14.40%); medium size, area between 0.25 and 0.50 ha (72.83%); and finally small size, area less than 0.25 ha (12.77%). The large and medium-size farms are oriented towards pure and specialized cropping systems, while the small-size farms are oriented towards diversified and integrated cropping systems. The large and medium-size farms face the following constraints: climatic variability, soil fertility degradation, diseases and pests, and market sensitivities. In contrast, small size - farms are constrained only by their size. The specialized sustainability diagnostic indicated that, out of a maximum of 100 possible scores, small farms scored 60%, 53% and 57% on the three respective dimensions of sustainability: agroecological, socio-territorial and economic. On all these dimensions, large farms – sized did not exceed the 48% mark and medium-sized farms only scored 52% on the socio-territorial dimension. The ecological intensification model initiated with two varieties of onion and two varieties of peanut under an organic fertilization plan indicated that these two crops are agro-ecologically compatible with respect to the productivity and competition indices used. Regardless of the mixture of intercropping and the cropping season, the LER (Land Equivalent ratio) values ranged from 1.61 to 2.38. In terms of fertilization, single or seasonal organic fertilizer contributed equally to onion yield (16 t. ha^{-1}). Onion was economically viable in combination with BCR values ranging from 4.58 for 90% efficiency to 3.53 for 71% efficiency. Producers' initial skepticism about the onion-peanut intercropping has changed as a result of the beneficial effects collectively identified. These results suggest that the integration of legumes into vegetable crops is an ecological intensification strategy for the sustainability of production in eastern DR. Congo.

Key words: Agroecology, vulnerability, market gardening, food security, diagnosis, RD. Congo

Introduction générale

Introduction générale

Contexte et justification de l'étude

Avec plus de 80 millions d'hectares de terre arable, la République Démocratique du Congo (RDC) possède un potentiel agronomique exceptionnel, inégalé en Afrique (MINAGRI, 2013 ; Lebailly *et al.*, 2015). L'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI) estime que la RDC a le potentiel pour produire de quoi nourrir 3 milliards d'individus (ANAPI, 2015). Malgré cet énorme potentiel, le pays est classé parmi ceux à faible revenu et à déficit vivrier (DSCR, 2011). Une grande partie de la population reste exposée à l'insécurité alimentaire, la malnutrition, la faim et le chômage (PNUD, 2014).

En Province, le PNUD/RDC (2017) a montré que le taux de la pauvreté au Sud-Kivu, en RDC était de 84,7%, supérieur à la moyenne nationale (71,3%). Ainsi, s'observe-t-il que les liens entre la sévérité de la pauvreté et la situation alimentaire sont flagrants (Bucheabiri et Mapatano, 2013). Cette situation est due au faible revenu de sa population surtout rurale qui évolue dans des environnements socioéconomiques précaires. Ce climat pousse les populations rurales à l'exode vers les grandes villes, avec comme conséquence l'augmentation sans cesse des besoins alimentaires en milieux urbains comme la ville Bukavu (Wvima *et al.*, 2013).

Le secteur agricole de la RDC en général est actuellement moins performant que les autres secteurs économiques. Son apport prévu au budget national en 2019 était de 19,7% (World Bank, 2018). Pourtant l'agriculture qui devrait être le secteur clé pour cette contribution et dans la lutte contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire est toujours à la traîne. Par conséquent, répondre aux défis du cycle Malthusien de l'équilibre entre l'accroissement de la population et les besoins alimentaires implique une mobilisation déterminante de tous les secteurs de la production agricole.

Comme au Burkina-Faso (Ouédraogo *et al.*, 2019), le maraîchage est l'un des secteurs agricoles en plein essor ces dernières années en RDC. En effet, les spéculations légumières ont un cycle de croissance réduit, elles sont riches en éléments nutritifs et peuvent produire rapidement des gains économiques contrairement aux autres types des spéculations (Ndjadi *et al.*, 2020). Les attributs sus-évoqués font du secteur maraîcher un secteur stratégique pouvant être efficacement mis à contribution face à la problématique de l'insécurité alimentaire, du chômage, de la famine, de la malnutrition et de la pauvreté.

A la suite de la précarité des besoins alimentaires et d'une demande importante en légumes du pays, le débat sur le système agricole du secteur maraîcher s'organise autour de deux grands modèles de référence : l'un prône la poursuite d'un système productiviste et l'autre propose l'agroécologie. Selon Van der Werf *et al.* (2014), le système productiviste souhaite moderniser l'agriculture traditionnelle en simplifiant les systèmes traditionnels et en les ouvrant à l'utilisation d'intrants extérieurs, souvent de synthèse, alors que le projet de l'agroécologie consiste à remettre les fonctionnements écologiques au centre des systèmes agricoles, de transformer les connaissances et ressources locales en opportunités (Akwasi, 2014).

Il semble toutefois évident que les effets de certaines pratiques du système productiviste dont la culture pure et les intrants chimiques sur la qualité des récoltes, l'efficacité des facteurs de production, la durabilité de la production et des facteurs de production sont dans certains cas inquiétants (Ahouangninou, 2013). On observe une dégradation de la fertilité des sols, l'apparition des maladies et des parasites, la hausse des coûts de production, la pollution des eaux et des sols par l'utilisation abusive de produits chimiques et l'accumulation de certains produits toxiques sur les cultures (Bayendi *et al.*, 2017 ; Mutwedu *et al.*, 2021).

Il est reconnu par ailleurs que les systèmes agricoles basés sur une faible diversité et une grande ouverture aux intrants externes offrent à l'exploitation une moindre résilience aux éventuels risques et contribuent moins à la souveraineté alimentaire et économique. On peut également noter que ces systèmes agricoles ne facilitent pas la promotion de la biodiversité végétale et l'utilisation efficace des facteurs de production et ne constituent donc pas un modèle durable pour les communautés rurales (Altieri et Toledo., 2011).

Par contre, étant basée sur la diversité, l'intégration, les connaissances indogènes et l'utilisation des ressources locales pour promouvoir l'auto-fonctionnalité des écosystèmes agricoles, les principes agroécologiques dont les associations culturales et la fertilisation organique offrent des alternatives à exploiter pour la mise en place des systèmes des cultures durables (Abigail, 2014). Ces alternatives permettent d'une part de réduire les conséquences des cultures pures et de l'utilisation des produits chimiques tant sur l'environnement physique, humain que socioéconomique. Par ailleurs, ces alternatives constituent des options stratégiques efficaces pour les communautés sensibles et en retard sur les avancées de la grande agriculture.

Les associations culturales et la fertilisation organique en maraîchage répondent aux défis de la qualité des récoltes, la conservation de la biodiversité, la pression phytosanitaire, la durabilité de la gestion de la fertilité des sols et la production, mais fondamentalement aussi à l'efficacité des facteurs de production (Francis et Porter, 2011). Par imitation à la nature, ces deux grands principes agroécologiques recherchent l'autonomie des écosystèmes agricoles en limitant l'utilisation de produits externes (Malézieux, 2011). Elles préconisent la protection phytosanitaire mutuelle entre les cultures, l'utilisation des ressources organiques locales pour la fertilisation et les conditions de promotion de la santé du sol par les composantes végétales (Fernandez *et al.*, 2013).

Problématique

En République Démocratique du Congo, les enjeux alimentaires, nutritionnels, environnementaux et socioéconomiques autour des secteurs clés de l'agriculture dont fait partie le maraîchage, exigent actuellement des agrosystèmes performants et durables (Mushagalusa et Nkulu, 2020).

Une réforme raisonnée des itinéraires techniques en maraîchage est indispensable non seulement pour améliorer la production, mais aussi pour offrir aux producteurs une gamme de choix des techniques approuvée afin de sécuriser et rendre durable les systèmes des cultures (Mutshail, 2014). Outre la productivité, intégrer les concepts de durabilité en maraîchage congolais est une nécessité pour permettre à ce secteur de contribuer significativement à la problématique urgente de la société : nourrir une population en pleine croissance (Ragasa *et al.*, 2015).

Le système de production maraîcher en RDC et au Sud-Kivu en particulier présente un certain nombre des caractères originaux : système d'exploitation agricole moins résilient, inefficace, peu durable, forte pression sur les ressources naturelles notamment le sol, ouverture quantitative aux intrants externes, faible niveau d'innovation et surtout une faible productivité à l'unité de surface. Pour pallier au déficit de la production suite à ces défaillances, le pays doit faire appel aux importations des denrées agricoles, ce qui constitue une perte énorme des devises pour le pays (USAID, 2015).

Au Sud-Kivu, plusieurs difficultés limitent la performance des activités maraîchères. Hormis le faible niveau de gestion des risques, le maraîchage est soumis à l'amenuisement des superficies cultivables.

Cette situation s'observe surtout en périphéries des agglomérations urbaines où les domaines maraîchers sont progressivement convertis en habitations suite à un rythme démographique important (Nyenyezi et Ansoms, 2015).

Il s'observe par ailleurs un système de production analogue dans la plupart de sites maraîchers, c'est-à-dire l'exploitation d'une culture spécifique par la majorité des producteurs. Cet état des choses ne dégrade pas uniquement la fertilité du sol, la qualité des récoltes par une pullulation des maladies et ravageurs des cultures, mais crée en outre l'abondance d'une seule culture spécifique sur le marché avec comme conséquence la baisse de prix et les préjudices sur les produits suite à la défaillance de la chaîne de stockage.

Cette situation crée la famine, la pauvreté auprès du ménage-producteur mais aussi le manque de diversité des légumes et autres produits à offrir aux consommateurs. La satisfaction du consommateur reste toutefois un gap que les producteurs doivent atteindre pour répondre à un marché aussi croissant (Mushagalusa, 2019). Aux contraintes sus mentionnées, il s'observe également un faible degré d'agro biodiversité dans le maraîchage. Il convient tout de même de souligner que certaines contraintes de production mentionnées peuvent être contrôlées par l'agro biodiversité, c'est le cas notamment de la dégradation de la fertilité du sol, des problèmes phytosanitaires ainsi que de la perte des revenus. Globalement, l'agro biodiversité est susceptible de promouvoir la résilience, l'efficacité et la durabilité des agrosystèmes maraîchers tel qu'observé dans d'autres filières agricoles comme les céréales, les racines, tubercules et autres (Pypers *et al.*, 2011 ; Khonde *et al.*, 2018).

Par ailleurs, pour certains auteurs Tshomba (2015) ; Lapeyre *et al.* (2011), les facteurs à la base de la défaillance du secteur maraîcher restent l'absence d'une démarche qui s'appuie sur la diversité végétale intégrée, une faible considération des connaissances et ressources indigènes. A cette contrainte s'ajoute la faiblesse de la recherche à proposer des itinéraires techniques approuvés, en perspectives d'une production maraîchère durable et saine, générée à partir des connaissances et produits locaux. Les faiblesses sus-évoquées traduisent littéralement la vulnérabilité des agrosystèmes maraîchers, d'où la nécessité d'entrevoir certaines réflexions pour améliorer la production et sécuriser les facteurs de production.

Pour ce faire, la présente thèse se propose de réaliser un diagnostic global des systèmes de culture maraîchère au Sud-Kivu et d'en dégager les forces, les faiblesses ainsi que les opportunités

probables. Ce diagnostic sera couplé d'un diagnostic spécifique qui permettra de situer les différents systèmes maraîchers aux regards des standards d'une production maraîchère durable.

A la suite de ces diagnostics, les éventuelles possibilités d'amélioration basées sur les principes agroécologiques seront établies. Cette démarche permet par la suite d'identifier une spéculation maraîchère phare avec les éventuelles opportunités d'amélioration détectées autour de ses systèmes de culture. Par conséquent, en vue d'une transition agroécologique appuyée, une étude approfondie permettra d'établir les attributs agronomiques et socioéconomiques de cette spéculation avec les paquets agroécologiques identifiés. La présente thèse tentera également de répondre aux questions suivantes :

Existe-t-il une diversité des systèmes de culture en maraîchage au Sud-Kivu, si oui, quelles en sont les caractéristiques et ces systèmes sont-ils durables ?

Quels sont les attributs agronomiques et socioéconomiques des systèmes de culture oignon-arachide sous une gestion de la fertilité du sol à vocation organique ?

Objectifs de recherche

L'objectif principal de la présente étude est de déterminer les conditions d'amélioration de la durabilité des agrosystèmes maraîchers à travers l'intensification écologique.

Spécifiquement, il sera question de :

- (i) caractériser les agrosystèmes maraîchers du Sud-Kivu ;
- (ii) évaluer la durabilité des exploitations maraîchères du Sud-Kivu ;
- (iii) déterminer le potentiel de rendement et l'efficacité d'utilisation de la terre sous culture d'oignon en association avec l'arachide comme stratégie de gestion de la fertilité organique du sol ;
- (iv) évaluer la rentabilité économique et l'appréciation participative des producteurs des associations des cultures oignon-arachide mises en place.

Les hypothèses en lien avec ces objectifs sont :

- (i) Les systèmes de culture dans les agrosystèmes maraîchers au Sud-Kivu varient d'une zone à une autre ;
- (ii) Les agrosystèmes maraîchers du Sud-Kivu sont peu durables ;
- (iii) Le rendement de la culture de l'oignon en association avec l'arachide est significativement élevé comparativement à une culture pure d'oignon ;

- (iv) L'association des cultures oignon–arachide est socio économiquement plus performante qu'une culture pure d'oignon.

Structure de la thèse

Outre l'introduction générale qui décrit les principaux objectifs de l'étude et présente l'organisation du document, la présente dissertation s'articule autour de cinq principaux chapitres. **Le premier chapitre** est consacré à la revue de littérature sur les avantages et perspectives des associations culturales et de la fertilisation organique dans le maraîchage. Ce chapitre établit l'état des connaissances sur ces deux composantes clés de l'intensification écologique et ouvre les voies des perspectives futures. **Le deuxième chapitre** traite de la typologie et les perspectives d'amélioration des systèmes des cultures maraîchères au Sud-Kivu et dégage les principales contraintes, les probables opportunités, les cultures maraîchères exploitées dans la région, les différentes associations culturales pratiquées en maraîchage ainsi que les déterminants de l'appréciation de la production. **Le troisième chapitre** est consacré à l'évaluation de la durabilité des exploitations maraîchères du Sud-Kivu sur le plan agroécologique, socio-territoriale et économique au sein d'une typologie. Au niveau du **quatrième chapitre** est présentée l'aptitude agronomique et le fonctionnement agroécologique des systèmes de culture oignon–arachide. Par contre, l'analyse socioéconomique de l'association de culture oignon–arachide est présentée dans **le cinquième chapitre** où l'aspect social de cette analyse est généré sur la base de l'appréciation des producteurs sur les différentes technologies en évaluation. **Le sixième et dernier** chapitre est consacré à la discussion et à la conclusion générale qui mettent en évidence les principaux résultats et leur pertinence, mais ouvrent également des perspectives pour des études futures.

Chapitre 1 : Revue bibliographique sur les avantages des associations culturales et de la fertilisation organique en maraîchage

Chapitre 1 : Revue bibliographique sur les avantages des associations culturales et de la fertilisation organique en maraîchage

Cette revue bibliographique est à publier sous forme d'article : **Ndjadi, S.**, Ahoton, L., Vissoh, P., Kizungu, V., Mondo, M., Saidou, A., Mushagalusa, N. Advantages and prospects of intercropping systems and organic fertilizers in vegetable production : A review

Chapter 1. Advantages and prospects of intercropping systems and organic fertilizers in vegetable production: A review

Abstract

Vegetable production is a major contributor to the food and income security of both rural and urban communities in developing countries. Organic fertilization and intercropping practices are among major components for sustainable vegetable production as they maintain their structural and functional stability. Organic fertilization contributes to the restoration and long-term maintenance of the soil's physical, biological, and chemical functions. Consequently, organic fertilizer ensures stable productivity, improves crop quality, and increases producer income while preserving the ecosystem's productivity potential. Intercropping, on the other hand, allows meeting the challenges of crop productivity per unit area improves income, harvest quality, integrated pest, and disease management and contributes to the farm resilience. In the context of agro-ecological transition in most world regions, particularly, African and other communities that are lagging behind the advances of large-scale agriculture. The understanding of farming practices linked to the agroecology movement is crucial for guiding farmers as well as farmer support structures' priorities and entry points. This article, therefore, assembles knowledge on practices related to organic fertilization and intercropping based system, discusses their potential and propose same keys strategies for sustainable vegetable system.

Keyword: Agroecology, environment, cropping systems, food security, sustainability

Résumé

La production des légumes contribue largement à la sécurité alimentaire et aux revenus des communautés rurales et urbaines des pays en développement. La fertilisation organique et les pratiques de cultures associées font partie des composantes majeures des systèmes de culture durable de la production des légumes. Ces deux composantes permettent de maintenir leur stabilité structurelle et fonctionnelle. La fertilisation organique contribue à la restauration et au maintien à long terme des fonctions physiques, biologiques et chimiques du sol. Par conséquent, elle assure une productivité stable, améliore la qualité des récoltes et augmente le revenu des producteurs tout en préservant le potentiel de productivité de l'écosystème. Les cultures associées relèvent les défis de la productivité des plantes par unité de surface, améliorent les revenus, la qualité des récoltes, la gestion intégrée des parasites et des maladies et contribuent à la résilience de l'exploitation.

Dans le contexte de la transition agro-écologique dans la plupart des régions du monde, les communautés africaines et autres sont en retard sur les avancées de cette agriculture à grande échelle. La compréhension des pratiques agricoles liées au mouvement de l'agroécologie est cruciale pour orienter les priorités, les points d'entrée des agriculteurs de même que les structures de soutien. Cet article, rassemble donc les connaissances sur les pratiques liées à la fertilisation organique et les systèmes de cultures associées, discute de leur potentiel et propose des stratégies clés pour un système maraîcher durable.

Mots – clés : Agroécologie, systèmes de culture, sécurité alimentaire, durabilité

1.1 Introduction

Vegetable production is an agricultural sector that has grown rapidly in recent years. Vegetables have a short growth cycle, high nutritional value, and can generate income in a relatively short time compared to other crops such as roots and tubers, fruits, legumes, and cereals (Ndjadi *et al.*, 2020). It is estimated that 130 million urban residents in Africa and 230 million in Latin America engage in agriculture, mainly vegetable production, to provide food for their families or to earn income from sales (Chuma *et al.*, 2021).

Conventional farming advocates increasing food and industrial crop productivity through the extensive use of external farm inputs, including harmful chemicals (Batifol *et al.*, 2020). The environmental and human health side effects of such practices are alarming (Nesme *et al.*, 2014). Soil fertility degradation, increased diseases and pests attacks, water and soil pollution, and the accumulation of toxic residues on crop products are some of the side effects of chemical misuses in agriculture (Koffi *et al.*, 2018). In addition to extensive chemical use, conventional farming promotes the monoculture of most staple and industrial crops. This has led to rapid ecosystem degradation with increased soil erosion, biodiversity loss, pest infestations, etc. as well as several social challenges (poverty, malnutrition, dependence, loss of diversified income sources, etc.) (FAO, 2015). For a more durable production, alternative farming systems should be promoted. Among these alternative systems, there is agro-ecology, which is defined by Francis *et al.* (2003) as the ecology of the food system. It advocates the transformation of food systems towards sustainability by maintaining a balance between ecological rationality, economic viability, and social justice (Gliessman, 2015).

This transformation involves changes in all components of the food system, from seeds and soils to the consumer's table (Gliessman and Rosemeyer, 2010). The agro-ecology reconciles the more productive approach of the agronomist with the systemic point of view of the ecologist (Gliessman, 1990). By relying on biodiversity, agroecological systems not only exhibit higher productivity and resilience than conventional systems but also contribute to reducing production risks, as well as to the diversification of diets and smallholder sources of income (FAO, 2015).

To fully achieve its goals, agroecology is based on four essential dimensions: the social, political, ecological/environmental, and economic dimensions. The agroecology's ecological dimension strongly opposes the uses of external inputs (mainly chemicals) and monoculture for their negative side effects on the ecosystems. The use of organic matter mainly produced from the farmers' field is the main source of nutrients to the crops in the agro-ecological farming systems. In addition to being a source of plant nutrients, organic fertilizers directly contribute to the restoration and maintenance of soil health. The organic compounds involved in fertilization promote microbial living conditions and improve the physical and biological soil properties, and thus, sustains soil fertility (Gattinger *et al.*, 2010). On the other hand, the intercropping is encouraged as a source of diversified farmer's food and income, it offers high resilience to potential risks, and promotes biodiversity (Dury *et al.*, 2011; Vidogbéna *et al.*, 2015).

Although the agro-ecology achieves the self-functionality of ecosystem components by limiting the use of external synthetic products and promoting biodiversity, its successful implementation has been challenging in vegetable production. The increasing demands for vegetable products impose an intensive production rhythm that sometimes leads the producer to adopt extensive use of external inputs (Martin *et al.*, 2015). Besides, the agroecology requires more time and effort than conventional agriculture. The operationalization of an organic fertilization plan requires collecting organic materials that need to be decomposed and these operations are often time-consuming and labor-intensive. Besides, carrying out intercropping in vegetable production requires advanced knowledge of compatible and mutually beneficial plant associations (Brooker *et al.*, 2014).

However, despite these challenges, several studies have reported satisfactory results of organic fertilization and intercropping in vegetable production (Trupti *et al.*, 2018). From the perspective of a sustained agroecological transition, these results are evidence of the significant potential that agroecology offers for the development of more resilient and sustainable vegetable production.

This paper, therefore, assembles knowledge on practices related to organic fertilization and intercropping-based systems for the last 10 years (2010–2020) and discusses their potential for a sustainable vegetable production system. It also establishes prospects for improving these two agro-ecological packages to support farmers and farmer-support structures for a successful agroecology transition across the world, especially in Africa.

1.2 Sustainable agriculture and ecological intensification

First appearing in 1987, the concept "sustainable agriculture" is a model of agriculture based on the principles of sustainable development according to the Brundtland Report (Ahouangninou *et al.*, 2015). This report from the World Commission on Environment and Development argues that agricultural systems must effectively and efficiently produce adequate yields; improve the environment, be profitable, and promote social welfare (El Bilali, 2019).

As a key sector of agriculture, market gardening (also referred to as vegetable production) must be subjected to sustainability benchmarks for compliance with sustainable development. To achieve this, ecological intensification is imperative. Ecological intensification is a knowledge-intensive process that exploits the ecological functions of nature and biodiversity. The goal pursued in this regard, is to improve the efficiency of farming systems and the livelihoods of farmers (Petersen and Snapp, 2015). The agronomic practices of intercropping and the use of local products in soil fertility management are the fundamental components of ecological intensification. These two components allow for the replication of sustainable systems that are diverse, integrated, and low in external dependence (Bommarco *et al.*, 2013).

1.3 The market gardening

Market gardening refers to the growing of vegetables for animal and human consumption. Evolving from subsistence agriculture, market gardening has existed for centuries and is one of the most important sectors of agriculture (Pretty *et al.*, 2014). Market gardening is a form of intensive agriculture that provides growers with enough food and creates a surplus for sale (Woodhouse, 2010; Emanu, 2015). Market gardening is the cultivation of plants for food, economically, that is, for profit or simply to make a living (Poulsen *et al.*, 2015). Vegetable practice refers to the production of a vegetable that is the whole plant itself or an edible part of a plant species (Paksoy *et al.*, 2012).

Vegetable production was first developed in swampy areas (wetlands) on the outskirts of cities to supply markets with fresh vegetables. This type of vegetable production is characterized by small farm size, diversified production, and often field sales (Mkwambisi *et al.*, 2011).

1.4 Advantages of intercropping and organic fertilization in vegetable production

1.4.1 Overview of intercropping

Mixed cropping or crop association is the cultivation of two or more crops at the same time in the same field. It is an ancient practice that dates back to the origins of agriculture and attempts to mimic natural plant ecosystems (Lithourgidis *et al.*, 2011). Mixed cropping systems are practiced in many parts of the world to intensify land productivity and take advantage of the positive effects of biodiversity and better use of environmental resources (Godfray *et al.*, 2014). These systems offer resilience to potential risks and yield benefits.

By allowing, more efficient use of farm resources, crop associations or mixed crops are among the agricultural practices associated with sustainable crop production. This practice allows for year-round soil coverage, or at least a longer period than monoculture, and thus prevents soil desiccation and erosion (Pariz *et al.*, 2017). By growing more than one crop at a time in the same field, farmers maximize water use efficiency, maintain soil fertility, and minimize soil erosion. In addition, it increases production per unit area, especially with a low level of external inputs, as a mixture of species makes better use of available nutrients and water in the soil (Lemaire *et al.*, 2014; Matusso *et al.*, 2014).

1.4.2 Intercropping and vegetable crop productivity

Many researchers have discussed the theory and mechanisms of yield stability in associated crops. These studies have clearly argued that intercropping provides higher yields in a given season and greater stability of yields across seasons compared to the single crop (Table 1). For example, in India, Ananda *et al.* (2017) found that cabbage was more productive in intercropping with bean (63.18 t ha⁻¹) than pure cropping systems (48.15 t ha⁻¹).

These results are in agreement with several other studies in Table 1.

Table 1.1: Advantages of intercropping on vegetable crop productivity

Country	Intercropping conducted	Major conclusions	References
China	Garlic–Cabbage	The intercropping enhances soil microbial community diversity, enzyme activities, nutrient availability, and yield of associated crops.	Xiao <i>et al.</i> (2019)
Brazil	Tomato–lettuce	The crop association is agronomically profitable compared to the single crop (LER: 1.63)	Filho <i>et al.</i> (2011)
Nigeria	Tomato–maize	The combined cultivation was appropriate in the context of sustainable agriculture; the yield of tomato was 30.84 t ha ⁻¹ in combination compared to 18.74 t ha ⁻¹ in pure culture.	Degri and Samaila(2016)
Slovenia	Cabbage, lettuce, beans, red beets, tomatoes, leeks, and celery.	The productivity of cabbage in combination with the mentioned vegetables was more productive than its single crop.	Bavec <i>et al.</i> (2012)
Ethiopia	Onion with rapeseed, dill, and cabbage	The onion grown in mixture with all three crops was more productive than its single crop.	Getahun <i>et al.</i> (2018)
Canada	Eggplant–lettuce	The intercropping had improved and secured the production of these crops.	Haan and Vasseur(2014)
China	Squash–garlic	In mixed systems, these crops were more productive than in pure culture	Wang <i>et al.</i> (2014)
Nigeria	Okra–maize	Mixed cropping gave the highest yield of okra	Ijoyah and Dzer (2012)
Turkey	Broccoli–lettuce	The broccoli-based mixed crop treatments provided the highest total yield (2324 vs. 2185 g plant ⁻¹ for broccoli yields under the mixed and pure crop, respectively).	Yildirimand and Turan (2013)
Venezuela	Carrot–lettuce	Higher agronomic efficiency was observed in combined crop than in pure crops.	Neto <i>et al.</i> (2010)
Brazil	lettuce–rosemary	The combined crop was 41% more efficient than the pure crop.	Nascimento <i>et al.</i> (2018)
Portugal	Cabbage–bean	The associated culture has allowed a sustainable agriculture and a horticultural production respectful of the environment.	Lepse <i>et al.</i> (2017)
Bangladesh	Maize–squash	The mixture system gave a high productivity index (LER>1)	Khanum <i>et al.</i> (2020)
Brazil	Cucumber–lettuce	The package was agronomically sustainable	Ribas <i>et al.</i> (2020)

LER = land equivalent ratio.

Lithourgidis *et al.* (2011) indicated that the pure cropping system is mainly used in conventional agriculture under high input conditions. Under conditions of low input use and high risk management potential, associated cropping systems are better suited to ensure sustainability of production and inputs. However, the ability of associated components to explore environmental resources determines the yield gain of the most competitive species. These theories corroborate the results of Haan and Vasseur (2014) who showed that root competition between lettuce and onion benefited lettuce more than onion. Wang *et al.* (2014) showed that eggplant was more competitive than garlic.

In general, the harmonious functioning of the different components of the associated crop is a key success factor. These components should be selected based on their mutually beneficial effects. To this end, the practice of companion cropping (Kapoulas *et al.*, 2017) provides a diversity of compatible crops in the mixed cropping system. The effectiveness of the mixed system is due to the benefits that each component provides to the other in terms of plant protection, synergy in the exploitation of environmental resources, maximization of soil cover to reduce evapotranspiration and capitalize on solar energy for photosynthesis. The spatial arrangement of components should guide the configuration of above-ground and below-ground architectures to limit photosynthetic, water, and mineral competitions (Khan *et al.*, 2015).

In intercropping, the choice of crop combination plays a critical role. In assessing crop compatibility, factors such as planting density, rooting system, shading, and competition for nutrients must be considered (Xu *et al.*, 2010). Competition between plants can be minimized not only by spatial arrangement but also by selecting crops that are able to exploit soil nutrients at different depths.

The main reason yields are higher in associated crops is that associated crops can make better overall use of natural resources than when grown separately. The efficient use of basic resources in the cropping system depends partly on the inherent efficiency of the individual crops that make up the system and partly on the complementary effects between the crops (Glaze-Corcoran *et al.*, 2020). The number of fruits per okra plant was lower in the maize–okra intercrop compared to the monocrop due to competition for nutrients and light (Seran and Brintha, 2010). Different root and leaf systems can capture more light and use more water and nutrients than when roots and leaves of a single species are present in the crop area (Sofi *et al.*, 2018). Combining high and low cover crops is a common practice in tropical agriculture. To improve light interception and yields of

shorter crops, they must be planted between sufficiently wide rows of taller plants (Tracy *et al.*, 2020).

1.4.3 Intercropping and the phytosanitary management of vegetable crops

In addition to improved crop productivity due to crop associations, dependence on pesticides can be reduced by intelligent use of the eco-knowledge of associated crops. Indeed, the series of interactions between plants grown in association allow mutual protection against certain diseases and pests (Hassanali *et al.*, 2008). This mutuality is based on the repulsive or attractive phenomena of plant protection agents by the plant components of the mixed system (Duchene *et al.*, 2017).

Several researches have exploited the potential of associated crops for the integrated management of diseases and pests in vegetable crops (Table 2).

Table 1.2: Advantages of associated crops to plant health management in vegetable crops

Country	Intercropping conducted	Major conclusions	References
China	Cabbage–tomato	The associated crop had decreased pest incidence and prevented adult insects from laying eggs on the cabbage, which reduced insect density.	Xu <i>et al.</i> (2010)
Canada	Cabbage–Onion	Sustainable management of aphids in associated crops	Haan and Vasseur (2014)
India	Onion–legumes	Onion leaf spot (<i>Alternaria porri</i> , Ellis) was effectively controlled in a mixed cropping system with five legumes, including chickpea, pea, lentil, bush bean, and pigeon pea, compared to the fungicide (carbendazim (0.1%)).	Dnyaneshwar and Sobita (2018)
Ghana	Tomato–cabbage	The intercropping provided better control of pests such as ladybugs (<i>Cheilomenes</i> sp.), hunting spiders, <i>Heteropoda vomitoria</i> , and black carpenter ants (<i>Camponotus pennsylvanicus</i> , (De Geer, 1773))	Mochiah (2011)
Nigeria	Tomato–maize	Larval borer holes were decreasing when tomato was intercropped and increasing when tomato was grown alone.	Degri and Samaila (2016)
Nigeria	Pepper–millet	Low aphid damage in the mixed cropping system	Degri and Ayuba (2016)
Kenya	Carrot – onion	Carrot has been successful in controlling onion thrips	Gachu (2012)

China	Cabbage–garlic–lettuce	Chinese cabbage grown in association with non-cruciferous crops decreased the species richness, abundance and diversity of the arthropod community in general and predators in particular.	Cai <i>et al.</i> (2010)
China	Celery, asparagus lettuce, spinach, and amaranth.	Two major volatile constituent compounds were identified, D-limonene from celery and geranyl nitrile from spinach. Sprayable formulations of 1% of these compounds significantly reduced whitefly colonization on cucumber	Zhao <i>et al.</i> (2013)
China	Tabacco–garlic	Intercropping was useful in improving biological control of <i>Rhizoctonia solanacearum</i> on both crops	Lai <i>et al.</i> (2011)
China	Pepper–sugar cane	The lowest adult leafminer density, lowest female: male sex ratio, and lower number of leafminer larvae in the associated cropping systems were attributed to the associated cropping pattern and bell pepper growth.	Chen <i>et al.</i> (2011)
Nigeria	Concumber–amaranth	Intercropping has reduced the population of cucumber insect pests and the damage they cause to cucumber fruits.	Pitan <i>et al.</i> (2013)

The disease and pest regulation reported in the above-described case studies is an excellent example of how to gain a better understanding on how fundamental ecological processes can directly benefit intercropping. There are many examples of benefits of intercropping systems that arise from pest and pollinator regulation, but only recently have the mechanisms behind these benefits been understood (Carvalho *et al.*, 2010). For example, by providing a more complex habitat with a greater diversity of resources for beneficial organisms, associated cropping systems have the potential to reduce the occurrence of crop pests and increase the abundance and diversity of pollinators and natural enemies of crop pests (Carvalho *et al.*, 2010, Brooker *et al.*, 2015). Pest control is widely reported in intercropping systems; 73% of documented studies report a 30–40% reduction in disease incidence in mixed crops compared to pure crops (Ratnadass *et al.*, 2012). Disease reduction may result from a variety of factors, including decreased host plant availability, altered rain, wind, and vector dispersal, and microclimatic effects on pathogen establishment (Delaquis *et al.*, 2018).

1.4.4 Intercropping and the nutritional properties of vegetable produce

In today's highly competitive vegetable production systems, consumers are demanding in terms of product quality. One of the criticisms on the conventional agriculture is the low quality of the crops. The sustainable agriculture project supports healthy crops from healthy, low-destructive inputs. Mixed cropping systems that limit the use of chemicals maintain better nutritional quality of crops.

Some experimental studies have reported higher levels of vitamins, phenolics, antioxidants, and sugars on vegetables from mixed cropping systems than from pure crops (Table 3).

Table 1.3: Advantages of intercropping on the nutritional quality of vegetable crops

Country	Intercropping conducted	Major conclusions	References
China	Tomato–garlic	The combined cultivation increased chlorophyll content, photosynthetic rate and antioxidant enzyme activity.	Liu <i>et al.</i> (2014)
China	Onion–carrot	High levels of β -carotene in carrots associated with onions have been reported.	Yu <i>et al.</i> (2015)
China	Garlic–cucumber	Nutrient accumulation in cucumber plants was significantly increased in the associated crop.	Xiao <i>et al.</i> (2013)
Ethiopia	Cowpea–amaranth	Research has shown the advantages of intercropping these crops in managing micronutrient deficiencies to meet the nutritional needs of rural communities.	Mndzebele <i>et al.</i> (2020)
China	Cabbage–grass turf	The combined cultivation had increased the vitamin C content by 50.7% and the soluble protein content of cauliflower by 21.1%.	Hu <i>et al.</i> (2020)
Tanzania	Cabbage–African nightshade	The mixed cultivation had increased the total glucosinolate content in both crops.	Ngwene <i>et al.</i> (2017)

By improving the physical, chemical, and biological properties of the soil, the intercropping facilitates enzymatic dynamics and the process of uptake through root activities. Resource-use efficiency in mixed cropping increases yield quality (Tinegre *et al.*, 2018). This efficient and complete use of resources such as solar energy, soil nutrients, and water are advantages of the mixed cropping system over single crops. This resource-use efficiency facilitates the accumulation of nutrients in crops, which in turn improve their nutritional quality (Gebbru, 2015).

1.4.5 Intercropping and economic profitability of vegetable crops

Table 4 shows some successful examples where intercropping has resulted in high economic returns.

Table 1.4: Advantages of intercropping on the economic profitability of vegetable crop production

Country	Intercropping conducted	Major conclusions	References
Brazil	Onion–lettuce	The economic performance was higher in the combined crop than in the pure crop.	Da Mota <i>et al.</i> (2012)
Egypt	Eggplant–okra	Highest net return (LE 30,761.06 ha ⁻¹) was obtained when okra was grown in association with eggplant, lowest net return (LE 13,849.70 ha ⁻¹) was from okra grown in pure crop	Magdi <i>et al.</i> (2012)
USA	Eggplant–strawberry	The combined crop resulted in increased profits of \$7320 and \$3461 per ha, respectively, compared to the basic strawberry treatment alone.	Sandhu <i>et al.</i> (2020)
Brazil	Tomato–lettuce	Economic indices peaked when tomato and lettuce were grown in combination.	Filho <i>et al.</i> (2011)
Brazil	Carrot, salad and rosemary	The most effective combination was carrot intercropped with rosemary with an increase of 52.77%.	Batista <i>et al.</i> (2016)
Brazil	Cucumber–lettuce	If we consider the operating profit, the associated crop was most profitable (56% of the profit vs. 207.1% in pure culture).	Rezende <i>et al.</i> (2011)
Pakistan	Pea–garlic	The highest value of the monetary advantage index was recorded for the intercrop compared to the pure crop.	Anjun <i>et al.</i> (2014)
Ghana	Corn–eggplant–pepper	The associated cropping system was economically appropriate for scale-up and intensification.	Tignegre <i>et al.</i> (2018)

Co-cropping offers the potential for high economic gain for the farm through income diversification, risk management and efficient use of inputs. Co-cropping is an opportunity to support the income of small-scale producers who operate with limited resources. However, it is important to identify the best crop combinations to take full advantage of this potential.

1.5 Overview of organic fertilization, vegetable crop productivity and soil health

1.5.1 Organic fertilization in vegetable production

In vegetable farming, soils are often used intensively and support significant biomass production (Nair *et al.*, 2012; Norris *et al.*, 2018). Therefore, soil fertility is an important factor in ensuring the production of this important biomass. Yet, in both agriculture and vegetable production, ecological intensification supports fertilization based primarily on organic fertilizers. These organic fertilizers include animal wastes, plant residues, green manures, and all other local biodegradable organic compounds enriched in nutrients. The principle of fertilization in ecological intensification is based on feeding the soil to feed the plant and not feeding the plant directly with soluble fertilizers (Malusá *et al.*, 2012). In addition to its positive effects on soil quality, organic fertilizers also improve the nutritional properties of the crops and help secure the income of the producers (Olatunji and Oboh, 2012).

1.5.2 Benefits of organic fertilization on vegetable crop productivity and soil health

Several studies have reported the effectiveness of organic fertilizers in improving vegetable production, while others have indicated the positive effect of organic fertilizers on the efficiencies of mineral fertilizers in vegetable crop production (Table 5).

Table 1.5: Advantages of organic amendment on vegetable crop productivity and soil health

Country	Fertilizers used	Crop	Major conclusions	References
Nigeria	Poultry manure vs. NPK	Okra	Poultry droppings improved the average fruit weight	Adekiya <i>et al.</i> (2020)
Uganda	Green manure, farmyard manure and compost	Onion	The highest yield (12,000 kg ha ⁻¹) was obtained on plots amended with farmyard manure.	Bua <i>et al.</i> (2017)
Swaziland	Chicken manure, compost and green manure vs. mineral fertilizers	Lettuce	The application of chicken droppings provided 60 t.ha ⁻¹ , a high yield compared to the control and mineral fertilizer.	Masarirambi <i>et al.</i> (2012)
Palestine	Compost and urea	Cucumber	Compost increased crop productivity (7005 kg ha ⁻¹ compared to 6017 kg ha ⁻¹ for urea	Natsheh <i>et al.</i> Mousa (2014)
United Arab Emirates	Cattle droppings, chicken droppings, fish farm waste	Tomato	The hen droppings gave a yield of 7 kg plant ⁻¹ , higher than the other treatments	Kalbani <i>et al.</i> (2016)

South – Africa	Poultry manure, cattle manure and compost	Cabbage	Chicken droppings increased total soil organic carbon (37.7%).	Ceronio and Engelbrecht (2012)
Ethiopia	Urea vs. cattle manure	Cabbage	The use of organic fertilization improved the soil properties and guaranteed the sustainability of the production.	Teshome <i>et al.</i> (2018)
Nigeria	Sawdust, poultry droppings, poultry and cattle droppings and NPK	Amaranth	Organic fertilizers produced higher nutritional values on the whole plant than NPK	Mofunanya <i>et al.</i> (2015)
Turkey	Cattle manure and NPK	Onion	Cattle dung had increased the yield and nutritional values of onion	Funda <i>et al.</i> (2011)

It should be noted that the effectiveness of organic fertilizer is based on its composition and mineral content. Organic fertilizer decomposes as a result of exogenous and endogenous factors such as the nature of the constituents, temperature, moisture, and the intensity of microbiological activities (Conant *et al.*, 2011). During this slow and gradual decomposition process, organic fertilizer releases the nutrients it contains after mineralization to plants. However, the carbon to nitrogen ratio (C/N) determines the rate of mineralization of organic matter. The C/N ratio is an indicator of the capacity of an organic compound to decompose (Okalebo, 2012). Microorganisms that need nitrogen for their constitution degrade this compound. If the C/N ratio of the applied organic matter is higher than 20, there is too much carbon in relation to nitrogen. In this case, the microorganisms will draw nitrogen from the soil reserves instead of releasing it. Conversely, if the C/N ratio is less than 15, the microorganisms will release excess nitrogen for the plants. If, on the other hand, $15 < C/N < 20$: the nitrogen requirement is covered to allow a good decomposition of the carbonaceous matter. Thus, the effectiveness of organic fertilizer is based on the nature of the residue and the conditions that contribute to its decomposition (Adeoluwa and Akinyemi, 2014). Furthermore, organic matter retains cations and anions. It has a very high cation exchange capacity: $200 \text{ cmolc kg}^{-1}$ versus $\sim 30 \text{ cmolc kg}^{-1}$ for an illite clay soil (Sandoval *et al.*, 2014). Some compounds produced by soil organisms, such as polysaccharides, act as glues between mineral particles, contributing to the aggregation and structuring process (Vanlauwe *et al.*, 2019). The stabilized organic fertilizer is a colloidal material, which participates in the formation of the clay-humus complex due to its surface charge (Soares *et al.*, 2020). This intimate connection

between organic matter and clays also contributes to the formation of stable aggregates, and thus, the macroporosity, which leads to a soil structure favorable to better rooting, water infiltration and drainage. Organic matter acts as a sponge; it has a very high water retention capacity, and therefore, increases the useful soil water reserve.

The combined use of organic fertilizers with mineral fertilizers can support effective soil fertility. Vanlauwe *et al.* (2015) showed that incorporating soluble fertilizers into organic fertilizer reduces the risk of runoff or volatilization loss and increases the mineral content of organic fertilizers.

Furthermore, organic fertilizers, in addition to providing nitrogen, phosphorus, and potassium, are also unavailable sources of elemental nitrogen, bound phosphates, micronutrients, and decomposed plant residues in a form that facilitates nutrient uptake by plants (Gebru, 2015). The use of organic sources has enhanced the growth and activity of endomycorrhizal fungi and other beneficial soil organisms. It also reduces the deficiency of secondary elements and micronutrients and helps maintain high crop productivity and soil health compared to mineral fertilization (Wang *et al.*, 2018).

1.5.3 Organic fertilizers and the quality of vegetable products

There is a wide perception that the application of organic fertilizers is more beneficial to achieving better quality of vegetables. Several authors have reported results related to this perception (Table 6).

Table 1.6: Advantages of organic fertilizer amendments on the quality of vegetable products

Country	Fertilizers used	Crop	Major conclusions	References
Nigeria	Sawdust, poultry manure, cow dung and NPK	Amaranth	Organic fertilizer had improved protein, fiber and ash content than NPK	Mofunanya <i>et al.</i> (2015)
Turkey	Cattle manure vs. NPK	Onion	Cattle manure had increased the nutritional values of the onion	Funda <i>et al.</i> (2011)
Czech Republic	Vermicompost, organic fertilizer vs. NPK	Onion	It has been observed the positive influence of organic fertilizers on the content of vitamin C, antioxidants and carotenoids	Petrovic and Pokluda (2018)
United Arab Emirates	Cattle manure, poultry droppings, fish farm waste	Tomato	Poultry droppings had positively affected the overall quality of the Sadia and Sun Cherry	Kalbani <i>et al.</i> (2016)

			fruits. While fish farm waste affected Isabella F ₁	
Brazil	Household waste and cattle manure	Tomato	Household waste had positively influenced nutrient uptake in leaf tissue and fruit of tomato	Fereira <i>et al.</i> (2018)
China	Organic vs. mineral fertilizers	Tomato	Organic fertilizer had effectively improved the content of antioxidants and ascorbic acid	Zhang and Duan (2017)

Organic fertilizers are made up of a variety of compounds with varying concentrations of N, P, K and others, unlike mineral fertilizers which are too specific. The diversity of elements contained in the organic matter allows the formation of strong bonds with the clay-humus complex, thus limiting the risk of loss by leaching. The presence of these elements in the organic substrate facilitates microorganisms that release phytohormones (Brar *et al.*, 2013). These phytohormones activate enzymatic and biochemical mechanisms in the plant, promoting the formation of nutritional compounds such as proteins, vitamins, sugars, oils, antioxidants, and other essential compounds (Rouphael *et al.*, 2018). Several studies have reported that organic fertilization affects the nutritional properties of vegetable crops (see Table 6).

Because the growth cycle of vegetable crops is relatively short and often intensively developed, a viable soil that maximizes the activity of soil organisms is required. These organisms are beneficial in the degradation of raw organic matter, in the mobilization and remobilization of nitrogen and other nutrients, and in some symbiotic processes. These organisms are involved in most soil-plant interactions that fix certain organic compounds in the plant through various biochemical processes (Feng *et al.*, 2020).

1.5.4 Organic manure and the economic profitability of vegetable crops

The yield gain often obtained with organic fertilizers results in significant economic profitability for farmers. The results of several studies have confirmed this economic profitability of organic fertilization (Table 7).

Table 1.7: Advantages of organic fertilizers on the economic profitability of vegetable crops

Country	Fertilizers used	Crop	Major conclusions	References
Ghana	Urine alone, Urine + dehydrated fecal sludge, Urine + poultry manure	Cabbage	All organic fertilizers used have improved economic gains	Amoah <i>et al.</i> (2017)
Kenya	Urea vs. cattle manure	Amaranth	The highest profitability was obtained with cattle manure	Nyankanga and <i>al.</i> (2011)
Kenya	Organic fertilizer vs. mineral fertilizer	Amaranth, African nightshade, cabbage	Organic fertilizers were economically more profitable than mineral fertilizer	Kebede and Bokelmann (2017)
Benin	Organic fertilizer vs. mineral fertilizer	Carrot	The calculated economic performance indicators indicated that organic fertilizers further improved the profitability of production.	Miassi and Dossa (2018)
India	Organic fertilizer vs. mineral fertilizer	Onion	Organic fertilizer provided higher returns than inorganic fertilizer.	Dhaker <i>et al.</i> (2017)

The economic efficiency of organic fertilizers is associated with their relatively low cost, and at sometimes, their wide availability compared to mineral fertilizers, especially for small-scale farmers in developing countries. Most compounds used as organic fertilizers are sometimes obtained locally, on or around the farmer's field, and do not allow for an accurate estimation of their real cost. Traditionally, farmers practice composting to provide organic fertilizer at the subsistence farm level and these organic fertilizers do not pass through the market exchange system (Altieri and Nicholls, 2017).

However, advanced ecological intensification is most effective under conditions of integrating livestock production with crop production: a portion of crop products are used to feed animals, which in turn provide manure (Martin *et al.*, 2015). However, supporting an organic fertilization plan when there is no animal production, plant nutrition can be a challenge.

Many producers use crop residues or various types of organic fertilizer materials to manage fertility. Ground covers are one of the most economical sources of organic nitrogen and offer additional potential benefits to subsequent crops (Wauters *et al.*, 2010). Composting, also through the collection and valorization of local products, is also an important source of economic material, which can increase the profitability of the farm. It should be noted, however, that these strategies

are difficult to implement effectively on large farms. At this time, they require large investments that small producers do not have (Wang *et al.*, 2018).

1.6 Prospects for successful organic fertilization and intercropping in vegetable production

Due to the current food needs, the increase in vegetable production is necessary. Several strategies exist for achieving such purpose. Some of them (e.g., extensive use of external inputs) are costly and have consequences on the productive capital and the environment. In contrast, other strategies are inexpensive and guarantee the sustainability of production and production factors. Table 8 presents four major strategies that can locally contribute to the sustainability of vegetable production through intercropping systems and soil organic fertility management.

Table 1.8: Perspectives for successful organic fertilization of associated crops in vegetable production

Prospective strategies	Comments
Multidisciplinary and integrated research	The benefits of organic fertilization of associated crops need to be enhanced by collaboration among key scientific disciplines. This collaboration is important in the context of integrated research. For this purpose, ecology and agronomy can be brought to the forefront of the action. These disciplines will help to consolidate locally and promote the knowledge of beneficial relationships between different species in association. The idea behind this action is to establish for the associations encountered in the environment, the probable functional attributes of systems in place. The second axis of the action is to facilitate the understanding of the interrelations between local fertilizers and plant nutrition while taking into account the local environment. Physiologists will also have to be involved to explain the functioning of different possible combinations. For more resilience in the community, sociologists and anthropologists will help understand societal perceptions and attitudes around these agroecological packages. Economists will still be effectively involved in guiding value-added pathways around these two agroecological packages. In terms of the quality of the products generated by these two packages, the nutritionist will have to facilitate the understanding of the nutritional gain generated. The environmentalist, on the other hand, will be able to guide actions related to the management and valorization of environmental elements as valuable sources of fertilizers.
Participatory research	The ethical obligation towards present and future generations, guiding the development of strategies for sustainable crop production, must be based on specialized, effectively supported

	diagnostics. These diagnoses allow penetrating the local environment to mobilize knowledge and approaches for sustainable actions that start from the bottom. Once this knowledge is mobilized, the next step is to translate this knowledge into demonstration opportunities. It should be noted that demonstration is an effective pedagogical tool for identifying and changing attitudes in the quest for key consensus on ecological intensification.
Collective management of environmental waste and recycling in vegetable production	Waste management is an effective basis for the implementation of an organic fertilization system based on local materials. Indeed, communities should be effectively involved in the valorization of environmental residues in the ecological process of plant fertilization. This action not only meets environmental health objectives, but also reduces the dependence of the production system on external sources and strengthens its resilience.
Involvement of policy-makers	The above actions must not only be accompanied by an institutional policy, but also by a strategic framework that guides and supports the actions of all actors involved in promoting sustainable agriculture through ecological intensification.

1.7 Conclusion

This review shows that organic fertilizer and intercropping-based system have the potential to increase the long-term sustainability of vegetable production under low inputs in many parts of the world. Whilst some of the mechanisms by which they deliver benefits are understood, there is considerable potential to improve these agro-ecological packages to gain either greater yield (or other benefits) with the same inputs, or sustained yield with reduced inputs based on new knowledge from both ecology and agronomy, and the interface between the two disciplines. In the short-term, perhaps the most straightforward approach is simply to trial new combinations of crops to exploit beneficial mechanisms that have already been identified, for example, new combinations of vegetables and legumes and the valorization of local resources for building a sustainable organic fertilization program.

Chapitre 2 : Caractériser les agrosystèmes maraîchers au Sud-Kivu, Est de la RD. Congo

Chapter 2:

Typology and Prospects for the Improvement of Market Gardening Systems in South-Kivu, Eastern DR Congo

Cet objectif spécifique a été publié dans « Journal of Agricultural Science » dont voici les références : Ndjadi, S., Vumilia, K., Ahoton, E.L., Aliou, S., Bello, D., Mugumaarhahama, Y., Kazamwali, & Gustave Mushagalusa N. (2020). *Typology and Prospects for the Improvement of Market Gardening Systems in South-Kivu, Eastern of DR Congo*, Journal of Agricultural Science, 12, 6. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n6p136>.

Chapter 2: Typology and Prospects for the Improvement of Market Gardening Systems in South-Kivu, Eastern DR Congo

Abstract

Vegetables play a very important role in rural and urban communities as both food and a business opportunity. They are fast-growing species, with high nutritional values and able to generate income in a relatively short period compared to other crops. A characterization of market gardening systems was carried out with 368 producers from major market gardening sites in South-Kivu, in Eastern of the RD Congo. The aim pursued was to assess existing systems and perspectives to enable steady transition to integrated, sustainable and resilient crop systems. The results showed that very few producers in the region practice plant integration. The typology carried out made it possible to identify three classes of market gardening farms based on adopted agronomic practices, production factors and possible outcomes derived from different systems. Most of the surveyed farms practice crop rotation and are market-oriented. However, they majorly differ in terms of farm size, practices of intercropping, permanent agriculture, mulching, production constraints and producer's perception on the level of production. For instance, producers who are much more into intercropping also cultivate small areas (less than 0.25 ha). Results also showed that variables such as type of labour, cropping system, type of fertilizer used, mulching practice, adoption of permanent agriculture, producer's perception of the level of soil fertility, and the water source used affect producer's appreciation of the level of production obtained ($p < 0.05$). These variables can be mobilized for improvement of the market gardening system towards more sustainable, diversified and resilient systems.

Keywords: agroecology, market gardening, sustainable agriculture, food security, diagnosis.

2.1. Introduction

Agriculture remains a growing sector in most of developing countries. With the rapid pace of population growth (Imai et al., 2015), food needs are becoming greater, requiring more commitments from governments and producers (Vanlauwe et al., 2015). In Africa, the agricultural sector provides full-time employment to about 70% of the population (Jayne et al, 2014). However, despite this high percentage of farmers, there are areas in some countries where populations are under food insecurity (Mellor, 2014). This is the case for the Democratic

Republic of Congo. With more than 80 million hectares of arable land, the country is endowed with unmatched agronomic potential in Africa (MINAGRI, 2013).

Nevertheless, the majority of its population remains exposed to food insecurity, malnutrition and hunger (James & Nlemfu, 2016). The same can be said for the Province of South-Kivu, the area of interest of the current study.

The Province of South-Kivu, in particular, is one of the country's Provinces with the highest poverty rate at country level (84.7% against 71.3%) despite a strong agricultural potential. Agriculture remains so far the most important sector within the Province and employs 68.7% of the active population (Nsimire, 2012; Nfundiko, 2014). For a long time, the Province's agricultural resources have earned it the title of "granary of the country", supplying food and agricultural products to other provinces and neighbouring countries (Ndjadi et al., 2019). This situation emphasizes a great paradox between the gloomy development indicators exhibited by the Province and its agricultural potential, but also a flagrant link between the severity of poverty and food situation (CIALCA, 2010). This situation is mainly due to the low income of the population, which is mainly located in rural areas and living in a precarious environment. Nevertheless, the Province of South-Kivu still offers favourable pedoclimatic conditions for different types of crops, such as market gardening, which is one of the evolving agricultural sectors within the Province.

Market gardening offers opportunities against hunger through production of a varied range of vegetables that can improve the diet and nutritional status of households (Ouédraogo et al., 2019). The related income can also facilitate access to other types of food and vital resources. In the current context of climate change where we are witnessing recurrent cereal deficits, market gardening appears as an interesting alternative in alleviating poverty and food insecurity both in urban and rural areas (Mankoussou et al., 2016).

In view of the urban population growth that leads to a strong demand for market garden products, the market gardening sector constitutes an important source of jobs and food. In South Kivu, 60,000 tons of vegetables are produced each year, creating income to a significant number of small producers (USAID, 2015). Despite this production, the supply balance remains in deficit and insufficient to meet the ever-increasing demand. The gap is therefore filled with imports, deteriorating the terms of trade and with significant effects on the balance of payments (Vwima et al., 2013).

However, the gardening sector in South-Kivu is facing many challenges that are hampering its development.

In addition to the low level of control over production factors, market gardening is subject to land insecurity, especially in peri-urban areas. The cultivation of the same speculations by most market gardeners leads not only to a drop in product prices but also to a lack of diversity within the sector of the vegetables. These difficulties are compounded by the lack of an integrated, resilient, efficient and sustainable agro-ecological production system. In addition to this, the instability of prices on the market, the lack of professionalism of the actors, the inability of research institutions to propose scientifically supported orientations are also elements that weaken the market gardening sector within the Province.

In terms of consumer requirements, the quality, quantity and regularity of vegetable supplies remain a challenge for producers who have to respond to heavy demands. To this end, the choice of strategies and orientations towards a more productive, efficient, diversified, sustainable, and resilient production method will necessarily depend on information resulting from a thorough and participatory diagnosis. Such a diagnosis is important for characterizing the intrinsic state of the market gardening sector in terms of technical itineraries and levers that can be mobilized for its improvement. The objective of the present study is therefore to assess the market gardening systems encountered in South-Kivu and the possibilities of a transition towards a sustainable, resilient and efficient agro-ecological system.

2.2. Method

2.2.1 Study area

This study was carried out in the Democratic Republic of Congo, South-Kivu Province, Kabare territoire, (2°22'60"S and 28°46'60"E), located at 28 km away from Bukavu city on the road to Goma. The landscape of Kabare is of mountainous type, its topography presents three more or less stepped levels.

This landscape is part of the western ridge of the Central African Group (Karhagomba et al., 2013).

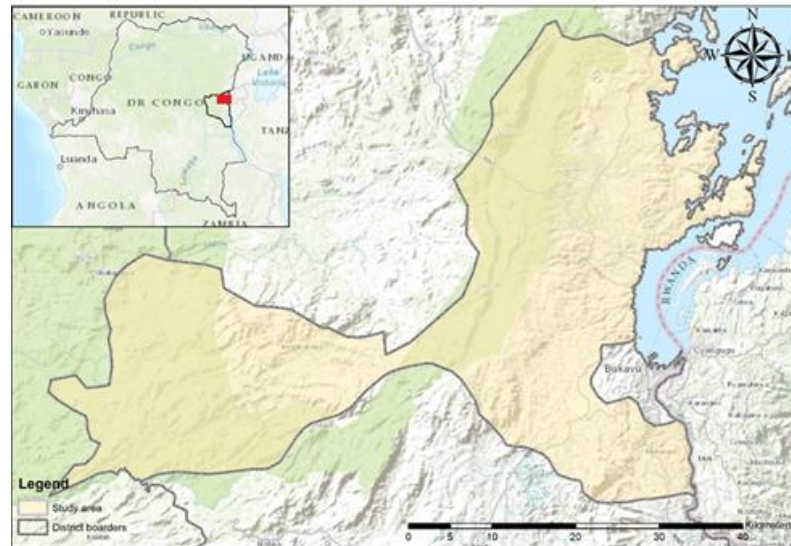


Figure 2.1 Map of the study area

The climate is of the humid tropical type with a mean annual temperature of 19.9 °C and a daily amplitude varying between 10 and 20 °C (Lunze et al., 2012). The rainy season extends from September to May while the dry season takes place from June to August.

The vegetation of the district used to be of a natural tiered type and presented several plant species but no longer exists nowadays due to overexploitation of the soil and scarcity of arable land. Nevertheless, the vegetation is mainly composed of banana plantations, bamboos, some fruit trees and agro-forestry species. Food crops such as maize, pulses, and cassava are also grown. There are also some industrial crops such as coffee, cinchona, tea, and sugar cane. Vegetable crops are also widely grown in this region.

As for soil, this one is of volcanic type and contains a lot of humus, including the basaltic soils mostly found in the southern part of Lake Kivu. Alluvial soils occupy valley bottoms and are potentially fertile (Pypers et al., 2011). The region also has several wetlands where food crops and typical market gardening are grown annually.

2. 2.2 Sampling, Data Collection, and Analytical Methods

The proportion of surveyed producers was obtained using the normal approximation of the binomial distribution based on Dagnelie (1998) used by Balogoun et al. (2014).

$$N = \frac{P_i(1 - P_i) \times U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2}{d^2} \quad (1)$$

Where, N: sample size; P_i : the proportion of market gardening households; $U_{1-\alpha/2}^2$: the value of the normal random variable is 3.8416 for a probability equal to 0.975 and d: the expected margin of error evaluated at 5%. Based on the p-values from the results of the exploratory phase, 368 producers were selected. Several groupements such as Mudaka, Bushwira, Miti, Bugorhe, and Irhambi-Katana were selected based on the intensity of market gardening activities, their proximity to the city of Bukavu. Using a stratified random approach, we selected 90 persons in Mudaka, 66 in Bushwira, 78 in Miti, 70 in Bugorhe, and 64 in Irhambi-Katana.

A single individual survey followed by focus groups was conducted from 15 June to 30 September 2018. Using a structured survey questionnaire, the information collected covered socio-demographic characteristics of households (household size, number of agricultural workers, main activities and other activities carried out, age of the household head, gender, level of education, experience in agriculture and market gardening, membership to a farmer organization, etc.).

The characteristics of agricultural holdings (exploited area, cropping system adopted, speculations exploited, perception of the level of soil fertility, type of fertilisers used, practice of permanent agriculture, water source, type of labour employed, practice of moisture conservation, etc.).

Some additional information collected from the surveyed households concerned the type of cropping systems adopted by farmers and farmers' appreciation towards production level. Such assessment is very critical since it expresses the producer's level of judgement regarding the output achieved.

2.2.3 Statistical Analysis of the Data

The statistical analyses consisted mainly of multivariate factor analysis using the FactoMineR library (Lê et al., 2008) of the R software in its version 3.5.1 (R Development Core Team, 2018).

Multivariate factor analysis is part of data reduction techniques that aim at capturing the variance in the variables within a data set.

It is most of the time confused with principal component analysis, another popular technique of multivariate analysis with much more similar outputs and identical goal (capturing the variance in the variables). Despite the similarities between the two models, they are fundamentally different. Principal component analysis is more of a linear combination technique, whereas factor analysis stands as a model of measurement of a latent variable. The latter cannot be directly measured through one variable but several output or indicator variables. All candidate variables used for this analysis were qualitative. Therefore, a multiple correspondence factor analysis was performed using the Multiple Correspondence Analysis (MCA) procedure. The coordinates of the individuals on the first five main axes (accumulating 51.24% of the total inertia) were retained. They were used for hierarchical upward classification into Hierarchical Clustering Principal Components (HCPC). An ordinal logistic regression was conducted to determine factors influencing production appreciation using the polr procedure of the MASS library (Venables & Ripley, 2002) in R.

Production appreciation, seen as a utility maximization problem, can be modeled using a choice experiment approach. As suggested by Lancaster's model of consumer choice, consumers derive their satisfaction from both goods and attributes they provide. Borrowing from Birol and Smale (2006), let us assume that a farmer has to choose from a set of different market gardening systems (called C) susceptible to yield different levels of production based on the input combination they require or the constraints they impose. Farmer's utility with regard to the available alternatives will therefore be a function different factors that can be summarized by the following mathematical relationship:

$$U_{ij} = V \cdot (Z_j, S_i) + e(Z_j, S_i) \quad (2)$$

Where, i refers to a given farmer facing any market gardening system j associated with a certain level of utility. In that context, the utility derived from different market gardening systems partially depends on the goods or level of production that can be obtained from them (Z) as well as farmer's social and economic characteristics (S). Therefore, farmer's level of appreciation of production associated with different market gardening systems can be seen as a function of the probability that the utility derived from a given system is higher or lower as compared to that of

other systems. Considering that ranking, the probability that a farmer's level of appreciation falls in a given category can be expressed in terms of an ordinal logistic regression.

However, since the dependent variable is unobservable (because we are dealing with sentiments), this model is not a regression model. It is instead called an index model. The ranking made by farmers based on the choice they make is relative to certain thresholds. Since farmers have to express their appreciation towards the level of production derived from a given gardening system as “low”, “medium” and “high”, we have three outcomes $M = 3$ but $M - 1 = 2$ thresholds μ_1 and μ_2 , with $\mu_1 < \mu_2$. This index model does not have an intercept to avoid any multicollinearity problem with the threshold variables. If the farmer presumes that production in a given market gardening system is not satisfactory, then his sentiment in terms of production appreciation will fall under the lowest category, and so then $y_i^* \leq \mu_1$ and the alternative “low” will be chosen; if $\mu_1 < y_i^* \leq \mu_2$ then the alternative “medium” is chosen, and if he presumes that the level of production derived from the exploited market gardening system is high, *i.e.*, $y_i^* > \mu_2$, and category is “high” is chosen.

The comparison of the modalities of a variable, taken in pairs, was done using the emmeans and cld procedures of the emmeanset multcomp libraries (Hothorn, et al., 2008) respectively.

2.3. Resultas

2.3.1 Description of Socio-demographic Characteristics of Producers by groupement

Socio demographic characteristics of producers are presented on Table 1.

Table 2.1: Description of socio-demographic characteristics of producers according to the groupements

Variables/Modalities	groupements				
	Mudaka N=90	Bushwira N=66	Miti N=78	Bugorhe N=70	Katana N=64
<i>Sex</i>					
Male	34.4 (31)	51.52 (34)	41.02 (32)	47.15 (33)	28.13 (18)
Female	65.6 (59)	48.48 (32)	58.98 (46)	52.85 (37)	71.87 (46)
<i>Age</i>					
Less than 30	37.95 (34)	40.25 (27)	32.16 (25)	38.44 (27)	35.27 (23)
30-50	54.12 (49)	52.05 (34)	58.23 (45)	53.32 (37)	53.12 (34)
Greater than 50	7.93 (7)	7.70 (5)	9.61 (7)	8.24 (6)	11.61 (7)
<i>Household size</i>					
3 to 7	75.12 (68)	72.85 (48)	81.18 (63)	85.32 (60)	78.25 (50)
Greater than 7	24.88 (15)	27.15 (18)	18.82 (15)	14.77 (10)	21.75 (14)
<i>Marital status</i>					

Single	11.11 (10)	6.67 (4)	15.3 (12)	11.43 (8)	10.94 (7)
Divorced	11.11 (10)	12.12 (8)	12.8(10)	17.14 (12)	20.31 (13)
Married	61.11 (55)	66.06 (44)	61.64(48)	64.29 (45)	59.37 (38)
Widower	16.67 (15)	15.15 (10)	10.26(8)	7.14 (5)	9.38 (6)
<i>Main activity</i>					
Vegetable farming	61.11 (55)	63 (42)	76.92(63)	74.29 (52)	67.19 (43)
Other crops	22.22 (20)	18 (12)	10.26(8)	18.57 (13)	20.31 (13)
Small trades	16.67 (15)	18.06 (12)	12.82(7)	7.14 (5)	12.5 (8)
<i>Land access method</i>					
Heritage	20.00 (18)	19.03 (12)	30.37 (24)	34.64 (24)	28.76 (18)
Purchase	22.22 (20)	50.32 (34)	47.28 (37)	45.95 (32)	59.32 (38)
Rental	57.77 (52)	30.65 (20)	22.35 (17)	19.41 (14)	11.92 (8)
<i>Membership in an association</i>					
Yes	34.64 (31)	28.32 (19)	32.20 (25)	38.65 (27)	25.08 (16)
No	65.36 (59)	71.68 (47)	67.80 (53)	61.35 (43)	74.92 (48)

Table 1 shows that most of the market gardeners in the different groupements are female except in Bushwira where male farmers are slightly dominant than their female counterparts. The majority of producers have between 30 and 50 years of age. This is particularly observed in Miti groupement where 58.23% of the surveyed farmers fall under that category of age and with only few being over 50 years old. Results in Katana on the other side show more producers beyond the age of 50 (11.61%) as compared to others groupements. Households with a size of 3 to 7 people remain dominant in all study sites. Results in Table 1 show more households with low dependency ratios in groupements like Bugorhe where few of them have more than 7 children (14.77%).

In all the surveyed groupements, market gardening remains the main activity of producers (at 60%), followed by “others crops and small businesses”. As for land acquisition, results showed that most of producers have purchased the land they are exploiting (more than 45%). Others acquire land by inheritance or by renting, except in Buswhira where renting (30.65%) is more dominant than accessing land by inheritance (19.03%). The survey results also indicate that membership to farmers’ organisations is less common among market gardeners. Nevertheless, in Bugorhe the number of market gardeners who are members of associations is high (38.65%).

2.3.2 Educational Background, Technical and Economic Characteristics of Producers

The table above presents the Educational, Technical and Economic Characteristics of Producers

Table 2.2: Educational background, technical and economic characteristics of producers

Variables = Modalities	Groupements				
	Mudaka N=90	Bushwira N=66	Miti N=78	Bugorhe N=70	Katana N=64
<i>Education level</i>					
Illiterate	44.44 (40)	45.45 (30)	44.87(35)	57.14 (40)	48.24 (31)
Primary school	24.45 (22)	36.37 (24)	34.61(27)	14.28 (10)	31.25 (20)
Secondary school	31.11 (28)	18.18 (12)	12(9)	22.87 (16)	12.82 (8)
University	-	-	8.52(7)	5.71 (4)	7.69 (5)
<i>Type of labour</i>					
Family	55.55 (50)	48.48 (32)	51.28(40)	60.00 (42)	46.88 (30)
Employee	27.27 (25)	27.27 (18)	26.92(21)	25.71 (18)	37.50 (24)
Community	11.11 (10)	9.09 (6)	6.41(5)	2.86 (2)	6.25 (4)
Family and employee	5.56 (5)	15.15 (10)	15.38(12)	11.43 (8)	9.38 (6)
<i>Use of the Harvest</i>					
Sale	88.00 (79)	85.00 (56)	90.00(70)	88.57 (62)	95.00 (61)
Consumption	12.00 (11)	15.00 (10)	10.00 (8)	11.00 (8)	5.00 (3)
<i>Seniority in Other Crops</i>					
3-5 years	31.18 (15)	25.82 (17)	19.84 (15)	29.75 (21)	18.77 (12)
> 5 years	68.82 (63)	74.18 (49)	80.16 (63)	70.25 (49)	81.23 (52)
<i>Seniority in market gardening</i>					
3-5 years	26.66 (24)	32.05 (21)	30.93 (24)	39.11 (27)	35.18 (23)
> 5 years	73.33 (66)	67.95 (45)	69.07 (54)	60.89 (43)	64.82 (41)
<i>Available area</i>					
< 0,25 ha	24.44 (22)	19.66 (13)	28.20 (22)	25.71 (18)	15.62 (10)
0.25-0.99 ha	61.11 (55)	56.06 (37)	55.12 (43)	57.14 (40)	59.37 (38)
> 1 ha	14.44 (13)	24.24 (16)	16.66 (13)	17.14 (12)	25.00 (16)
<i>Area of market gardening</i>					
< 0.25 ha	19.83 (37)	37.18 (25)	30.76 (24)	11.56 (8)	15.65 (10)
0.25-0.99 ha	80.17 (53)	78.12 (41)	69.23 (54)	85.05 (60)	84.37 (54)
≥ 1 ha	-	-	-	3.39 (2)	-

Results on educational background, technical and economic characteristics of producers in different groupements show that most market gardeners never attended school. Some of them at least have completed primary or secondary school though in small proportions (see Table 2).

Farmers with a university background represent a very small percentage. Regarding labour and the type of labour used, results show that farmers depend more on family labour. Farmers also use two more types of labour, namely hired labour and community labour which is very common in Sub-Saharan Africa. As for the goal of market gardening, reported results show that most of the harvested produce is market-oriented. Crop diversification is also a common practice among farmers, who according to the results have spent more than five years growing “other crops” apart from market gardening. The same trend can also be observed among farmers specialized in market gardening though less prominent compared to those growing other crops.

Results in Table 2 show that farm size in the surveyed areas varies between 0.25 and 0.99 ha. However, in Mudaka, the proportion of producers with plots smaller than 0.25 ha is high compared to those with plots larger than 1 ha (Table 2). A similar situation can also be observed in Miti and Bugorhe. As for Bushwira and Katana, these two groupements exhibit a high number of farmers with larger plots (1 ha on average). Those with small plots (less than 0.25 ha) are particularly few. With regard to the area allocated to market gardening, results show that these activities are carried on surfaces ranging from 0.25 to 0.99 ha. Other farmers, as shown by the obtained results, have less than 0.25 ha dedicated to market gardening. In broad, market gardening is carried out on areas estimated at less than one hectare, except in Bugorhe where results had shown a small proportion of farmers (3.39%) who had dedicated more than one hectare to it (see Table 2).

2.3.3 Diversity of Market Garden Farms in the Study Area

The ascending hierarchical classification grouped these farms into three main classes. Discriminant significance is little observed with variables such as sowing mode, group membership, water source, and producers' perception of soil fertility, as they are less far from the main axis. While for other variables like cropping system, purpose of cropping system, type of labour used, major constraint, land tenure, available area, harvest use, main activity, area allocated to market gardening, practice of permanent agriculture, use of chemicals and phytosanitary products, type of fertilisers used, mulching practice, as well as the producers' appreciation of the production obtained, make it possible to strongly discriminate between the different classes generated.

2.3.4 Description of Three Main Types of Market Garden Farms Encountered in the Study Area

2.3.5 Socio-economic and Demographic Characteristics of Market Garden Farmers in the Study Area According to Classes

Socio-economic and demographic characteristics of farmer's class are presents in Table 3.

Table 2.3: Socio-economic and demographic characteristics of market garden farms

Variables = Modalities	Type I (14.40%)		Type II (72.83%)		Type III (12.77%)	
	Frequency	v.test	Frequency	v.test	Frequency	v.test
<i>Land access method</i>						
Purchase	100	15.18	57.08	7.46	31.91	-2.01
Heritage	0.00	-6.96	40.29	2.55	55.31	2.80
Rental	0.00	-8.20	2.61	-11.97	12.76	-0.96
<i>Type of labour</i>						
Family and employee	92.45	15.62	0.00	-12.15	2.12	-2.71
Employee	1.88	-5.21	33.95	4.59	21.27	-1.04
Family	0.00	-918	59.70	4.38	72.34	2.89
Community	5.66	-0.04	6.34	0.44	4.25	-0.45
<i>Main activity</i>						
Small trades	53.47	11.13	0.00	-8.80	0.00	-2.40
Vegetable farming	45.28	-1.88	61.19	2.42	51.06	2.43
Other crops	0.00	-6.74	38.80	2.67	48.93	-1.49
<i>Use of harvest</i>						
Consumption	20.75	-13.11	27.00	-10.02	2.12	-2.57
Sale	79.24	13.11	73.00	10.02	97.87	2.57
<i>Groupement</i>						
Mudaka	28.30	0.70	24.25	-0.15	21.27	0.51
Bushwira	18.96	0.21	17.16	-0.63	21.27	0.64
Miti	20.75	-0.05	21.64	0.32	19.14	-0.33
Bugorhe	18.86	-0.03	19.77	0.58	14.89	-0.74
Katana	13.20	-084	17.16	-020	23.40	1.13
<i>Available area</i>						
Less than 0.25 ha	1.88	-5.21	29.85	2.52	36.17	1.58
0.25-0.50 ha	0.00	-6.24	25.82	3.12	38.29	1.14
0.50-1 ha	0.00	-4.70	30.22	4.71	14.89	-1.60
Greater than 1 ha	98.11	14.51	4.10	-11.03	10.63	-1.49

The results of socio-economic and demographic characteristics of the market garden farms in the study area helped identifying three social classes (see Table 3).

Type I exhibits some characteristics that need to be pointed out. Farmers with relatively high living standards own most of farms within this cluster. Moreover, farmers under this cluster own plots they are exploiting and had acquired them through purchasing. As for the land size owned by farmers within the cluster, results show that most of them own large plots, measuring more than one hectare, they use more hired labour and venture into small businesses. Most of farms located in Mudaka and Bushwira belong to this cluster.

Type II farms constitute a middle class between the first and the third clusters. Most of farms within this cluster are acquired by inheritance (40.29%) and others are rented (57.08%); they make use of three types of labour, namely hired labour (33.95%), family labour (59.70%) and community labour (6.34%). Market gardening stands as the main activity (61.19%) of farmers, followed by “other crops” (38.80%). The farm size varies between 0.25 and 1 hectare. Most of farms of Miti and Bugorhe fall under this category.

Type III farms can be considered as the poor farmer’s class. Most of plots exploited by farmers within this class have been acquired by inheritance (55.31%) and as for labour and farmers’ main occupation; family labour (72.34%) and market gardening (51.06%) appear as the most predominant labour type and occupation of producers within this class. Mudaka and Bushwira farms are the ones constituting this cluster.

2.3.6 Characteristics Related to Cropping Systems

Table 2.4: Shows the characteristics relates to the cropping systems at Kabare.

Variables = Modalities	Type I (14.40%)		Type II (72.83%)		Typee III (12.77%)	
	Frequency	v.test	Frequency	v.test	Frequency	v.test
<i>Market gardening area</i>						
Less than 0.25 ha	1.88	-7.68	50.37	2.97	68.08	3.27
0.25-0.50 ha	7.54	-3.39	33.20	3.12	27.65	-0.16
0.50-1.00 ha	60.37	6.86	16.04	-3.61	4.25	-3.31
Greater than 1 ha	30.18	-7.51	0.37	-5.85	0.00	-1.68
<i>Mulching</i>						
Yes	39.62	4.03	24.25	-6.96	68.08	4.90
No	60.37	-4.03	75.74	6.96	31.91	-4.90
<i>Permanentaagricultural system</i>						
Yes	1.89	-3.83	10.82	-5.85	80.85	10.24
No	98.11	3.92	89.17	5.85	19.14	-10.24
<i>Cropping system practised</i>						
Pure crops	100.00	3.54	100	11.70	2.68	-16.41
Crops mixing	0.00	-3.54	0.00	-11.70	97.32	16.41
<i>Type of fertilisers</i>						

None	47.16	3.15	23.88	-2.97	31.91	0.59
Mineral	20.75	-2.26	41.41	4.92	8.51	-4.27
Compost	0.00	-2.04	4.10	-1.73	19.14	3.63
Plant debris	0.00	-2.43	4.47	-2.94	29.78	5.24
Animal faeces	32.07	1.25	26.11	0.80	10.63	2.54
<i>Use of phytosanitary products</i>						
Yes	92.45	-2.56	88.0	5.89	21.27	-9.53
No	7.54	2.56	11.94	-5.89	78.72	9.53
<i>Production appreciation</i>						
Low	39.62	-0.25	47.38	3.92	8.51	-5.23
Medium	50.95	2.45	32.46	-2.02	36.17	0.09
High	9.43	-2.68	20.14	-2.14	55.31	5.13
<i>Perception of field fertility</i>						
Low	26.41	-1.49	7.08	-8.83	76.59	9.46
Medium	15.09	2.69	86.1	8.25	23.40	-7.85
High	58.49	2.20	6.71	-0.43	0.00	-2.24
<i>Goal of the cropping system</i>						
Rationalizing the use of space	0.00	-1.97	0.00	-6.91	40.42	8.99
Crop harvest Diversification	0.00	-2.55	0.00	-8.62	59.57	11.33
Ease of work	39.62	0.08	45.89	4.44	0.00	-6.82
No specific reason	60.37	1.91	54.11	3.78	0.00	-7.95
<i>Major constraints</i>						
Land availability	0.00	-3.25	0.00	-10.77	87.23	14.61
Product flow on the market	49.05	2.20	38.43	2.04	2.12	-5.78
Climate disturbance	33.96	0.60	33.58	2.16	8.51	-3.75
Diseases and pests	16.98	1.13	27.98	3.81	2.12	-4.16
<i>Sowing method</i>						
In bulk	32.08	-0.56	38.05	1.61	25.53	-1.54
In lines	67.92	0.56	61.94	-1.61	74.46	1.54
<i>Source of water</i>						
Groundwater	49.05	3.25	24.25	-3.42	36.17	1.08
Rain	37.73	1.61	29.10	0.57	12.76	3.56
Catchment	0.00	-3.82	9.77	5.72	0.00	-3.54
Rain and catchment	13.20	-2.68	26.86	-0.78	51.06	3.56

The clustering made it possible to distinguish between three types of market gardening operations.

The clustering made it possible to distinguish between three types of market gardening operations. The first type represents 14.40% of the sample and includes large farms with sizes ranging from 0.50 ha to 1 ha that can be classified as “very little” from an agro-ecological perspective.

In fact, pure stand is the sole cropping system adopted by farmers within this first type of market gardening operations (100%) (Table 4). This class has not adopted mulching practices (60.37%) and the permanent agriculture system (98.11%). The fertilisers used are animal dung (32.07%) and mineral manure (20.75%). Some producers even prefer not using fertilisers (47.16%) at all. Soil analysis on the other side has shown that these farms are located on moderately fertile land (50.95%). Groundwater and rainfall are the main sources of water supply for farms. Some producers have reported adopting pure stand cultivation system for ease of work (39.62%) whereas others (60.37%) did not find any justification for why they choose a different cropping system. The major constraints hindering production are diseases and pests (16.39%), access to market (33.96%) and climatic disturbances (49.05%). The presence of diseases and pests imposes a high use of chemicals phytosanitary products (92.45%). On these farms, producers have an average appreciation (50.95%) of the production achieved.

The second class is made of small farms (less than 0.25 ha), representing 72.83% of the sample (Table 4). These types of farms are referred to as “non-agro-ecological”. We found that in these farms, sowing is practised in rows (61.94%) and farmers presume that production is somehow low (47.38%). Mineral fertilisers (41.41%) and animal manure (26.11%) are the most used types of fertilisers for improving soil fertility. The pure cultivation system is practised because of its ease in carrying out work (45.89%). Other farmers did not give any reason for choosing this cultivation system (54.11%).

The third class also called “agro-ecological”, (12.77% of the total sample) contains small farms (less than 0.25 ha) but unlike the second, most farms within practice crop diversification (97.32%), mulching (80.85%) and have adopted permanent agriculture system (68.08%). Located on less fertile land (79.59%), some farmers in this class also use compost (19.14%), plant debris (29.78%) and animal dung (10.63%) as fertilisers, while others do not use fertilisers (31.91%) (Table 4). As most farmers are land-constrained, intercropping appears to be the recurrent agronomic practice encountered among farmers (40.42%) as well as crop diversification (59.57%). As for production self-assessment, most of farmers had reported that their produce is of good quality (55.31%).

Missing markets and access, crop diseases and pests as well as climatic disturbances are not the major production constraints encountered, land availability also stands as a major constraint that

hinder productivity market gardening farmers (87.23%). The water table at last reports that rainfall and catchment constitute largely (51.06%) the main sources of water used by farmers.

2.3.7 Analysis of the Determinants of Production Appreciation

The table 2.5 above presents the Analysis of the Determinants of Production Appreciation

Table 2.5: Presents the determinants of production appreciation.

Variables	χ^2	DF	Probability
Sex	0.8182	1	0.36571ns
Age	2.6069	2	0.27158ns
Education level	11.8287	3	0.00799**
Market gardening area	2.4034	3	0.49299ns
Main activity	9.0030	2	0.01109*
Type of labour	23.6159	3	3.004e-05***
Cropping system	14.4828	1	0.00014***
Type of fertilisers	16.4889	4	0.00242**
Mulching	11.0950	1	0.00086***
Permanent agricultural system	4.2812	1	0.03853*
Perception of field fertility	25.1460	2	3.464e-06***
Source of water	29.8601	3	1.477e-06***

Note. * = significant difference; ** = very significant difference; *** = very highly significant difference; and ns = non-significant difference at $\alpha = 0.05$.

Results reported in Table 5 show that level of education, type of labour force, cropping system, type of fertilisers, mulching practice, practice of the permanent agriculture system, perception of soil fertility and the source of water significantly affect the appreciation of market gardeners regarding the level of production achieved (< 0.05).

2.3.8 Separation of Modalities with Significant Determinant Effects

Modalities with significant determinant effects are presented on Table 2.6.

Table 2.6: Separation of modalities with significant determinant effects

Variable	Modality	Coefficient	Standard Error	Group
Education level	Illiterate	1.714	0.843	a
	Primary school	-1.023	0.600	a
	Secondary school	-0.525	0.566	ab
	University	-2.362	1.275	ab
Type of labour	Family	-1.614	0.680	a
	Family and employee	-1.428	0.758	a

	Community	-0.036	0.699	ab
	Employee	0.882	0.581	b
Cropping system	Culture pure	-1.702	0.494	b
	Polyculture	0.604	0.618	a
Type of fertilisers	Animal faeces	-1.3111	0.539	a
	Compost	-1.180	0.652	ab
	Mineral	-0.551	0.525	ab
	None	0.098	0.472	b
	Plant debris	0.199	0.688	ab
Mulching	Yes	-1.047	0.518	a
	No	-0.050	0.452	b
Permanent agricultural system	Yes	-1.018	0.542	a
	No	-0.080	0.492	b
Perception of field fertility	High	-3.688	1.231	a
	Medium	0.827	0.393	b
	Low	1.213	0.431	b
Source of water	Catchment	-0.004	0.603	a
	Rain	-0.031	0.509	a
	Rain and catchment	-0.370	0.472	a
	Groundwater	-1.7893	0.528	b

The results in Table 6 indicate that producers with primary education have a better appreciation of the production compared to other categories. Those with no formal education and those with secondary or university educational level follow them.

Farms that employ family labour and hired labour at the same time have good production. They are followed those solely employing hired labour or those making use of community labour only. Besides, it can be observed that farmers who practise intercropping have a better appreciation of production than those who practise pure stand cropping system. With regard to the type of fertilisers, results showed that farmers who make use of animal manure are able to achieve better production. Those who do not use fertilizer, then those using compost, mineral fertilisers and plant debris follow them. We have also found that the practice of mulching also yields better outcome in terms of production. The same can be said for adoption of permanent agriculture system. It should also be noted in passing that good soil fertility determines good production. Catchment and rainfall as well as catchment and rainfall as a source of water affect more production than the water table.

2.3.9 Frequency Distribution of Market Gardening in the Region

Frequency distribution of gardening items in the region is presented in Table 7.

Table 2.7: Frequency distribution of gardening items in the region.

Crops	Frequency (N=368)
Cabbage	13.59 (50)
Onion	16.85 (62)
Eggplant	18.48 (68)
Tomato	13.32 (49)
Pepper	1.63 (6)
Carrot	2.72 (10)
Celery	1.90 (7)
Garlic	2.45 (9)
Amaranth	4.35 (16)
Nightshade	2.17 (8)
Leek	2.72 (10)
Squash	3.26 (12)
Bean	6.79 (25)
Peanut	4.62 (17)
Pea	5.16 (19)

The list of market garden crops carried out shows that fifteen (15) crops are grown in the study localities (Table 7). Eggplant is the most dominant (18.48%) in all the surveyed groupements, followed by onion (16.85%), cabbage (13.59%) and tomato (13.32%). It can also be observed that three legumes are integrated into the market gardening system. These include beans, peas and groundnuts.

Legumes are integrated in three ways: either in direct association with certain typical market garden crops, in rotation or in pure stand. In some cases, legumes are found on the farm with market garden crops, but not in direct association. According to information gathered from the focus groups and based on personal observation, some crops are widely grown in some groupements than others. This is the case for onions mostly grown in Mudaka, and tomatoes, cabbage and eggplant widely found in Katana, Bugorhe and Bushwira respectively. On the other hand, in Miti, there is no specific crop for the subcounty. Several crops are grown simultaneously.

2.3.10 Frequency Distribution of Vegetable Crop Combinations in the Study Area

Table 2.8 shows the frequency distribution of gardening combined items.

Table 2.8: Frequency distribution of gardening combined items

Encountered mixing crops	Frequency (N=47)
Bean-cabbage	17.02 (8)
Amaranth-Eggplant	4.26 (2)
Eggplant-Maize	10.64 (5)
Onion-carrot	4.26 (2)
Peanut-tomato	6.38 (3)
Peanut-onion	21.28 (10)
Amaranth-maize	8.51 (4)
Tomato-cabbage	4.26 (2)
Tomato-maize	8.51 (4)
Amaranth-nightshade-cassava	4.26 (2)
Tomato-pepper-bean	4.26 (2)
Chillies-squash-celery-beans	2.13 (1)
Squash-Pea	4.26 (2)

Information on the frequency distribution of market gardening associations practised in the region indicates that market gardening is not so frequently practised in association. We observed that out of the 368 market garden producers interviewed, only 47 practice intercropping (Table 8). Among the 13 farming associations listed, amaranth, beans and corn were frequently intercropped. On the other hand, the most common association was peanut and onion (21.28%).

2.4 Discussion

Our results show that the majority of vegetable producers are female, generally married, and are 30 to 50 years old; with a household size of 3 to 7 people. The main activity of the surveyed farmers is market gardening and none of them belongs to any farmer organization. These results reinforce the idea that market gardening is a booming sector in the outskirts of large African cities and where women seem to play a key role, especially for the the development of the sector (Glavana et al., 2018). Market gardening is of greater interest to a certain category of people seeking for employment, food and financial sovereignty. In Benin for example, Nouatin et al. (2010) showed that market gardening production was the main activity and sole source of income for market gardeners. Given the profitability of the activity, young school dropouts are increasingly interested in market gardening and this is in line with the results of Ahouangninou

(2013). In order to diversify and secure income, adults no longer hesitate to venture into the sector (Mbah et al., 2013).

Our results indicate that some producers engage in other activities in addition to market gardening due to land constraints but also in order to diversify their activities and sources of income (Lowder et al., 2016). The latter can be petty trade, brick making, handicrafts, logging and other types of gainful occupations in the local environment (Kanda et al., 2006; Mfoukou-Ntsakala et al., 2012).

We observed that market gardeners are classified into three groups according to the criteria used. Dobbs and van Vliet (2015) point out that during typology work, agricultural production units are categorised into various classes. This situation is due to the varied socioeconomic and demographic characteristics of the agricultural actors as well² as the technical options that they apply to the farm.

Depending on the mode of access to land, the area farmed and the type of labour, findings showed that vegetable farmers belong to different social classes. Type I farms is mainly made of wealthy farmers, while type II mostly encompasses middle class farmers who are also predominant (72.83%). Class III is mainly made of poor farmers. Indeed, land is an element of social cohesion, a tool for promoting economic sovereignty. Its mode of acquisition and its extent depend on social organisation and customs applied to a specific place. In Africa for instance, inheritance plays an important role in land acquisition. Most frequently, family first born can inherit family land after the decease of the father or another family member, such as an uncle or an aunt that had chosen him as a legitimate inheritor.

In other cases, honest people or more obedient sons can also inherit family land which according to the parent or owner's last wishes become their property and can also be passed on to another generation (Jayne et al., 2014).

In all the surveyed sites, labour is seen as the key performance factor (Veen et al., 2016). This is one of the characteristics of low or non-mechanized agriculture systems. Results had shown that in all the surveyed sites, farmers rely more hired labour, community and family labour due to lack of mechanization. The merits and demerits of each type of labour play a major role in its choice. For instance, the unbearable cost of hired labour usually plays against its choice and favours that of family labour, which turns out to be very cheap. However, farmers with low access to resources and venturing into subsistence agriculture often opt for family labour.

The analysis of the diversity of cropping systems made it possible to identify farms that are “less agro-ecological” and practised on large areas, those that are “non-agro-ecological” and practised on small areas, and finally those that are “agro-ecological” and practised on small areas. It was observed that farms with low agro-ecological and non-agro-ecological production do not obtain higher yields, face lots of market, climatic and phytosanitary (pests and diseases) constraints. On the other hand, agro-ecological farms have good production but are majorly land-constrained.

However, it should be noted that market gardeners work in an environment full of constraints. Aiken (2017) groups most of these constraints in three categories: social, economic and technical, which constitute factors hindering the development of market gardening practice. Nevertheless, Millner (2016), Ferguson and Lovell (2017), and Morel (2016) indicate that the choice of cropping system used in agriculture in general and market gardening in particular is likely to sufficiently mitigate these constraints and/or increase the resilience of the farm in their regard.

However, permaculture, as a method of designing intensive and rational cropping and farming systems based on agro-ecological principles and indigenous knowledge, would be appropriate to address some production constraints in a cost-effective manner (Abigail, 2014). This system will promote important technical orientations, including the possibilities of practicing a permanent agricultural system through the orderly choice of convenient crop successions, thereby promoting farm profitability (Vallavieille-Pope et al., 2006). Crop associations based on the practice of crop companionship will reduce phytosanitary pressure, increase crop diversity and secure income (De Olde et al., 2016).

These associations will advocate efficient management of solar energy through a good densification of the soil vegetation cover, which will constitute a drought mitigation measure (Blignaut et al., 2014). The significant improvement of the level of production appreciation will thus be the results of these various orientations.

Our results indicate that “agro-ecological” farms are characterized by good production. This situation would be because on these farms, producers make use of the major components of agroecology. We observed that they practice crop associations; apply soil moisture conservation practices, which reduce the effects of drought. These results reinforce the conjecture that adoption of permaculture practices would promote the effectiveness of market gardening (Marguerie, 2011). Permaculture advocates agroecology in market gardening in response to the issues of integrated protection, soil restoration and self-fertility, climate change, and land tenure

issues in agricultural environments (Francis & Porter, 2011; Malézieux, 2011). However, the transition to this agro-ecological system would be an effective and inexpensive tool for remedying production constraints. The results obtained indicated that some producers opt for the pure cropping system without specific reasons. This situation is said to be due to a strong attachment to the habits and customs linked to certain technical itineraries (Jerop et al., 2018).

We are seeing the presence of certain legumes such as beans, peas and peanuts in the vegetable farming system. In fact, their presence constitutes a technical and economic opportunity to be effectively exploited as means to improve soil fertility. Their presence also helps ensuring food and financial security, but helps increasing plant biodiversity in market gardening (Stevens, 2015; Justes et al., 2014). We also noted to some extent the presence of beans, amaranth and maize in the listed cropping associations. In fact, considering its very short production cycle, about 21 days, the cultivation of amaranth offers the potential to secure the household both on an economic and nutritional perspective (Nyankanga et al., 2011). Beans are a flagship crop in the region's cropping system, as they are a staple food for the population (Lunze et al., 2012). Maize is mostly associated with tomato in order to mulch the soil with its stubble once dried (Rushigira, 2017).

Among all associations, the peanut-onion association was the most dominant. Litourgidis et al. (2011); Altieri and Petersen (2011) indicated that plant association depends on the mutual interests of the components. The practice depends on the value the producer derives from it.

We believe that association of these two crops offer an opportunity for income diversification due to the high demand for both speculations. Moreover, the morphology and spatial arrangement of the two species limit their competition. The ground covered also by peanut helps to maintain moisture for the onion plants. As a legume, it probably also provides nitrogen fertilization for the soil. In addition, phytosanitary problem are not observed in this combination, which is an asset for this plant pair. It is important that research focus on the associations identified in this study in order to establish the scientific attributes for their consolidation. Once these attributes are mastered, these associations can be used as models for agro-ecological packages to be supported in order to make the vegetable cropping system diversified, resilient, sustainable and productive.

2.5 Conclusion

Market gardening is a growing sector in the agricultural production system of South-Kivu. It employs all strata of the population. In view of the food, professional and economic stakes, many find in this sector a reason to satisfy their needs. The results obtained reveal a strong diversity of producers and farms. This diversity is linked with the socio-economic characteristics of market gardeners and definition of technical orientations applied to the farm.

However, the description of the farming system shows that some of its components constitute the constraints that limit its performance. These include the practice of pure cultivation, the non-practice of permanent agriculture, and the non-use of soil moisture conservation practices. Paradoxically, the opposite options of these constraints contribute significantly to the success of the activity. Crop association increases the resilience of the farm to the risk of income loss following the loss of a single crop. It reduces the incidence and severity of diseases and pests. The practice of the permanent farming system ensures regular harvests and therefore frequent income. The application of soil moisture conservation practices reduces the effects of climatic disturbances and contributes to the restoration of soil fertility. Thus, it has been generally observed that the application or adoption of any component of permaculture is effective in contributing to the overall success of market gardening farms.

A practical and participatory understanding of some of the identified agro-ecological components will help to strengthen and clarify their potential for a transition to a sustainable and ecological farming system.

It seems specifically essential that one activity of this study focus on the application of sustainability standards to the different cropping systems identified in order to determine the sustainable agricultural systems.

Chapitre 3 : Evaluation de la durabilité des exploitations maraîchères au Sud – Kivu, Est de la RD. Congo

Chapitre 3 : Evaluation de la durabilité des exploitations maraîchères au Sud-Kivu, Est de la RD. Congo

Cet objectif spécifique a été publié dans « Cahiers d'Agricultures » dont voici les références :
Ndjadi SS, Ahoton LE, Kizungu RV, Saidou A, Mugumaarhahama Y, Mushagalusa AC, Safina FB, Mushagalusa GN. 2020. 647 Évaluation de la durabilité des exploitations maraîchères au Sud-Kivu (Est de la République démocratique du Congo). Cah. Agric. Vol: 200074.
<https://doi.org/10.1051/cagri/2020050>.

Chapitre 3 : Evaluation de la durabilité des exploitations maraîchères au Sud-Kivu (Est de la R.D. Congo)

Résumé

Le maraîchage est actuellement un secteur où certaines pratiques d'agriculture moderne comme la culture pure et l'utilisation des produits de synthèse se développent, mais sont de plus en plus questionnées. L'évaluation de la durabilité de ces pratiques n'a pas encore fait l'objet d'études dans les régions montagneuses du Sud-Kivu, à l'Est de la R.D. Congo. Pour y remédier, la durabilité de 368 unités de production maraîchère choisies de manière aléatoire et stratifiée a été évaluée grâce à l'outil « Indicateur de la durabilité de la production maraîchère » (IPDM). Les résultats obtenus font ressortir trois types d'exploitation dont 44 % sont de grande taille, 52 % de taille moyenne et 5 % de petite taille. Il a été observé que, sur un maximum de 100 points possibles, les exploitations de petite taille obtiennent des scores de durabilité de 60 %, 53 % et 57 % pour les trois dimensions respectives de la durabilité : agroécologique, socio-territoriale et économique. Sur toutes ces dimensions, les grandes exploitations n'atteignent pas 50%. Ces résultats montrent que les grandes exploitations, plus modernes, sont cependant moins durables. Afin de pérenniser le maraîchage au Sud-Kivu, il apparaît donc nécessaire de promouvoir l'intensification écologique, la diversification intégrée et la promotion des intrants locaux auprès des responsables des différents types d'exploitation, et en particulier ceux ayant des champs de grandes tailles, engagés dans des techniques intensives mais peu durables.

Mots clés : Agriculture durable, sécurité alimentaire, système de culture, maraîchage,

Abstract

Market gardening is currently a sector in which certain modern agricultural practices such as pure cropping and use of pesticides are developing, but are more and more questioned. The sustainability of such practices has not yet been evaluated in the highland regions of South-Kivu in the Eastern Congo DR. To fill this gap, the sustainability of 368 randomly selected and stratified vegetable farms was assessed using the "Indicator of Sustainability of Vegetable Production" tool. Three types of farms were identified: 44 % are large farms, 52 % are medium farms and 5 % are small farms. It was found that the small farms scored 60 %, 53 % and 57 %, respectively on the three dimensions of sustainability: agro-ecological, socio-territorial and economic (possible maximum 100). On these three dimensions, large farms scores did not exceed

50%. These results show that the larger farms, oriented toward modernization, are less sustainable.

In order to sustain market gardening in South-Kivu, it appears necessary to promote ecological intensification, integrated diversification and use of local inputs for all farm types, and especially for the large ones, engaged in intensive but not sustainable practices.

Keywords: Sustainable agriculture, food security, cropping system, market gardening

3.1 Introduction

Le maraîchage est un secteur en croissance du fait de l'augmentation des besoins alimentaires (Maseko *et al.*, 2017). Mais cette croissance ne se fait pas toujours en accord avec les principes d'une agriculture saine et durable, qui utilise rationnellement les ressources du milieu en tenant compte des générations futures (Velten *et al.*, 2016).

En Afrique tropicale, il existe des travaux sur la durabilité du maraîchage notamment ceux de Cissé *et al.* (2003), Traoré *et al.* (2006), Assogba-Komlan *et al.* (2007) ou Ahouangninou *et al.* (2013) en Afrique de l'Ouest et ceux de Bayendi *et al.* (2017) en Afrique Centrale. Cependant, il n'existe pas de travaux équivalents en République Démocratique du Congo (RDC).

Au Sud-Kivu, à l'Est de la RDC, le maraîchage constitue un secteur en plein essor et suscite un intérêt croissant du fait de la forte demande en légumes (Rushigira, 2017). Cependant, la plupart des producteurs optent pour des systèmes productivistes privilégiant la quantité plutôt que la qualité, et ne garantissant pas toujours la durabilité de la production. C'est le cas par exemple de la culture pure (c'est-à-dire une seule espèce sur la parcelle, par opposition aux cultures associées), de la monoculture (répétition dans le temps d'une même culture sur un même terrain) et de l'utilisation des engrais et pesticides de synthèse. Ces pratiques peuvent conduire à la dégradation de la fertilité des sols, la recrudescence des maladies et des ravageurs, la pollution des eaux et du sol, et l'accumulation de certains produits toxiques dans les récoltes (Ouédraogo *et al.*, 2019). En maraîchage, Baidoo *et al.* (2012) montrent que l'utilisation répétée des insecticides induit la résistance de certains ravageurs à ces produits.

A l'inverse, le maraîchage basé sur les principes de l'agroécologie favorise l'auto-fonctionnalité de l'écosystème en termes de gestion de la fertilité, de protection intégrée et de qualité des récoltes. Cette auto-fonctionnalité rend le système peu dépendant de l'extérieur, résilient et durable (Sala *et al.*, 2015). De nombreuses recherches ont exploité le potentiel des cultures

intercalaires pour une gestion durable et saine des maladies et des ravageurs des plantes maraîchères.

Baidoo *et al.* (2012) ont ainsi utilisé l'oignon en association avec le chou pour gérer les parasites de ce dernier, avec des résultats satisfaisants. D'autres recherches ont exploité la diversité végétale intégrée, par exemple cultures maraîchères-légumineuses pour la gestion de la fertilité du sol (Daryanto *et al.*, 2015). Soulignons par ailleurs, qu'il est reconnu que les systèmes de culture plus diversifiés et intégrés offrent une pluralité des espèces produites, contribuant ainsi à l'équilibre alimentaire, nutritionnel et socioéconomique (Vlachostergios *et al.*, 2010).

La coexistence de formes de maraîchage faisant un large appel aux intrants chimiques de synthèse importés avec des formes s'engageant dans la perspective d'une transition agroécologique progressive nous a conduit à évaluer les pratiques actuelles des exploitations maraîchères du Sud-Kivu à l'aune des standards d'une agriculture durable. Pour cela, nous avons utilisé différents critères de durabilité permettant, à travers une approche quantitative, de noter différents critères de durabilité pour des exploitations aux caractéristiques diverses.

3.2 Méthodologie

3.2.1 Zone d'étude

La présente étude a été conduite en RDC, dans la Province du Sud-Kivu, sur le territoire de Kabare (Fig. 1). Ce territoire est situé au Sud-Ouest du lac Kivu, entre 28°45' et 28°55' de longitude et 2°30' et 2°50' de latitude Sud.

Il présente une alternance de collines et de vallées. Le sol est d'origine volcanique, riche en humus, mais dégradé à certains endroits suite à l'érosion et à la surexploitation. La texture du sol est généralement à prédominance argileuse avec peu de sable. Ce territoire est soumis à un climat tropical humide composé d'une saison pluvieuse de 9 mois (septembre à mai) et d'une courte saison sèche de 3 mois (juin à août). La température annuelle moyenne est de 19,5 °C et l'humidité relative varie entre 68% et 75%, offrant un climat favorable à une diversité de cultures maraîchères (Balagizi *et al.*, 2013).

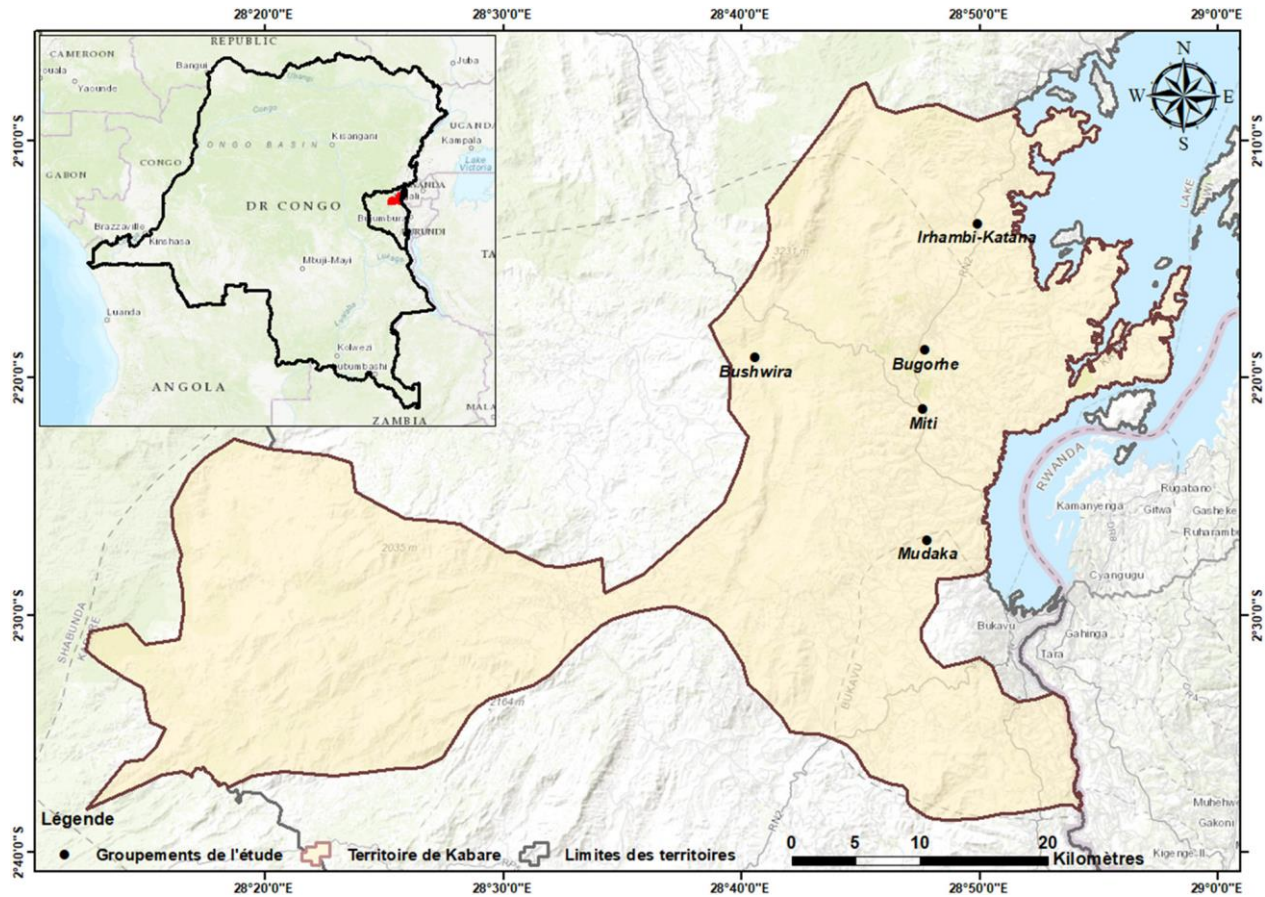


Fig 3.1. Carte du territoire de Kabare.

3.2.2 Echantillonnage et collecte des données

Pour avoir un échantillon représentatif, le nombre des exploitations enquêtées a été obtenu en utilisant l'approximation normale de la distribution binomiale (Dagnelie, 1998) dont la formule

est $N = \frac{P_i(1-P_i) * U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2}{d^2}$; avec, N : le nombre des exploitations enquêtées ; P_i : la proportion des ménages maraîchers; $U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2$: la valeur du carré de la quantile qui est de 3,84 pour un percentile de 0,975 et d : la marge d'erreur prévue (5 %).

A partir des valeurs de P issues des résultats de la phase exploratoire, 368 producteurs ont été retenus. La proximité avec la ville de Bukavu, chef-lieu de la province du Sud-Kivu et le dynamisme des activités maraîchères ont orienté le choix des groupements (en RD Congo, le groupement est une subdivision administrative de niveau 4 : province, territoire, secteur, groupement et localité). Nous avons ainsi retenu les groupements de Mudaka, Miti, Bughorhe,

Bushwira et Irhambi–Katana. La méthode aléatoire stratifiée a permis la distribution de l'échantillon au prorata du nombre global des maraîchers dans chaque groupement.

Ainsi, nous avons retenu 90 exploitations à Mudaka, 78 à Miti, 70 à Bughore, 66 à Irhambi-Katana et 64 à Bushwira.

L'enquête auprès des ménages a été menée du 15 juin au 30 septembre 2018. Les informations recueillies concernent les caractéristiques socioéconomiques et techniques des ménages (sexe, activités principales, superficie, type de main-d'œuvre, systèmes de culture pratiqués, fertilisants utilisés, contraintes majeures, etc.).

Pour recueillir les données sur la durabilité, le questionnaire intégrait aussi les éléments nécessaires à l'utilisation de la méthode IPDM décrite ci-dessous.

3.2.3 Evaluation de la durabilité

Pour rendre opérationnel le concept d'agriculture durable, il est nécessaire de disposer d'indicateurs d'évaluation de la durabilité (Barbier et Santiago, 2010). Plusieurs méthodes existent dans la littérature et proposent de nombreux indicateurs. Nous avons identifié trois grands types de différences entre ces méthodes : la nature des indicateurs (quantitative ou qualitative), l'échelle d'application (macro ou micro) et les dimensions de durabilité considérées (dimension environnementale, sociale et économique).

La méthode IDEA, indicateurs de la durabilité des exploitations agricoles (Zahm et *al.*, 2019) aurait pu paraître indiquée. Cependant, IDEA n'est pas adaptée aux types d'exploitations trop spécialisées, telles que le maraîchage, l'horticulture, la viticulture (Rigby et *al.*, 2001). Pour remédier à ce problème, Ahouangninou (2013) a proposé, en se basant sur IDEA, une méthode plus adaptée au maraîchage en Afrique tropicale, IDPM : Indicateurs de la durabilité de la production maraîchère. Elle permet une évaluation quantitative des itinéraires et intègre, comme IDEA, les trois dimensions de la durabilité (agroécologique, socio-territoriale et économique). La dimension économique comprend quatre composantes, les deux autres trois chacune. Les composantes de la dimension agroécologique comprennent en moyenne cinq indicateurs, celles de la dimension socio-territoriale en comptent six, et celles de la dimension économique, deux. En tout, la méthode est constituée de trois dimensions, 10 composantes et 40 indicateurs à renseigner pour évaluer la durabilité des exploitations maraîchères.

Chacune des trois dimensions de la durabilité a le même poids, avec un total de points attribués pouvant varier de 0 à 100. La note attribuée à un indicateur est la somme des points par critère.

Elle est comprise entre zéro et une valeur maximale propre à chaque élément, reflétant son importance dans le système. Cette borne maximale figure dans les tableaux 2, 3 et 4. Le score d'une composante est la somme cumulée des scores des indicateurs qui la constituent. Le score d'une dimension est la somme de ses composantes. A partir de 50% de la valeur maximale, l'indicateur, la composante ou la dimension peut être qualifié de durable puisqu'il satisfait au moins à la moitié des conditions de durabilité attendues.

3.2.4 Utilisation et analyse statistique des résultats

La durabilité d'une exploitation est jugée pour chaque dimension considérée. Comme dans IDEA (Zahm *et al.*, 2019), la dimension ayant la plus petite valeur est la dimension limitante. Les trois dimensions ne se compensent donc pas. Les scores des unités élémentaires, secondaires et tertiaires de durabilité ont été calculés et appréciés par rapport à la valeur maximale considérée.

Nous avons eu recours aux analyses statistiques multivariées qui sont utilisées couramment pour identifier les variables explicatives qui peuvent aider à regrouper les individus en groupes homogènes (Alvarez *et al.*, 2018). Dans notre étude, ces analyses ont principalement permis de regrouper les exploitations agricoles en grappes homogènes qui représentent les types d'exploitation en fonction des différents aspects de la durabilité. L'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée à l'ensemble des indicateurs de durabilité des trois dimensions considérées afin de pouvoir décrire l'ensemble des données en utilisant un petit nombre de variables fictives, tout en conservant autant d'informations que possible et donc moyennant une perte d'information limitée (Alvarez *et al.*, 2018). Une classification ascendante hiérarchique a ensuite été appliquée sur ces composantes principales pour identifier les grappes qui minimisent la variabilité en leur sein et maximisent les différences entre les grappes. Pour conserver autant que possible la variabilité des données, nous avons choisi de faire la classification en utilisant les treize premières composantes principales, qui représentent près de 69 % de l'inertie totale du jeu des données. Le nombre de composantes principales à conserver a été décidé sur la base du critère de Kaiser et toutes celles dépassant une valeur propre de 1 ont été retenues (Köbrich *et al.*, 2003). Les analyses statistiques ont été effectuées sous R, version 3.5.1 (R Development Core Team, 2018).

3.3 Résultats

3.3.1 Caractéristiques socioéconomiques et techniques des exploitations maraîchères de Kabare

Les résultats sur Caractéristiques socioéconomiques et techniques des exploitations maraîchères de Kabare sont consignés dans le tableau 3.1

Tableau 3. 1 : Caractéristiques socioéconomiques et techniques des exploitations maraîchères de Kabare

Variables	Modalités	Types I (43,75%)	Types II (51,6%)	Types III (4,62%)
		Fréquence	Fréquence	Fréquence
Groupement	Bughore	21,7	6,2	10
	Bushwira	18,2	10,6	5,0
	Katana	11,7	33,6	5,0
	Miti	21,7	8,7	68
	Mudaka	26,6	40,9	12
Sexe	Féminin	44,2	33,5	64,7
	Masculin	55,8	66,5	35,3
Statut foncier	Achat	100	38	2,8
	Location	0	57	40,2
	Héritage	0	5,0	57,0
Activités principales	Commerce	57,8	8,0	0,0
	Maraîchage	40,2	61,1	51
	Autres cultures	2,61	30,8	48,9
Superficie	< 0.25 ha	3,8	29,8	76
	0.25 – 0,50 ha	15	25,8	18
	0.5 – 1 ha	23	30,2	4
	> 1ha	58,2	4,1	0
Main-d'œuvre	Familiale	30,2	57,8	80,1
	Salariée	69,8	32,1	12,1
	Communautaire	0	10,1	7,7
Systèmes	Pure	95,8	74,2	12,3
	Association	4,2	25,8	87,7
Motivation	Faible espace	0	8,3	51,3
	Diversification	0	20,0	43,6
	Facilité	78,3	30,6	0
	Pas de raisons	21,6	41,1	5.1
Fertilisants	Minéral	60,4	36,4	25,4
	Organique	31,4	51,4	62,1
	Aucun	8	12,1	12,4
Moyen de lutte	Chimique	75,7	54,3	15,4
	organique	18,2	32,2	56,1
	Aucun	6	13,5	28,4
Contraintes	Climatiques	9,3	20	20,3
	Phytopathologiques	55,6	35	8,3
	Marché	35	35	10,8
	Terrain	0	10	60,4

Le tableau 17 décrit les 3 catégories d'exploitations maraîchères rencontrées à Kabare ; on y observe que : **Le type I** regroupe les grandes exploitations et représente 44 % de la taille globale de l'échantillon. Etant supérieures à 1 ha, ces exploitations acquises généralement par achat, appartiennent majoritairement à des hommes et sont surtout situées dans le groupement de Mudaka. Les producteurs pratiquent souvent le petit commerce comme activité principale et utilisent une main-d'œuvre salariée pour les différentes activités de l'exploitation. Au sein de ces unités de production, le système de culture est à prédominance « culture pure ». Les spéculations pratiquées sont l'oignon, la tomate, l'aubergine, le chou, la carotte, le poireau, la morelle noire africaine, le piment, la courge, l'ail et le céleri. Ce qui justifie le choix de la culture pure plutôt que d'associations de culture est la facilité qu'elle offre dans sa mise en œuvre. On constate que ces exploitations font largement recours aux produits chimiques de synthèse pour la fertilisation et la protection phytosanitaire. Comme contraintes majeures rencontrées par les producteurs de ce type, on note des attaques phytosanitaires importantes ainsi que des problèmes liés au marché.

Le type II regroupe les exploitations de taille moyenne ; elles représentent la plus grande part de l'échantillon, 52 %. Ces exploitations sont situées majoritairement à Mudaka et à Katana. Dans cette classe, les exploitations ont une superficie comprise entre 0,2 et 1 ha. Les exploitations de cette deuxième catégorie appartiennent majoritairement à des hommes et le maraîchage est leur principale activité (61 %) suivi des « autres cultures (31 %). Du point de vue technique, le système de culture prédominant est la culture pure. Dans ces exploitations, les associations de culture identifiées sont haricot-chou, amarante-aubergine, aubergine-maïs, oignon-carotte, petit pois-tomate, petit pois-oignon, amarante-maïs, tomate-chou, tomate-maïs, amarante-morelle-manioc, tomate-piment-haricot, piment-courge-céleri-haricot et courge-haricot. Pour 41 % de ces producteurs il n'y a pas de raison spécifique qui les conduit à opter pour l'un ou l'autre système (culture pure ou associations). Les fertilisants utilisés dans ces exploitations sont en grande partie organique (51 %). Pour répondre aux contraintes phytosanitaires, la lutte chimique est favorisée (54 %). Pour la lutte biologique, certains produits locaux tels que les cendres de cuisine et des produits végétaux comme les feuilles de cyprès, de tabac, d'eucalyptus et le piment sont utilisés de manière préventive ou curative. Les maladies et les ravageurs, les aléas du marché et les changements climatiques constituent les principales difficultés qui entravent l'activité maraîchère des producteurs de cette catégorie.

Le type III correspond aux exploitations de petite taille ; elles ne représentent que 5 % de l'échantillon. Elles ont des faibles superficies, inférieures à 0,25 ha et appartiennent à des femmes. Ces exploitations sont majoritairement situées dans le groupement de Miti (68%). Ces unités de production sont héritées (57 %) ou louées (40 %). La main-d'œuvre employée est familiale et l'activité principale des producteurs (et surtout productrices) est le maraîchage (51 %) et la pratique d'autres cultures (49 %). Le système de culture majoritaire est l'association, qui est adoptée pour des raisons de faible disponibilité du terrain (51 %) et de diversification des récoltes (44 %). Ces exploitations sont peu consommatrices d'intrants chimiques, que ce soit pour la fertilisation ou pour la protection des cultures. Le manque de terre et les changements climatiques sont les grandes contraintes rencontrées par ces exploitants.

3.3.2 Variation de la durabilité des exploitations maraîchères de Kabare

3.3.3 Durabilité agroécologique

Le tableau ci – dessous reprend la variation de la durabilité agroécologique des exploitations maraîchères de Kabare

Tableau 3. 2: Score de durabilité agroécologique en fonction des types d'exploitations

Composantes	Indicateurs	Borne	Score par Type			
			CI	CII	CIII	Global
Diversité écologique	Diversité des cultures locales	10	2,3±0,5	4,6±1,8	6,2±2,3	4,4±1,5
	Diversité des cultures exotiques	10	1,1±0,3	2,1±0,5	4,2±0,1	2,5±0,3
	Diversité végétale associée	10	0,9±0,0	0,8±0,2	5,7±1,3	2,5±0,5
	Valorisation du patrimoine génétique	5	1,2±0,4	2,9±0,6	3,3±0,5	2,5±0,5
	Préservation de la biodiversité	10	1,0±0,1	1,0±0,0	5,6±1,8	2,5±0,6
	Total	45	6,5±1,3	11,4±3,1	25,0±6,0	14,3±3,4
Organisation spatiale	Assolement	10	6,4±1,8	7,0±2,0	4,2±0,8	6,5±0,9
	Dimension des parcelles	10	3,8±0,9	4,5±1,9	2,1±0,2	4,2±1,0
	Rotation ou succession des cultures	5	3,1±1,5	3,2±0,9	4,8±1,1	3,2±1,6
	Total	25	13,3±4,2	14,7±4,8	11,1±0,7	13,9±2,3
Pratiques agricoles	Fertilisation	6	1,9±0,5	3,0±1,5	4,0±0,8	3,4±0,9
	Protection des cultures	6	1,0±0,2	2,6±0,8	3,5±1,1	2,9±0,7
	Protection du sol	3	1,3±0,1	2,0±0,8	3,0±0,8	1,7±0,5
	Gestion de l'eau	4	2,7±0,8	2,6±1,1	3,0±0,9	2,7±0,9
	Dépendance énergétique	3	1,9±1,0	3,0±1,6	3,0±1,3	2,9±1,3
	Gestion de résidus chimiques	4	1,7±0,4	3,0±0,7	4,0±1,0	2,9±0,7
	Gestion de matières organiques	4	2,6±0,9	3,3±1,2	3,7±0,7	3,6±1,2
	Total	30	13,1±3,9	19,5±7,7	24,2±7,6	20,1±6,2
	Score total	100	32,9±8,7	45,6±15,6	60,3±14,3	48,3±12,8

TI, TII et TIII : Type I, Type II et Type III

Pour le premier type d'exploitations (grands producteurs), le score de durabilité est de 33 % (tableau 18). Ces exploitations n'enregistrent une durabilité importante que du point de vue de la composante « organisation spatiale », pour laquelle les indicateurs « assolement » et « rotation ou succession des cultures » sont bons. Dans la composante « pratiques agricoles », les scores de durabilité sont bons pour les indicateurs « dépendance énergétique », « gestion de l'eau » et « gestion de la matière organique ».

Pour le deuxième type (producteurs de taille moyenne), la note de durabilité globale est de 46 %. La composante « organisation spatiale » avec ses deux indicateurs, « assolement » et « rotation ou succession des cultures » et la composante « pratiques agricoles » avec tous ses indicateurs à l'exception de la « protection des cultures » sont les points forts de ce type en termes de durabilité.

Pour le troisième type (petits producteurs), la situation est globalement durable (60 %). Pour la composante « diversité écologique », les indicateurs « diversité des cultures locales », « diversité végétale associée », « valorisation du patrimoine génétique » et « préservation de la biodiversité » sont bons. Dans la « diversité des cultures locales », nous retrouvons les légumes indigènes de la région dont la morelle noire africaine, l'oseille, le taro, le gombo, les diverses variétés d'amarante, d'aubergine et de courge. Mais on trouve aussi des cultures exotiques comme le chou chinois, le concombre, le navet, le persil, le brocoli et le radis. Pour la composante « organisation spatiale », ces exploitations sont limitées par les indicateurs « assolement » et « dimensions des parcelles ». La composante « pratiques agricoles » est durable au regard de tous ses indicateurs.

3.3.4 Durabilité socio-territoriale

Les scores de durabilité socio-territoriale des exploitations maraîchères de Kabare sont repris dans le tableau 3.3

Tableau 3.3 : Scores de durabilité socio-territoriale en fonction des types d'exploitations

Composantes	Indicateurs	Borne	Score par Type			
			CI	CII	CIII	Global
Développement humain	Contribution à l'équilibre alimentaire	7	4,7±1,4	4,2±0,8	4,2±2,6	4,4±1,6
	Formation	4	1,2±0,2	1,8±0,3	2,0±0,4	1,7±0,3
	Cadre de travail	7	4,0±1,0	3,5±0,8	1,8±0,2	3,1±0,6
	Qualité de vie	5	3,5±0,3	2,7±0,4	2,5±0,5	2,9±0,4
	Hygiène et sécurité au travail	8	4,4±1,1	2,7±0,5	1,0±0,3	2,7±1,9
	Isolement géographique et sociocultural	3	2,9±0,7	2,8±0,4	2,3±0,2	3,0±0,6

	Total	34	20,7±3,8	17,7±3,2	13,8±4,2	17,4±3,7
Gestion de la production	Qualité des aliments	12	3,5±0,5	6,6±1,2	6,8±1,5	5,6±1,0
	Gestion des déchets non organiques	8	4,5±0,9	7,6±1,3	7,8±1,5	6,6±1,2
	Accueil des clients et des visiteurs	3	2,1±0,5	2,3±0,4	2±0,8	2,1±0,5
	Accès à l'espace	4	3,8±0,4	1,9±0,2	0,6±0,3	2,1±0,3
	Force de réseau de consommateurs entre exploitants, clients et fournisseurs	3	1,7±0,2	0,9±0,4	1,2±0,1	1,3±0,2
	Information du consommateur sur la qualité du produit	3	1,7±0,2	1,2±0,3	1,6±0,4	1,5±0,1
	Total	33	17,3±2,7	20,5±3,8	20±4,6	19,2±3,7
Emploi et développement local	Valorisation par la filière courte	5	2,7±0,3	3,2±0,5	2,9±0,2	2,9±0,3
	Contribution directe ou indirecte à l'emploi	7	1,6±0,3	3,2±0,5	6,0±0,8	3,6±0,5
	Travail collectif	6	0,4±0,2	2,6±0,5	3,1±0,2	2,0±0,3
	Pérennité probable	3	1,0±0,1	0,8±0,1	2,3±0,4	1,4±0,2
	Acceptabilité de l'implantation par le voisinage et autres usagers	3	1,3±0,3	1,9±0,1	2,6±0,3	1,9±0,2
	Implication sociale	7	2,0±0,1	1,6±0,2	1,3±0,4	1,6±0,2
	Participation à l'élaboration des politiques et normes propres au maraîchage	2	0,9±0,0	0,7±0,1	0,5±0,0	0,7±0,0
	Total	33	9,9±1,3	14,0±2,0	18,7±2,3	14,2±1,6
	Score total	100	47,9±7,8	52,2±9,0	52,5±11,1	50,7±9,3

CI, CII et CIII : Classe I, Classe II et Classe III

Le premier type d'exploitations (grandes) n'est pas durable pour cette dimension (tableau 19), même si le score est proche de la moyenne (48 %). Pour la composante « développement humain », ces exploitations ne sont limitées que par l'indicateur « formation », indiquant que les producteurs ont de faibles capacités pour les activités maraîchères. Pour la composante « gestion de la production », l'indicateur « qualité des aliments » est limitant car les méthodes biologiques sont peu mises à contribution dans le processus productif. Au niveau de la composante « emploi et développement local », tous les indicateurs sont limitants à l'exception de l'indicateur « valorisation par la filière courte ».

Le deuxième type d'exploitations (de taille moyenne) est durable à 52 % avec comme point fort la composante « gestion de la production » (20 points sur 33 requis). Les indicateurs « qualité des aliments », « gestion des déchets non organiques » ainsi que « l'accueil des clients et visiteurs » sont aussi des points forts. En termes de « développement humain », les indicateurs « formation » ainsi que « l'hygiène et la sécurité au travail » sont des points faibles. Du point de vue « emploi et développement local » seuls les indicateurs « valorisation par la filière courte » et « acceptabilité de l'implantation par le voisinage et autres usagers » sont des points forts.

Le troisième type d'exploitations (les petits) montre un niveau de la durabilité socio-territoriale identique à celui du deuxième type, mais avec un ordre différent de classement des divers éléments.

La composante « développement humain » est limitée par les indicateurs « cadre de travail » ainsi que « l'hygiène » et la « sécurité au travail ». Au niveau de la composante « gestion de la production », les exploitations de cette catégorie ont des problèmes « d'accessibilité au site de production » et de faible « interconnexion autour de la production » entre les différents partenaires impliqués dont l'exploitant, les clients, les fournisseurs et autres partenaires. En considérant la composante « emploi et développement local » il se dégage que dans cette série d'indicateurs liés à la production maraîchère, seuls les indicateurs « implication sociale » ainsi que la « participation à l'élaboration des politiques et normes propres au maraîchage » sont faibles. Cela est dû au fait que ces producteurs ne sont pas des leaders dans les mouvements associatifs et ne participent pas dans la mise en place des politiques dans le secteur maraîcher.

3.3.5 Durabilité économique

Les scores de durabilité économiques des exploitations maraîchères de Kabare sont repris dans le tableau 3.4

Tableau 3. 4 : Scores de durabilité économique en fonction des types d'exploitations

Composantes	Indicateurs	Borne	Score par classe			
			CI	CII	CIII	Global
Viabilité	Viabilité économique	20	4,2	4,8	8,3	5,8
	Diversification de la production	10	3,3	3,5	6,0	4,3
	Total	30	7,5	8,3	14,3	10,1
Transmissibilité	Transmissibilité	20	8,0	9,4	11,4	9,6
	Total	20	8,0	9,4	11,4	9,6
Indépendance	Autonomie financière	20	7,3	8,0	8,4	7,9
	Recours aux aides financières	10	6,2	6,9	9,0	7,4
	Total	30	13,5	14,9	17,4	15,3
Efficience	Efficience du processus productif	20	6,9	8,5	14	9,8
	Total	20	6,9	8,5	14	9,8
Total score échelle		100	35,9	41,1	57,1	44,8

CI, CII et CIII : Classe I, Classe II et Classe III

Pour les exploitations du premier type (les grandes), la durabilité économique est de 36 % (tableau 20). Au niveau de la composante « viabilité », ces exploitations sont affectées à la fois par les indicateurs «viabilité économique » et « diversification de la production ». De plus, la composante « transmissibilité » est aussi limitante, traduisant le fait que peu de membres de la

famille travaillent à temps plein sur l'exploitation et sont susceptibles de pérenniser l'activité maraîchère. Le seul point fort observé pour ce type d'exploitation est la possibilité de recourir aux investissements extérieurs.

Pour les exploitations du deuxième type (taille moyenne), la durabilité économique est estimée à 41 % avec aussi la possibilité de recourir à des appuis financiers extérieurs comme seul point positif.

Les exploitations du troisième type sont les plus petites et économiquement plus durables, avec une note de 57 %. Soulignons tout de même que ces exploitations sont contraintes par les indicateurs « viabilité économique » et « autonomie financière ». Ces contraintes traduisent la faible maîtrise des coûts de production ainsi qu'un faible niveau de réinjection dans l'exploitation de ressources générées par le cycle productif. Ces exploitations sont aussi durables du point de vue « efficience du processus productif » (14 points sur 20). Cette performance traduit le développement de circuits de commercialisation à cycle court qui réduisent les coûts de distribution et accroissent la rentabilité financière.

3.4 Discussion

Les résultats obtenus indiquent que les exploitations de petite taille (peu nombreuses : 4,6 %) sont globalement les plus durables. Ceci en particulier grâce au maintien d'une forte diversité d'espèces maraîchères sur leurs faibles surfaces, avec une agriculture de type traditionnel, bâtie autour du noyau familial (Van Vliet *et al.*, 2015 ; Morel *et al.*, 2017). Grâce à cette diversité de production, ils réduisent les contraintes phytosanitaires et leur sensibilité aux aléas du marché.

Les exploitations dites « moyennes » ne sont stables que du point de vue socio-territorial. Ce sont des exploitations qui tendent vers une forme d'agriculture plus intensive en intrants. Ces exploitations doivent faire face à des contraintes phytosanitaires, aux aléas du marché et aux aléas climatiques.

Enfin, nous avons constaté que les exploitations de grande taille ne sont durables sur aucune dimension. Ces unités de production sont basées sur une forme d'agriculture « capitaliste » ; elles appartiennent à des personnes riches, comme des commerçants, qui font appel à de nombreux intrants pour accroître leurs rendements. Ces exploitations doivent aussi faire face à des contraintes phytosanitaires, aux aléas du marché et aux aléas climatiques.

L'idée souvent répandue que les grandes exploitations sont plus productives et plus durables que les petites exploitations, semble donc ici à remettre en cause. Mais en fait, cette relation inverse

entre la superficie, la productivité et la durabilité a souvent été établie, et nommé « le paradoxe de productivité » (Carter, 1984 ; Cornia, 1985 ; Adamopoulos et Restuccia, 2014).

Ici, les petites fermes réussissent à être les plus durables : biodiversité, bonne utilisation et entretien du paysage, contribution directe à la sécurité alimentaire, à l'emploi et à l'économie locale, et contribution à la cohésion sociale (Rosset, 2000). On rejoint ici les résultats des analyses faites sur les maraîchers parisiens du XIX^e siècle, montrant qu'une superficie cultivée d'environ 1000 m² (0,1 ha) conduite judicieusement (diversité, intégration, bonne gestion de la fertilité, etc.) pouvait suffire pour assurer l'autosuffisance alimentaire, économique et professionnelle d'une personne, avec une charge de travail acceptable ; de plus ces petites surfaces sont compatibles avec la capacité d'investissement limitée d'un producteur à faible revenu (Guégan et Léger, 2015).

Les pratiques prônées par l'agriculture intensive en intrants et en capital sont en opposition avec les systèmes agroécologiques qui cherchent à favoriser la cohérence entre les composantes végétales pour accroître la protection intégrée, l'auto-fertilité et l'auto-fonctionnalité de l'exploitation (Fernandez *et al.*, 2013). Ces derniers visent la réduction des intrants et le contrôle de la qualité des récoltes (Bayendi *et al.*, 2017). A contrario, les systèmes qui limitent la biodiversité et l'intégration au sein des écosystèmes agricoles sont plus sensibles aux risques, moins résilients et de ce fait peu durables (Vlachostergios *et al.*, 2010).

Nos résultats montrent que les exploitations situées dans le groupement de Miti sont plus durables. Or ce groupement abrite une grande station de l'Institut national pour l'étude et la recherche agronomique (INERA) qui diffuse des technologies d'agriculture durable. Ndjadi *et al.* (2020) montrent aussi qu'il existe une diversité plus importante des espèces maraîchères dans le groupement de Miti que dans les autres groupements, où l'on pratique une production maraîchère plus spécialisée et souvent mono spécifique.

Les résultats obtenus dans notre étude montrent que les exploitations de taille moyenne et de petite taille ont une durabilité socio-territoriale similaire (53 %). Une tendance semblable a été également observée par Ahouangninou (2013) au Bénin.

Du point de vue économique, il a été constaté que seules les exploitations de petite taille sont durables, avec un score de 57%. Akwasi (2014) souligne la forte corrélation entre le mode de production adopté dans une exploitation et sa durabilité économique. Un système de production

économiquement durable doit intégrer les itinéraires techniques qui favorisent la diversité, l'intégration, la résilience et une intensification efficiente.

Des pratiques agroécologiques comme les associations cultures maraîchères-légumineuses, la fertilisation organique et la lutte intégrée permettent aussi la durabilité économique de l'activité maraîchère.

Au plan méthodologique, la durabilité a été mesurée dans cette étude sur la base d'une méthode estimative dont les critères d'évaluation sont pondérés sur la base de leur importance estimée. Le défi est d'une part de quantifier correctement le poids de l'indicateur en se basant sur son niveau de pertinence et, d'autre part, de pouvoir noter chaque critère d'évaluation avec précision et réalisme. La force de la méthode IPDM réside dans la diversité de ses 40 indicateurs renseignés et spécifiques au maraîchage, ce qui est considérable. La méthode intègre les itinéraires techniques et les aspects de la durabilité attendus du maraîchage, sous une forme opératoire d'évaluation quantitative. La démarche a donc un certain niveau de solidité et de rationalité et s'appuie sur une expertise spécifique.

3.5 Conclusion

Rendre quantifiable la notion de durabilité avec des outils méthodologiques appropriés est capital pour pouvoir poser un jugement pertinent sur l'activité maraîchère en termes d'agriculture durable. Cette étude montre que l'outil IPDM, formalisé au Bénin est adapté pour quantifier la notion de durabilité dans les agroécosystèmes maraîchers d'autres régions d'Afrique. Nos résultats mettent en évidence que, dans le Sud-Kivu, les producteurs des exploitations de petite taille sont ceux qui appliquent les plus certains principes agroécologiques comme l'association des cultures, la fertilisation organique et sont ceux qui utilisent le moins d'intrants chimiques pour la protection phytosanitaire. Bien que des efforts restent nécessaires pour améliorer leurs scores de durabilité, ces petites exploitations ont déjà une bonne durabilité, tant agroécologique, que socio-territoriale et économique. Pour les exploitations maraîchères de plus grande taille, il se déduit la nécessité de réorienter leur système de production pour limiter l'utilisation des produits phytosanitaires, favoriser la diversité végétale et les associations des cultures. C'est ainsi que dans le but de promouvoir la diversité végétale intégrée dans le maraîchage, un plan de fertilisation durable et une amélioration de la productivité de l'association culturale la plus réalisée dans la région, que le troisième objectif spécifique se propose comme activité

« l'évaluation du potentiel de rendement et efficacité d'utilisation des terres de la culture d'oignon en association avec l'arachide sous la gestion de la fertilité organique du sol ».

**Chapter 4. Yield potential and land-use efficiency of onion
intercropped with groundnut under organic soil fertility
management in Eastern D.R. Congo**

Chapter 4. Yield potential and land-use efficiency of onion intercropped with groundnut under organic soil fertility management in Eastern D.R. Congo

Submitted as:

Ndjadi, S., Vissoh, P., Kizungu, V., Mondo, M., Mugumaarhahama, Y., Saidou, A., Mushagalusa, G.N. Ahoton, L., (2021). Yield potential and land-use efficiency of onion intercropped with groundnut under organic soil fertility management in Eastern DR. Congo. In press: in Organic Agriculture Journal.

Chapter 4. Yield potential and land-use efficiency of onion intercropped with groundnut under organic soil fertility management in Eastern D.R. Congo

Abstract

Intercropping and organic soil fertility are eco-friendly agricultural practices for sustainable agriculture. The aim of this study was to determine the yield potential and land-use efficiency of onion intercropped with groundnut under organic soil fertility management. A two-year field experiment was conducted in 2019 and 2020 in a randomized complete block design with two crops and 2 varieties per crop (Bombay and creole for onion and A65 and JL24 for groundnut). Crops implementation was realized in sole and mixture under farmyard manure (FYM) single application, FYM seasonal application, FYM + NPK 2 – 1.5 – 2.5, and the control. The average yields were recorded while the intercropping efficiency was analysed using the land equivalent ratio (LER), competitiveness ratio, and aggressiveness index. Results showed that creole variety had the highest yield (17 t.ha⁻¹) across years. FYM under single and seasonal application effectively increased the onion yield with similar values (8 to 16 t.ha⁻¹). The LER analysis showed a yield gain for Bombay + A65 (total LER= 2.25) in 2019 and (2.38) in 2020 for Creole+A65. Analysis of competitiveness indices showed that the onion variety Bombay was more competitive than A65 (1.06). The same trend was recorded when onion variety Creole was intercropped with the same groundnut variety (1.93). FYM in single and seasonal application also affects the competitiveness of onion on groundnut (0.99 and 1.07). The present study shows that onion – groundnut intercropping under organic fertilizers could be a viable option to support the ecological intensification of onion cultivation in eastern DRC.

Keywords: Biological efficiency, cropping system, ecological intensification, sustainability and vegetable production.

4.1 Introduction

In South-Kivu Province, Eastern Democratic Republic of Congo (DRC), a favorable climate and high vegetable products' demand, have boosted vegetable production to a dynamic agricultural sub-sector (PNUD/DRC, 2012). Vegetable production contributes to the population's food and income security. The grown vegetable species are diverse and include tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. *lycopersicum*), cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*), eggplant (*Solanum melongena* L.), onion (*Allium cepa* L.) and many others indigenous and exotic vegetable crops. These crops are mostly grown on small plots (~100 - 10,000 m²), in pure culture and very few in intercropping. South-Kivu's vegetable productivity is low and the production unsatisfactory in meeting populations' needs (Ndjaji et al. 2020).

In addition to poor levels of production factors' control, vegetable production in South-Kivu is subject to land insecurity, especially in peri-urban areas where vegetable production sites are gradually converted into settlements (Mushagalusa et al. 2015). Moreover, the permanent monocropping of the same crops by most of the vegetable growers across years not only leads to a drop in market prices, but also causes the soil fertility degradation, accentuates the prevalence of pests and diseases, and thus increases risks and reduces the farm resilience to external factors.

In South-Kivu as in other regions of the world, the onion is one of the major crops and bears significant nutritional, economic and therapeutic importance. It provides vitamins A, B, C, essential minerals, and is one of the richest sources of flavonoids. These attributes make the crop an important dietary supplement because of its flavor and taste. Onions are also a valuable source of income for most producers (Mitra et al. 2011; Li et al. 2016).

Despite the positive contributions of the onion production to population livelihood, its cropping system is highly vulnerable. For instance, there are few research on topics such as its intercropping with other crops, soil fertility issues, and sensitivity to market trends, all of which constrain its production in eastern DRC. In South-Kivu, the intensification of its pure cropping further increases this vulnerability. Yet in terms of resilience and sustainability, the pure cropping system is becoming questionable (Ndjaji et al. 2021). Indeed, some production constraints can be managed by integrated plant diversity, such as land tenure and soil fertility and sensitivity to market trends. In addition, diversified agro-systems are recognized as more resilient and sustainable cropping options than non-diversified agro-systems (Akwasi 2014).

Legumes are choice crops for intercropping systems (Jensen et al. 2020). They are mostly integrated in agrosystems based on cereals, roots and tubers, fruit trees, industrial crops and many others. It is noteworthy that in market gardening, this integration of legumes into vegetable cropping systems is seldom practiced although it bears potential for improving vegetable farming sustainability (Pfeiffer et al. 2015). For instance, the importance of legumes within agricultural systems is linked with their capacity to enrich soils with nitrogen, to ensure income diversification, and to facilitate optimal land-use (Jensen et al. 2020).

Groundnut cultivation, a widely grown legume crop in South-Kivu, constitutes an alternative to improve soil fertility, crop yield, secure cropping system and farm sustainability for most crops (Pypers et al. 2011) and should, therefore, be tested in onion farming system. Besides, proper farmland management should integrate diverse crop fertilization strategies by combining of a set of soil fertility management practices. This integrated fertilization plan exploits advantages offered by different options to ensure plant nutrition while improving and preserving the productive soil capacity and other natural resources. In such context, the fertilisation plan based on local and organic products should be promoted for sustainability and resilience of the cropping systems in terms of soil fertilisation. Onion and groundnut intercropping system could ensure N availability, diversified source of revenue, agroecological package for sustainable and resilient agriculture. However, the effects of this intercropping on yield potential and land use efficiency has not yet been assessed in eastern DRC. This study aimed to assess onion and groundnut intercropping system efficiency under a range of organic soil fertility management practices for improving onion yield and its land use efficiency in eastern DRC.

4.2 Materials and Methods

4.2.1 Site description

Field experiments were carried out during the long rainy season (September –January) of 2019 and 2020 at the Université Evangélique en Afrique research farm (02°18'56" S latitude, 28°47'46" E longitude and at 1717 meters above sea level). This research field is located at Kashusha, in Kabare territory, South-Kivu Province, Eastern DRC.

The study area climate is tropical humid regulated by the altitude and the surrounding forest and Lake Kivu (Mondo et al. 2019).

The soil is humic ferralsols, rich in iron and aluminum oxides, characterized by a low cation exchange capacity (*CEC*). The region is characterized by a bimodal rainfall regime with two major growing seasons: the long rainy season from September to February and the short rainy season from February to June. The main climatic factors influencing agriculture are temperatures and rainfall. The region experiences annual average air temperature of $\sim 19^{\circ}\text{C}$, with monthly averages ranging between 17.5 and 19°C . The annual rainfall is ~ 1400 - 1500 mm, although there are currently some climatic disturbances, resulting in irregular and erratic rainfall.

4.2.2 Experimental design and field management

The experiment was conducted under a $2 \times 2 \times 2 \times 4 \times 3$ factorial in a randomized complete block design (RCBD). The hierarchy of factors was as follows: two cropping systems (pure and mixed), two crops (onion and groundnut) each associated with two varieties per crop (Creole and Bombay for onion and A65 and JL24 for groundnut). Fertilizer as the last factor was applied in four modalities: single application of farmyard manure, seasonal application of farmyard manure, farmyard manure + NPK composite 2-1.5-2.5 and the control with no fertilizer. The structure of a block was made of 32 treatments with three replications, which made a total of 96 plots for the entire experimental.

The organic manure (farmyard manure) used was locally collected and well-decomposed cow dung combined with poultry droppings at a ratio of 75:25% for the dung and droppings, respectively. The poultry droppings were collected from a broiler house. Varieties per crop species comprised an improved variety and a local landrace or formerly established variety in the farmer's cropping system. For the groundnut, the farmer's variety was A65 commonly referred to as "Red Beauty" (red color) and JL24 as the improved variety (white color) which is well appreciated for its seed size. Red Bombay and Red Creole were the two onion varieties used in this study. Both varieties are improved, but Red Bombay is already an integral part in the local onion farming systems. The field was established at the beginning of the rainy season, corresponding to the 9th day of September in both 2019 and 2020 growing seasons, on a land where the previous crop was the maize in sole cropping.

The experimental plot/unit had 9 m^2 ($5\text{ m} \times 1.8\text{ m}$) and crop seeds were planted simultaneously in rows for both onion and groundnut. At planting, intercropped plots comprised 4 rows of

groundnut at spacing 40 cm × 20 cm and five planting rows for onion, spaced by 20 cm × 10.7 cm.

In pure culture, the groundnut had four lines at 40 cm × 20 cm; 25 planting holes with one seed per row. The onion, on the other hand, had nine rows at spacing of 20 cm × 20 cm, each row bearing 25 plants. The number of onion plants in intercropping was 235 compared to pure cropping, 225, while for groundnut the number was 100 for both systems.

The density ratio was obtained by dividing the number of plants in mixture/intercropping system by the number of plants in pure system. The density ratio was one groundnut to 1.04 onion (1:1.04). About fertilization, in pure groundnut cultivation, the organic manure application as seasonal input was 20 t ha⁻¹, FYM + composite NPK was 10 t ha⁻¹ FYM, 50 kg ha⁻¹ N, 75 kg ha⁻¹ P and 50 kg ha⁻¹ K while the single FYM input was 60 t ha⁻¹. For the pure onion cultivation, the seasonal FYM input was 25 t ha⁻¹, FYM + NPK composite input was 12.5 kg ha⁻¹ FYM, 50 kg ha⁻¹ N, 50 kg ha⁻¹ P and 100 kg ha⁻¹ K while the single FYM application was 75 t ha⁻¹. For intercropping, the seasonal FYM was 37 t ha⁻¹, for the FYM + NPK intercropping, the quantities applied were 12.5 t ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹N, 75 kg ha⁻¹ P and 125 kg ha⁻¹ K, respectively, while 110 t ha⁻¹ of FYM was applied for the single application treatment. The farmyard manure used and the study site soil properties are presented in Table 1. The soil at the experimental site was acidic, low in organic manure, deficient in soil nitrogen, but with an acceptable cation exchange capacity (CEC) and predominantly clay.

Table 4. 1: Soil physico-chemical properties of the experimental site and farmyard manure (FYM) used for soil fertility management

Parameters	Soil	FYM	Methods of analysis and references
pH	4.42	6.40	Digital pH-meter
Organic Carbone (g kg ¹)	8.7	23	Modified Walkley and Black protocol (Nelson and Sommers 1996)
Nitrogen (g kg ⁻¹)	2.6	8.50	Modified Kjeldahl (Okalebo 2012)
Phosphorous (mg kg ⁻¹)	16.69	24.00	Spectrophotometer UV-Visible
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	6.1	-	
Potassium (cmol _c kg ⁻¹)	0.39	0.48	Flame photometry
Clay (%)	65	-	
Sand (%)	16	-	
Silt (%)	18	-	

Note: CEC: cation exchange capacity; FYM: farmyard manure

4.2.3 Crop harvesting and intercropping system performance assessment

For onion, harvest was done on the 90th day after transplantation when more than 75% of the non-flowering plants were lying down. For groundnut, the harvest was carried out 120 days after sowing when 75% of the plants showed senescence. Onion bulbs and groundnut pods from different treatments were weighed using a precision weighing balance after harvest and the values recorded.

The biological efficiency of the onion – groundnut intercropping system was accessed using different indices:

(i) Land Equivalent Ratio (LER)

Land equivalent ratio (LER) is a measure of the land-use efficiency in an intercropping system. It assesses the efficiency of an intercropping in using environment resources compared with pure cropping (Adeniyi et al. 2014).

LER was calculated as follows:

$$LER = \frac{Y_{ol}}{Y_o} + \frac{Y_{gl}}{Y_g} \quad (1)$$

Where Y_o and Y_g are the yields of onion and groundnut in sole crops, respectively. Y_{ol} and Y_{gl} are yields of onion and groundnut in intercrop, respectively.

When $LER > 1$, the intercropping favors the growth and yield of the associated crop species. On the other hand, when $LER < 1$, there is no intercropping gain and the interspecific competition is stronger than the interspecific interaction within an intercropping system.

(ii) Area Time Equivalent Ratio

The Area Time Equivalent Ratio (ATER) provides more realistic judgment of the yield advantage in the intercropping over pure cropping in terms of time taken by component crops in the intercropping systems (Bedoussac and Justes 2011). ATER was evaluated using the following formula:

$$ATER = \frac{(LER_{Onion} * t_o) + (LER_{Groundnut} * t_{Groundnut})}{T} \quad (2)$$

Where t_o is the onion growth cycle duration; $t_{groundnut}$ is the groundnut growth cycle duration and T is the duration in days of the species with the longest growing cycle.

When $ATER > 1$, it implies a yield advantage from intercropping; $ATER = 1$ suggest no effect of intercropping; $ATER < 1$ indicates yield disadvantage as a consequence of intercropping.

(iii) Land-use Efficiency (LUE)

We evaluated the LUE as suggested by Yaseen et al. (2014):

$$LUE = LER + \frac{ATER}{2} * 100 \quad (3)$$

With LUE: land use efficiency, LER: land equivalent ratio, and ATER: Area time equivalent ratio

The further the value obtained is from 100%, the more efficiently the cropping system uses environmental resources.

(iv) Competitiveness ratio (CR)

The CR was used as an indicator to evaluate the competitive aptitude of associated crops (Uddin et al. 2014). It was calculated by the following formula:

$$CR_o = \left(\frac{LER_o}{LER_g} \right) * \frac{Z_g}{Z_o} \quad (4)$$

$$CR_p = \left(\frac{LER_g}{LER_o} \right) * \frac{Z_o}{Z_g} \quad (5)$$

Z_o represents the planting ratio of onion to groundnut in the intercropping whereas Z_g denotes that of groundnut to onion. If $CR_{onion} > 1$, onion is more competitive than groundnut, and if $CR_{onion} < 1$, then onion is less competitive than groundnut.

(v) Aggressivity

Aggressivity (A) was adopted as a competitive index to measure the extent at which the relative yield of one crop in the intercropping was higher than that of the other, as expressed in the following formula (Dong et al. 2018):

$$A_o = \left(\frac{Y_{ol}}{Y_{oo} * Z_{ol}} \right) - \left(\frac{Y_{gl}}{Y_{gg} * Z_{gl}} \right) \quad (6)$$

$$A_g = \left(\frac{Y_{gl}}{Y_{gg} * Z_{ol}} \right) - \left(\frac{Y_{ol}}{Y_{oo} * Z_{ol}} \right) \quad (7)$$

A_o and A_g are the onion and groundnut aggressivities; Y_{ol} and Y_{gl} represent the onion and groundnut yields in intercrop, respectively. If A_o or $A_p = 0$, then both crops in the intercropping

system are equally competitive. A positive A_o denotes dominance of onion over groundnut, whereas when it is negative, it indicates that groundnut is the dominating onion.

4.2.4 Statistical analysis

The onion varieties in different combinations (intercropped with groundnut varieties) was coupled to the system (sole and mixture) and constituted the factor cropping system to which the fertilizers were associated as another factor. Two - ways ANOVA was performed using R software (R Development core 2018). Whenever the analysis of variance showed significant effects, the Tukey HSD test was used to separate the computed means at 5% probability threshold.

4.3 Results

4.3.1 Rainfall and temperature variations during the study period

Climate data collected from the meteorological station of Kavumu National Airport (the nearest weather station) showed that the long rainy season of 2019 recorded a cumulative rainfall of 875 mm (Figure 4.1). In 2020, the rainfall amount was 962 mm, an excess of 87 mm compared with the 2019 rainfall.

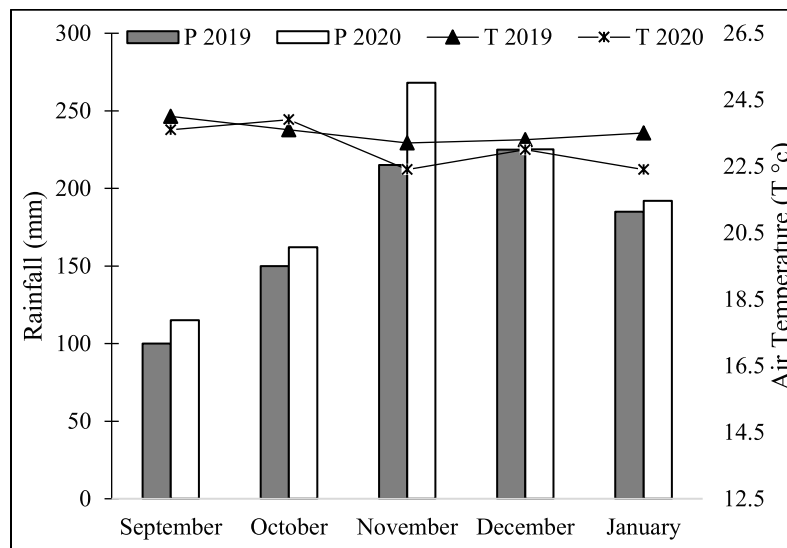


Figure 4.1: Monthly total rainfalls and average air temperatures for the study period in Kashusha area.

R: rainfall; T: Air temperature

The highest rainfall intensities were observed in December (225 mm) and November (268 mm) for 2019 and 2020, respectively. Throughout the study period, the mean temperature ranged from 22.4 °C in November to 24 °C in September.

4.3.2 Onion bulb yield potential

The analysis of variance (ANOVA) to assess effects of the cropping system, fertilizer and their interaction on onion bulb yields across two growing seasons indicated that the cropping system ($p<0.01$) and fertilizer ($p<0.001$) significantly affected the onion bulb yield. However, the interaction effect of these two factors was not significant ($p>0.05$).

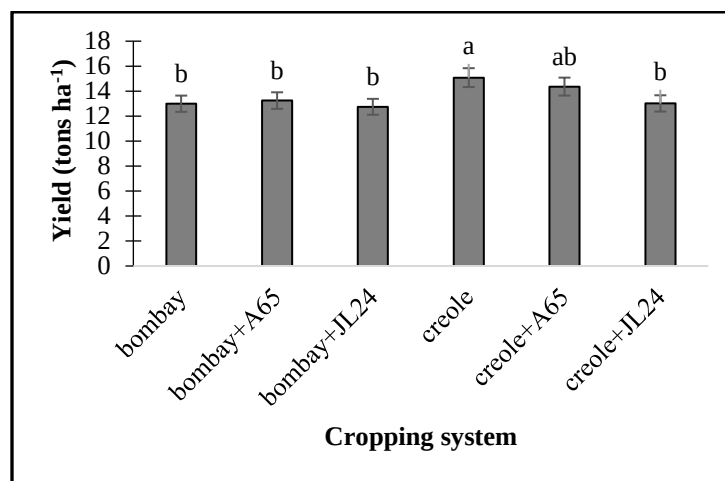


Figure 4. 2: Effects of the cropping system on bulb yields of onion intercropped with groundnut in eastern DRC (average of two years).

Bars with distinct letters indicate significant differences according to Tukey's HSD test.

For the cropping system, the variety Red Creole in sole culture had the highest bulb yield (15 t ha⁻¹). This variety provided also the highest yield in intercropping system with the groundnut variety A65 (14.36 t ha⁻¹). All other combinations were not significantly different (Figure 4.2).

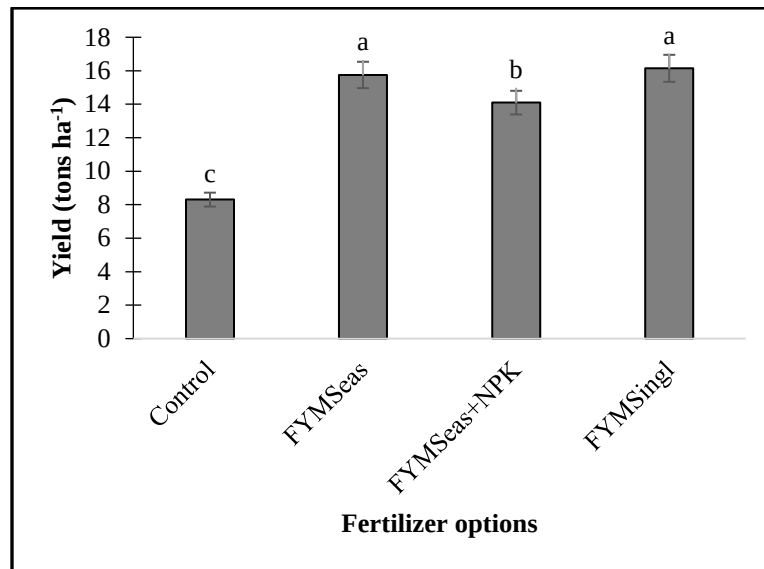


Figure 4.3 Effect of the fertilization options on bulb yields of onion intercropped with groundnut in eastern DRC (average of two years).

Bars with distinct letters indicate significant differences according to Tukey's HSD test ($P \leq 0.05$).

FYMSeas: Farmyard manure seasonal application, FYMSeas+NPK: Farmyard manure seasonal application + NPK, FYMSingl: Farmyard manure single application.

As mentioned above, onion bulb yields also varied with the applied fertilizer. The best onion bulb yield was obtained when applying the FYM as a seasonal and single application (16 t ha^{-1}). The second best performance was recorded by combining FYM and composite NPK (14 t ha^{-1}). Onion bulb yields were reduced by 50 and 43.8%, respectively, when these fertilization options were not applied (Figure 4.3).

4.3.3 Land Equivalent Ratio (LER) and Area Time Equivalent Ratio (ATER) of onion intercropped with groundnut regarding the different fertilization options

From Table 4.2 it is observed that combining Bombay onion variety with groundnut variety A65 allowed reaching the highest LER value (2.25) in 2019. This LER value was different from values of three other combinations that were not statistically different. The LER value of 2.25 obtained from this package (Bombay+A65) indicates that to achieve the same yield of these two species in pure cultivation, a necessary area of 2.25 ha will be required; while for the other three treatments, an average area of 2.02 ha will be expected. In 2020 cropping season, on the other hand, the highest LER value was recorded on the Creole + A65 package (2.14). The Bombay +

A65 package, which recorded the highest LER in 2019, had a value of 1.83, statistically similar to the other two packages, including Bombay + JL24 and Creole + JL24.

Table 4.2: Effect of cropping system, fertilizer and their interaction on Land Equivalent Ratio (LER) and Area Time Equivalent Ratio (ATER) for onion intercropped with groundnut.

Cropping (A)	System	2019		2020	
		LER	ATER	LER	ATER
Bombay+A65		2.25a	2.01a	2.03b	1.83b
Bombay+JL24		2.15b	1.93ab	1.90b	1.69b
Creole+A65		1.98b	1.78b	2.38a	2.14a
Creole+JL24		1.93b	1.75b	2.02b	1.80b
<i>p</i> -value (A)		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
HSD		0.07	0.06	0.10	0.15
CV		13.6	13.4	16.18	12.65
Fertilizers (B)					
Control		2.03b	1.83ab	1.81b	2.32a
FMYSeas		1.90b	1.69b	1.80b	1.61b
FMYSeas+NPK		2.38a	2.14a	1.99a	1.77b
FMYSingl		2.02b	1.80ab	1.97a	1.75b
<i>p</i> -value (B)		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
HSD		13.6	0.06	0.10	0.15
CV		0.07	13.4	16.18	12.65
<i>p</i>-value (A*B)		ns	ns	ns	ns

Mean values in the column followed by the same letter are not significantly different ($P \geq 0.05$). FYMSeas: Farmyard manure seasonal application, FYMSeas+NPK: Farmyard manure seasonal application + NPK, FYMSingl: Farmyard manure single application.

In terms of fertilizers, the results obtained in 2019 indicate a large total LER value for the combination manure + NPK (2.38). This implies that it will take 2.38 ha in pure crop to produce the same yield of onion and groundnut in pure crop if the fertilization is based on the combination of farmyard manure + NPK, whereas an average of 1.98 ha is required for the other three treatments if the fertilization plan would be based on the other three fertilization options.

In 2020, however, it was the control that required a much larger area for the production of two crops in pure (2.32 ha), while the other three treatments only required an average area of 1.71 ha.

4.3.4 Land-use efficiency of onion intercropped with groundnut under different fertilizers options

Fertilizers, cropping systems and their interaction had significant effects on the land-use efficiency of onion intercropped with groundnut ($p < 0.05$) for both years (Figure 4).

Figure 4 (4c and 4d) reveals that the land-use efficiency varied from 326 to 280% in the following order: Bombay + A65 > Bombay+JL24 > Creole+A65 > Creole+JL24 in 2019. In 2020, the trend changed as follows: groundnut variety A65 had similarly improved the land-use efficiency of the two onion varieties; followed by Bombay + JL24 and lastly Creole+JL24.

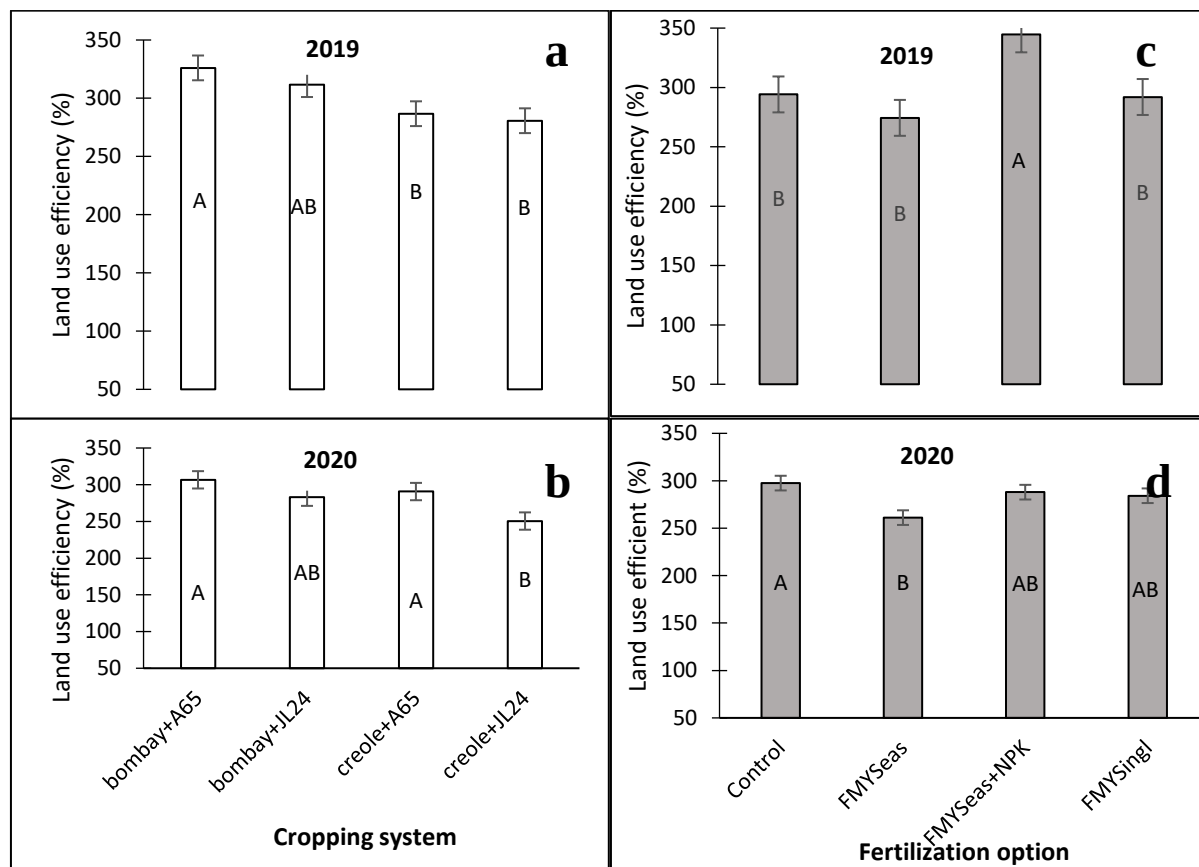


Figure 4.4 Land-use efficiency: (a-b) as affected by cropping systems and (c-d) by fertilizers.

FYMSeas: Farmyard manure seasonal application, FYMSeas+NPK: Farmyard manure seasonal application + NPK, FYMSingl: Farmyard manure single application

Depending on the fertilizers, the differences in land-use efficiency for 2019 and 2020 ranged from 345 to 261%. In 2019, the highest LUE value was recorded on plots fertilized with farmyard

manure combined with NPK while the lowest value was on farmyard manure in seasonal application (274%). In contrast, the non-application of fertilizers induced high land-use efficiency (298%) in 2020. Overall, a higher land-use efficiency was observed in 2019 than in 2020 (Figure 4, c-d).

4.3.5 Competitive indices of onion intercropped with groundnut under different fertilization options

The cropping system (Table 4.3) had significantly ($p < 0.05$) affected both competitiveness indices of onion and groundnut in 2019 where the onion variety Bombay was most competitive than the groundnut variety A65 (1.06).

The onion variety Creole was less competitive than the groundnut variety JL24. The onion variety Bombay was less competitive when intercropped with the groundnut variety JL24, as it was also the case when the onion variety Creole was intercropped with the groundnut variety A65.

Table 4.3: Overall competitive indices' variation with cropping systems and fertilizers

Cropping system (A)	2019				2020			
	Competitive ratio (CR)		Agressivity		Competitive ratio(CR)		Agressivity	
	Onion	Groun dnut	Onion	Groun dnut	Onion	Groun dnut	Onion	Groun dnut
Bombay+A65	1.06a	1.02b	0.00	0.00	1.93	0.89	0.04	0.04
Bombay+JL24	0.97ab	1.08b	-0.05	0.05	1.03	1.02	-0.01	0.01
Creole+A65	0.91ab	1.13b	-0.16	0.16	1.01	1.03	-0.01	0.01
Creole+JL24	0.79b	1.34a	-0.28	0.28	1.21	0.93	0.10	-0.19
P-value (A)	<0.05	<0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns
HSD	0.04	0.06	-	-	-	-	-	-
CV	13.25	12.96	-	-	-	-	-	-
Fertilizers (B)								
Control	0.81b	1.31	-0.18	0.18	1.93a	0.95	0.02	-0.02
FMYSeas	0.99a	1.04	-0.08	0.08	1.02b	1.02	-0.03	0.01
FMYSeas+NPK	0.86ab	1.23	-0.12	0.12	1.09b	0.98	0.05	-0.05
FMYSingl	1.07a	0.99	-0.10	0.10	1.13b	0.92	0.08	-0.08
P-value (B)	<0.05	Ns	ns	ns	<0.05	ns	ns	ns
HSD	0.04	0.06	-	-	0.08	-	-	-
CV	13.25	12.96	-	-	11.54	-	-	-
P-value (A*B)	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	Ns	ns

Mean values in the columns followed by the same letter are not significantly different ($P \geq 0.05$). FYMSeas: Farmyard manure seasonal application, FYMSeas+NPK: Farmyard manure seasonal application + NPK, FYMSingl: Farmyard manure single application.

Differences among fertilizers were only significant on onion competitive ratio ($p < 0.05$). Farmyard manure in single and seasonal application highly affected onion competitiveness than others treatments. In 2020, onion was competitive than groundnut when no fertilizer was applied. The analysis of aggressivity showed that groundnut was globally the dominant crop but its dominance did not significantly affect the onion development. In some cases, both crops were equally competitive (Bombay+A65) when intercropped.

4.4 Discussion

The onion yield potential results showed the Creole variety's superiority in pure cultivation over the Bombay variety as well as over all other intercropping systems. However, when comparing the yield of the cropping systems (pure and intercrop) based on the LER values obtained, it was observed that the intercropping was more productive than the pure cultivation. These results are confirmed by many other studies: Yildirim and Guvenc (2005) on cabbage - flower and onion; Filho et al. (2012) on tomato - lettuce; Haan and Vasseur (2014) on onion - lettuce; Wang et al. (2014) on eggplant - garlic and Ananda et al. (2017) on bean - cabbage.

It is worth noting that the average yield obtained from intercropping for this study (13.2 t ha^{-1}) is higher than the local, 7.5 t ha^{-1} (IPAPEL, 2018; Batumike et al., 2019) and African, 9.2 t ha^{-1} , but lower than the worldwide average, 19.4 t ha^{-1} (De Bon, 2016). This suggests that the onion-groundnut intercropping system is not only of great interest to improve onion yields, but also to secure production factors; although efforts are needed to reach the global threshold.

We also found that the highest onion bulb yield was obtained with the seasonal application of farmyard manure and farmyard manure single application (16 t ha^{-1}). These results are similar to those obtained by Mofunanya et al. (2015) and Teshome et al. (2018). Soil fertility was, therefore, an important factor for achieving high vegetable productivity. However, in both agriculture and vegetable production, the sustainable agriculture approach supports fertilization based mainly on organic manures.

The principle behind this kind of fertilization (using organic fertilizer) is based on feeding the soil to feed the plant and not feeding the plant directly through soluble fertilizers (Marzouka and Kassem 2011). In addition to its positive effects in improving soil health, organic manures also improve the nutritional properties of crops after mineralization of the residue and contribute to securing producers' income (Brito et al. 2012). Moreover, in a production context where there are

various risks and where efficiency and sustainability are more required, the way in which fertilizers are applied is also a factor of both technical and socio-economic efficiency. Results obtained in this study shows that farmyard manure in single application highly contributes to onion bulb yield. It is noteworthy that it is possible to invest in organic fertilization directly with a significant input that can support long-term production from one season to another (Miassi and Dossa 2018).

The results on biological indices, confirmed by those on land-use efficiency, indicate that it is possible to combine the two crops without compromising individual yields. Indeed, in the intercropping system, it is recommended to combine species with different aerial and underground morphologies to limit competition for environmental resources, especially nutrients, water and light (Alemayehu et al. 2016).

Onion and groundnut are both crops that develop their useful/economic products in the soil, but differ in root structure and function, thus allowing to limit potential underground competition. Indeed, onion have a sparse, concentric, unbranched root architecture, but high mycorrhiza capacity (Mollavali et al. 2016). In these mycorrhizal associations, there is a direct exchange of water and nutrients between the two partners. The mycelium, which is very fine, explores a very large volume of soil, developing a much larger exchange surface and entering much smaller pores than roots and even absorbent bristles, which are larger (Fukasawa et al. 2020). The fungus also releases various molecules into the soil: enzymes, organic acids, glycoproteins, which increase the availability of nutrients and contribute to soil structure (Verbruggen et al. 2013).

In contrast, the root system of groundnut is at 20 - 30 cm depth, is leathery and more densely packed with numerous absorbing bristles (Mateva et al. 2020). Unlike onion, groundnut root architecture is excentric, which allows it to explore a wide range of soils (Lu et al. 2013). It is noteworthy that although onion and groundnut compete for the use of the soil mineral N pool, only the legume has the ability to access the atmospheric N pool and benefit the associated crop via symbiotic fixation (Didagbé et al. 2014). In addition, the residual effects of this biological N fixation can effectively benefit to the onion. Aerially, both crops were sown at the same date, but the onion was transplanted from nursery after 2 months, which already gave it a growth advantage over the groundnut. This advantage would not be compromised for the groundnut due to the leaf morphology of the onion. Indeed, the onion's leaves, which are very few in number,

are vertical and intertwined, limiting to a maximum the possibilities of imposing a large soil cover and thus reducing competition for light with the groundnut.

These associated species use different biogeochemical pools of the same resource. Niche partitioning on a biogeochemical level typically applies to mixture/intercropping systems between a legume and a non-nitrogen-fixing species (Mueller et al. 2012).

The spatial partitioning of a soil resource occurs particularly when associated species have highly differentiated rooting structure. This applies in particular to water and other soil nutrients for which the rooting structure and additional function determine nutrients extraction (Bedoussac et al. 2014). The complementarity of these two species for the use of light is also explained by complementary aerial architectures that allow the mixed cropping system to enhance the value of the light resource in space both vertically in the canopy and horizontally (Rusinamhodzi et al. 2012).

To these elements are added the differences in height between the canopies, i.e. most often in these experimental conditions with different species and varieties, morphological variability emerges. Therefore, the optimization of light energy by capturing photosynthetically active radiation can be improved by using species with complementary aerial architectures (Vanlauwe et al. 2019). For example, it was found that the Bombay onion variety matched with the A65 groundnut variety. It should be noted here that Bombay has an erect aerial morphology whereas A65 is not very elongated. This had significantly limited competition and pressure on the environment's resources.

Although reflecting a negative effect of one species on the other, interspecific competition phenomena can induce a gain in yield when the associated species complement each other and use resources more efficiently than the corresponding monospecific crops. This occurs especially when the components do not compete strongly for the same resources (in time, space or chemical form), resulting in less interspecific competition than intraspecific competition.

During our experiments, it was also noted that onion density was reduced in sole culture due to cutworm attacks, while in intercropping; this pest had a low incidence (Cokola et al. 2021). Thus, the increased efficiency of land use for onion in intercropping would partly be explained by the spatial arrangement that allowed high density in a combined system, a density that did not negatively affect onion plant growth. Effective weed control, efficient soil moisture management,

reduced cutworm attacks, and low competitiveness due to compatibility between the two species can explain largely the land-use efficiency.

4.5 Conclusion

The present study assessed the potential yield and land-use efficiency of onion intercropped with groundnut under organic soil fertility management options in prospects of a sustained agroecological transition in vegetable production in eastern DRC.

The results showed that across the two experimental years, the sole culture of the onion variety Creole had highest bulb yields than all other tested cropping systems. We also found that single and seasonal organic fertilization option effectively improved the onion crop yield. There was an over performance of onion intercropped crops when A65 groundnut variety was integrated in both onion varieties. The competitive indices estimated (LER, competitive ratio and aggressivity) indicated that onion and groundnut are agro ecologically compatible. This compatibility was observed by the results on land-use efficiency. These results indicated that onion in combination with groundnut uses environmental resources efficiently in the elaboration of its yield. This constitutes a major alternative crop combination to promote for improving and securing onion production and for establishing solid bases for sustainable vegetable production in eastern DRC. In prospects of sustainable agroecological transition, the results of this study provide a reference to applying this approach in studying others vegetables-legumes intercropping systems in the region.

In the prospects of a sustained agroecological transition, in addition to agronomic suitability, a socioeconomic assessment of the agroecological options tested is essential in order to determine their strengths and weaknesses, but also to identify opportunities from this standpoint.

**Chapitre 5 : Evaluation participative et avantage
économique de l'association culturelle oignon-arachide
au Sud-Kivu, Est de la R.D Congo.**

Chapitre 5. Evaluation participative et avantage économique de l'association culturale oignon-arachide au Sud-Kivu, Est de la R.D Congo.

A publier sous forme d'article :

Ndjadi, S., Vumilia, K., Ahoton, E.L., Aliou, S., Bello, D., Mugumaarhahama, Y., Kazamwali, & Gustave Mushagalusa N. (2020). Profit efficiency and appraisal of onion–peanut intercropping systems under organic soil fertility management in South-Kivu, Eastern D.R. Congo.

Chapitre 5 : Evaluation participative et avantage économique de l'association culturale oignon-arachide au Sud-Kivu, Est de la R.D Congo.

Résumé

L'adéquation entre les systèmes culturaux et les revenus générés par ces derniers sont des défis majeurs à relever dans un contexte où l'efficacité du profit est primordiale. L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'efficacité financière et l'appréciation participative des systèmes de culture oignon-arachide sous la gestion de la fertilité organique du sol. Les données collectées sont issues des expérimentations réalisées sur deux saisons (2019 et 2020) où sont intégrées en pure et en mixte deux espèces et deux variétés de chaque culture. : bombay et créole pour l'oignon et A65 et JL24 pour l'arachide. Les cultures sont soumises aux applications suivantes : engrais organique en apport saisonnier, engrais organique en apport unique, engrais organique en apport saisonnier + NPK 2 – 1,5 - 2,5 et le contrôle. Les opinions sur ces différents systèmes ont été recueillies auprès de 10 producteurs réunis en une plateforme innovatrice. L'aptitude économique a été calculée sur la base de revenu généré par chaque système. Le Rapport Valeur-Coût (RVC) et le modèle d'enveloppement de données (DEA) ont servi à l'analyse des paramètres économiques. Tandis que, la prise en compte des contenus a permis d'analyser les opinions des producteurs. Les résultats obtenus indiquent que l'intégration dans l'association de la variété A65 d'arachide avec l'oignon améliore la rentabilité de deux variétés d'oignon. En 2019, chaque 1\$ investi dans le système (bombay + A65) rapporte 3.56\$ de profit et 3.54\$ pour créole + A65 avec une efficacité de 71%. En 2020 en revanche, cette performance était améliorée avec un bénéfice de 4.58\$ et une efficacité de 90% pour le système créole+A65 et 4.32\$ pour une efficacité de 84% pour bombay +A65. Pour la fertilisation, l'engrais organique permet de générer 3.11\$ de profit avec une efficacité de 62%. A l'implantation, les producteurs avaient de doute sur la compatibilité des cultures associées, mais au cours des phases végétative, générative et de récolte, leur conviction sur les systèmes mis en place progressait et s'est installée à la suite des bons résultats obtenus. Ces résultats supposent que l'arachide associée à l'oignon est un paquet agroécologique potentiel pour améliorer et sécuriser les revenus des producteurs.

Mots clés : Aptitude économique, durabilité, innovation, résilience, recherche participative,

Abstract

The adequacy of cropping systems and the income derived from these systems are major challenges in a context where profit efficiency is crucial. The objective of this study is to evaluate the economic efficiency and participatory appraisal of onion and groundnut cropping systems under soil organic fertility management. The data collected come from the experiments conducted over two cropping seasons (2019 and 2020) where two species and two varieties of each crop are integrated in pure and mixed. These are: bombay and creole for onion and A65 and JL24 for groundnut. Crops are submitted to the following applications: Farmyard manure as a seasonal input, farmyard manure as a single input, farmyard manure + NPK 2 – 1.5 – 2.5, and control. The opinions on these different systems were collected from 10 producers in an innovative platform. The economic suitability was calculated on the basis of the income generated by each system. The Value-Cost Ratio (VCR) and the Data Envelopment Analysis (DEA) model were used to analyze the economic parameters. While, the consideration of the contents allowed the analysis of the producers' opinions. The results obtained indicate that the integration in the combination of peanut variety A65 with onion improves the profitability of two onion varieties. In 2019, each \$1 invested in the system (bombay + A65) generated \$3.56 in profit and \$3.54 for Creole + A65 with an efficiency of 71%. In 2020, on the other hand, this performance was improved with a profitability of \$4.58 and an efficiency of 90% for the Creole + A65 system and \$4.32 for an efficiency of 84% for bombay + A65. For fertilizer, organic fertilizer generated \$3.11 profit with an efficiency of 62%. At the time of planting, the farmers had reservations about the suitability of the intercropping system, but during the vegetative, generative and harvesting stages, their conviction in the implemented systems grew and became established based on the positive results achieved. These results suggest that groundnuts combined with onions is a potential agroecological package to improve and secure farmers' incomes.

Keywords: Economic suitability, sustainability, innovation, resilience, participatory research,

5.1 Introduction

Le maraîchage contribue significativement à la sécurité alimentaire dans la Province du Sud-Kivu, à l'Est de la République Démocratique du Congo (RDC) où les besoins alimentaires sont croissants et énormes (Ndjadi *et al.*, 2021). Ces besoins font suite à un rythme démographique imposant observé ces 20 dernières années (DSCR, 2015). Le secteur maraîcher se développe de plus en plus à côté du secteur tertiaire en donnant du revenu à un grand nombre d'individus, ce qui permet de réduire le chômage et la pauvreté.

Au Sud-Kivu, la production est assurée par de petits producteurs répartis aux périphéries des grandes agglomérations des zones de bas-fonds et sur les terres fermes. La production réalisée demeure insuffisante par rapport à l'ampleur de la demande et ne permet pas aussi souvent aux producteurs d'en tirer efficacement profit (Ndjadi *et al.*, 2019). Les systèmes de culture à la base de cette production sont majoritairement la monoculture. Dans plusieurs zones de culture, on assiste même à des productions spécifiques où l'on observe l'exploitation d'une culture particulière par la majorité des producteurs (Ndjadi *et al.*, 2020).

Du point de vue socioéconomique, les systèmes de culture évoqués conduisent à la vulnérabilité et au faible niveau de résilience de l'exploitation suite au manque de diversité des récoltes. De plus, les systèmes non diversifiés sont réputés accentuer certaines contraintes de production dont notamment la pauvreté des sols, les maladies et ravageurs, mais aussi la sensibilité aux tendances du marché (Ndjadi *et al.*, 2021). La gestion de ces contraintes oblige le producteur à engager des frais supplémentaires, ce qui augmente le coût de production et affecte l'efficacité du profit. La vulnérabilité des exploitations non diversifiées s'observe par l'accroissement du niveau de risque en cas de perte d'un seul produit attendu, ce qui conduit à la perte de revenus que de nourritures (Brooker *et al.*, 2015).

Pour faire face aux enjeux alimentaires, économiques et environnementaux, l'urgence s'impose d'identifier des systèmes agricoles alternatifs susceptibles de réduire la vulnérabilité et la faible résilience du secteur maraîcher (Pauer *et al.*, 2020). En perspective d'une transition agroécologique soutenue, ces systèmes devront être économiquement efficaces et socialement approuvés dans un cercle représentatif des producteurs.

Vu la complexité des systèmes des cultures maraîchères en termes des spéculations exploitées, il est convenable d'évaluer l'efficacité recherchée qu'en référence à une seule culture phare de la région dont fait partie l'oignon. L'idée de cette approche est d'intégrer dans les systèmes de culture de l'oignon certaines options commodas qui peuvent améliorer et sécuriser sa production. L'intégration d'une légumineuse comme l'arachide et une fertilisation à vocation organique peuvent servir des modèles d'amélioration de l'efficacité financière des systèmes de culture à base d'oignon.

Ces systèmes doivent démontrer une durabilité économique acceptable en termes d'efficacité du profit ; qui désigne l'aptitude d'un système à utiliser rationnellement les ressources disponibles et d'en générer le maximum de profit (Wongnaa *et al.*, 2019). A cet effet, pour une analyse plus objective, il convient d'évaluer cette efficacité au sein d'une diversité des systèmes afin de tirer des conclusions basées sur des comparaisons des diverses options disponibles. Signalons en outre que certains auteurs dont Darnhofer *et al.* (2010) et Guzmán *et al.* (2013) indiquent que pour des technologies agricoles durables, la recherche action participative devra être mise au centre de l'action engagée. Cette démarche permet d'établir le diagnostic participatif des contraintes et des potentialités autour de chaque système pour orienter l'élaboration d'un plan stratégique inclusif. De ce qui précède, la présente étude se fixe alors comme objectif d'évaluer l'efficacité financière et l'appréciation participative des systèmes de culture oignon-arachide sous la gestion de la fertilité organique sol.

5.2 Matériels et méthodes

5.2.1 Description du site expérimental

La présente recherche est basée sur une étude expérimentale de deux années 2019 et 2020 réalisée sur le site expérimental de l'Université Evangélique en Afrique. Situé dans la Province du Sud-Kivu, territoire de Kabare (02°18'56" de latitude Sud et 28°47'45, 9" de longitude Est), ce site est à une élévation au-dessus du niveau de la mer variant entre 1650 – 1750 m. Dans cette région règne un climat tropical humide de deux saisons, une pluvieuse de 9 mois (Septembre-mai) et une autre sèche de trois mois (Juin à Août). Les précipitations moyennes annuelles sont d'environ 1400 à 1500 mm. La température moyenne annuelle de l'air est de 19,9 °C avec une amplitude thermique qui varie de 10 à 20 °C et une humidité relative de 68 à 75%.

5.2.2 Conduite de l'étude et collecte des données

Les données collectées sont générées à partir d'un dispositif de 32 traitements à 3 répétitions. Ces traitements sont issus de la combinaison des modalités des facteurs dont la structure est présentée dans le tableau 5.1.

Tableau 5. 1: Structure des traitements

Traitement	Système	Culture	Variété	Fertilisation
T1 T2 T3 T4	Pure	Arachide	A65	F1 F2 F3 F0
T5 T6 T7 T8	Pure	Arachide	JL 24	F1 F2 F3 F0
T9 T10 T11 T12	Pure	Oignon	bombay	F1 F2 F3 F0
T13 T14 T15 T16	Pure	Oignon	créole	F1 F2 F3 F0
T17 T18 T19 T20	Association	Oignon + Arachide	bombay+JL24	F1 F2 F3 F0
T21 T22 T23 T24	Association	Oignon + Arachide	JL24 + créole	F1 F2 F3 F0
T25 T26 T27 T28	Association	Oignon + Arachide	A65 + bombay	F1 F2 F3 F0
T29 T30 T31 T32	Association	Oignon + Arachide	A65 + créole	F1 F2 F3 F0

F1 : engrais organique apport saisonnier ; **F2** : engrais organique apport unique ; **F3** : engrais organique apport saisonnier + NPK ; **F0** : Contrôle.

Les données collectées pour un traitement ont porté sur l'ensemble des coûts variables engagés. La main-d'œuvre, l'achat des semences et des fertilisants, la gestion phytosanitaire, la récolte et le conditionnement ont constitué le coût de production. Tandis que le revenu était constitué de la valeur monétaire générée par l'estimation de la production utile au prix du marché.

5.2.3 Calcul de la rentabilité des systèmes de culture par la méthode Rapport Valeurs–Coûts

Le rapport/ratio valeur-coût (RVC) est un indicateur de rentabilité utilisé dans l'analyse coûts-avantages pour déterminer la viabilité des flux financiers générés par l'investissement (Konja *et al.*, 2019). Le RVC compare la valeur actuelle de tous les avantages générés par un investissement à la valeur actuelle de tous les coûts. Il est obtenu par la formule suivante :

$$RVC = \frac{TValeurs}{TCoûts}$$

Règle de décision :

$RVC > 1$: le système est rentable.

$RVC < 1$: le système est une perte.

$RVC = 1$: le système a atteint le seuil de rentabilité.

5.2.4 Méthode d'enveloppement des données : Choix, théorie et efficacité

Le modèle d'enveloppement des données est une approche non-paramétrique qui se sert de la programmation linéaire afin d'identifier différentes combinaisons d'inputs-outputs qui définissent la frontière de production, efficacité technologique (Nunamaker, 1985).

La compréhension du modèle DEA se fait souvent au moyen des calculs des scores d'efficacité sur la base du profit réalisé (Bocher et Simtowe, 2017). Pour chaque système ou unité décisionnelle, on cherche à trouver une mesure du ratio de tous les outputs sur tous les inputs qui prendrait la forme suivante: $\frac{u'y_i}{v'x_i}$ ou u est un vecteur d'ordre $M \times 1$ des pondérations d'outputs et v est un vecteur $K \times 1$ des pondérations d'inputs. Dans le but de sélectionner les pondérations optimales, le problème de programmation linéaire suivant est spécifié :

$$Max_{u,v} \left[\frac{u'y_i}{v'x_i} \right]$$

S/C

$$\frac{u'y_i}{v'x_j} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, N$$

$$u, v \geq 0$$

Ainsi, la programmation linéaire visée détermine les valeurs de u et v de sorte que la mesure d'efficacité du $i^{\text{ème}}$ système agricole est maximisée sous contrainte que les mesures d'efficacité prises globalement soient inférieures ou égales à 1.

Sur la base des études de Dhungana *et al.* (2004), la forme duale de ce programme linéaire peut être écrite de la manière suivante :

$$\begin{aligned} & \min_{\theta, \lambda} \theta \\ & S/C \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Où θ est un scalaire et λ est vecteur de l'ordre $N \times 1$ constitué essentiellement des constantes. La valeur de θ obtenue est le score d'efficacité pour la $i^{\text{ème}}$ exploitation. Il doit donc satisfaire la relation $0 \leq \theta \leq 1$, avec une valeur de 1 signifiant un point se trouvant sur la courbe frontière, d'où un système a un profit efficace (Ullah *et al.*, 2019).

5.2.5 Evaluation participative : collecte des données et méthodes d'analyse

Pour cette activité, nous avons choisi 10 producteurs d'oignon dont 5 hommes et 5 femmes réunis en une plate-forme innovatrice pour recueillir leurs opinions sur l'ensemble des différentes technologies en étude. Les évaluateurs, circulaient dans la structure du dispositif, observaient attentivement tous les traitements. Après cette étape, chaque producteur était appelé à donner une opinion positive et une négative sur un fait qui a le plus retenu son attention sur un traitement particulier ou sur l'ensemble des traitements. Toujours avec les producteurs, l'étape suivante était de rassembler toutes ces opinions, par déduction d'en tirer au maximum trois opinions plus inclusives qui devraient être discutées. Cette évaluation a été effectuée au stade de préparation du sol et semis, en pleine croissance et développement et à la récolte. L'objectif poursuivi était d'identifier les forces et faiblesses autour des activités effectuées et d'en dégager les potentielles opportunités et faiblesses. L'analyse de ces informations était essentiellement qualitative à travers l'approche analyse des contenus (Elo *et al.*, 2014 ; O'Shaughnessy, 2014). L'analyse de contenu est une méthode couramment utilisée dans les sciences sociales et constitue donc un choix viable pour la recherche de l'information sur un phénomène ou une pratique auprès des acteurs sociaux spécifiques.

Cette approche est importante dans la recherche sur la conception des systèmes agricoles car non seulement elle permet aux chercheurs de récupérer et d'examiner les nuances des attitudes des utilisateurs des systèmes agricoles ; mais aussi à travers une approche analytique, elle permet de dégager la pertinence d'une information à travers une introspection critique. Plus concrètement, la méthode consiste à analyser et discuter une opinion brute ou un fait en s'appuyant sur une théorie ou une expertise afin de dégager une stratégie consensuelle autour du système objet de l'évaluation (Eastwood *et al.*, 2012).

5.2.6 Analyse statistique des données

Les données de RVC et le score d'efficacité généré par la programmation linéaire ont été soumises à l'analyse de la variance pour dégager les différences entre les systèmes, la fertilisation et leur interaction. En cas des différences significatives, le test de Student Newman-Skeuls (SNK) a servi de séparation des moyennes. Le logiciel SAS 9.2 a été utilisé pour ces fins.

5.3 Résultats

5.3.1 Evaluation économique

5.3.2 Analyse de la variance de la profitabilité et de l'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide sous l'effet des systèmes de culture et de la fertilisation

Le tableau 5.2 reprend l'analyse de la variance de la profitabilité et de l'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide sous l'effet des systèmes de culture et de la fertilisation

Tableau 5.2: Résultats de l'analyse de la variance de la profitabilité et de l'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide sous l'effet des systèmes de culture et de la fertilisation

Source de variation	Ddl	2019		2020	
		Valeur de Fisher		Valeur de Fisher	
		RVC	Score	RVC	Score
Systèmes	7	153.61****	158.11****	145.60****	169.90****
Fertilisation	3	74.31****	79.97****	54.56***	56.62***
Répétition	2	2.10 ns	1,13 ns	1.19 ns	0.68 ns
Interaction	21	4,62**	4,27**	2.01*	2.10**

Légende//// ddl : degré de liberté p<0,0001 (très hautement significative) p<0,001 (hautement significative) p<0,01 (très significative) p<0,05 (significative).....ns p>0,05 (non significative).

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 5.2) appliquée à la profitabilité et l'efficacité économique des systèmes de cultures oignon-arachide et la fertilisation organique indiquent qu'en 2019 et 2020, les systèmes de culture ont affecté très significativement ces deux variables

($p < 0,001$). Une tendance similaire a été également observée pour le facteur fertilisation. En 2019, l'interaction entre systèmes et fertilisation est hautement significative. En 2020, elle est hautement significative en ce qui concerne que le score d'efficacité économique et significative par rapport au RVC.

5.3.3 Moyenne de rentabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des systèmes de culture.

Les résultats du tableau 5.3 indiquent que l'intégration de la variété A65 d'arachide dans les systèmes de culture à base d'oignon améliore globalement la rentabilité de ce dernier pour les deux variétés de l'espèce. A titre indicatif, en 2019, il est noté que chaque 1\$ investi sur le système (bombay + A65) rapporte 3.56\$ de profit et 3.54\$ pour le système créole + A65. Pour générer ce profit, ces systèmes utilisent à 71% l'investissement injecté dans le processus productif.

Tableau 5.3: Valeurs moyennes de la rentabilité et de l'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des systèmes de culture

Système	2019		2020	
	RVC	Score	RVC	Score
bombay	2.52c	0.50c	3.53d	0.71d
bombay+A65	3.56a	0.71a	4.32ba	0.84ba
bombay+JL24	3.10b	0.62	4.00bc	0.79c
créole	3.18b	0.64ba	3.82dc	0.76dc
créole+A65	3.54a	0.71a	4.58a	0.90a
créole+JL24	3.01b	0.60d	3.82dc	0.76dc
A65	0.26d	0.05d	1.13e	0.23e
JL24	0.18d	0.04d	1.07e	0.21e

Les valeurs suivies de lettres identiques sur une colonne ne sont pas différentes au seuil de signification de 5% selon le test de Student Newman-Skeuls à un intervalle de confiance de 5%.

Les performances ci-dessus indiquées sont suivies par celles des systèmes bombay+JL24, créole+JL24 et créole en culture pure qui ne sont pas statistiquement différentes. Les faibles performances économiques sont enregistrées avec les systèmes de cultures pures d'arachide. Pour les deux variétés d'arachide (A65 et JL24), en systèmes de culture pure, il est observé que chaque 1\$ investi génère moins de 0.30\$ de profit. Ces systèmes n'utilisent qu'à moins de 5% le capital disponible pour l'élaboration de leurs résultats économiques. Globalement, il est remarqué que tous les systèmes ont donné de meilleures aptitudes culturales en 2020.

5.3.4 Moyenne de profitabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des options de fertilisation

Les résultats présentés dans le tableau 5.4 montrent que l'engrais organique en apport unique est plus profitable. Cette option de fertilisation permet de générer 3.11\$ de profit pour chaque 1\$ investi traduisant de ce fait une efficacité de 62%. Cette performance est suivie par l'apport de l'engrais organique en apport saisonnier et la combinaison engrais organique apport saisonnier + NPK. Toutefois, l'engrais organique en apport saisonnier enregistre un score d'efficacité plus élevé que la combinaison engrais organique apport saisonnier + engrais minéral (NPK) (0.52 contre 0.49).

Tableau 5.4 : Valeurs moyennes de profitabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des options de fertilisation.

Système	2019	Score	2020	Score
	RVC		RVC	
Contrôle	1.48c	0.30a	2.57c	0.51c
EO_AppSaisonier	2.62b	0.52b	3.38b	0.67b
EO_Appunique	3.11a	0.62b	4.02a	0.78a
EO AppSaisonier+NPK	2.46b	0.49c	3.17b	0.63b

Contrôle: Témoin; EO_AppSaisonier: engrais organique apport saisonnier; EO_Appunique : engrais organique apport unique ; EO AppSaisonier + NPK : engrais organique apport saisonnier + NPK

La tendance des performances économiques obtenues en 2019 sont similaires à celles de 2020. Cependant, il est noté qu'en 2020, les valeurs enregistrées sont nettement meilleures (supérieures) pour toutes les options de la fertilisation. Globalement, il est observé en outre que les valeurs du RVC ont augmenté de 15,21% en 2020 et de 14,60% pour celles du score d'efficacité économique.

5.3.5 Moyenne de profitabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction des systèmes et fertilisations

Les résultats du tableau 5.5 indiquent qu'en 2019, pour le système bombay (oignon en culture pure) que l'engrais organique en apport unique contribue efficacement à l'amélioration du profit (3.37 pour une efficacité de 67%). Cette performance est suivie par celle de l'engrais organique en apport saisonnier, puis par la combinaison engrais organique apport saisonnier + NPK et du contrôle dont les valeurs du RVC et du score d'efficacité sont statistiquement différentes. Une tendance similaire est observée en 2020, mais avec des valeurs nettement supérieures.

Tableau 5.5 : Valeurs moyennes de rentabilité et d'efficacité économique de l'oignon et de l'arachide en fonction de l'interaction des systèmes de culture et des engrais

Système	Fertilisation	2019		2020	
		RVC	Score	RVC	Score
Bombay	Contrôle	1.39c	0.28c	2.68c	0.54c
	EO_AppSaisonnier	2.82ba	0.56ab	3.50b	0.70b
	EO_Appunique	3.37a	0.67a	4.64a	0.92a
	EO AppSaisonnier+NPK	2.50b	0.50b	3.30b	0.66b
bombay+A65	Contrôle	2.37b	0.47b	3.09c	0.62c
	EO_AppSaisonnier	3.72a	0.74a	4.45b	0.89b
	EO_Appunique	4.37a	0.86a	5.34a	0.99a
	EO AppSaisonnier +NPK	3.80a	0.76a	4.38b	0.88b
bombay+JL24	Contrôle	2.07b	0.41c	3.42b	0.68b
	EO_AppSaisonnier	3.35a	0.67a	4.10ba	0.89ba
	EO_Appunique	3.72a	0.74a	4.65a	0.99a
	EO AppSaisonnier +NPK	3.26a	0.65a	3.83ba	0.88ba
creole	Contrôle	2.06d	0.41b	2.81b	0.56c
	EO_AppSaisonnier	3.63b	0.73a	4.11a	0.82ba
	EO_Appunique	4.16a	0.83a	4.80a	0.94a
	EO AppSaisonnier +NPK	2.88c	0.58a	3.59a	0.72b
créole+A65	Contrôle	2.06c	0.41b	3.60c	0.72b
	EO_AppSaisonnier	4.12ba	0.82a	5.18a	0.99a
	EO_Appunique	4.40a	0.88a	5.11ba	0.98a
	EO AppSaisonnier +NPK	3.60b	0.72a	4.45c	0.89a
créole+JL24	Contrôle	1.81c	0.36c	3.17c	0.63c
	EO_AppSaisonnier	3.36b	0.67b	3.99ba	0.80ba
	EO_Appunique	3.81a	0.76a	4.62a	0.92a
	EO AppSaisonnier +NPK	3.05b	0.61b	3.50bc	0.70bc
A65	Contrôle	-0.01b	0.00b	0.88b	0.17b
	EO_AppSaisonnier	0.65a	0.13a	1.65a	0.33a
	EO_Appunique	0.08b	0.02b	0.87b	0.17b
	EO AppSaisonnier +NPK	0.33ba	0.07b	1.13b	0.22ab
JL24	Contrôle	0.08a	0.02a	0.90a	0.18a
	EO_AppSaisonnier	0.43a	0.09a	1.39a	0.28a
	EO_Appunique	-0.08a	-0.02a	0.82a	0.16a
	EO AppSaisonnier +NPK	0.28a	0.06a	1.16a	0.23a

Contrôle: Témoin; EO_AppSaisonnier: engrais organique apport saisonnier; EO_Appunique : engrais organique apport unique ; EO AppSaisonnier + NPK : engrais organique apport saisonnier + NPK

Par ailleurs, pour le système bombay + A65, la meilleure aptitude économique est obtenue avec le traitement intégrant l'apport de fertilisation unique sans une différence significative entre les traitements sauf pour le témoin. En 2020, il est observé sur le même système que chaque 1\$ investi avec l'apport unique d'engrais organique rapporte 5,34\$ avec une efficacité de 99% ce

qui constitue un record en terme de profit. Une tendance identique s'observe également avec le système bombay + JL24, mais avec des valeurs économiques réduites et qui ne sont pas différentes pour toutes les options de fertilisation quelle que soit l'année. Avec le système créole en culture pure, il est noté que la fertilisation avec l'engrais organique en apport unique est plus rentable ; 4.16\$ de profit pour une efficience de 83%. Les performances de tous les autres systèmes sont nettement améliorées en 2020 contrairement en 2019 (tableau 6.5). En ce qui concerne les systèmes créoles en association avec les variétés d'arachide, il se dégage que c'est toujours la fertilisation à base d'engrais organique en apport unique qui est plus rentable (respectivement 4.40 \$ et 3.81\$ pour une efficience de 98 et 92%) respectivement pour créole + A65 et créole + JL24. Les systèmes de culture pure d'arachide (A65 et JL24) en interaction avec les fertilisants ou sans fertilisants sont globalement moins rentables, il s'en suit même des cas de perte. C'est le cas de l'interaction A65 sans fertilisation (-0.01) et JL24 sous la fertilisation à base d'engrais organique en apport unique (-0.08) en 2019.

5.3.6 Evaluation sociotechnique des opinions des producteurs

5.3.7 Phase de préparation du terrain et de semis

5.3.8 Opinions positives

Au cours de la phase de préparation de terrain et des semis, les producteurs ont indiqué que :

- Le sol est bien travaillé et les traitements sont bien aménagés
- L'engrais organique a un grand rôle dans la fertilité du sol et le rendement des cultures
- L'arachide à la possibilité d'améliorer la fertilité du sol et la production de l'oignon

a) Analyse du contenu « Le sol est bien travaillé et les traitements sont bien aménagés »

Pour offrir un bon potentiel productif, le sol doit être en bon état, bien labouré, émietté, débarrassé des résidus végétaux encombrants et riche en matière organique.

Il est primordial que le sol soit en excellent état pour obtenir de bons résultats en production légumière. Pour obtenir une bonne croissance des plantes, il faut donc que la structure, la texture, la porosité, l'aération et l'activité biologique du sol soient adéquates. Une bonne activité biologique, primordiale en agriculture pour nourrir les plantes, n'est possible que si le sol est aéré et meuble. Les racines doivent pouvoir se développer de façon extensive dans un grand volume afin de puiser les éléments nutritifs nécessaires. Cela permet aussi aux plantes d'être moins sensibles à la sécheresse.

b) Analyse du contenu « L’engrais organique a un grand rôle dans la fertilité du sol et le rendement des cultures »

En production maraîchère, les sols sont souvent utilisés de manière intensive et sont le support d'une importante production de biomasse. La fertilité des sols est donc un facteur important pour assurer la production de cette importante biomasse. Cette fertilité est assurée par des composés organiques constitués des déchets animaux, de résidus végétaux, d’engrais verts et tous les autres composés organiques biodégradables riches en éléments nutritifs. Le principe de cette fertilisation est basé sur le fait de nourrir le sol pour nourrir la plante et non de nourrir la plante directement par des engrais solubles.

c) Analyse du contenu « L’arachide à la possibilité d’améliorer la fertilité du sol et la production de l’oignon »

La culture associée de l’arachide dans la production de l’oignon permet une utilisation plus efficace des ressources de l'exploitation. L’arachide permet de couvrir le sol pendant une période plus longue et prévient ainsi la dessiccation et l’érosion du sol. En poussant ensemble avec l’oignon en mixte, le système maximise, l'efficacité de l'utilisation de l'eau, maintient la fertilité du sol et minimise l'érosion du sol. En outre, il pourrait augmenter la production par unité de surface, en particulier avec de faibles niveaux d'intrants externes, car un mélange d'espèces fait un meilleur usage des nutriments et de l'eau disponibles dans le sol si la compétition est minime. L’arachide en tant que légumineuse est une importante source d'azote et peut être une alternative pour améliorer la nutrition azotée et augmenter les rendements de l’oignon.

5.3.9 Opinions négatives

Les opinions négatives relevées par les producteurs pendant la phase de préparation de terrain portent sur :

- Le doute sur la probable compatibilité des deux espèces
- Le grand niveau d’investissement tant matériel, temporel que financier et la pénibilité du travail
- La difficulté d’acquisition de l’engrais organique

a) Analyse du contenu « doute sur la probable compatibilité des deux espèces »

Dans la zone d’étude, la production de l’oignon est soutenue par le système de culture pure. Cette culture pure d’oignon est répandue pour certaines raisons parmi lesquelles le faible niveau de connaissance de son intégration avec une légumineuse telle que l’arachide. Cette méconnaissance

s'est accumulée de générations en générations et est rentrée dans les us et traditions selon lesquelles la culture de l'oignon ne peut être conduite qu'en culture pure et non en association et par surcroît avec une plante comme l'arachide. En produisant une importante quantité de biomasse, la perception selon laquelle l'arachide peut nuire à la croissance de l'oignon semble bien logique. Toutefois, une conception raisonnée des arrangements spatiaux adéquats et de choix des variétés est susceptible de contourner les potentiels risques de nuisance de l'arachide sur l'oignon qui est une culture trop sensible sur le plan de la concurrence aérienne surtout au stade jeune. A ce stade, la culture ne possède que deux ou trois petites feuilles trop légères. En cas d'une compétition trop engagée avec une espèce associée trop encombrante comme l'arachide, le risque d'assister à un déficit photosynthétique est patent. Pour lever l'incertitude sur la compatibilité de ce paquet technologique, une démonstration sous l'approche recherche-action participative telle qu'initiée par la présente recherche est notable.

b) Analyse du contenu « difficulté d'acquisition de l'engrais organique »

Signalons en outre que dans les agrosystèmes paysans bien que le rôle de l'engrais organique soit pleinement démontré et établi comme un des facteurs prépondérants de la production, son acquisition n'est toujours pas facile. De plus, la quantité d'engrais organique apportée au sol comme fertilisant est souvent importante. Son obtention, sa qualité, le temps de décomposition et la manutention sont autant de facteurs qui rendent lourd l'élaboration d'un plan de fertilisation à vocation organique.

Toutefois, certaines stratégies si elles sont bien appuyées facilitent l'élaboration de ce plan stratégique de fertilisation organique. Il s'agit entre autres de l'intégration production végétale et animale, d'un plan de gestion de résidus organiques qui va de la collecte, au tri et la valorisation par compostage.

c) Analyse des contenus « Investissement conséquent tant matériel, temporel que financier et pénibilité du travail ».

La technologie des associations culturales nécessite trop d'investissement tant matériel, temporel que financier, ce qui constitue une contrainte pour sa mise en place. A ce colossal investissement s'ajoutent le volume et la pénibilité du travail. En effet, afin de minimiser les risques de compétition tant aérienne que souterraine, la disposition des cultures en lignes souvent intercalaires est mieux indiquée. Cette dernière pratique nécessite la maîtrise du plan géométrique d'occupation du terrain pour orienter les espacements entre les rangs et dans le rang à travers des

travaux de piquetage. Ces opérations constituent un travail trop pénible des fois et demandent aux hommes beaucoup d'effort dans l'aménagement du dispositif d'implémentation. Toutefois, il faudra que le volume de production et autres avantages à tirer du système associatif soient en mesure de compenser toute forme d'investissement engagé.

5.3.10 Phase de croissance et de développement

5.3.11 Opinions positives

Pendant cette phase, les opinions positives notées sont :

- Certains avantages des cultures associées sont ressortis
- L'effet de la fertilisation est confirmé

a) Analyses du contenu « certains avantages des cultures associées sont ressortis »

En pleine croissance, les évaluateurs constatent une bonne occupation de l'espace qui se traduit par une bonne efficience d'utilisation de la terre et de ses ressources dont l'eau et les éléments minéraux. Les producteurs relèvent également une bonne croissance de l'oignon en intercalaire avec l'arachide en terme de verdure du feuillage. Ce constat implique probablement la possibilité d'une fixation biologique de l'azote par l'arachide, lequel profite plus à l'oignon. Comme autre avantage clairement noté, il est observé que les plantes d'oignon en mixte sont moins attaquées par les larves de la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797).

En effet, les conditions de sécheresse sont favorables au développement de cette larve, mais l'humidité créée par la couverture de l'arachide a perturbé les conditions de développement de ce ravageur en association.

b) Analyse du contenu « L'effet de la fertilisation est confirmé »

Il est observé que les effets des différentes options de fertilisation sont remarquables à ce stade. Le niveau de croissance est meilleur sous l'engrais organique en apport unique, suivi de l'apport saisonnier, de la combinaison engrais organique apport unique +NPK et en fin le contrôle. En effet, une parcelle de cultures sous fertilisation est un milieu vivant complexe composé d'une multitude de cycles de matières organiques et minérales. Ces matières sont constamment en mouvement et transformées, passant du sol, à la solution du sol, puis aux plantes alimentées par l'énergie solaire utilisant au passage l'eau, pour enfin retourner au sol. Une partie des matières transformées servent aussi à nourrir la faune du sol qui participe au maintien de la fertilité biologique du sol. A cet effet, la santé et la productivité de la parcelle dépendent de la capacité de

cette « parcelle » à maintenir en circulation ces flux, organique et minéral, avec le moins des pertes possibles. Dans les parcelles où le cycle d'approvisionnement nutritionnel est maintenu, le quotient de croissance sera le plus distinct possible de la parcelle où il y a un dysfonctionnement des interactions surtout minérales entre le sol et la plante.

5.3.12 Opinions négatives

En phase de croissance, les opinions négatives relevées par les producteurs portent sur :

- Le risque que la biomasse encombrante de l'arachide n'étouffe pas seulement l'oignon, mais aboutisse aussi à une faible production générative.
- Difficulté d'estimation de la production de l'oignon en association

a) Analyse du contenu « Le risque que la biomasse encombrante de l'arachide n'étouffe pas seulement l'oignon, mais aboutisse aussi à une faible production générative ».

Le fait que les engrais organiques apportés à la parcelle soient plus riches en azote car issus de la ferme et du fait aussi de l'auto production de l'azote par la culture d'arachide peuvent conduire à une disponibilité excessive en azote. Ce phénomène induira une production végétative intense au détriment de la production générative.

Afin de pallier ce phénomène, un apport raisonné de l'engrais organique trop azoté est à contrôler d'une part, et d'autre part, on peut procéder à la défoliation manuelle de cette biomasse surabondante afin de forcer le végétal à canaliser l'énergie emmagasinée dans la production générative. Les arrangements spatiaux des cultures devront également être bien pris en compte afin de déterminer dès le départ la zone de développement de chaque culture.

b) Analyse du contenu « Difficulté d'estimation de la production de l'oignon en association »

Une autre opinion négative relevée sur les agrosystèmes en évaluation est celle de la difficulté d'estimation de la production en cas de combinaisons des cultures. En effet, l'estimation de la production se réfère toujours à l'unité de surface occupée. En conditions de cultures mixtes, le producteur ne sait pas quelle est la réelle proportion des terres allouées séparément aux 2 cultures. Dans ce cas, il ne pourra pas facilement estimer en avant plan la production que génère chaque composante séparément. Cette difficulté devient encore très compliquée pour le producteur d'oignon d'autant plus que des fois, la vente se fait selon la superficie occupée par la culture. Cependant, cette contrainte peut être contournée à travers une gestion de la densité. Ce qui revient à dire par exemple que : si une superficie de 25 m² en pure permet une densité de 500

plants, en culture associée, l'arrangement spatial à mettre en place devra également permettre d'établir une densité de 500 plants peu importe la superficie. Au lieu de se référer à la superficie, on se réfère plutôt à la densité.

5.3.13 Phase de récolte

5.3.14 Opinions positives

- La compatibilité deux cultures en combinaison est renforcée
- L'oignon est rentable en culture mixte
- Les rats attaquent moins l'arachide en culture mixte

a) Analyse du contenu « La compatibilité deux cultures en combinaison est renforcée »

A la récolte, qui est une phase cruciale de l'évaluation, les résultats observés ne font plus planer le doute sur la compatibilité de l'oignon et de l'arachide. Il a été constaté à ce stade que l'oignon et l'arachide sont deux espèces qui peuvent être cultivées en mixte sans que l'une des cultures ne porte pleinement préjudice à l'autre.

Signalons à cet effet que les produits utiles de l'oignon et de l'arachide se développent dans le sol, mais les architectures racinaires des deux espèces diffèrent de par leurs structures et fonction permettant ainsi de limiter la compétition souterraine. En effet, l'oignon présente une architecture racinaire peu dense, coaxial et non branchue, mais aussi une forte capacité de mycorhization. Grâce à ces unions avec les champignons mycorhiziens, les racines de l'oignons forment des chaînes nutritionnelles qui leurs permettent d'exploiter des nutriments même en dehors de leur rhizosphère. Contrairement à l'oignon, l'architecture racinaire de l'arachide est robuste et décentrée, ce qui lui permet d'explorer un large volume du sol. Il faut noter que la légumineuse a la capacité d'accéder au pool d'azote atmosphérique et de faire bénéficier à l'oignon cet élément via la fixation symbiotique. Sur le plan aérien, bien que les deux cultures aient été semées à la même date, et que l'oignon ait été repiqué après 2 mois, cela n'a pas hypothéqué la réalisation de cette association. En effet, après la reprise et la croissance de l'oignon, cette culture a développé des feuilles très peu nombreuses, verticales et entrelacées, limitant au maximum les possibilités de compétition aérienne avec l'arachide.

b) Analyse du contenu « L'oignon est rentable en culture mixte »

En culture mixte, le constat fait est que la culture de l'oignon est plus rentable. Cette rentabilité est probablement due au cumul des revenus diversifiés générés par l'arachide. Signalons ici, bien

que les deux cultures soient produites en association, l'oignon a une grande valeur marchande que l'arachide. Pour que l'arachide soit aussi très rentable, il faudra augmenter le volume de production à travers l'accroissement de superficie. Les producteurs relèvent également le fait que la rentabilité de la variété créole en pure soit identique à la rentabilité de la variété bombay en association avec la variété d'arachide JL24 et créole en mixte avec la même variété d'arachide. Faudra-t-il noter à ce niveau que les variétés créole et A65 sont plus productives contrairement à bombay et JL24, respectivement pour l'oignon et l'arachide. Cette situation fait que la variété d'arachide moins productive associée à l'oignon n'augmente pas significativement le revenu en système mixte. Ces opinions attestent que l'intégration de l'arachide dans l'oignon, peut ne pas efficacement améliorer le revenu de l'oignon, mais peut permettre de sécuriser l'investissement.

c) Analyse du contenu « Les rats attaquent moins l'arachide en culture mixte »

En pleine maturité, il a été constaté que les rats attaquent les gousses d'arachide avec trop de sévérité sur les parcelles en culture pure que sur les parcelles associées.

En association avec l'arachide, l'oignon perturbe la quiétude des rats. En effet, L'oignon contient des composés organiques volatils appelés thiols ; l'arôme de ces substances peut participer à divers mécanismes de répulsion des rats. En creusant le sol pour manger les gousses d'arachide, les rats peuvent causer des blessures aux bulbes d'oignon. Une fois l'oignon blessé, les composés aromatiques sulfureux contenus dans le bulbe peuvent être libérés et repousser le rat. Ce phénomène constitue une hypothèse probable à valider par la recherche.

5.3.15 Opinions négatives

- L'engrais organique en apport unique produit des bulbes trop gros
- L'indifférence continue malgré les avantages observés

a) Analyse des contenus « L'engrais organique en apport unique produit des bulbes trop gros »

Les producteurs rapportent dans la série des opinions négatives à la récolte que la fertilisation avec l'engrais organique en apport unique favorise la production de gros bulbes quelle que soit la variété, ce qui constitue une contrainte pour la commercialisation. En effet, la grosseur du bulbe complique souvent la tâche tant au producteur qu'à l'acheteur. Le calibre des bulbes trop grand est perçu comme une tracasserie tant pour le producteur que pour l'acheteur. Il s'observe que les bulbes moyens sont les plus vendus. Ceci pour la simple raison que les moyens et/ou les petits peuvent être utilisés entièrement lors d'une cuisine. Tandis que les gros, une partie est

directement utilisée et la partie restante est conservée pour être utilisée ultérieurement. Pourtant, cette partie se conserve très difficilement, et est d'ailleurs suspectée d'attirer des bactéries et la production de gaz nocifs. Ainsi, les acheteurs préfèrent acquérir des bulbes moyens ou petits entièrement utilisés en une seule occasion culinaire.

Il se traduit qu'une bonne fertilisation du sol crée un autre problème de dimensionnement des bulbes non en accord avec les exigences du marché. Pour contourner cette contrainte, deux voies s'offrent : soit on maintient un rythme de fertilisation saisonnier, soit on augmente la densité afin de créer une compétition qui agira sur la concurrence d'absorption minérale de la plante. Outre ces deux options, les vendeurs ont la possibilité de mélanger les bulbes de différents calibres dans une unité de vente, d'ailleurs c'est ce qui se fait le plus souvent.

b) Analyse du contenu « L'indifférence continue malgré les avantages observés »

Malgré certains points de succès rapportés, l'indifférence continue sur la compatibilité et l'acceptation de cette association culturale. En effet, étant donné que les cultures associées en maraîchage sont peu intégrées dans les systèmes de culture, leur adoption par les producteurs ne peut pas être spontanée ni aisée. Remplacer un système assimilé dans les us et coutumes des producteurs est le fruit d'un long processus d'apprentissage et de savoir-être. Le seul élément qui pourra plaider pour son adoption est la conviction par le producteur de l'intérêt que le système rapporte. D'où la nécessité d'entrevoir tous les itinéraires techniques commodes à l'efficacité de ce paquet technologique. Il s'agit donc des arrangements spatiaux, de mode d'occupation du sol, des accessions variétales et de la fertilisation. Aussi faudra-t-il signaler ici que l'objectif direct de cette évaluation n'était pas d'inciter à l'adoption. Mais d'identifier les forces et faiblesses des activités réalisées afin de dégager un plan stratégique de la recherche-développement sur l'intégration de l'arachide dans le système des cultures à base d'oignon. Il convient en outre de signaler que ces évaluations ont été conduites durant les deux années d'expérimentation et que de la première année à la seconde année ces opinions n'ont pas changé.

5.4 Discussion

Les résultats issus de ce travail, indiquent que les systèmes associés sont plus rentables (3.25 contre 1.53) et plus efficaces (65% contre 30.75%) en ce qui concerne le profit obtenu. Les résultats de plusieurs auteurs ayant réalisé des associations culturales peu communes sont similaires aux nôtres. Il s'agit de Kumar et Murthy (2017) sur l'amarante grain et le pois ; Nwofia *et al.* (2017) sur l'aubergine et le niébé ; Kaur *et al.* (2015) sur la canne à sucre et le chou ;

Talukder *et al.* (2015) sur la courge et l'oignon et Magdi *et al.* (2012) sur le gombo et l'aubergine.

Les cultures associées offrent la possibilité de générer un gain économique à l'exploitation suite aux revenus diversifiés, la gestion du risque et une utilisation efficiente de l'investissement. Il est cependant important d'identifier les meilleures combinaisons pour en tirer suffisamment profit (Lithourgidis *et al.*, 2011)

Le gain de revenu ainsi que l'efficience économique observée dans le système associatif fait suite à une bonne production des cultures ainsi qu'une bonne utilisation des ressources disponibles. A titre illustratif par exemple, étant partagés entre deux cultures, certains coûts de production ont été non seulement moins onéreux, mais aussi mieux valorisés.

Ainsi, est-il observé qu'en association de cultures, le coût de certaines opérations telles que le labour, le sarclage, l'épandage d'engrais et les traitements phytosanitaires étant partagé entre les deux cultures permet une utilisation plus efficace et rationnelle de la dépense effectuée.

Outre l'avantage sur la gestion de coûts des opérations culturales, la réduction des frais liés à la protection phytosanitaire peut également être obtenue par une utilisation intelligente des connaissances éco-évolutives des cultures intercalaires (Karlsson *et al.*, 2020). Dans la présente étude, il a été observé que l'incidence et la sévérité des larves de la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* ((J. E. Smith, 1797) sur l'oignon était faible en culture mixte (Cokola *et al.*, 2021). Il se traduit cependant que la gestion de ce ravageur a occasionné moins de coût à l'association culturale, améliorant ainsi son aptitude économique suite à la réduction des charges liées à la lutte contre ce ravageur. Ces résultats sont similaires à ceux de Xu *et al.* (2010) qui ont rapporté une gestion efficace des principaux insectes de choux dans le système choux + tomate ; Asare-Bediako *et al.* (2010) ont déclaré que la culture intercalaire du chou avec l'oignon réduisait significativement le nombre de mouches du chou.

Il a été observé que la fertilisation pour sa part en tant qu'un autre grand facteur de production testée dans cette étude a été déterminante dans l'amélioration de la profitabilité et de son efficience. Il est noté que la fertilisation a permis de générer une moyenne de RVC de 2.73 contre 1.14 pour la non fertilisation (pour une efficience respective de 0.54 et 0.30). Le gain de rendement souvent obtenu avec la fertilisation organique permet aussi de réaliser une rentabilité économique conséquente. Les résultats de plusieurs études ont validé cette tendance. Il s'agit d'Amoah *et al.* (2017) sur la culture du chou ; Kebede *et bokelmann* (2017) sur les légumes

indigènes Africains et Miassi et Doxa (2018) sur plusieurs plantes légumières. L'efficacité économique des engrais organiques tient au fait qu'ils soient moins coûteux et disponibles. Mais aussi du fait que la plupart des composés utilisés comme engrais organiques sont des fois obtenues localement. Il a été également constaté qu'en apport unique de l'engrais organique, la rentabilité était plus importante qu'en apport saisonnier ou en combinaison avec l'engrais minéral. Signalons qu'il est possible d'investir dans une fertilisation organique subséquente par un apport unique susceptible de supporter une production à long terme. Les résultats de cette étude indiquent que l'aptitude économique de l'arachide en culture pure est de loin très inférieure à celle de l'oignon. Il a été relevé même dans certains cas des pertes.

Cette situation montre que le système d'intensification écologique de fertilisation testé est plus adapté pour la production de l'oignon que pour celui de l'arachide. Pour que l'arachide soit économiquement rentable, il faudra envisager la réduction du coût lié à sa fertilisation car il semblerait que celle-ci est moins utile pour sa culture.

Les résultats des évaluations participatives ont montré les forces et les faiblesses de l'intégration de la culture de l'arachide dans l'oignon et autres technologies en étude. Il a été constaté que le choix de l'arachide comme culture à associer à l'oignon pour produire la diversité et obtenir la durabilité de la production de l'oignon est judicieux. Toutefois, certains itinéraires techniques qui soutiennent ce système doivent être améliorés. C'est le cas du semis en ligne qui est pénible, l'engrais organique qui est souvent inaccessible à certains producteurs qui n'ont pas d'exploitation intégrant la production animale, les arrangements spatiaux qui doivent limiter la concurrence entre les deux espèces.

Mabhaudhi *et al.* (2019) soulignent qu'en milieu paysan, il existe un potentiel important de connaissances et de savoir-faire, mais souvent sous-utilisé que la recherche peut exploiter en synergie avec les producteurs pour reproduire des systèmes cultureux résilients et durables. L'association culturale oignon–arachide offre une opportunité soit pour améliorer la production, soit pour sécuriser les revenus des producteurs. Ces connaissances n'étant pas jadis démontrées par la recherche dans un cadre de recherche–action ne sauraient convaincre les producteurs à les utiliser d'où une certaine réticence de ces derniers comme observée dans cette étude.

Il est remarqué cependant que dans une dynamique de recherche–action participative, il y a un consensus des opinions entre la recherche et la communauté locale. C'est ce consensus des opinions qui permet de dégager un cadre stratégique pour orienter la recherche et le

développement autour de l'objet mis en évidence, une finalité à laquelle nos résultats ont abouti. A cet effet, Wiese *et al.* (2012) indiquent que pour plus de rationalité, le mode d'analyse des opinions des évaluateurs devra être capable de permettre une réflexion libre et objective basée sur des théories approuvées et sur des expertises démontrées. Il s'en suit en toute cohérence que la méthode d'analyse des contenus soit la mieux indiquée, contrairement à une analyse quantitative qui se limiterait à une vue globale de l'ensemble des opinions (O'Connell et Hurley, 2009).

5.5 Conclusion

Cette étude analysait la rentabilité et l'évaluation participative des systèmes de culture oignon–arachide sous la gestion de la fertilité organique et minérale du sol. Pour y parvenir une expérimentation a été conduite sur deux saisons culturales (2019 et 2020). Les résultats obtenus indiquent que l'oignon en association avec l'arachide est plus rentable et efficient. Globalement, en culture pure, il a été observé que l'oignon est plus rentable que l'arachide. La fertilisation à base d'engrais organique en apport unique est plus profitable et plus efficiente, suivie de l'engrais organique en apport saisonnier et de la combinaison engrais organique apport saisonnier + engrais minéral (NPK) et du contrôle en dernier lieu.

Une analyse critique et objective des opinions des producteurs durant les phases de semis, de croissance végétative et générative et de récolte a permis de dégager un ensemble de stratégies de recherche-action sur les technologies de la diversité végétale intégrant oignon–arachide. Il s'agit des itinéraires techniques qui mettent en contribution les potentiels de l'arachide comme légumineuse en association avec l'oignon et l'engrais organique pour une production durable et sécurisée du producteur. Ces stratégies constituent des outils fondamentaux à mettre à la disposition de la recherche que des décideurs pour orienter la dynamique de la recherche-développement sur l'intégration des légumineuses dans le maraîchage.

Chapitre 6 : Discussion generale, conclusion et perspectives

Chapitre 6. Discussion générale, conclusion et perspectives

6.1 Discussion générale

Au Sud-Kivu, à l'Est de la RD. Congo, trois systèmes d'exploitations aux caractéristiques sociodémographiques et techniques diverses sont à la base de la production maraîchère. Etant nombreuses, les exploitations de grande taille et celles de taille moyenne appartiennent aux « riches » et à une classe socialement « moyenne ». Les exploitants de ces deux classes ont une appréciation de la production qui varie de moyenne à faible. Ces exploitations sont contraintes par les variabilités climatiques, la dégradation de la fertilité du sol, les maladies et ravageurs et une forte sensibilité aux tendances du marché. Ces contraintes sont encore beaucoup plus remarquables suite à la pratique de la culture pure qui est une caractéristique majeure de ces unités de production. Plusieurs études ont rapporté des résultats qui lient la taille de l'exploitation ainsi que le système de culture pure à la nature des contraintes qui entravent la production. C'est le cas notamment de Yang *et al.* (2020) sur la dégradation de la fertilité du sol ; Kulak *et al.* (2013) sur les maladies et ravageurs ; Budzinski (2007) sur la sensibilité aux tendances du marché et Verchot *et al.* (2007) sur les variabilités climatiques.

En effet, les responsables des exploitations de grande taille et certains de taille moyenne s'emploient dans une forme de maraîchage productiviste, capitaliste et investissent dans de gros facteurs de production, en termes des terres, capitaux et main-d'œuvre. Cependant, Darnhofer *et al.* (2010) ; Holt et Shattuck (2011) ; Morel *et al.* (2017), indiquent que le modèle agricole productiviste employé par ces types d'exploitations n'est pas approprié dans un contexte d'instabilité socioéconomique et de déficit technologique. Les caractéristiques de ces exploitations sont : production particulière, dépendance des marchés spécifiques, large ouverture aux intrants extérieurs et déconnexion des besoins alimentaires locaux. Cela se traduit par l'épuisement de certains éléments spécifiques du sol suite à l'exportation par la culture mise en place, la pullulation des maladies et ravageurs, la sensibilité à la loi de l'offre et de la demande sur le marché et les ruptures probables dans la chaîne d'approvisionnement des intrants extérieurs. Face à ces risques, une politique de mitigation est à rechercher. Cependant, l'efficacité de ce plan de mitigation dépend souvent de la taille de l'exploitation qui influence la capacité de gestion du producteur (Barker, 2012 ; Douxchamps *et al.*, 2015 et Van den Broeck *et al.*, 2017)

En ce qui concerne les exploitations de faible taille, leurs responsables ont une perception de la production qui varie de moyenne à élevée.

La contrainte majeure de ces exploitations est la faible disponibilité de l'espace. Ces exploitations sont caractérisées par des systèmes de cultures diversifiées et intégrées. Dans un contexte socioéconomique instable et technologique déficient, le développement des systèmes maraîchers basés sur les petites exploitations semble à cet effet plus commode.

En se basant sur les dimensions, les composantes et les critères de durabilité, nos résultats ont montré que les exploitations de petite taille sont plus durables que celles de moyenne et de grande taille. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par Pretty *et al.* (2003 ; 2011) ; Garrity *et al.* (2010) ; Altieri *et al.* (2011a) ; El Nour (2015) qui ont travaillé dans des domaines semblables.

En effet, à la quête des résultats plus quantitatifs plutôt que qualitatifs ou qui combinent les deux, les exploitations de grande et moyenne taille sont tournées vers une agriculture fortement dépendante, à faible développement humain, au coût environnemental élevé, mais économiquement peu viable et moins reproductible.

Quant aux exploitations de petite taille, elles facilitent l'implantation des modèles agricoles basés sur les principes d'agroécologie. Les initiatives agroécologiques visent à transformer l'agriculture productiviste en partie capitaliste par la transition vers les systèmes cultureux diversifiés qui s'appuient sur les réalités locales.

Ainsi, le grand défi pour l'intensification agricole durable reste l'identification de paquets agroécologiques compatibles pour une diversité végétale intégrée. Il paraît alors impérieux d'entrevoir l'introduction de cette diversité agricole en se basant sur les considérations locales. A cet égard, pour être efficace et pédagogique, la démarche devra impliquer une culture maraîchère clé de la région et orientée sur les possibilités agroécologiques endogènes.

L'arachide étant associée à cinq ou six cultures dans la région a été choisie ainsi pour être la légumineuse à rentrer dans les différents systèmes cultureux à tester. De même, de nombreux auteurs ont affirmé qu'en intégrant l'arachide dans les agrosystèmes à base de céréales, de racines et tubercules, le rendement de ces cultures était nettement amélioré et que les effets résiduels étaient bénéfiques à la culture suivante (Chu *et al.*, 2004 ; Pypers *et al.*, 2011 ; Ndonga *et al.*, 2015 ; Weerathne *et al.*, 2017 ; Delaquis *et al.*, 2018 ; Layek *et al.*, 2018 ; Legodi et Ogola, 2019 ; Xia *et al.*, 2019 ; Gurbachan *et al.*, 2021). L'arachide constitue alors de ce fait un atout

approuvé pour l'intensification écologique des systèmes des cultures à base d'oignon dans le milieu d'étude.

Les résultats obtenus en associant l'arachide à l'oignon au cours des travaux de cette thèse ont montré qu'il est possible de produire l'oignon en le cultivant avec l'arachide sans que le rendement de l'une des cultures ne soit compromis. En conséquence, il s'en suit que l'efficacité d'utilisation de la terre par la culture de l'oignon a été nettement améliorée. Il est vrai que très peu d'études ont abordé cette association culturale. Il faut remarquer que sur le plan aérien, l'arachide a une morphologie foliaire déployée lui permettant d'étendre sa zone d'interception lumineuse. L'oignon par contre, possède un système foliaire peu ouvert et replié sur l'axe principal, ce qui lui confère la possibilité d'exploiter efficacement le rayonnement dans une zone peu dominée par la masse foliaire de l'arachide qui est centrifuge. Du point de vue fonctionnel, les systèmes racinaires des deux cultures sont aussi différents. L'arachide en tant que légumineuse a la capacité d'accéder au pool d'azote atmosphérique et d'en faire bénéficier la culture associée via la fixation symbiotique. Par contre, l'oignon est mycorhizien, capable d'exploiter les nutriments du sol dans les parois non accessibles à l'arachide grâce aux liens avec les champignons mycorhiziens (Rozpadek *et al.*, 2016 ; Golubkina *et al.*, 2020 ; Daimon et Yoshioka, 2011 ; Meena *et al.*, 2015).

En ce qui concerne la durabilité des exploitations, plusieurs auteurs ont rapporté que la pratique de l'association culturale et de la fertilisation organique sont deux facteurs majeurs de l'intensification écologique. Ces facteurs permettent d'atteindre une agriculture durable et par conséquent la sécurité alimentaire en augmentant la diversité végétale, la gestion rationnelle des espaces dans un contexte de démographie croissante et l'utilisation des déchets agricoles locaux comme fertilisants (Llorens *et al.*, 2012 ; Ratnadass *et al.*, 2012 ; Martin *et al.*, 2015 ; Amoah *et al.*, 2017 ; Ngwene *et al.*, 2017 ; Ilahi *et al.*, 2020 ; Rezvani *et al.*, 2020 ; Gao *et al.*, 2021 ; Li *et al.*, 2021).

Les résultats de cette étude ont également montré que la fertilisation a amélioré de façon remarquable les rendements des cultures dans l'ordre suivant : matière organique en apport unique > matière organique en apport saisonnier > matière organique apport saisonnier + NPK > témoin.

Les travaux de plusieurs auteurs ont révélé qu'un système de fertilisation basé sur des engrais organiques est efficace pour restaurer et maintenir la fertilité des sols. C'est le cas notamment des

travaux de Alimi (2007) ; de Chang *et al.* (2007) ; de Herencia *et al.* (2007) ; de Lee (2010) et de Zhou *et al.* (2019).

La performance égale entre l'engrais organique en apport saisonnier et en apport unique constitue un résultat intéressant dans l'élaboration d'une stratégie de fertilisation organique durable d'autant plus qu'une seule fertilisation est en mesure de supporter le plus efficacement possible plusieurs productions. Le producteur peut alors à cet égard faire un investissement en fertilisant le sol une seule fois et obtenir de bonnes productions sur une longue période. L'approche est doublement avantageuse : la santé du sol est graduellement maintenue et les éventuels risques autour de ce fertilisant en cas de non apport sont maîtrisés. Il convient de signaler en outre que, la faible performance de la combinaison matière organique apport saisonnier + NPK s'expliquerait par une probable perte d'azote par lixiviation ou par volatilisation car étant sous une forme trop instable (Ladha *et al.*, 2011 ; Kučerík *et al.*, 2018).

Soulignons par ailleurs que l'un des grands défis de l'intensification écologique à travers la diversité végétale intégrée et autres facteurs associés tels que la fertilisation, demeure l'intérêt économique et la bonne perception sociale du paquet technologique apporté. La force de ce défi viendrait du fait que le système de culture à base d'oignon repose sur un modèle aux composantes agro écologiquement compatibles, aux aptitudes économiques approuvées et est socialement juste et innovant. Ainsi, les résultats des travaux relatifs à la présente thèse ont montré que l'oignon était plus rentable en association avec l'arachide qu'en culture pure. Ces résultats s'alignent avec ceux rapportés par d'autres auteurs qui ont mis en évidence la rentabilité des systèmes de cultures associées. C'est le cas entre autres de : Guvenc et Yildirim (2006) sur le chou et le haricot ; Ngwira *et al.* (2012) sur le maïs et les légumineuses ; Gitari *et al.* (2018) sur la patate douce et les légumineuses ; Chi *et al.* (2019) sur le cotonnier et l'arachide ; Iqbal *et al.* (2019) sur le sorgho et les légumineuses.

Il est à remarquer que, associer les cultures permet d'augmenter la rentabilité économique de la parcelle grâce à la complémentarité des revenus entre les espèces. Cette stratégie permet de diminuer les risques économiques. En cas d'échec d'une culture à la suite d'un événement imprévu, la seconde culture pourra éventuellement donner une récolte acceptable qui peut être économiquement compensatrice. Yildirim et Guvenc (2005) soutiennent que l'association culturale rentabilise le plus efficacement possible certains facteurs de production comme la main-

d'œuvre et la terre et accroît conséquemment le revenu par la maîtrise des coûts liés à ces facteurs.

Cela devient encore plus intéressant si l'association culturale permet de maîtriser également le coût lié à la gestion phytosanitaire. Soulignons toutefois que la viabilité économique en agriculture durable ne milite pas uniquement à sa rentabilité ; mais aussi pour que le produit fourni soit également compétitif sur le marché pour la stabilité de l'investissement.

Par rapport à l'appréciation paysanne des technologies étudiées, nos résultats ont montré que les producteurs étaient au début sceptiques sur la compatibilité de l'association culturale en expérimentation d'autant plus qu'elle était moins ordinaire. Toutefois, ce scepticisme a été progressivement balayé aux regards des certains avantages obtenus. Il s'agit entre autres du fait que l'arachide a la possibilité d'améliorer la fertilité du sol et la production de l'oignon, la gestion des attaques des rats pour l'arachide et des vers gris pour l'oignon ainsi que la rentabilité de l'oignon en association. Les avantages obtenus étaient perceptibles et plus nombreux que les inconvénients. Néanmoins, Dogliotti *al.* (2014) indiquent que pour que les systèmes de cultures associées évoluent vers les systèmes agricoles durables, il faut de l'innovation, qui est un paradigme des pensées et des expertises évolutives consensuelles. Cependant, la capacité à innover et à devenir durablement productif est en partie liée au système agricole en place et à l'engagement des acteurs sociaux que sont les chercheurs, les agriculteurs et les politiques.

L'intégration des légumineuses dans le maraîchage pour créer la diversité et la durabilité comme dans les secteurs déjà connus et utilisés ne serait pas trop aisée. La raison est que nous sommes dans un secteur non balisé, fermé à l'intégration et où la recherche ne s'intéresse que très peu à ces genres d'innovations.

Nous sommes convaincus que dans le système de culture à base d'oignon, l'intégration de l'arachide est une innovation pleine de potentiels, donc au cœur du développement de cette filière. Le dynamisme dans les innovations permet à cet effet, d'éviter les effets de la routine qui sont, l'immobilisme et la perte de motivation avec comme conséquence la vulnérabilité. La vulnérabilité parce que tout système immobile est soumis à la pression de l'environnement qui demeure changeant. Dans cette optique, la dynamique des systèmes innovants permettra non seulement de contribuer aux travers des opinions consensuelles à la découverte de nouvelles technologies ; mais aussi à la compréhension collective des principes déterminant le

fonctionnement de ces innovations afin de soutenir une production maraîchère intégralement durable.

6.2 Implication pour le développement

L'intégration de l'arachide qui est une légumineuse dans le système de culture à base d'oignon s'est illustrée d'être plus pédagogique et prometteuse pour reproduire un système de culture productif, résilient et durable. L'importance des légumineuses intégrées aux systèmes de cultures vivrières a longtemps été démontrée comme une méthode évoluée d'intensification écologique ; malheureusement, en maraîchage, la recherche est restée trop peu dynamique.

Cette thèse ouvre les voies aux conditions d'amélioration des systèmes de culture des autres grandes spéculations maraîchères de la région (chou, aubergine et tomate) et aussi à la valorisation des déchets locaux comme stratégies de fertilisation pour un maraîchage sain et durable. En perspective d'une transition agroécologique soutenue où il n'existe actuellement aucun cadre stratégique tant au niveau local que national dans le domaine du maraîchage, ces résultats s'avèrent alors indispensables.

En effet, étant donné que le système de culture pure réduit le potentiel de résilience de l'exploitation et accroît les risques de perte des récoltes et des revenus suites aux différents aléas liés aux variabilités climatiques, à la pression phytosanitaire et à la dégradation de la fertilité du sol, les légumineuses telles que le haricot, le soja et le petit pois déjà en culture dans le milieu d'étude peuvent être intégrées dans les systèmes maraîchers à base du chou, d'aubergine et de tomate afin de booster le volume et la disponibilité de légumes dans la zone. En amont, la démarche viserait à établir aux travers des attributs fonctionnels, la compatibilité de chaque légumineuse avec une culture maraîchère et une validation socioéconomique en aval. Basée sous un plan efficace de valorisation des déchets locaux comme options de fertilisation, la stratégie permettra non seulement d'accroître la productivité à l'unité de surface, mais aussi d'améliorer le rendement des cultures maraîchères et de sécuriser les facteurs de production engagés.

Les résultats de cette thèse ayant montré que c'est sur les petites surfaces et avec les systèmes de culture à diversité végétale intégrée que le maraîchage est plus productif et durable ; tous les paquets agroécologiques compatibles peuvent par la suite être appliqués sur une superficie qui varie de 1 000 à 2 500 m². Ce modèle de production sous format de micro-fermes à haut niveau d'intensification écologique et durable, efficient et résilient répond aux attentes **du Plan National de Relance Agricole (PNRA) adopté par le gouvernement Congolais en 2020.**

Ce plan se propose de relever les défis du secteur agricole notamment dans la lutte contre l'insécurité alimentaire, la malnutrition et dans la réduction de manière significative de la pauvreté rurale.

Le plan stratégique de l'Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomique (INERA) offre les possibilités de matérialisation de l'approche micro-fermes maraîchères à haute intensification écologique à travers les résultats de cette thèse. Les axes prioritaires du Système de Recherche Agronomique (SRA) étant la valorisation des résultats de la recherche agronomique pour le développement, cette thèse est alors la bienvenue. Pour ce faire, le SRA doit saisir les résultats de ce travail et les diffuser au niveau national pour favoriser la création de micro-fermes productives et respectueuses de l'environnement. Cette stratégie va permettre d'augmenter la production, la durabilité des exploitations, d'accroître et de sécuriser les facteurs de production et de créer aussi plus d'emplois agricoles efficaces.

6.3 Conclusion

Cette thèse a été initiée afin de mobiliser les informations ainsi que l'approche à développer pour une production maraîchère durable. S'appuyant efficacement sur les deux outils fondamentaux établis en science pour la collecte des données à savoir : l'enquête et l'expérimentation, les informations ainsi recueillies ont permis de dégager des conclusions remarquables.

Le secteur maraîcher au Sud-Kivu, à l'Est de la RD. Congo est un secteur prépondérant pour la production de nourritures, de revenus et d'emplois. La production générée par ce secteur est assurée par une diversité de systèmes aux caractéristiques structurelles et fonctionnelles diverses. Il a été observé à cet effet que le niveau d'appréciation de la production et de certaines contraintes de culture est spécifique aux types d'exploitation. Globalement, il a été dégagé qu'étant plus nombreuses, les exploitations de grande taille et celles de taille intermédiaires appartiennent aux riches et à une classe socialement « moyenne ». En revanche, les petites exploitations ont comme contrainte majeure la faible taille de leur superficie.

Analysée à travers ses dimensions, composantes et critères, il a été observé que la durabilité des exploitations maraîchères du Sud-Kivu est affectée par la structure et le mode de fonctionnement mis en place. A ce sujet, il en ressort que les exploitations de petite taille sont durables sur les trois dimensions à savoir : agroécologique, socio-territoriale et économique.

Les exploitations de taille moyenne ne sont pas durables que sur la dimension socio-territoriale. Par contre, les grandes exploitations ne sont durables sur aucune des trois dimensions.

En ce qui concerne le modèle agricole basé sur la diversité végétale intégrée et la gestion de la fertilité organique du sol autour de l'association culturale oignon–arachide, les résultats ont montré une compatibilité entre les deux cultures sur la base des indices de productivité et de compétitivité. Cette compatibilité a été validée par l'analyse de la rentabilité économique et aussi à travers l'appréciation participative des paquets technologiques par les producteurs. Collectivement il a été dégagé que l'arachide en association a la possibilité d'améliorer la fertilité du sol et la production de l'oignon de même que la gestion des attaques des rats et de vers gris. Les points négatifs dégagés tournent autour des difficultés pour l'acquisition de l'engrais organique et la réalisation des semis en lignes.

Ainsi, la mise en évidence de la compatibilité de l'oignon avec l'arachide sous la gestion de la fertilité organique du sol est très capitale en ce sens qu'elle ouvre les voies aux possibilités d'amélioration des scores de durabilité des composantes de la dimension agroécologique à savoir : la diversité écologique, la gestion de l'espace et les pratiques agricoles.

6.4 Perspectives

La présente thèse ouvre la voie aux perspectives intéressantes sur la transition agroécologique dans le maraîchage pour une durabilité de la production maraîchère au Sud–Kivu.

1. Le paquet oignon–arachide constitue un modèle agroécologique de référence pour l'amélioration des autres systèmes des cultures à base des grandes spéculations maraîchères telles que la tomate, le chou et l'aubergine ;
2. Evaluer la dynamique des nutriments dans le sol pour chaque traitement constitué avec le paquet oignon-arachide sous les différentes options de fertilisation ;
3. Déterminer les propriétés nutritionnelles et l'aptitude à la conservation de l'oignon et de l'arachide en fonction des différents systèmes mis en place ;
4. Identifier et intégrer dans les paquets agroécologiques constitués des plantes compagnes qui peuvent servir dans la protection phytosanitaire et dans la fertilisation ;
5. Mettre en place des stratégies de collecte et de valorisation des déchets agricoles locaux comme option de fertilisation ;

6. Créer un observatoire des agricultures paysannes qui facilitera la transformation des pratiques agricoles locales et autres innovations approuvées comme alternatives face aux avancées de la grande agriculture.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Abigail C. (2014). We are farmers: Agriculture, food security and adaptative capacity among permaculture and conventional farmer in Malawi (p. 209, International Abstract Dissertation, American University, District of Columbia).

Adamopoulos T. and Restuccia D. (2014). The size distribution of farms and international productivity differences. *American Economic Review* 104 (6): 1667 - 1697. <https://doi.org/10.1257/aer.104.6.1667>.

Adekiya A., Ejue W., Olayanju A., Dunsin O., Aboyeji C., Aremu C. and Akinpelu O. (2020). Different organic manure sources and NPK fertilizer on soil chemical properties, growth, yield and quality of okra. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73291-x>.

Adeniyani O., Aluko O., Olanipekun S., Olasoji J. and Aduramigba-Modupe V. (2014). Growth and yield performance of cassava/maize intercrop under different plant population density of maize. *Journal of Agricultural Science* 6(8). <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v6n8p35>.

Adeoluwa O. and Akinyemi O. (2014). Amaranths (*Amaranthus Viridis*) dry matter and soil qualities: organic vs inorganic fertilizers. In: Rahmann G. and Aksoy U. (eds) : In Proceedings of the 4th ISO FAR Scientific Conference. 'Building Organic Bridges', at the Organic World Congress 2014, 13–15 October, Istanbul, Turkey, p 879–882.

Ahouangninou C. (2013). Durabilité de la production maraîchère au Sud du Bénin : un essai de l'approche systémique. Thèse de doctorat, Université d'Abomey Calavi, Bénin, 333 p. https://agritrop.cirad.fr/572410/1/document_572410.pdf

Ahouangninou C., Martin T., Assogba-Komlan F., Cledjo P., Kpenavoun S...Nouatin G. (2015). Evaluation de la durabilité de la production maraîchère au sud du Bénin. *Cahiers du CBRST*, 2 (7):98-126. <https://agritrop.cirad.fr/578831/1/AHOANGNINOUE%20CBRST%20De%CC%81cembre%202015.pdf>

Aiken, G. (2017). Permaculture and the social design of nature. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 99, 1-20. <https://doi.org/10.1080/04353684.2017.1315906>.

Akwasi A. (2014). Teaching Permaculture to Ensure Food Security in Rural South Africa: The Case Study of Tiger Kloof. *Journal of Human Ecology* 47 (3): 251-255. <https://doi.org/10.1080/09709274.2014.11906759>.

Alemayehu A., Tamado T., Nigusie D., Yigzaw D., Kinde T. and Wortmann C. (2016). Maize-common bean-lupine intercrops productivity and profitability in maize-based cropping system of Northwestern Ethiopia. *Ethiopian Journal of Science and Technology* 9(2): 69–85. <http://dx.doi.org/10.4314/ejst.v9i2.1>.

Alimini T., Olubode – Awosola O. and Idewu E. (2007). Organic and inorganic fertilizers for vegetable production under tropical conditions. *Journal of Agricultural and Rural Development*, 1, 120- 136.

Altieri M. and Nicholls C. (2013). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140(1), 33 45. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y>.

Altieri M. and Toledo V. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3): 587–612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>.

Altieri M., and Petersen P. (2011) Agro ecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6>.

Altieri M., Funes-Monzote F., and Petersen P., (2011). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1): 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6>.

Alvarez S., Timler C., Michalscheck M., Paas W., Descheemaeker K...Tittonell P. (2018). Capturing farm diversity with hypothesis-based typologies: An innovative methodological framework for farming system typology development. *PLoS ONE*, 13 (5): e0194757. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194757>.

Amoah P., Adamtey N. and Cofie O. (2017). Effect of Urine, Poultry Manure and Dewatered Faecal Sludge on Agronomic Characteristics of Cabbage in Accra, Ghana. *Resources*, 6(2) 19. <https://doi.org/10.3390/resources6020019>.

Ananda A., Devi A., Singh, A., Barik S. and Bairwa M. (2017). Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) cv. Rareball introduction with Knol Khol and Broad Bean intercropping: yield efficiency under foothills of Imphal-West. The Pharma Innovation Journal, 6(10): 339-341.

ANAPI. (2016). Investir dans le secteur agricole en RD. Congo : Cahier sectoriel. Kinshasa, 29p. <https://investindrc.cd/fr/IMG/pdf/investir-dans-l-agriculture.pdf>.

Anjum M., Qasim S., Ahmad S. and Hussain S. (2014). Assessment of advantage of pea and non-legume winter vegetable intercropping through competition and economic indices. Experimental Agriculture, 51(03), 327–343. <https://doi.org/10.1017/s0014479714000337>.

Asare-Bediako E., Addo-Quaye A., and Mohammed A. (2010). Control of diamond back moth (*Plutella xylostella*) on cabbage (*Brassica oleracea* var *capitata*) using intercropping with non-host crops. American Journal of Food Technology 5(4): 269-274. <https://doi.org/10.3923/ajft.2010.269.274>.

Assogba-Komlan F., Anihouvi P., Achigan E., Sikirou R., Boko A...Adje C. (2007). Pratiques culturelles et teneur en éléments antinutritionnels (nitrates et pesticides) de *Solanum macrocarpon* au Sud du Bénin. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development 7 (4): 1-21.

Baidoo P., Mochiah M. and Apusiga K. (2012). Onion as a Pest Control Intercrop in Organic Cabbage (*Brassica Oleracea*) Production System in Ghana. Sustainable Agriculture Research, 1, 1. <https://doi.org/10.5539/sar.v1n1p36>.

Balogoun I., Saidou A., Ahoton E., Amadji G., Ahouendo C., Adebo B., ... Ahanchede A. (2014). Caractérisation de système de culture d'anacardier dans les principales zones de production du Benin. *Agronomie Africaine*, 26(1): 9-22.

Barbier J. et Santiago L. (2010). Evaluation de la durabilité des systèmes de production agricole : limites de démarches normatives et voies d'amélioration. ISDA, France. 9 p.

Barker D. (2012). Caribbean Agriculture in a Period of Global Change: Vulnerabilities and Opportunities. Caribbean Studies, 40(2), 41–61. <https://doi.org/10.1353/crb.2012.0027>.

Batifol V., Aubin S., Hazard L., Theau J-P., Bouffartigue C., and Magrini M-B. (2020). Thésaurus d'agroécologie: une approche par les usages et avis d'experts. Cahiers d'Agricultures, 29: 7. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020004>.

Batista T., Neto F., Porto V., Junion A., Silva Í. and Silva J. (2016). Bio-agro-economic returns from carrot and salad rocket as intercrops using hairy woodrose as green manure in a semi-arid region of Brazil. *Ecological Indicators*, 67, 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.018>.

Batumike R., Cinyabuguma E., Mongana J., Bolakonga A., Mutagoma C., Baderhekuguma N... Walangululu J (2019). Rentabilité différentielle de l'oignon et de la pomme de terre dans le groupement de Mudaka en territoire de Kabare/Sud – Kivu, RD. Congo. *Global Scientific Journal*, 7(8): 1501 – 1517.

Bavec M., Zuljan M., Robačar M. and Bavec F. (2012). White cabbage productivity in intercropping production systems. *Acta Hortic.* 933, 343-346 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.933.44>.

Bayendi S., Ndoutoume A. and Francis F. (2017). Le maraîchage périurbain à Libreville et Owendo (Gabon): pratiques culturelles et durabilité. *Cahiers Agricultures* 26: 45002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017026>.

Bedoussac L and Justes E. (2011). A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crops Research* 124(1): 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025>.

Bedoussac L., Journet E-P., Hauggaard-Nielsen H., Naudin C., Corre-Hellou G., Prieur L., Jensen E.S., Justes E., 2014. Chapter 3: Eco-Functional Intensification by Cereal-Grain Legume Intercropping in Organic Farming Systems for Increased Yields, Reduced Weeds and Improved Grain Protein Concentration. In: S. Bellon and S. Penvern (Eds.), “Organic Farming, prototype for sustainable agricultures?” Springer, Dordrecht, pp 47-64. ISBN 978-94-007-7926-6; ISBN 978-94-007-7927-3 (eBook). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7927-3>.

Birol E., Slame M. and Gyovai M. (2006). Using a Choice Experiment to Estimate Farmers' Valuation of Agrobiodiversity on Hungarian Small Farms. *Environmental & Resource Economics*, 34, 439-469, <https://doi.org/10.1007/s10640-006-0009-9>.

Blignaut J., De Wit M., Knot J., Midgley S., Crookes D., Drimie S., and Nkambule N. (2014). Sustainable agriculture: A viable option for enhanced food and nutritional security and a sustainable productive resource base in South Africa: An investigation. *Baseline Review, Prepared for the Development Bank Southern Africa*. Pretoria: ASSET Research.

Bocher T., and Simtowe F. (2017). Profit efficiency analysis among groundnut farmers from Malawi. *Journal of Development and Agricultural Economic*, 9(10): 278–288. <https://doi.org/10.5897/JDAE2017.0774>.

Bommarco R., Kleijn D. and Potts S. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(4), 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>.

Brar B., Singh K., Dheri S., and Balwinder K. (2013). Carbon sequestration and soil carbon pools in a rice-wheat cropping system: Effect of long-term use of inorganic fertilizers and organic manure. *Soil and Tillage Research*, 128, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.10.001>.

Brito L., Amaro A., Mourão I., and Moura L. (2012). Yield and nitrogen uptake of white cabbage (*Brassica oleracea*, var *Capitata*) with organic and inorganic fertilisers. *Acta Horticulturae*. 933, 107-113. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.933.11>

Brooker R., Bennett A., Cong W-F., Daniell T., George T., Hallett, P., ... White P. (2014). Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206(1): 107–117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>.

Bua B., Owiny R. and Ocwa A. (2017). Response of onion to different organic amendments in Central Uganda. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 7(2017): 79-85.

Bucekuderhwa C. et Mapatano S. (2013). Comprendre la dynamique de la vulnérabilité à l'insécurité alimentaire au Sud-Kivu, VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement: <https://doi.org/10.4000/vertigo.13819>.

Budzinski O. (2007). Monoculture versus diversity in competition economics. *Cambridge Journal of Economics*, 32(2), 295–324. <https://doi.org/10.1093/cje/bem031>.

Cai, H., You, M., & Lin, C. (2010). Effects of intercropping systems on community composition and diversity of predatory arthropods in vegetable fields. *Acta Ecologica Sinica*, 30(4): 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2010.06.001>.

Carter M. (1984). Identification of the inverse relationship between farm size and productivity: an empirical analysis of peasant agricultural production. *Oxford Economic Papers*, 36 (1): 131-145.

Carvalho L., Seymour C., Veldtman R. and Nicolson S.. (2010). Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 810–820. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01829.x>.

Ceronio G., Engelbrecht G., and Mbatha A. (2012). Organic fertilizer use and the potential influence on cabbage (*Brassica Oleracea* Var. *Capitata*) plant and soil nutrient composition. *Acta Horticulturae*, (938), 265–271. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.938.34>.

Chang E., Chung R., and Tsai Y., (2007). Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 132–140. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00122.x>.

Chen B., Wang J., Zhang L., Li Z. and Xiao G. (2011). Effect of intercropping pepper with sugarcane on populations of *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) and its parasitoids. *Crop Protection*, 30(3), 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.11.005>.

Chi B., Zhang Y., Zhang D., Zhang X., Dai J. and Dong H. (2019). Wide-strip intercropping of cotton and peanut combined with strip rotation increases crop productivity and economic returns. *Field Crops Research*, 243, 107617. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107617>.

Chu G., Shen Q., and Cao J. (2004). Nitrogen fixation and N transfer from peanut to rice cultivated in aerobic soil in an intercropping system and its effect on soil N fertility. *Plant and Soil*, 263(1), 17–27. <https://doi.org/10.1023/b:plso.0000047722.49160.9e>.

Chuma B., Ndebo B., Mulalisi B., Safina B., Ndjadi S., Nachigera M. (2021). Post-harvest Constraints of Solanaceae Species Produced in Kabare Wetlands, Eastern Democratic Republic of Congo. *Agricultural research*, <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00586-4>.

CIALCA. (2010). CIALCA Baseline Survey Report (p. 129). Consortium for Improving Agriculture-based Livelihoods in Central Africa. IITA, Kampala; TSBF-CIAT, Nairobi; Bioversity Int., Kampala.

Cissé I., Tandia A., Fall S. and Diop E. (2003). Usage incontrôlé des Pesticides en Agriculture Périurbaine : cas de la zone de Niayes au Sénégal. *Cahiers Agricultures* 12 (3): 181-186.

Cokola C., Ndjadi S., Bisimwa B., Ahoton L. and E., Francis F. (2021). First report of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Onion (*Allium cepa* L.) in South Kivu,

Eastern DR Congo. Revista Brasileira de Entomologia 65(1): e20200083.
<https://doi.org/10.1590/1806-9665-rbent-2020-0083>.

Conant R., Ryan M., Ågren G., Birge H., Davidson E., Eliasson P., ... Bradford M. (2011). Temperature and soil organic matter decomposition rates - synthesis of current knowledge and a way forward. Global Change Biology, 17(11), 3392–3404. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02496.x>

Da Mota W., Pereira R., Santos G., Vieira J., (2012). Agronomic and economic of intercropping onion and lettuce, Horticultura Brasileira. 30 (2): 349-354.
<https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200028>.

Dagnelie P. (1998). Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférences statistiques à une et deux dimensions. Paris-Bruxelles: De Boeck et Larcier, 659 p.

Daimon H. and Yoshioka M. (2001). Responses of Root Nodule Formation and Nitrogen Fixation Activity to Nitrate in a Split-Root System in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). Journal of Agronomy and Crop Science, 187(2), 89–95. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00505.x>.

Darnhofer I., Lindenthal T., Bartel-Kratochvil R., and Zollitsch W. (2010). Conventionalisation of organic farming practices: from structural criteria towards an assessment based on organic principles. A review. Agronomy for Sustainable Development, 30 (2010): 67–81. <http://dx.doi.org/10.1051/agro/2009011>.

Daryanto S., Wang L. and Jacinthe P. (2015). Global Synthesis of Drought Effects on Food. PLoS ONE, 10 (6): e127401. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127401>.

De Bon H. (2016). Agronomie et défense des cultures de la tomate et de l'oignon en Afrique de l'Ouest. In : Symposium International sur la Science et la Technologie. CNRST, PPAAO/WAAPP. Ouagadougou, Burkina Faso, 24 Octobre 2016/28 Octobre 2016.
<https://agritrop.cirad.fr/582914/>.

De Olde E., Oudshoorn F., Bokkers E., Stubsgaard A., Sørensen C. and De Boer I. (2016). Assessing the Sustainability Performance of Organic Farms in Denmark. Sustainability, 8, 957. <https://doi.org/10.3390/su8090957>.

Degri M. and Ayuba J. (2016). Effect of Pepper and Cereals Intercropping in the Management of Aphids (*Aphis gossypii* Glover) on Pepper (*Capsicum annum* L.), International Journal of Research in Agriculture and Forestry, 3 (4).

Degri M. and Samaila A. (2014). Impact of intercropping tomato and maize on the infestation of tomato fruit borer [*Helicoverpa armigera* (Hubner)]. Journal of Agricultural and Crop Research, 32(8): 160-164.

Delaquis E., De Haan S. and Wyckhuys K. (2018). On-farm diversity offsets environmental pressures in tropical agro-ecosystems: A synthetic review for cassava-based systems. Agriculture, Ecosystems & Environment, 251, 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.037>.

Dhaker B., Sharma R., Chhipa B., and Rathore R. (2017). Effect of Different Organic Manures on Yield and Quality of Onion (*Allium cepa* L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6(11): 3412-3417. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.400>.

Dhungana B., Nuthall P., and Nartea G. (2004). Measuring the economic inefficiency of Nepalese, rice farms using data envelopment analysis. The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 48(2): 347–369. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2004.00243.x>.

Didagbé O., Houngnandan P., Sina H., Zoundji C., Kouelo F... Baba- Moussa L. (2014). Response of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) to exogenous Bradyrhizobium sp strains inoculation and phosphorus supply in two agroecological zones of Benin, West Africa. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences. 2(6): 623–633.

Dnyaneshwar G. Sobota S. (2018). Effect of Intercropping on Purple Blotch (*Alternaria porri*) of Onion (*Allium cepa* L.), International Journal of Current Microbiology Applied Science, 8(2): 1105-1111. <https://Doi.org/10.20546/ijcmas.2019.802.129>.

Dogliotti S., García M., Peluffo S., Dieste J., Pedemonte A., Bacigalupe G., ... Rossing W.. (2014). Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. Agricultural Systems, 126, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.02.009>.

Dong N., Tang M., and Zhang W (2018). Temporal differentiation of crop growth as one of the drivers of intercropping yield advantage. Scientific Report 8(3110). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21414-w>.

Douxchamps S., Van Wijk M., Silvestri S., Moussa A., Quiros C., Ndour N., ... Rufino, M. C. (2015). Linking agricultural adaptation strategies, food security and vulnerability: Evidence from West Africa. Regional Environmental Change, 16(5): 1305–1317. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0838-6>.

DSCRП, Ministère du Plan RDC. (2011). Rapport macroéconomique et budgétaire. Document de Stratégie de Croissance et de Réduction de la Pauvreté (Vol. 3).

DSCRП. (2015). Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté. Province du Sud-Kivu. République Démocratique du Congo, Ministère du Plan, Unité de Pilotage de Processus du DSCRП. Kinshasa, 96p.

Duchene O., Vian J., and Celette F. (2017). Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240, 148-161.

Dury J., Schaller N., Garcia F., Reynaud A., Bergez J-E. (2011). Models to support cropping plan and crop rotation decision. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 32:567-580. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0037-x>.

Eastwood C., Chapman D., and Paine M. (2012). Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: Case studies of precision dairy farms in Australia. *Agricultural. System*, (108): 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.005>.

El Bilali H. (2019). The Multi-Level Perspective in Research on Sustainability Transitions in Agriculture and Food Systems: A Systematic Review. *Agriculture* , 9, 74. <https://doi.org/10.3390/agriculture9040074>.

El Nour S. (2015). Small farmers and the revolution in Egypt: the forgotten actors. *Contemporary Arab Affairs*, 8(2): 198–211. <https://doi.org/10.1080/17550912.2015.1016764>.

Elo S., Kääriäinen M., Kanste O., Pölkki T., Utriainen K., and Kyngäs H. (2014). Qualitative Content Analysis. *SAGE Open*, 4(1). <https://doi.org/10.1177/2158244014522633>.

Emana B., Afari-Sefa V., Dinssa F., Ayana A., Balemi T. and Temesgen M. (2015). Characterization and assessment of vegetable production and marketing systems in the Humid Tropics of Ethiopia. *Quarterly Journal of International Agriculture*, 54, 163-187.

FAO. (2015). L'Agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition. Compte-rendu du Symposium international de la FAO 18-19 septembre 2014, Rome, Italie, 114p. <http://www.fao.org/3/a-i4729f.pdf>.

Feng N., Liang Q., Feng Y., Xiang L., Zhao H., Li Y., ... Wong M. (2020). Improving yield and quality of vegetable grown in PAEs-contaminated soils by using novel bioorganic fertilizer. *Science of the Total Environment*, 139883. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139883>.

Ferguson R. and Lovell S. (2017). Livelihoods and production diversity on U.S. permaculture farms. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41, 588-613. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1320349>.

Fernandez M., Goodall K., Olson M., Méndez V., (2013). Agroecology and alternative agri-food movements in the United States: toward a sustainable agri-food system. *Agroecology for. Sustainable Food Systems*. 37, 115–126. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.735633>.

Ferreira A., Dias N., Junior F., Ferreira D., Fernandes F., Leite T. (2018). Composting of household organic waste and its effects on growth and mineral composition of cherry tomato. *An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13 (3): e2141. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>.

Filho A., Braulio L., Rezende B., Barbosa J. and Gengenro L. (2011). Agronomic efficiency of intercropping tomato and lettuce, *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 83(3): 1109-1119.

Ford E. (2014). *The dynamic relationship between plant architecture and competition*. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00275>.

Francis C. and Porter P. (2011). Ecology in Sustainable Agriculture Practices and Systems. *Crit Rev Plant Sci*, 30, 64-73. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554353>.

Francis C., Lieblein G., Gliessman S., Breland T., Creamer N., Harwood R....Poincelot, R. 2003. Agroecology: the ecology of food systems *Journal of Sustainable Agriculture*., 22(3): 99-118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10

Fukasawa Y., Savoury M. and Boddy L. (2020.) Ecological memory and relocation decisions in fungal mycelial networks: responses to quantity and location of new resources. *ISME Journal* 14 (380–388). <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0536-3>.

Funda Y., Safak C., Nilgun M. and Bihter C. (2011). Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and mineral content of onion (*Allium cepa* L.), *African Journal of Biotechnology*, Vol. 10(55), pp. 11488-11492. <https://doi.org/10.5897/AJB10.2535>.

Gachu S., Muthomi J., Narla R., Nderitu J., Olubayo F., Wagacha J. (2012). Management of thrips (*Thrips tabaci*) in bulb onion by use of vegetable intercrops. *International Journal of AgriScience*, 2(5): 393-402.

Gao H., Li S. and Wu F. (2021) Impact of Intercropping on the Diazotrophic Community in the Soils of Continuous Cucumber Cropping Systems. *Front. Microbiol.* 12:630302. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.630302>.

Garrity D., Akinnifesi F., Ajayi O., Weldesemayat S., Mowo J., Kalinganire A., ... Bayala J. (2010). Evergreen Agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Security*, 2(3): 197–214. <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0070-7>.

Gattinger A., Muller A., Haeni M., Skinner C., Fliessbach A., Buchmann N.... Niggli U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109 (44), 18226–18231. PubMed <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>

Gebbru H. (2015). A review of the comparative advantages of intercropping to the monocropping system. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(9): 1-13.

Getahun D., Getaneh M. and Habte B. (2018). Companion Crops for Intercropping with Onion Production in the Dry Season at Fogera District of South Gondar Zone in Ethiopia, *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS)* Volume 4, Issue 4, PP 17-24. <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0404003>.

Gitari H., Gachene C., Karanja N., Kamau S., Nyawade S., Sharma K. and Schultegeldermann E. (2018). Optimizing yield and economic returns of rain-fed potato (*Solanum tuberosum* L.) through water conservation under potato-legume intercropping systems. *Agricultural Water Management*, 208, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.005>.

Glavana M., Schmutzb U., Williams S., Corsid S., Monacod F., Kneafseye M., ... Pintar M. (2018). The economic performance of urban gardening in three European cities—Examples from Ljubljana, Milan and London. *Urban Forestry & Urban Greening*, 36, 100-122. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.10.009>

Glaze-Corcoran S., Hashemi M., Sadeghpour., Jahanzad E., Keshavarz R., Liu X. and Herbert, J. (2020). Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. *Advances in Agronomy*. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.004>.

Gliessman S. (2015). *Agroecology: the Ecology of Sustainable Food Systems*. Troisième édition. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group.

Gliessman S. (ed.). (1990). *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. New York, USA, Springer-Verlag.

Gliessman S. and Rosemeyer M. (eds). (2010). *The Conversion to Sustainable Agriculture: Principles, Processes, and Practices*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group. 370 pp. <https://doi.org/17957/IJAB/15.0021>

Godfray H. and Garnett T. (2014). Food security and sustainable intensification. *Philosophical transactions of the Royal Society. Biological sciences*, 369(1639).

Golubkina N., Amagova Z., Matsadze V., Zamana S., Tallarita A., and Caruso G. (2020). Effects of *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* on Yield, Biochemical Characteristics, and Elemental Composition of Garlic and Onion under Selenium Supply. *Plants*, 9(1), 84. <https://doi.org/10.3390/plants9010084>.

Guégan S. et Léger L. (2015). *Maraîchage biologique permaculturel et performance économique*. Rapport Final 20 octobre 2015. Institut Sylva, 67 p.

Gurbachan S., Miglani R., Priti and Gupta S. (2021) Leveraging photosynthetic efficiency toward improving crop yields. *Journal of Crop Improvement* 35, 3, 361-402. <https://doi.org/10.1080/15427528.2018.1547806>.

Guvenc I. and Yildirim E. (2006). Increasing Productivity with Intercropping Systems in Cabbage Production. *Journal of Sustainable Agriculture*, 28(4): 29–https://doi.org/10.1300/j064v28n04_04.

Guzmán G., López D., Román L. and Alonso A., (2013). Participatory Action Research in Agroecology: Building Local Organic Food Networks in Spain, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37 (1): 127-146. <http://dx.doi.org/10.1080/10440046.2012.718997>.

Haan J. and Vasseur L. (2014). Above and Below Ground Interactions in Monoculture and Intercropping of Onion and Lettuce in Greenhouse Conditions. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 3319-3327. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.521347>.

Hassanali A., Herren H., Khan Z., Pickett J. and Woodcock C. (2008). Integrated pest management: the push-pull approach for controlling insect pests and weeds of cereals, and its potential for other agricultural systems including animal husbandry. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*, 363(1491): 611-621.

Herencia J., Ruiz-Porras J., Melero S., Garcia-Galavis P., Morillo E. and Maqueda C. (2007). Comparison between Organic and Mineral Fertilization for Soil Fertility Levels, *Crop*

Macronutrient Concentrations, and Yield. *Agronomy Journal*, 99(4), 973. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0168>.

Holt E., and Shattuck A. (2011). Food crises, food regimes and food movements: rumblings of reform or tides of transformation? *Journal of Peasant Studies*. 38, 109–144. <https://doi.org/10.1080/03066150.2010.538578>.

Hothorn T., Bretz F., and Westfall P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, 50(3), 346-363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>.

Hu S., Liu L., Zuo S., Ali M., and Wang Z. (2020). Soil salinity control and cauliflower quality promotion by intercropping with five turfgrass species. *Journal of Cleaner Production*, 121991. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121991>.

Ijoyah M. (2012). Review of intercropping research: Studies on cereal-vegetable based cropping system. *Scientific Journal of Crop Science*, 1(3): 55-62.

Ilahi H., Hidayat K., Adnan M., Rehman F., Tahir R., Saeed M....Toor M. (2020). Accentuating the Impact of Inorganic and Organic Fertilizers on Agriculture Crop Production: A Review, *Ind. J. Pure App. Biosci.* 9(1), 36-45. <https://doi.org/10.18782/2582-2845.854>.

Imai K., Cheng W. and Gaiha R. (2015). Agricultural Growth, Poverty and Inequality in Developing Countries. *Development*, 58, 230-236. <https://doi.org/10.1057/s41301-016-0009-1>.

IPAPEL/Inspection Provinciale de l’agriculture, pêche et élevage du Sud - Kivu (2018). Rapport annuel. Bureau de production et protection des végétaux. Code 55.30, 62p.

Iqbal M., Hamid A., Ahmad T., Siddiqui M., Hussain I., Ali, S.... Ahmad Z. (2018). Forage sorghum-legumes intercropping: effect on growth, yields, nutritional quality and economic returns. *Bragantia*, 78(1), 82–95. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017363>.

James W. and Nlemfu M. (2016). Agricultural Growth and Investment Options for Poverty Reduction in the DR Congo: A General Equilibrium Approach. *J Stock Forex Trad*, 5, 168. <https://doi.org/10.4172/2168-9458.1000168>.

Jayne T., Chamberlin J. and Headey D. (2014). Land pressures, the evolution of farming systems, and development strategies in Africa: A synthesis. *Food Policies*, 48, 1-17, <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.05.014>.

Jensen, E.S., Carlsson, G. and Hauggaard-Nielsen, H., 2020. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for

synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(1), pp.1-9. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>.

Jerop R., Dannenberg P., Owuor G., Mshenga P., Kimurto P., Willkomm M. and Hartmann G. (2018). Factors affecting the adoption of agricultural innovations on underutilized cereals: The case of finger millet among smallholder farmers in Kenya. *African Journal of Agricultural Research*, 13(36): 1888-1900. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13357>.

Justes E., Bedoussac L., Corre-Hellou, G., Fustec J., Hinsinge, P., and Jeuffroy M.... Pelzer E. (2014). Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. *Innovations Agronomiques*, 40, 1-24.

Kalbani F., Salem M., Cheruth A., Kurup S. and Senthilkumar A., 2016. Effect of some organic fertilizers on growth, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum*), *International Letters of Natural Sciences*, <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.53.1>.

Kanda M., Kpérkouma W., Batawila K., Djaneye-Boundjou G., Ahanchede A., et Akpagana K., (2006). Le maraîchage périurbain à Lomé : pratiques culturelles, risques sanitaires et dynamiques spatiales. *Cahiers Agricultures*, 18, 4. <https://doi.org/10.1684/agr.2009.0319>.

Kapoulas N., Koukounaras A. and Ilic Z. (2017). Nutritional quality of lettuce and onion as companion plants from organic and conventional production in north Greece, *Scientia Horticulturae*, 219 (2017) 310–318, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.027>.

Karhagomba B., Ngendakumana S., Namegabe M., Mirindi A., Muhimuzi B., Bajope B. and Isumbisho M. (2013). Perspectives de gouvernance environnementale durable dans la région de Lwiro (Sud Kivu, République Démocratique du Congo). *VertigO* (Hors-série 17). <https://doi.org/10.4000/vertigo.13826>.

Karlsson K., Stenberg J., and Lankinen A. (2020). Making sense of Integrated Pest Management (IPM) in the light of evolution. *Evolutionary Applications*. 2020(00):1–15. <https://doi.org/10.1111/eva.13067>.

Kaur N., Bhullar MS., and Gill G. (2015). Weed management options for sugarcane-vegetable intercropping systems in north-western India. *Crop Protection*, (74):18–23. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.025>.

Kebede S., and Bokelmann W. (2017). African Indigenous Vegetables and their Production Practices: Evidence from the Hortinlea Survey in Kenya. *Agrotechnology* 6, 170. doi: <https://doi.org/10.4172/2168-9881.1000170>.

Khan M., Cheng Z., Khan A., Rana S. and Ghazanfar B. (2015). Pepper-Garlic intercropping system improves soil biology and nutrient status in the Plastic Tunnel. *International Journal of Agriculture and Biology* 17:869_880.

Khanum M., Bazzaz M., Nuruzzaman M., Akther M. and Ahmed K. (2020). Combined output value in hybrid maize and squash intercropping system. *International Journal of Natural and Social Sciences*, 7(3): 79-88. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4065165>.

Khonde P., Tshiabukole K., Kankolongo M., Hauser S., Djamba M., Vumilia K. and Nkongolo K. (2018) Evaluation of Yield and Competition Indices for Intercropped Eight Maize Varieties, Soybean and Cowpea in the Zone of Savanna of South-West RD Congo. *Open Access Library Journal*, 5: e3746. <https://doi.org/10.4236/oalib.1103746>.

Köbrich C., Rehman T. and Khan M. (2003). Typification of farming systems for constructing representative farm models: Two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural Systems*, 76 (1): 141–157. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00013-6).

Koffi G., Ndoeye F., Dabonne S., Bakhoun N., Faye M., Fall D. and Diouf D. (2018). Effect of maize and peanut crops on Ivory Coast northern soil biological activities and their response to arbuscular mycorrhizal fungi inoculation. *African Journal of Microbiological Research*, 12, 171–180.

Konja D., Mabe F., and Oteng-Frimpong R. (2019). Profitability and profit efficiency of certified groundnut seed and conventional groundnut production in Northern Ghana: A comparative analysis, *Cogent Economics & Finance*, 7(1) 1631525. <https://doi.org/10.1080/23322039.2019.1631525>.

Kučerík J., Tokarski D., Demyan M., Merbach I., and Siewert C. (2018). Linking soil organic matter thermal stability with contents of clay, bound water, organic carbon and nitrogen. *Geoderma*, 316, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.001>.

Kulak M., Nemecek T., Frossard E. and Gaillard G. (2013). How Eco-Efficient Are Low-Input Cropping Systems in Western Europe, and What Can Be Done to Improve Their Eco-Efficiency? *Sustainability*, 5(9), 3722–3743. <https://doi.org/10.3390/su5093722>.

Kumar A., and Murphy N. (2017). Intercropping system in grain amaranth for higher productivity and profitability, *Journal of crop and weed*, 13(3): 69-72.

Ladha J., Reddy C., Padre A. and van Kessel C. (2011). Role of Nitrogen Fertilization in Sustaining Organic Matter in Cultivated Soils. *Journal of Environment Quality*, 40(6), 1756. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0064>.

Lai R., You M., Jiang L., Lai B., Chen S., Zeng W. and Jiang D. (2011). Evaluation of garlic intercropping for enhancing the biological control of *Ralstonia solanacearum* flue-cured tobacco fields. *Biocontrol Science and Technology*, 21(7), 755–764. <https://doi.org/10.1080/09583157.2011.575210>.

Lapeyre F., Lebailly P., M'Bayo M. et Mutombo M. (2011). Le Modèle de croissance katangais face à la crise financière mondiale : enjeux en termes d'emplois. Rapport ILO. Département des politiques de l'Emploi : document de travail de l'Emploi n° 82.

Layek J., Das A., Mitran T., Nath C., Meena R., Yadav G., ... Lal R. (2018). Cereal+Legume Intercropping: An Option for Improving Productivity and Sustaining Soil Health. *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*, 347–386. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_11.

Lê S. and Husson F. (2008). FactorMiner R: An R Package for Multivariate Analysis, *Journal of statistical Software*, 25. <https://doi.org/10.18637/JSS.v025i01>.

Lebailly P., Baudouin M., M'Vubu N. and Roger A. (2015). « Quel développement agricole pour la RDC ? ». In Marysse, Stefaan & Omasombo Tshonda, Jean (dir.). *Conjonctures congolaises 2014. Politiques, territoires et ressources naturelles : changements et continuités*. Paris/Tervuren : Le Harmattan/MRAC (coll. « Cahiers africains », n° 86), pp. 45-63.

Lee J. (2010). Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae*, 124(3), 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.004>.

Legodi K. and Ogola J. (2019). Cassava-legume intercrop: I. Effects of relative planting dates of legumes on cassava productivity. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 1–8. <https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1682185>.

Lemaire G., Franzluebbers A., De Faccio Carvalho P., and Dedieu B., (2014). Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and

environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 4-8.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>.

Lepse L., Dane S., Zeipiņa S., Domínguez-Perles R. and Rosa E. (2017). Evaluation of vegetable-faba bean (*Vicia faba* L.) intercropping under Latvian agro-ecological conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(13), 4334–4342. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8239>.

Li X., Lu X., Zhang Z., Huang J., Zhang J., Wang L-k, and Lu Y. (2021). Intercropping Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) with Sweet Pepper (*Capsicum annum*) Reduces Major Pest Population Densities without Impacting Natural Enemy Populations. *Insects*, 12(1):74. <https://doi.org/10.3390/insects12010074>.

Li X., Zhou Q., Sun X. and Ren W. (2016). Effects of cadmium on uptake and translocation of nutrient elements in different welsh onion (*Allium fistulosum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 194(101) 110. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.114>.

Litourgidis A., Dorcos C., Damolas A. and Vlachoslergios D. (2011). Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal Crops Science*, 396-410.

Liu T., Cheng Z., Meng H., Ahmad I., and Zhao H. (2014). Growth, yield and quality of spring tomato and physicochemical properties of medium in a tomato/garlic intercropping system under plastic tunnel organic medium cultivation. *Scientia Horticulturae*, 170, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.039>.

Llorens E., Gallardo A., García-Agustín P., Lapeña L. and Molina M. (2012). Response of tomato crops (*Solanum lycopersicum* “Montecarlo”) to sewage sludge –based compost fertilization. 933, 123-130. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.933.13>.

Lowder S., Scoet J. and Raney T. (2016). The number, size, and distribution of farms, smallholder farms, and family farms worldwide. *World Development*, 87, 16-29. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>.

Lu Z., Zhang Z., Su Y., Liu C. and Shi G. (2013). Cultivar variation in morphological response of groundnut roots to cadmium stress and its relation to cadmium accumulation. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 91(147–155). <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.01.017>.

Lonze L., Mathew M., Buruchara R., Michael A. Nabahungu L., Gideon O.,... Idupulapati R. (2012). In Joan Whalen (Ed.), *Integrated Soil Fertility Management in Bean-Based*

Cropping Systems of Eastern, Central and Southern Africa, Soil Fertility Improvement and Integrated Nutrient Management—A Global Perspective (p. 35). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/29151>.

Mabhaudhi T., Chimonyo V., Massawe S., Mayes S., Nhamo L. and Modi A. (2019). Prospects of orphan crops in climate change. *Planta*, 695–708 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03129-y>.

Magdi A., Hassan S. and Ashraf H. (2012). Row Configuration on Yield and Economics of Okra Intercropped With Eggplant, *International Journal of Vegetable Science*, 18(4): 358-369. <http://dx.doi.org/10.1080/19315260.2011.647266>

Malézieux E. (2012). Designing cropping systems from nature. *Agron. Sustain. Dev.*, 32, 15-29. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0027>.

Malusá E., Sas-Paszt L. and Ciesielska J. (2012). Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers, *Science World Journal* <https://doi.org/1100/2012/491206>

Mankoussou M., Mialoundama F. and Diamouangana J. (2016). Évaluation économique de quelques niveaux defertilisation du maïs (*Zea mays* L. variété Espoir) dans la Vallée du Niari, République du Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 111, 10894-10904. <https://doi.org/104314/jab.v111i1.7>.

Marguerie M. (2011). Diversification des cultures dans les exploitations maraîchères biologiques: Conséquences sur les gestions agronomique et commerciale—Cas de la basse vallée de Durance, PACA (p.78, Mémoire de fin d'étude, Montpellier, SupAgro).

Martin T., Simon S., Parrot L., Komlan F., Vidogbena F. and Adegbedi A. (2015). Eco-friendly nets to improve vegetable production and quality in sub-Saharan Africa. *Acta Horticulturae*, (1105): 221–228. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1105.31>.

Marzouka H. and Kassem H. (2011). Improving fruit quality, nutritional value, and yield of Zaghloul dates by the application of organic and/or mineral fertilizers. *Scientia Horticulturae* 127(3): 249-254. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.005>.

Masarirambi M., Mbokazi B., Wahome P. and Oseni T. (2012). Effects of Kraal Manure, Chicken Manure, and Inorganic Fertilizer on Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L. var *Commander*) in a Semi-arid Environment, *Asian Journal of Agricultural Sciences* 4(1): 58-64, 2041-3890.

- Maseko I., Mabhaudhi T., Tesfay S., Tesfamichael H., Fezzehazion M. and Du Plooy C. (2017). African Leafy Vegetables: A Review of Status, Production and Utilization in South Africa. *Sustainability*, 10 (2): 16. <https://doi.org/10.3390/su10010016>.
- Mateva K., Hui C., Mayes S. and Massawe F. (2020). Root Foraging Capacity in Bambara Groundnut (*Vigna Subterranea* (L.) Verdc.) Core Parental Lines Depends on the Root System Architecture during the Pre-Flowering Stage. *Plants* 9(645). <https://doi.org/10.3390/plants9050645>.
- Matusso J., Mugwe J. and Mucheru-Muna M., (2014). Potential role of cereal-legume intercropping systems in integrated soil fertility management in smallholder farming systems of Sub-Saharan Africa. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, 3(3): 162-174.
- Mbah L., Havard M. and Tempe L. (2013). Déterminants socio-économiques et institutionnels de l'adoption d'innovations techniques concernant la production du maïs à l'Ouest du Cameroun. *Tropiculture*, 31(2): 137-142.
- Meena R., Yadav R., and Meena V. (2015). Response of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) varieties to sowing dates and NP fertilizers under western dry zone of India. *Bangladesh Journal of Botany*, 43(2). <https://doi.org/10.3329/bjb.v43i2.21669>.
- Mellor J. (2014). High rural population density Africa-What are the growth requirements and who participates? *Food Policy*, 48, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.03.002>.
- Mfoukou-Ntsakala A., Bitémo M., Speybroeck N., Van Huylenbroeck G. and Thys E. (2012). Agriculture urbaine et subsistance des ménages dans une zone de postconflit en Afrique Centrale. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 10 (3): 112.
- Miassi Y. and Dossa F. (2018). Influence of the Types of Fertilizers on the Economic Performance of the Market Garden Production in Parakou Town, Northern Benin. *Agri Res & Tech*: 15(2): 555944. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2018.15.555944>.
- Millner N. (2016). Food sovereignty, permaculture and the post-colonial politics of knowledge in El Salvador. *Alternative food networks in the postcolonial world*. London: Under Contract with Routledge.
- MINAGRI. (2013). Plan National d'Investissement Agricole 2014 – 2020. Kinshasa, 108 p. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cng146463.pdf>.

Mitra J., Shrivastava S. and Rao P. (2011). Onion dehydration: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3): 267–277. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0369-1>.

Mkwambisi D., Fraser E. and Dougill A. (2011). Urban agriculture and poverty reduction: Evaluating how food production in cities contributes to food security, employment, and income in Malawi. *Journal of International Development*, 23(2): 181-203.

Mndzebele B., Ncube B., Fessehazion M., Mabhaudhi T., Amoo S., du Plooy, C., Modi A. (2020). Effects of Cowpea-Amaranth Intercropping and Fertiliser Application on Soil Phosphatase Activities, Available Soil Phosphorus, and Crop Growth Response. *Agronomy*, 10(1), 79. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010079>

Mochiah M., Osei M., Osei K., Pfeiffer D. and Muniappan R. (2015). Impact of farmer field schools on cabbage production in two Districts of Ashanti and Brong Ahafo Regions of Ghana. *International Journal of Agriculture Innovation Research*, 2, 525–529.

Mofunanya A., Ebigwai J., Bello O. and Egbe O. (2015). Comparative Study of the Effects of Organic and Inorganic Fertilizer on Nutritional Composition of *Amaranthus spinosus* L., *Asian Journal of Plant Sciences* 14 (1): 34-39, 2015. <https://doi.org/10.3923/ajps.2015.34.39>.

Mollavali M., Bolandnazar S., Schwarz D., Rohn S., Riehle P and Zaare F. (2016). Flavonol Glucoside and Antioxidant Enzyme Biosynthesis Affected by Mycorrhizal Fungi in Various Cultivars of Onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64(1): 71–77. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04791>.

Mondo J., Irengé B., Ayagirwe B., Donsop-Nguezet P-M., Katcho K... Mushagalusa G. (2019). Determinants of Adoption and Farmers' Preferences for Cassava Varieties in Kabare Territory, Eastern Democratic Republic of Congo. *American Journal of Rural Development* 7 (2): 44-52. <http://dx.doi.org/10.12691/ajrd-7-2-1>.

Morel K. (2016). Viabilité des microfermes maraîchères biologiques. Une étude inductive combinant méthodes qualitatives et modélisation (Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay: Préparée à AgroParisTech, école doctorale N° 581: Agriculture, Alimentation, Biologie, Environnement et Santé (ABIES) Spécialité de doctorat : Sciences Agronomiques, p. 354).

Morel K., San Cristobal M. and Léger F. (2017). Small can be beautiful for organic market gardens: An exploration of the economic viability of French microfarms using MERLIN. *Agricultural Systems*, 158: 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.08.008>.

Mueller K., Eissenstat D., Hobbie E., Oleksyn J., Jagodzinski A. and Reich P. (2012). Tree species effects on coupled cycles of carbon, nitrogen, and acidity in mineral soils at a common garden experiment. *Biogeochemistry* 111(1-3): 601–614. <http://dx.doi.org/10.1007/s10533-011-9695-7>.

Mushagalusa B. and Nkulu M. (2020). Déterminants d'adoption des techniques de production et protection intégrées pour un maraîchage durable à Lubumbashi, République démocratique du Congo. *Cahiers d'Agricultures*, 29: 13. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020012>.

Mushagalusa B., (2019). Drivers of Adoption of Integrated Pest Management among Small-scale Vegetable Farmers in Lubumbashi, DR Congo, *American Journal of Rural Development*, 7 (2): 53-59. <https://doi.org/10.12691/ajrd-7-2-2>

Mushagalusa B., Birindwa P., Muyambo M., Kasanda M. and Nkulu M. (2015). Production des cultures maraîchères à Lubumbashi: analyse comparative de la rentabilité de chou pommé et chou de chine (Vegetable crop production in Lubumbashi: a comparative analysis of the profitability of cabbage and Chinese cabbage). *International Journal of Innovation and Scientific Research* 14(1): 55-61.

Mutshail G. (2014). Aperçu technologique sur l'horticulture urbaine et périurbaine de la RDC— Cas de la ville de Lubumbashi. *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1021.201>.

Mutwedu V., Nyongesa A., Azine C., Katulanya C., Ngoumtsop v...Ayagirwe R. (2021). Growth performance and reproductive function impairment of glyphosate-based herbicide in male guinea pig (*Cavia porcellus*). *Veterinary Medicine Science*, 00, 1–9. <https://doi.org/10.1002/vms3.443>

Nair A. and Ngouajio M. (2012). Soil microbial biomass, functional microbial diversity, and nematode community structure as affected by cover crops and compost in an organic vegetable production system. *Applied Soil Ecology*, 58, 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.03.008>

Nascimento C., Cecílio F., Mendoza-Cortez J., Nascimento, C., Bezerra N. and Grangeiro L. (2018). Effect of population density of lettuce intercropped with rocket on productivity and land-use efficiency. *PLOS ONE*, 13(4), e0194756. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194756>.

Natsheh B. and Mousa S. (2014). Effect of Organic and Inorganic Fertilizers application on soil and cucumber (*Cucumis Sativa L.*) plant productivity. International Journal of Agriculture and Forestry, 4(3): 166-170. <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20140403.03>.

Ndjadi S., Ahoton L., Kizungu R., Saidou A., Mugumaarhahama Y., Ciza A...Mushagalusa G. (2021). Évaluation de la durabilité des exploitations maraîchères au Sud-Kivu, Est de la République démocratique du Congo (Evaluation of the sustainability of vegetable farms in South Kivu Eastern Democratic Republic of Congo). Cahiers Agricultures 30(15). <https://doi.org/10.1051/cagri/2020050>.

Ndjadi S., Basimine G., Masudi F., Kyalondawa M., Mugumaarhama Y., et Vwima S. (2019). Déterminants de la performance des exploitations agricoles à Kabare, Sud-Kivu, Est de la RD Congo. Agronomie Africaine, 31(2): 199-212.

Ndjadi S., Vumilia K., Ahoton L., Aliou S., Bello D., and Mushagalusa N. (2020). Typology and Prospects for the Improvement of Market Gardening Systems in South-Kivu, Eastern DR Congo. Journal of Agricultural Science, 12 (6): 136-152. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n6p136>.

Ndonda A., Mahungu N., Frangoie A., and Moango A. (2015). Enhancing yield and profitability of cassava in the savannah and forest zones of Democratic Republic of Congo through intercropping with groundnut. Journal of Applied Biosciences, 89(1), 8320. <https://doi.org/10.4314/jab.v89i1.6>.

Nelson D, Sommers L (1996). Total carbon, organic carbon and organic manure. In: Sparks D, Page A, Helmke P, Loeppert H, Soltanpour P, et al (Ed). Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society. Agronomy Incorporation Madison pp 961–1010.

Nesme T., Colomb B., Hinsinger P. and Watson C. (2014). Soil phosphorus management in organic cropping systems: From current practices to avenues for more efficient use of P resources. In Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 23–45 pp.

Neto B., Gonçalves G., De Araujo E., De Oliveira R., Nunes S., Grangeiro H., (2010). Evaluation of yield advantage indexes in carrot – lettuce intercropping systems. Interciencia, 35 (1): 59 – 65.

Nfundiko C. (2014). La Province du Sud-Kivu peut-elle assurer sa sécurité alimentaire à l'horizon 2050? (p.187, Mémoire de Master, UEA/Inédit).

Ngwene B., Neugart S., Baldermann S., Ravi B. and Schreiner M. (2017). Intercropping Induces Changes in Specific Secondary Metabolite Concentration in Ethiopian Kale (*Brassica carinata*) and African Nightshade (*Solanum scabrum*) under Controlled Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01700>.

Ngwira A., Aune J. and Mkwinda S. (2012). On-farm evaluation of yield and economic benefit of short-term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. *Field Crops Research*, 132, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.014>.

Norris C. and Congreves K. (2018). Alternative management practices improve soil health indices in intensive vegetable cropping systems: A review. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 50. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00050>

Nouatin G. and Bachabi F-X. (2010). Urbanisation et viabilité de l'activité maraîchère: Cas d'une ville à statut particulier au Bénin (Parakou). *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 10, 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.10038>.

Nsimire A. (2012). De l'exploitation agricole individuelle vers une agriculture entrepreneuriale en milieux ruraux du Sud-Kivu (Colloque sur “le Genre et agriculture familiale paysanne, Regard Nord-Sud”, Le Mirail, Université de Toulouse II).

Nunamaker T. (1985). Using data envelopment analysis to measure the efficiency of non-profit organizations: A critical evaluation. *Managerial and Decision Economics*, 6(1), 50–58. <https://doi.org/10.1002/mde.4090060109>.

Nwofia G., Jiwuba F., Okpara D., and Mbah E. (2017). Yield and Productivity of Eggplant Genotypes Intercropped with Vegetable Cowpea in the Humid Tropics. *International Journal of Vegetable Science*, 23(5), 400–410. <http://dx.doi.org/10.1080/19315260.2017.1310779>.

Nyankanga R., Onwnga R., Weseka F., Nakimbugwe D., Masinde D. and Mugisha J. (2011). Effect of Inorganic and Organic Fertilizers on the Performance and Profitability of Grain Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) in Western Kenya, *Journal of Agricultural Science* Vol. 4, No. 1. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n1p223>.

Nyenyezi B. et Ansoms A. (2015). Accaparement des terres dans la ville de Bukavu (RDC) : Déconstruire le dogme de la sécurisation foncière par l'enregistrement. In S. Marysse &

J. Omasombo Tshonda, *Conjoncture congolaises* (2014). Politiques, territoires et ressources naturelles : changements et continuités. Paris/Tervuren : L'Harmattan/MRAC (coll. « Cahiers africains », n° 86, pp. 217-238.

O'Connell E., and Hurley F. (2009). A review of the strengths and weaknesses of quantitative methods used in health impact assessment. *Public Health*, 123(4): 306–310. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2009.02.008>.

O'Shaughnessy M. (2014). Think systems, design sustainable: A content analysis of sustainable agriculture plans. Guidelines to designing your own plan, A Thesis submitted to the faculty of University of Wisconsin, 50p.

Okalebo, J (2012). University Outreach Support to Farmer Associations in Western Kenya : The Case of The RUFORUM's Community Action Research Project (CARP) at Moi University. Third RUFORUM Biennial Meeting, Entebbe: RUFORUM pp 1989–1998.

Olatunji O. and Oboh V. (2012). Growth and yield of Okra and Tomato as affected by Pig dung and other manure issues for Economic Consideration in Benue state. In: *Nigerian Journal of Soil Science*. 22(1):103-107.

Ouédraogo R., Kambiré F., Kestemont M. and Biélders C. (2019). Caractériser la diversité des exploitations maraîchères de la région de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso pour faciliter leur transition agroécologique. *Cahiers d'Agricultures*, 28, 20. <https://doi.org/10.1051/cagri/2019021>.

Paksoy T., Pehlivan N., and Özceylan E., (2012). Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: A case study of an edible vegetable oils manufacturer. *Applied Mathematical Modelling*, 36(6): 2762-2776.

Pariz C., Costa C., Crusciol C., Meirelles P., Castilhos A., Andreotti, M., Costa...Longhini, V. (2017). Production, nutrient cycling, and soil compaction to the grazing of grass companion cropping with corn and soybean. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 108(1), 35-54. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9821-y>.

Pauer E., Manfred T., Gabriel V., and Krauter V. (2020). Sustainability of flexible multilayer packaging: Environmental impacts and recyclability of packaging for bacon in block. *Cleaner Environmental Systems*, *Cleaner Environmental Systems* 1 (2020) 100001. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2020.100001>.

Petersen B. and Snapp S. (2015). What is sustainable intensification? Views from experts. *Land Use Policy*, 46, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.02.002>

Petrovic B., et Pokluda B. 2019. Influence of Organic Fertilizers on Onion Quality, *Pol. J. Environ. Stud.* 29(1): 517-523. <https://doi.org/10.15244/pjoes/99909>.

Pfeiffer A., Silva E. and Colquhoun J. (2015). Innovation in urban agricultural practices: Responding to diverse production environments. *Renewable Agriculture and Food Systems* 1(30):79–91. <https://doi.org/10.1017/S1742170513000537>.

Pitan O. and Esan E. (2013). Intercropping cucumber with amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) to suppress populations of major insect pests of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*, 47(9): 1112–1119. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.830809>.

PNUD. (2014). Rapport national sur le développement humain 2014 (RNDH 2014) Cohésion nationale pour l'émergence de la République démocratique du Congo. Kinshasa, 344p.

PNUD/RDC (2012). Profil résumé de la pauvreté et conditions de vie des ménages. Programme des Nations – Unies pour le Développement, Kinshasa, République Démocratique du Congo. (Summary profile of poverty and household living conditions, United Nations Development Programme, Kinshasa, Democratic Republic of Congo). Available at <https://www.cd.undp.org/content/rdc/fr/home/library/poverty/pauvrete-et-condition-de-vie-des-menages11111111.html> (consulté en Janvier 2021).

PNUD/RDC (2017). Localisation des Objectifs de développement durable dans le Sud-Kivu. Rapport technique, Kinshasa, 154 pp.

Poulsen M., McNab P., Clayton M. and Neff. (2015). A systematic review of urban agriculture and food security impacts in low-income countries. *Food Policy*, 55, 131-146.

Pretty J. and Bharucha Z., (2014). Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of botany*, 114(8): 1571-1596.

Pretty J., Morison J., and Hine R. (2003). Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95(1): 217–234. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(02\)00087-7](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(02)00087-7).

Pretty J., Toulmin C. and Williams S. (2011). Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 5–24. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0583>.

Pypers P., Sanginga J-M., and Kasereka B. (2011). Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava-legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. *Field Crops Research*, 120, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.09.004>.

R Development Core Team (2018). R statistical software. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Ragasa C., Ulimwengu J., Randriamamonjy J. and Badibanga T. (2015). Factors Affecting Performance of Agricultural Extension: Evidence from Democratic Republic of Congo. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 22(2): 113–143. <https://doi.org/10.1080/1389224x.2015.1026363>.

Ratnadass A., Fernandes P., Avelino J., and Habib R., (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for sustainable development*, 32(1): 273-303.

Rezende B., Cecílio B., Barros P., Porto D. and Martins M. (2011). Economic analysis of cucumber and lettuce intercropping under greenhouse in the winter-spring. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 83(2), 705–717. <https://doi.org/10.1590/s0001-37652011000200028>.

Rezvani P., Asadi G., and Bicharanlou B. (2020). 'Onion (*Allium cepa* L.) seed yield improvement by intercropping with ajwain (*Carum copticum* Heirn) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.)'. *Journal of Plant Production Research*, 26(4): 41-60. <https://doi.org/10.22069/jopp.2019.14990.2344>.

Ribas R., Cecílio B., Dutra F., Barbosa J., and Rolim G. (2020). Land Equivalent Ratio in the Intercropping of Cucumber with Lettuce as a Function of Cucumber Population Density. *Agriculture*, 10(3), 88. <https://doi.org/10.3390/agriculture10030088>.

Rigby D. and Caceres D. (2001). Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 68 (1): 21–40. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)000603](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)000603)

Rosset P. (2000). The multiple functions and benefits of small farm agriculture in the context of global trade negotiations. *Development* 43 (2): 77-82. <https://doi.org/10.1057/palgrave.development.1110149>.

Rouphael Y., Kyriacou M., Petropoulos S., De Pascale S., and Colla G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 234, 275–289. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>.

Rozpadek P., Rapala-Kozik M., Węzowicz K., Grandin A., Karlsson S., Ważny R., ... Turnau, K. (2016). *Arbuscular mycorrhiza improves yield and nutritional properties of onion (Allium cepa)*. Plant Physiology and Biochemistry, 107, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.06.006>.

Rushigira C. (2017). Analyse technico-économique de la production maraîchère à Kamanyola dans la Plaine de la Ruzizi/RDC: Contraintes et stratégies d'acteurs (p. 129, Mémoire de Master de Spécialisation en Développement, Environnement et Sociétés, UCL, ESPO).

Rusinamhodzi L., Corbeels M., Nyamangara J. and Giller K, (2012). Maize–grain legume intercropping is an attractive option for ecological intensification that reduces climatic risk for smallholder farmers in central Mozambique. Field Crop Res 136(12–22). <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.014>.

Sala S., Ciuffo B. and Nijkamp P. (2015). A systemic framework for sustainability assessment. Ecological Economics, 119: 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.09.015>.

Sandhu R., Nathan S., Shaun S., Zhengfei G., Qi Q., Tianyuan L., and Shinsuke A. (2020). Management of relay-cropped strawberry and sggplant to maximize yield and economic return. HortScience, 55(7):1083–1089. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14932-20>.

Sandoval E., Venegas G., Velázquez M., Ávila M., Montañez S. and Ceja T. (2015). A Self-Sustaining Organic Fertilizer for Vegetable Production, Advances in Bioresearch Adv. Biores., 7 (2), 51-56.

Seran T. and Brintha I. (2010). Review on maize-based intercropping. Journal of Agronomy, 9(3): 135-145.

Soares J., De Souza A., De Abreu Pestana L. and Tanaka M. (2020). Combined effects of soil fertility and vegetation structure on the early decomposition of organic matter in a tropical riparian zone. Ecological Engineering, 152, 105899 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105899>

Sofi P., Baba Z., Hamid B. and Meena R. (2018) Harnessing Soil *Rhizobacteria* for Improving Drought Resilience in Legumes. In: Meena R., Das A., Yadav G., Lal R. (eds) Legumes for Soil Health and Sustainable Management. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_8.

Stevens C. (2015). Permaculture et maraîchage biologique: Un choix économique intéressant? Baricade et culture alternatives (p. 40).

Talukder A., Rahman J., Nahar L., Rahman M., and Kaisar N. (2015). Mixed Cropping Onion with Different Plant Population of Sweet Gourd. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 8 (5): 45 – 50. <http://dx.doi.org/10.9790/2380-08514550>.

Teshome S, Tana T, Mohammed W (2018). The response of Head Cabbage (*Brassica oleracea* L.) to Different Rates of Inorganic Nitrogen Fertilizer and Farmyard Manure at Bore, Southern Oromia, Ethiopia. 6(12) *International Journal of Current Research and Academic Review*. <https://doi.org/10.20546/ijcrar.2018.612.003>.

Tignegre J., Larbi A., Tenkouano A., Nurudeen, A., Asante, M., Boateng, R.... Chagomoka, T. (2018). Optimization of Maize-Vegetable (African Eggplant and Pepper) Intercrops in Northern, Upper West and Upper East Regions of Ghana. *JOJ Horticulture and Arboriculture*, 1(2), 555-557.

Tracy S., Nagel K., Postma J., Fassbender H., Wasson A. and Watt M. (2019). Crop Improvement from Phenotyping Roots: Highlights Reveal Expanding Opportunities. *Trends in Plant Science*. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.10.015>

Traoré S., Mamadou K., Dembele A., Lafrance P., Mazelliert P. and Houenou P. (2006). Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte-d'Ivoire (Centre, Sud et Sud-Ouest). *Journal Africain des Sciences de l'environnement*, 1: 1 - 9.

Trupti D., Ankit G. and Patel G. (2018). A Review: Effect of Inter Cropping in Horticultural Crops. *International Journal of Current Microbiology Applied Science*. 7(02): 1512-1520. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.182>

Tshomba J., Nyembo M., Ntumba N., Mushagalusa B., Muyambo M. and Nkulu M. (2015). Le maraîchage et ses fonctions dans le contexte socio-économique de Lubumbashi en RD Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11(2): 291–302.

Uddin B., Naznin S., Kawochar M., Choudhury R. and Awal M. (2014). Productivity of wheat and groundnut in intercropping system. *Journal Exploratory Biosciences* 5(2): 19-26.

Ullah A., Silalertruksa T., Pongpat P., and Gheewala S. (2019). Efficiency analysis of sugarcane production systems in Thailand using data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production* 238 (2019), 117877. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117877>.

USAID. (2015). Assessment of the DRC's agricultural market systems: value chains in the north & South Kivu and Katanga provinces. Rapport LEO n° 16. Washington DC, 199p.

Vallavieille-Pope C., Makram B., Bruno M. et Meynard J-M. (2006). Les associations de variétés : accroître la biodiversité pour mieux maîtriser les maladies. Dossier de l'environnement de l'INRA n° 30

Van den Broeck G., Swinnen J., and Maertens M. (2017). Global value chains, large-scale farming, and poverty: Long-term effects in Senegal. Food Policy, 66, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.12.003>.

Van der Werf H., Garnett T., Corson M., Hayashi K., Huisingsh D. and Cederberg C. (2014). Towards ecoefficient agriculture and food systems: theory, praxis and future challenges. Journal of Clean Production, 73:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.017>.

Van Vliet J., Schut A., Reidsma P., Descheemaeker K., Slingerland M., Van der Ven G. and Giller K. (2015). De-mystifying family farming: Features, diversity and trends across the globe. Global Food Security, 5, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2015.03.001>.

Vanlauwe B., Descheemaeker K., Giller K., Huisingsh J., Merckx R., Nziguheba G., Wendt J., and Zingore S. (2015). Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. Soil, 1, 491-508. <https://doi.org/10.5194/soil-1-491-2015>.

Vanlauwe B., Hungria M., Kanampiu F. and Giller K. (2019). The role of legumes in the sustainable intensification of African smallholder agriculture: Lessons learnt and challenges for the future. Agriculture, Ecosystems and Environment, 284, 106583. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106583>.

Veen E., Bock B., Van den Berg W., Visser A. and Wiskerke J. (2016). Community gardening and social cohesion: Different designs, different motivations. Local Environ., 21, 1271-1287. <https://doi.org/10.1080/13549839.2015.1101433>.

Velten S., Leventon J., Jager N. and Newig J. (2016). What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review. Sustainability 7 (6): 7833–7865. <https://doi.org/10.3390/su7067833>.

Venables W. and Ripley B. (2002). Modern Applied Statistics with S (4th ed.). Springer, New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>.

Verbruggen E., van der Heijden M., Rillig M. and Kiers E. (2012). Mycorrhizal fungal establishment in agricultural soils: factors determining inoculation success. New Phytologist 197(4): 1104–1109. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04348.x>.

Verchot L., Van Noordwijk M., Kandji S., Tomich T., Ong C. Albrecht A.,...Palm, C. (2007). Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(5): 901–918. <https://doi.org/10.1007/s11027-007-9105-6>.

Vidogbéna F., Adégbidi A., Tossou R., Assogba-Komlan F., Martin T. and Ngouajio M. (2015). Consumers' willingness to pay for cabbage with minimized pesticide residues in Southern Benin. *Environments* 2(4): 449–470. <https://doi.org/10.3390/environments204044>

Vlachostergios D., Lithourgidis S. and Roupakias G. (2010). Adaptability to organic culture system of lentil (*Lens culinaris Medik*) varieties developed from conventional breeding programs. *Agriculture Sciences* 149 (1): 85–93. <https://doi.org/10.1017/s002185961000050x>.

Vwima S., Mastaki J.-L., and Lebailly P. (2013). Le rôle du commerce frontalier des produits alimentaires avec le Rwanda dans l'approvisionnement des ménages de la ville de Bukavu (Province du Sud-Kivu). *Les Cahiers de l'Association Tiers Monde* (p. 28).

Wang M., Wu C., Cheng Z., Meng H. and Zhang M. (2014). Soil Chemical Property Changes in Eggplant/Garlic Relay Intercropping Systems under Continuous Cropping. *PLoS ONE* 9(10): e111040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111040>.

Wang Y., Zhu Y., Zhang S. and Wang Y. (2018). What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers? *Journal of Cleaner Production*, 199, 882–890. <https://doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.222>.

Wauters E., Biolders C., Poesen J., Govers G. and Mathijs E. (2010). Adoption of soil conservation practices in Belgium: An examination of the theory of planned behaviour in the agri-environmental domain. *Land Use Policy*, 27(1), 86–94. <https://doi:10.1016/j.landusepol.2009.02.009>.

Weerarathne L., Marambe B. and Chauhan B. (2017). Intercropping as an effective component of integrated weed management in tropical root and tuber crops: A review. *Crop Protection*, 95, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.010>.

Wiese A., Kellner J., Lietke B., Toporowski W. and Zielk S. (2012). Sustainability in retailing – a summative content analysis. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 40(4): 318–335. <https://doi.org/10.1108/09590551211211792>.

Wongnaa C., Awunyo-Vitor D., Mensah A., and Adams F. (2019). Profit Efficiency Among Maize Farmers and Implications for Poverty Alleviation and Food Security in Ghana. *Scientific African*, 6 (2019) e00206. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00206>.

Woodhouse P. (2010). Beyond industrial agriculture? Some questions about farm size, productivity, and sustainability. *Journal of agrarian change*, 10(3): 437-453. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0366.2010.00278.x>

World Bank. (2018). Democratic Republic of Congo Systematic Country Diagnostic Policy Priorities for Poverty Reduction and Shared Prosperity in a Post-Conflict Country and Fragile State. Report No.112733-ZR. Africa region, 166p. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/171101529346675751/pdf/DRC-SCD-FINAL-ENGLISH-06132018.pdf>.

Xia H., Wang L., Xue Y., Kong W., Xue Y., Yu R., ... ;Guo X. (2019). Impact of Increasing Maize Densities on Agronomic Performances and the Community Stability of Productivity of Maize/Peanut Intercropping Systems. *Agronomy*, 9(3), 150. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030150>.

Xiao X., Cheng Z., Lv J., Xie J., Ma N. and Yu J. (2019). Green garlic (*Allium sativum* L.) based intercropping system reduces the strain of continuous monocropping in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by adjusting the micro-ecological environment of Soil, *peers*, 7:e7267. <https://doi.org/10.7717/peerj.7267>.

Xiao X., Cheng Z., Lv J., Xie J., Ma N. and Yu J. (2019). Green garlic (*Allium sativum* L.) based intercropping system reduces the strain of continuous monocropping in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by adjusting the micro-ecological environment of Soil, *peers*, 7:e7267. <https://doi.org/10.7717/peerj.7267>

Xu Q., Xu H., Qin F., Tan J., Liu G. and Fujiyama S. (2010). Relay intercropping into tomato decreases cabbage pest incidence, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8 (3&4): 1037-1041.

Yang T., Siddique K., Liu K. (2020). Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review, *Global Ecology and Conservation* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118>.

Yaseen M., Singh M. and Ram D. (2014). Growth, yield and economics of vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) under intercropping system. *Industrial Crops Products* (61): 417–421. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.07.033>.

Yildirim E. and Guvenc I. (2005). Intercropping based on cauliflower: more productive, profitable and highly sustainable. *European Journal of Agronomy*, 22(1): 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.11.003>.

Yildirimand E. and Turan M. (2013). Growth, yield and mineral content of Broccoli intercropped with lettuce. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 23(3): 919-922.

Yu Y., Stomph T., Makowski D. and van der Werf W. (2015). Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 184, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.010>.

Zahm F., Ugaglia A., Barbier J., Boureau H., De l’Homme B. and Gafsi M. (2019). Évaluer la durabilité des exploitations agricoles. La méthode IDEAv4, un cadre conceptuel combinant dimensions et propriétés de la durabilité. *Cahiers Agricultures* 28: 5. <https://doi.org/10.1051/cagri/2019004>.

Zhang E. and Duan Y. (2017). Effects of long-term nitrogen and organic fertilization on antioxidants content of tomato fruits, *Journal of Horticulture*, 3, 1-8.

Zhao Q., Zhu J. J., Qin Y., Pan P., Tu H., Du W... Baxendale F. (2013). Reducing whiteflies on cucumber using intercropping with less preferred vegetables. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 150(1): 19–27. <https://doi.org/10.1111/eea.12135>.

Zhou J., Li B., Xia L., Fan C., and Xiong, Z. (2019). Organic-substitute strategies reduced carbon and reactive nitrogen footprints and gained net ecosystem economic benefit for intensive vegetable production. *Journal of Cleaner Production*, 225, 984–994. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.191>.

Liste des publications et communications

Publications de la thèse

Articles publiés

Ndjadi, S., Vumilia, K., Ahoton, E.L., Saïdou., Bello, O. D., Mugumaarhahama, Y., Kazamwali, & Gustave Mushagalusa N. (2020). Typology and Prospects for the Improvement of Market Gardening Systems in South-Kivu, Eastern of DR Congo, Journal of Agricultural Science, 12, 6. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n6p136>.

Ndjadi, S., Ahoton, E.L., Kizungu, R.V., Saïdou, A., Mugumaarhahama, Y., Mushagalusa, A.C., Safina, F.B., & Mushagalusa, G.N. (2021). Évaluation de la durabilité des exploitations maraîchères au Sud – Kivu (Est de la République Démocratique du Congo) Cahiers Agricultures 30(15). <https://doi.org/10.1051/cagri/2020050>.

Article en évaluation

Ndjadi, S., Vissoh, P., Kizungu, V., Mondo, M., Mugumaarhahama, Y., Saidou, A., Mushagalusa, G.N. Ahoton, L., (2021). Yield potential and land-use efficiency of onion intercropped with groundnut under organic soil fertility management in Eastern DR. Congo. Organic Agriculture. In press.

Articles à soumettre

Ndjadi, S., Ahoton, L., Vissoh, V. P., Kizungu, V., Mondo, M., Saïdou, A., Mushagalusa, N. (2021). Organic fertilizers and intercropping-based systems in vegetable production: benefits and prospects. A review.

Ndjadi, S., Vumilia, K., Ahoton, E.L., Saïdou, A., Bello, O. D., Mugumaarhahama, Y., Kazamwali, & Gustave Mushagalusa N. (2020). Profit efficiency and appraisal of onion – peanut intercropping systems under organic soil fertility management in South-Kivu, Eastern D.R. Congo.

Autres publications

Vumilia, K., Mobula, M., Bugeme, M., Bisimwa, B., Lukombo, J-C., **Ndjadi S....**Kimwanga, N. (2021). Transition vers l'agroécologie (TVA) dans une ferme familiale en vue

d'améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, la résilience et le bien-être des ménages à Kinshasa. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 02, 40 – 52. <http://www.rafea-congo.com>.

Cokola, C., **Ndjadi S.**, Bisimwa B., **Ahoton, E.L.** and Francis F. (2021). First report of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Onion (*Allium cepa* L.) in South Kivu, Eastern DR Congo. *Revista Brasileira de Entomologia*, 65(1): e20200083. .

Mugumaarhahama, Y., Mondo, M., Cokola M., **Ndjadi, S.**, Mutwedu, B...Nachigera, M. (2021). Socio-economic drivers of improved sweet potato varieties adoption among smallholder farmers in South-Kivu Province, DR Congo, *Scientific African*, Scientific African 12 (2021) e00818. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00818>.

Basimine, C., Ndeko, B., Mulalisi, B., Safina, B., **Ndjadi, S.**, Nachigera, G. (2021). Post-harvest Constraints of *Solanaceae* Species Produced in Kabare Wetlands, Eastern of DR Congo, *Agriculture Research*, 6, 6 (586). <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00586-4>.

Mugumaarhahama, Y., Mutwedu, B., Muzee, K., Ciza, M., Bantuzeko, K., **Ndjadi, S.**, Ndeko B., Cirezi C., Ciza A. and Ayagirwe B. (2020). Typology of smallholder's pig production systems in South Kivu, Democratic Republic of Congo: Challenges and opportunities. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 121: 135–146 <https://doi.org/10.17170/kobra-202005281301>.

Ndeko, B., Chuma, B., Mugumaarhahama, Y., **Ndjadi S.**, Bukomarhe, C. and Kulimushi, Z. (2019). Diagnostic des systèmes de production à base du sorgho dans les hautes et basses altitudes au Sud - Kivu à l'Est de la RDC : perspectives d'amélioration de la filière, *Afrique Science*, 15(1) : 37 – 49. <http://www.afriquescience.net>.

Ndjadi, S., Basimine, G., Masudi, F., Kyalondawa, M., Mugumaarhahama, Y. and Vwima, S. (2019). Déterminants de la performance des exploitations agricoles à Kabare, Sud-Kivu, Est de la RD Congo. *Agronomie Africaine*, 31(2): 199-212.

Zamukulu, P., Mondo, J., Kalumire, P., Ayagirwe, R., Bagula, E., Katcho, K., Katunga, D., Baboy, L., Njukwe, E., Nabahungu, L., Lubobo, A., **Ndjadi, S.** and Mushagalusa, G., (2018). Réponse du soja (*Glycine max* L.) à des doses croissantes du DAP et Urée au Sud-Kivu, RD Congo. *Journal of Applied Biosciences* 122:12309-12318, <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v122i1.10>.

Ndjadi, S S., N'naka, R., Mudosa, B., Cuma, B. et Bisimwa, B. (2017). Analyse des déterminants de l'adoption des variétés du manioc dans le Sud - Kivu, République Démocratique du Congo, *Afrique Science*, 13(3) (2017) : 113 – 124. <http://www.afriquescience.info>.

Ndjadi, S., Mubalama, M., Musafiri, P., Cuma, B., Cinyabuguma, L. and Bisimwa, B., (2016). Evaluation of the productivity of seven varieties of wheat (*Triticum aestivum*) through integrated soil fertility management in Kaziba, South Kivu, DR Congo, *Field Actions Science Reports* [Online], Vol. 9 | 2016, Online since 08 December 2016, connection on 09 December 2016. URL : <http://factsreports.revues.org/4244>.

Participation aux séminaires et colloques scientifiques

Juin 2021 : Participation à une conférence virtuelle sur l'intensification agricole pour une autonomie et sécurité alimentaire en RD. Congo : Cas de la ferme le Phare à Kinshasa, le 05 juin 2021, Ferme le Phare, RD. Congo avec une communication intitulée :

Association culturelle comme outil de durabilité en maraîchage : Contraintes et opportunités

Septembre 2020 : Participation à une conférence sur le Renforcement de la résilience des petits producteurs ruraux aux changements environnementaux et diffusion des innovations agro-écologiques, la Plate forme Diobass au Kivu, Bukavu, RD. Congo, le 12 septembre 2020 avec une présentation intitulée : *Les savoirs locaux dans la recherche agronomique : rôles des diagnostics globaux et spécifiques*

Juillet 2020 : Participation à une conférence virtuelle sur l'accès à la nourriture en Afrique dans un système agroalimentaire en pleine transformation, Réseau Ruforum, le 29 juillet 2020.

Avril 2020 : Participation à une conférence virtuelle sur les systèmes alimentaires durables : Agriculture nutrition Rendre l'agriculture et les systèmes alimentaires sensibles à la nutrition : FAO, le 28 avril, 2020.

Mai 2018 : Participation à une conférence sur la journée des doctorants, Université Evangélique en Afrique, Campus Ruhigita, Sud – Kivu, RD. Congo, le 21 mai 2018 avec une présentation intitulée : *Aptitude d'utilisation des terres dans les écosystèmes maraîchers du Sud-Kivu, Est de la RD. Congo : Analyse systémique de la permaculture*

Mai 2018 : Participation à une conférence sur la physiologie végétale et ses applications au service du développement de l'agriculture : cas de l'igname et des cultures maraîchères sur le campus d'Abomey-Calavi, Bénin, du 27 au 29 mai 2018.

Biographie



Shakanye NDJADI Serge est né le 9 septembre 1984 à Mbandaka (République Démocratique du Congo). Après l'obtention de son diplôme de baccalauréat en 2005 en section commerciale et administrative à l'Ecole d'Application de l'ISP-Bukavu (EDAP/ISP), il rejoint en 2006 la faculté des Sciences Agronomiques et Environnement de l'Université Evangélique en Afrique à Bukavu (RD. Congo). En 2011, il obtient son diplôme d'ingénieur Agronome en Phytotechnie. Pour ses travaux de fin du cycle d'Ingénieur, il a bénéficié d'un appui financier du Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI) à travers la plateforme Diobass au Kivu, projet « la gouvernance des ressources naturelles collectives : opportunités, défis et perspectives ». Au sein du sous - projet introduction des nouvelles technologies en agriculture, il a conduit ses travaux de recherche sous le thème « **Effet des pratiques hydroagricoles sur le comportement du maïs (*Zea mays*) dans les zones chaudes : Cas de la plaine de la Ruzizi, Sud – Kivu, Est de la RD. Congo** ». De Novembre 2011 à septembre 2014, il a travaillé au Centre International d'Agriculture Tropicale (CIAT) au sein du projet HarvestPlus, où il s'occupait du développement variétal et de la dissémination des cultures bio fortifiées. En 2013, il est engagé comme assistant de recherche et d'enseignement au sein de la faculté des Sciences Agronomiques et Environnement de l'Université Evangélique en Afrique jusqu'à ces jours. En 2014, il bénéficie d'une bourse du Centre International d'Agriculture Tropicale (IITA) financé par le Fond International pour le Développement Agricole (FIDA), projet « Systèmes intégrés pour les tropiques humides CRP 1.2 - "Atteindre l'impact sur le développement et la durabilité environnementale par l'intensification des systèmes des culture pro - pauvres basés sur le manioc, l'igname et les légumineuses". Grâce à cette bourse, il va effectuer sa maîtrise en Sciences de l'environnement, option gestion durable des eaux et forêts sous le thème : « **Productivité des systèmes des cultures manioc – légumineuses à travers les arrangements spatiaux, la fertilisation inorganique et la défoliation au Sud – Kivu** ». En 2017, il est sélectionné par son Université pour une formation doctorale à l'Université d'Abomey – Calavi. Cette formation s'inscrit dans le cadre d'une collaboration tripartite entre l'Université Evangélique en Afrique, l'Université d'Abomey – Calavi et le RUFORUM (Le Forum des universités régionales pour le renforcement des capacités en agriculture). Passionné par l'agriculture durable et le développement des systèmes des cultures y relatifs pour la durabilité de la production agricole, il a proposé pour sa thèse un projet intitulé « **Systèmes de culture et durabilité des pratiques agricoles au Sud-Kivu (République Démocratique du Congo)** » pour répondre à la problématique de la vulnérabilité du système des cultures maraîchères, lequel projet a été validé et retenu par son comité doctoral.

Serge s'intéresse actuellement au développement d'un programme interdisciplinaire qui lie les sciences sociales et les sciences naturelles appliquées pour la durabilité de la production et des facteurs de production agricole. Son objectif de carrière immédiat est un poste d'enseignement et de recherche et un post-doc pour contribuer à la production de connaissances au service du développement de l'agriculture africaine.