



Agriculture oasienne en contexte de changement climatique : Évaluation de la rentabilité et identification des déterminants dans les oasis du Kanem au Tchad

Mahamat Mallah CHOUKOU

Université de Moundou au Tchad

Résumé :

Cette étude analyse les déterminants des marges des exploitants agricoles dans les oasis du Kanem au Tchad, un écosystème vulnérable aux changements climatiques. Une enquête a été menée auprès de 70 exploitants sélectionnés aléatoirement. Les résultats montrent une diversité de systèmes, avec une typologie identifiant trois profils : les producteurs consommateurs, consommateurs-marchands et marchands. Les effets du changement climatique perçus incluent la baisse des rendements (25,7 % des citations), l'ensablement (15,7 %) et la salinisation (17,1 %) des oasis. La marge brute moyenne est de 135 675 FCFA, avec le palmier dattier comme culture la plus rentable (3,5 millions FCFA/ha). L'analyse économétrique identifie comme déterminants clés de la marge brute le capital investi, le ratio de commercialisation (quantité vendue/récoltée), la superficie cultivée, la main-d'œuvre (familiale et salariée) et l'expérience des exploitants. Pour améliorer la rentabilité, l'étude préconise une stratégie d'adaptation qui intègre ces facteurs pour renforcer la résilience des producteurs oasiens.

Mots clés : Déterminants, Marge brute, vulnérabilité climatique, oasis, Kanem, Tchad

Abstract

This study analyzes the determinants of profit margins for farmers in the oases of Kanem, Chad, an ecosystem vulnerable to climate change. A survey was conducted with 70 randomly selected farmers. Data analyzed through a budgetary approach and a Cobb-Douglas production function revealed a highly significant model ($R^2 = 0.64$). The results show a diversity of farming systems, with a typology identifying three profiles: consumer producers, consumer-merchants, and merchant producers. Perceived climate impacts include yield reduction (25.7% of citations), silting (15.7%), and salinization (17.1%) of the oases. The average gross margin is 135,675 CFA francs, with date palm being the most profitable crop (3.5 million CFA francs/ha). The econometric analysis identifies key determinants of the gross margin as invested capital, the commercialization ratio (quantity sold/harvested), cultivated area, labor (family and salaried), and farmers' experience. To improve profitability, the study recommends an adaptation strategy that integrates these factors to strengthen the resilience of oasis farmers.

Keywords: Determinants, Gross margin, Climate vulnerability, Oasis, Kanem, Chad.

Corresponding author: Mahamat Mallah CHOUKOU

Received in Aug 2025 and accepted in dec 2025

E-mail address: choukoumallah@gmail.com

1. Introduction

Le rôle prépondérant de l'agriculture dans les pays en développement, en particulier en milieu rural, est incontestable. En Afrique subsaharienne, ce secteur constitue la base de l'économie et la principale source de revenus pour une grande partie de la population, contribuant significativement au PIB et employant une large proportion des actifs (Biaou et al., 2016). Cependant, son amélioration en vue d'un développement agricole durable reste un défi majeur, notamment face à la pression démographique croissante (Topanou et al., 2015).

La production agricole africaine, y compris la sécurité alimentaire, est fortement menacée par les changements et variations du climat. Selon

les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2021), la température mondiale augmentera en moyenne de 0,2 °C par décennie. En Afrique subsaharienne, le réchauffement devrait être encore plus prononcé d'ici 2080-2099, avec une hausse moyenne estimée à 3,3 °C, dépassant même 4 °C dans les régions septentrionales du Sahel. Étant donné que plus de 95 % de l'agriculture africaine dépend des précipitations, cette variabilité accrue, combinée à la hausse des températures et à la multiplication des phénomènes climatiques extrêmes, compromettra gravement les rendements agricoles.

Face à cette situation, les agriculteurs africains ont développé diverses stratégies d'adaptation, telles que la diversification des activités de subsistance, l'ajustement des pratiques culturelles, ou encore le recours à des sources de revenus extra-agricoles (Sanou et al., 2018).

Systèmes d'élevage pastoraux et changement climatique en Afrique de l'Ouest : Etat des lieux et perspectives.

Toutefois, ces mesures risquent de s'avérer insuffisantes pour contrer les effets des changements climatiques futurs, caractérisés par une intensification des extrêmes.

L'agriculture oasienne au Tchad, particulièrement vulnérable, n'échappe pas à cette réalité. Les rendements y sont déjà très faibles, incapables de couvrir les besoins alimentaires locaux (Mahamane et al., 2020). Ces oasis, véritables bastions contre la désertification depuis des siècles (Battesti, 2005), subissent désormais de plein fouet les effets du changement climatique : sécheresses récurrentes, baisse drastique des nappes phréatiques due à leur surexploitation et à une mauvaise gestion des eaux de surface, ensablement et salinisation des sols (Ozer, 2002; Bouzou, 2018).

Dans ce contexte, les contraintes climatiques et socio-économiques constituent les principaux freins au développement agricole des oasis tchadiennes (Clouet, 2018). Une meilleure compréhension de ces enjeux est essentielle pour élaborer des stratégies d'adaptation résilientes et durables. Dans la province du Kanem, au Tchad, les oasis figurent parmi les zones les plus vulnérables aux changements climatiques (PNUD, 2019). En effet, le secteur agricole y est particulièrement exposé aux sécheresses récurrentes. La dégradation des sols, souvent dénudés, les rend vulnérables à l'érosion hydrique, entraînant un tassement qui réduit l'infiltration et la réserve en eau, tout en augmentant le ruissellement (Cornet, 2002).

Par ailleurs, sous l'effet de la pression foncière et démographique, les périodes de jachère se raccourcissent, limitant ainsi la régénération naturelle des sols (Mahamane et al., 2020). Cette situation conduit à une baisse significative des rendements agricoles et de la production de biomasse, compromettant la durabilité des systèmes oasiens (Bouzou, 2018). Pourtant, les oasis du Kanem jouent un rôle écologique et économique crucial. Elles constituent un rempart contre l'avancée du désert et fournissent des revenus aux populations locales (Battesti, 2005). Ces écosystèmes abritent une biodiversité végétale et animale adaptée à un environnement aride, marqué par de faibles précipitations (Clouet, 2018).

Cependant, leur fragilité s'accroît sous l'effet combiné de multiples facteurs, notamment, (i) les perturbations climatiques, telles que les sécheresses prolongées et la raréfaction des ressources en eau, dont les impacts sont déjà perceptibles (Choukou et al., 2017) ; (ii) les facteurs socio-anthropiques, incluant l'affaiblissement des institutions traditionnelles, le désintérêt des jeunes pour l'agriculture oasienne, et la diminution des solidarités communautaires ; (iii) les lacunes institutionnelles, comme le manque de soutien financier et l'insuffisance des politiques publiques en faveur de ces écosystèmes. À ces défis s'ajoutent d'autres problèmes structurels : l'abandon progressif des palmeraies, l'absence de programmes de sensibilisation et la perte des savoir-faire locaux. Ces dynamiques contribuent à la dégradation accélérée des oasis du Kanem, se traduisant par une baisse continue de la productivité agricole.

Les écosystèmes oasiens du Kanem sont menacés par un ensemble complexe de facteurs biophysiques et socio-économiques. Ces menaces résultent notamment de l'expansion des terres agricoles, de la surexploitation des nappes phréatiques, de morcellement des terres, de la modification des pratiques de gestion traditionnelles, de l'ensablement, et de la dégradation environnementale. Ces défis sont exacerbés par le manque d'activités économiques innovantes, de l'exode rural, de la perte des savoirs traditionnels, et de l'effondrement du système de production (FAO, 2017). Ces facteurs soumettent l'agriculture oasienne dans la province du Kanem à de fortes contraintes, affectant négativement sa performance. On observe ainsi peu d'évolution dans les pratiques culturelles ancestrales, principalement axées sur les cultures sèches, mais qui s'avèrent de moins en moins adaptées face aux changements socio-économiques et climatiques rapides.

Une compréhension approfondie de la performance des pratiques culturelles et des facteurs qui l'influencent est donc essentielle. Cette analyse devrait permettre d'élaborer des politiques ciblées, des décisions et des actions adaptées pour répondre aux défis spécifiques des exploitations agricoles. L'objectif est d'engager une transformation positive vers une production agricole suffisante, tout en tenant compte des effets du changement climatique, qui ont déjà fragilisé l'écosystème oasien.

Il est dès lors crucial d'étudier les facteurs susceptibles d'améliorer les rendements et les marges brutes des agriculteurs oasiens du Kanem. Une telle démarche ouvrirait la voie à une production accrue et durable, favorisant l'autosuffisance alimentaire et l'amélioration des conditions socio-économiques dans un contexte de vulnérabilité climatique.

Dans ce cadre, les déterminants de la marge brute agricole et l'influence des variables climatiques constituent des éléments clés pour optimiser les rendements et la rentabilité des exploitations. Si la littérature existante documente abondamment les défis biophysiques et socio-économiques des oasis du Kanem, peu d'études se sont penchées sur l'analyse quantitative de leur performance économique interne, et encore moins sur les déterminants précis de leur rentabilité. Un déficit de connaissances persiste concernant l'influence relative des facteurs de production, des pratiques culturelles et des contraintes climatiques sur la viabilité financière des exploitations. Pour combler cette lacune, cet article vise à analyser la rentabilité financière des producteurs oasiens dans la province du Kanem au Tchad et à identifier, par une approche économétrique, les facteurs socio-économiques, culturels et climatiques qui influencent significativement leur marge brute de production. Notre contribution réside ainsi dans la fourniture des données pertinentes, données empiriques et d'éléments d'analyse décisionnelle pour orienter les politiques de soutien vers les leviers les plus efficaces pour améliorer les revenus agricoles et la résilience de ces systèmes oasiens en péril.

2. Matériels et méthodes

2.1 Milieu d'étude

La présente étude s'est déroulée du 12 mai 2023 au 15 mars 2024 dans la zone septentrionale du Tchad, principalement dans la province du Kanem. Le Kanem est situé au nord et au nord-est du lac Tchad, entre les 14° et 17° parallèles de latitude nord. Il est limité au nord par la région du Borkou, au sud par la région du Hadjer-Lamis, à l'est par la province du Bahr-el-Ghazal et à l'ouest par la province du Lac et la République du

Niger. Selon le RGPH2 (2009), la population du Kanem s'élève à 354 603 habitants, pour une superficie de 1 140 520 km².

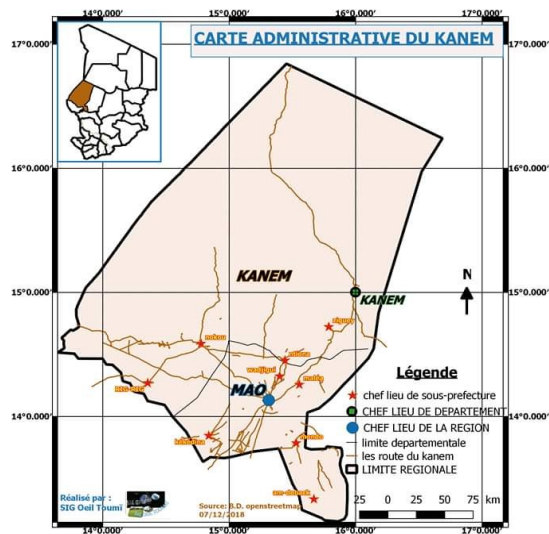


Figure 1 : Localisation de zone de recherché

2.2 Echantillonnage et base des données

Les recherches menées dans le département du Kanem ont ciblé spécifiquement les oasis de Kouloula, Koumagri, Youlo et Tchidi. Ces sites ont été sélectionnés lors de l'enquête préliminaire en raison de leur rôle actif dans l'agriculture oasienne et de leur pertinence pour l'étude. Une enquête de terrain a été conduite auprès des producteurs agricoles de la zone d'étude. La sélection de la population enquêtée a été guidée par la volonté de diversifier les sources de données. L'échantillonnage s'est déroulé en deux étapes : (i) Phase préparatoire qui consiste la prise de contact avec les services techniques locaux, les leaders paysans, les personnes ressources et les autorités traditionnelles (ii) la sélection des 205 producteurs recensés dans le Kanem, 70 ont été choisis selon une méthode aléatoire (voir Tableau 1). La détermination de la taille de l'échantillon a été effectuée selon la formule de Cochran (1977) pour les populations finies, avec une marge d'erreur de 10% et un niveau de confiance de 95%. La répartition proportionnelle entre les oasis a été réalisée selon la méthode d'échantillonnage aléatoire stratifié proportionnel (Sukhatme&Sukhatme, 1970). La formule de répartition utilisée est :

$$n_i = \frac{N_i}{N} x n \quad (1)_x \quad \text{Où}$$

- n_i = taille de l'échantillon dans l'oasis i
- N_i = population totale de l'oasis i
- N = population totale de toutes les oasis (205)
- n = taille totale de l'échantillon (70)

Tableau 1 : Répartition des exploitants agricoles échantillonnés par oasis

Oasis	Population totale recensée (N _i)	Taille échantillon calculée (n _i)	Taille échantillon arrondie	Pourcentage (%)
Kouloula	43	14,68	15	21,4
Koumagari	54	18,44	18	25,7
Youlo	52	17,76	18	25,7
Tchidi	56	19,12	19	27,1
Total	205	70,00	70	100,0

Source : Données d'enquête, 2024. (Source des données de base : Recensement agricole des oasis du Kanem, Direction Provinciale de l'Agriculture du Kanem, 2023).

La collecte des données a combiné une enquête quantitative par questionnaire auprès des agriculteurs et des entretiens semi-structurés avec des responsables institutionnels. Le questionnaire a ciblé la caractérisation des systèmes de production, la perception des changements climatiques, leurs impacts socio-économiques et les stratégies d'adaptation déployées. Les entretiens ont permis de recueillir la perspective institutionnelle sur l'évolution climatique, ses effets sur l'agriculture locale et les actions d'accompagnement existantes. Les données recueillies ont ensuite fait l'objet d'une analyse descriptive.

2.3 Méthodes de détermination de la rentabilité

Plusieurs auteurs ont tenté de définir la rentabilité et les méthodes pour l'évaluer (Babacar et al., 2020). Selon Pirou (2005), la rentabilité désigne la capacité d'un capital à générer un revenu, en comparant le profit obtenu au capital engagé. Elle peut également se définir comme la capacité d'une entreprise à réaliser des bénéfices sur une période donnée. En ce qui concerne la budgétisation, a pour but d'évaluer la rentabilité des cultures. Le budget d'une culture consiste à l'évaluation des coûts des intrants utilisés pour la produire et à l'estimation des revenus du produit obtenu évalué au prix bord champ. Les intrants incluent l'engrais, la main-d'œuvre salariée, les pesticides et les semences. Le capital fixe est constitué des outils tels que : les houes, dabas, arrosoirs, binettes, pelles, brouettes, râteaux et machettes. Le résultat est la production issue de la parcelle utilisée pour la culture en question. L'approche budgétaire proposée a permis de déterminer les coûts de production, les recettes et les marges des producteurs. Les différents calculs ont été effectués de la manière suivante :

Coût de production = Coûts variables + coûts fixes (2)

Où :

Les coûts variables correspondant aux coûts des semences, de l'engrais, des pesticides, de la main-d'œuvre salariée sont les prix auxquels ces intrants ont été achetés ou payés. Ils sont tous évalués par unité de superficie ; Les coûts fixes représentent l'amortissement de tous les outils utilisés chez le producteur par unité de superficie. Le principe de l'amortissement est linéaire.

Produit brut (recette brute) = prix unitaire x quantités vendues (3)

Marge brute = produit brut – Coût de production (4)

La marge brute est la différence entre le produit brut de l’output évalué au prix bord champ et le coût des intrants. Dans ce cas, les calculs ont été effectués de la manière suivante :

Le produit brut est égal à la multiplication de la quantité totale vendue par le prix unitaire. La marge nette est la différence entre la marge brute et les coûts fixes associés. Elle est estimée pour chaque spéculation et oasis comme pour la marge brute.

2.3.1 Déterminants de la marge brute d'exploitation

La fonction de production de Cobb-Douglas

Une fonction de production de type Cobb-Douglas, telle que présentée dans l’Équation (7), a été retenue pour cette étude. Cette forme fonctionnelle a été choisie car elle est flexible, auto-duale, et ses rendements d’échelle sont facilement interprétables (Bravo-Ureta & Evenson, 1994). Sa forme générale est la suivante :

$$Y = AL^{\alpha}K^{\beta} \text{ (5)}$$

Où :

- Y représente la production output.
- A est un paramètre de productivité totale des facteurs, captant l'efficacité technologique et organisationnelle.
- L et K désignent respectivement les facteurs de production travail et capital.
- α et β sont les élasticités-output du travail et du capital. Elles mesurent la variation proportionnelle de la production résultant d'une variation de 1% de chaque facteur, toutes choses égales par ailleurs.

La formule générale de la fonction de production Cobb-Douglass se présente comme suit :

$$M = e^{b_0} X^{ib_i} \text{ (6)}$$

Avec X^{ib_i} = (Le capital investi, main-d’œuvre familiale, main-d’œuvre salariée temporaire, le mode de faire-valoir, le ratio de la quantité de produit vendue sur la quantité récoltée d’une part et le nombre d’années d’expérience, l’âge de l’exploitant, la superficie totale exploitée, l’origine ethnique, le nombre d’années d’étude (enfants scolarisé) et les oasis d’autre part.

La forme empirique de régression se présente comme suit :

$$\begin{aligned} \text{LogM} = & \text{LogM}_0 + b_1\text{Log(Capitalinvest)} + b_2\text{Log(MOF)} + \\ & b_3\text{Log(MOS)} + b_4\text{MFV} + b_5\text{Log}\left(\frac{\text{RATIOV}}{\text{R}}\right) + b_6\text{Log(SUP)} + \\ & b_7\text{Log(EXP)} + b_8\text{Log(ENFSCOLA)} + b_9\text{OUADI2} + b_{10}\text{OUADI3} + \\ & b_{11}\text{OUADI4} + b_{12}\text{ORIGINE} + \mu_i \end{aligned} \text{ (7)}$$

Tableau 2 : Liste des variables explicatives et les effets attendus.

Codification (Variable)	Description et Modalités
Capitalinvest (log)	Montant total investi dans l'exploitation (en unité monétaire).
MOF (log)	Quantité de main-d'œuvre familiale utilisée. Hommes-jours
MOS (log)	Dépense totale pour la main-d'œuvre salariée. Montant versé en FCFA
MFV	Description : Mode de faire-valoir (régime d'exploitation de la terre)
RATIOV/R (log)	Ratio mesurant l'efficacité commerciale. (Quantité vendue / Quantité récoltée).
SUP (log)	Taille de l'exploitation. Superficie exploitée en hectares
EXP (log)	Expérience professionnelle de l'agriculteur. Nombre d'années d'expérience
ENFSCOLA (log)	Niveau d'éducation formelle de l'agriculteur. Nombre d'années d'étude
OUADI	Variable indicatrice pour la localisation dans l'oasis de YOULO , KOUMAGRI , TCHIDI et YOULO
ORIGINE	Statut de l'agriculteur par rapport à la zone d'étude.

Source : Données d'enquête, 2024.

Le tableau 2 présente les variables explicatives utilisées dans le modèle pour analyser les déterminants de la marge brute des exploitations oasiennes. Pour chaque variable, une brève description, le signe attendu de son effet sur la marge brute et la modalité de la variable sont fournis. Les justifications des signes attendus s'appuient sur la littérature agricole et économique récente.

Capital investi : Cette variable représente le montant total investi dans l'exploitation (en unité monétaire). On s'attend à un effet positif sur la marge brute, car un capital plus élevé permet l'acquisition d'intrants de qualité, d'équipements modernes et l'amélioration des infrastructures, ce qui se traduit par une augmentation de la productivité et des recettes (Abdul-Rahaman & Awuni, 2020).

Main-d’œuvre familiale : Mesurée en hommes-jours, cette variable capture la contribution de la main-d’œuvre familiale. Un effet positif est attendu, car une main-d’œuvre familiale abondante peut réduire les coûts de main-d’œuvre salariée et augmenter la supervision des activités, améliorant ainsi l'efficacité et la marge (Oluwatayo & Ojo, 2016).

Main-d’œuvre salariée : Cette variable correspond au montant versé pour la main-d’œuvre salariée. Un signe positif est anticipé, car le recours à la main-d’œuvre salariée permet de compléter la main-d’œuvre familiale, pendant les périodes de pointe, ce qui peut augmenter la production et la marge (Alvarez & Lopez, 2018). Toutefois, si les coûts salariaux sont excessifs, l'effet pourrait être négatif, mais dans l'ensemble, on s'attend à un impact positif.

Mode de faire-valoir (MFV) : Cette variable binaire distingue le faire-valoir direct (MFV=1) du faire-valoir indirect (MFV=0). L'effet est incertain (+/-). Le faire-valoir direct peut inciter à une meilleure gestion de l'exploitation, car l'agriculteur est pleinement responsable des décisions et bénéficie directement des gains (Bellemare & Novak, 2017). Inversement, le faire-valoir indirect (comme le métayage) peut permettre d'accéder à plus de terres, mais peut aussi réduire les incitations à investir en raison du partage des récoltes.

Ratio quantité V/R : Ce ratio représente la quantité vendue sur la quantité récoltée. Un signe positif est attendu, car un ratio élevé indique une meilleure efficacité de la production, ce qui se traduit par une marge brute plus élevée (Mburu et al., 2014).

Superficie (ha) : La superficie exploitée en hectares. Un signe négatif est attendu, ce qui peut paraître contre-intuitif. Cependant, dans le contexte fragile des oasis, une superficie plus grande peut être associée à une dégradation des sols, une mauvaise gestion de l'eau et des coûts de maintenance plus élevés, ce qui pourrait réduire la marge (Sidibé, 2005). De plus, les petites exploitations oasiennes peuvent être plus intensives et mieux gérées.

Expérience : Les années d'expérience de l'agriculteur. Un effet positif est attendu, car l'expérience accumulée améliore les connaissances locales, les compétences techniques et la capacité à gérer les risques, leading to better farm performance (Hansson et al., 2018).

Nombre d'années d'Etude : Les années d'éducation formelle de l'agriculteur. Un signe négatif est attendu. Bien que l'éducation soit généralement associée à de meilleures pratiques, dans le contexte des oasis, elle peut détourner les agriculteurs de l'agriculture traditionnelle, les amener à adopter des techniques inadaptées ou refléter un coût d'opportunité où les agriculteurs éduqués ont des opportunités non agricoles qui réduisent leur attention portée à l'exploitation (Mpawanimana et al., 2021)

OUADI2, OUADI3, OUADI4 : Ces variables représentent les localités (respectivement YOULO, KOUMAGRI, KOULOULA). L'effet est incertain car il dépend des conditions agro-écologiques, de l'accès au marché, des infrastructures et des politiques locales spécifiques à chaque zone (Biaou et al., 2016).

ORIGINE : Cette variable binaire indique si l'agriculteur est autochtone (1) ou migrant (0). L'effet est incertain. Les autochtones peuvent avoir un meilleur accès à la terre et aux ressources communautaires, mais les migrants peuvent être plus entreprenants et avoir des réseaux différents (De Brauw et al., 2013).

3. Résultats et discussion

3.1. Caractéristiques sociodémographiques des enquêtés

L'enquête menée auprès de 70 producteurs agricoles révèle que seulement 3,4 % des exploitations sont dirigées par des femmes. Cette faible proportion s'explique par le fait que, dans la plupart des pays africains, les hommes sont systématiquement chefs de ménage. Lorsqu'une femme assume ce rôle, trois principales raisons peuvent l'expliquer : (i) la femme est célibataire avec un ou plusieurs enfants (suite à un divorce, une grossesse non désirée ou non reconnue par l'autre parent) ; (ii) la femme est veuve et le mari est parti en exode rural ou a émigré vers un pays limitrophe du Tchad.

Par ailleurs, 72 % des chefs de ménage de l'échantillon n'ont aucun niveau d'instruction, ce qui pourrait influencer leur capacité d'adaptation face aux défis climatiques. L'âge moyen des exploitants agricoles est de 56 ans, avec un écart-type de 15 ans (soit un coefficient de variation de 27 %). Cette dispersion importante s'explique par la grande variabilité des âges : le chef d'exploitation le plus jeune a 20 ans, tandis que le plus âgé en a 102. Bien que la majorité des exploitants soient d'un âge avancé, certains jeunes deviennent chefs d'exploitation

en raison de l'éclatement des familles, ce qui justifie la présence de profils plus jeunes.

Tableau 3 : Age et expérience des producteurs oasiens

Tableau 1 : Variables	Nombre	Moyenne	Ecart type
Age des chefs d'exploitations	70	56	15
Nombre d'année d'expérience des chefs d'exploitations dans la production du coton	70	25	13

Source : Données d'enquête, 2024.

3.2. Aspect socioéconomique des producteurs agricoles

Les résultats révèlent que près de trois quarts des ménages sont soit pauvres (51,84 %) , soit très pauvres (21,47 %). Ce constat s'explique par le fait que les exploitants agricoles des oasis subissent depuis plusieurs décennies les effets du changement climatique, entraînant d'importantes pertes de production agricole et une forte baisse de leurs revenus. Par ailleurs, l'analyse indique que 55 % des personnes interrogées pratiquent la polygamie, tandis que 44 % sont monogames et 1 % sont célibataires. En milieu rural, avoir plusieurs enfants est perçu comme une assurance pour la retraite et une source de main-d'œuvre permanente. Pour y parvenir, les hommes optent souvent pour plusieurs épouses, sachant que la charge des enfants repose majoritairement sur les mères.

3.3. Mode de faire-valoir

Dans la société *kanembou* (population du Kanem), la terre est considérée comme la principale source de richesse et de subsistance. Cependant, dans ces zones, les surfaces cultivables sont limitées en raison du manque d'aménagement foncier et des possibilités d'irrigation réduites, ce qui pousse à exploiter la moindre parcelle disponible. Le statut foncier est à 100 % propriété privée. Le patrimoine foncier de la palmeraie de Mao se caractérise par une micropropriété, phénomène qui s'explique par la concentration des terres cultivées à proximité des villages, les divisions successorales répétées et la pression démographique croissante. Le faire-valoir direct est dominant dans toutes les oasis étudiées, représentant 91,43 % des cas, contre seulement 8,57 % pour le faire-valoir indirect.

L'étude a identifié plusieurs modes d'accès à la terre dans les oasis du Kanem.

Tableau 4: Mode d'accès à la terre

Mode Oasis	Location	Achat	Prêt	Gage	Héritage	Héritage non partagé	Total
TCHIDI	1,4	1,4	1,4	0	20	4,3	28,6
YOULO	1,4	0	0	1,4	17,1	8,6	28,6
KOUMAGRI	0	0	1	0	8	11	20
KOULOULA	0	0	0	0	9	1	10
TOTAL	2,9	1,4	2,9	1,4	61,4	30,0	100,0

Source : Données d'enquête, 2024.

La prédominance du mode d'accès à la terre par héritage s'explique par le fait que 61,40 % des producteurs appartiennent aux populations autochtones, qui sont également les principaux propriétaires fonciers. En effet, ces oasis constituent d'anciens territoires de production vivrière, transmis de génération en génération depuis leurs ancêtres. Par ailleurs, l'héritage non partagé apparaît comme une pratique complémentaire.

Ces deux formes de transmission foncière, l'héritage et l'héritage non partagé sont étroitement liées à la préservation d'un mode de vie familial. L'usage des terres dans ces oasis (oaudis) repose sur un principe de solidarité familiale. Les propriétaires terriens, qu'ils soient autochtones ou autres, mettent souvent des parcelles à disposition pour la culture, dans la mesure de leurs moyens. Cette pratique explique la présence du prêt comme mode d'accès secondaire. Cependant, dans les zones urbaines, où la spéculation foncière gagne du terrain, l'achat tend progressivement à s'imposer comme mode d'acquisition dominant.

3.4. Analyse des résultats économétriques 3.4.1 Estimation des marges brutes

Les marges brutes se déduisent de la différence entre les recettes totales et les coûts variables. Le tableau n°4 compare les marges brutes moyennes par hectare dans les oasis du Kanem. L'étude révèle que les producteurs agricoles des oasis du Kanem dégagent en moyenne une marge brute de 135 675 FCFA pour l'ensemble des spéculations (Tableau 7). Ce résultat global résulte de la combinaison des marges brutes obtenues pour les différentes cultures pratiquées dans la zone. Le test t de Student indique qu'il n'existe pas de différence significative (au seuil de 5 %) entre les marges brutes moyennes des différentes oasis. Cependant, des disparités apparaissent lorsque l'analyse se focalise sur les recettes moyennes par hectare selon les cultures. Dans l'oasis de TCHIDI, le sorgho, la tomate et l'oignon génèrent des marges brutes à l'hectare plus élevées que les autres spéculations. À KOUMAGRI, le gombo, le mil et le maïs présentent des marges brutes par hectare supérieures. L'oasis de YOULO se distingue par une forte marge brute liée à la culture de la datte. En revanche, la laitue enregistre une marge brute négative par hectare dans les oasis de TCHIDI et YOULO, soulignant la faible rentabilité de cette spéculation dans ces zones. Globalement, c'est la culture du palmier dattier qui offre la marge brute la plus élevée, avec une moyenne de 3 525 077,78 FCFA, confirmant son importance économique pour les producteurs locaux.

Tableau 4 : Marges brutes moyennes par spéculation et par oasis (FCFA/ha)

Oasis(oaudis) Spéculations	Tchidi	Youlo	Koumagri	Kouloula	Total
Sorgho	205356,25	126366,667	167118,421	72750	571591,338
Maïs	85882,8125	90660,6	101315,79	63030	340889,202
Mil	115822,059	98188,2353	132100	76250	422360,294
Gombo	146947,917	148550	341250	154900	791647,917
Tomate	200043,75	32768,4211	119776,316	144250	496838,487
Oignon	372581,25	287805	306560	306325	1273271,25
Ail	424068,75	543715,79	489812	628850	2086446,54
Laitue	-10418,75	-7035,2941	555,5556	6050	-10848,4885
Palmier dattier	677711,111	1,02E+06	976183,333	846583,333	3525077,78
Total	2217995,15	2345619,42	2634671,42	2298988,33	9497274,32

Source : Données d'enquête, 2024.3.2.2 Analyse des déterminants de la marge brute

Les résultats de la régression montrent que le modèle est globalement significatif, avec un R² de 0,64, indiquant que 64 % de la variation de la marge brute s'explique par les variables indépendantes incluses dans le modèle. Les résultats de l'enquête menée dans les oasis du Kanem (Tchad) révèlent que six (6) variables influencent significativement la

marge brute des exploitants agricoles face aux changements climatiques. Il s'agit respectivement de : capital investi (1%), ratio quantité de produits vendue/quantité récoltée (1%) et superficie totale en exploitation (en Ha) de l'enquête (1%), main-d'œuvre familiale (5%), main-d'œuvre familiale et le nombre d'année d'expérience dans la production agricole est significatif au seuil de 10%). Ces résultats mettent en évidence l'importance des facteurs économiques (capital, superficie) et structurels (main-d'œuvre, expérience) dans la résilience des marges agricoles face aux aléas climatiques.

Tableau 5 : Déterminants de la marge brute par hectare - Résultats du modèle de régression

Variables explicatives	Coefficient	Erreur type	Statistique t	Significativité
Capital investi	0,630***	0,206	3,056	0,003
Main d'œuvre familiale	0,233**	0,103	2,264	0,027
Main d'œuvre salariée	0,024*	0,013	1,859	0,068
Mode de Faire Valoir	0,060	0,146	0,408	0,685
Ratio quantité vendue/récoltée	1,430***	0,341	4,198	0,000
Superficie exploitée	-2,182***	0,547	-3,992	0,000
Années d'expérience	-0,164*	0,086	-1,894	0,063
Années d'étude	-0,023	0,049	-0,459	0,648
OUADI2	-0,019	0,094	-0,203	0,840
OUADI3	0,134	0,098	1,359	0,179
OUASDI4	-0,045	0,122	-0,372	0,712
Origine ethnique	-0,107	0,093	-1,149	0,255
Constante	6,058***	2,221	2,728	0,008

Nombre d'observations (N) = 70

R² = 0,64

F(12, 57) = 8,354

Probabilité > F = 0,000

Source : Données d'enquête, 2024.3.5 Analyse et discussion des résultats

Le modèle économétrique estimé présente une qualité d'ajustement satisfaisante (R² = 0,64), expliquant une part substantielle de la variabilité des marges brutes. Sa significativité globale (p < 0,001) atteste de la robustesse des relations estimées. Les résultats mettent en lumière plusieurs déterminants clés. L'élasticité la plus forte est observée pour le ratio de commercialisation (β = 1,430; p < 0,01), soulignant que l'orientation vers le marché est le principal moteur de rentabilité. Ceci corrobore les conclusions d'études récentes en Afrique subsaharienne, où la commercialisation est identifiée comme un facteur critique pour la transformation agricole et l'augmentation des revenus (Mango et al., 2018 ; Sheahan & Barrett, 2017). Cette observation rejoint les conclusions de Wouterse et al. (2022), qui démontrent que l'intégration au marché est le principal levier d'amélioration des revenus agricoles en Afrique subsaharienne. Dans notre contexte, ce résultat souligne l'importance des circuits de commercialisation pour valoriser la production oasisienne, souvent handicapée par l'enclavement et le manque d'infrastructures.

L'effet positif significatif du capital investi (β = 0,630; p < 0,01) réaffirme le rôle des intrants et équipements dans l'amélioration de la

productivité, une relation largement documentée mais qui reste un défi d'accès pour les petits exploitants vulnérables (Adewopo et al., 2021). Cette relation valide le rôle déterminant des intrants et équipements dans l'amélioration de la productivité agricole, rejoignant ainsi les conclusions antérieures de Choukou et al. (2017) sur l'agriculture tchadienne. Cependant, cette relation doit être nuancée par les spécificités climatiques dans un contexte de rareté croissante de l'eau, l'investissement dans des technologies d'irrigation efficaces devient prioritaire. Comme le notent Achten et al. (2023), l'efficacité d'utilisation de l'eau devient un déterminant clé de la rentabilité dans les zones arides.

De manière intéressante, la superficie exploitée montre une relation négative significative ($\beta = -2,182$; $p < 0,01$). Ce résultat, qui semble contre intuitif, s'inscrit dans le débat persistant sur la "relation inverse" entre taille et productivité. Il pourrait s'expliquer, dans le contexte oasien spécifique, par une intensification plus poussée et une gestion plus attentive des ressources (eau, sol) sur les petites parcelles, alors que les grandes superficies pourraient être associées à des contraintes de gestion, une dégradation plus diffuse des sols ou un accès limité à l'eau d'irrigation les rendant moins productives à l'hectare. Des études récentes dans des agroécosystèmes fragiles confirment que la productivité des facteurs peut être plus élevée sur les petites exploitations en raison d'une utilisation plus efficace des ressources limitées (Chamberlin et al., 2021 ; Michler & Josephson, 2017).

La relation négative entre superficie et marge brute mérite une analyse approfondie. Contrairement aux résultats attendus, elle suggère une meilleure performance des petites exploitations. Plusieurs explications peuvent être avancées. Les petites exploitations pratiquent une agriculture plus intensive, avec une gestion plus attentive des ressources (eau, fertilisants). Cette observation rejoint la "relation inverse" documentée par Sen (1962) et réactualisée par Larson et al. (2020) dans différents contextes africains. Les grandes exploitations peuvent souffrir de problèmes de supervision et de coordination, particulièrement aigus dans un contexte de main-d'œuvre limitée et de dispersion des parcelles. Les petites exploitations sont souvent situées près des points d'eau et bénéficient de sols de meilleure qualité, tandis que les extensions se font sur des terres marginales plus vulnérables à la dégradation.

Le rôle positif de la main-d'œuvre familiale ($\beta = 0,233$; $p < 0,05$) souligne l'importance du travail non rémunéré dans l'économie oasienne, offrant flexibilité et réduction des coûts. Cependant, son effet limité et le signe faiblement positif de la main-d'œuvre salariée pourraient indiquer des contraintes de productivité du travail ou des coûts salariaux élevés par rapport à la valeur ajoutée.

Le signe négatif inattendu de l'expérience ($\beta = -0,164$; $p < 0,10$) mérite une analyse nuancée. Il pourrait refléter une moindre adoption de pratiques innovantes et adaptatives par les exploitants les plus âgés face aux changements climatiques rapides, comparativement à des agriculteurs plus jeunes, potentiellement plus ouverts à l'expérimentation ou bénéficiant d'informations récentes. Cette hypothèse est étayée par des travaux récents montrant que l'âge peut être corrélé négativement à l'adoption de technologies d'adaptation au climat (Takahashi et al., 2020). L'effet négatif de l'expérience, bien que marginal, interpelle. Plusieurs interprétations sont possibles : les jeunes exploitants pourraient être plus ouverts aux innovations techniques,

bénéficier d'une formation plus récente, ou encore pratiquer une agriculture plus commerciale. Cette observation rejoint les travaux de Ali et al. (2021) sur l'adoption des technologies climato-intelligentes, qui montrent que l'âge influence négativement l'adoption d'innovations.

L'absence de significativité des variables comme le niveau d'éducation ou l'origine ethnique suggère que, dans ce contexte de vulnérabilité climatique accrue, les facteurs de production directs et les stratégies économiques (commercialisation, investissement) prévalent sur les caractéristiques socio-démographiques individuelles pour déterminer la performance financière. Ceci pousse vers l'importance d'interventions ciblant l'amélioration de l'accès aux marchés, au crédit et aux intrants pour tous les types d'exploitants.

4. Conclusion

Cette recherche a permis d'analyser les déterminants de la rentabilité des exploitations oasiennes dans la province du Kanem au Tchad, un écosystème particulièrement vulnérable aux changements climatiques. L'étude révèle que l'agriculture oasienne, bien que confrontée à d'importants défis climatiques et structurels, présente des potentialités économiques significatives lorsque certains leviers sont actionnés.

Les principaux enseignements de cette recherche mettent en évidence une diversité de systèmes de production organisés autour de trois profils types : les producteurs consommateurs, les consommateurs-marchands et les producteurs marchands. Cette typologie reflète la variété des stratégies d'adaptation déployées par les exploitants face aux contraintes environnementales et économiques.

L'analyse économétrique a identifié les facteurs clés influençant la marge brute des exploitations. Le ratio de commercialisation apparaît comme le déterminant le plus important, soulignant la supériorité économique des exploitations orientées vers le marché. Le capital investi et la main-d'œuvre familiale constituent également des variables significativement positives, tandis que la relation négative entre superficie et rentabilité confirme l'avantage productif des petites exploitations dans ce contexte oasien spécifique.

Les impacts des changements climatiques se manifestent principalement par la baisse des rendements (25,7%), l'ensablement (15,7%) et la salinisation (17,1%) des oasis, affectant directement les revenus des producteurs et menaçant la durabilité de ces écosystèmes fragiles.

Cette étude recommande plusieurs orientations stratégiques pour améliorer la rentabilité des oasis du Kanem, notamment le renforcement des circuits de commercialisation, la facilitation de l'accès au crédit, et le soutien aux petites exploitations familiales qui démontrent une meilleure efficacité productive. Le développement de systèmes d'irrigation économes en eau et la promotion du palmier dattier, culture la plus rentable, constituent également des priorités. Bien que cette recherche présente certaines limitations, comme l'absence de variables climatiques directes dans le modèle et la taille réduite de l'échantillon, elle ouvre des perspectives importantes pour de futures recherches incluant des indicateurs climatiques précis et une analyse élargie à d'autres régions oasiennes. Cette contribution scientifique offre des éléments concrets pour élaborer des politiques agricoles adaptées au contexte de vulnérabilité climatique, essentielle pour préserver ces écosystèmes uniques et assurer la sécurité alimentaire dans la région du Sahel.

5. Références bibliographiques

- Abdul-Rahaman, A., & Awuni, J. A. (2020). Input use and agricultural productivity in Sub-Saharan Africa: A meta-analysis. *Journal of Agricultural Economics*, 71(2), 345-367. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12356>
- Achten, W. M. J., Traoré, F., & Kuyper, T. W. (2023). Water productivity in African agriculture: Limits and opportunities for improvement. *Agricultural Water Management*, 279, 108194. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108194>
- Adewopo, J., Solano-Hermosilla, G., Colen, L., & Micale, F. (2021). Using remote sensing to assess the impact of human activities on water quality trends in large African lakes. *Science of The Total Environment*, 755, 142584. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142584>
- Ali, A., Abdulai, A., & Mishra, A. K. (2021). Adoption of climate-smart agriculture practices and its impact on farm income in Sub-Saharan Africa. *Journal of Agricultural Economics*, 72(2), 406-427. <https://doi.org/10.1111/agec.12657>
- Alvarez, R., & Lopez, R. A. (2018). Labor allocation and productivity in farm households. *Agricultural Economics*, 49(3), 355-368. <https://doi.org/10.1111/agec.12422>
- Archer, A. (2013). Fonctions de production agricole au Québec. *L'actualité économique*, 55(2), 230-245.
- Babacar, F., Sadibou, S., Mamadou, D. F., & Bachir, W. (2020). Les performances agro-économiques de l'urée super granulé : Cas du riz au Sénégal. *European Scientific Journal*, 16(13), 364-378. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n13p364>
- Banque Mondiale. (2023). Financer l'adaptation au changement climatique dans l'agriculture africaine. Rapport technique, Washington DC.
- Battesti, V. (2005). Jardins au désert : Évolution des pratiques et savoirs oasiens. Éditions IRD.
- Bellemare, M. F., & Novak, L. (2017). Tenure security and agricultural productivity. *Journal of Development Economics*, 127, 38-52. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.02.004>
- Berry, R. A., & Cline, W. R. (1979). *Agrarian structure and productivity in developing countries*. Johns Hopkins University Press.
- Biaou, A. F., & Hounsou, M. B. (2016). Étude diagnostique de l'aménagement et de la mise en valeur des bas-fonds dans la commune de Ouèssè (cas du site de Wodji) dans l'Arrondissement de Laminou. EPAC/CAP/UAC.
- Bisson, A., Ben Salem, F., & Baccar, M. (2021). Adaptation strategies to climate change in oasis agro-systems: A comparative study from North Africa. *Journal of Arid Environments*, 188, 104465. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104465>
- Bouzou, M. (2018). Dégradation des sols et stratégies de lutte dans les oasis du Niger. *Revue d'Écologie et d'Environnement*, 24(2), 145-162.
- Bouzou, M., Ozer, P., & Mahamane, M. (2022). Valorisation des produits oasiens et développement local dans le Sahara africain. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, 4, 789-812.
- Bravo-Ureta, B. E., & Evenson, R. E. (1994). Efficiency in agricultural production: The case of peasant farmers in eastern Paraguay. *Agricultural Economics*, 10(1), 27e37. [https://doi.org/10.1016/0169-5150\(94\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0169-5150(94)90037-X)
- Chamberlin, J., Jayne, T. S., & Headey, D. D. (2021). Scarcity amidst abundance? Reassessing the potential for cropland expansion in Africa. *Food Policy*, 103, 102156. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102156>
- Choukou, M. M., Biaou, G., Zannou, A., & Ahohuendo, B. (2017). Production et rentabilité de la culture de maïs dans les oasis du Kanem au Tchad. *Journal of Natural Sciences*, 45(3), 1-10.
- Clouet, Y. (2018). Vulnérabilité et adaptation des socio-écosystèmes oasiens au Sahel. *Études Rurales*, 202(2), 89-107.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Cornet, A. (2002). L'érosion hydrique dans les zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest. *Sécheresse*, 13(4), 215-223.
- De Brauw, A., Mueller, V., & Lee, H. L. (2013). The role of rural-urban migration in the structural transformation of Sub-Saharan Africa. *World Development*, 63, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.10.013>
- Deolalikar, A. B. (1981). The inverse relationship between productivity and farm size: A test using regional data from India. *American Journal of Agricultural Economics*, 63(2), 275-279. <https://doi.org/10.2307/1239560>
- FAO. (2022). L'état de l'agriculture et de l'alimentation 2022 : S'adapter au changement climatique dans les zones arides. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Gbaguidi, L. (2013). Déterminants of financial profitability in cotton farms. *Studia Universitatis Babes-Bolyai Oeconomica*, 58*(1), 83-92.
- GIEC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Gnanglè, J., AfoudaYabi, N. R., Yegbemey, L. R., Kakai, G., & Sokpon, N. (2012). Rentabilité économique des systèmes de production des parcs à karité dans le contexte de l'adaptation au changement climatique du nord-Bénin. *African Crop Science Journal*, 20(s2), 589-602.
- Griliches, Z. (1964). Research expenditures, education and the aggregate agricultural production function. *The American Economic Review*, 54(6), 961-974.
- Hansson, H., Ferguson, R., & Olofsson, C. (2018). Understanding farmers' decision-making processes for improving agricultural advisory services. *Agricultural Systems*, 165, 155-167. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.004>
- Hssaisoune, M., Bouchaou, L., Sifeddine, A., Bouimetarhan, I., & Chehbouni, A. (2020). Moroccan groundwater resources and evolution with global climate changes. *Geosciences*, 10(2), 81. <https://doi.org/10.3390/geosciences10020081>
- Kane, M. (2010). Analyse des performances productives des exploitations familiales agricoles de la localité de Zoetelé. Éditions Universitaires Européennes.

- Kouakou, A. M. (2019). Rentabilité de la production et commercialisation de l'igname (*Dioscorea*) en Côte d'Ivoire. Presses Universitaires d'Afrique.
- Larson, D. F., Otsuka, K., Matsumoto, T., & Kilic, T. (2020). Should African rural development strategies depend on smallholder farms? An exploration of the inverse productivity hypothesis. *Agricultural Economics*, 51(S1), 13-27. <https://doi.org/10.1111/agec.12539>
- Mahamane, M., Saadou, M., & Larwanou, M. (2020). Dynamique des systèmes agraires et sécurité alimentaire dans le Sahel tchadien. *Revue Tchadienne d'Agronomie*, 15(1), 45-62.
- Mango, N., Makate, C., Mapemba, L., & Sopo, M. (2018). The role of crop diversification in improving household food security in central Malawi. *Agriculture & Food Security*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0160-x>
- Mburu, S., Kungu, J., & Muriuki, J. (2014). Commercialization of smallholder agriculture in Kenya. *Agricultural Economics*, 45(S1), 1-12. <https://doi.org/10.1111/agec.12094>
- Michler, J. D., & Josephson, A. L. (2017). To specialize or diversify: Agricultural diversity and poverty dynamics in Ethiopia. *World Development*, 89, 214-226. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.08.011>
- Mpawenimana, S., Ndayitwayeko, W. M., & Ndimanya, P. (2021). Éducation formelle et performance agricole dans les zones rurales du Burundi. *Cahiers Agricultures*, 30(15), 1-10. <https://doi.org/10.1051/cagri/2021006>
- N'Dri Aya, A., Koné, A. W., Loukou, S. K. K., Barot, S., & Gignoux, J. (2019). Pertes de carbone et de nutriments dues à la combustion de la biomasse et liens avec la fertilité des sols et la production d'igname (*Dioscorea alata*). *Agriculture Expérimentale*, 55(5), 738-751. <https://doi.org/10.1017/S0014479718000327>
- Nuama, E. (2006). Mesure de l'efficacité technique des agricultrices de cultures vivrières en Côte d'Ivoire. *Économie Rurale*, 296, 39-52.
- Oluwatayo, I. B., & Ojo, A. O. (2016). Economics of smallholder farmers' participation in market-oriented agriculture in Nigeria. *Journal of Developing Areas*, 50(4), 349-364.
- Ozer, P. (2002). Évolution des ressources en eau en Afrique aride et semi-aride : le cas de la nappe phréatique. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 42, 45-58.
- Ozer, P., Erpicum, M., & Demarée, G. (2021). Désertification et ensablement dans le Sahara central : tendances récentes et perspectives. *Sécheresse*, 32(1), 45-58.
- Pirou, J. P. (2005). Mesure de la rentabilité des entreprises. Éditions Economica.
- PNUD. (2019). Profil de vulnérabilité du Tchad face au changement climatique. Programme des Nations Unies pour le Développement.
- PNUD. (2022). Projet d'appui aux oasis résilientes au Niger. Rapport d'évaluation, Niamey.
- Rigobert, C. T. (2017). Analyse de la rentabilité financière de la production de semence du riz au Bénin. *Journal des Biosciences Appliquées*, 113, 11267-11275.
- Sanou, K., Amadou, S., Adjegan, K. K., & Tsatsu, G. D. (2018). Adaptation des producteurs agricoles aux changements climatiques au nord Togo. *Agronomie Africaine*, 30(2), 85-95.
- Sen, A. K. (1962). An aspect of Indian agriculture. *Economic Weekly*, 14, 243-246.
- Sheahan, M., & Barrett, C. B. (2017). Ten striking facts about agricultural input use in Sub-Saharan Africa. *Food Policy*, 67, 12-25. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.09.010>
- Sidibé, A. (2005). Farm size and productivity in Mali. *Agricultural Economics*, 33(3), 305-313. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0864.2005.00071.x>
- Sukhatme, P. V., & Sukhatme, B. V. (1970). Sampling theory of surveys with applications (2nd ed.). Iowa State University Press.
- Takahashi, K., Muraoka, R., & Otsuka, K. (2020). Technology adoption, impact, and extension in developing countries' agriculture: A review of the recent literature. *Agricultural Economics*, 51(1), 31-45. <https://doi.org/10.1111/agec.12539>
- Toillier, A., Guindo, S., & Traoré, B. (2021). Plateformes d'innovation pour l'adaptation au changement climatique dans les zones arides. *Cahiers Agricultures*, 30(35), 1-12. <https://doi.org/10.1051/cagri/2021031>
- Topanou, C. O., & Boko, M. (2015). Durabilité agro-écologique des exploitations agricoles dans la commune de Gogounou au Bénin. *Afrique Science*, 11(3), 129-137.
- Wouterse, F., Badiane, O., & Collins, J. (2022). Market access and farm performance: Evidence from smallholder farmers in Africa. *Food Policy*, 106, 102195. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102195>