

TECHNIQUES DE GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS DANS LES SYSTEMES A BASE D'IGNAME ET LEURS PERFORMANCES DANS LES CONTEXTES DIVERSIFIES EN COTE D'IVOIRE

E. OKA^{1*}, J. YEBOU², L. S. ADOU³, V. K. HGAZA⁴, D. DAO⁵, R. L. MONGBO⁶, A. FLOQUET⁷

^{1, 2, 6, 7}Université d'Abomey-Calavi, BP 526 Cotonou, Bénin. jeremieyebou@gmail.com, rochl_mongbo@yahoo.fr, anneb.floquet@gmail.com

Centre Suisse de Recherches Scientifique (CSRS), 01 BP 1303 Abidjan, Côte d'Ivoire. estheroka2014@gmail.com, hgaza.kouame@csrs.ci, daouda.dao@csrs.ci

^{3, 5}Université Félix Houphouët-Boigny, 01 BPV 34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire, landryadou@gmail.com

⁴Université Peleforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korhogo, Cote D'Ivoire.

*Auteur correspondant : estheroka2014@gmail.com

RESUME

Pour contribuer à ralentir la dégradation de la fertilité des sols, le projet de «recherche pour le développement» YAMSYS développe des techniques de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), à base des fertilisants minéraux et organiques, testées par les agriculteurs dans leurs propres exploitations. Au regard, de l'exigence de l'igname pour les sols riches en matière organique, la technologie avec la fumure organique devrait être la plus performante. Les données ont été collectées sur les essais paysans de 2017 et 2018 à Tiéningboué, Côte d'Ivoire. Une analyse de sensibilité, basée sur l'inférence statistique et la budgétisation partielle, permet d'évaluer les performances des techniques de GIFS. Les niveaux de rendement et prix actuels montrent que la technique utilisant des engrais minéraux est la plus performante, surtout pour *Dioscorea rotundata*. Avec les techniques de GIFS, les marges brutes sont positives et globalement supérieures à celles de la pratique courante dans le contexte où seules des charges spécifiques (préparation du sol et achat de produits phytosanitaires) nécessitent une sortie de trésorerie ; tandis que la plupart des travaux sont réalisés avec les ressources familiales des agriculteurs. Les coûts de production varient de 292 201 Fha⁻¹ à 572 481 Fha⁻¹ selon la technique de GIFS et l'espèce d'igname. Bien que, le rendement commercialisable des techniques de GIFS présente un potentiel de 20 tha⁻¹ en milieu paysan, les résultats technico-économiques révèlent une forte variabilité inter et intra-espèces. En définitive, la recherche collaborative devra se poursuivre pour mieux comprendre et atténuer les sources de variabilité, proposer des sources alternatives de matières organiques et minérales plus accessibles et moins coûteuses, et pour accompagner la diffusion des GIFS par le biais de la plateforme d'innovation.

Mots clés : Performance, Gestion intégrée de la fertilité des sols, igname, budget partiel, analyse de sensibilité.

ABSTRACT

INTEGRATED SOIL FERTILITY MANAGEMENT TECHNIQUES IN YAM-BASED SYSTEMS AND THEIR PERFORMANCE IN DIVERSIFIED CONTEXTS IN CÔTE D'IVOIRE

To contribute for slowing down soil fertility degradation, the YAMSYS «research for development» project is developing integrated soil fertility management (ISFM) techniques, based on mineral and organic fertilisers, tested by farmers on their own farms. As yam requires soil rich in organic matter, the technology with organic fertiliser is expected to perform best. Data were collected on 2017 and 2018 farmer trials in Tiéningboué, Côte d'Ivoire. A sensitivity analysis, based on statistical inference and partial budgeting, is used to assess the performance of ISFM techniques. Current yield and price levels

show that the technique using mineral fertiliser performs best, especially for *Dioscorea rotundata*. With ISFM techniques, gross margins are positive and overall higher than with current practice in the context where only specific expenses (soil preparation and purchase of phytosanitary products) require a cash outflow; while most of the work is done with farmers' family resources. Production costs vary from 292,201 Fha⁻¹ to 572,481 Fha⁻¹ depending on the ISFM technique and the yam species. Although marketable yield of ISFM techniques has a potential of 20 tha⁻¹ in farmers' fields, the technical and economic results reveal high inter- and intra-species variability. Ultimately, collaborative research should continue to better understand and mitigate the sources of variability, to propose alternative sources of organic and mineral matter that are more accessible and less costly, and to support the dissemination of ISFMs through the innovation platform.

Key words: Performance, integrated soil fertility management, yam, partial budget, sensitivity analysis.

INTRODUCTION

La dégradation des ressources naturelles notamment des terres s'accroît en Afrique subsaharienne et rend les producteurs agricoles vulnérables aux menaces de la pauvreté (Liniger *et al.*, 2011). Ainsi, dans le contexte du centre-nord de la Côte d'Ivoire, la pratique de la culture de l'igname, sans apport de fertilisant et de façon générale sans technique de gestion durable de la fertilité des sols, accélère la dégradation de ces sols (Oka *et al.*, 2021). En effet, l'igname est traditionnellement plantée en tête de rotation et après une longue jachère, car considérée comme exigeante en fertilité du sol, en ce sens qu'elle répond mieux sur des sols riches en matière organique (Carsky *et al.*, 2010). L'importance de la fertilité des sols pour l'igname a été illustrée par Diby *et al.* (2009) qui ont montré que les rendements en tubercules mesurés sous le même climat, sans apport d'engrais, pendant deux années successives étaient plus élevés (40 tha⁻¹ pour *Dioscorea alata* et 21 tha⁻¹ pour *Dioscorea rotundata*) sur un sol riche en matière organique après une jachère forestière de longue durée. Tandis que sur un sol pauvre en matière organique après une jachère de longue durée dérivée de la savane, les rendements obtenus sont 21 tha⁻¹ pour *D. alata* et 3,7 tha⁻¹ pour *D. rotundata*. De même, Kassi *et al.* (2017) rapportent une relation positive entre les stocks de carbone organique du sol et les rendements en tubercules de *D. rotundata* avec des rendements maximums obtenus après les jachères forestières et *Chromolaena odorata*.

De ce fait, l'igname affecte négativement la fertilité des sols. Tant que la terre est disponible, les jachères naturelles de longue durée compensent ces périodes d'appauvrissement des sols par les exportations de l'igname. Mais

dans les régions où les terres sont devenues rares, les agriculteurs cultivent l'igname après seulement une année de jachère ou sans jachère (Maliki *et al.*, 2012). De même, Oka *et al.* (2021) mettent en évidence la raréfaction, d'une part des parcelles de forêt préférées par les agriculteurs pour l'obtention de meilleurs rendements et d'autre part des parcelles agricoles en général du fait de l'installation des vergers d'anacardier dans les systèmes courants de production à base d'igname à Tiéningboué, site concerné par les présents travaux. Dans ces conditions, les pratiques culturales conduisent à la dégradation des sols et à une faible productivité, et ne sont donc pas durables (Frossard *et al.*, 2017).

Face à cette situation, le projet de recherche-développement YAMSYS développe des innovations de gestion intégrée de la fertilité des sols cultivés en igname dans des essais appelés « essais-mères ». Ces innovations sont élaborées conjointement au sein d'une plateforme d'innovation (PI) (Frossard *et al.*, 2019). Puis, des producteurs ont sélectionné des innovations qui, selon eux, correspondraient à leurs objectifs, et testé dans leurs propres champs dans des « essais fils » (Kiba *et al.*, 2020).

Au regard des travaux des auteurs qui relèvent les exigences de la culture de l'igname en matières organiques des sols, l'hypothèse émise est que les options de GIFS proposées (particulièrement le paquet technologique avec la fumure organique) seraient plus performantes que les pratiques courantes de production d'igname à Tiéningboué.

Toutefois, les travaux antérieurs ont montré que les résultats des essais sur l'igname sont souvent difficiles à interpréter car de nombreux facteurs, souvent non signalés dans les

publications, ont un impact sur les rendements en tubercules. Il s'agit des conditions météorologiques, du cultivar, de la qualité et du poids des semences d'igname, de la densité et de la date de plantation, des mauvaises herbes, maladies et ravageurs, et de l'historique de la parcelle (Rodriguez-Montero *et al.*, 2001 ; Cornet *et al.*, 2016). Par exemple, l'hétérogénéité de la germination de l'igname due à la qualité hétérogène des semences d'igname conduit à une grande variabilité du rendement qui peut estomper tout effet du traitement (Cornet *et al.*, 2014). Ainsi, dans le but de s'assurer des performances des technologies de la recherche, condition d'un transfert optimal vers les producteurs, cet article expose d'abord les cadres théorique et méthodologique. Ensuite, les performances technico-économiques des innovations dans différents contextes socio-économiques sont analysées puis discutées. Enfin les recommandations et les perspectives pour faciliter l'incorporation de ces innovations dans les systèmes d'exploitation sont formulées.

METHODOLOGIE

ECHANTILLON ET DONNEES COLLECTEES

Les localités qui ont abrité les essais fils s'étendent de la sous-préfecture de Tiéningboué (Latitude 8,2335 ; Longitude -5,6589) où le projet YAMSYS est installé avec l'essai mère à la sous-préfecture voisine qui est Bouandougou (Latitude 8,2159 ; Longitude -5,6696). Les données agronomiques et économiques ont été collectées chez les producteurs ayant abrités des essais fils (2017 et 2018). Ces données concernent : les caractéristiques sociodémographiques, les différentes techniques de YAMSYS testées, les rendements, les charges et produits de chaque option.

Description et objectifs des innovations

Le dispositif expérimental appelé « essai fils » et mis en place par le paysan sur son exploitation, se compose de deux parcelles abritant chacune un traitement (T0 et T1). Son objectif général est de poursuivre le processus d'évaluation des innovations testées dans les essais mères.

T0 (Témoin) : Pratiques habituelles du producteur (ses propres semences, ses opérations d'entretien et de récolte).

T1 (innovation choisie) : choix d'un paquet technique composé des innovations regroupées en cinq (5) catégories : travail du sol (buttes serrées ou billons), semence saine, options de fertilisation (organique, minérale, organo-minérale), le tuteurage (avec ou sans) et le stockage des tubercules. La parcelle T1 a une superficie minimale de 2500 m².

Toutes les techniques de GIFS de YAMSYS et les pratiques courantes sont présentées dans le Tableau 1. Cependant l'évaluation des performances technico-économiques se limitera aux techniques testées par les producteurs pendant la collecte des données. Ce sont la technique des buttes serrées, le traitement de semences, les différentes options de fertilisation et le tuteurage.

CADRE THEORIQUE DE L'ANALYSE DE PERFORMANCE

Les travaux sur la performance dans le domaine agricole évaluent la relation existante entre la production et les facteurs de production utilisés et renvoient au calcul d'efficacité (N'diaye, 2018). Farrell (1957) décompose l'efficacité économique en deux termes distincts que sont l'efficacité technique et l'efficacité allocative. Une exploitation agricole est économiquement efficace si elle a une bonne maîtrise technique et qu'elle alloue de manière efficace ses ressources productives à condition que ces niveaux d'efficacité technique et allocative soient atteints simultanément.

Dans le contexte de la présente étude, l'indicateur d'efficacité technique se rapporte à l'évaluation de la productivité de la terre (rendement par unité de surface) alors que le profit sera utilisé comme indicateur de performance économique (Dègla, 2012).

ANALYSE DES PERFORMANCES TECHNIQUES

L'analyse des performances techniques consiste à comparer la productivité de la terre (le rendement à l'hectare), la structure du produit et la quantité de travail nécessaire pour la production de l'igname (notamment le temps de travail de récolte par unité de rendement) selon les différentes options de fertilisation.

Tableau 1 : Description des techniques de GIFS de YAMSYS et les pratiques courantes en 2018.

Description of YAMSYS' GIFS techniques and current practices in 2018.

Groupes	Techniques et objectif	Description de techniques de GIFS	Description des pratiques courantes
Travail du sol	Billons Gérer l'eau de pluie et réduire les pertes par évaporation	Il s'agit de planter l'igname sur des billons de 25 m de long avec un espacement d'un (1) m entre billon et entre les plants d'igname. La densité de plantation est ainsi de 10'000 plants ha ⁻¹ .	Les producteurs cultivent l'igname sur des buttes avec des densités variant de 4000 à 6000 buttes ha ⁻¹ . La culture de l'igname sur billon n'est pas encore pratiquée dans la zone.
	Buttes serrées améliorer la densité de plantation	Il s'agit de confectionner des buttes bien serrées à la densité de 10'000 buttes ha ⁻¹ . Ces buttes seront remontées à 90 – 100% de germination grâce à l'utilisation de semenceaux sains.	
Semences propres	Améliorer le taux de germination des semences.	Utilisation d'une semence saine (tubercule entier d'environ 200 - 250g) ou ; un fragment de tubercule d'environ 200 – 250g assaini par un traitement phytosanitaire. Le traitement phytosanitaire consiste à tremper les fragments de tubercule pendant 10 mn dans une solution composée de 2 options de mélange. L'option 1 est un mélange de 150 g de cendre de bois, 100 g de manèbe ou mancozèbe et 10 L d'eau. L'option 2 est un mélange de 100 g de manèbe ou mancozèbe, 50 ml d'oxamyl 240 g L ⁻¹ , 75 ml de chlorpyrifos 450 g L ⁻¹ et 10 L d'eau.	Dans la pratique courante le traitement des semences est réalisé seulement en cas d'observation de signe visibles de présence d'œuf de cochenille sur les tubercules, appelé par les producteurs "peau recouverte de potasse". Les insecticides contre les chenilles et acariens du cotonnier sont utilisés pour le traitement de semences d'igname. La quantité de semence atteint est en moyenne 1.4tha ⁻¹ et 2.4tha ⁻¹ pour <i>D. alata</i> et <i>D. rotundata</i> respectivement.
Fertilisation Cette innovation vise à améliorer le rendement en restituant au sol une partie des exportations provoquées par la récolte des tubercules.	Minérale NPK	Il s'agit d'appliquer la dose de 114-14-168 et 120-40-190 kg ha ⁻¹ de N(urée)-P(super triple phosphate)-K(K ₂ SO ₄), respectivement, sur <i>D. rotundata</i> et <i>D. alata</i> en 2 apports égaux par épandage en plein ; le premier intervient à 90 – 100% de germination et le second à l'initiation du tubercule.	Il n'y a pas de fertilisation dans les systèmes de production courant. La gestion de la fertilité des sols a lieu grâce à la mise en jachère des terres de plus en plus rare et des rotations de cultures pas encore stable. Les intrants fortement utilisés sont les herbicides pour réduire le travail de la main d'œuvre familiale.
	Organique	Il s'agit d'appliquer en fond 7.34 et 7.76 t ha ⁻¹ de fumier de poule, respectivement, sur <i>D. rotundata</i> et <i>D. alata</i> au moment de la confection des buttes ou des billons par épandage en plein.	
	Organo-minérale	Il s'agit d'appliquer en fond 3,67 et 3.88 t ha ⁻¹ de fumier de poulet, respectivement, sur <i>D. rotundata</i> et <i>D. alata</i> au moment de la confection des buttes ou des billons par épandage en plein. Un second apport de 57-7-84 et 60-20-95 kg ha ⁻¹ de N (urée)- P (super triple phosphate) -K(K ₂ SO ₄), respectivement est réalisé sur <i>D. rotundata</i> et <i>D. alata</i> par épandage en plein à l'initiation du tubercule.	

Tuteurage	un système de tuteurage qui consomme moins de bois	Il s'agit d'utiliser des bois fourchus que l'on plante en ligne suivant les lignes de buttes ou les billons sur toute la parcelle. Un troisième bois non fourchu est posé sur 2 bois fourchus consécutifs (Figure 1). Chaque plant d'igname est relié au 3 ^{ème} bois en position transversale sur les 2 bois fourchus par un fil en nylon. Une ligne de bois de tuteurs de ce système sert à tuteurer 4 lignes de buttes ou billons.	Le tuteurage n'est systématique. Les producteurs réalisent le tuteurage de quelques plants à l'aide des rares arbres (tués par le feu mais pas abattus) abandonnés sur la parcelle.
Stockage des tubercules	Améliorer la conservation	Les tubercules récoltés sont stockés dans un hangar sur des tables confectionnées exclusivement avec du matériel local (Figure 2). Les tubercules stockés sont régulièrement dégermés pendant la conservation.	Le stockage courant occasionne des pertes et conduit à l'obtention de semence de mauvaise qualité. C'est la raison pour laquelle les taux de germination de la pratique courante sont faibles.



Figure 1 : Système de tuteurage YAMSYS.
YAMSYS staking system.

Source : Auteur, 2020.



Figure 2 : Conservation des tubercules et des semences placés sur des tables sous hangar et un dégermage régulier pendant la conservation.

Storage of tubers and seeds on tables in a shed and regular degermination during storage.

Source : Auteur, 2020.

Test de comparaison des rendements et structure du produit

Deux types de rendements moyens sont comparés pour chaque traitement. D'une part, le rendement total en tubercules frais qui est la production totale ramenée à l'unité de surface. D'autre part, le rendement en tubercules commercialisables qui est la quantité de produit jugée commercialisable par le producteur et ramenée à l'unité de surface, après un tri des tubercules. Dans le contexte de cette étude, le test de Shapiro révèle que les variables ne suivent pas une distribution normale. Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis adapté pour de petits échantillons est utilisé (Kiba et. 2020). Une comparaison de rendements (T1-T0) est effectuée pour calculer le pourcentage de cas où une option de fertilisation (T1) est supérieure à celui du témoin (T0). La structure du produit est déterminée à l'issue d'un tri de la production

réalisés par les producteurs. Ce tri conduit à une catégorisation des tubercules en « gros », « moyen », « petit », « rebut », « pourri ».

Pour apprécier la performance technique de chaque type de fertilisation, une analyse par quintile est réalisée.

Temps des travaux

Les temps de travaux agricoles quantifiés suivants trois composantes sont comparés. D'abord en homme jour (HJ) qui correspond au nombre d'hommes pouvant réaliser une activité en une journée, sachant que la journée correspond à 8 heures de travail. Ensuite, en femmes jour (FJ) qui correspond au nombre de femmes pouvant réaliser une activité en une journée. Et enfin en jour de travail en culture attelée (J/BCA) qui correspond au nombre de jours nécessaires pour réaliser une activité en

semi-mécanisation à l'aide d'une paire de bœufs.

ANALYSE DES PERFORMANCES ECONOMIQUES

L'analyse des performances économiques consiste à établir la structure des coûts. Puis, une analyse de sensibilité est réalisée à l'aide de l'établissement du budget partiel dans différents contextes de production. Sur la base de l'outil d'évaluation technico-économique de la production de l'igname « Ignamarge » développé par Causeret *et al.* (2012). Il s'agit d'une feuille de calcul Excel qui permet de simuler l'impact de différents changements technico-économiques (changement de pratiques ou innovations culturelles, évolution des prix, etc.). Les paramètres d'entrée sont les charges de main d'œuvre, d'intrants, les prix de vente et les rendements. Puis en sortie du simulateur, on obtient la marge brute (MB), le seuil de rentabilité (SR). Toutes les valeurs monétaires sont en franc CFA. 1 Euro = 656 Francs CFA.

Détermination de coûts des techniques de GIFS proposées

Les techniques testées par les producteurs dans les essais fils au moment de la collecte des données et retenues pour l'évaluation des coûts sont la confection de 10 000 buttes/ha, les options de fertilisations (minérale, organique, organo-minérale), le traitement des semences, le tuteurage. Le transport des engrais (Tableau 2) s'évalue à 10 Fkg⁻¹ (déclaration des transporteurs de Tiéningboué, 2018). Ces intrants ne sont pas usuellement disponibles dans la zone de production de Tiéningboué et ont dû être acheminés pour les besoins des tests. Le coût de chaque technique est calculé en additionnant la valeur monétaire du travail, des intrants et des coûts de transport.

Etablissement du budget partiel

Le budget est une façon de résumer les coûts et les revenus afférents à une activité particulièrement exercée sur une exploitation.

Au sens large, un budget est la différence entre un flux et son utilisation. Il y a plusieurs types de budget : le budget global, le budget par activité et le budget partiel. Pour la présente étude, la budgétisation partielle est retenue comme outil d'analyse de la rentabilité.

Le budget se veut un outil permettant au producteur d'étudier les diverses options envisagées dans le but de modifier une partie de son exploitation. La base de l'analyse des valeurs relatives réside donc dans ce que l'agriculteur fait actuellement. Les divers scénarii permettent une comparaison des charges, produits et la marge brute des différentes options d'activité.

La marge brute (MB) est la différence entre le produit commercialisable (rendement (R_c) multiplié par le prix de vente (Prix Igname)) et les coûts de production (C_{prod}).

Le rendement commercialisable est le produit du rendement brut (R_b) par le taux du rendement brut potentiellement commercialisable (α).

$$R_c = \alpha * R_b \quad (1)$$

Les coûts de production s'obtiennent par le produit scalaire de deux vecteurs à savoir le vecteur de quantité de facteurs de production

($\overrightarrow{Q_{facteurs}}$) et le vecteur prix des facteurs de production ($\overrightarrow{Prix_{facteurs}}$). Ainsi pour mettre

en relief les paramètres susceptibles de varier dans chaque option de production, le coût de production est exprimé comme une fonction ayant pour variables explicatives : le rendement brut obtenu ; le temps de travail de récolte exprimé par tonne de produit avec (C_r le coût moyen du travail pour la récolte d'une tonne de tubercules d'igname) ; les différentes quantités de fertilisants utilisés (urée « Q_N », super tri phosphate « Q_P » sulfate de potassium « Q_K » fumier « Q_{fumier} », leurs prix respectifs ($Prix_N$, $Prix_P$, $Prix_K$, $Prix_{fumier}$) et le prix unitaire du transport pour acheminer les fertilisants du lieu d'achat à la zone de production ($Prix_{transport}$).

$$C_{Prod} = \overrightarrow{Q_{facteurs}} \cdot \overrightarrow{Prix_{facteurs}}$$

$$C_{Prod} = C_r * R_b + Q_N * Prix_N + Q_P * Prix_P + Q_K * Prix_K + Q_{fumier} * Prix_{fumier} + Q_{engrais} * Prix_{transport} + autres\ coûts \quad (2)$$

$$(1) \text{ et } (2) \text{ MB} = (\alpha * \text{Prix}_{\text{Ignose}} - C_r) * R_b - (\beta + \text{autres coûts}) \quad (3)$$

Avec

$$\beta = Q_N * \text{Prix}_N + Q_P * \text{Prix}_P + Q_K * \text{Prix}_K + Q_{\text{fumier}} * \text{Prix}_{\text{fumier}} + (Q_N + Q_P + Q_K + Q_{\text{fumier}}) * \text{Prix}_{\text{transport}}$$

$$SR = \beta + \text{autres coûts} / \alpha * \text{Prix}_{\text{Ignose}} - C_r$$

β étant les coûts liés à la fertilisation.

Le produit en valeur est le rendement multiplié par le prix unitaire de vente à la récolte. Ce prix unitaire est de 80 Fkg⁻¹ pour *D. alata* et 150 Fkg⁻¹ pour *D. rotundata*. Ensuite les charges en temps de travail et intrants de chaque pratique sont déterminées. La structure des coûts de l'activité de production de l'igname permet de mettre en relief la proportion de chaque type de charge dans les coûts totaux.

Les seuils de rentabilité (SR) qui correspondent ici au niveau de rendements commercialisable puis brut qui annulent les charges totales de chaque pratique sont déterminés. Puis, le risque de perdre son investissement qui correspond au pourcentage de parcelles ayant obtenu un rendement inférieur au seuil de rentabilité est aussi déterminé.

$$\text{Risque} = n/N * 100$$

n = Nombre de parcelles ayant un rendement inférieur au seuil de rentabilité pour une option de fertilisation

N = Nombre de parcelles pour une option de fertilisation

Dans l'optique d'identifier le contexte dans lequel les options de GIFS offrent la meilleure rentabilité, les marges brutes sont calculées suivant deux (2) scénarii (Tableau 2) pour chaque espèce. En effet, les charges spécifiques pouvant occasionner une sortie de trésorerie sont : la préparation du sol (confection des buttes +/- épandage de fumier) et l'achat de produits phytosanitaires (pesticides et fertilisants). Ce contexte correspond à la pratique courante des exploitations où les autres tâches de l'activité igname sont réalisées par la main d'œuvre familiale et où la semence de la campagne en cours est issue de la récolte précédente. Par ailleurs, le contexte d'une sortie de trésorerie pour toutes les charges correspond à la situation d'une agriculture à temps partiel où le producteur

doit avoir recours à de la main d'œuvre rémunérée pour toutes les opérations ; c'est le cas quand l'agriculture n'est pas la principale activité du producteur ou quand il est en migration.

Tableau 2 : Sources d'engrais et scénarii du budget partiel.

Fertiliser sources and partial budget scenarios.

Sources de N, P et K minéral		
	Composition	Prix unitaire en Fkg ⁻¹ (Source : Fournisseur YAMSYS, 2018)
Urée	46 % N	300
Super triple phosphate	46 % P ₂ O ₅	440
Sulfate de potassium	50 % K ₂ SO ₄ et 17 % S	880
Fumier de poule		50
Scénarii du budget partiel		
	Sortie de trésorerie pour toutes les charges	Sorties de trésorerie pour charges spécifiques
	Cas 1	Cas 2

RESULTATS

DESCRIPTION DES PRODUCTEURS DES ESSAIS FILS DE 2018

L'échantillon des producteurs des essais fils se compose de 19 individus qui ont mis en place 21 traitements T1. L'âge moyen des producteurs est de 42 ± 10 (ans). L'effectif et les actifs du ménage sont de 19 ± 12 et 7 ± 6 individus respectivement. L'expérience dans la production de l'igname est 20,7 ± 10,8 années.

La fertilisation minérale est la plus testée. En effet, 81 % des traitements T1 ont concerné la fertilisation minérale, 9,5 % pour la fertilisation organique et 9,5 % pour la fertilisation organo-minérale. L'espèce *D. alata* est la plus utilisée pour les tests. En effet, 81 % des traitements T1 ont concerné l'espèce *D. alata* contre 19 % pour l'espèce *D. rotundata*.

De façon spécifique, la figure 3 montre que le

groupe des producteurs autochtones ayant une surface agricole utile (SAU) comprise entre 10 et 30 ha, est plus important dans l'échantillon (47,4 %). Il a effectué majoritairement le test de la fumure minérale avec l'espèce *D. alata*. Les producteurs de coton (qui sont pour la plupart des allochtones) ont expérimenté la fumure minérale sur les deux espèces d'igname et c'est ce groupe qui possède les superficies les plus élevées de *D. rotundata* de l'échantillon.

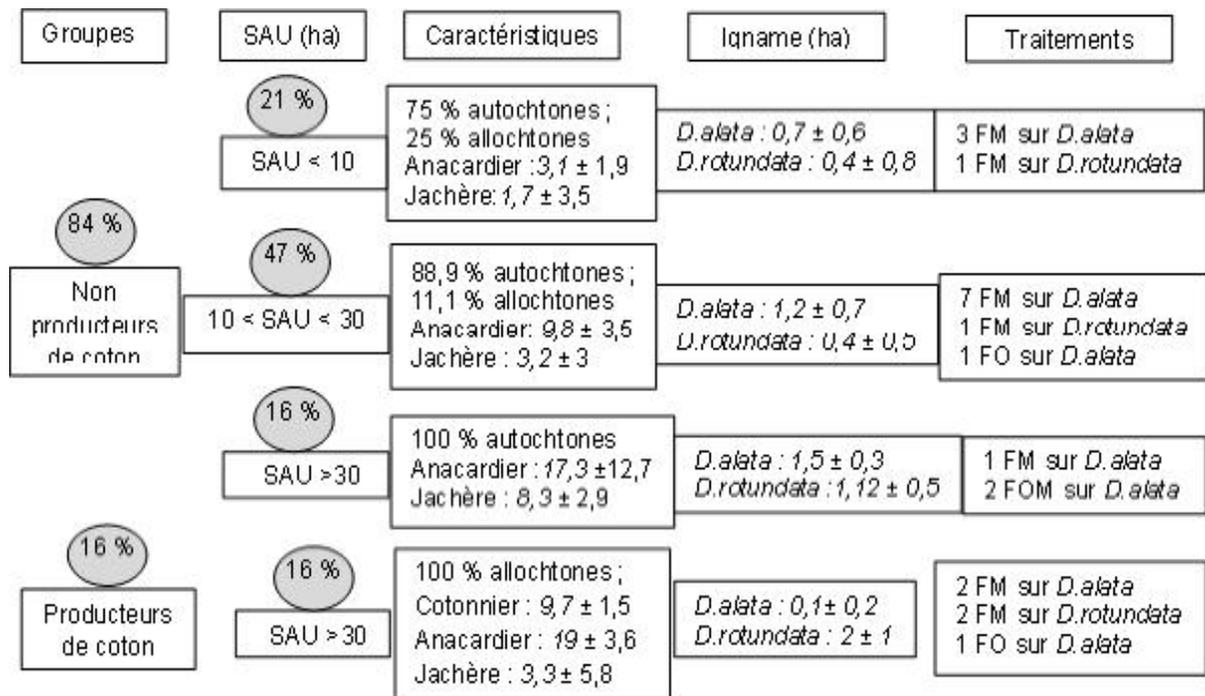


Figure 3 : Caractéristiques des producteurs des essais fils de 2018.

Characteristics of producers in the 2018 yarn trials.

FM =Fertilisation minérale ; FO= Fertilisation organique ; FOM= Fertilisation organo- minérale.

PERFORMANCES TECHNIQUES

Comparaison des rendements T0 et T1

Les tests statistiques montrent qu'il n'y a pas

de différence significative au seuil de 5% entre les rendements en tubercules frais ou tubercules commercialisables des traitements quelle que soit l'espèce d'igname (Tableau 3).

Tableau 3 : Comparaison des rendements T0 et T1 de 2018.

Comparison of 2018 T0 and T1 yields.

Espèces	Traitements	RT (tha ⁻¹)	RC (tha ⁻¹)	Taille de l'échantillon
<i>D. alata</i>	T1	6,35 (4,07)	5,80 (4,16)	17
	T0	5,87 (4,52)	5,57 (4,56)	17
	p-value	0,3614	0,3987	
<i>D. rotundata</i>	T1	12,27 (9,48)	11,78 (9,54)	4
	T0	10,48 (9,70)	10,04 (9,69)	4
	p-value	1	0,7728	

p-value is from Chi-square Kruskal-Wallis test

RT = Rendement Total de tubercules frais ; RC = Rendement Commercialisable de tubercules frais ;

() = écart-type

Structure du produit

A l'issue de tri effectué à la récolte par les producteurs, les catégories commercialisables sont réparties selon la taille de leurs tubercules en trois groupes ; les autres ne sont pas valorisées d'un point de vue économique car souvent abandonnées sur la parcelle. Bien que la proportion en tubercules commercialisables dans le rendement total de l'igname varie, elle se situe autour de 90 % pour les traitements T0 et T1. Les tubercules « gros » et « moyens » sont généralement commercialisés comme tubercules de consommation et les « petits » peuvent être commercialisés comme semence. Le traitement avec innovation (T1) *D. rotundata* présente les taux de rebut et de pourriture les plus faibles soit 3.2 % et 0.8 % respectivement.

En outre, la comparaison des masses moyennes de tubercules révèle qu'au seuil de 5 % il n'y a pas de différence significative entre les tailles des tubercules des traitements T0 et T1 quelle que soit la catégorie. Cependant, les producteurs ont une préférence pour la catégorie « gros » car c'est la catégorie préférée par le consommateur. De plus les tubercules de cette catégorie peuvent également être utilisés comme semence en les fragmentant.

Performances techniques des options GIFS

Globalement la comparaison des moyennes T0 et T1 a révélé que la différence n'est pas significative. Par conséquent, une analyse par quantile est réalisée (figure 4). Il ressort que seuls 18 % des rendements en tubercules commercialisables sont supérieurs ou égaux à 10 tha⁻¹. Cependant 58,8 % des rendements T1 sont supérieurs à ceux du témoin avec *D. alata*. Tandis qu'avec *D. rotundata* ce sont 77,8 % de rendements T1 qui sont supérieurs à ceux du T0.

Au niveau de *D. alata*, la fertilisation minérale offre au quatrième quartile le rendement le plus élevé avec les techniques de GIFS soit 15,45 tha⁻¹ contre un rendement de 12,1 tha⁻¹ avec T0 la pratique courante.

Au niveau de *D. rotundata*, la fertilisation organo-minérale offre au quatrième quartile le rendement le plus élevé au niveau des techniques de GIFS soit 21,26 tha⁻¹ contre un rendement maximum de 10.68 tha⁻¹ de T0 la pratique courante. La fertilisation minérale offre au quatrième quartile le rendement le plus élevé de 20,26 tha⁻¹. Ces comparaisons excluent les valeurs aberrantes.

Les rendements moyens de chaque traitement sont donnés dans la figure 6 du budget partiel.

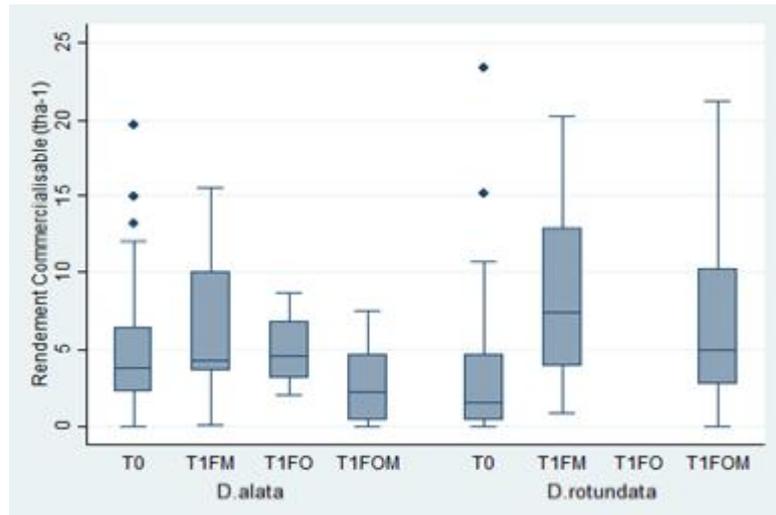


Figure 4 : Analyse par quintile des rendements de chaque option de 2017 & 2018.

Quintile analysis of returns for each option in 2017 & 2018.

T0 = traitement témoin ; T1 = traitement avec option de GIFS ; FM = Fertilisation minérale ; FO = Fertilisation organique ; FOM = Fertilisation organo-minérale.

Temps des travaux

La force de travail nécessaire à la production de l'igname quelle que soit l'espèce est pratiquement identique. Bien que le travail de l'igname soit généralement effectué par les hommes, la main d'œuvre féminine y est néanmoins présente. La main d'œuvre féminine est utilisée à la récolte pour le ramassage et le transport des tubercules de la parcelle au hangar de stockage. Les bœufs de culture attelée sont employés pour le labour avant la confection des buttes.

En considérant la division sexuée du travail, les temps de travaux de la pratique courante s'élèvent à [(64 + 20,8/6 * Rb) HJ ; 13,62/6 * Rb) FJ ; 1,2 J/BCA]. Sur la base d'1FJ égale à 0,8 HJ, les temps des travaux de la pratique courante s'élèvent à (64 + 31,7/6 * Rb) HJ.

Cependant, le passage de la pratique courante à une technique de GIFS augmente les temps de travaux (tableau 4). Ainsi le passage de T0 à une technique de GIFS entraîne un travail additionnel de 40,7 HJ avec la fumure minérale, 28,7 HJ de plus avec la fumure organique et 34 HJ de plus avec la fumure organo-minérale.

La différence résulte principalement de l'augmentation de la durée du travail de confection de buttes car la densité avec les pratiques GIFS est de 10 000 buttes/ha.

COUTS DE PRODUCTION

COUTS DES TECHNIQUES DE GIFS VS TECHNIQUE COURANTE

Le coût de la confection des buttes dans les techniques de GIFS est supérieur de 10 882,3 Fha⁻¹ à la pratique traditionnelle (tableau 4). La fertilisation est une nouvelle charge (de 213 025,5 à 470 014,5 Fha⁻¹) et le coût de fertilisation organique est le plus élevé. Les coûts unitaires des engrais NPK reviennent à 630.86 Fkg⁻¹, 635.81 Fkg⁻¹ pour *D. alata* et *D. rotundata* respectivement. Le fumier de poule coûte 50 Fkg⁻¹. Le coût du transport est de 10 Fkg⁻¹ d'engrais. Ces coûts élevés sont induits par l'approvisionnement qui se fait à partir de Bouaké car les engrais ne sont pas encore disponibles à Tiéningboué. De plus, l'engrais minéral suivant la formulation de YAMSYS n'existe pas encore sur le marché en Côte d'Ivoire.

Tableau 4 : Coûts isolés des techniques de GIFS.*Specific costs of ISFM techniques.*

	Activités	Unité	Pratique courante	Technique de GIFS	
			les 2 espèces	<i>D. alata</i>	<i>D. rotundata</i>
Quantité de travail	CB	HJ/ha	13,6	16,8	16,8
	PTS		3,2	9,9	9,9
	FM		na	14,6	14,7
	FO		na	2,9	2,9
	FOM		na	8,3	8,3
	Tu		1,8	37,9	37,9
Quantité d'intrant	Pesticides	L ou kg	0,7	1,4	1,4
	FM (NPK)	kg	na	350	296
	FO(Fumier)		na	7 760	7 340
	FOM (fumier – NPK)		na	3880 - 175	3670 - 148
Coût de la technique	CB	Fha ⁻¹	46 875	57 757	57 757
	PTS		8 489,4	22 589	22 589
	FM		na	246 165	213 025
	FO		na	470 014	444 814
	FOM		na	357 337	328 167
	Tu		2 750	56 917	56 917

CB = Confection des buttes ; PTS = Préparation et Traitement des Semences ; FO = Fumure Minérale ; FO = Fumure Organique ; FOM = Fumure Organo-Minérale ; Tu = Tuteurage ; na = non applicable.

STRUCTURE DES COÛTS TOTAUX ET ACTIVITÉS CIBLÉES PAR LES TECHNIQUES DE GIFS

Coût du travail du sol

Dans la pratique courante, les charges de travail du sol représentent 17,1 % et 8 % des coûts totaux de *D. alata* et *D. rotundata* respectivement. Tandis que les charges de travail varient de 6,3 % à 10,5 % des coûts totaux suivants les options de fertilisation.

Coût des semences

Dans la pratique courante, les charges de semences représentent 26,2 % et 65,4 % des coûts totaux de *D. alata* et *D. rotundata* respectivement. Tandis que les charges de semences varient de 20,1 % à 52,7 % des coûts totaux suivants les options de fertilisation.

Coût de la fertilisation

Il n'y a pas de charges de fertilisation dans la pratique courante. Cependant, les charges de fertilisation varient de 17,8 % à 41 % des coûts totaux de *D. alata* et *D. rotundata* selon les options de fertilisation. En outre, ces proportions comprennent les coûts de transport de fertilisant dont les plus élevés s'observent avec la fumure organique à raison de 7,5 % et 5,1 % des coûts totaux de *D. alata* et *D. rotundata* respectivement.

Coûts de l'herbicide, du tuteurage et autres

De la pratique courante à une production suivant une technique de GIFS, il y a des coûts qui disparaissent (coût d'herbicide). Le tuteurage est plus élevé avec les options de GIFS car rarement pratiqué dans la pratique courante. La catégorie « autres coûts » correspond aux charges qui généralement n'occasionnent pas de sorties de trésorerie car le travail est effectué par la main d'œuvre familiale.

Il ressort de cette analyse qu'avec *D. alata*, la pratique courante est plus consommatrice de travail tandis que les pratiques GIFS sont plus consommatrices d'intrants notamment en semences et en fertilisants.

Avec *D. rotundata*, la pratique courante et les options de fertilisation sont toutes plus consommatrices d'intrants (semences pour toutes les techniques et fertilisants en plus pour

les options de GIFS) comparativement au travail. Le paquet technique avec la fumure organique se révèle le plus onéreux.

Par ailleurs la proportion dans les coûts totaux, des différentes charges que sont le travail du sol, les semences et la fertilisation, met en relief l'investissement nécessaire ou les économies possibles dans un contexte de main d'œuvre salarié ou non et de cession interne pour les intrants ou non (Figure 5).

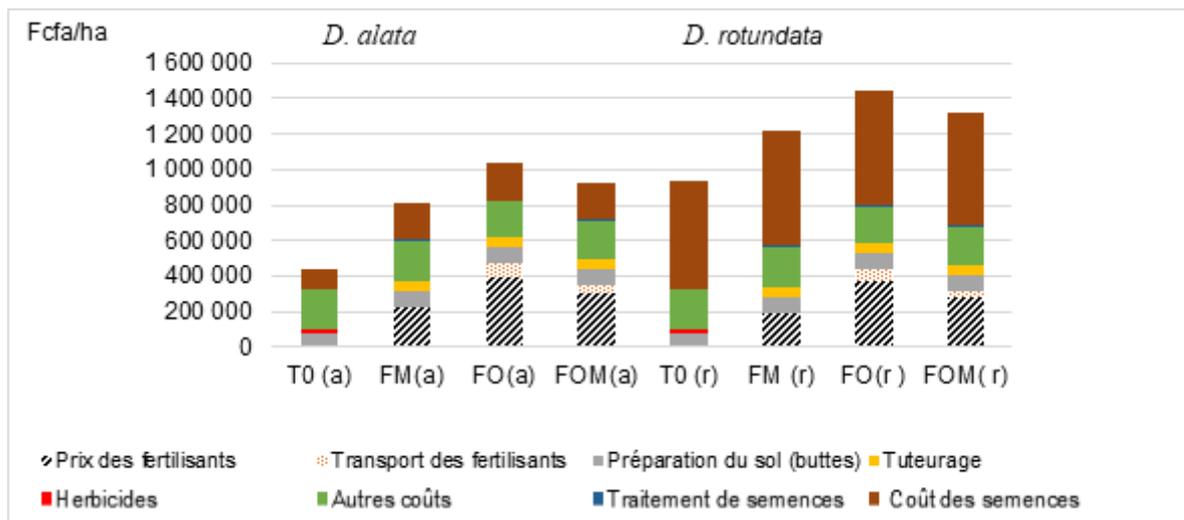


Figure 5 : Structure des coûts totaux de la production d'igname.

Total cost structure of yam production.

T0 = pratique courante, FM= Fumure minérale, FO= fumure organique, FOM= fumure organo-minérale, a = *D. alata*, r = *D. rotundata*.

PRODUCTION DE L'IGNAME DANS DIFFERENTS CONTEXTES

Au regard des variations possibles notamment au niveau de la formulation des fertilisants, de leur prix et (du prix et du rendement) de l'igname, la marge brute est donc exprimée comme une fonction de ces paramètres (tableau 5).

Certes, une nouvelle défriche devrait induire un rendement plus élevé car plus fertile. Cependant, la majorité des parcelles ayant abrité les essais sont des anciennes défriches.

Les scénarii (Figure 6) visent à apprécier la rentabilité en ne faisant varier que les sorties de trésoreries qui représentent une contrainte majeure pour les petites exploitations agricoles. Ainsi, les marges brutes obtenues avec *D. rotundata* sont plus élevées que celles avec *D.*

alata grâce aux rendements de *D. rotundata* plus élevés et au prix unitaire de vente à la récolte de *D. rotundata* (150 Fkg⁻¹) supérieur à celui de *D. alata* (80 Fkg⁻¹).

Globalement, si toutes les charges entraînent des sorties d'argent (cas d'un emploi systématique de main d'œuvre rémunérée), la production d'igname ne génère pas d'excédent (ici de profit) et plus les options demandent du travail additionnel, plus les pertes augmentent.

Paquet technologique le plus rentable

Les niveaux de rentabilité obtenus avec les rendements moyens commercialisables des essais fils sont donnés dans la figure 6.

Le rendement moyen de la fertilisation minérale est le plus élevé des différentes options de fertilisation. De plus, le coût des fertilisants

minéraux est le plus faible des trois options de GIFS. Par conséquent, la fertilisation minérale se révèle la plus rentable.

Les marges brutes les plus élevées sont obtenues, dans le cas 2 (où seules des charges spécifiques nécessitent une sortie de trésorerie), avec la fertilisation minérale soit pour des valeurs de 44 618 Fha⁻¹ et 1 046 046 Fha⁻¹ pour *D. alata*

et *D. rotundata* respectivement. L'igname ne génère donc actuellement un excédent que pour l'agriculteur qui investit son temps (gratuitement) dans les travaux agricoles. Dans le contexte de l'étude, c'est uniquement avec la fumure minérale sur *D. rotundata* qu'un agriculteur à temps partiel, ou bien en migration peut réaliser une marge (assez faible).

Tableau 5 : Expressions de la marge brute en francs CFAha-1.

Gross margin expressions in CFAha-1.

MB = (α * Prix <i>Igname</i> - Cr) * R _b - (β + autres coûts) avec β =coûts liés à la fertilisation	
Cas 1 : Toutes les charges nécessitent une sortie de trésorerie	
<i>D. alata</i>	T0 (α * Prix <i>D. alata</i> - 10 922) R _b - 320 586
	FM (α * Prix <i>D. alata</i> - 10 922) R _b - (β_{FM} + 490 239)
	FO (α * Prix <i>D. alata</i> - 10 922) R _b - (β_{FO} + 467 151)
	FOM (α * Prix <i>D. alata</i> - 10 922) R _b - (β_{FOM} + 477 699)
<i>D. rotundata</i>	T0 (α * Prix <i>D. rotundata</i> - 10 922) R _b - 815 023
	FM (α * Prix <i>D. rotundata</i> - 10 922) R _b - (β_{FM} + 919 926)
	FO (α * Prix <i>D. rotundata</i> - 10 922) R _b - (β_{FO} + 896 839)
	FOM (α * Prix <i>D. rotundata</i> - 10 922) R _b - (β_{FOM} + 907 386)
Cas 2 : Uniquement des charges spécifiques (préparation du sol, achat de pesticides et de fertilisants) nécessitent une sortie de trésorerie	
<i>D. alata</i>	T0 α * Prix <i>D. alata</i> * R _b - 100 391
	FM α * Prix <i>D. alata</i> * R _b - (β_{FM} + 101 055)
	FO α * Prix <i>D. alata</i> * R _b - (β_{FO} + 106 875)
	FOM α * Prix <i>D. alata</i> * R _b - (β_{FOM} + 106 875)
<i>D. rotundata</i>	T0 α * Prix <i>D. rotundata</i> * R _b - 100 391
	FM α * Prix <i>D. rotundata</i> * R _b - (β_{FM} + 101 055)
	FO α * Prix <i>D. rotundata</i> * R _b - (β_{FO} + 106 875)
	FOM α * Prix <i>D. rotundata</i> * R _b - (β_{FOM} + 106 875)

Contexte des essais
fils :
 $\alpha=0.9$

Prix *D. alata* =80 000 Ft⁻¹

Prix *D. rotundata*
=150 000Ft⁻¹

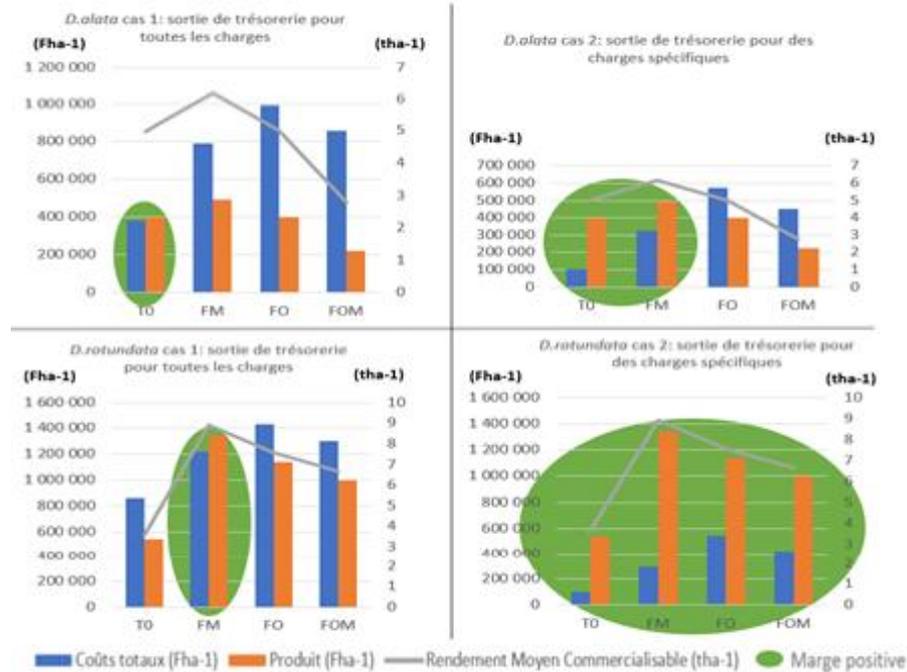
β est calculé à partir
des données de la
formulation des
fertilisants (tableau 1)
et les prix (tableau 2)

Seuil de rentabilité en rendement commercialisable

C'est dans le cas 2 que les valeurs minimales de rendements commercialisables comme seuil de rentabilité sont obtenues. Ainsi avec *D. alata*, les seuils sont atteints avec des valeurs de 4,1 tha⁻¹ et 7,2 tha⁻¹ pour les fumures minérale et organique respectivement. Tandis qu'avec *D. rotundata*, les seuils sont atteints avec des valeurs de 1,9 tha⁻¹ et 3,6 tha⁻¹ pour les fumures minérale et organique respectivement.

Risque de perdre son investissement

Dans le contexte de la majorité des agriculteurs, où seules les charges de préparation du sol et d'achat de produits phytosanitaires occasionnent une sortie de trésorerie, la probabilité de perdre son investissement dans une option de GIFS sur *D. alata* est plus élevée que sur *D. rotundata*. En effet, avec *D. alata*, le risque de perdre son investissement est actuellement au minimum 47 % contre 15 % avec *D. rotundata*. Cela est une conséquence des niveaux actuels de coûts de production et des prix de vente de l'igname. Le prix de vente de *D. rotundata* est presque le double de celui de *D. alata*.



T0 = pratique courante, FM= fumure minérale, FO = fumure organique, FOM= fumure organo- minérale.

Le Cas 1 correspond au contexte dans lequel toutes les charges nécessitent une sortie de trésorerie. Tandis que dans le Cas 2 ce sont certaines charges spécifiques qui nécessitent une sortie de trésorerie. En effet, les charges spécifiques pouvant occasionner une sortie de trésorerie sont : de préparation des sols (confection des buttes +/- épandage de fumier) et l'achat de produits phytosanitaires (pesticides et fertilisants).

Figure 6 : Résumé du budget partiel pour une ancienne défriche.

Summary of the partial budget for a former land clearing.

DISCUSSION

VARIABILITE INEXPLIQUEE

En 2018, il n'y a globalement pas de différences significatives entre les moyennes de rendements. Cependant, il y a par rapport à 2017, une augmentation de rendement moyen en tubercules commercialisables (RC) pour *D. rotundata* (les valeurs de 2018 sont : 11,78 tha^{-1} pour les techniques de GIFS (T1) et 10,04 tha^{-1} pour traitement témoin (T0). Par contre, en 2017, il y avait une différence significative entre les rendements de *D. rotundata*. En fait, les RC s'élevaient à 6,93 tha^{-1} contre 2,5 tha^{-1} pour T1 et T0 respectivement (Kiba et al., 2020).

Diby et al. (2009) ont montré qu'avec une jachère forestière de longue durée les rendements en tubercules, sans apport d'engrais, sont plus élevés pour *D. alata*. Par exemple, sur un sol

riche en matière organique, les rendements étaient supérieurs à 40 tha^{-1} pour *D. alata* et 21 tha^{-1} pour *D. rotundata*. Par contre, (Cornet et al, 2014) dans leur expérimentation ont obtenu les rendements les plus élevés avec *D. rotundata* soit 23,8 tha^{-1} contre 22,1 tha^{-1} sur *D. alata*. Les essais en milieu paysan à Tiéningboué offrent les meilleurs rendements avec *D. rotundata*. *D. alata* semble plus exigeante en végétation de forêt pour sa richesse en matière organique (Carsky et al., 2010). Or, Tiéningboué est une zone où les défrichements forestiers sont assez anciens et où domine la savane (Oka et al., 2021). A Liliyo, site du projet YAMSYS localisé dans la zone forestière de l'ouest de la Côte d'Ivoire, les essais paysans de 2017 n'ont concerné que l'espèce *D. alata* et le rendement obtenu de 11,13 tha^{-1} est supérieur à celui de la même espèce à Tiéningboué 7,97 tha^{-1} (Kiba et al., 2020). Par ailleurs, en 2018, à Tiéningboué, les paysans ont utilisé comme matériel de plantation, leur propre semence généralement

vieillissante contrairement à l'année 2017 où les producteurs ont utilisés des semences issues de champs semenciers conduits en collaboration avec les chercheurs. Avant l'arrivée de YAMSYS, la semence, principalement celle de *D. rotundata*, produite majoritairement par les cotonculteurs étaient la plus traitée avec les insecticides de coton bien que ce ne soit approprié (Oka *et al.*, 2021). De ce fait, en 2018, les semences de *D. rotundata* devaient être de meilleure qualité que celle de *D. alata* lors des essais paysans, quand bien mêmes toutes les semences de l'essai paysan aient subi le traitement mis au point par YAMSYS.

Une poursuite des recherches s'avère nécessaire pour identifier et maîtriser les facteurs de la grande variabilité du rendement intra site. Certes, cela pourrait s'expliquer par différents facteurs tels que l'historique de la parcelle, le sol et sa qualité, les dates de plantation et de récolte, la taille des tubercules de semence, le régime de désherbage et la quantité d'engrais appliqué (Kiba *et al.*, 2020). Ces facteurs ont probablement affecté l'établissement de la culture, ce qui affecte ensuite le rendement (Cornet *et al.*, 2014). En Guadeloupe, l'évaluation de six itinéraires techniques a révélé une grande variabilité entre les résultats technico-économiques. Notamment pour l'espèce *D. alata* 'le traitement T2' (en basse-terre, non irrigué et 120g/semence) produit 15 tha^{-1} contre 'le Traitement T4' (grande-terre, irrigué, 70g/semence) produit 18 tha^{-1} . Tandis que le traitement T5, qui concerne *D. rotundata-cayenensis*, installé dans les mêmes conditions que le T4, produit 13 tha^{-1} . Les auteurs (Barlagne *et al.*, 2012) concluent que les facteurs de cette variabilité sont la fertilité du milieu, la topographie, le risque de contamination par des champignons pathogènes. Par ailleurs, face à des variations de rendements dans l'intervalle de 12 tha^{-1} à 21 tha^{-1} sur quatre (4) années d'expérimentation au Bénin, c'est le paramètre taux de germination qui s'est révélé significatif. Les auteurs (Cornet *et al.*, 2014) soulignent la nécessité de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents qui contrôlent l'émergence inégale des ignames avant de tenter d'améliorer les cultures traditionnelles. De plus, toujours dans des essais agronomiques en partenariat avec de petits exploitants du Bénin, Maliki *et al.* (2012) aboutissent à la conclusion que les interactions de facteurs tels que le traitement, le site, la variété, la pluviométrie et les pratiques individuelles des petits exploitants

influencent les rendements de l'igname de manière significative. Dans cet essai, le système ayant la productivité du sol la plus élevée combine les légumineuses arbustives (*Gliricidia sepium*) et herbacées (*Aeschynomene histrix*) qui apporte beaucoup de matière organique au sol, mais nécessite beaucoup plus de travail que les autres systèmes. Maliki *et al.*, (2017) soulignent qu'en comparant le bénéfice et le coût, ces besoins supplémentaires en main d'œuvre ne peuvent être un facteur limitant.

Les résultats économiques révèlent également une forte variabilité inter et intra espèce avec les différentes options de GIFS.

Pour ces deux espèces d'igname, c'est le cas 2, dans lequel uniquement des charges spécifiques de préparation des sols (confection des buttes +/- épandage de fumier) et l'achat de produits phytosanitaires (pesticides et fertilisants) nécessitent une sortie de trésorerie, qui enregistre des marges positives.

Avec *D. alata*, la marge de la pratique courante (213 030 Fha⁻¹) est supérieure à la plus élevée avec une technique de GIFS (59 623 Fha⁻¹ pour la fertilisation minérale).

Avec *D. rotundata*, la marge la plus élevée avec une technique de GIFS (1 046 046 Fha⁻¹ pour la fertilisation minérale) est supérieure à celle de la pratique courante (438 807 Fha⁻¹).

C'est uniquement dans ces cas de marges positives que les coûts de revient sont inférieurs au prix de vente soit 80 Fkg⁻¹ pour *D. alata* et 150 Fkg⁻¹ pour *D. rotundata*.

La variabilité des résultats économiques est à la fois induite par la variabilité au niveau des rendements et des prix de vente du tubercule et des coûts de production qui diffèrent d'une espèce à l'autre.

Par ailleurs, dans une autre zone de production en Côte d'Ivoire non précisée par les auteurs, avec une fertilisation de 200 kg ha^{-1} NPK + 100 kg ha^{-1} d'urée pour chacune des deux espèces de l'igname, (Adolphe *et al.*, 2019) soulignent la différence des niveaux de rentabilité entre les deux espèces. Leurs résultats globalement supérieurs à ceux de la présente étude présente également une différence de performance technico-économique inter espèce. Ils obtiennent un rendement moyen de 10 tha^{-1} contre 20 tha^{-1} respectivement pour *D. rotundata* et *D. alata*. Le coût moyen de production 130,7

Fkg⁻¹ et 42,85 Fkg⁻¹ respectivement pour *D. rotundata* et *D. alata*. Les bénéfices respectifs sont de 863 000 Fha⁻¹ et 823 000 Fha⁻¹ respectivement pour *D. rotundata* et *D. alata* (Adolphe *et al.*, 2019)

La fertilisation minérale a donc montré les performances techniques qui induisent ces performances économiques. Grâce aux niveaux de rendements et des prix, la GIFS (spécialement le paquet avec fumure minérale) est technico-économiquement plus performante pour des anciennes défriches ; donc à l'intérieure d'une rotation et ce sur *D. rotundata*. Cela permet donc de préserver l'environnement (la forêt). Car pour Soro *et al.* (2007), l'accroissement de la pression foncière sur des terres « vierges » recherchées par les producteurs d'igname est un facteur de déforestation. Or, seuls les producteurs de la classe 5 qui représentent 7 % à Tiéningboué disposent encore de grandes superficies de jachère (Oka *et al.*, 2021) et des mesures de GIFS permettent alors de préserver le capital de fertilité des terres cultivées en permanence.

PREFERENCE POUR LA FERTILISATION MINERALE SUR *D. ALATA*

De façon spécifique, la figure 3 montre que le groupe des producteurs autochtones (68.4 %) ayant une surface agricole utile (SAU) inférieure à 30 ha, qui est plus important dans l'échantillon, a effectué majoritairement le test de la fumure minérale avec l'espèce *D. alata*. Ce groupe est suivi des producteurs autochtones (21 %) ayant une SAU inférieure à 10 ha qui ont également testé majoritairement la fumure minérale sur *D. alata*. En effet, les autochtones ont pour aliment de base l'igname et produisent majoritairement l'espèce *D. alata* (Oka *et al.*, 2021). Pour des raisons de disponibilité et d'accessibilité de la semence, ces producteurs optent pour cette espèce sur les essais fils. Tandis que le groupe des producteurs qui cultivent le coton ayant une SAU supérieure à 30 ha expérimentent la fumure minérale sur les deux espèces et c'est ce groupe qui possède les superficies les plus élevées de *D. rotundata* de l'échantillon. Ces producteurs s'inscrivent dans un système dont la production de l'igname est orientée vers le marché (Oka *et al.*, 2021). Dans l'optique de maximiser leur profit, ils produisent l'espèce *D. rotundata* dont la valeur marchande est supérieure à celle du *D. alata*.

La fertilisation minérale est la plus testée. En

effet, 81 % des traitements T1 ont concerné la fertilisation minérale sur l'espèce *D. alata*. Cela s'explique par le fait que dans la zone de Tiéningboué, les producteurs ont la connaissance et la maîtrise de l'application de l'engrais minérale sur le coton, l'une des principales cultures d'exportation de la zone (Oka *et al.*, 2021). L'hypothèse selon laquelle les producteurs de coton ayant une expérience avec la fertilisation minérale seraient plus intéressés par cette technique pour l'igname (Oka *et al.*, 2021) semble se confirmer. En effet, dans les localités où la pression de la baisse de la fertilité s'accroît, les producteurs se lancent dans des essais empiriques bien qu'il n'existe pas encore de formulation appropriée pour la fertilisation de l'igname. Dans d'autres zones de production de la côte d'Ivoire, les producteurs s'essaient à la fertilisation. Ils optent pour une fertilisation minérale de 200 kgha⁻¹ NPK + 100 kgha⁻¹ d'urée quelle que soit l'espèce d'igname (Adolphe *et al.*, 2019). Les agriculteurs de Léo au Burkina Faso appliquent les engrais minéraux dans leur système de production courant, bien qu'il n'existe pas là aussi de formulation appropriée (Silué *et al.* 2019). C'est dans la période de 2015 à 2018 que le projet YAMSYS a développé une formulation pour chaque espèce d'igname (Frossard *et al.* 2019). Par conséquent, la préférence pour la fertilisation minérale est liée à la connaissance qu'en ont certains producteurs, et à sa relative accessibilité. En outre, à Tiéningboué, la fumure organique est presque indisponible, puisque l'élevage n'est pas développé dans la zone (Oka *et al.*, 2021). Cependant, dans le processus de co-construction des techniques de GIFS, la plateforme d'innovation et le projet YAMSYS choisissent de préférer une matière organique d'origine animale (fumier) alors qu'une matière organique végétale (engrais vert, jachère plantée, etc.) aurait aussi pu être testée, en paillis ou après compostage.

DISPONIBILITE ET ACCESSIBILITE DE LA FUMURE ORGANIQUE

Actuellement, la fertilisation organique obtient moins de succès comparativement à la fertilisation minérale non seulement en termes de nombre d'essais mis en place mais aussi de niveau de rendement obtenu. Cela s'explique d'une part par la disponibilité et l'accessibilité pas encore assurés de la source de matière organique proposée par YAMSYS. En effet,

l'élevage de volaille assez traditionnel dans la zone (Oka *et al.*, 2021) ne permet pas de satisfaire la demande en fumier de poule pouvant répondre aux besoins de la fertilisation organique tel que formulé pour la zone de Tiéningboué. Ainsi, l'approvisionnement à partir de Bouaké augmente les coûts (achat et transport) entraînant l'inaccessibilité de cette source d'engrais organique. Le fumier de bovin pourrait certes être utilisé comme c'est le cas de certains des systèmes de production de l'igname au Bénin, où Floquet *et al.* (2012) soulignent que dans les zones où ne subsistent plus ou très peu de jachères forestières, l'igname est installée après culture améliorante ou après parage de bœufs. Cependant, à Tiéningboué, les conflits entre agriculteurs et éleveurs à cause des dégâts de cultures occasionnés par le bétail amenuisent les chances de collaboration entre ces deux groupes (Oka *et al.*, 2021).

Dès lors, il y a nécessité pour une gestion de la fertilité d'explorer d'autres sources d'engrais organique plus disponible et accessibles notamment via la mise en place de fermes agro-pastorales, l'utilisation de déjections des bovins des éleveurs via des contrats de pacage; mais aussi des engrais verts, jachères plantées et autres apports de biomasse générée in situ. Aune, *et al.* (2007) ont montré que dans ce contexte, les techniques de GIFS à base organique (cas du compost) nécessitent moins de trésorerie que l'utilisation d'engrais minéraux. D'autre part, les rendements actuels obtenus dans les essais en dessous des attentes pourraient s'expliquer par l'effet moins rapide de la fumure organique et qui s'étale sur une période plus longue avec des arrières-effets qui n'ont pas encore été capturés dans ces essais fils.

PERFORMANCE EN FAVEUR DU PAQUET DE LA FERTILISATION MINÉRALE

Toute espèce confondue, la fertilisation minérale, offre un rendement maximum de 20,26 tha⁻¹ tandis que le maximum avec la pratique courante (T0) est de 12,1 tha⁻¹. Cependant, pour *D. alata* les valeurs respectives du rendement moyen (RC) ± écart-type (E) et le coefficient de variation (CV) sont (6,2 ± 4,2) tha⁻¹, 68 % et (5 ± 4,4) tha⁻¹, 88 % pour la fertilisation minérale et T0 respectivement.

Pour *D. rotundata* les valeurs respectives du RC ± E et le CV sont (8,9 ± 6,2) tha⁻¹, 70 % et (3,6 ± 5,3) tha⁻¹, 147 % pour la fertilisation minérale et T0 respectivement.

Ainsi pour les deux espèces, la fumure minérale se révèle potentiellement plus techniquement performante, au moins à court terme. Un défi de l'amélioration de la fertilité des sols dans les systèmes à base d'igname en Afrique de l'Ouest est d'améliorer la compréhension des relations entre les propriétés du sol et le rendement en tubercules (Frossard *et al.*, 2017). Par conséquent, la comparaison entre les rendements des options à Tiéningboué et ceux des autres sites du projet de YAMSYS révèle que contrairement à Tiéningboué, sur le site de Liliyo les producteurs ont eu accès à des variétés améliorées tandis que sur le site de Léo, les producteurs avaient une technicité en matière de fertilisation minérale sur l'igname. Les rendements des innovations (T1) étaient généralement supérieurs à ceux du témoin (T0) (Kiba *et al.*, 2020). Les prédispositions des producteurs, notamment la connaissance et le savoir-faire acquis de façon empirique sur l'igname ou sur une autre culture comme le coton, ont contribué à l'obtention des rendements plus élevés avec la fumure minérale.

NECESSITE DE POURSUIVRE LA RECHERCHE EN COLLABORATION

De la pratique courante à une production suivant une option de GIFS, il y a des coûts qui disparaissent (coût d'herbicidage) et d'autres qui apparaissent (fertilisation et coût additionnel au niveau de la confection des buttes, du tuteurage, des semences et de leur traitement). Globalement les coûts de production suivant une option de GIFS sont supérieurs à ceux de la pratique courante et la production suivant l'option de fumure organique se révèle la plus onéreuse. De plus, il est plus coûteux et moins rémunérateur d'essayer de régénérer des sols déjà dégradés plutôt que de maintenir la fertilité existante (CTA, 2003). Les producteurs ne peuvent plus se permettre une production agricole sans apport de fertilisants. Ensuite, la disponibilité de la main-d'œuvre reste une préoccupation particulière. Encourager les producteurs à produire par eux-mêmes des fertilisants pour les techniques de GIFS à base organique (fumier, compost, plantes de couverture) et des amendements (biochar) nécessitent moins de trésorerie que l'utilisation d'engrais minéraux mais souvent plus de main d'œuvre (WOCAT, 2009). Or, la concurrence avec le travail hors-exploitation et les activités de l'exploitation, induit un besoin de pratiques à faible demande en main-d'œuvre pour les

ménages agricoles.

L'accès aux intrants est un défi pour les agriculteurs. L'introduction de la GIFS n'est possible que si les marchés des intrants et des produits sont assurés (Liniger *et al.*, 2011). Or il n'existe pas encore de marché pour fertilisants minéraux formulés par YAMSYS et le fumier de poule proposé se révèle presque indisponible et inaccessible au niveau de la zone d'étude de Tiéningboué. C'est pourquoi (Liniger *et al.*, 2011) mentionnent que les contraintes initiales d'investissement doivent être surmontées et peuvent nécessiter une assistance externe, surtout lorsque les bénéfices ne sont prévus qu'à long terme. Ainsi, le projet YAMSYS dans les activités de 2015 à 2018 apportent non seulement des fertilisants aux producteurs pour la mise en place des essais mais aussi un appui conseil pour former à l'application des techniques de GIFS (Frossard *et al.*, 2019). A côté, les vulgarisateurs couvrent en théorie des zones trop vastes avec de maigres ressources. Un seul agent de l'ANADER pour la sous-préfecture de Tiéningboué (Oka *et al.*, 2021). Il est peu probable qu'ils puissent faire valoir l'urgence de la gestion de la fertilité des sols par comparaison avec l'intérêt de cultures d'exportation comme l'anacarde. D'un autre côté, bien que de nombreux scientifiques pensent qu'il ne leur appartient pas de s'occuper du transfert des technologies aux agriculteurs, d'autres en perçoivent l'intérêt dans une activité scientifique (cas du projet YAMSYS). Mais le problème reste toujours de savoir les transposer à plus grande échelle. Il s'avère indéniable de continuer la collaboration. Même si les vulgarisateurs étaient opérationnels pour l'igname, la participation des chercheurs à des étapes avancées du transfert leur permet d'avoir un feedback immédiat sur les limites de leurs propositions. Le dialogue avec les acteurs de la plateforme d'innovation devrait se poursuivre pour réajuster les options à tester et trouver des alternatives aux contraintes induites par la GIFS.

Les théoriciens de la diffusion d'innovations ont souvent séparé les étapes de développement et de dissémination de technologies. Cependant, il apparaît pertinent que la recherche après le développement et l'introduction de l'innovation dans le milieu s'accorde une autre phase d'accompagnement de l'innovation. Des méthodes de communication verticale où des décisions sur les innovations à diffuser sont prises pour les agriculteurs plutôt que par eux se sont révélées inefficaces. Raison pour

laquelle les innovations de GIFS sont co-construites au sein de la plateforme d'innovation qui se compose des acteurs actuels des chaînes de valeurs de l'igname, de sorte à répondre aux besoins exprimés par les acteurs cibles (Kiba *et al.*, 2020). Dans les sites de R&D, les interactions fréquentes entre les petits exploitants et l'équipe de recherche sont essentiels dans le processus d'amélioration d'une technologie (Frossard *et al.*, 2017 ; (Maliki *et al.*, 2017).

Il est essentiel, pour que la situation générale des agriculteurs s'améliore, de mettre en place des politiques favorisant la création d'associations qui représentent réellement leurs intérêts. Raison pour laquelle la recherche a encore son rôle à jouer au niveau de la communication et des études de marché. La recherche peut toujours contribuer à améliorer les relations commerciales et les connaissances technologiques au sein de la chaîne de valeur (Adekunle *et al.*, 2012) et les facteurs de la confiance entre les parties prenantes (Jiggins *et al.*, 2016).

CONCLUSION

Les techniques de gestion intégrée de la fertilité répondent au besoin de durabilité des systèmes de production. Ainsi, les essais en milieu paysan révèlent pour l'heure la fertilisation minérale comme la plus technico- économiquement performante. Cela est plus perceptible avec *D. rotundata*. Cependant, les résultats technico-économiques révèlent une forte variabilité inter et intra espèce avec les différentes options de GIFS. En effet, la variation du rendement de l'igname s'explique en partie par une série de facteurs connus et de l'autre une grosse variabilité résiduelle pas encore maîtrisée. Et à cette variabilité s'ajoute celle des prix de vente de l'igname et des coûts suivants l'espèce et la technique de GIFS.

Par conséquent, ces essais paysans mettent en relief les défis de la mise au point de solutions de GIFS notamment i) les difficultés d'identifier des formules organo-minérales accessibles et profitables ; ii) la forte variabilité des performances de techniques encore mal comprise ou mal maîtrisée par les producteurs qui « dilue » les effets des technologies de GIFS ; iii) la nécessité d'un suivi sur plusieurs années ; iv) le besoin de temps pour construire un capital de confiance et v) les

aptitudes au dialogue pour que les producteurs veuillent réellement tester des options qu'ils considèrent comme des co-constructions plutôt que de chercher à montrer que leurs propres pratiques sont plus performantes que celles des « chercheurs ». Il est donc impérieux de promouvoir des approches plus pérennes de recherche.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le projet YAMSYS pour son appui à ces travaux par l'intermédiaire des institutions partenaires. Le projet YAMSYS (www.yamsys.org) financé par le module sécurité alimentaire du programme suisse de recherche sur les enjeux mondiaux pour le développement (www.r4d.ch) (numéro de projet SNF: 400540_152017 / 1).

REFERENCES

- Adekunle A. A., Ellis-Jones J., Ajibefun I., Nyikal R. A., Bangali S., Fatunbi O., *et al.* 2012. Agricultural Innovation in Sub-Saharan Africa: Experiences from Multiple-Stakeholder Approaches. Forum for Agricultural Research in Africa (FARA), Accra.
- Adolphe M., Koffi C., Kouakou A., Zohouri G., Dibi K., N'Zué B., ... Kouame C. 2019. N° 15 Novembre 2019. AISA Développement REVUE TECHNIQUE DE L'ASSOCIATION IVOIRIENNE DES SCIENCES AGRONOMIQUES, 15, 7.
- Aune J.B., Mamadou D. and Berthe A. 2007. Microfertilizing sorghum and pearl millet in Mali – Agronomic, economic and social feasibility. Outlook on Agriculture, Vol. 36. No. 3. pp 199-203.
- Aurangozeb M. K. 2019. Adoption of Integrated Homestead Farming Technologies by the Rural Women of RDRS. Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology, 32(1), 1-12. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2019/v32i130143>
- Bourguignon A. 1997. Sous les pavés la plage...ou les multiples fonctions du vocabulaire comptable : l'exemple de la performance, Comptabilité Contrôle Audit, Vol. 1, n°3, pp. 89-101
- Barlagne C., Causeret F., Blazy JM. 2012. Produire de l'igname en Guadeloupe : combien ça coûte, combien ça rapporte ? Institut National de Recherche Agronomique (INRA). UR Agrosystèmes tropicaux (1321).; Chambre Départementale d'Agriculture de Guadeloupe. Baie-Mahault (Guadeloupe), FRA., Jan 1970, Petit-Bourg ; Petit Canal (Guadeloupe), France. pp.27.fhal-02750074
- Carsky R. J., Asiedu R., and Cornet D. 2010. Review of soil fertility management for yam-based systems in West Africa. Afr. J. Root Tuber Crops 8, 1–17
- Causeret F., Barlagne C., Bertrand C., Blazy J.M. 2012. Ignamarge : Outil d'évaluation technico-économique de la production d'igname. Institut National de Recherche Agronomique (INRA). UR Agrosystèmes tropicaux (1321).; Chambre Départementale d'Agriculture de Guadeloupe. Baie-Mahault (Guadeloupe), FRA., Jan 1970, Petit-Bourg ; Petit-Canal (Guadeloupe), France. pp.27. fhal-02749531ff
- Chenoune R., Belhouchette H., Paloma S., Capillon A. 2016. Assessing the diversity of smallholder rice farms production strategies in Sierra Leone. NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences 76: 7–19.
- Cochet H., Devienne S. 2006. Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale. Cahiers Agricultures 6: 578–83. DOI: 10.1684/agr.2006.0028.
- Cornet D., Sierra J., Tournebize R., Ney B. 2014. Yams (*Dioscorea* spp.) plant size hierarchy and yield variability: Emergence time is critical. Eur. J. Agron., 55, 100–107.
- Cornet D., Sierra J., Tournebize R., Gabrielle B., and Lewis F. I. 2016. Bayesian network modeling of early growth stages explains yam interplant yield variability and allows for agronomic improvements in West Africa. Eur. J. Agron. 75, 80–88. doi: 10.1016/j.eja.2016.01.009
- CTA. 2003. Rôle de l'information dans la gestion durable de la fertilité des sols (Séminaire CTA 2003) / : faits marquants.
- Dao D., Girardin O., N'gbo A. G., Zougrana P., Tschannen A., Nindjin C., et al. 2003. Technologies post récoltes de l'igname: déterminants de facteurs d'adoption d'innovations post-récoltes en culture d'igname au nord de la Côte d'Ivoire. Agron. Afr. 4, 91–98
- Dègla K. P. 2012. Rentabilité économique et financière des exploitations cotonnières basées sur la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols et des Ravageurs au Nord-Bénin, Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) Numéro spécial Coton – Septembre 2012, BRAB en ligne (on line) sur le

- site web <http://www.slire.net> ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099
- Diby L. N., Hgaza V. K., Tie B. T., Assa A., Carsky R., Girardin O., et al. 2009. Productivity of yams (*Dioscorea* spp.) as affected by soil fertility. *J. Anim. Plant Sci.* 5, 494–506
- Farrel M. J. 1957. The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, Vol. 120, No. 3, pp. 253 - 290.
- Frossard E., Aighewi B. A., Aké S., Barjolle D., Baumann P., Bernet T., Dao D., Diby L. N., Floquet A., Hgaza V. K., Ilboudo L. J., Kiba D. I., Mongbo R. L., Nacro H. B., Nicolay G., Oka E., Ouattara Y. F., Pouya N., Six J. and Traoré O. I. 2019. Biophysical, Institutional and Economic Drivers of Sustainable Soil Use in Yam Systems for Improved Food Security in West Africa. *Research for Tropical Agriculture*, 12(2), 114–116. <https://doi.org/10.11248/nettai.12.114>
- Frossard E., Aighewi B. A., Aké S., Barjolle D., Baumann P., Bernet T., Dao D., Diby L. N., Floquet A., Hgaza V. K., Ilboudo L. J., Kiba D. I., Mongbo R. L., Nacro H. B., Nicolay G., Oka E., Ouattara Y. F., Pouya N., Senanayake R. L., Six J. and Traoré O. I. 2017. The Challenge of Improving Soil Fertility in Yam Cropping Systems of West Africa. *Front. Plant Sci.* 8:1953. doi: 10.3389/fpls.2017.01953
- Hanafi S. 2011. Approche d'évaluation de la performance des systèmes irrigués à l'échelle des exploitations agricoles. Cas du périmètre irrigué de Borj Toumi (vallée de la Medjerda-Tunisie). Thèse de doctorat, AgroParisTech. <http://tel.archivesouvertes.fr/tel-00920810363>.
- Hauswirth D., Pham T. S., Wery J., Tifton P., Jourdain D., Affholder F. 2015. Apports des typologies d'exploitations aux démarches de conception en agriculture de conservation : une étude de cas dans le nord du Vietnam. *Cahiers Agricultures* 24: 102–12. DOI: 10.1684/agr.2015.0744.
- Issor Z. 2017. La performance de l'entreprise : un concept complexe aux multiples dimensions. *Revue projectique* 17(2): 93–103. <https://www.cairn.info/revue-projectique-2017-2-page-93.htm>.
- Jiggins J., Hounkonnou D., Sakyi-Dawson O., Kossou D., Traoré M., Röling N., and Van Huis A. 2016. Innovation platforms and projects to support smallholder development - experiences from Sub-Saharan Africa. *Cah. Agric.* 25, 64002. doi: 10.1051/cagri/2016051
- Kassi S.-P. A. Y., Koné A. W., Tondoh J. E., and Koffi B. Y. 2017. *Chromoleana odorata* fallow-cropping cycles maintain soil carbon stocks and yam yields 40 years after conversion of native- to farmland, implications for forest conservation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 247, 298–307. doi: 10.1016/j.agee.2017.06.044
- Kiba D. I., Hgaza V. K., Aighewi B., Aké S., Barjolle D., Bernet T., Diby L. N., Ilboudo L. J., Nicolay G., Oka E., Ouattara F. Y., Pouya N., Six J. and Frossard E. 2020. A Transdisciplinary Approach for the Development of Sustainable Yam (*Dioscorea* sp.) Production in West Africa. *Sustainability*, 12(10), 4016. <https://doi.org/10.3390/su12104016>
- Liniger H., Mekdaschi Studer R., Hauert C., & Gurtner M. 2011. La pratique de la gestion durable des terres Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne.
- Maliki, R., Cornet, D., Floquet, A., & Sinsin, B. (2012). Agronomic and economic performance of yam-based systems with shrubby and herbaceous legumes adapted by smallholders. *Outlook on Agriculture*, 41(3), 171–178. <https://doi.org/10.5367/oa.2012.0094>
- Maliki, R., Sinsin, B., Floquet, A., Cornet, D., & Lançon, J. (2017). Sedentary yam-based cropping systems in West Africa: Benefits of the use of herbaceous cover-crop legumes and rotation—lessons and challenges. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(5), 450–486. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1279252>
- Maliki R., Toukourou M., Sinsin B., and Vernier P. 2012. Productivity of yam-based systems with herbaceous legumes and short fallows in the Guinea-Sudan transition zone of Benin. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 92, 9–19. doi: 10.1007/s10705-011-9468-7
- N'diaye M. 2018. Analyse de l'efficacité technique des exploitations agricoles familiales à Maurice. *European Scientific Journal*, Vol.14, No.9 ISSN: 1857 – 7881.
- Oka E., Floquet A., Dao D., Hounnakoun C. O., & Mongbo R. L. (2021). DIVERSITY OF YAM-BASED PRODUCTION SYSTEMS AND SUSTAINABLE SOIL MANAGEMENT: THE CASE OF TIÉNINGBOUÉ IN IVORY COAST. *Managementjournal.usamv.ro*, 21(3), 16. http://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.21_3/Art69.pdf

- Ouattara W. 2009. Analyse de l'efficacité économique en Côte d'Ivoire, Cellule d'Analyse de Politiques Economiques du CIRES, PED N°11, 2008, 18p.
- Platet-Pierrot F. 2009. L'information financière à la lumière d'un changement de cadre conceptuel comptable : Étude du message du Président des sociétés cotées françaises, Thèse en Sciences de Gestion, Université de Montpellier 1, 324 p.
- Rodriguez-Montero W., Hilger T. H., and Leihner D. E. 2001. Effects of seed rates and plant populations on canopy dynamics and yield in the greater yam (*Dioscorea alata* L.). *Field Crop Res.* 70, 15–26. doi: 10.1016/S0378-4290(00)00145-3
- Soro D., Dao D., Carsky R., Asiedu R., Assa A., et al. 2007. Amélioration de la production de l'igname à travers la fertilisation minérale en zone de savane de Cote d'Ivoire. *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*, Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun, 8p
- Soro D., Dao D., Girardin O., Tié T. B., and Tschannen A. B. 2010. Adoption d'innovations en agriculture en Côte d'Ivoire: cas de nouvelles variétés d'igname. *Cah. Agric.* 19, 403–410. doi: 10.1684/agr.2010.0437
- WOCAT. 2009. WOCAT databases on SLM technologies and SLM approaches. www.wocat.net, accessed on 15 September 2009
- Zahm F., Ugaglia A. A., Barbier J. M., Boureau H., Del'homme B., Gafsi M. et al. 2019. Évaluer la durabilité des exploitations agricoles. La méthode IDEA v4, un cadre conceptuel combinant dimensions et propriétés de la durabilité. *Cahiers Agricultures* 28: 5. DOI: 10.1051/cagri/2019004.