



Ecole Doctorale des Sciences Economiques, Juridiques, Politiques et de Gestion
Centre d'Etudes et de Recherches sur le Développement International (CERDI)

Université Clermont Auvergne, CNRS, IRD, CERDI, F-63000 Clermont-Ferrand, France

Mesurer, évaluer et réorienter les soutiens publics à l'agriculture : un enjeu de sécurité alimentaire et de durabilité environnementale pour l'Afrique

Thèse présentée et soutenue publiquement le 29 avril 2026
pour l'obtention du titre de Docteur ès Sciences Économiques

par

Abdoul Fattath Yaya TAPSOBA

sous la direction de

Catherine ARAUJO-BONJEAN

Membres du Jury

Pascale COMBES MOTEL	Professeure, Université Clermont Auvergne	Présidente du jury
Catherine LAROCHE DUPRAZ	Professeure, Institut Agro Rennes-Angers	Rapporteuse
Tristan LE COTTY	Chercheur, CIRED, CIRAD	Rapporteur
Pierre JACQUET	Professeur, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées	Suffragant
Astou DIAO CAMARA	Directrice du BAME, ISRA, Sénégal	Suffragante
Matthieu BRUN	Directeur scientifique, Fondation FARM	Invité
Catherine ARAUJO BONJEAN	Chercheuse CNRS, Cerdi, UCA	Directrice de thèse

« L'Université Clermont Auvergne n'entend donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur. »

Dédicaces

*À mes parents,
À mon oncle Abdoulaye Ouedraogo,
À Abdoul Rahim, Rahimatou Iniek et Ikram,
À Annette, Malecka, Latif, Akim, Akheelah, Nathan, Lucile, Elie, Dalila, Ridi, Kylian, Kélia, Adila,
Aissatou et ceux à venir,
À Awa Diouf et Arouna Zoromé,
À Aimé Grégoire Ouedraogo, David Son et Romaric Kumako.*

AU PEUPLE BRAVE ET RÉSILIENT DU SAHEL

*Si j'étais la paix
Je marcherais sans bruit,
Sur les dunes du Ténéré,
Le long de la falaise de Bandiagara,
Jusqu'aux cœurs des Hommes intègres.*

*J'effacerais les larmes,
Je ferais taire les armes,
Et sous un même ciel,
Je ferais fleurir le Sahel.*

Avant-propos

Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre d'une CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la Recherche) financée par l'ANRT (Association nationale de la recherche et de la technologie) et la Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde (FARM). En tant que *Think & Do Tank* œuvrant pour un développement durable des agricultures dans le monde, la Fondation FARM soutient la production de connaissances académiques pour nourrir le débat public et éclairer les décideurs sur les enjeux de développement agricole.

La réalisation de la thèse dans ces conditions explique l'ancrage opérationnel et politique de mes travaux et éclaire les choix méthodologiques et thématiques majeurs qui structurent ce manuscrit.

La nécessité, pour les décideurs, de disposer d'outils de suivi transparents et comparables a motivé la construction de l'Observatoire mondial des soutiens publics (Chapitre 1). De même, l'analyse de l'efficacité des dépenses publiques en Afrique subsaharienne (Chapitre 2) s'inscrit directement dans les discussions entourant le respect des engagements de Maputo et de Malabo, sujets de préoccupation majeurs pour les gouvernements africains. Parallèlement, le souci d'apporter des preuves empiriques sur les leviers concrets de transition agroécologique justifie l'analyse microéconomique de l'irrigation solaire au Sénégal (Partie II). Ce changement d'échelle permet de comprendre comment les politiques publiques pourraient accompagner efficacement les producteurs face aux impératifs de productivité et d'atténuation du changement climatique.

Loin de prétendre résoudre la complexe équation du financement agricole, cette thèse vise à éclairer les arbitrages politiques nécessaires pour faire des soutiens publics de véritables leviers de transition vers des systèmes alimentaires durables.

Remerciements

Je commencerai par remercier Dieu, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux, de m'avoir accordé la force nécessaire pour traverser les épreuves rencontrées au cours de cette thèse et pour avoir permis d'arriver jusqu'à ce jour.

Il n'y aurait tout simplement pas de thèse sans Jean-Christophe DEBAR. Je suis arrivé à la Fondation FARM en stage, sans réelle expertise des politiques agricoles, avec beaucoup de curiosité et, rétrospectivement, une bonne dose d'inexpérience. Il m'a accueilli avec une générosité intellectuelle qui m'a marqué. Il a pris le temps de me former, de m'expliquer, de reprendre, d'exiger aussi, toujours avec pédagogie. Surtout, il m'a transmis une passion pour ces questions de politique agricole qui ne m'a plus quitté. C'est également lui qui m'a encouragé à me lancer dans l'aventure doctorale, en m'aidant à bâtir le projet de recherche qui a rendu possible le financement par l'Agence nationale de la recherche, via la convention CIFRE.

Je remercie Maxime CUMUNEL qui, aux côtés de Jean-Christophe, m'a soutenu et encouragé avec constance dans ce projet. Je suis également reconnaissant à Michel PETIT qui, dès les tout premiers échanges autour de l'idée de thèse, m'a orienté, conseillé, et m'a mis sur la voie décisive de Madame Catherine ARAUJO-BONJEAN pour la direction de thèse. Ce choix a été déterminant pour la réalisation de ce travail. Je me souviens encore de notre première rencontre et de cette phrase que vous m'avez adressée, « Bienvenue à l'école de la rigueur ». Au fil des années, j'ai compris tout ce que ces mots contenaient. J'ai appris dans ce temple de la rigueur, certes, mais aussi dans un cadre de soutien, de patience et de bienveillance, notamment dans les moments difficiles, quand il fallait continuer à écrire, à douter, à reprendre, et malgré tout avancer.

Je remercie chaleureusement les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail et de lui consacrer leur temps. J'exprime en particulier ma gratitude à Catherine LAROCHE DUPRAZ et Tristan LE COTTY, en tant que rapporteurs, pour la lecture attentive du manuscrit et pour la qualité de leurs retours. Je remercie également Astou Diao CAMARA, Pascale COMBES MOTEL et Pierre JACQUET d'avoir accepté de faire partie du jury.

J'adresse mes sincères remerciements à la Fondation FARM, qui a cofinancé cette thèse, ainsi qu'à son Président, Pascal Lheureux, et à sa Directrice générale, Catherine Migault,

pour la confiance accordée et le soutien maintenu tout au long de ce parcours, y compris dans un contexte de changement de direction. Ce soutien a compté, non seulement sur le plan institutionnel, mais aussi humainement, car il a donné de la stabilité et de la continuité à un travail qui s'inscrit dans la durée. Je remercie également Matthieu Brun, Directeur scientifique de FARM, qui a pris la suite de Jean-Christophe et m'a accompagné tout au long de la thèse. Je lui suis particulièrement reconnaissant pour la confiance qu'il m'a accordée, pour l'intérêt porté à mes travaux, notamment à travers la co-écriture d'un chapitre, et pour ses conseils. J'ai tout aussi appris à ses côtés et renforcer progressivement mon expertise sur ces sujets.

Je souhaite également remercier l'IPAR Think tank, à travers le projet WEL, avec lequel j'ai eu la chance de travailler. Cette collaboration a été décisive pour la réalisation de l'enquête de terrain, et donc pour la collecte des données nécessaires à une partie importante de cette thèse. Je remercie tout particulièrement l'équipe du projet, Maramé Cissé, Cheikh Faye, Isac Mingou, Elisabeth Gueye et Laure Tall.

Je souhaite aussi exprimer ma gratitude à Kako Nubukpo pour l'intérêt porté à mon travail, ses encouragements, et l'opportunité qu'il m'a offerte de présenter mes résultats à l'occasion des vingt ans de la politique agricole de l'UEMOA. Cette invitation a constitué un moment marquant de ce parcours, car elle a donné à mes travaux une résonance particulière, en les inscrivant dans l'ambition de nourrir le débat et de contribuer, autant que possible, à leur appropriation par les décideurs publics.

Au quotidien, cette thèse s'est aussi construite dans un environnement de travail fait d'échanges spontanés, de discussions parfois brèves mais décisives, de relectures de dernière minute, de conseils glissés au détour d'un couloir, et d'encouragements quand l'énergie baisse. Je remercie, pour cela, mes collègues de la Fondation FARM pour leur soutien, leur esprit d'entraide et la qualité des échanges qui ont nourri ma réflexion au fil des années. Je pense tout particulièrement à Sophie Kamech, Olia, Stéphane, Jean-Baptiste, Katia, Thibaut, Christian, Camille, Noemie, Eya, Virginie, Yakoubou et Dimitri. Mention spéciale pour ma chère Precila « Pressûr »!

Je veux ensuite remercier mes proches, mes amis, ceux qui ont su me rappeler qu'une thèse est une étape, pas une vie entière, et qui ont été présents avant, pendant et tout au long de ce parcours. Je pense à mes promotionnaires et amis Aïcha « Mamounette », Arielle, Ibrahim, Clarice « Clacla », Fatou, Carole, Oumar, Jemma, Sorelle, Asha « la fille du Dr Monbeta Zazon », à mes aînés Francis et Frédéric, à Romaric « Sensei », Serge « le Titan colossal », Mahktar, Dieinaba, Moussa Camara, Kady Diakité, Elena Garcia, "Nadita" Mercado Vera, Gaëlle Scholtus

et Nadège. Je n'oublie pas mes frères et amis de l'Université de Koudougou, Tonton Hamed « Prophète », Denis « Floby », Hamed « The Game », Diop Mamadou, Mika « mon sensei », Racid, Hamed « le sage », Gustave, LamT, Naaba Ali, Cissé Boubacar, Ike Steven, Fredy. Je remercie aussi mes amis de longue date, ceux qui n'ont jamais cessé de répondre présent, Stan « l'Homme de Dieu », Mao, Cheicky lolo, le koro Abou, Sy « le Chef », Fayçal, Asko, Felix « El Pipo », Nouffou, Dr Yannick « mon chinois », Philippe « Doudou », Damien, Arsène « Papa », Elie et Obed.

Je remercie également mes grands experts Kambou Sansan Vincenté de Paul, Malone et Wenceslass, pour l'accueil pendant mes séjours à Clermont et pour avoir rendu ces moments lumineux, grâce à votre gentillesse et à vos aventures rocambolesques qui, encore aujourd'hui, me font rire rien qu'en y repensant. J'adresse aussi mes remerciements à Adama Ouédraogo « mon autre oncle », à Zerbo et à l'experte Julie Bompas. Je remercie mon cher Yoro pour son amitié et son soutien. Je remercie également Harouna Kinda, que j'appelle affectueusement « mon oncle », pour sa présence fidèle, et tout particulièrement pour sa contribution précieuse au chapitre 5.

Je veux aussi remercier toutes ces belles personnes qui m'ont encouragé et soutenu dans la poursuite de mes études en France. Tout a commencé avec toi, Eleazar Zerbo et avec ma grande sœur Safiatou Sawadogo, qui m'a accueilli, installé à Rennes et guidé dans les premiers repères du quotidien. Je remercie le Pr Raul Caplan ainsi que mon oncle le Pr Bila Gerard Segda pour leurs soutiens et leurs conseils utiles dans mes choix d'orientation. Je remercie également tonton Dr Tahita pour tout son soutien. Je pense aussi à mon cher Bernard Lesterlin, cette belle âme rencontrée par hasard dans un avion, alors que je quittais mon cher Faso pour la première fois. D'une certaine manière, vous avez adopté sans hésiter le jeune étranger que j'étais, et vous m'avez offert des opportunités et des expériences que je n'aurais jamais osé imaginer. À mes yeux, vous incarnez les valeurs d'humanité que peut porter ce si beau pays qu'est la France.

Mes remerciements vont également à l'ensemble de ma famille, mes tantes, oncles, cousins et neveux pour le socle qu'ils représentent, pour l'encouragement constant, et pour cette force discrète qui aide à tenir dans la durée. Je remercie mes nombreuses « mamans chéries », dont les prières m'accompagnent au quotidien. Une pensée pour mes fistons, toujours présents quand le koro en a besoin, Ezeckiel, Désiré, Kader, Clovis et Pape Mass. Merci à Cécile, Lucille et Elie pour leur affection et leur soutien. Merci à Greg et au Lord Davidson, deux piliers intarissables. Je remercie mon frère Abdoul Rahim « ma banque de proximité » et ma sœur Rahimatou pour leur soutien indéfectible. Je remercie plus que tout mes parents. Vous avez été les premiers à croire en moi, à me soutenir, à m'encourager, à me conseiller. Merci pour les valeurs que vous m'avez transmises. J'espère, silencieusement, être à la hauteur de ce que vous m'avez donné.

Maman, tu représentes littéralement le sol qui me porte et me nourrit depuis plus de trente ans. Que la date de cette soutenance coïncide avec ton anniversaire, je le reçois comme une récompense, et comme un signe. Papa, ton absence creuse en moi un vide que les mots peinent à nommer. Je me console par ton souvenir, par tes valeurs de travail, de générosité, et par ce sourire, cette pointe d'humour qui te caractérisait tant. J'espère que, là-haut, tu es fier de ton « gros paresseux » dont le loisir préféré a toujours été de dormir, même si je sais que tu aurais trouvé une façon bien à toi de t'en moquer.

Enfin, je ne saurais terminer ces remerciements sans vous citer. Arouna Zoromé, mon cher expert, tu as été avec moi de A à Z sur cette thèse. Je te dois énormément, des longues nuits à développer l'Observatoire, des week-ends à nettoyer les données d'enquête, aux moments où il fallait simplement écouter et tenir bon. Et toi Awa Diouf « M.A.S », je ne saurai jamais assez te dire merci. Pendant toutes ces années, tu as été un soutien constant, solide, indispensable, ma demande incompressible!

A présent, j'espère pouvoir aller voir ma grand-mère à Koudougou et lui dire, simplement, que j'ai enfin terminé.

Résumé

Face au double défi de garantir la sécurité alimentaire mondiale et de répondre à l'urgence climatique, cette thèse interroge l'efficacité économique et la durabilité environnementale des soutiens publics agricoles. La première partie est consacrée à l'analyse des outils de mesure de ces soutiens. Elle propose un cadre de consolidation des données pour améliorer le suivi et la comparabilité internationale des politiques de soutien et questionne leur efficacité ainsi que leurs orientations en matière de durabilité. Ainsi le Chapitre 1 surmonte une fragmentation des données internationales en les consolidant autour d'un « Observatoire mondial des soutiens publics », couvrant 93 pays représentant plus de 90 % de la valeur de la production agricole mondiale. Le second chapitre questionne l'efficacité des soutiens publics agricoles en Afrique subsaharienne. Il évalue la pertinence de la cible politique de 10 % fixée par la déclaration de Maputo sur les dépenses publiques agricoles. Les résultats mettent en évidence une relation non linéaire où le seuil d'efficacité des dépenses pour stimuler la valeur ajoutée agricole se situe autour de 14-15 %. Le chapitre 3 dresse une analyse d'économie politique globale des soutiens publics, montrant qu'en dépit des défis en lien avec le changement climatique, la majorité des soutiens publics agricoles demeure faiblement alignée avec les Objectifs du développement durable (ODD). La seconde partie change d'échelle pour évaluer l'impact de l'irrigation solaire dans la zone des Niayes (Sénégal). Le bilan carbone de 804 producteurs révèle que 85 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) proviennent des pratiques de fertilisation et non de l'énergie. L'analyse met en lumière des inégalités structurelles, notamment de genre avec les exploitations dont le chef est une femme émettant jusqu'à cinq fois plus de GES par kilo de produit, en raison de rendements plus faibles. L'évaluation d'impact par propensity score matching (PSM) montre que l'adoption du solaire réduit les émissions totales de 47 % à 57 %, essentiellement par la substitution des énergies fossiles. L'adoption partielle (solaire/fossile) se révèle inefficace pour réduire les émissions, ce qui plaide pour des politiques soutenant une transition technologique complète. Les conclusions de la thèse invitent à une réorientation structurelle des politiques agricoles, fondée sur leur efficacité et leur cohérence avec les ODD. Relever ce défi exigera non seulement de mieux mesurer, comprendre et anticiper les impacts des politiques, mais également une forte volonté politique pour les traduire en réformes efficaces.

Mots-clés : Soutiens publics ; Agriculture; Dépenses publiques; Maputo; Durabilité; Irrigation solaire; Émissions de GES; Afrique subsaharienne, Sénégal.

Abstract

Faced with the dual challenge of ensuring global food security and responding to the climate emergency, this thesis examines the economic efficiency and environmental sustainability of public agricultural support. The first part focuses on analyzing the tools used to measure this support. It proposes a data consolidation framework to improve the monitoring and international comparability of support policies, while questioning their effectiveness and sustainability orientation. Consequently, Chapter 1 overcomes the fragmentation of international data by consolidating them into a "Global Observatory of Public Support," covering 93 countries representing over 90 % of the global value of agricultural production. Chapter 2 questions the effectiveness of public agricultural support in Sub-Saharan Africa. It assesses the relevance of the 10 % policy target set by the Maputo Declaration regarding public agricultural expenditure. The results highlight a non-linear relationship, indicating that the expenditure efficiency threshold for boosting agricultural value added actually lies around 14–15 %. Chapter 3 provides a global political economy analysis of public support, showing that despite climate change challenges, the majority of public agricultural support remains weakly aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs). The second part shifts scale to evaluate the impact of solar irrigation in the Niayes zone (Senegal). The carbon footprint assessment of 804 producers reveals that 85 % of greenhouse gas (GHG) emissions stem from fertilization practices rather than energy. The analysis highlights structural inequalities, particularly regarding gender, with women emitting up to five times more GHG per kilogram of produce due to lower yields linked to restricted access to resources. The impact evaluation (PSM) shows that solar adoption reduces total emissions by 47 % to 57 %, primarily through the substitution of fossil fuels. Partial adoption (solar/fossil) proves ineffective in reducing emissions, advocating for policies that support a full technological transition. The thesis concludes by calling for a structural reorientation of agricultural policies, based on their efficiency and coherence with the SDGs. Meeting this challenge will require not only better measuring, understanding, and anticipating policy impacts, but also the political courage to translate them into effective reforms.

Keywords: Public support; Agriculture; Public expenditure; Maputo; Sustainability; Solar irrigation; GHG emissions; Sub-Saharan Africa; Senegal.

Sommaire

Introduction générale	1
I Soutiens publics à l’agriculture : analyser les instruments de mesure, évaluer l’efficacité budgétaire et questionner la durabilité des politiques	13
Chapitre 1 Cartographie des soutiens publics à l’agriculture : création d’un Observatoire mondial	14
Chapitre 2 Efficacité de la dépense publique agricole en Afrique subsaharienne : quelle intensité et quelle allocation budgétaire ?	69
Chapitre 3 Les soutiens publics à l’agriculture : des leviers pour la transition vers des systèmes alimentaires durables ?	105
II Technologie solaire et atténuation de gaz à effet de serre (GES) dans l’horticulture irriguée : leçons d’une évaluation d’impact au Sénégal	127
Chapitre 4 Carbon Footprints of Irrigated Horticulture in Senegal : The Roles of Energy Use, Agronomic Practices, and Structural Inequalities	128
Chapitre 5 Solar Energy Adoption and Greenhouse Gas Emissions in Agriculture : Evidence from Horticultural Production in Senegal	180
Conclusion générale	202

Liste des tableaux

Chapitre 1. Cartographie des soutiens publics à l’agriculture : création d’un Observatoire mondial

Table 1.1.	Correspondance des catégories de transferts budgétaires aux producteurs : OCDE/BID vs. MAFAP	22
Table 1.2.	Correspondance des transferts budgétaires aux consommateurs : OCDE/BID vs. MAFAP	23
Table 1.3.	Correspondance des services généraux de soutien agricole : OCDE/BID vs. MAFAP	25
Table 1.4.	Correspondance des indicateurs de soutien des prix de marché : OCDE/BID vs. MAFAP	29
Table 1.5.	Comparaison des niveaux de soutien public selon différents indicateurs	41

Chapitre 2. Efficacité de la dépense publique agricole en Afrique subsaharienne : quelle intensité et quelle allocation budgétaire ?

Table 2.1.	Régression du traitement conditionnelle aux covariables	83
Table 2.2.	Test d’équilibrage des covariables (régression du traitement sur chaque covariable, avant et après contrôle par le GPS)	86
Table 2.3.	Test d’équilibrage des covariables (traitement : transferts aux producteurs)	99
Table 2.4.	Test d’équilibrage des covariables (traitement : transferts aux consommateurs)	99
Table 2.5.	Test d’équilibrage des covariables (traitement : services collectifs)	100

Chapitre 3. Les soutiens publics à l’agriculture : des leviers pour la transition vers des systèmes alimentaires durables ?

Chapitre 4. Carbon Footprints of Irrigated Horticulture in Senegal : The Roles of Energy

Use, Agronomic Practices, and Structural Inequalities

Table 4.1.	T-test for differences in means between solar and non solar producers, across various economic and technical indicators	141
Table 4.2.	Descriptive statistics of activity variables	156
Table 4.3.	Comparison of average income (in XOF) by main activity between solar and non-solar households.	172
Table 4.4.	Descriptive statistics of activity data for non-solar and solar users	173
Table 4.5.	Descriptive statistics of activity data by subzone in the Niayes . .	174
Table 4.6.	Table of emission factors	175
Table 4.7.	Table of fertilization and crop residue factors	176
Table 4.8.	Table of energy consumption factors	177

Chapitre 5. Solar Energy Adoption and Greenhouse Gas Emissions in Agriculture : Evidence from Horticultural Production in Senegal

Table 5.1.	Baseline results : Estimated ATT under different matching specifications	192
Table 5.2.	Impact on emissions from energy consumption	193
Table 5.3.	Impact on emissions from fertilization practices	194
Table 5.4.	Total GHG emissions - Robustness checks	195
Table 5.5.	Total GHG emissions - Heterogeneity	196
Table 5.6.	Results for producers using solar energy in mixed with other energy : Estimated ATT under different matching specifications .	197
Table 5.7.	List of Covariates Used in the Propensity Score Estimation	200
Table 5.8.	Estimation of the Propensity Score	201

Table des figures

Chapitre 1. Cartographie des soutiens publics à l'agriculture : création d'un Observatoire mondial

Figure 1.1.	Système de classification et de mesure du soutien à l'agriculture de l'OCDE.	19
Figure 1.2.	Système de classification et de mesure du soutien à l'agriculture du Programme MAFAP de la FAO.	20
Figure 1.3.	Aperçu de l'Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture.	31
Figure 1.4.	Répartition régionale des Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA).	32
Figure 1.5.	Montant des dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation par pays (en millions USD), moyenne des trois dernières années disponibles, regroupé par régions.	34
Figure 1.6.	Cartographie des Dépenses publiques agricoles exprimées en pourcentage de la valeur de la production agricole, moyenne sur les trois dernières années disponibles, par région.	36
Figure 1.7.	Panorama par pays des Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation, en % de la valeur de la production agricole (moyenne des trois dernières années connues).	37
Figure 1.8.	Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation par région, en % de la valeur de la production agricole, moyenne sur les trois dernières années connues.	38
Figure 1.9.	Soutien des prix du marché par région (moyenne des trois dernières années disponibles, en millions USD).	43
Figure 1.10.	Soutien des prix du marché par pays (moyenne des trois dernières années disponibles, en millions USD).	45
Figure 1.11.	Produits agricoles les plus concernés par les soutiens (positifs ou négatifs) des prix de marché (moyenne annuelle sur les trois dernières années disponibles, en milliards USD).	47

- Figure 1.12. Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation (STAA), par pays (moyenne des trois dernières années disponibles, en millions USD). 49

Chapitre 2. Efficacité de la dépense publique agricole en Afrique subsaharienne : quelle intensité et quelle allocation budgétaire ?

Figure 2.1.	Carte des dépenses publiques agricoles en % des dépenses totales (moyenne, années disponibles)	77
Figure 2.2.	Composition moyenne des dépenses publiques agricoles	78
Figure 2.3.	Détail des composantes des dépenses publiques agricoles (producteurs, consommateurs, services collectifs)	79
Figure 2.4.	Boxplots du support commun après troncature	84
Figure 2.5.	Fonction dose-réponse estimée pour les dépenses publiques agricoles totales (% du budget national), avec zones de rendements décroissants (rouge), stables (jaune) et croissants (vert), et indication de la cible de Maputo à 10 % (ligne pointillée rouge)	87
Figure 2.6.	Fonction dose-réponse estimée pour les Transferts budgétaires aux producteurs	89
Figure 2.7.	Fonction dose-réponse estimée pour les Transferts budgétaires aux consommateurs	91
Figure 2.8.	Fonction dose-réponse estimée pour les Services collectifs avec indication de la cible de Maputo (10%)	92
Figure 2.9.	Équilibre des covariables avant et après ajustement du GPS. Les corrélations ajustées sont interprétées comme suit : $Corr_{Adj} < 0,10$: bon équilibre; entre 0,10 et 0,20 : acceptable; $> 0,20$: déséquilibre	98
Figure 2.10.	Fonction dose-réponse estimée pour les dépenses publiques agricoles (% dépenses totales) avec bandes de confiance obtenues par bootstrap (5 00 réplifications) – test de robustesse de la Figure 2.5.	101
Figure 2.11.	Fonction dose-réponse estimée des DPA (% Dépenses totales) sur la Valeur ajoutée agricole (% du PIB)	102
Figure 2.12.	Fonction dose-réponse estimée des DPA (% Dépenses totales) sur le PIB	103
Figure 2.13.	Fonction dose-réponse estimée des DPA (% Dépenses totales) sur les Rendements céréaliers par hectare	104

Chapitre 3. Les soutiens publics à l'agriculture : des leviers pour la transition vers des

systemes alimentaires durables ?

Figure 3.1.	Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation par région, en % de la valeur de la production agricole, moyenne des trois dernières années connues	112
Figure 3.2.	Evolution du SPM en % de la valeur de la production agricole . . .	115
Figure 3.3.	Evolution du SPM selon le niveau de revenu des pays en % de la valeur de la production agricole	116
Figure 3.4.	Mesures de soutien aux producteurs selon leur impact potentiel sur l'environnement	118
Figure 3.5.	Soutiens potentiellement nocifs à l'environnement par niveau de revenu des pays, en moyenne sur la période 2019-2021	119
Figure 3.6.	Afrique subsaharienne : composition des dépenses publiques à l'agriculture et à l'alimentation, moyenne des trois dernières années connues	122

Chapitre 4. Carbon Footprints of Irrigated Horticulture in Senegal : The Roles of Energy Use, Agronomic Practices, and Structural Inequalities

Figure 4.1.	Map of the localities covered by the surveys	132
Figure 4.2.	Distribution of solar and non-solar producers by gender, zone and age	134
Figure 4.3.	Distribution of solar and non-solar producers by training status and length of residence in the village	136
Figure 4.4.	Distribution of solar and non-solar producers by type of land ownership, nature of plot and average distance to home	138
Figure 4.5.	Distribution of solar and non-solar producers by dissemination channels and financing mechanisms	140
Figure 4.6.	Distribution of producers by energy profiles	142
Figure 4.7.	Distribution of producers by energy profiles	144
Figure 4.8.	Producer-level average emissions overview	158
Figure 4.9.	Average energy emissions of producers based on their use of solar	159
Figure 4.10.	Total average GHG emissions by producers energy profile	161
Figure 4.11.	Total average GHG emissions of producers based on their use of solar	162
Figure 4.12.	Total average GHG emissions by sub-zones of the Niayes	163
Figure 4.13.	Irrigation duration and method by Zone	165
Figure 4.14.	Total average GHG emissions by Crop	166

Figure 4.15.	Total average GHG emissions by Farm size	168
Figure 4.16.	Total average GHG emissions by Gender	170

Chapitre 5. Solar Energy Adoption and Greenhouse Gas Emissions in Agriculture : Evidence from Horticultural Production in Senegal

Figure 5.1.	Linking Solar Irrigation to GHG Emissions Reduction	184
Figure 5.2.	Details of GHG measures	187

Introduction générale

« As a single footstep will not make a path on the earth, so a single thought will not make a pathway in the mind. To make a deep physical path, we walk again and again. To make a deep mental path, we must think over and over the kind of thoughts we wish to dominate our lives.»

— Henry David Thoreau, *Walden ; or, Life in the Woods* (1854)

1 Contexte général

L'agriculture mondiale se trouve aujourd'hui à la croisée des chemins. D'un côté, elle reste indispensable pour assurer la sécurité alimentaire d'une population mondiale en croissance rapide, pour répondre aux aspirations économiques de millions d'agriculteurs et contribuer au développement de nombreux pays du Sud. De l'autre, elle doit impérativement réduire son empreinte écologique dans un contexte de changement climatique. Sur le plan de la sécurité alimentaire, les projections démographiques estiment que la population mondiale devrait atteindre 9,8 milliards d'habitants en 2054, soit environ 1,7 milliard de plus qu'en 2024 ([United Nations, 2024](#)). Pour satisfaire cette demande, plusieurs études soutiennent qu'il faudra accroître la production alimentaire mondiale de 35 % à 56 %, selon les hypothèses retenues en matière de croissance démographique, d'évolution des régimes alimentaires, d'innovations technologiques ou de réduction des pertes agricoles ([Van Dijk et al., 2021](#)). Or, malgré des progrès technologiques et une augmentation de 30 % de l'offre alimentaire par habitant depuis 1961 ([Mbow et al., 2019](#)), la faim demeure une réalité prégnante. Le dernier rapport sur l'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde (2025) estime qu'entre 638 et 720 millions de personnes, soit 7,8 % à 8,8 % de la population mondiale, ont été confrontées à la faim en 2024 et que 2,60 milliards de personnes sont en incapacité de s'offrir une alimentation saine dans le monde ([FAO et al., 2025](#)). Bien que ce chiffre soit en recul par rapport à la période 2020-2021, marquée par la pandémie de Covid-19, la faim continue d'augmenter dans certaines régions, notamment en Afrique, sous l'effet des conflits, des chocs économiques et des événements climatiques extrêmes. Assurer une alimentation à la fois suffisante et saine pour

l'ensemble de la population mondiale est donc un défi multifactoriel toujours d'actualité, inscrit au cœur des Objectifs de développement durable (ODD 2 zéro faim).

En parallèle du défi alimentaire, la crise climatique impose une transformation en profondeur des systèmes agricoles. Ironie du sort, l'agriculture est à la fois victime et contributrice du changement climatique. Victime, car l'augmentation des températures, la modification des régimes pluviométriques et la fréquence accrue des événements extrêmes affectent déjà les rendements agricoles et les revenus des producteurs qui sont parmi les plus exposés à l'insécurité alimentaire. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a établi avec un haut degré de confiance que le réchauffement climatique a entraîné des baisses de productivité pour certaines cultures dans de nombreuses régions tropicales et subtropicales telles que le maïs et le blé en Afrique ou en Asie du Sud (Mbow et al., 2019). À l'horizon 2050, si les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas maîtrisées, le changement climatique pourrait exposer jusqu'à 183 millions de personnes supplémentaires au risque de faim, selon les projections du scénario SSP3-RCP6.0 (Hasegawa et al., 2018; Mbow et al., 2019; Mirzabaev et al., 2023), ce qui constitue une perspective alarmante. Dans le même temps, l'agriculture est aussi émettrice de gaz à effet de serre (GES) et donc partie prenante du problème climatique. En incluant les changements d'usage des terres et la déforestation, le secteur AFAT (Agriculture, foresterie et autres utilisations des terres) est responsable d'environ 12 à 22 % des émissions mondiales de GES (Crippa et al., 2021; Vermeulen et al., 2012). Les émissions proviennent notamment du méthane entérique du bétail, du protoxyde d'azote lié aux engrais azotés, de la riziculture, ainsi que du CO₂ issu de la déforestation et de la dégradation des sols (Smith et al., 2014; Tongwane & Moeletsi, 2018). Réduire ces émissions tout en s'adaptant aux impacts déjà en cours constitue un équilibre délicat à trouver. Le dernier rapport de synthèse du GIEC (RE6) souligne d'ailleurs que le secteur AFAT offre un fort potentiel d'atténuation (environ 20 à 30 % du potentiel global de réduction des émissions à l'horizon 2050) à travers l'intensification durable de l'agriculture, la modification des régimes alimentaires, la réduction du gaspillage alimentaire, la protection des forêts et la restauration des écosystèmes (Nabuurs et al., 2023). Autrement dit, l'agriculture fait partie intégrante des solutions climatiques, à condition d'ajuster les modes de production et de consommation pour les rendre plus durables.

Face à ces enjeux entrelacés de sécurité alimentaire et de durabilité environnementale, le rôle des politiques agricoles et des soutiens publics apparaît crucial. Historiquement, de nombreux pays du monde sont intervenus massivement dans le secteur agricole pour assurer l'approvisionnement alimentaire, soutenir le revenu des agriculteurs et stabiliser les marchés. Après la Seconde Guerre mondiale, par exemple, l'Europe avec la Politique agricole commune (PAC) ou les États-Unis avec le Farm Bill ont mis en place des subventions, des mécanismes

de soutien aux prix et des investissements publics qui ont largement contribué à augmenter la production agricole, un enjeu majeur de l'époque (Schnepf & Hanrahan, 2011; Trouvé & Bazin, 2018). Aujourd'hui encore, pratiquement tous les pays soutiennent leur agriculture d'une manière ou d'une autre, par des subventions, des allègements fiscaux, des services publics (recherche, formation, infrastructures rurales) ou des soutiens des prix. Ces soutiens influencent non seulement les producteurs et les consommateurs au niveau national, mais également les échanges internationaux et les agriculteurs d'autres pays (Bellmann, 2019; International Monetary Fund et al., 2022; OECD, 2023; Pernechele et al., 2021; Tapsoba & Brun, 2024; Xu, 2023). À l'échelle mondiale, le soutien public total a atteint en moyenne plus de 700 milliards de dollars par an sur 2019-2021 (Tapsoba & Brun, 2024). Ce montant illustre l'importance stratégique et budgétaire de l'agriculture pour de nombreux gouvernements. Les politiques publiques orientent fortement les systèmes alimentaires et donc peuvent être un levier de transformation positive (par exemple en encourageant des pratiques agricoles durables) tout comme elles peuvent perpétuer des modèles inefficients ou nuisibles pour l'environnement si elles restent sur leurs trajectoires actuelles (FAO et al., 2021; Tapsoba & Brun, 2024). Toutefois, il est de plus en plus admis que ces politiques doivent évoluer pour concilier productivité, résilience climatique et durabilité. Des institutions internationales telles que les organisations onusiennes et l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) plaident pour une réorientation des soutiens vers des pratiques plus durables et une meilleure gouvernance globale des aides agricoles (FAO et al., 2021; OECD, 2024)

La présente thèse s'inscrit dans ce contexte où le secteur agricole est de plus en plus soumis à l'exigence de concilier performance productive et durabilité environnementale, un défi auquel les politiques publiques peuvent apporter un soutien décisif ou constituer un frein.

2 Problématique

Le point de départ de cette thèse réside dans ce constat : la difficulté aujourd'hui d'appréhender les soutiens publics de manière fine, globale et comparative. Or, sans une cartographie complète des soutiens, de leur nature, de leur ampleur, de leurs objectifs et de leurs effets, il est difficile d'évaluer l'action publique et d'orienter les politiques agricoles sur des trajectoires capables de répondre aux grands enjeux qui concernent l'agriculture mondiale. Le problème dépasse les seuls enjeux statistiques et limite la capacité des acteurs à dialoguer, à comparer les choix politiques et à construire des approches permettant la coordination des efforts publics.

Une diversité d'instruments et une fragmentation des données

Faute d'un cadre unifié, appréhender les soutiens publics à l'agriculture de manière détaillée et comparable constitue un véritable défi. Ces soutiens prennent des formes très variées : transferts budgétaires directs aux producteurs, investissements publics dans les infrastructures et services, ou encore instruments de politique commerciale tels que les droits de douane, quotas et subventions à l'exportation (Ghins et al., 2013; Lowder et al., 2019; Mas Aparisi et al., 2015; OECD, 2019). Cette diversité reflète des arbitrages d'économie politique propres à chaque contexte national, répondant à des objectifs multiples allant du soutien aux revenus agricoles à la stabilisation des marchés ou à la sécurité alimentaire. Pour comptabiliser ces aides, plusieurs institutions dont l'OECD (2016), la Banque mondiale (Anderson & Valdés, 2008; Anderson & Masters, 2009; Banque mondiale, 2011; The World Bank and the UK Department for International Development, 2011; Kheyfets et al., 2011), la FAO (Ghins et al., 2013; Mas Aparisi et al., 2015), encore l'Organisation mondiale du commerce (OMC) (Effland, 2011) ont développé des indicateurs qui ne sont pas toujours comparables, ne capturant souvent que partiellement la réalité des soutiens. Si des initiatives comme le Consortium AgIncentives (Laborde et al., 2025) offrent une harmonisation précieuse des données, elles n'en capturent qu'une partie. En effet, leur périmètre se limite aux soutiens distorsifs et aux aides aux producteurs, ne reflétant pas l'intégralité des soutiens consacrés au secteur. À cette limite de périmètre s'ajoute un obstacle plus structurel, l'absence de consensus entre les institutions internationales sur la définition même du secteur agricole dans le calcul des indicateurs, qui inclut ou exclut selon les cas la pêche, la sylviculture ou la chasse. Cette fragmentation de la mesure alimente par ailleurs les tensions commerciales entre le Nord et le Sud. Le système de gouvernance institué par l'OMC fait aujourd'hui l'objet de contestations, tant de la part des pays développés que des pays en développement (Effland, 2011; Matthews, 2013). Cette situation renforce le sentiment d'un système inéquitable et fragilise la légitimité de l'OMC comme instance de régulation, alors même qu'une coopération internationale renforcée est indispensable face aux défis globaux.

Au-delà de la mesure : la question de l'efficacité

Outre la difficulté de mesurer les volumes, une interrogation majeure subsiste quant à l'efficacité économique des dépenses engagées. Dans les pays en développement, et particulièrement en Afrique subsaharienne, les engagements politiques se focalisent souvent sur des cibles quantitatives, telle la Déclaration de Maputo (2003) visant à allouer 10 % du budget national à l'agriculture (Union africaine, 2014). Plus de deux décennies plus tard, le secteur ne présente pas les signes de croissance qu'aurait dû susciter cet effort budgétaire. Ce constat conduit à interroger la pertinence de ce seuil. D'autres facteurs, tels que la qualité de l'allocation, ne

sont-ils pas plus déterminants pour impulser le développement du secteur ? Toutes les dépenses agricoles ont-elles le même effet de levier sur la croissance ?

Une faible prise en compte de la durabilité dans les soutiens

Aux défis liés à la fragmentation et à l'efficacité s'ajoute une autre limite structurelle des soutiens qui tient à leur faible alignement avec les objectifs de durabilité. Cela découle en partie de l'architecture même de la mesure. En effet, la majorité des indicateurs existants ont été conçus pour évaluer les distorsions commerciales, et non les impacts environnementaux. De ce fait, l'architecture actuelle de mesure ne permet ni de capturer facilement, ni de valoriser les soutiens favorisant la transition agroécologique, une considération relativement récente pour des outils construits autour des questions de distorsion de marché. Il devient pourtant crucial d'identifier, au sein des soutiens actuels, ceux qui sont potentiellement nuisibles à l'environnement ou qui favorisent trop peu la transition agroécologique. Les analyses récentes confirment cette urgence. Une publication conjointe de la FAO, du PNUE et du PNUD (FAO et al., 2021) révèle que 87 % des 540 milliards de dollars d'aides publiques annuelles aux producteurs agricoles génèrent potentiellement des effets négatifs, soit en faussant les prix, soit en encourageant des pratiques néfastes pour l'environnement et la santé. Le rapport alerte sur l'urgence de mesures correctives, faute de quoi les soutiens préjudiciables pourraient atteindre 1 800 milliards de dollars d'ici 2030. De même, l'OECD (2023) note dans 54 pays, seuls 5 % du soutien aux agriculteurs promeuvent explicitement des pratiques environnementales. Il en résulte un décalage entre les ambitions climatiques affichées et la réalité des soutiens. Ce décalage s'explique à la fois par l'inertie des politiques existantes, souvent héritées d'objectifs productivistes, par l'influence de groupes d'intérêt, et par l'insuffisance de conditionnalités environnementales claires dans l'octroi des aides. Cette situation comporte un double risque : verrouiller le secteur dans des modèles non soutenables (émissions de GES, dégradation des sols) et manquer l'opportunité d'investir massivement dans la résilience des systèmes alimentaires.

Problématique centrale et objectifs de la thèse :

Face à ce triple constat de fragmentation des données, d'incertitude quant à l'efficacité réelle des dépenses et d'inadéquation face aux urgences climatiques, la thèse se construit autour d'une interrogation centrale : comment évaluer et réorienter les soutiens publics agricoles pour qu'ils deviennent de véritables leviers d'une croissance sectorielle durable, conciliant performance économique et transition agroécologique ? Cette problématique suppose que les limites actuelles des soutiens publics agricoles ne résultent pas seulement d'un manque de volonté, mais aussi

du besoin d'améliorer et de renouveler la compréhension sur l'efficacité des instruments et de leurs impacts réels. Pour y répondre, ce travail de recherche s'articule autour de trois objectifs principaux :

- **Objectif 1 : Construire un Observatoire mondial des soutiens pour dépasser la fragmentation des données**

Le premier objectif est méthodologique et vise à proposer une base de données dépassant le cadre d'harmonisation actuel du consortium AgIncentives, en intégrant l'ensemble des soutiens, afin de créer un Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture. L'Observatoire proposé se veut un outil analytique au service des politiques pour offrir une vision globale, comparable et transparente des soutiens publics agricoles, afin d'en permettre l'évaluation.

- **Objectif 2 : Évaluer l'efficacité des soutiens publics au regard des cibles de croissance et de durabilité**

Le deuxième objectif vise à évaluer la pertinence des engagements politiques actuels. Il s'agit d'interroger l'efficacité de cibles budgétaires, comme celle de Maputo, pour déterminer empiriquement quels seuils et types de dépenses (biens publics ou subventions privées) génèrent réellement de la croissance agricole. En parallèle, cet objectif vise à quantifier la part des soutiens qui maintiennent des trajectoires productivistes nuisibles, afin d'identifier les marges de manœuvre budgétaires pour une réallocation vers la durabilité.

- **Objectif 3 : Identifier les leviers d'une transition à l'échelle locale**

Puisque les instruments macroéconomiques actuels peinent à intégrer la durabilité, le troisième objectif adopte une approche microéconomique pour analyser les solutions émergeant en marge des soutiens traditionnels. À travers l'étude de cas spécifique de l'irrigation solaire dans la zone de Niayes au Sénégal, il s'agit d'évaluer les impacts environnementaux d'une innovation bas-carbone. L'enjeu est d'évaluer leur potentiel d'atténuation des systèmes horticoles afin d'éclairer les décideurs pour leurs intégrations dans les soutiens pour accompagner la transition agroécologique.

3 Structure de la thèse

Pour répondre à cette problématique et atteindre les objectifs fixés, la thèse adopte une structure en deux parties, abordant des échelles et des méthodologies différentes, mais articulées autour d'un même fil conducteur à savoir la recherche d'une meilleure compréhension et d'une amélioration de l'impact des soutiens publics en faveur d'une agriculture durable. La Partie

I, à l'échelle macroéconomique, pose le diagnostic global et propose des outils d'analyse transversaux. Elle répond à la question « Que se passe-t-il actuellement en matière de soutiens publics, et où devrait-on aller ? » en identifiant les déséquilibres et les limites des politiques actuelles. La Partie II, à l'échelle microéconomique, illustre une réponse possible à ces enjeux en explorant la question suivante : « Que révèle l'évaluation d'impact d'une technologie comme le solaire dans les systèmes horticoles irrigués au Sénégal en matière d'atténuation de GES et quelles implications pour les politiques publiques ? ».

3.1 Partie I – Soutiens publics à l'agriculture : analyser les instruments de mesure, évaluer l'efficacité budgétaire et questionner la durabilité des politiques

La partie 1 de la thèse est consacrée à l'analyse des outils de mesure des soutiens publics à l'agriculture, afin de répondre aux deux premiers objectifs de recherche. Elle dresse un état des lieux des principaux indicateurs existants, propose un cadre de consolidation pour améliorer la comparabilité internationale des données et questionne leurs orientations en matière de durabilité. Cette Partie regroupe les chapitres 1 à 3.

Le chapitre 1 présente la démarche de consolidation proposée pour surmonter la fragmentation des données. À partir des bases de données de l'OCDE, de la FAO (programme MAFAP) et de la BID, un Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture est construit, consolidant des indicateurs de soutien pour un large échantillon de pays (représentant plus de 90 % de la production agricole mondiale sur la période 1986–2022). Les résultats obtenus offrent un panorama des politiques de soutien à l'agriculture. Ce panorama révèle une concentration géographique des soutiens dans quelques grandes économies (Chine, États-Unis, Union européenne, Inde). Le chapitre discute en outre les limites de l'exercice (par exemple, l'incapacité des indicateurs quantitatifs à qualifier la durabilité des soutiens) et met en lumière les insuffisances du cadre de gouvernance multilatéral des soutiens. Ces constats plaident pour une réforme des règles internationales de soutien, plus équitable, cohérente et alignée sur les objectifs de durabilité. L'Observatoire proposé se veut ainsi un outil analytique au service de cette transformation, en facilitant le suivi comparatif des efforts publics et les arbitrages de politique de soutien à l'agriculture.

Le chapitre 2 mobilise une partie des données consolidées dans le chapitre précédent pour évaluer l'efficacité des dépenses publiques agricoles sur un échantillon de 20 pays d'Afrique subsaharienne. Il évalue spécifiquement l'efficacité de la cible politique de 10 % fixée par la déclaration de Maputo. En appliquant la méthode des scores de propension généralisés (GPS)

pour estimer une fonction dose-réponse, ce chapitre met en évidence une forte hétérogénéité des résultats selon le volume et la structure des dépenses. L'analyse révèle une relation non linéaire indiquant que le seuil d'efficacité sur la valeur ajoutée agricole se situe au-delà de la cible de Maputo, précisément autour de 14-15 %. En deçà de ce seuil, et particulièrement au niveau de 10 %, l'investissement public se situe dans une zone de rendements décroissants ou nuls. En termes d'allocation, les résultats montrent une supériorité des investissements en biens publics (recherche, infrastructures) sur les transferts privés (subventions aux intrants), ces derniers ne générant des effets positifs qu'à des niveaux d'intensité élevés d'efforts budgétaires. Ce chapitre conclut ainsi que l'atteinte des objectifs de transformation agricole en Afrique subsaharienne requiert non seulement un accroissement de l'effort budgétaire des engagements actuels, mais surtout une réallocation vers les services collectifs.

Le chapitre 3 dresse une analyse d'économie politique globale des soutiens publics, montrant qu'en dépit des engagements internationaux (ODD, Accords de Paris, etc.), la majorité des soutiens publics agricoles demeurent orientées vers l'intensification conventionnelle de la production et la stabilité des revenus agricoles à court terme, plutôt que vers la durabilité environnementale. En particulier, le chapitre révèle que très peu de financements publics sont aujourd'hui alloués explicitement au soutien de pratiques agroécologiques ou à l'accompagnement de la transition verte de l'agriculture. Par exemple, dans les pays africains, moins de 1 % des dépenses publiques agricoles contribuent directement à des objectifs de durabilité. Le chapitre identifie plusieurs freins structurels expliquant cette inertie, telle que le verrouillage de certains modèles de politique agricole dans des trajectoires historiques ou le manque d'outils adaptés pour financer les transitions. Il met en lumière le fossé entre, d'une part, les solutions techniques déjà disponibles pour une agriculture plus durable et, d'autre part, le retard des politiques publiques à adopter ces nouvelles orientations. En outre, ce chapitre souligne que dans leur état actuel, les soutiens publics constituent encore des leviers sous-exploités pour accélérer les transitions agroécologiques. Il conclut sur la nécessité de réorienter les dispositifs d'aide en faveur de modes de production et de consommation plus durables. Ce constat final assure la transition vers la Partie II de la thèse.

3.2 Partie II – Technologie solaire et atténuation de gaz à effet de serre (GES) dans l'horticulture irriguée : leçons d'une évaluation d'impact au Sénégal

La deuxième partie de la thèse change d'échelle et s'attache à évaluer empiriquement le potentiel d'atténuation de la transition énergétique dans l'horticulture irriguée au Sénégal à travers le solaire. Elle répond ainsi au troisième objectif de recherche en examinant leur

efficacité environnementale et en tirant des enseignements pour éclairer les décideurs en vue de leurs intégrations dans les mécanismes actuelles de soutiens pour accompagner la transition agroécologique. La Partie II regroupe les chapitres 4 à 5.

Le chapitre 4 pose le diagnostic environnemental en quantifiant les émissions de gaz à effet de serre (GES) générées par un échantillon de 804 producteurs horticoles dans la région des Niayes au Sénégal. En suivant les recommandations du GIEC en matière d'inventaires des émissions dans le secteur agricole, ce chapitre calcule les émissions des producteurs en distinguant celles issues des consommations d'énergie pour l'irrigation et de celles des pratiques agronomiques, notamment la fertilisation. Le bilan révèle que l'empreinte carbone est majoritairement dominée par la fertilisation et la gestion des résidus de culture (85 %), tandis que la part liée à l'énergie est minoritaire (15 %). Si les producteurs utilisant l'énergie solaire affichent des émissions énergétiques nulles ou très faibles, réduisant ainsi leur empreinte sur ce poste spécifique, les résultats montrent que l'intensité carbone totale par kilogramme de produit dépend fortement de facteurs structurels. Le chapitre met également en évidence des inégalités de genre. Les femmes productrices émettent en moyenne cinq fois plus de GES par unité de produit que les hommes, non pas en raison d'une pollution absolue plus élevée, mais du fait de rendements plus faibles sur des micro-parcelles. Ce diagnostic souligne que la transition bas-carbone ne peut se limiter au seul changement technologique énergétique, mais doit intégrer l'optimisation des pratiques de fertilisation et la réduction des disparités d'accès aux ressources productives.

Le chapitre 5 complète l'analyse précédente par une approche économétrique visant à établir un lien causal de l'adoption de l'irrigation solaire sur la réduction des émissions de GES. En utilisant la méthode d'appariement par score de propension (PSM) pour corriger les biais de sélection, ce chapitre mesure l'effet net de la technologie sur les émissions totales et par poste. Les résultats montrent que l'adoption de l'énergie solaire entraîne une réduction significative des émissions globales de GES, comprise entre 47 % et 57 %. Un second résultat majeur est l'absence d'effet rebond significatif sur les émissions liées à la fertilisation. En effet, contrairement aux craintes théoriques, l'adoption du solaire n'impacte pas significativement les émissions de la fertilisation dans ce contexte. Enfin, les résultats montrent toutefois qu'une adoption partielle (systèmes mixtes solaire/fossile) est inefficace pour réduire les émissions, plaidant pour des politiques soutenant une transition technologique complète.

4 Contributions de la thèse

Face aux défis entrelacés de la sécurité alimentaire et de l'urgence climatique, cette thèse apporte une contribution multidimensionnelle à la littérature en économie du développement et

en économie agricole. Ces contributions se déclinent à plusieurs niveaux :

- Sur le plan de la production de données

La thèse apporte de nouvelles données à deux échelles. Au niveau macro, elle dépasse la fragmentation institutionnelle en construisant un Observatoire mondial des soutiens publics, intégrant à la fois les dépenses et les soutiens par les prix pour 93 pays. Au niveau micro, elle pallie la rareté des données environnementales en Afrique de l'Ouest par un inventaire des émissions de GES de 804 producteurs répartis sur 1 550 parcelles horticoles dans la zone des Niayes au Sénégal.

- Sur le plan empirique

À l'échelle macro, la thèse met en évidence les déséquilibres structurels du système mondial des soutiens publics à l'agriculture. Elle révèle d'importantes disparités et paradoxes dans la répartition géographique du soutien. Les pays à revenu élevé subventionnent fortement leur agriculture tandis que de nombreux pays en développement, pourtant plus dépendant du secteur agricole, offrent des soutiens limités. De plus, pour le cas spécifique de l'Afrique subsaharienne, la thèse apporte une contribution nouvelle au débat sur l'efficacité des dépenses publiques. Elle montre que la relation entre dépenses publiques et performance agricole n'est pas linéaire et que la cible politique continentale de 10 % (Maputo) est insuffisante pour maximiser la valeur ajoutée, le véritable seuil d'efficacité se situant autour de 14-15 %. Elle établit également que l'allocation des dépenses est tout aussi importante que le niveau de l'effort budgétaire, les biens publics générant une plus grande efficacité par rapport aux transferts privés. Elle montre enfin que la majorité des soutiens actuels manque d'alignement avec les objectifs de durabilité, soulignant ainsi la nécessité de repenser en profondeur ces politiques. Au niveau micro, la thèse contribue à la littérature sur l'adoption de l'énergie solaire et ses externalités environnementales dans les systèmes horticoles irrigués au Sénégal. Elle montre que l'adoption de cette source d'énergie en substitution des sources d'énergie fossiles pour l'irrigation horticole permet une réduction des émissions de GES. Elle montre également que l'enjeu ne se réduit pas au choix d'une source d'énergie, mais dépend de la structure des émissions et des déterminants de productivité qui conditionnent l'intensité carbone. En particulier, elle met en lumière que les performances environnementales observées s'inscrivent dans un contexte où les émissions sont largement déterminées par les pratiques agronomiques et par des facteurs structurels, notamment le genre, la très petite taille des parcelles et les écarts de rendements, etc. Cette contribution permet de déplacer le débat, passant d'une lecture strictement technologique de la « solution solaire », vers une lecture de développement, où les gains climatiques exigent simultanément adoption, efficacité de la fertilisation et réduction des inégalités d'accès aux ressources.

- Sur le plan des politiques publiques

Les enseignements de cette thèse débouchent sur des préconisations pour les politiques publiques, soulignant la double exigence de réorienter les soutiens existants et de promouvoir des mécanismes de soutiens plus durables. Au niveau international, la thèse identifie des pistes pour aligner les soutiens agricoles sur les Objectifs de développement durable. Pour les pays développés, elle appelle à une réorientation des soutiens existant vers plus de durabilité. Pour les pays d'Afrique subsaharienne, l'enjeu n'est pas uniquement d'accroître le volume des dépenses agricoles, mais d'atteindre un seuil d'efficacité au-delà de la cible de Maputo. La thèse plaide ainsi pour un effort budgétaire plus ambitieux afin de franchir le niveau à partir duquel les dépenses se traduisent en gains de performance, et pour une priorisation des biens publics (la recherche, les infrastructures, la formation, etc.), plutôt que des transferts privés à l'efficacité moindre. Dans le cas du Sénégal, l'évidence produite par la thèse conforte l'intérêt d'une stratégie de transition énergétique de l'irrigation, en soutenant l'adoption du solaire comme levier d'atténuation dans l'horticulture irriguée. Elle souligne toutefois que la diffusion de technologies bas-carbone ne peut être conçue comme une substitution isolée. Les politiques les plus pertinentes sont celles qui combinent la conversion énergétique avec un accompagnement des capacités productives et des pratiques, afin de rendre compatibles objectifs climatiques et trajectoires d'intensification soutenable. Enfin, la thèse éclaire les inégalités structurelles qui lient justice sociale et performance environnementale. Elle met en évidence que les femmes productrices présentent une intensité carbone en moyenne 5 fois plus élevée par kilogramme produit, non pas en raison de pratiques intrinsèquement plus polluantes, mais du fait de rendements plus faibles associés à l'exploitation de micro-parcelles et à des contraintes d'accès aux ressources productives. Cette lecture conduit à une implication forte pour l'action publique. Les politiques de réduction des inégalités de genre et de soutien aux petites exploitations ne relèvent pas seulement d'objectifs d'équité, elles constituent également des leviers opérationnels de décarbonation et d'efficacité environnementale du secteur agricole.

En conclusion de cette introduction générale, il ressort que la transition vers une agriculture durable suppose une réorientation structurelle des soutiens publics, fondée sur une meilleure compréhension de leurs effets à différentes échelles. Cette introduction a situé le cadre d'ensemble. Les systèmes agricoles sont soumis à une contrainte croissante de double performance, produire davantage tout en réduisant l'empreinte environnementale, alors même que les politiques agricoles demeurent largement façonnées par des logiques héritées. Dans ce contexte, un consensus se dessine quant à la nécessité de transformer les soutiens afin qu'ils contribuent aux objectifs de durabilité. La problématique décrite, marquée par la fragmentation des instruments de mesure, les déséquilibres Nord-Sud, le faible alignement des soutiens avec les enjeux environnementaux, et la nécessité de favoriser la diffusion de technologies et d'innovations susceptibles de soutenir concrètement les objectifs climatiques, constitue le chantier que la thèse se propose de traiter.

L'enjeu n'est pas seulement de diagnostiquer, mais aussi de proposer des voies d'action. En définitive, on peut espérer que les résultats de ce travail contribueront, modestement, à éclairer les politiques publiques en agriculture dans le sens d'une plus grande durabilité. Mesurer pour comprendre, consolider pour comparer et évaluer pour orienter, tels ont été les maîtres-mots de notre démarche.

Première partie

Soutiens publics à l'agriculture : analyser les instruments de mesure, évaluer l'efficacité budgétaire et questionner la durabilité des politiques

“What we measure affects what we do; and if our measurements are flawed, decisions may be distorted.”

— J. STIGLITZ, A. SEN & J.-P. FITOUSSI (2009)

Cartographie des soutiens publics à l'agriculture : création d'un Observatoire mondial

Résumé

Le paysage des indicateurs du soutien public à l'agriculture est fortement hétérogène, ce qui limite le suivi, l'analyse et la comparaison à l'échelle mondiale. Ce chapitre propose un cadre analytique visant consolider des indicateurs de l'OCDE, de la FAO/MAFAP et de la BID, pour offrir une lecture à la fois globale, détaillée et comparable des soutiens publics à l'agriculture dans le monde. Il aboutit sur la création d'un Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture couvrant 93 pays sur la période 1986–2022, représentant plus de 90 % de la valeur de la production agricole mondiale. L'approche mesure l'ampleur des soutiens en distinguant les dépenses budgétaires et les transferts induits par les prix (interventions de marché), ainsi que les cibles ou bénéficiaires (production, consommation, services collectifs tels que les infrastructures et la formation etc.). Les résultats montrent une forte concentration des soutiens dans quelques grandes économies (Chine, États-Unis, Union européenne, Inde) et des niveaux nettement plus faibles dans les pays à faible revenu, notamment en Afrique subsaharienne. Les formes du soutien varient selon les objectifs poursuivis (compétitivité, sécurité alimentaire, protection des revenus). Les indicateurs mobilisés, conçus à l'origine pour mesurer les distorsions de marché et centrés sur des dimensions socio-économiques, ne permettent pas d'apprécier dans quelle mesure les soutiens orientent la transition vers des systèmes alimentaires durables.

1 Introduction

L'agriculture et l'alimentation occupent une position stratégique dans les Objectifs de développement durable (ODD). Elles contribuent de manière déterminante à la sécurité alimentaire (ODD 2), à la réduction de la pauvreté (ODD 1), à la résilience face au changement climatique (ODD 13), à la gestion durable des ressources naturelles (ODD 12 et 15), ainsi qu'à l'inclusion sociale et économique dans de nombreuses régions du monde. Pour accompagner ces multiples enjeux, l'ensemble des pays, qu'ils soient à revenu élevé, intermédiaire ou faible, mobilisent des politiques publiques de soutien à l'agriculture. Ces politiques prennent différentes formes : subventions aux producteurs ou aux consommateurs, services de développement agricole, interventions sur les prix ou les marchés, mesures commerciales, etc.

Cependant, de nombreuses incertitudes subsistent quant au volume, à la structure et à l'efficacité réelle de ces soutiens. Quelle part du revenu agricole provient des interventions publiques ? Quels types de soutien prédominent ? Sont-ils compatibles avec les ODD ? Ces interrogations demeurent largement ouvertes, en raison de la fragmentation des données disponibles et de l'absence d'outils de mesure communs à l'échelle internationale.

Or, la capacité des politiques agricoles à répondre aux défis actuels dépend largement de la manière dont les ressources publiques sont mobilisées, allouées et suivies. Pourtant, il n'existe à ce jour aucun système unifié de mesure permettant d'appréhender, de manière globale et comparative, l'ampleur et la composition des soutiens publics à l'agriculture à travers le monde. De nombreuses institutions internationales telles que l'Organisation mondiale du commerce (Effland, 2011), l'Organisation de coopération et de développement économiques (OECD, 2016), la Banque mondiale (Anderson & Valdés, 2008; Anderson & Masters, 2009; Banque mondiale, 2011; Kheyfets et al., 2011; The World Bank and the UK Department for International Development, 2011), le Programme MAFAP de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Ghins et al., 2013; Mas Aparisi et al., 2015; Barreiro-Hurlé & Witwer, 2013), l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (Johnson & Flaherty, 2008; ReSAKSS, 2023), le Consortium AgIncentives (Laborde et al., 2025) ont développé, dans un but précis leurs propres indicateurs, fondés sur des concepts et des méthodes spécifiques, adaptés à des groupes de pays ou à des catégories de soutien particuliers. Cette pluralité de sources conduit à des données hétérogènes, pas toujours comparables entre elles, limitant ainsi une vision d'ensemble des soutiens publics agricoles à l'échelle mondiale.

À cette fragmentation s'ajoute une difficulté plus structurelle, celle d'une insuffisance de lecture qualitative et désagrégée du soutien public à l'agriculture. La plupart des indicateurs existants sont des agrégats globaux, qui offrent une couverture étendue mais ne permettent pas de distinguer finement la nature des interventions. Et lorsque des indicateurs plus détaillés existent, leur périmètre reste souvent limité à un petit nombre de pays. Or, les formes de soutien étant très variées, il est essentiel de pouvoir en distinguer les composantes, notamment ce qui relève des soutiens budgétaires (subventions, aides directes, services publics) et ce qui relève des soutiens liés aux politiques de prix (prix garantis, subventions à l'exportation, barrières tarifaires, etc.) au regard de leur caractère distorsif ou non. Il convient, ensuite, d'en préciser les cibles ou bénéficiaires (producteurs, consommateurs, services, filières ou produits agricoles concernés).

Ces distinctions sont essentielles, car les différents types de soutien n'ont pas les mêmes effets. D'un point de vue économique, les effets incitatifs des soutiens varient selon leur nature et leurs bénéficiaires. Sur le plan social, leurs impacts redistributifs peuvent diverger. Sur le plan environnemental, certains soutiens accompagnent les transitions durables tandis que d'autres y font obstacle. Enfin, dans le cadre des échanges commerciaux, les disciplines de l'OMC en matière de soutien à l'agriculture sont définies en fonction du caractère distorsif (ou non) des mesures. L'enjeu analytique est donc majeur, à l'heure où les politiques agricoles sont appelées à contribuer aux ODD.

Dans ce contexte, ce chapitre vise à proposer une approche de consolidation des données issues de trois sources principales : l'OCDE, la Banque interaméricaine de développement (BID) et le programme MAFAP de la FAO. Notre objectif est de construire un cadre conceptuel commun, permettant :

- de ventiler les formes budgétaires et non budgétaires de soutien, ainsi que leurs cibles ;
- de couvrir un large échantillon de pays du Nord comme du Sud ;
- et de générer des indicateurs comparables, utiles à la décision.

Notre démarche méthodologique repose sur le « manuel de l'ESP » développé par l'OECD (2016), retenu ici comme référentiel central en raison de son cadre conceptuel détaillé et documenté, de sa reconnaissance internationale, et de sa capacité à distinguer clairement les deux formes majeures de soutien selon leur nature et leurs bénéficiaires :

1. les transferts budgétaires (aux producteurs, aux consommateurs, services généraux) ;
2. le soutien des prix de marché (SPM), mesurés à travers les écarts entre prix domestiques et prix internationaux de référence.

Les données publiées par l'OCDE (ESP, ESSG, ESC, EST) permettent de reconstituer les composantes budgétaires de manière systématique, tandis que le SPM est directement disponible. La Banque interaméricaine de développement (BID) appliquant la même méthodologie que l'OCDE, ses données sont intégrées sans transformation supplémentaire. Le programme MAFAP de la FAO vient compléter cette consolidation pour un ensemble de pays d'Afrique subsaharienne. Sa classification détaillée des dépenses publiques agricoles, bien qu'adaptée aux contextes des pays en développement, est suffisamment alignée sur les catégories de l'OCDE pour permettre un rapprochement méthodique. Pour le SPM, l'écart de prix (price gap) calculé par le MAFAP, conceptuellement proche du différentiel de prix utilisé pour le SPM, est utilisé pour recalculer le SPM pour ces pays. Cette démarche permet de créer un cadre analytique intégré, unifiant des données hétérogènes dans des catégories comparables, et générant des indicateurs couvrant à la fois le niveau et la composition des soutiens publics agricoles à l'échelle mondiale. Elle débouche sur la mise en place d'un Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation, adossé à une base de données couvrant plus de 90 pays entre 1986 et 2022, représentant plus de 90% de la production agricole mondiale. Cet outil permet :

- de comparer les soutiens agricoles entre pays et régions ;
- d'analyser les dynamiques structurelles du soutien selon leur nature et cibles ou bénéficiaires ;

- d'éclairer les décideurs publics pour des politiques agricoles plus efficaces et mieux alignées avec les ODD.

Le chapitre est organisé comme suit. Une première section présente la méthodologie retenue : cadre conceptuel, sources mobilisées et processus d'alignement entre les données de l'OCDE, de la BID et du MAFAP. Puis une deuxième section décrit les principales caractéristiques de l'Observatoire ainsi construit. La troisième propose une analyse des principales tendances mondiales observées en matière de soutien public à l'agriculture, en mettant en lumière les niveaux, les structures et les disparités régionales. Enfin, la dernière discute les implications de ces résultats pour la gouvernance mondiale des soutiens publics agricoles, avant de conclure.

2 Méthodologie

Ce chapitre propose un cadre analytique visant à consolider et analyser des données relatives aux soutiens publics à l'agriculture issues de trois sources majeurs. La démarche permet de distinguer et de comparer deux grandes catégories de soutien : les dépenses publiques agricoles, d'une part, et les transferts induits par les interventions sur les prix, d'autre part. Elle permet également de qualifier la destination des mesures selon leurs bénéficiaires : producteurs, consommateurs, services collectifs, filières ou produits spécifiques. Ce choix méthodologique répond à trois objectifs : dissocier des instruments aux mécanismes d'action et au potentiel distorsif différents ; améliorer la lecture qualitative des soutiens en précisant leurs cibles ; et rendre comparables des données issues de bases institutionnelles multiples, souvent fragmentées et construites selon des méthodologies différentes, afin de fournir une lecture globale et détaillée du soutien à l'agriculture dans le monde.

Sur cette base, les données issues de l'OCDE, la BID, et le programme MAFAP de la FAO sont intégrées dans un cadre commun. Notre démarche suit trois étapes :

1. Identification : chaque source de données (OCDE, BID, MAFAP) est analysée séparément afin d'identifier de manière systématique les différentes composantes du soutien public à l'agriculture, qu'il s'agisse de transferts budgétaires ou de soutiens issus des interventions sur les prix.
2. Correspondance : les catégories issues de chaque base sont rapprochées, en prenant la méthodologie de l'OCDE (OECD, 2016, 2019) comme référentiel central. Les données de la BID, construites selon la même architecture, sont directement intégrées. Pour les données du programme MAFAP dont l'approche est conceptuellement proche de celle de l'OCDE (Ghins et al., 2013; Barreiro-Hurlé & Witwer, 2013), un travail de correspondance catégorie par catégorie est réalisé, en s'appuyant à la fois sur une analyse des classifications et sur des échanges directs avec les équipes des différentes institutions productrices. Cette étape permet de s'assurer de la cohérence méthodologique des correspondances établies, tout en tenant compte des spécificités propres aux pays en développement.
3. Agrégation : les différentes catégories identifiées et mises en correspondance sont ensuite organisées autour d'indicateurs communs. Il s'agit de trois principaux indicateurs : (i) les Dépenses publiques pour l'agriculture et l'alimentation (DPAA), regroupant les transferts budgétaires aux producteurs,

aux consommateurs et les services collectifs ; (ii) le Soutien des prix de marché (SPM), mesurant les transferts induits par les interventions publiques sur les prix agricoles ; et (iii) le Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation (STAA), défini comme la somme des deux précédents. Conceptuellement équivalent à l'Estimation du soutien total (EST) de l'OCDE, le STAA s'en distingue par son périmètre étendu à un ensemble plus large de pays grâce à l'intégration des données du MAFAP et de la BID.

2.1 Etape 1 : identification des soutiens

2.1.1 L'approche de l'OCDE comme référentiel

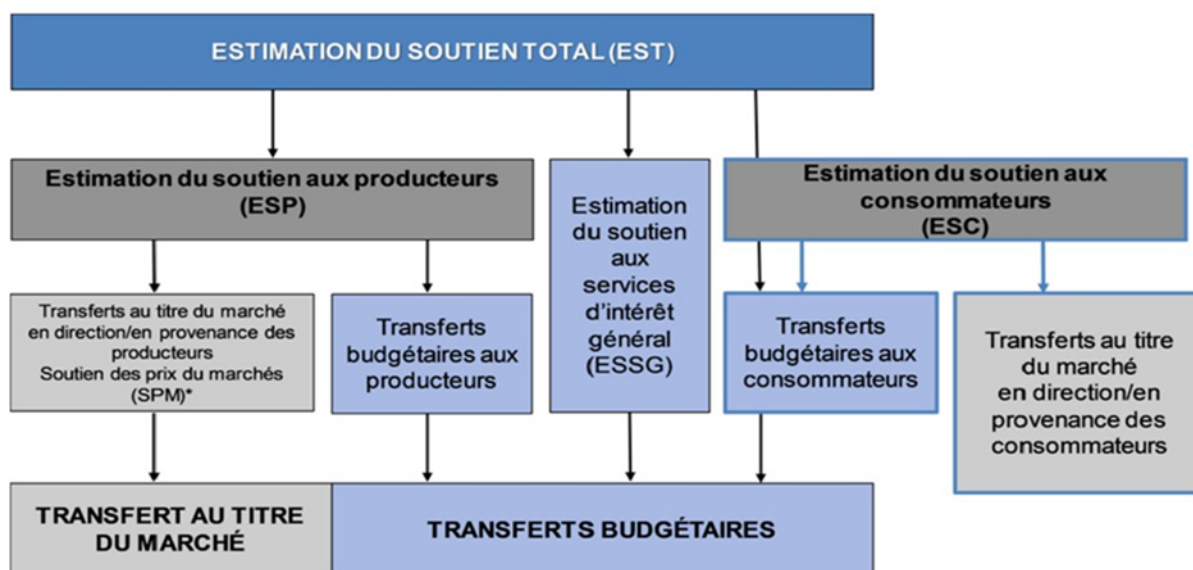
L'OCDE, à travers son «manuel de l'ESP», constitue le référentiel central retenu dans ce travail (OECD, 2016). Cette méthodologie présente l'avantage de pouvoir caractériser le plus largement possible l'ensemble des formes de soutien public à l'agriculture, qu'il s'agisse de transferts budgétaires ou de soutiens issus des politiques de prix. Un apport essentiel de la méthode de l'OCDE est de distinguer explicitement les transferts budgétaires (subventions aux producteurs, aides aux consommateurs, services généraux au secteur agricole) des soutiens des prix de marché, définis comme l'écart entre les prix intérieurs et un prix international de référence.

Toutefois, la majorité des transferts budgétaires ne sont pas publiés sous forme d'indicateurs. Ils apparaissent comme des composantes internes des grands agrégats que sont l'Estimation du soutien total (EST), l'Estimation du soutien aux producteurs (ESP), l'Estimation du soutien aux services généraux (ESSG) et l'Estimation du soutien aux consommateurs (ESC). Notre démarche consiste donc à désagréger ces agrégats pour identifier et extraire les parts budgétaires qu'ils contiennent. Par exemple, l'ESP est composé à la fois des transferts budgétaires aux producteurs et des soutiens de prix de marché (SPM). En détaillant sa composition, il devient possible d'isoler les dépenses budgétaires en faveur des producteurs et de les reconstituer en tant que telles. Le même travail est mené pour l'ESSG et l'ESC. Concernant le soutien des prix du marché (SPM), un calcul supplémentaire n'est pas nécessaire, puisque cet indicateur est directement fourni par l'OCDE dans ses publications. L'EST, qui agrège tous les transferts budgétaires et le SPM, constitue dès lors l'indicateur à partir duquel la désagrégation permet d'identifier toutes les composantes du soutien (Figure 1.1).

2.1.2 L'approche du Programme MAFAP

Le programme MAFAP (FAO) s'inspire largement des travaux de l'OCDE, mais sans produire les mêmes indicateurs agrégés (ESP, ESSG, ESC, EST). Sa méthodologie se concentre plutôt sur une décomposition fine des dépenses publiques agricoles, classées selon leur nature économique et leur finalité que sont le soutien direct à la production et à la consommation, ainsi que les financements d'infrastructures et de services collectifs (Ghins et al., 2013). La typologie utilisée (voir Figure 1.2), adaptée aux spécificités des pays en développement, conserve néanmoins une forte compatibilité avec les catégories budgétaires de l'OCDE, permettant d'établir des correspondances précises.

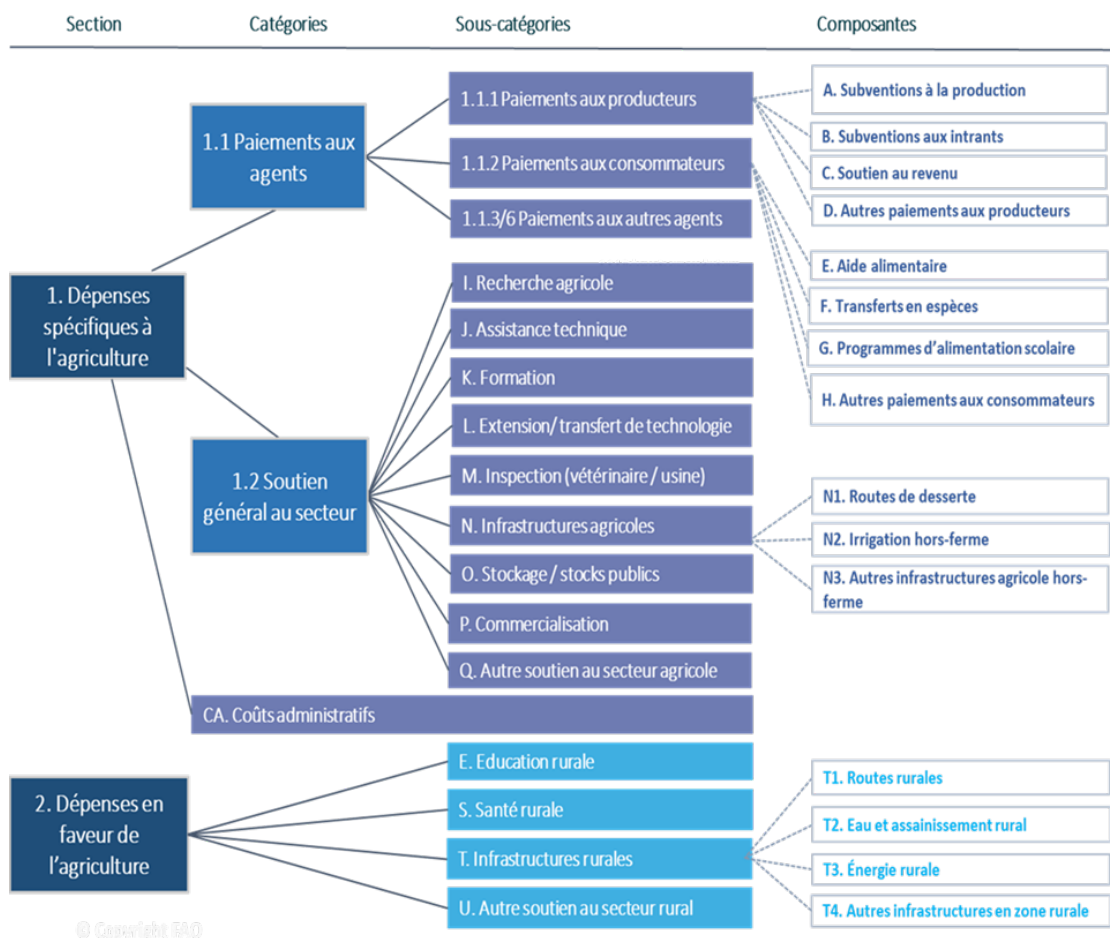
En matière de soutien de prix, le MAFAP propose un ensemble d'outils de mesure inspirés de la



Source : (OECD, 2019)

FIGURE 1.1 : Système de classification et de mesure du soutien à l'agriculture de l'OCDE.

littérature classique sur les distorsions de prix et les incitations agricoles (Krueger et al., 1988, 1992; Tsakok, 1990; Anderson & Valdés, 2008; Anderson & Masters, 2009). Ces outils visent à évaluer les incitations et désincitations générées par les politiques publiques via les mécanismes de marché. Parmi eux, l'«écart de prix» (price gap) défini comme la différence entre le prix domestique et un prix international de référence pour un produit donné, calculée à différents niveaux (ferme, marché de gros, consommation) présente une proximité conceptuelle avec le Différentiel de prix du marché (DPM) utilisé par l'OCDE pour estimer le SPM (Barreiro-Hurlé & Witwer, 2013; OECD, 2016). Dans notre démarche, le SPM est directement repris des bases OCDE, tandis qu'il est recalculé pour les pays couverts par le MAFAP à partir de l'indicateur d'écart de prix.



Source : (Permechele et al., 2021)

FIGURE 1.2 : Système de classification et de mesure du soutien à l'agriculture du Programme MAFAP de la FAO.

2.2 Etape 2 : correspondance des composantes du soutien entre sources

2.2.1 Les soutiens budgétaires

Les soutiens budgétaires constituent des transferts ou des dépenses publiques directement consacrées au secteur agricole. A travers le manuel de l'ESP (OECD, 2016), ces transferts sont ventilés en trois composantes principales :

1. Les transferts budgétaires aux producteurs correspondent aux paiements et subventions que reçoivent les producteurs agricoles à titre individuels fondés sur divers critères (volume de production, intrants utilisés, surface, cheptel, recettes ou revenu) ;
2. Les transferts budgétaires aux consommateurs et aux autres acteurs de la filière correspondent aux subventions ou compensations bénéficiant aux consommateurs de produits agricoles ou aux agents intermédiaires (transformateurs, commerçants, etc) pour influencer les prix payés par les consommateurs ;

3. Les services généraux de soutien à l'agriculture correspondent aux dépenses publiques qui profitent collectivement au secteur agricole (infrastructures, recherche, formation, développement rural, etc.), sans être versées directement à un producteur ou un consommateur en particulier.

2.2.1.1 Correspondance des Transferts budgétaires aux producteurs

Après avoir identifié tous les transferts budgétaires aux producteurs dans le manuel de l'ESP, nous recherchons leur équivalent dans la taxonomie du MAFAP (Figure 1.2). Le Tableau 1 présente la correspondance établie catégorie-par-catégorie. Dans ce rapprochement, les catégories principales du MAFAP (A, B, C, D) trouvent un équivalent direct ou regroupé dans la classification OCDE (Table 1.1). Par exemple, la catégorie A du MAFAP (subventions à la production) correspond aux paiements de catégorie A2 de l'OCDE, et la catégorie B du MAFAP (subventions aux intrants) recouvre l'ensemble de la catégorie B de l'OCDE (qui inclut B1, B2, B3), correspondant respectivement à des subventions aux intrants variables, en capital et aux services à la ferme. La catégorie C du MAFAP (soutien au revenu) couvre un éventail de paiements qui, dans la grille OCDE, sont répartis entre C, D, E (Paiements fondés sur des références de superficie, d'animaux, de revenu ou de recettes, avec ou sans exigence de production) et F (différentes formes de paiements découplés de la production). Enfin, la catégorie D du MAFAP (autres paiements) est alignée avec la catégorie résiduelle G de l'OCDE.

TABLE 1.1 : Correspondance des catégories de transferts budgétaires aux producteurs : OCDE/BID vs. MAFAP

Méthodologie MAFAP	Equivalence	Méthodologie OCDE/BID
1.1.1 Paiements aux producteurs	↔	Composante budgétaire de l'ESP
<ul style="list-style-type: none"> • A. Subventions à la production 	↔	<ul style="list-style-type: none"> • A.2 Paiements au titre de la production
<ul style="list-style-type: none"> • B. Subventions aux intrants 	↔	<ul style="list-style-type: none"> • B. Paiements au titre de l'utilisation d'intrants
<ul style="list-style-type: none"> ○ B1. Intrants variables 		<ul style="list-style-type: none"> ○ B.1 Utilisation d'intrants variables
<ul style="list-style-type: none"> ○ B2. Capital et équipement 		<ul style="list-style-type: none"> ○ B.2 Formation de capital fixe
<ul style="list-style-type: none"> ○ B3. Services à la ferme 		<ul style="list-style-type: none"> ○ B3. Services utilisés sur l'exploitation
<ul style="list-style-type: none"> • C. Soutien au revenu 	↔	<ul style="list-style-type: none"> • C. Paiements au titre des S/Na/Rec/Rev courants, production requise
		<ul style="list-style-type: none"> • D. Paiements au titre des S/Na/Rec/Rev non courants, production requise
		<ul style="list-style-type: none"> • E. Paiements au titre des S/Na/Rec/Rev non courants, production facultative
		<ul style="list-style-type: none"> • F. Paiements selon des critères non liés à des produits de base
<ul style="list-style-type: none"> • D. Autres paiements aux producteurs 		<ul style="list-style-type: none"> • G. Paiements divers
1.1.3 Paiements aux fournisseurs d'intrants	↔	Pas de catégorie équivalente distincte dans l'OCDE/BID

Source : élaboration de l'auteur à partir de [OECD \(2016\)](#) et [Ghins et al. \(2013\)](#).


Nous avons par ailleurs inclus un poste supplémentaire propre au MAFAP que sont les paiements aux fournisseurs d'intrants (référence 1.1.3 dans la taxonomie MAFAP). Ces dépenses, qui subventionnent indirectement le producteur en aidant les fournisseurs d'intrants agricoles, n'ont pas de catégorie dédiée dans la méthodologie OCDE (puisque elles sont rarement présentes dans les pays OCDE), mais il est pertinent de les prendre en compte pour les pays couverts par le MAFAP majoritairement des pays en développement. Après correspondance, l'ensemble de ces postes sont agrégés en une seule mesure que nous appelons transferts budgétaires à la production :

$$\begin{aligned} \text{Transferts budgétaires à la production} &= A + B + C + D + E + F + G && \text{(selon OCDE)} \\ &= A + B + C + D + 1.1.3 && \text{(selon MAFAP)} \end{aligned} \quad (1.1)$$

2.2.1.2 Correspondance des Transferts budgétaires aux consommateurs et autres acteurs de la filière

Comme avec les transferts budgétaires aux producteurs, nous établissons l'équivalence entre OCDE et MAFAP. La correspondance établie, catégorie par catégorie est présentée dans la Table 1.2. Cette table montre que les postes MAFAP visant les consommateurs/ménages (1.1.2), les transformateurs (1.1.4), les commerçants/distributeurs (1.1.5) et les transporteurs (1.1.6) se rattachent, côté OCDE, à une rubrique unique : P. Transferts aux consommateurs (TCC). Autrement dit, MAFAP détaille plusieurs canaux le long de la filière, tandis que l'OCDE les agrège dès lors que l'objectif est d'abaisser le coût supporté par le consommateur final.

TABLE 1.2 : Correspondance des transferts budgétaires aux consommateurs : OCDE/BID vs. MAFAP

Méthodologie MAFAP	Equivalence	Méthodologie OCDE/BID
1.1.2 Paiements aux consommateurs		Composante budgétaire de l'ESC : P. Transferts des contribuables aux consommateurs (TCC)
1.1.4 Transformateurs		
1.1.5 Commerçants		
1.1.6 Transporteurs		

Source : élaboration de l'auteur à partir de [OECD \(2016\)](#) et [Ghins et al. \(2013\)](#).

Après correspondance, l'ensemble de ces postes est agrégé en une seule mesure que nous appelons transferts budgétaires à la consommation :

$$\begin{aligned} \text{Transferts budgétaires à la consommation} &= P. \text{ Transferts aux consommateurs (TCC)} && \text{(selon OCDE)} \\ &= 1.1.2 + 1.1.4 + 1.1.5 + 1.1.6 && \text{(selon MAFAP)} \end{aligned} \quad (1.2)$$

2.2.1.3 Services généraux de soutien à l'agriculture (dépenses publiques collectives)

Après les transferts aux producteurs et aux consommateurs, nous appliquons la même démarche aux services généraux de soutien. Nous identifions, dans le manuel de l'ESP, les postes de dépenses de services généraux (ESSG), puis établissons leur équivalent dans la taxonomie MAFAP. La correspondance établie, catégorie par catégorie, est présentée à la Table 1.3.

La Table 1.3 montre une forte correspondance pour la plupart des postes. On constate par exemple que le financement de la recherche agricole est considéré dans la catégorie H de l'OCDE et dans le poste I du MAFAP; les dépenses d'infrastructures agricoles relèvent de J dans l'OCDE et de N dans le MAFAP; les stocks publics sont L côté OCDE et O côté MAFAP, etc. L'essentiel des dépenses de soutien général du MAFAP peut donc être aligné directement sur les catégories H à M de l'OCDE.

En complément, la classification MAFAP distingue également une catégorie de Dépenses en faveur du développement agricole au sens large, qui inclut des investissements en milieu rural souvent liés à l'agriculture sans y être exclusivement dédiés. Par exemple l'éducation rurale (écoles en zones agricoles, alphabétisation des agriculteurs); la santé rurale (programmes de santé en milieu agricole); les infrastructures rurales (routes, électrification dans les campagnes agricoles); et autres dépenses rurales contribuant indirectement au secteur agricole. Ces dépenses ne sont pas spécifiquement distinguées par l'OCDE dans l'ESSG, car dans les pays développés ces éléments relèvent généralement d'autres budgets (éducation, transport, etc.). Cependant, dans de nombreux pays en développement, ils font partie intégrante de l'effort public pour soutenir le monde agricole et rural. Après correspondance, l'ensemble de ces postes sont agrégés en une seule mesure que nous appelons Services collectifs pour le développement agricole :

$$\begin{aligned} \text{Services collectifs pour le développement agricole} &= \text{ESSG} \quad (\text{selon OCDE}) \\ &= \sum_{x=H}^M x \quad (\text{selon OCDE}) \\ &= \sum_{x=I}^U x \quad (\text{selon MAFAP}) \end{aligned} \quad (1.3)$$

TABLE 1.3 : Correspondance des services généraux de soutien agricole : OCDE/BID vs. MAFAP

Méthodologie MAFAP	Equivalence	Méthodologie OCDE/BID		
1.2 Soutien général au secteur	↔	Composante budgétaire de l'ESSG		
• I. Recherche agricole	↔	• H. Système de connaissances et d'innovation agricoles <ul style="list-style-type: none"> ○ H.1 Création de connaissances agricoles ○ H.2 Transfert de connaissances agricoles 		
• J. Assistance technique				
• K. Formation				
• L. Vulgarisation et transfert de technologie				
• M. Inspection	↔	• I. Inspection et contrôle <ul style="list-style-type: none"> ○ I.1 Sécurité et inspection des produits agricoles ○ I.2 Lutte contre les parasites et les maladies ○ I.3 Contrôle des intrants 		
• N. Infrastructures agricoles		↔	• J. Développement et entretien des infrastructures <ul style="list-style-type: none"> ○ J.1 Infrastructures hydrauliques ○ J.2 Stockage, commercialisation et autres infrastructures physiques ○ J.3 Infrastructure institutionnelle ○ J.4 Restructuration des exploitations agricoles 	
			• P. Commercialisation	↔
	• O. Stockage/stocks publics			
	• Q. Autre soutien au secteur agricole		↔	• M. Divers
2. Dépenses en faveur de l'agriculture	↔	Pas spécifiquement distinguées par l'OCDE dans l'ESSG		
R. Education rurale				
S. Santé rurale				
T. Infrastructures rurales				
U. Autre soutien au secteur rural				

Source : élaboration de l'auteur à partir de [OECD \(2016\)](#) et [Ghins et al. \(2013\)](#).

2.2.1.4. Dépenses publiques à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA)

À l'issue des regroupements et correspondances décrits pour les trois composantes budgétaires, nous les agréons en mesure global que nous appelons Dépenses publiques à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA), défini comme la somme suivante :

$$\begin{aligned} \text{DPAA} = & \text{Transferts budgétaires aux producteurs} \\ & + \text{Transferts budgétaires aux consommateurs} \\ & + \text{Services collectifs pour le développement agricole} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Ainsi, les DPAA représentent l'ensemble des dépenses publiques qu'un pays consacre à son agriculture et à son alimentation. Notre démarche peut être résumé dans l'encadré suivant :

Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation : construction d'un indicateur comparable (synthèse)

En résumé, l'indicateur **Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA)** est construit grâce aux équivalences entre les transferts budgétaires selon (OCDE/BID) et les catégories des dépenses agricoles du MAFAP.

$$\text{DPAA} = \text{(i)} + \text{(ii)} + \text{(iii)}, \text{ avec}$$

$$\begin{aligned} \text{(i) Transferts budgétaires à la production} &= A2+B+C+D+E+F+G \text{ (OCDE)} \\ &= A+B+C+D+ 1.1.3 \text{ paiements aux fournisseurs d'intrants (MAFAP)} ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ii) Transferts budgétaires à la consommation} &= P(\text{OCDE}) = \sum 1.1.2 \text{ et } 1.1.4 \text{ à } 1.1.6 \\ & \text{(MAFAP)} ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(iii) Services collectifs pour le développement agricole} &= \sum H \text{ à } M \text{ (OCDE)} = \sum I \text{ à } U \\ & \text{(MAFAP)}. \end{aligned}$$

Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA) font la somme des trois composantes.

Source : élaboration auteur

2.2.2 Le transfert au titre du marché : soutien des prix du marché (SPM)

Calculé par l'OCDE, le Soutien des prix de marché (SPM) constitue l'autre composante majeure du soutien à l'agriculture. Il désigne l'ensemble des transferts implicites résultant de politiques qui modifient les prix agricoles intérieurs par rapport à ceux observés sur les marchés internationaux. Ce soutien n'est pas budgétaire, mais il confère un avantage/désavantage économique aux producteurs équivalent à un transfert financier. Bien qu'il soit déjà directement mesuré par l'OCDE, nous en rappelons brièvement le principe de calcul afin de pouvoir établir une correspondance méthodologique avec les données du MAFAP.

2.2.2.1 Définition et principes méthodologiques

D'après le manuel de l'ESP (OECD, 2016), le SPM est défini comme la valeur monétaire annuelle des transferts induits par l'écart entre le prix intérieur d'un produit agricole et son prix de référence international ajusté, multiplié par les volumes de production concernés. Ce transfert est généralement induit par des mesures aux frontières (droits de douane, subventions/restrictions à l'importation ou à l'exportation) ou des mesures de marché internes (prix minimum garantis, achats publics, quotas, etc).

Le SPM est directement fourni dans les statistiques de l'OCDE et de la BID, où il figure sous la catégorie A1 du manuel de l'ESP (OECD, 2016). Il résulte d'un calcul conceptuel fondé sur le différentiel de prix du marché (DPM), défini comme :

$$DPM_i = P_{\text{intérieur},i} - P_{\text{frontière ajusté},i} \quad (1.5)$$

Et le SPM s'obtient alors par multiplication par la quantité produite :

$$SPM_i = DPM_i \times Q_i \quad (1.6)$$

Avec :

- $P_{\text{intérieur},i}$: prix intérieur au départ de l'exploitation ;
- $P_{\text{frontière ajusté},i}$: prix à la frontière ajusté pour comparabilité ;
- Q_i : quantité produite.

Le prix à la frontière est ajusté pour le rendre comparable au prix intérieur au départ de l'exploitation. La formule d'ajustement est la suivante :

$$P_{\text{frontière ajusté},i} = (P_{\text{frontière},i} \times AQ_i - AMC_i) \times AP_i \quad (1.7)$$

Avec :

- $P_{\text{frontière},i}$: prix international ;
- AQ_i : coefficient d'ajustement pour la qualité ;
- AMC_i : ajustement des marges commerciales (transport, stockage, etc.) ;
- AP_i : ajustement pour les unités de poids.

Ces ajustements visent à ramener l'écart entre le prix international et le prix intérieur aux seuls effets des politiques publiques, en neutralisant les autres facteurs tels que la qualité, le transport, les marges commerciales.

2.2.2.2 Correspondance avec les données MAFAP

Le MAFAP ne publie pas de SPM, mais il calcule des mesures de distorsion des prix très proches dans leur principe. Il s'agit notamment de l'écart prix utilisé dans le calcul du Taux nominal de protection. Cet écart de prix dénommé « Price gap (PG) » compare l'écart entre les prix intérieurs et les prix de référence pour divers produits (Barreiro-Hurlé & Witwer, 2013). Dans son principe de calcul, il peut être considéré comme méthodologiquement équivalent au DPM de l'OCDE.

$$PG_{afg} = P_{dfg} - RP_{afg} \quad (1.8)$$

Avec :

- PG_{afg} : écart de prix ajusté ;
- P_{dfg} : prix domestique au départ de l'exploitation ;
- RP_{afg} : prix à la frontière ajusté.

Ainsi, pour obtenir le SPM correspondant à partir des données MAFAP, nous appliquons donc la formule suivante :

$$SPM = PG_{afg} \times Q \quad (1.9)$$

- PG_{afg} : écart de prix ajusté ;
- Q : volume de la production du produit concerné.

La Table 1.4 résume l'équivalence entre les deux approches.

TABLE 1.4 : Correspondance des indicateurs de soutien des prix de marché : OCDE/BID vs. MAFAP

Source	Écart de prix utilisé	Calcul du SPM	Données utilisées
OCDE / BID	DPM (publié ou interne)	$SPM = DPM \times Q$	SPM directement disponible (Catégorie A1) du référentiel OCDE
MAFAP	PG (Price Gap)	$SPM = PG \times Q$	Calculé par MAFAP

Source : élaboration de l’auteur à partir de de [OECD \(2016\)](#) et [Barreiro-Hurlé & Witwer \(2013\)](#).

2.3 Soutien total à l’agriculture et à l’alimentation (STAA) : DPAA et SPM

Ici, nous procédons à l’agrégation des Dépenses publiques agricoles et alimentaires (DPAA) avec le Soutien des prix du marché (SPM). Cet indicateur agrégé, que nous appelons Soutien total à l’agriculture et à l’alimentation (STAA), est conceptuellement équivalent à l’Estimation du soutien total (EST) telle que définie et calculée par l’OCDE et la BID. Selon l’[OECD \(2019\)](#), l’EST correspond à « la valeur monétaire annuelle de tous les transferts bruts des contribuables et des consommateurs découlant des mesures de soutien au secteur agricole, déduction faite des recettes budgétaires associées, quels que soient leurs objectifs et leurs incidences sur la production et le revenu agricole, ou sur la consommation de produits agricoles». Le STAA s’écrit :

$$STAA = DPAA + SPM \quad (1.10)$$

STAA : Soutien total à l’agriculture et à l’alimentation ;

DPAA : Dépenses publiques à l’agriculture et à l’alimentation ;

SPM : Soutien des prix du marché.

L’alignement méthodologique entre les données de l’OCDE, de la BID et du programme MAFAP permet de consolider une base de données permettant une comparabilité international sur un plus grand nombre de pays. Cette base de données consolidées couvre la période 1986 à 2022 (selon la disponibilité des données par pays) et intègre les pays membres de l’OCDE (données annuelles depuis les années 1980), plusieurs pays d’Amérique hors OCDE à travers la BID et de nombreux pays d’Afrique subsaharienne via le programme MAFAP (données disponibles à partir des années 2003). Au total, la base comprend environ 45 pays à revenu élevé, près de 40 pays à revenu intermédiaire et environ une dizaine de pays à faible revenu (voir Annexe 6 pour la liste détaillée).

L’ensemble des indicateurs proposés facilite l’analyse de l’ampleur et de la structure des soutiens

agricoles, de leur efficacité ainsi que de leur articulation avec les objectifs de développement durable (productivité, sécurité alimentaire, développement rural, durabilité). Ils constituent ainsi un outil pour éclairer la décision publique et orienter les politiques agricoles vers une plus grande efficacité et durabilité. Nous les mobilisons pour mettre en place un Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation au sein de la Fondation FARM, présenté dans la section suivante, et pour analyser les tendances globales du soutien agricole dans la partie consacrée aux résultats.

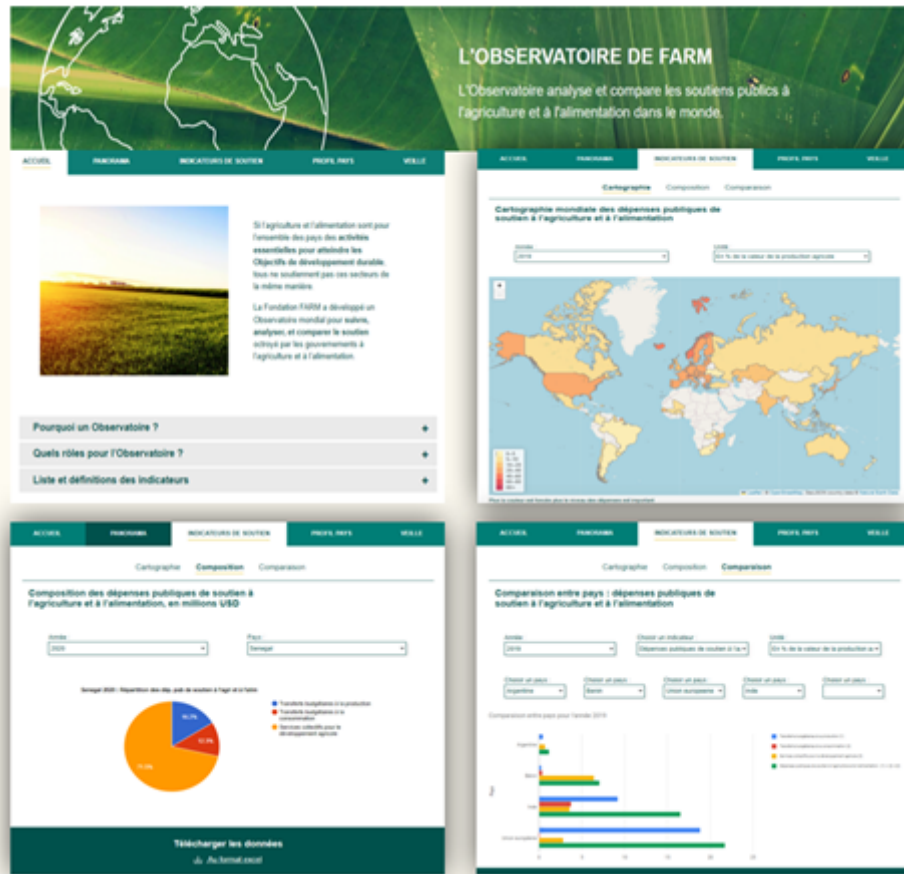
3 Un Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation au sein de la Fondation FARM

Notre démarche méthodologique ainsi que la base de données qui en a découlé débouche sur la mise en place d'un Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture, qui offre à la fois une vision globale, détaillée et comparable du soutien à l'agriculture. L'Observatoire se présente comme une plateforme interactive où sont accessibles les indicateurs de soutien budgétaire et de prix pour tous les pays couverts, avec des outils de visualisation et d'analyse comparative.

L'Observatoire, accessible publiquement en ligne ([site web de la Fondation FARM](#)), propose :

- Une base de données consolidées, couvrant 93 pays représentant plus de 90% de la valeur de la production agricole mondiale ;
- Des analyses par pays et par région, sous forme de fiches ou de rapports synthétiques illustrant le niveau et la structure du soutien ;
- Une cartographie dynamique permettant de visualiser les niveaux de soutien à l'échelle mondiale ;
- Des modules de comparaison personnalisée, où l'utilisateur peut sélectionner des pays et indicateurs pour générer des graphiques comparatifs ;
- Un système de veille et de mise à jour annuelle, informant des dernières données disponibles et des évolutions notables des politiques de soutien.

En centralisant ces données sur le soutien public à l'agriculture, l'Observatoire facilite l'analyse comparative, favorise la transparence et contribue à une meilleure compréhension des politiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation. Il constitue une ressource utile pour les décideurs, les chercheurs, et l'ensemble des acteurs du secteur agricole, en fournissant des informations actualisées et comparables visant à orienter la formulation de politiques agricoles plus efficaces.



Source : capture d'écran des pages de l'Observatoire le site de la Fondation FARM

FIGURE 1.3 : Aperçu de l'Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture.

4 Résultats : panorama mondial des soutiens publics

Cette section présente une analyse des principales tendances mondiales observées en matière de soutien public à l'agriculture. Sauf indication contraire, les chiffres cités proviennent des moyennes sur les trois dernières années disponibles pour chaque pays afin de mettre en évidence les tendances structurelles récentes du paysage du soutien public mondial à l'agriculture et à l'alimentation. Nous examinons d'abord les Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA), puis le Soutien des prix de marché (SPM), avant de considérer le Soutien total (STAA).

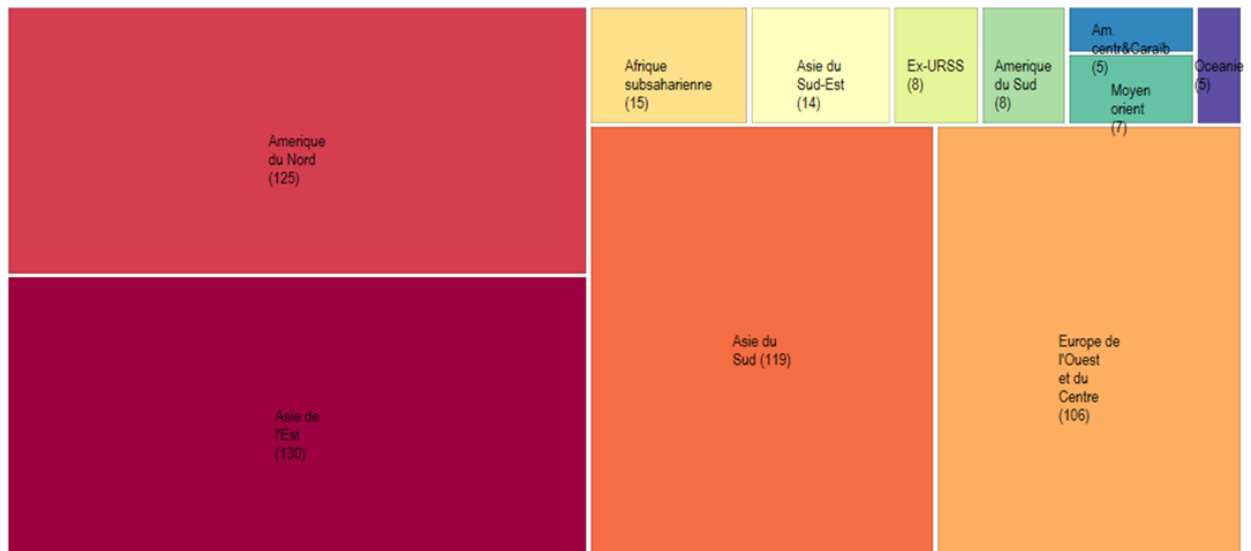
4.1 Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA)

4.1.1 Un soutien public mondial supérieur à 540 milliards USD par an

En moyenne sur les années récentes, les gouvernements consacrent collectivement plus de 542 milliards de dollars US par an en dépenses budgétaires de soutien à l'agriculture et à l'alimentation. Ce

chiffre souligne l'importance de l'agriculture dans les budgets publics mondiaux. La répartition régionale de cette somme est toutefois très inégale. Près de 90% du soutien mondial est concentré dans quatre grandes régions du monde. L'Asie de l'Est arrive en tête avec environ 130 milliards USD de dépenses publiques agricoles, suivie de près par l'Amérique du Nord (environ 125 milliards), puis de l'Asie du Sud (119 milliards) et de l'Europe de l'Ouest et du Centre (106 milliards). À elles seules, ces régions dominent le paysage du soutien budgétaire agricole mondial. Les autres régions du monde contribuent pour moins de 10% ; L'Afrique subsaharienne, par exemple, totalise autour de 15 milliards USD, soit à peine moins de 3% du total mondial, malgré l'importance de l'agriculture dans ses économies.

Plus 542 milliards de dollars
de Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation
 en moyenne sur les trois dernières années de données disponibles



Source: calculs auteur à partir des données OCDE, MAFAP et BID

FIGURE 1.4 : Répartition régionale des Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA).

La Figure 1.4 met en évidence l'écart considérable entre les grandes régions développées ou émergentes et le reste du monde. Elle illustre par exemple que l'Asie de l'Est dépense à elle seule presque autant que l'ensemble des autres régions combinées hors Amérique du Nord, Asie du Sud et Europe de l'Ouest et du Centre.

4.1.2 De fortes disparités entre pays au sein de chaque région

Au sein même des grandes régions mentionnées, les dépenses sont dominées par un ou quelques pays (Figure 1.5). Ainsi, en Asie de l'Est, la Chine est de loin le principal contributeur avec environ 105,783 milliards USD annuels consacrés à son agriculture, soit plus de 80% du total de la région. En Amérique du Nord, les États-Unis portent l'essentiel du soutien public (environ 119,645 milliards par an), contre

5,531 milliards pour le Canada. En Asie du Sud, l'Inde se détache également avec 114,027 milliards (plus de 95% du total de la sous-région). En Europe de l'Ouest et du Centre, c'est l'ensemble de l'Union européenne (UE) qui représente la majeure partie des dépenses (92,504 milliards), suivie du Royaume-Uni (6,171 milliards). Dans d'autres régions, on peut citer le Brésil (environ 4,651 milliards) en Amérique du Sud, le Mexique (3,772 milliards) en Amérique centrale & Caraïbes, l'Éthiopie (3,504 milliards) en Afrique subsaharienne ou la Turquie (6,40 milliards) au Moyen-Orient, qui sont chacun les principaux dépensiers de leur région respective.

Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation

moyenne des trois dernières années connues en (millions usd)



Sources: calculs auteur à partir des données OCDE, MAFAP et BID

FIGURE 1.5 : Montant des dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation par pays (en millions USD), moyenne des trois dernières années disponibles, regroupé par régions.

4.1.3 Des écarts de soutien à la mesure des capacités budgétaires

Les écarts observés révèlent que les pays les plus riches et industrialisés mobilisent des moyens bien plus importants pour soutenir leur agriculture que les pays à revenu plus faible. Ces différences traduisent en partie des capacités budgétaires inégales, les pays développés disposant de ressources financières leur permettant d'accorder un soutien conséquent à leur secteur agricole, là où les pays à faible revenu doivent composer avec des budgets limités et des besoins pressants dans tous les secteurs de l'économie. Par exemple, au sein de l'Afrique subsaharienne, où l'agriculture est cruciale pour l'économie et l'emploi, le faible niveau de soutien budgétaire traduit souvent des contraintes budgétaires structurelles qui limitent les marges d'intervention directe dans le secteur.

Ces disparités rendent les comparaisons directes en montants bruts peu informatives quant à l'« effort » consenti par chaque pays ou région pour soutenir son agriculture. Pour faciliter les comparaisons, nous rapporterons ces montants à la valeur de la production agricole de chaque pays. Cela permet de mesurer l'intensité du soutien ou en d'autres termes l'effort financier consenti par un État, quel que soit son niveau de richesse pour soutenir son agriculture.

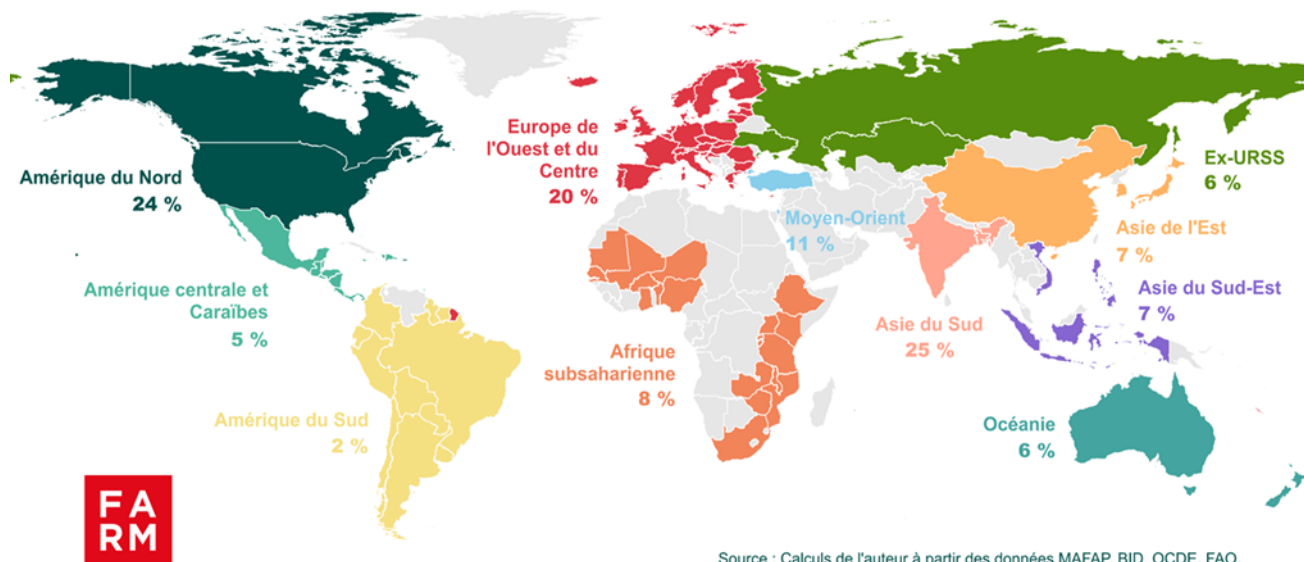
Qui consacre le plus d'efforts budgétaires à son agriculture, en proportion de sa production agricole ?

L'analyse des dépenses publiques agricoles rapportées à la valeur de la production permet de mieux évaluer l'effort relatif consenti par les États pour soutenir leur secteur agricole, indépendamment de la taille absolue de leurs budgets. En moyenne mondiale, ces dépenses représentent environ 14% de la valeur de la production agricole sur les trois dernières années disponibles.

Cette moyenne globale masque toutefois des écarts marqués entre les régions (Figure 1.6). L'Asie du Sud enregistre le ratio le plus élevé, avec des dépenses publiques agricoles représentant 25% de la valeur de sa production, suivie par l'Amérique du Nord (24%) et l'Europe de l'Ouest et du Centre (20%). Ces régions, qui sont également parmi les principaux exportateurs de produits agricoles bruts et transformés, affichent donc une forte corrélation entre leur poids commercial et l'intensité de leur soutien public. À l'inverse, les régions à revenu plus faible, comme l'Afrique subsaharienne (8%) ou l'Amérique du Sud (2%), présentent une intensité de soutien nettement inférieure. Ces faibles ratios peuvent s'expliquer à la fois par les contraintes budgétaires déjà évoquées et par des arbitrages en faveur d'autres formes de soutien, notamment des mécanismes de régulation des marchés.

Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation par région

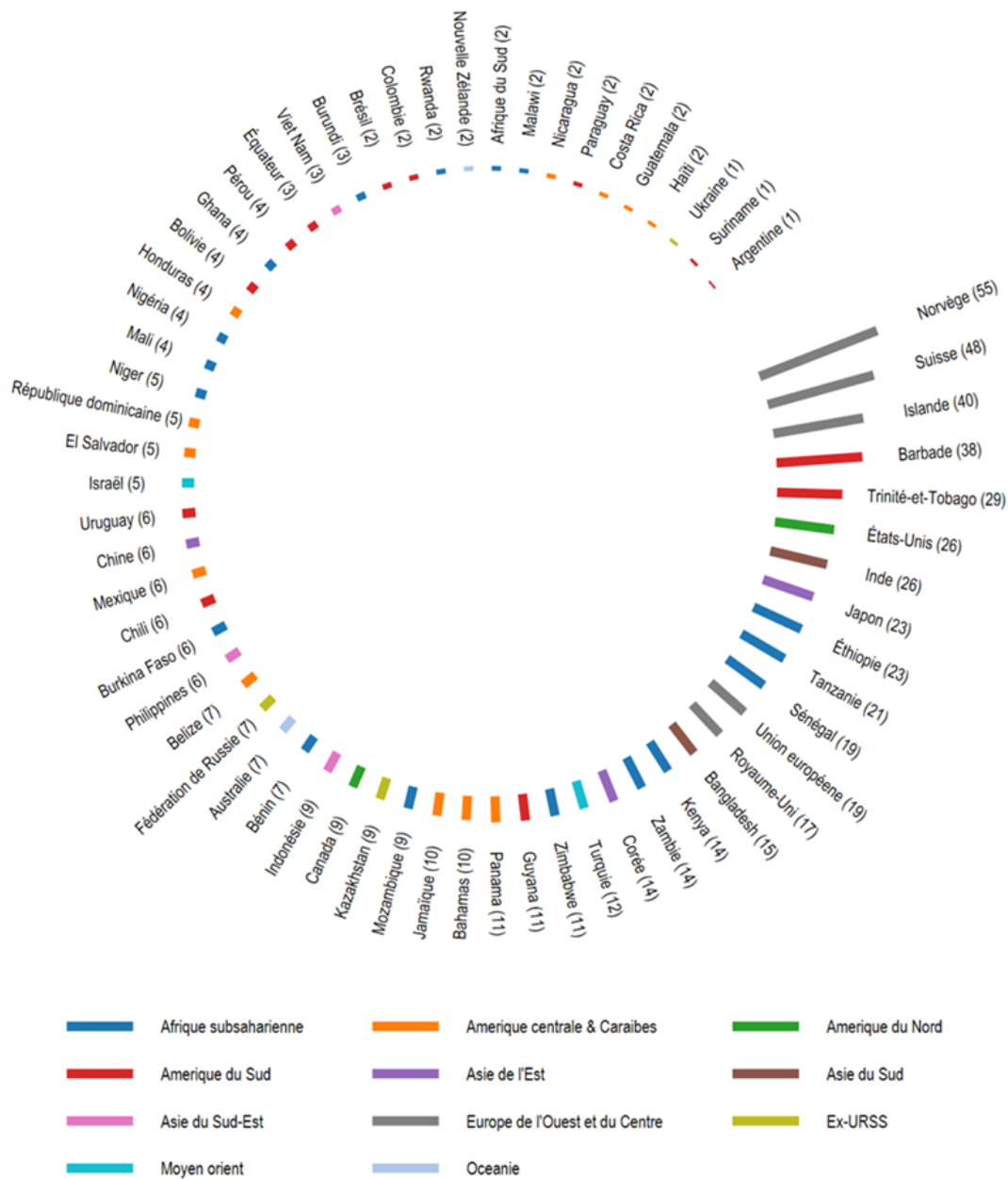
en % de la valeur de la production agricole (moyenne des 3 dernières années connues)



Source : Calculs de l'auteur à partir des données MAFAF, BID, OCDE, FAO.

FIGURE 1.6 : Cartographie des Dépenses publiques agricoles exprimées en pourcentage de la valeur de la production agricole, moyenne sur les trois dernières années disponibles, par région.

La Figure 1.7 met en évidence la diversité des niveaux d'engagement budgétaire parmi les pays. Les pays d'Europe du Nord, tels que la Norvège (55%), la Suisse (48%) et l'Islande (40%), se distinguent par des niveaux de soutien les plus élevés, souvent liés à des choix politiques visant à préserver un tissu agricole national malgré des conditions de production peu compétitives. Parmi les grandes puissances agricoles, les États-Unis et l'Inde se distinguent également par un effort budgétaire important, avec un soutien allant jusqu'à 26% de la valeur de la production agricole. Dans le contexte des pays à revenu faible ou intermédiaire, certains pays d'Afrique subsaharienne affichent également un effort significatif. C'est le cas de l'Éthiopie (23%), de la Tanzanie (22%) et du Sénégal (20%), dont les niveaux de soutien dépassent la moyenne mondiale et se rapprochent de ceux observés dans les pays à revenu élevé. Ces résultats mettent en évidence la priorité parfois accordée au secteur agricole dans les stratégies nationales de développement, malgré des ressources budgétaires plus limitées. En revanche, la Chine, qui représente près de 20% des 542 milliards USD de dépenses publiques mondiales consacrées à l'agriculture, affiche un soutien relatif nettement inférieur, représentant seulement 6% de la valeur de sa production agricole, soit une intensité deux fois inférieure à la moyenne mondiale.



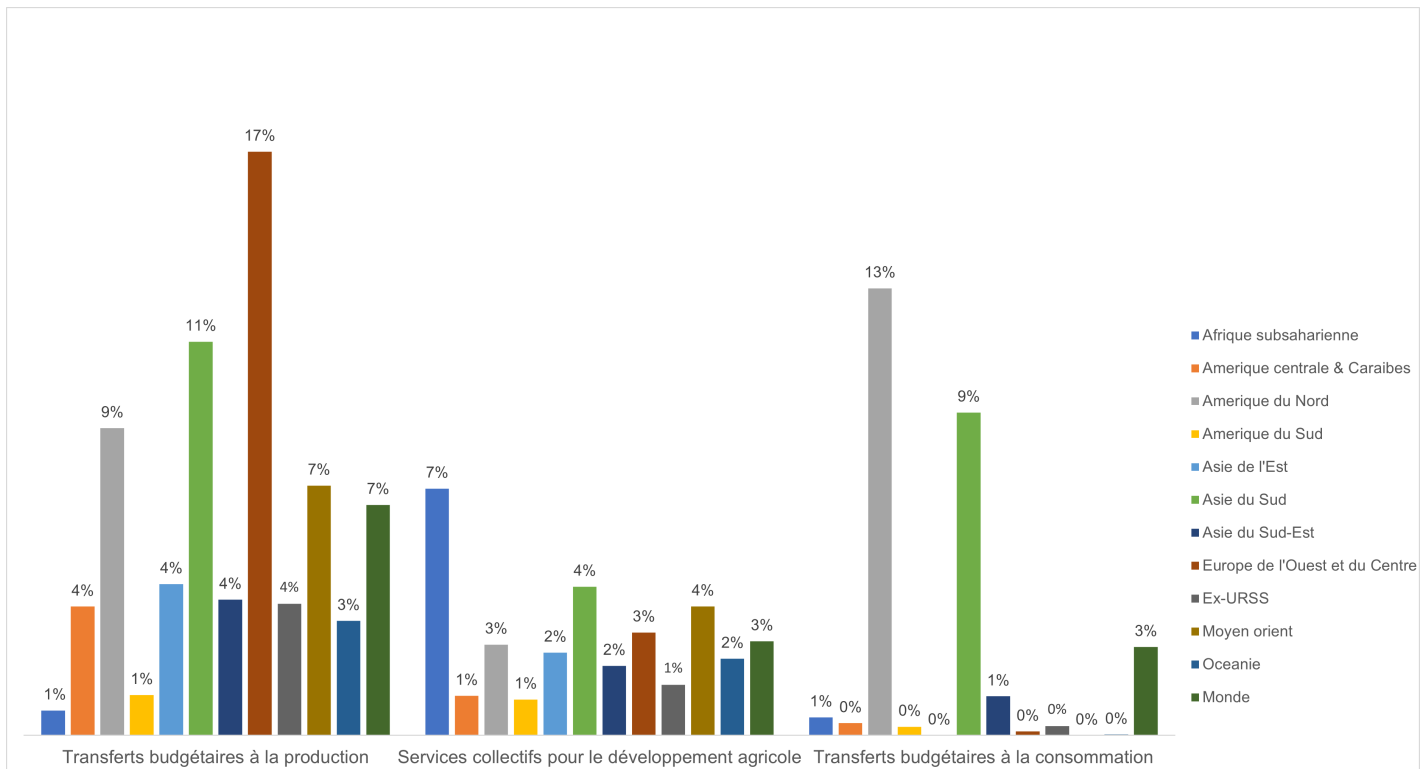
Source: calculs auteur, à partir des données OCDE, MAFAP-FAO et BID

FIGURE 1.7 : Panorama par pays des Dépenses publiques de soutien à l’agriculture et à l’alimentation, en % de la valeur de la production agricole (moyenne des trois dernières années connues).

4.1.4 Différentes approches ou stratégies pour dépenser dans l’agriculture

Les dépenses publiques de soutien à l’agriculture se répartissent en ces trois grandes catégories :

- Les transferts budgétaires à la production (subventions aux intrants, aides directes aux producteurs, etc.);
- Les transferts à la consommation (programmes d'aide alimentaire);
- Et les services collectifs pour le développement agricole (infrastructures, recherche, formation, vulgarisation).



Source : calculs auteur, à partir des données OCDE, MAFAP-FAO et BID

FIGURE 1.8 : Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation par région, en % de la valeur de la production agricole, moyenne sur les trois dernières années connues.

La Figure 1.8 met en évidence la répartition de ces types de soutien, rapportée à la valeur de la production agricole, pour chaque région. Trois objectifs principaux structurent les choix d'allocation entre ces trois catégories :

- stimuler la production, renforcer la compétitivité et le revenu des producteurs ;
- rendre les produits agricoles plus abordables pour les consommateurs ;
- investir dans le développement des capacités productives à travers des services collectifs et des infrastructures.

L'arbitrage entre les différentes options de dépenses publiques traduit des stratégies et/ou des priorités politiques différenciées, influencées par le contexte économique, les contraintes budgétaires et les

trajectoires historiques des politiques agricoles. Au niveau mondial, 60% des dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation se font sous forme de transferts budgétaires encourageant la production ou destinées aux producteurs.

- En Amérique du Nord : consommation et production

Aux États-Unis, plus de la moitié des dépenses publiques agricoles (55%) sont orientées vers la consommation. L'objectif est de garantir des produits alimentaires plus abordables pour les consommateurs, notamment à travers les vastes programmes de subvention alimentaire tels que le SNAP (Supplemental Nutrition Assistance Program) ou le National School Lunch Program. Ces dispositifs soutiennent indirectement la production en garantissant des débouchés, tout en renforçant la sécurité alimentaire des ménages les plus pauvres. Les transferts à la production représentent 35%, tandis que les services collectifs sont limités (10%). À l'inverse, au Canada, l'intervention publique privilégie la production (65%) et les services collectifs (33%), avec une part négligeable pour la consommation.

- En Europe de l'Ouest et du Centre : priorité au soutien des producteurs

En Europe de l'Ouest et du Centre, la très grande majorité des dépenses agricoles (85%) est dédiée au soutien à la production, reflet de l'architecture de la Politique agricole commune (PAC) de l'Union européenne. Les services collectifs pour le développement agricole restent limités (environ 15%), tandis que le soutien à la consommation est quasi inexistant.

- En Asie : production et services collectifs

Dans plusieurs pays asiatiques, les budgets agricoles suivent une tendance assez marquée. La priorité est souvent donnée à la production agricole et aux services collectifs. C'est le cas de la Chine, où environ 70% des dépenses vont à la production ou aux producteurs. Les 30% restants sont affectés aux services collectifs comme les infrastructures, la recherche ou encore l'appui technique aux agriculteurs. Au Vietnam, on retrouve cette logique, mais dans des proportions inversées. Une large part du budget soutient les services collectifs (70%) et la plus petite portion est vouée à la production (30%). Cela dit, certains pays font exception. L'Inde et l'Indonésie, notamment, se démarquent par un choix plus orienté vers la consommation. En Inde, près de la moitié des dépenses agricoles (46%) soutiennent la consommation (par exemple à travers des subventions alimentaires) tandis que 39% sont orientées vers la production. En Indonésie, l'écart est encore plus net avec 65% du budget agricole consacré à la consommation, contre 22% pour la production.

- En Afrique subsaharienne : fourniture de services collectifs

En Afrique subsaharienne, 85% des dépenses publiques sont dirigées vers les services collectifs pour le développement agricole. Ce choix, bien distinct des orientations observées dans d'autres régions du monde, traduit des priorités ancrées dans les besoins structurels du secteur, notamment en matière d'infrastructures, de formation, de recherche et vulgarisation, etc. Les soutiens aux producteurs pèsent pour 8% des dépenses agricoles et sont en moyenne inférieure à 1% de la valeur de la production agricole.

Enfin, les autres régions présentent des profils plus équilibrés, mais à des niveaux globalement modestes, traduisant soit une moindre intervention publique, soit des formes de soutien hors budget.

4.1.5 Comparaisons additionnelles : soutien rapporté à la superficie et au travail agricole

Outre les pourcentages de la valeur de la production agricole, il est éclairant d'analyser les dépenses publiques par unité de surface agricole et par travailleur agricole. Ces indicateurs mettent en lumière l'intensité du soutien du point de vue spatial ou social (Table 1.5). En rapportant les dépenses au nombre d'agriculteurs actifs, on obtient une mesure de l'effort public par agriculteur. Cet indicateur fait apparaître des écarts encore plus grands entre pays à revenu élevé et pays à faible revenu. Aux États-Unis, par exemple, les dépenses publiques agricoles atteignent en moyenne environ 51 000 USD par agriculteur actif, soit un niveau plus de quatre fois supérieur à celui de l'Union européenne (11 840 USD par actif agricole), et plus de mille fois supérieur à celui observé au Burkina Faso (environ 50 USD par actif agricole). Ces écarts significatifs ne reflètent pas uniquement l'ampleur des ressources budgétaires mobilisées dans les pays à revenu élevé, mais illustrent aussi les différences structurelles du secteur agricole. En effet dans les pays à faible revenu, l'importante population agricole conduit à une dilution du soutien par agriculteur, tandis que dans les pays développés, un nombre réduit d'agriculteurs en raison de la transformation structurelle du secteur (Debar & Tapsoba, 2019a) ont un soutien beaucoup plus important par actif. Cette disparité majeure met en évidence un paradoxe structurel. Les pays dont l'agriculture demeure peu productive et constitue une source essentielle d'emploi et de revenus consacrent, en valeur absolue comme relative, un soutien public nettement plus faible que celui alloué dans les économies les plus avancées.

Si l'on rapporte les dépenses à la superficie agricole utilisée, on constate également des contrastes marqués. À titre illustratif, les dépenses par hectare s'élèvent en moyenne à environ 1 022 USD au Royaume-Uni et à 832 USD pour l'ensemble de l'Union européenne. L'Europe présente une intensité légèrement supérieure de soutien par hectare, expliquée par l'orientation de ses politiques agricoles axées sur les paiements directs à la surface issus de la Politique Agricole Commune (PAC), ainsi que des superficies agricoles exploitées relativement plus petites que ce qu'on pourrait trouver dans d'autre région. En comparaison, dans des pays à grande superficie agricole comme les États-Unis ou les pays d'Amérique du Sud, les dépenses par hectare sont moins importantes. Cela s'explique par le fait que, même si ces pays mobilisent des montants significatifs en valeur absolue ou en pourcentage de la production, ces ressources sont réparties sur des superficies beaucoup plus étendues, réduisant ainsi le soutien moyen par hectare. Le Tableau 1 récapitule ces écarts à travers quelques exemples de pays.

TABLE 1.5 : Comparaison des niveaux de soutien public selon différents indicateurs

Pays	Période	En % VPA	\$ par actif agricole	\$ par ha
États-Unis	2020–2022	26	50 935	768
Royaume-Uni	2020–2022	17	21 679	1 022
Canada	2020–2022	9	20 856	144
Union européenne	2020–2022	19	11 840	832
Australie	2020–2022	7	11 590	129
Nouvelle-Zélande	2020–2022	2	2 663	708
Sénégal	2018–2020	19	661	184
Chine	2020–2022	6	611	829
Brésil	2020–2022	2	546	73
Inde	2020–2022	26	517	679
Argentine	2020–2022	1	371	12
Costa Rica	2020–2022	2	287	174
Bangladesh	2020–2022	15	199	586
Éthiopie	2019–2021	23	101	226
Ghana	2018–2020	4	94	65
Mali	2018–2020	4	79	44
Burkina Faso	2018–2020	6	50	32

Note : VPA représente la valeur de la production agricole ; les actifs agricoles pour les personnes économiquement actives dans l'agriculture, âgées de 15 ans et plus, hommes et femmes ; les superficies correspondent aux terres utilisées pour les cultures et l'élevage. Correspond au total des superficies de terres cultivées (Cropland) et de prairies et pâturages permanents.

Source : calculs auteur à partir des données MAFAP, BID, OCDE, USDA, FAO et OIT.

4.2 Soutien des prix de marché (SPM)

L'analyse des dépenses budgétaires a mis en évidence une forte hétérogénéité des niveaux et de la composition du soutien public à l'agriculture selon les régions et les pays. Cependant, ces transferts budgétaires ne constituent qu'une partie des soutiens publics agricoles. Dans de nombreux contextes, les États recourent également aux mécanismes indirects influençant les prix agricoles via des instruments de politiques commerciales ou réglementaires. Déjà présenté dans la section méthodologique, le soutien des prix de marché (SPM) permet d'estimer les transferts implicites associés à ces politiques. Cette section présente les principaux résultats relatifs au SPM, en examinant les tendances globales, les disparités

régionales et les écarts entre pays. Elle met également en lumière les produits agricoles les plus concernés par ces distorsions de prix.

4.2.1 Comprendre le Soutien des prix de marché (SPM)

Avant d'examiner les résultats sur cet indicateur, il est essentiel de rappeler les mécanismes d'interprétation du Soutien des prix de marché (SPM), afin d'en faciliter la lecture comparative entre pays et produits. Le SPM mesure l'écart entre le prix intérieur perçu par les agriculteurs et un prix de référence international pour un même produit. Il reflète ainsi l'ampleur des distorsions induites par les politiques publiques sur les marchés agricoles domestiques. La valeur du SPM peut être positive, négative ou nulle, chacune de ces configurations ayant des implications distinctes sur les revenus agricoles, l'accès à l'alimentation et la compétitivité commerciale.

- Un SPM positif indique que le prix intérieur est supérieur au prix mondial, ce qui génère un transfert implicite en faveur des producteurs. Ce soutien peut encourager la production nationale et améliorer les revenus agricoles, mais il renchérit également le coût pour les consommateurs. Un niveau élevé de SPM peut par ailleurs susciter des critiques en matière de protectionnisme commercial et affecter la compétitivité des produits domestiques sur les marchés internationaux.
- À l'inverse, un SPM négatif signifie que les producteurs sont rémunérés à un prix inférieur au prix international. Il en résulte une taxation implicite de la production agricole, qui pénalise les agriculteurs et peut décourager l'investissement dans le secteur. Cette situation est fréquente dans les pays en développement, notamment lorsque les politiques publiques visent à maintenir des prix alimentaires bas pour les consommateurs. Toutefois, lorsque le produit concerné est majoritairement exporté, le SPM négatif équivaut à une taxe à l'exportation, qui peut constituer une source de recettes fiscales pour l'État. Ce mécanisme, historiquement répandu dans certains pays producteurs de matières premières agricoles, soulève des enjeux de compétitivité à l'exportation, de redistribution budgétaire et d'arbitrage entre objectifs macroéconomiques et développement rural.
- Enfin, un SPM nul ou proche de zéro reflète une situation dans laquelle les prix intérieurs sont alignés sur les prix internationaux. Dans ce cas, les producteurs et les consommateurs opèrent dans un environnement de marché relativement sans distorsion, où les signaux de prix mondiaux sont transmis directement.

Comprendre ces configurations est important pour interpréter les résultats du SPM présentés dans la section suivante, qu'il s'agisse de niveaux moyens par pays, de différences régionales ou des écarts observés selon les produits agricoles les plus concernés.

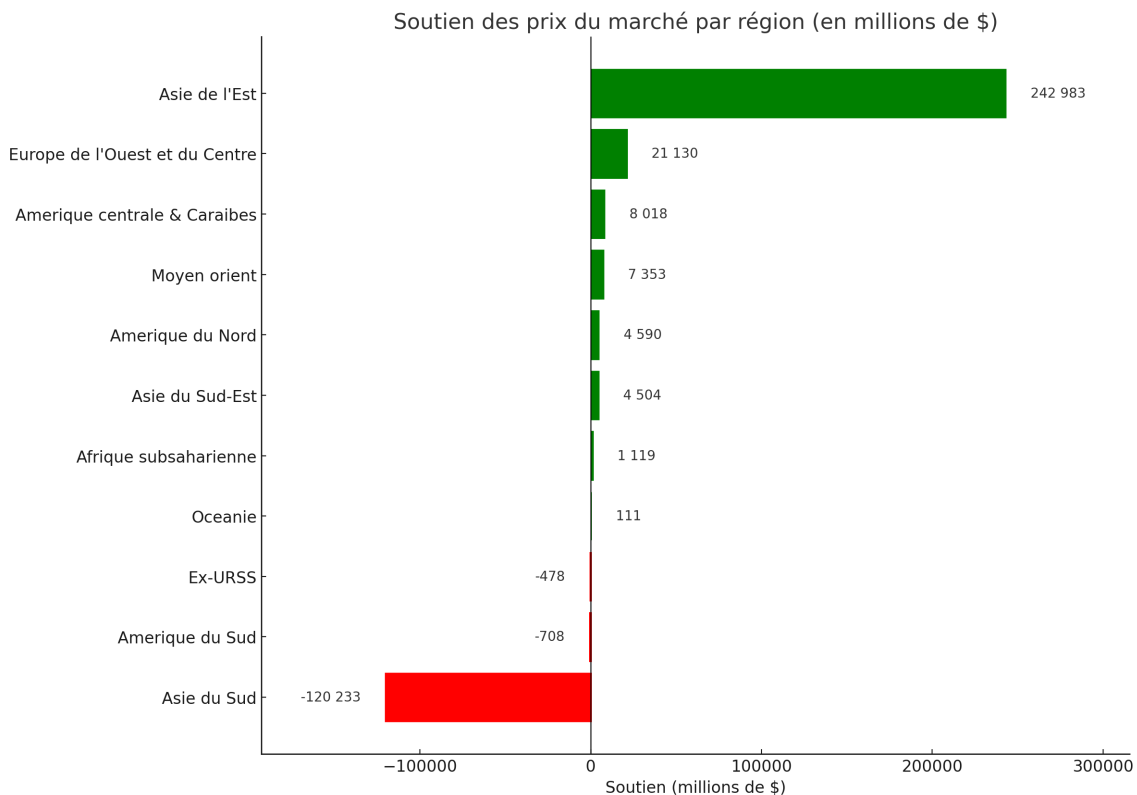
4.2.2 Des transferts nets issus des politiques de prix agricoles atteignant 168 milliards USD

Les transferts implicites liés au soutien des prix de marché (SPM) représentent un levier majeur des politiques agricoles dans plusieurs régions du monde. Les résultats montrent que le SPM net représente

près de 163 milliards USD à l'échelle mondiale, en moyenne sur les trois dernières années disponibles. Ce chiffre global masque cependant de grandes disparités régionales. La Figure 1.9 présente les montants agrégés par grandes zones géographiques.

On note une forte concentration régionale du SPM. L'Asie de l'Est domine très largement, avec près de 243 milliards USD représentant à elle seule plus de 80% du total mondial des transferts positifs liés au SPM, traduisant le recours massif de la Chine à des politiques de soutien internes. Viennent ensuite l'Europe de l'Ouest et du Centre (21,1 milliards USD) et des régions comme l'Amérique centrale et Caraïbes, le Moyen-Orient ou l'Asie du Sud-Est, qui affichent des soutiens modérés.

À l'inverse, certaines régions enregistrent un SPM net négatif, comme l'Asie du Sud (-120,2 milliards USD) et l'Amérique du Sud (-708 millions USD), reflétant des politiques qui compriment les prix intérieurs au détriment des producteurs. Cette lecture régionale donne un premier aperçu de la géographie mondiale des distorsions de prix agricoles.



Source : calculs auteur à partir des données MAFAP, OCDE, BID

FIGURE 1.9 : Soutien des prix du marché par région (moyenne des trois dernières années disponibles, en millions USD).

4.2.3 Configurations par pays du SPM

Au-delà des dynamiques régionales, l'analyse désagrégée par pays met en évidence la forte hétérogénéité des politiques de prix agricoles à l'échelle mondiale (Figure 1.10). Elle révèle non seulement l'ampleur des transferts implicites dans certains pays, mais aussi la diversité des choix politiques associés à ce type de soutien au secteur agricole.

Les soutiens les plus élevés sont concentrés dans un nombre restreint de pays. La Chine, avec un SPM estimé à près de 198,4 milliards USD, domine très largement le classement, traduisant le recours massif à des instruments de soutien aux prix intérieurs, notamment sur plusieurs produits stratégiques tels que le maïs (42,3 milliards USD), la viande porcine (32,6 milliards) ou le riz (24,8 milliards). Ce soutien vise à garantir des prix rémunérateurs aux producteurs tout en assurant des besoins alimentaires importants.

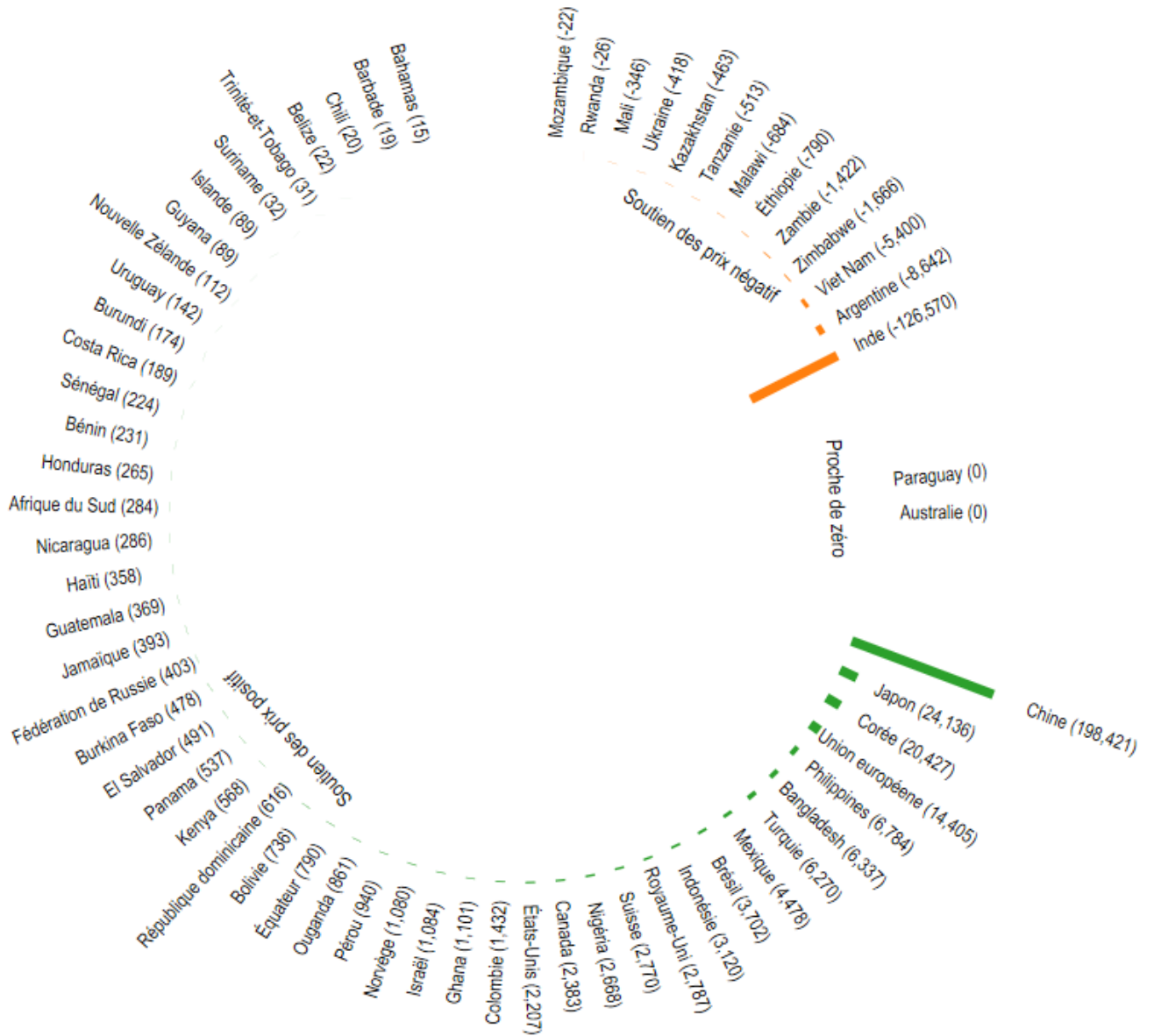
Le Japon (24,13 milliards USD) et la Corée du Sud (20,43 milliards USD) occupent les deux places suivantes, reflétant des politiques historiquement protectionnistes sur des produits de base comme le riz (7,7 milliards USD) et le lait (3,15 milliards USD) pour le Japon, ou le riz (4,13 milliards USD) et la viande porcine (3,3 milliards USD) pour la Corée du Sud. L'Union européenne arrive également en bonne place, avec un SPM estimé à 14 milliards USD, traduisant le maintien de mécanismes de soutien aux prix dans certains segments agricoles, bien que ces politiques aient été partiellement réformées dans le cadre de la Politique agricole commune. Les principaux produits concernés sont les viandes de volaille (5,9 milliards USD), les viandes bovines (3,8 milliards USD) et la pomme de terre (1,34 milliard USD). D'autres pays comme les Philippines, le Bangladesh ou la Turquie présentent également des niveaux de soutien positifs, bien que d'intensité moindre.

À l'opposé, plusieurs pays enregistrent des SPM fortement négatifs, signalant une taxation implicite des producteurs agricoles. Le cas le plus marquant est celui de l'Inde, avec -126,6 milliards USD en moyenne annuelle. Cette valeur s'explique par un ensemble de politiques de contrôle des prix, d'interdictions ou de restrictions à l'exportation, et de subventions aux consommateurs, qui compriment les prix agricoles intérieurs en dessous de leurs niveaux mondiaux. Les principaux produits concernés sont le lait (-54,5 milliards USD), ainsi que le riz et le blé, à plus de -12,5 milliards USD chacun. D'autres pays présentent également des niveaux significatifs de SPM négatif, comme l'Argentine (-8,6 milliards USD), le Vietnam (-5,4 milliards), le Zimbabwe (-1,6 milliard) ou encore la Zambie (-1,4 milliard). Dans ces contextes, le SPM négatif reflète des arbitrages politiques souvent orientés vers la stabilisation des prix à la consommation ou la mobilisation de recettes fiscales via des taxes à l'exportation. Ces pratiques peuvent toutefois décourager la production locale et nuire à la rentabilité du secteur agricole.

Enfin, certains pays comme l'Australie ou le Paraguay se situent près de l'équilibre (SPM proche de zéro), ce qui traduit soit une ouverture commerciale importante, signe de compétitivité, soit une faible intervention publique dans la formation des prix agricoles. Cette lecture par pays souligne que les logiques d'intervention sur les prix agricoles ne répondent pas uniquement à des clivages régionaux ou à des niveaux de revenu, mais relèvent souvent d'arbitrages politiques, fiscaux et sociaux propres à chaque contexte national.

Soutien des prix du marché

moyenne des trois dernières années connues en (millions usd)



Sources: calculs auteur à partir des données OCDE, MAFAP et BID

FIGURE 1.10 : Soutien des prix du marché par pays (moyenne des trois dernières années disponibles, en millions USD).

4.2.4 Lecture par produit : concentration du SPM sur les produits stratégiques

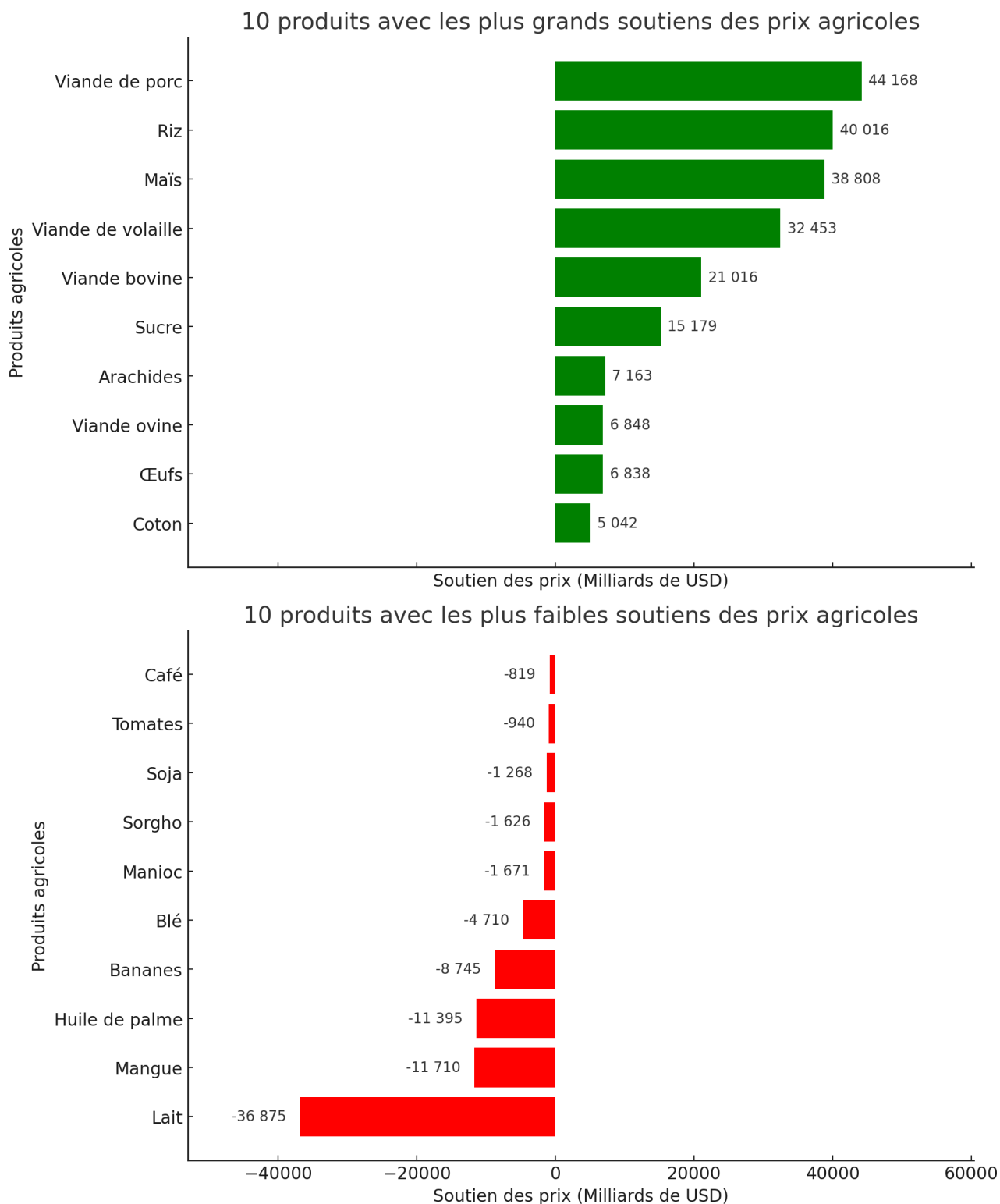
L'analyse par produit permet de compléter les lectures régionale et nationale du soutien des prix de marché (SPM) en identifiant les produits les plus concernées par les distorsions de prix, qu'il s'agisse de soutien positif ou de taxation implicite. La Figure 1.11 présente les dix produits bénéficiant des niveaux de soutien les plus élevés, ainsi que les dix produits les plus fortement soumis à une forme de prélèvement implicite via des prix intérieurs inférieurs aux prix internationaux.

Les résultats mettent en évidence une forte concentration sectorielle du soutien. Les produits d'origine animale figurent parmi les principaux bénéficiaires. La viande de porc arrive en tête, avec un SPM cumulé de 44,2 milliards USD, suivie du riz (40 milliards USD), du maïs (38,8 milliards) et de la viande de volaille (32,5 milliards). Ces produits occupent une place stratégique dans les régimes alimentaires nationaux, notamment en Asie, et font l'objet de politiques de soutien aux prix intérieurs souvent motivées par des impératifs de sécurité alimentaire.

D'autres produits comme la viande bovine (21 milliards), le sucre (15,2 milliards), les arachides (7,2 milliards), la viande ovine (6,9 milliards), les œufs (6,9 milliards) ou encore le coton (5 milliards) bénéficient également d'un soutien important, quoique dans une moindre mesure. Ces soutiens reflètent soit une volonté de protéger des filières à forte valeur ajoutée ou intensive en emploi, soit des stratégies de substitution aux importations.

À l'inverse, plusieurs produits affichent un SPM négatif important, indiquant une taxation implicite. Le cas le plus marqué est celui du lait, avec un SPM cumulé de -36,9 milliards USD, largement concentré en Inde. Ce niveau reflète des politiques volontaristes de contrôle des prix à la consommation. Des produits comme la mangue (-11,7 milliards USD), l'huile de palme (-11,4 milliards), les bananes (-8,7 milliards) ou le blé (-4,7 milliards) subissent également des distorsions négatives importantes. Certains produits comme le manioc, le sorgho, le soja, les tomates ou encore le café présentent des niveaux de taxation implicite plus modérés. Ces produits sont souvent exportés ou consommés localement à grande échelle, et leurs prix sont parfois comprimés pour maintenir l'accessibilité alimentaire ou maximiser les recettes à l'exportation.

Cette lecture par produit montre que les politiques de prix agricoles sont loins d'être neutres et traduisent également des arbitrages sectoriels. Certaines produits sont fortement soutenues, au risque de distorsions commerciales, tandis que d'autres sont pénalisées, ce qui peut affecter la compétitivité et la viabilité économique des producteurs concernés en l'absence de mécanisme de compensation.



Source : calculs auteur, à partir des données OCDE, MAFAP-FAO et BID

FIGURE 1.11 : Produits agricoles les plus concernés par les soutiens (positifs ou négatifs) des prix de marché (moyenne annuelle sur les trois dernières années disponibles, en milliards USD).

4.3 Une lecture consolidée du soutien total à l'agriculture et à l'alimentation (STAA)

Les analyses précédentes ont permis de caractériser en détail les deux principales composantes du soutien public à l'agriculture. Ces deux formes du soutien, bien que distinctes dans leurs modalités d'allocation et de comptabilisation, concourent toutes deux à orienter les incitations économiques des producteurs et à structurer les systèmes agricoles. L'agrégation de ces indicateurs donne le soutien total à l'agriculture et à l'alimentation, reflétant l'effort public global consenti par chaque pays. Cette lecture consolidée permet de mettre en évidence non seulement l'intensité des soutiens, mais aussi les configurations contrastées selon les modèles d'intervention publique adoptés (Figure 1.12).

À l'échelle mondiale, le soutien total à l'agriculture est estimé à environ 710 milliards USD par an, en moyenne sur les trois dernières années disponibles. Cette enveloppe agrégée combine les deux leviers principaux que sont les dépenses publiques budgétaires, représentant la majeure partie de cet effort (environ 542 milliards USD), et le soutien des prix du marché net, estimé à 168 milliards USD. Ces chiffres mettent en évidence le rôle prédominant de la dépense publique dans les politiques agricoles, tout en soulignant le poids non négligeable des transferts implicites à travers le marché.

Les données révèlent que la Chine domine largement le classement avec un soutien total estimé à plus de 304 milliards USD. Cette enveloppe combine d'importantes dépenses budgétaires (105,8 milliards USD) et un soutien massif par les prix (198,4 milliards USD), concentré sur des produits stratégiques comme le maïs, le riz ou la viande porcine. Cette configuration reflète un modèle de soutien mixte et fortement interventionniste, visant à la fois à garantir la sécurité alimentaire, stabiliser les marchés et sécuriser les revenus agricoles.

Les États-Unis (121,9 milliards USD) et l'Union européenne (106,9 milliards USD) suivent, mais avec des profils très différents. Le soutien américain repose principalement sur les dépenses budgétaires (119,6 milliards USD), notamment les programmes sociaux alimentaires (SNAP, School Lunch Program), tandis que le soutien implicite par les prix reste relativement marginal (environ 2,3 milliards USD). À l'inverse, l'Union européenne combine un niveau élevé de subventions à la production issues de la PAC et un soutien par les prix encore significatif (14,4 milliards USD), en particulier dans certaines filières comme les viandes et la pomme de terre.

Le Japon (42 milliards USD), la Corée du Sud (26,9 milliards USD) ou encore la Turquie (13,1 milliards USD) illustrent également des systèmes où les deux leviers (soutien budgétaire et soutien des prix) sont mobilisés conjointement, dans une logique de préservation des agricultures nationales, confrontées à des contraintes structurelles (foncières, vieillissement de la population agricole, compétitivité).

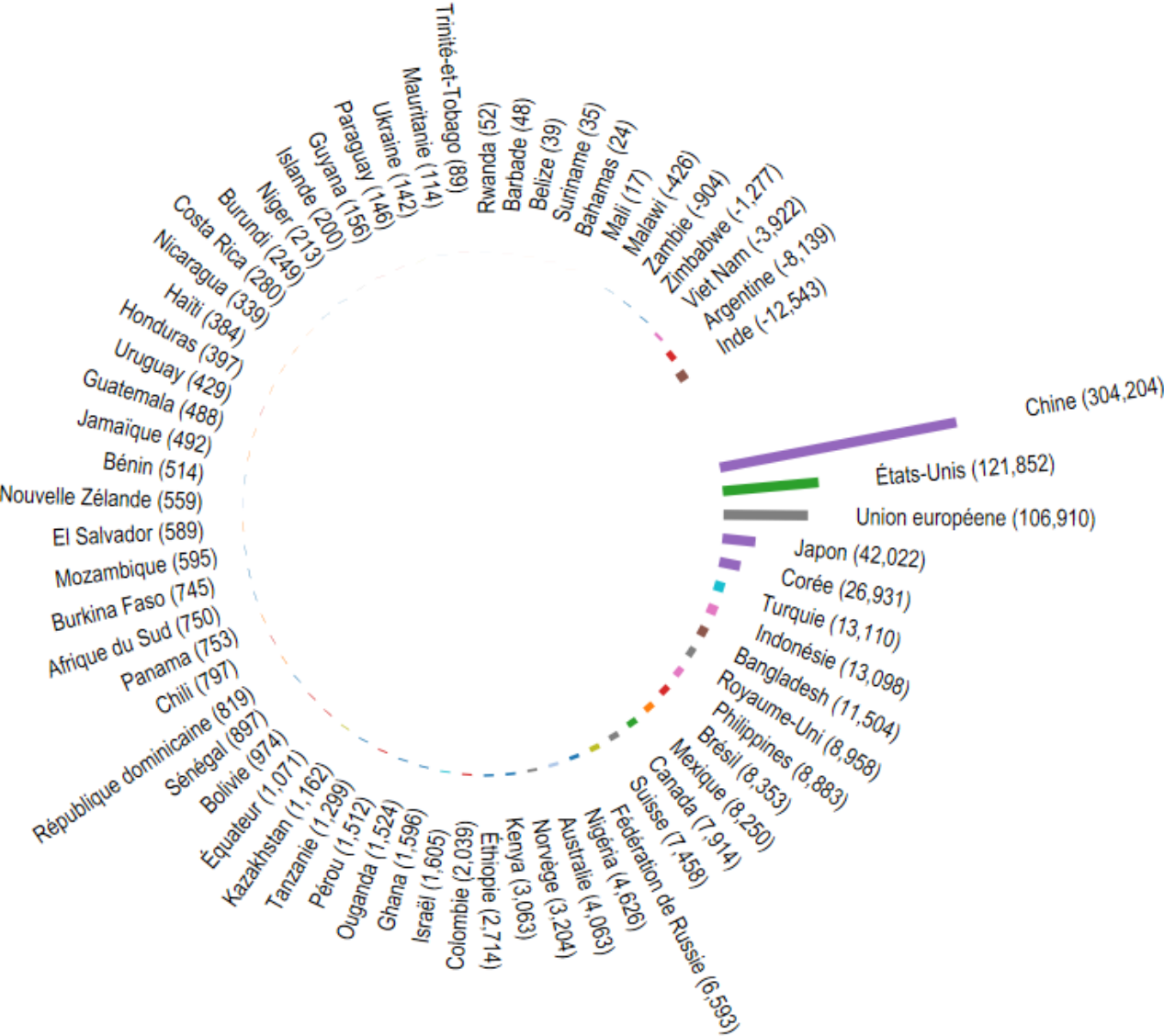
À l'opposé, certains pays affichent un soutien total fortement négatif, traduisant un effet net de taxation implicite. C'est notamment le cas de l'Inde (-12,5 milliards USD), dont les dépenses publiques agricoles (114 milliards USD) sont plus que compensées par un SPM très négatif (-126,6 milliards USD), lié aux politiques de plafonnement des prix et de restrictions à l'exportation. Des configurations similaires, bien que de moindres ampleurs sont observées en Argentine, au Vietnam ou au Zimbabwe, où le soutien par les prix contribue à abaisser les revenus agricoles malgré des efforts budgétaires parfois notables.

Enfin, plusieurs pays d'Afrique subsaharienne ou d'Amérique latine comme le Sénégal, le Burkina

Faso ou la Bolivie et le Guatemala présentent un niveau de soutien net relativement faible, traduisant des marges d'intervention publique limitées et/ou des politiques de soutien faiblement structurées.

Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation

moyenne des trois dernières années connues (en millions USD)



Sources: calculs auteur à partir des données OCDE, MAFAP et BID

FIGURE 1.12 : Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation (STAA), par pays (moyenne des trois dernières années disponibles, en millions USD).

5 Discussion : implications pour la gouvernance des politiques agricoles

Les résultats présentés dans les sections précédentes mettent en évidence une grande hétérogénéité des niveaux, formes et objectifs des soutiens publics à l'agriculture. Cette hétérogénéité reflète des choix politiques historiques, des contraintes budgétaires différenciées, ainsi que des priorités variées en termes de sécurité alimentaire, de compétitivité agricole ou de soutien aux revenus. Elle pose d'importantes questions quant à l'efficacité, l'équité et la durabilité de ces soutiens dans un contexte mondial en constante mutation.

- Une architecture mondiale profondément déséquilibrée

Le premier enseignement majeur tient à la forte concentration des soutiens publics à l'agriculture dans quelques pays ou régions. Une poignée de pays (Chine, États-Unis, Union européenne, Inde) concentrent l'essentiel des transferts, qu'ils soient budgétaires ou à travers le SPM. À l'inverse, de nombreux pays à faible revenu notamment en Afrique subsaharienne et dans certaines parties de l'Amérique latine présentent des niveaux de soutien très faibles, voire négatifs. Cette inégalité structurelle reflète à la fois des capacités budgétaires limitées et parfois une priorité politique réduite accordée au secteur agricole dans les choix publics. Elle questionne la capacité de ces pays à accompagner les transitions agricoles, à renforcer leur souveraineté alimentaire ou à améliorer la résilience d'un secteur contributeur majeur à la création de richesses et d'emplois.

- Des arbitrages contrastés entre instruments de soutien

Au-delà des niveaux de soutien, les formes que prennent les transferts publics varient sensiblement selon les pays. Certains pays, comme les États-Unis, privilégient des dépenses sociales alimentaires, tandis que d'autres, comme la Chine ou l'Inde, mobilisent massivement des instruments de régulation des prix agricoles. L'Union européenne se distingue quant à elle par le poids prépondérant des transferts directs à la production, issus de la Politique agricole commune, bien que partiellement conditionnée à des critères environnementaux.

L'analyse par produit confirme que ces arbitrages instrumentaux traduisent des stratégies politiques sectorielles ciblées. Les filières les plus soutenues (céréales, viandes, produits laitiers) sont souvent des produits de base à forte sensibilité sociale ou à haute intensité d'emploi. À l'inverse, des cultures comme le coton, le café ou la banane, typiques des exportations des pays du Sud, subissent encore des formes de taxation implicite, parfois au profit de la stabilisation des prix intérieurs ou de la génération de recettes fiscales. La persistance de soutiens négatifs dans certains pays exportateurs interroge quant aux conséquences à long terme sur la viabilité économique des exploitations agricoles, la capacité d'investissement du secteur et la résilience face aux chocs extérieurs. Ces arbitrages illustrent aussi les tensions entre objectifs de compétitivité, d'accessibilité alimentaire et d'incitations à la production.

- Une gouvernance mondiale du soutien agricole en panne : le défi de l'équité

Au-delà des constats sur les niveaux et les structures du soutien, les résultats soulèvent une interroga-

tion plus large sur la gouvernance mondiale des politiques agricoles. Le cadre multilatéral institué par l'Organisation mondiale du commerce (OMC), notamment à travers l'Accord sur l'agriculture (ASA), avait pour ambition d'encadrer les formes les plus distortives de soutien et de garantir une certaine équité entre les pays dans l'accès aux marchés et dans les règles du jeu du commerce international.

Cependant, depuis l'enlèvement du cycle de Doha, lancé en 2001, aucun accord substantiel n'a été trouvé pour faire évoluer ce cadre. Les règles de notification et de discipline sur les subventions agricoles restent asymétriques et peu contraignantes, laissant de facto un espace de manœuvre important aux pays les plus riches, tout en limitant les marges d'action de certains pays en développement. Ce déséquilibre est d'autant plus frappant avec le panorama mondial du soutien agricole que nous venons de présenter. Ce contexte alimente un sentiment d'injustice structurelle, souvent exprimé par les pays en développement, qui revendiquent une plus grande flexibilité pour soutenir leur secteur agricole, en particulier dans le cadre d'objectifs de souveraineté alimentaire, de développement rural, etc. Les discussions autour de la « clause de paix », des catégories de soutien définies par les boîtes de subvention de l'OMC (verte, orange, bleue), illustrent les limites actuelles du système multilatéral et les tensions persistantes entre pays du Nord et du Sud.

La clause de paix, réactivée lors de la Conférence ministérielle de Bali en 2013, constitue une dérogation temporaire permettant aux pays en développement de dépasser les plafonds de soutien interne pour leurs programmes de stockage public à des fins de sécurité alimentaire, sans encourir de sanctions, à condition de respecter certaines exigences en matière de transparence et de non-distorsion des échanges (World Trade Organization, 2013; Glauber & Sinha, 2021; Glauber, 2024). Elle reflète un compromis fragile, faute d'accord sur une réforme plus pérenne de l'Accord sur l'agriculture. Dans la pratique, cette clause bénéficie principalement à certains grands pays en développement comme l'Inde, mais reste critiquée par plusieurs pays exportateurs qui craignent qu'elle ne permette des subventions dissimulées aux producteurs ou à l'exportation (Mellal & Derbal, 2020).

En parallèle, le système de classification des soutiens selon les boîtes de subvention¹ apparaît de plus en plus inadapté aux réalités actuelles. De nombreux programmes échappent à une classification stricte, et les capacités de notification restent très inégales entre les membres. Les pays les plus avancés mobilisent largement les soutiens de la boîte verte, souvent considérés comme non contestables, tandis que les pays en développement peinent à entrer dans ce cadre, malgré des besoins pressants d'appui public au secteur agricole.

Dans ce contexte, la consolidation des données du soutien proposée dans ce chapitre apporte une contribution analytique importante. En offrant une lecture consolidée, des formes du soutien à l'agriculture

¹À l'OMC, les subventions agricoles sont classées dans des « boîtes » selon leur degré de distorsion du commerce :

- **Boîte verte** : subventions considérées comme peu ou pas distortives (ex. : recherche agricole, soutien au revenu découplé).
- **Boîte orange** : subventions distortives qui doivent être réduites.
- **Boîte bleue** : exceptions à la boîte orange (ex. : aides conditionnées à la limitation de production).

Voir [OMC — Agriculture : encadrés de soutien interne](#).

et à l'alimentation, elle permet d'illustrer les déséquilibres, de dépasser les conflits de narration souvent instrumentalisés dans les négociations internationales, et de poser les bases d'une recherche de solutions plus équitables et partagées dans la gouvernance mondiale. L'Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture qui découle de ce travail, vise ainsi à nourrir un dialogue mieux informé entre acteurs, en appui à la construction progressive d'un cadre multilatéral plus juste, cohérent et adapté aux priorités des pays dans un contexte de transitions multiples.

- Limites et perspectives

En consolidant les données sur les soutiens publics, ce travail offre une lecture comparée des politiques agricoles à l'échelle mondiale. Elle permet de dépasser les approches partielles existantes. Cependant, certaines limites doivent être reconnues. La qualité et la couverture des données varient selon les sources, certains pays ne disposant pas de séries complètes ou suffisamment désagrégées. L'interprétation des SPM peut également être affectée par des facteurs hors contrôle des politiques (taux de change, coûts de transaction internes, logistiques, etc.). Par ailleurs, les données budgétaires disponibles ne permettent pas toujours d'identifier les bénéficiaires finaux ni d'évaluer les effets distributifs des mesures. En outre, cette consolidation ne permet pas de caractériser ou de qualifier les soutiens selon leur durabilité environnementale. Les indicateurs mobilisés, conçus à l'origine pour mesurer les distorsions de marché et centrés sur des dimensions socio-économiques, ne permettent pas d'apprécier dans quelle mesure les soutiens orientent effectivement la transition vers des systèmes alimentaires durables. La dimension environnementale est insuffisamment couverte, car elle ne relevait pas de l'objet initial de ces indicateurs. Cela plaide pour des indicateurs complémentaires et, plus largement, pour une réforme du cadre de gouvernance multilatérale des soutiens à l'agriculture au sein de l'OMC, afin de mieux l'aligner avec les enjeux contemporains de durabilité. Malgré ses insuffisances, l'approche proposée constitue une base solide pour de futures analyses d'impact, qu'il s'agisse de mesurer l'efficacité des soutiens, leurs effets incitatifs, ou leur contribution à la transformation des systèmes agricoles et alimentaires dans une perspective de durabilité. Elle ouvre surtout la voie à un agenda méthodologique complémentaire. Celui de développer une taxonomie environnementale des soutiens (positifs, négatifs, conditionnels, neutres) et l'articuler avec les catégories existantes.

6 Conclusion

Ce chapitre a proposé une consolidation d'indicateurs de soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation, en combinant les données issues de trois principales sources internationales (OCDE, MAFAP/FAO, BID). Cela a permis une lecture consolidée et comparative du soutien public dans un large échantillon de pays. En distinguant les deux grandes formes de soutien – les dépenses budgétaires (transferts directs) et le soutien des prix de marché (transferts implicites) – et en intégrant les trois fonctions économiques des transferts publics (production, consommation, services collectifs), cette approche a permis de dépasser les limitations de nombreuses bases de données existantes. Elle apporte ainsi un éclairage plus complet sur la réalité des politiques publiques de soutiens agricoles à l'échelle mondiale.

Les résultats ont montré une forte hétérogénéité entre pays et régions, tant en termes de volume que de composition du soutien. Les pays à revenu élevé mobilisent en moyenne des ressources nettement supérieures pour soutenir leur secteur agricole, avec des formes de soutien fortement concentrées sur la production et, dans certains cas, la consommation. À l'inverse, les pays à revenu faible ou intermédiaire orientent prioritairement leurs ressources vers les services collectifs, souvent faute de marges budgétaires ou du fait d'une moindre structuration des mécanismes d'aides sur les autres formes de soutien.



L'analyse du soutien des prix a mis également en évidence des asymétries majeures. Tandis que certains pays protègent activement leurs producteurs via des politiques de prix intérieurs, d'autres taxent implicitement leur agriculture, imposant les producteurs à des prix inférieurs aux niveaux mondiaux. Ces choix traduisent des arbitrages politiques entre soutenir la production et le revenu des agriculteurs ; la sécurité et/ ou la souveraineté alimentaire ; et des priorités de mobilisation de ressources fiscales sur les exportations compétitives.



La consolidation de ces deux dimensions (dépenses budgétaires et soutien par les prix) met en lumière les contrastes dans les formes et niveaux d'intervention publique, mais aussi les limites en matière d'équité et d'efficacité dans l'allocation mondiale des soutiens agricoles. Elle soulève des questions majeures sur la soutenabilité des modèles actuels, plus largement sur l'efficacité des politiques en matière de transition agricole et la cohérence des efforts vers l'atteinte ODD dont l'agriculture constitue un pilier indispensable.

Pour conclure, l'approche et les données consolidées dans ce chapitre, ainsi que le panorama qu'ils offrent du paysage mondial du soutien à l'agriculture, ouvrent la voie à une réflexion critique sur leurs formes et orientations actuelles, mais aussi leurs efficacités. Au-delà de leur rôle traditionnel, ces instruments devraient désormais être envisagés comme de véritables leviers de transformation, capables d'orienter les systèmes agricoles et alimentaires vers des trajectoires plus durables, résilientes et équitables, en cohérence avec les objectifs globaux de sécurité alimentaire, de préservation de l'environnement, d'adaptation et d'atténuation au changement climatique.

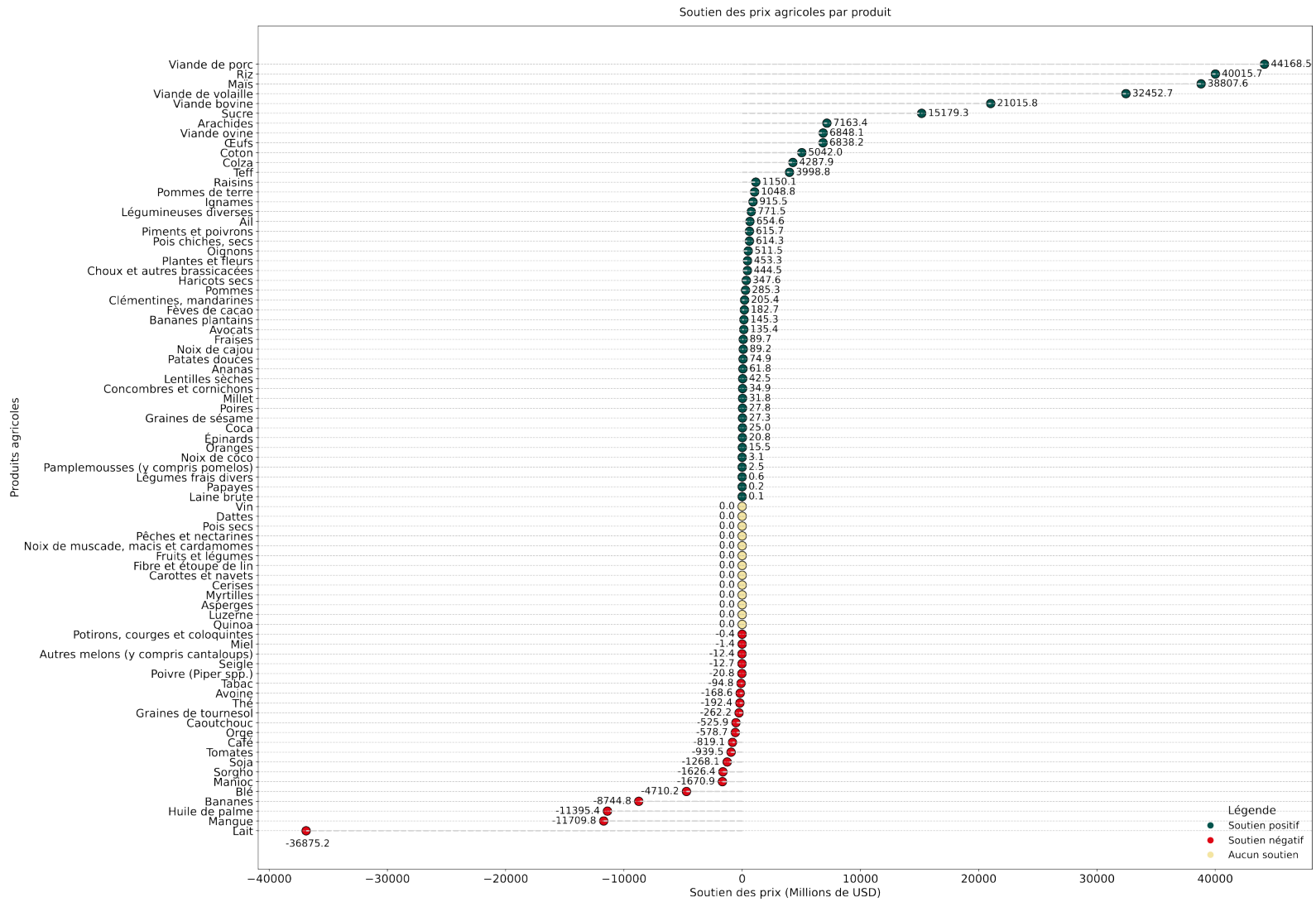
Annexes

Annexe 1. Tableau de correspondance (MAFAP-OCDE/BID) des Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA)

Méthodologie MAFAP		Méthodologie OCDE/BID	Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA)
1.1.1 Paiements aux producteurs		Composante budgétaire de l'ESP	(i) Transferts budgétaires à la production
A. Subventions à la production		A.2 Paiements au titre de la production	
B. Subventions aux intrants		B. Paiements au titre de l'utilisation d'intrants	
B1. Intrants variables		B.1 Utilisation d'intrants variables	
B2. Capital et équipement		B.2 Formation de capital fixe	
B3. Services à la ferme		B3. Services utilisés sur l'exploitation	
C. Soutien au revenu		C. Paiements au titre des S/Na/Rec/Rev courants, production requise	
		D. Paiements au titre des S/Na/Rec/Rev non courants, production requise	
		E. Paiements au titre des S/Na/Rec/Rev non courants, production facultative	
		F. Paiements selon des critères non liés à des produits de base	
D. Autres paiements aux producteurs		G. Paiements divers	
1.1.3 Paiements aux fournisseurs d'intrants			
1.1.2 Paiements aux consommateurs		Composante budgétaire de l'ESC : P. Transferts des contribuables aux consommateurs (TCC)	(ii) Transferts budgétaires à la consommation
1.1.4 Transformateurs			
1.1.5 Commerçants			
1.1.6 Transporteurs			

1.2 Soutien général au secteur		Composante budgétaire de l'ESSG	(iii) Services collectifs pour le développement agricole
I. Recherche agricole		H. Système de connaissances et d'innovation agricoles	
J. Assistance technique		H.1 Création de connaissances agricoles H.2 Transfert de connaissances agricoles	
K. Formation			
L. Vulgarisation et transfert de technologie			
M. Inspection		I. Inspection et contrôle	
		I.1 Sécurité et inspection des produits agricoles	
		I.2 Lutte contre les parasites et les maladies	
		I.3 Contrôle des intrants	
N. Infrastructures agricoles		J. Développement et entretien des infrastructures	
		J.1 Infrastructures hydrauliques	
		J.2 Stockage, commercialisation et autres infrastructures physiques	
		J.3 Infrastructure institutionnelle	
		J.4 Restructuration des exploitations agricoles	
P. Commercialisation		K. Commercialisation et promotion	
		K.1 Programmes collectifs de transformation et commercialisation	
		K.2 Promotion des produits agricoles	
O. Stockage/stocks publics		L. Stockage public	
Q. Autre soutien au secteur agricole		M. Divers	
2. Dépenses en faveur de l'agriculture			
R. Education rurale			
S. Santé rurale			
T. Infrastructures rurales			
U. Autre soutien au secteur rural			

Annexe 2. Classement des produits agricoles par SPM

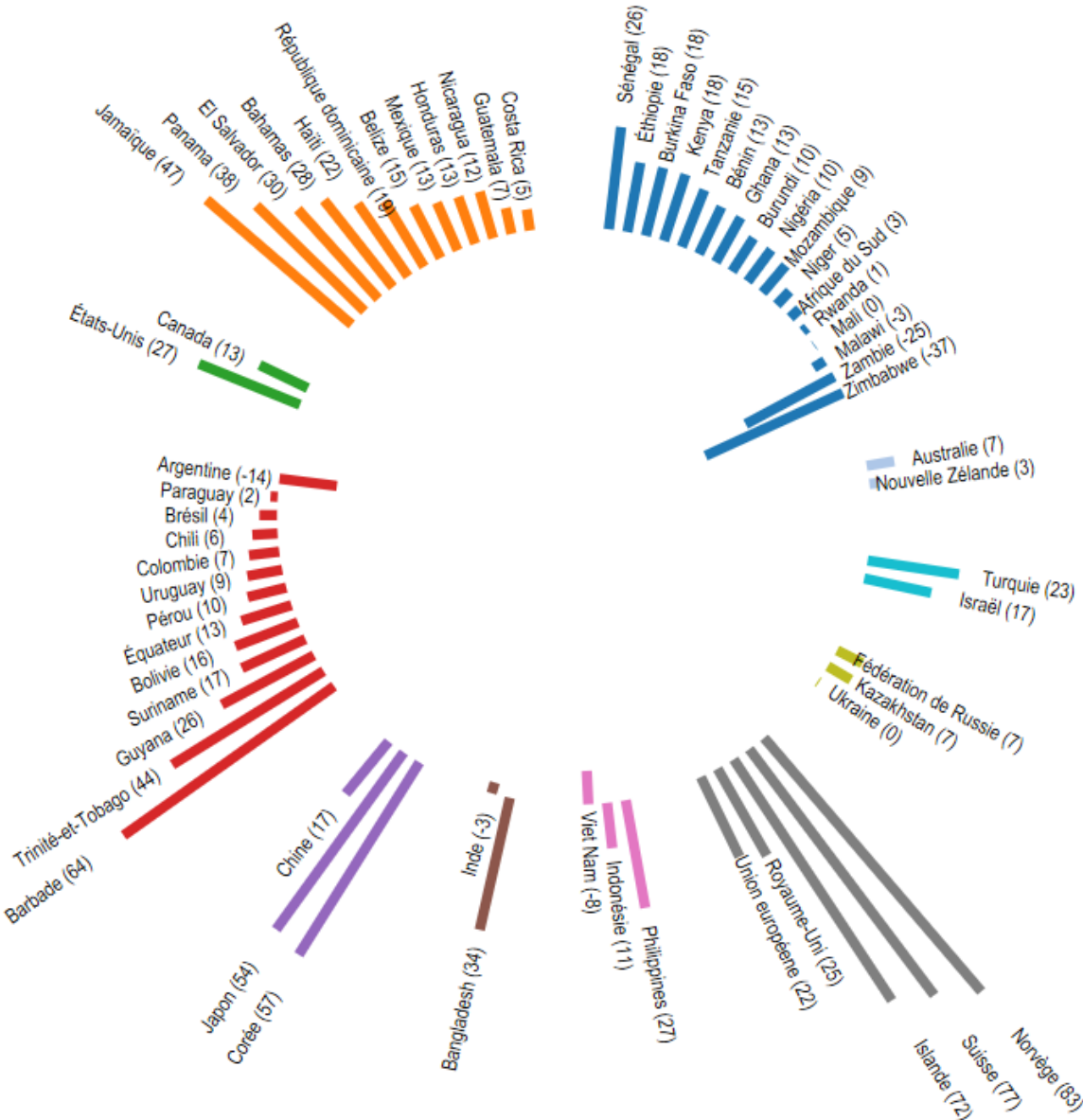


Source : calculs auteur, à partir des données OCDE, MAFAP-FAO et BID

Annexe 3. Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation (STAA), en % de la valeur de la production agricole (moyenne des trois dernières années connues)

Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation, en (%) de la valeur de la production agricole

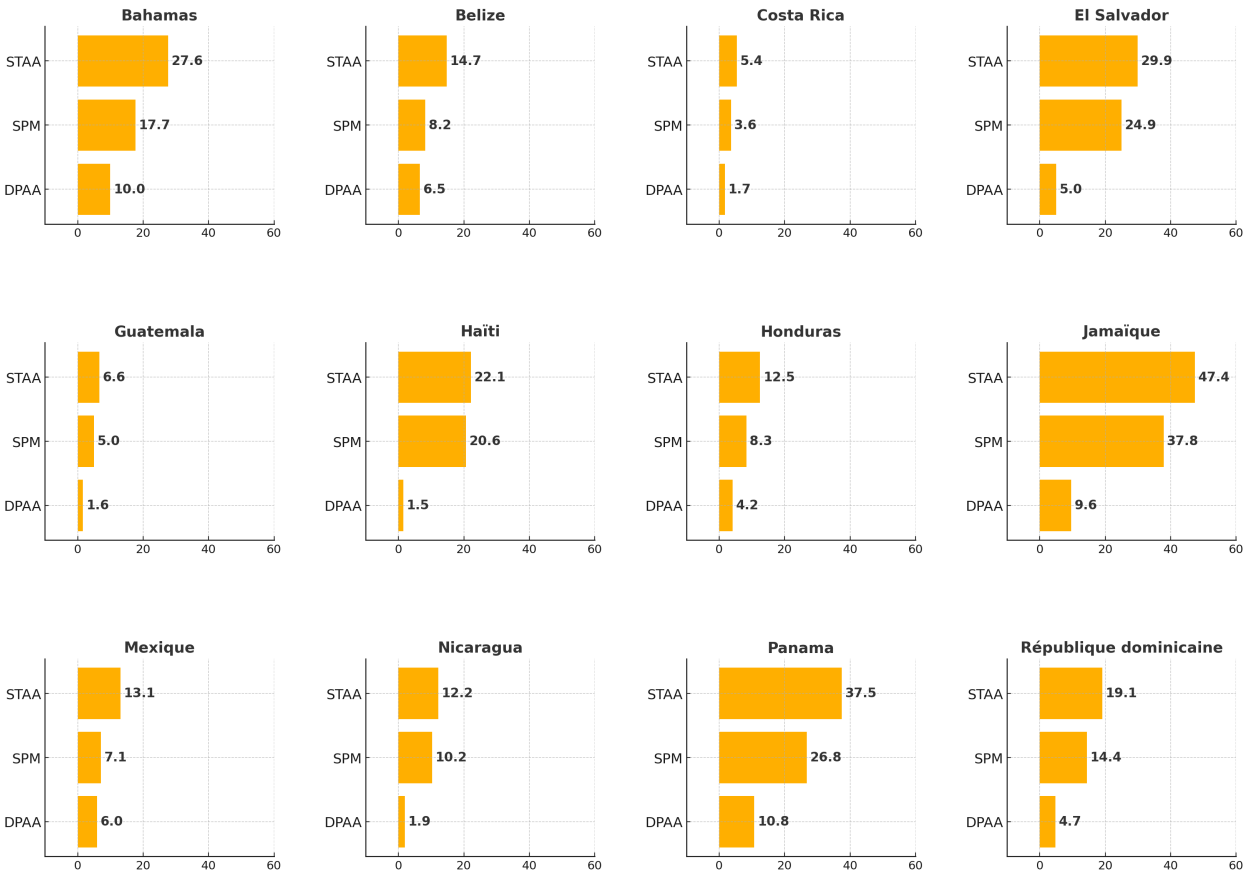
moyenne des trois dernières années connues



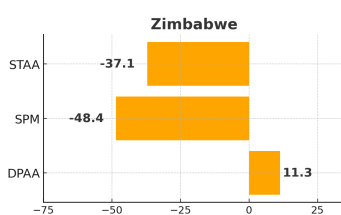
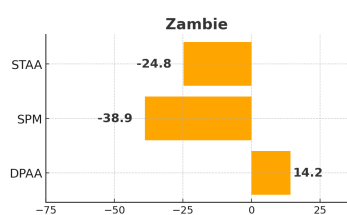
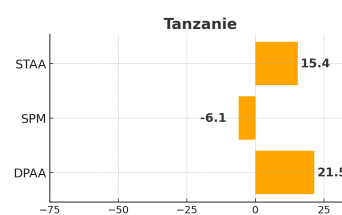
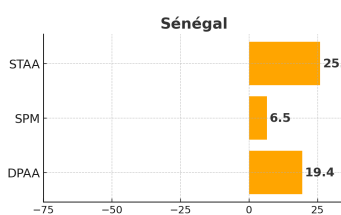
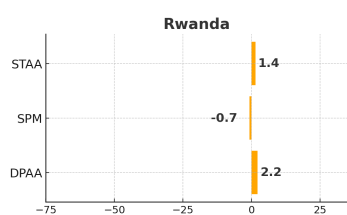
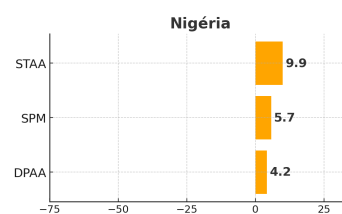
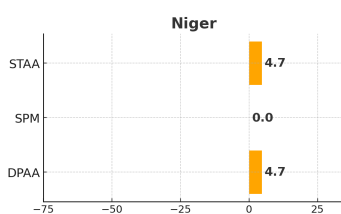
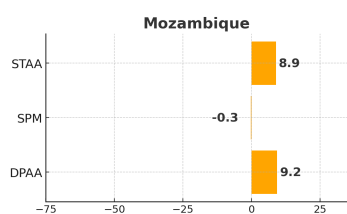
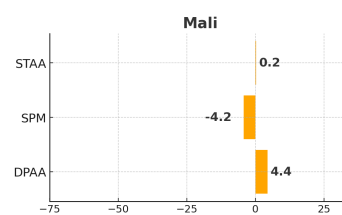
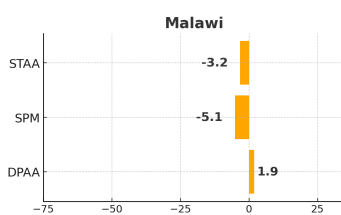
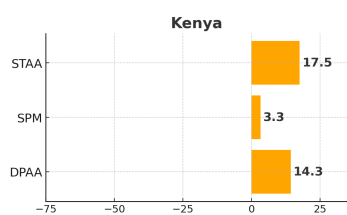
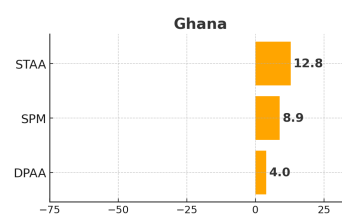
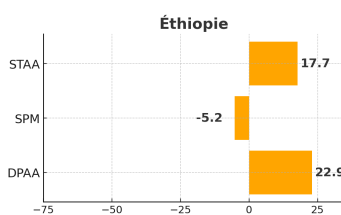
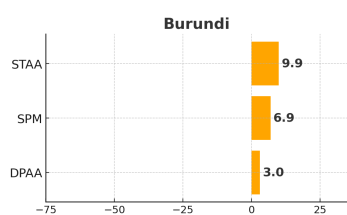
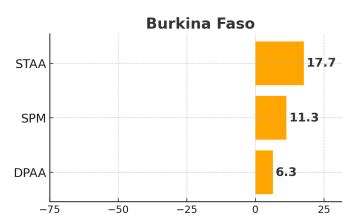
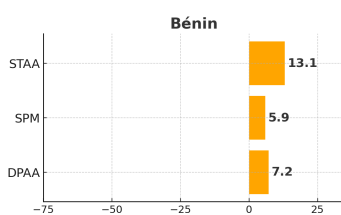
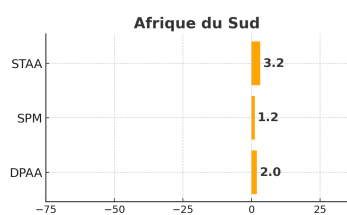
Sources: calculs auteur à partir des données OCDE, MAFAP et BID

Annexe 4. Panorama détaillé des DPAA, SPM et STAA, par pays et par région

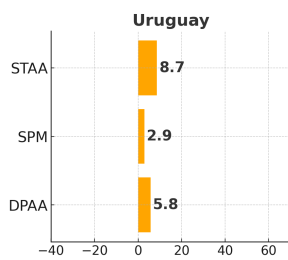
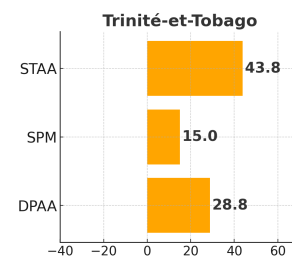
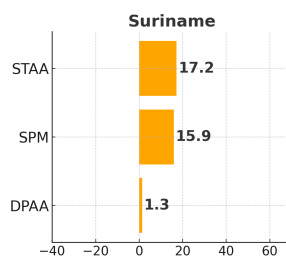
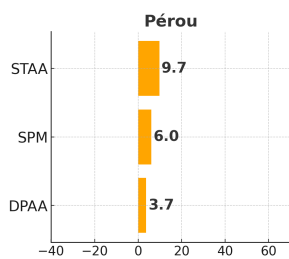
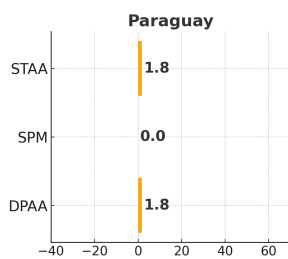
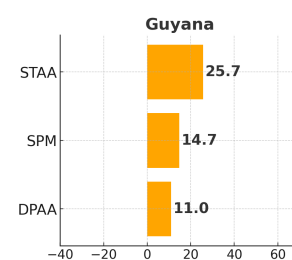
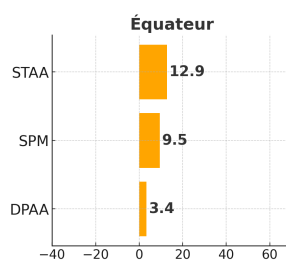
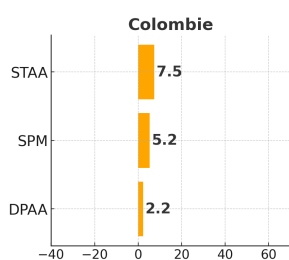
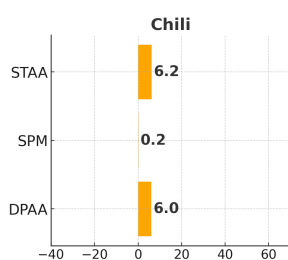
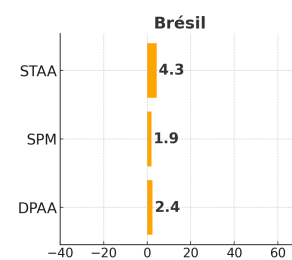
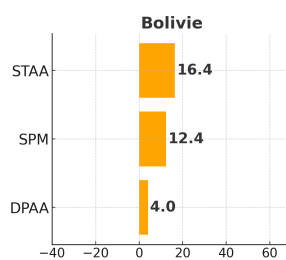
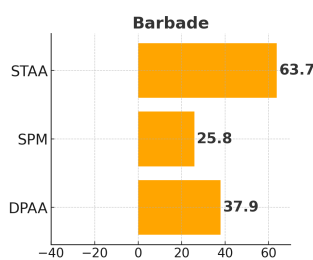
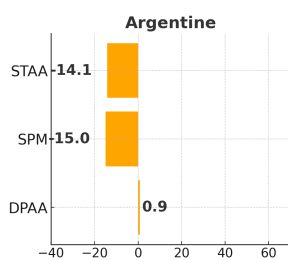
Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Amérique centrale & Caraïbes
 (en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)



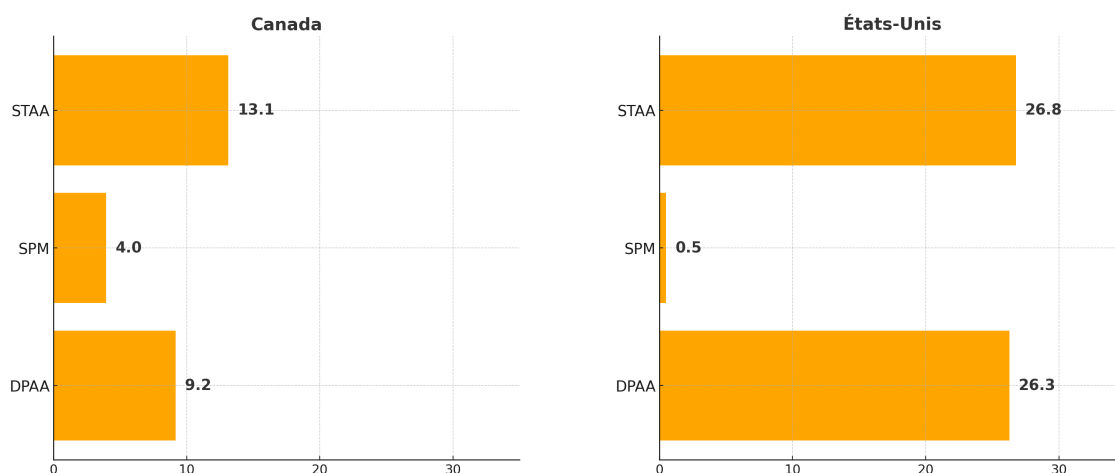
**Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Afrique subsaharienne
(en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)**



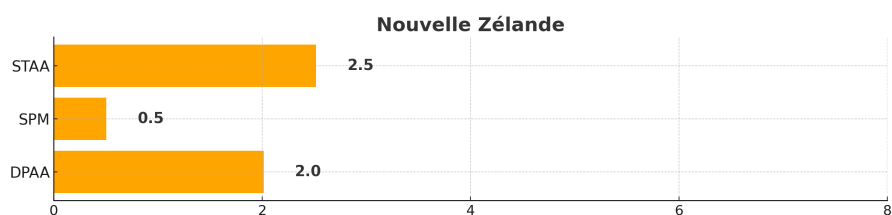
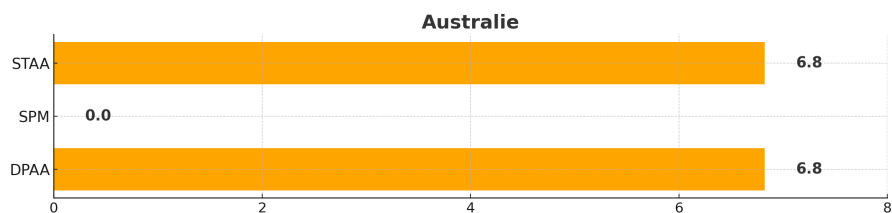
**Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Amérique du Sud
(en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)**



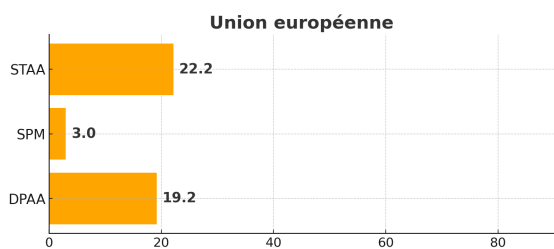
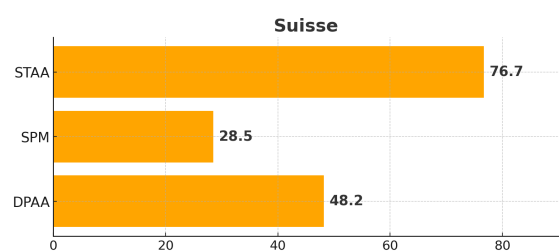
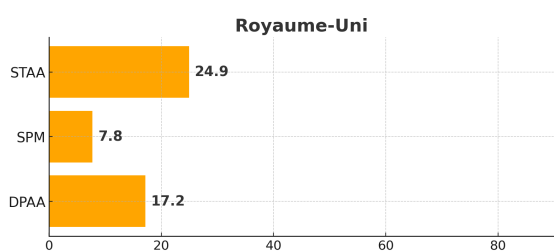
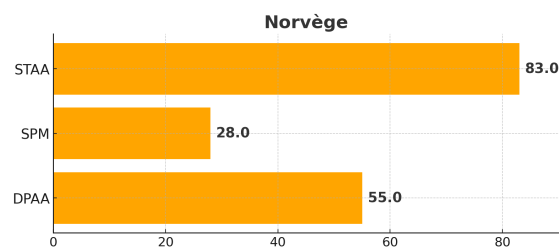
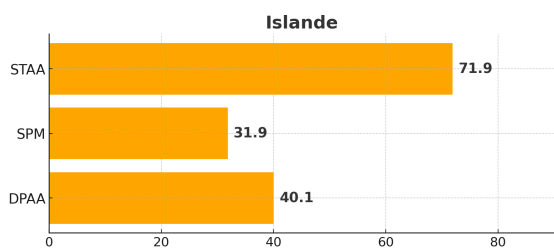
Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Amérique du Nord
(en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)



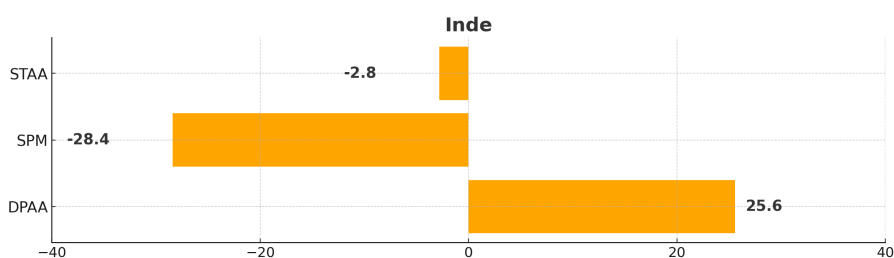
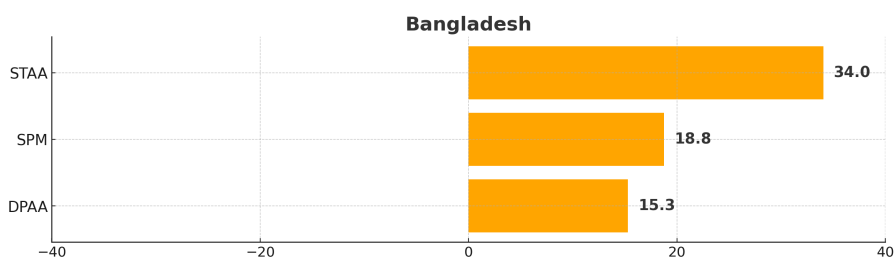
Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Océanie
(en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)



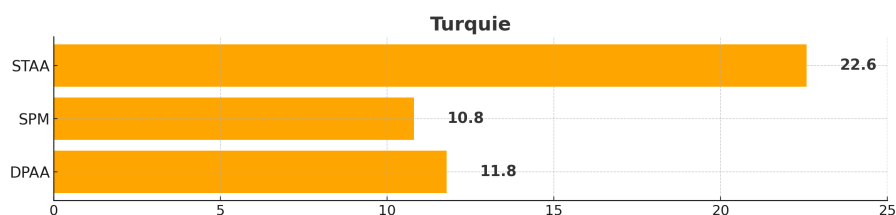
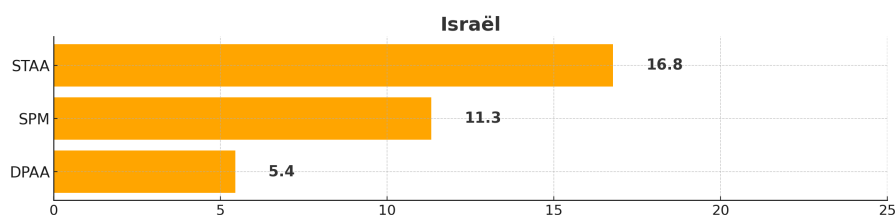
**Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Europe de l'Ouest et du Centre
(en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)**



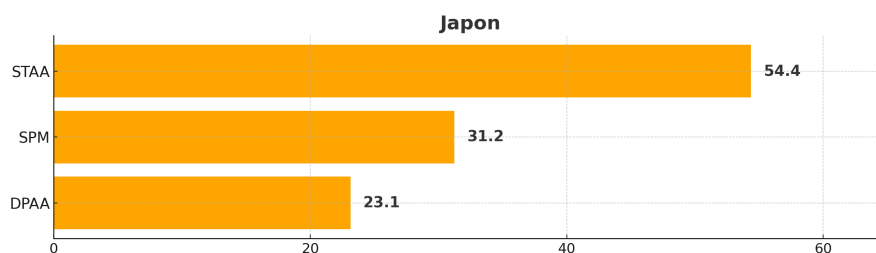
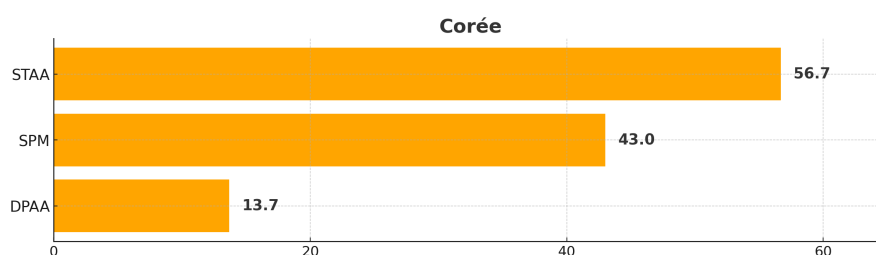
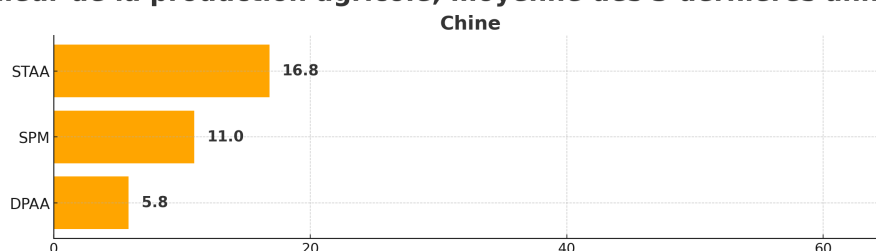
**Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Asie du Sud
(en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)**



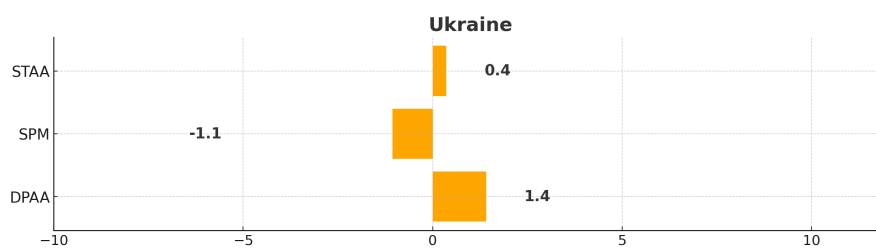
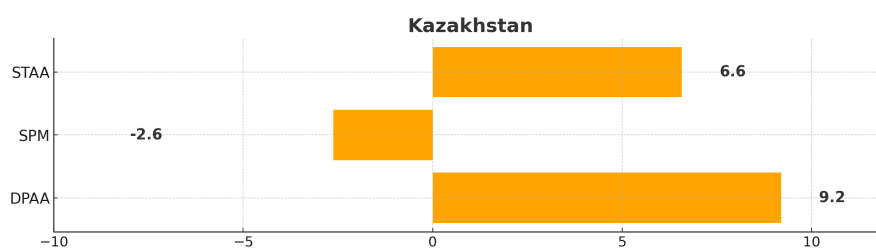
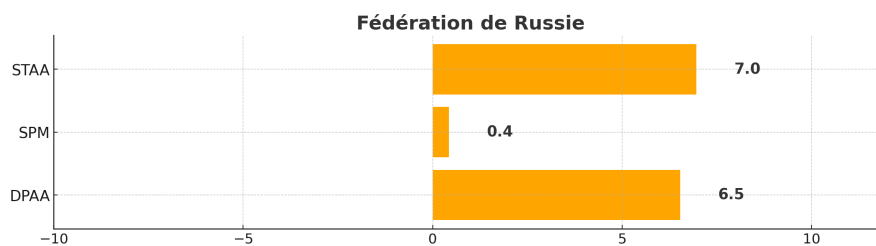
Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Moyen-Orient
 (en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)



Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Asie de l'Est
 (en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)



Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation : Ex-URSS
(en % de la valeur de la production agricole, moyenne des 3 dernières années disponibles)



Source : calculs auteur, à partir des données OCDE, MAFAP-FAO et BID

Annexe 5. Echantillons de pays de l'Observatoire et période couverte

		suite		suite	
Pays	Période	Pays	Période	Pays	Période
Afrique du Sud	1995–2022	Haïti	2006–2012	Ouganda	2004–2017
Argentine	1997–2022	Honduras	2011–2017	Panama	2010–2019
Australie	1986–2022	Inde	2000–2022	Paraguay	2007–2018
Bahamas	2010–2014	Indonésie	1995–2022	Philippines	2000–2022
Bangladesh	2018–2022	Islande	1986–2022	Pérou	2010–2018
Barbade	2011–2014	Israël	1995–2022	Royaume-Uni	2017–2022
Belize	2011–2014	Jamaïque	2006–2019	Rwanda	2012–2020
Bolivie	2006–2018	Japon	1986–2022	République dominicaine	2006–2019
Brésil	1995–2022	Kazakhstan	1995–2022	Seychelles	2004–2013
Burkina Faso	2006–2020	Kenya	2007–2018	Sierra Leone	2014–2019
Burundi	2005–2017	Malawi	2006–2020	Suisse	1986–2022
Bénin	2008–2020	Mali	2005–2020	Suriname	2006–2018
Canada	1986–2022	Mauritanie	2009–2021	Sénégal	2010–2020
Chili	1995–2022	Mexique	1991–2022	Tanzanie	2011–2017
Chine	1995–2022	Mozambique	2009–2020	Trinité-et-Tobago	2010–2015
Colombie	1995–2022	Nicaragua	2009–2017	Turquie	1986–2022
Corée	1986–2022	Niger	2004–2018	Ukraine	1995–2022
Costa Rica	1995–2022	Nigéria	2015–2021	Union européenne	1986–2022
El Salvador	2009–2017	Norvège	1986–2022	Uruguay	2009–2020
Équateur	2006–2016	Nouvelle Zélande	1986–2022	Viet Nam	2000–2022
États-Unis	1986–2022			Zambie	2014–2019
Éthiopie	2009–2021			Zimbabwe	2011–2017
Fédération de Russie	1995–2022				
Ghana	2016–2020				
Guatemala	2006–2018				
Guyana	2010–2019				

Annexe 6. Classement des pays par niveau de revenu

Faible revenu	Revenu intermédiaire	Revenu élevé
Burkina Faso	Afrique du Sud	Australie
Burundi	Argentine	Bahamas
Éthiopie	Bangladesh	Barbade
Malawi	Belize	Canada
Mali	Bénin	Chili
Mozambique	Bolivie	Corée
Niger	Brésil	États-Unis
Rwanda	Chine	Islande
Ouganda	Colombie	Israël
	Costa Rica	Japon
	El Salvador	Norvège
	Équateur	Nouvelle-Zélande
	Fédération de Russie	Panama
	Ghana	Royaume-Uni
	Guatemala	Seychelles
	Guyana	Suisse
	Haïti	Trinité-et-Tobago
	Honduras	Union européenne
	Inde	Uruguay
	Indonésie	
	Jamaïque	
	Kazakhstan	
	Kenya	
	Mauritanie	
	Mexique	
	Nicaragua	
	Nigéria	
	Paraguay	
	Pérou	
	Philippines	
	République dominicaine	
	Sénégal	
	Suriname	
	Tanzanie	
	Turquie	
	Ukraine	
	Viet Nam	
	Zambie	
	Zimbabwe	

Classement des pays par niveau de revenu, selon la Banque mondiale (2023)

Annexe 7. Découpage des pays par région géographique

Afrique subsaharienne	Amérique centrale et Caraïbes	Amérique du Nord	Amérique du Sud	Asie de l'Est
Afrique du Sud	Bahamas	Canada	Argentine	Chine
Bénin	Barbade	États-Unis	Bolivie	Japon
Burkina Faso	Belize		Brésil	Corée
Burundi	Costa Rica		Chili	
Éthiopie	El Salvador		Colombie	
Ghana	Guatemala		Équateur	
Kenya	Haïti		Guyana	
Malawi	Honduras		Paraguay	
Mali	Jamaïque		Pérou	
Mauritanie	Mexique		Suriname	
Niger	Nicaragua		Uruguay	
Rwanda	Panama			
Sénégal	République dominicaine			
Seychelles	Trinité-et-Tobago			
Tanzanie				
Ouganda				
Zambie				
Zimbabwe				
Nigeria				
Mozambique				

Asie du Sud	Asie du Sud-Est	Europe de l'Ouest et du centre	Ex-URSS	Moyen-Orient	Océanie
Bangladesh	Indonésie	Islande	Fédération de Russie	Israël	Australie
Inde	Philippines	Norvège	Ukraine	Turquie	Nouvelle Zélande
	Viet Nam	Suisse	Islande		
		Union européenne			
		Royaume-Uni			

Efficacité de la dépense publique agricole en Afrique subsaharienne : quelle intensité et quelle allocation budgétaire ?

Résumé

Ce chapitre évalue l'efficacité des dépenses publiques agricoles en Afrique subsaharienne et teste la pertinence de la cible de 10 % fixée par la déclaration de Maputo. Pour 20 pays, nous estimons, avec les scores de propension généralisés, une fonction dose-réponse entre l'effort budgétaire et la valeur ajoutée agricole. Les estimations révèlent une forte hétérogénéité des résultats selon le volume et la structure des dépenses. Le seuil d'efficacité sur la valeur ajoutée agricole et le PIB global se situe au-delà de la cible de Maputo, précisément autour de 14-15 %. En deçà, et particulièrement au niveau de 10 %, l'investissement public se situe toujours dans une zone de rendements décroissants sur la valeur ajoutée agricole. En termes d'allocation, les résultats attestent d'une plus grande efficacité relative des investissements en biens publics par rapport aux transferts privés, ces derniers ne générant des externalités positives qu'au-delà de seuils d'intensité élevés. Ainsi, l'efficacité dépend à la fois du volume et de la composition des dépenses, et un effort proche de 14-15 %, orienté prioritairement vers les biens publics agricoles, apparaît comme une condition nécessaire à la transformation structurelle et à la croissance du secteur agricole en Afrique subsaharienne.

1 Introduction

La productivité agricole en Afrique subsaharienne demeure l'une des plus faibles au monde, engendrant des coûts humains et économiques considérables. Les revenus tirés de l'agriculture y sont très bas. En moyenne un actif agricole en Afrique subsaharienne produit une valeur 36 fois inférieure à celle d'un actif en Europe (Debar, 2017). Selon la FAO (2019) et Castañeda et al. (2018), trois quarts des personnes vivant dans l'extrême pauvreté travaillent dans l'agriculture. Le coût de l'alimentation y est également plus élevé que dans d'autres régions à niveau de revenu comparable. En Afrique de l'Ouest par exemple, ce coût est de 30 à 40 % supérieur à la moyenne mondiale pour un PIB par habitant équivalent (Debar & Tapsoba, 2019a). La faiblesse des revenus agricoles, combinée au coût élevé de l'alimentation, aggrave l'insécurité alimentaire dans la région. Près de 240 millions de personnes en Afrique subsaharienne souffrent de sous-alimentation, avec plus de 70 % de la population touchée par la faim dans certains pays (Mitra & Choi, 2020).

À l'exception de quelques produits primaires d'exportation (cacao, café, coton, etc.), la faible productivité de l'agriculture africaine limite également sa compétitivité, y compris sur ses propres marchés. Malgré un potentiel agricole important, le continent reste fortement dépendant des importations pour satisfaire sa demande alimentaire intérieure. Selon Okou et al. (2022), la dépendance nette atteint 82 % pour le blé, 80 % pour les huiles végétales et 53 % pour le riz. Cette vulnérabilité structurelle a été particulièrement mise en lumière lors de la crise du COVID-19, révélant la fragilité des systèmes alimentaires africains face aux chocs exogènes. Bien que la part exacte des calories importées soit difficile à estimer et sujette à débat, plusieurs travaux signalent une tendance croissante à l'externalisation de l'approvisionnement calorifique, en particulier dans les zones urbaines (Rakotoarisoa et al., 2011; Bricas & Tchamda, 2017). Cette dépendance questionne la capacité de l'agriculture africaine à répondre à la demande domestique croissante et souligne la nécessité de renforcer la production locale afin de sécuriser durablement les approvisionnements alimentaires.

Face à ces défis, l'amélioration de la productivité agricole apparaît comme un impératif pour l'avenir du continent. Pour la Banque Africaine de Développement (BAD), l'agriculture peut être le moteur du développement en Afrique subsaharienne à condition qu'une transformation structurelle du secteur ait lieu, accompagnée de gains de productivité substantiels et respectueux de l'environnement. Des gains de productivité permettraient à la fois d'augmenter les revenus des ménages ruraux, de réduire le coût des denrées alimentaires et de jeter les bases d'une transformation économique plus large (Gollin et al., 2014). En outre, la croissance issue de l'agriculture aurait un impact particulièrement fort sur la réduction de la pauvreté. Elle serait trois fois plus efficace pour faire reculer la pauvreté qu'une croissance de même ampleur dans d'autres secteurs (Christiaensen & Kaminski, 2016; Ivanic & Martin, 2014).

Or, en dépit de son importance, l'agriculture africaine souffre d'un sous-investissement chronique. Ce secteur figure parmi les plus marginalisés dans les budgets publics. Depuis le "Consensus de Washington", au début des années 1990, de nombreux pays africains ont réorienté leurs priorités budgétaires, réduisant significativement l'effort public consacré à l'agriculture, conformément aux réformes de libéralisation et d'austérité alors préconisées par les institutions financières internationales (Williamson, 1990). En Afrique, ces ajustements structurels se sont traduits par un désengagement marqué de l'État vis-à-vis du

secteur agricole et par une baisse durable des soutiens budgétaires (Mkandawire & Soludo, 1999). Sur la dernière décennie, les pays du continent ont consacré en moyenne seulement 3,2 % de leurs dépenses publiques totales au secteur agricole (ReSAKSS, 2020). Ce niveau est très en deçà des besoins. Le défi d'accroître la productivité ne peut être relevé que si d'importants investissements publics sont consentis et si des politiques volontaristes soutiennent la modernisation du secteur. Parallèlement au désengagement budgétaire interne, l'agriculture africaine attire peu les capitaux privés, notamment étrangers. Par exemple, les investissements directs étrangers (IDE) dans l'agriculture africaine ne représentent que 7 % du stock total d'IDE dans les pays en développement, contre 78 % pour l'Asie et 15 % pour l'Amérique latine (Goyal & Nash, 2017).

Conscients de ces enjeux, les dirigeants africains ont affiché depuis le début des années 2000 une volonté de réinvestir dans l'agriculture. En 2003, les chefs d'État et de gouvernement africains ont signé la Déclaration de Maputo, s'engageant à travers le Programme Détaillé de Développement de l'Agriculture Africaine (PDDAA) à consacrer au moins 10 % de leurs budgets publics à l'agriculture, dans l'objectif de faire croître le secteur de 6 % par an. Ils se sont également engagés à affecter chaque année à la recherche agricole un montant équivalent à 1 % du PIB agricole. Ces seuils s'inspiraient des expériences réussies de certaines économies d'Asie et d'Amérique latine (par exemple le Brésil) qui, lors de leurs phases de forte croissance agricole, allouaient environ 10 % des dépenses publiques à l'agriculture et 1 % du PIB agricole à la recherche (Goyal & Nash, 2017).

En 2014, ces engagements ont été renouvelés dans la Déclaration de Malabo, avec des ambitions revues à la hausse. Les chefs d'État africains ont alors affirmé vouloir faire de l'agriculture le principal moteur du développement économique du continent, en visant notamment un doublement de la productivité agricole d'ici 2025 grâce à des investissements massifs. L'agriculture est ainsi repositionnée au centre des stratégies de croissance inclusive, afin de « *créer les conditions d'une prospérité partagée et relever le niveau de vie des populations* » (Union africaine, 2014).

Près de deux décennies se sont écoulées depuis la Déclaration de Maputo, et l'agriculture africaine peine toujours à emprunter le chemin d'une productivité accrue. Les progrès réalisés restent en deçà des objectifs fixés. Malgré les efforts consentis par les États ces dernières années, peu de pays ont effectivement honoré les engagements budgétaires de Maputo/Malabo; et même parmi ceux qui l'ont fait, les gains de productivité agricole attendus ne sont pas toujours au rendez-vous. Ce constat soulève la question de l'efficacité des dépenses publiques agricoles pour stimuler la croissance du secteur. En d'autres termes, les dépenses publiques constituent-elles un instrument de politique adapté pour accompagner la croissance du secteur agricole africain? Si oui, quels types de dépenses publiques devraient être privilégiés pour maximiser cet impact?

Ces interrogations constituent la problématique centrale de ce chapitre. Pour y répondre, nous évaluons l'impact des dépenses publiques consacrées à l'agriculture sur la performance économique du secteur, mesurée par la valeur ajoutée agricole. Notre approche empirique repose sur la méthode des scores de propension généralisés (Generalized Propensity Scores, GPS). Le GPS, développé par (Hirano & Imbens, 2004), constitue une extension de la méthode classique du score de propension de Rosenbaum & Rubin (1983) aux traitements continus. Cette approche a été formalisée et appliquée dans plusieurs travaux empiriques (Hirano & Imbens, 2004; Bia & Mattei, 2008; Kluge et al., 2012; Magrini et al., 2017; Leite,

2017) et permet, dans notre cas, d'estimer une fonction dose-réponse reliant le niveau des dépenses publiques agricoles à la valeur ajoutée du secteur.

L'évaluation est réalisée sur un échantillon de 20 pays africains disposant de données détaillées sur le niveau et la composition des dépenses budgétaires agricoles. Les données mobilisées dans ce chapitre proviennent de l'*Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture*, développé dans le chapitre 1 de la thèse. Cet Observatoire constitue une base consolidée qui intègre et transforme plusieurs sources existantes, dont les données issues du programme MAFAP (Monitoring and Analysing Food and Agricultural Policies) de la FAO. Les données MAFAP, centrées sur les politiques alimentaires et agricoles dans un ensemble de pays africains, ont ainsi été retraitées, complétées et mises en cohérence avec d'autres sources statistiques afin de garantir leur comparabilité et leur intégration dans une base unique couvrant l'ensemble des instruments de soutien public. C'est cette version consolidée, issue du processus d'harmonisation réalisé dans le cadre de l'Observatoire, qui est utilisée pour l'analyse empirique présentée dans ce chapitre.

La suite du chapitre est organisée de la manière suivante. La section 2 propose une revue de la littérature portant sur le lien entre dépenses publiques agricoles et croissance du secteur. La section 3 décrit la méthodologie, les données et la stratégie d'identification. La section 4 présente les résultats empiriques, en mettant en évidence la relation estimée entre les dépenses publiques agricoles et la valeur ajoutée agricole à travers les fonctions dose-réponse. La section 5 propose une discussion plus large des résultats obtenus, en les confrontant aux enseignements de la littérature et aux objectifs des cadres continentaux tels que les déclarations de Maputo et de Malabo. Enfin, la section 6 conclut en résumant les principaux enseignements et en ouvrant des pistes pour de futures recherches.

2 Dépenses publiques, croissance économique et productivité agricole : une relation nuancée

2.1 Dépenses publiques et croissance économique

La question de l'impact des dépenses publiques sur la croissance économique fait l'objet d'un long débat théorique et empirique, sans qu'un consensus robuste ne se dégage, les résultats variant selon les contextes et les spécifications économétriques (Nyasha & Odhiambo, 2019). Sur le plan théorique, une lecture d'inspiration keynésienne soutient un effet positif de la dépense publique via la stimulation de la demande effective et de l'activité, notamment à court terme ou en situation de sous-emploi (Lerner, 1943; Kalecki, 1943, 1971). À l'inverse, les approches classique et néoclassique soulignent les risques de neutralisation de ces effets, bien que par des mécanismes distincts. D'une part, l'effet d'éviction (crowding out), illustré notamment par Modigliani (1961), postule que le financement des déficits publics absorbe l'épargne disponible et renchérit le coût du capital, au détriment de l'investissement privé et de l'accumulation de capital. D'autre part, la théorie de l'équivalence ricardienne avancée par Barro (1974) soutient que la dette publique n'est pas perçue comme une richesse nette par le secteur privé. Les agents économiques anticipent et épargnent en prévision des impôts futurs nécessaires au remboursement de

cette dette. Ainsi, la substitution de la dette à l'impôt ne stimule pas la demande globale et n'affecte pas la formation de capital. Entre ces deux courants, la perspective de la croissance endogène propose une relation non linéaire, souvent illustrée par une courbe en "U inversé" (Barro, 1990). Si les dépenses publiques (infrastructures, éducation) sont initialement productives et favorisent la croissance, leur impact marginal finit par décroître pour devenir négatif lorsque la taille de l'État implique une pression fiscale excessive génératrice de distorsions (King & Rebelo, 1990). Toutefois, la littérature récente suggère que l'arbitrage ne se limite pas au volume des dépenses, mais dépend cruciallement de leur qualité et du cadre institutionnel. L'efficacité de la dépense publique serait conditionnée par la bonne gouvernance. Dans ce sens, Tanzi & Davoodi (1997) soulignent que la corruption ou une mauvaise gestion administrative peuvent rompre le lien entre dépense et croissance en détournant les ressources de leurs usages productifs.

Empiriquement, cette absence de consensus théorique se reflète dans des résultats contrastés. De nombreux travaux trouvent un effet positif des dépenses publiques totales (ou de certaines composantes productives) sur la croissance économique (Tanzi & Zee, 1997; Kneller et al., 1999; Wu et al., 2010; Furceri, 2010; Kimaro et al., 2017). À l'inverse, d'autres études mettent en évidence un impact négatif de l'augmentation des dépenses publiques sur la croissance (Landau, 1983; Butkiewicz & Yanikkaya, 2011; Afonso & Sousa, 2012; Ndambiri et al., 2012; Egbetunde & Fasanya, 2013). Enfin, certaines analyses concluent à l'absence d'effet significatif des dépenses publiques sur le rythme de croissance (Holtz-Eakin, 1992; Schaltegger & Torgler, 2006; Bose et al., 2007). Ce panorama empirique souligne que l'impact global de la dépense publique sur la croissance n'est pas systématique, mais varie selon les périodes et les contextes institutionnels.

Lorsque l'on distingue par nature de dépenses, on obtient également des conclusions mitigées. La plupart des études suggèrent que les dépenses de fonctionnement tendent à freiner la croissance économique (Odedokun, 2001; Schaltegger & Torgler, 2006; Nurudeen & Usman, 2010; Lupu et al., 2018; Okoye et al., 2019), tandis que les dépenses d'investissement public ont davantage de chances de l'accélérer (Aschauer, 1989; Alexiou, 2009; Gemmell et al., 2016; Lupu et al., 2018; Okoye et al., 2019). Ce constat s'expliquerait par le fait que les investissements publics financent des infrastructures, l'éducation, la formation ou la santé, autant de facteurs propices à la croissance de long terme. En revanche, les dépenses de fonctionnement élevées peuvent alourdir les budgets sans augmenter la productivité. Notons toutefois que quelques travaux obtiennent des résultats inverses à cette tendance générale (Devarajan et al., 1996; Rajkumar & Swaroop, 2008). Ainsi, la capacité des dépenses publiques à soutenir l'activité économique n'est pas automatique; elle est fonction de l'efficacité allocative de l'État et de la qualité des institutions (North, 1990).

2.2 Dépenses publiques à l'agriculture et performance du secteur agricole

Dans les pays en développement, de nombreuses études montrent que les dépenses publiques agricoles contribuent à accroître la productivité et à réduire la pauvreté rurale (Elías, 1985; Fan et al., 2000, 2004; Fan & Thorat, 2007; Dewbre & Borot de Battisti, 2008; Piesse & Thirtle, 2010; Rada & Buccola, 2012). Ces analyses soulignent toutefois que l'efficacité des dépenses dépend de leur composition : les

investissements en infrastructures, recherche et services de vulgarisation apparaissent nettement plus productifs que les subventions aux intrants ou les soutiens aux prix.

En Afrique subsaharienne, plusieurs travaux confirment également cette relation positive (Benin et al., 2009; Mogues et al., 2012; Akroyd & Smith, 2007). En outre, de nombreuses études soulignent que les différents types de dépenses n'ont pas le même rendement. Dès les années 1980, Elías (1985) soulignait que les investissements en irrigation, recherche et vulgarisation produisaient des gains de productivité substantiels. Plus récemment, Fan et al. (2008) en Inde et Gulati et al. (2018) en Asie du Sud montrent qu'un dollar public investi dans la recherche agricole, l'éducation ou les routes rurales génère davantage de productivité et de réduction de la pauvreté qu'un dollar dépensé en subventions aux intrants.

La littérature met ainsi en évidence que les dépenses publiques agricoles peuvent améliorer la productivité et la valeur ajoutée du secteur, particulièrement lorsqu'elles privilégient les investissements productifs. Toutefois, deux constats s'imposent. Premièrement, les travaux disponibles sont concentrés majoritairement sur des pays asiatiques, alors que peu d'études existent pour l'Afrique subsaharienne. Deuxièmement, la question d'un niveau optimal de dépenses publiques agricoles reste largement inexplorée. Ces constats revêtent une importance particulière dans le contexte africain, où les États se sont engagés, à travers les Déclarations de Maputo en 2003, puis de Malabo en 2014, à consacrer au moins 10% de leur budget national à l'agriculture. Or, cette cible repose implicitement sur l'idée qu'un accroissement de l'effort budgétaire se traduit nécessairement par une amélioration significative de la performance du secteur, une hypothèse encore peu testée empiriquement dans notre contexte. En s'appuyant sur le score de propension généralisé (GPS), cette étude propose de répondre à ce questionnement en cherchant à identifier non seulement l'effet causal des dépenses publiques agricoles sur la performance du secteur (mesurée par la valeur ajoutée agricole), mais aussi le seuil critique permettant de maximiser leur efficacité. Elle entend ainsi contribuer à un débat académique et politique central pour l'avenir des systèmes alimentaires africains.

3 Méthodologie

3.1 Cadre théorique : le score de propension généralisé (GPS)

L'évaluation de l'impact des dépenses publiques agricoles se heurte à l'endogénéité des décisions budgétaires. Les pays n'allouent pas leurs ressources de manière aléatoire, mais en fonction de caractéristiques structurelles et conjoncturelles. Pour isoler l'effet causal de l'effort budgétaire sur la performance agricole, nous utilisons la méthode du score de propension généralisé (Generalized Propensity Score, GPS) développée par Hirano & Imbens (2004).

Cette approche étend le cadre de Rosenbaum & Rubin (1983) aux traitements continus. Là où l'approche binaire classique (traité vs non-traité) estime une probabilité de participation, le GPS estime la densité conditionnelle du niveau de traitement continu. Dans notre cas, il s'agit de comparer des unités (pays) qui présentent une propension similaire à adopter un certain niveau de dépense publique, compte tenu de leurs caractéristiques observables.

Le GPS, noté $r(d, x)$, est défini comme cette densité conditionnelle du traitement D et des covariables X :

$$r(d, x) = f_{D|X}(d | x). \quad (2.1)$$

Pour bien saisir la portée de cette approche, il est utile de faire le parallèle avec l'évaluation classique d'impact. Dans une situation binaire (par exemple, bénéficiaire ou non d'une subvention), on apparie des individus ayant la même probabilité de recevoir le traitement. Dans le cas du GPS, le traitement étant continu (la part du budget public consacrée à l'agriculture), il n'existe pas de « groupe de contrôle » à proprement parler. Le défi consiste donc à comparer des pays ayant choisi des intensités de traitement différentes, alors même que ces choix sont liés à leurs caractéristiques. Le GPS résout ce problème en résumant, pour chaque pays, l'ensemble des caractéristiques observées qui influencent à la fois le traitement et le résultat dans un score unidimensionnel.

Le GPS permet ainsi de créer une situation quasi-expérimentale où, à score égal, les variations observées du niveau de dépenses publiques agricoles ne sont plus corrélées aux covariables observées et peuvent être assimilées à des variations « quasi aléatoires ». C'est ce mécanisme qui rend possible l'identification de l'effet de l'effort budgétaire sur la valeur ajoutée agricole.

L'identification causale repose sur l'hypothèse fondamentale d'indépendance conditionnelle faible (weak unconfoundedness). Celle-ci stipule que, pour tout niveau de traitement t , l'attribution du traitement est indépendante des résultats potentiels, conditionnellement aux covariables observées :

$$Y(d) \perp D | X, \quad \forall d \in D. \quad (2.2)$$

Cette hypothèse implique que l'ensemble des covariables incluses dans le modèle capte tous les facteurs de confusion et qu'il n'existe pas, conditionnellement à X , de facteur inobservé corrélé à la fois à l'effort budgétaire et à la performance agricole.

Comme dans le cas d'un traitement binaire, le GPS doit satisfaire une propriété d'équilibrage des covariables (balancing property). Celle-ci stipule que, pour un même niveau de score GPS, la distribution des covariables ne dépend plus du niveau de traitement :

$$X \perp \mathbf{1}\{D = d\} | r(d, X). \quad (2.3)$$

Quand le GPS est correctement spécifié, il élimine le biais de sélection associé aux covariables observées. Lorsque cette condition est satisfaite, on peut estimer la fonction dose-réponse moyenne (Dose-Response Function, DRF), définie comme l'espérance du résultat potentiel pour chaque niveau de traitement :

$$\mu(d) = \mathbb{E}[Y(d)]. \quad (2.4)$$

Dans notre application, la fonction $\mu(d)$ décrit l'évolution de la valeur ajoutée agricole en réponse aux variations de l'effort budgétaire (dépenses publiques agricoles en pourcentage des dépenses publiques totales).

3.2 Données et description des variables

L'analyse empirique repose sur un ensemble de données de panel, couvrant 20 pays africains sur la période 2004–2022, sur les dépenses publiques agricoles, la performance du secteur agricole, ainsi qu'un ensemble de variables de contrôle économiques, institutionnelles, agricoles et climatiques.

3.2.1 La variable de traitement : l'effort budgétaire relatif

La variable de traitement utilisée dans ce chapitre est le **logarithme des dépenses publiques agricoles rapporté à la dépense publique totale**. Cet indicateur vise à capter l'effort budgétaire relatif consenti par les États en faveur du secteur agricole, indépendamment de la taille globale du budget national ou du produit intérieur brut (PIB). Il permet ainsi de mesurer la priorité accordée à l'agriculture dans l'allocation des ressources publiques.

Ce choix s'inscrit dans le cadre des engagements politiques pris par les États africains dans les Déclarations de Maputo et de Malabo, qui fixent comme objectif de consacrer au moins 10 % du budget national à l'agriculture. L'analyse empirique vise ainsi à évaluer dans quelle mesure le respect (ou non) de cet objectif budgétaire a un effet mesurable sur la performance du secteur agricole.

Les données utilisées proviennent de l'**Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation** de la Fondation FARM, développé dans le premier chapitre de cette thèse. Cet outil consolide et intègre les données issues de trois sources internationales majeures : le programme MAFAP de la FAO (pour les pays africains), la base de données ESP de l'OCDE, et les données de la Banque interaméricaine de développement. Par rapport à d'autres bases de données disponibles, cette base consolidée se distingue par le détails de ses informations. Elle fournit non seulement les niveaux de dépenses, mais aussi la composition détaillée des soutiens publics budgétaires, ce qu'aucune autre source ne permet d'appréhender de façon aussi fine à ce jour.

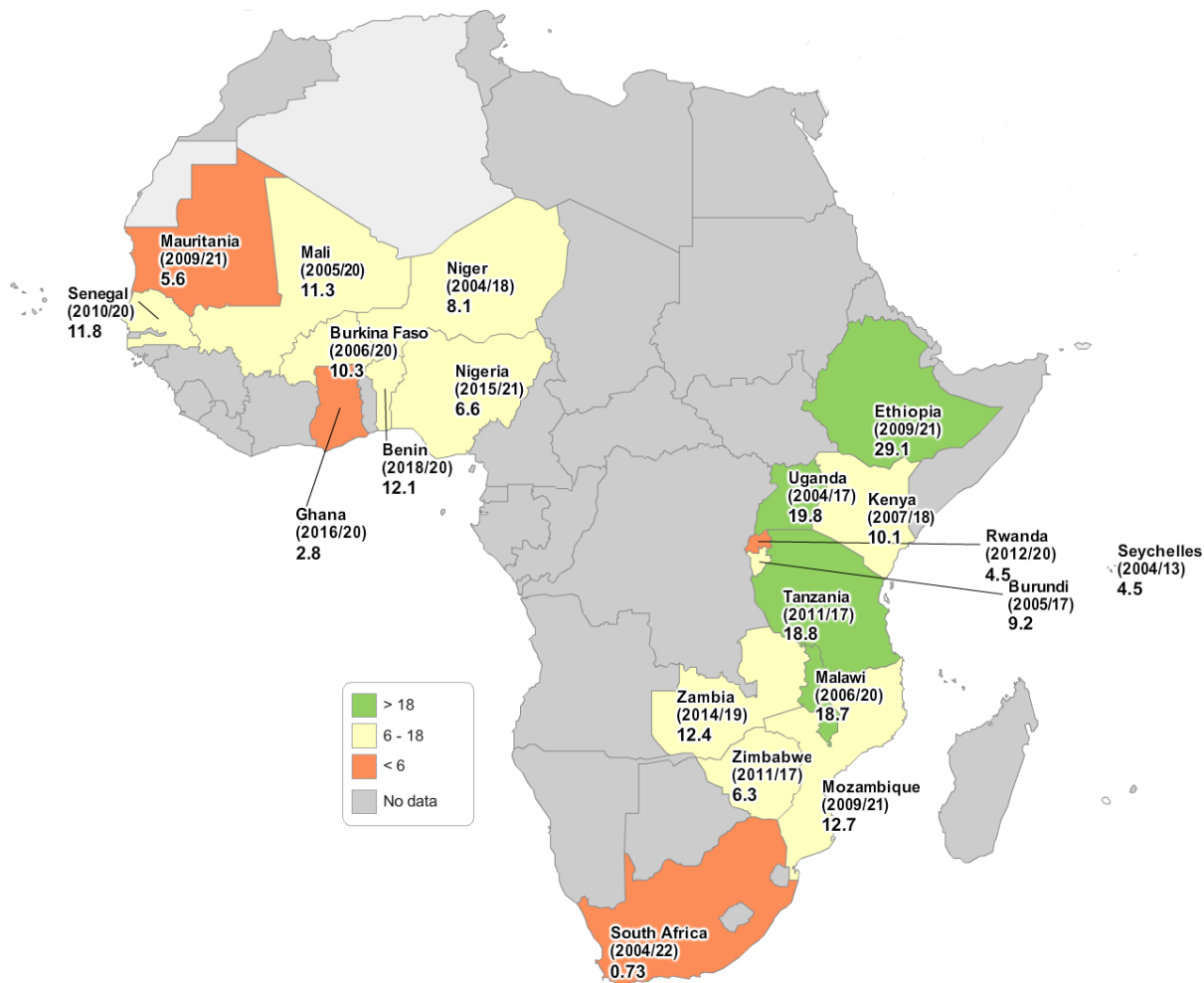


FIGURE 2.1 : Carte des dépenses publiques agricoles en % des dépenses totales (moyenne, années disponibles)

Source : Auteur.

La Figure 2.1 présente une cartographie des dépenses publiques agricoles moyennes (en % des dépenses publiques totales) sur la période d'analyse pour 20 pays africains. Cette carte révèle une hétérogénéité importante entre les pays. Si l'Éthiopie, l'Ouganda, la Tanzanie et le Malawi consacrent plus de 18 % de leurs budgets à l'agriculture, d'autres comme le Ghana ou l'Afrique du Sud sont nettement en dessous du seuil de 6 %. Ce contraste traduit la diversité des priorités budgétaires nationales, mais aussi les contraintes de ressources budgétaires ou les modalités d'exécution des politiques agricoles selon les contextes.

Composition des dépenses agricoles

Les dépenses agricoles se répartissent en trois grandes catégories :

- (i) les transferts budgétaires aux producteurs (8.3 %);
- (ii) les transferts aux consommateurs (6.8 %);

(iii) les services collectifs de soutien au développement du secteur (84.9 %).

Cette décomposition permet de mieux appréhender la nature et les objectifs des politiques publiques agricoles.

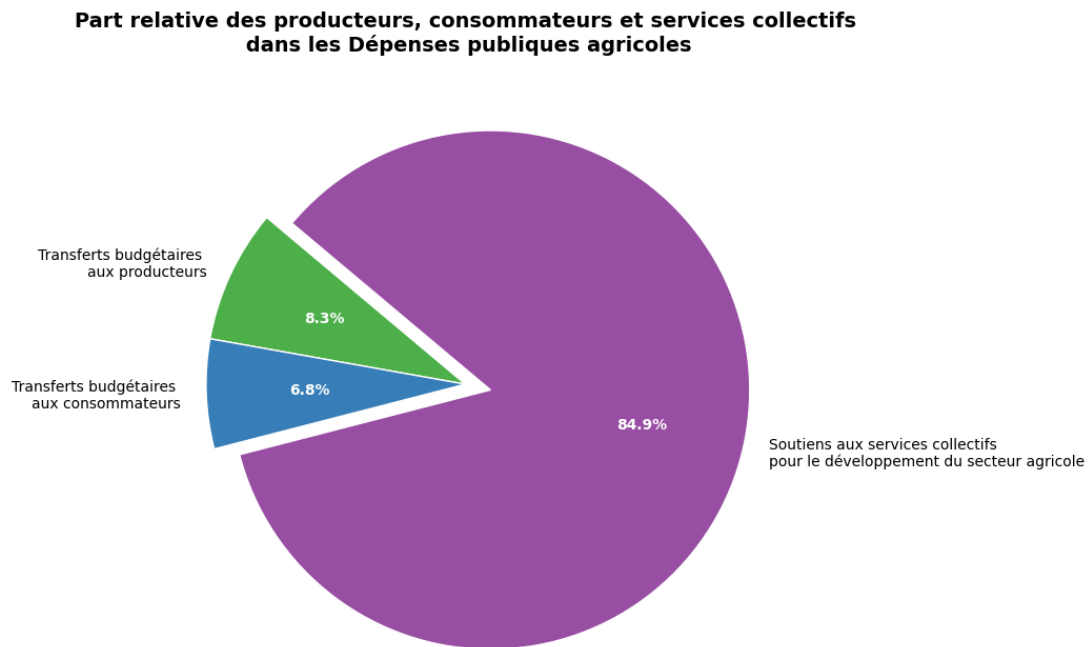


FIGURE 2.2 : Composition moyenne des dépenses publiques agricoles

Source : Auteur.

La Figure 2.2 montre que la majorité des dépenses concerne les services collectifs, mais cette catégorie recouvre des réalités contrastées.

Détail des composantes des dépenses publiques agricoles (Producteurs, Consommateurs, Services collectifs)

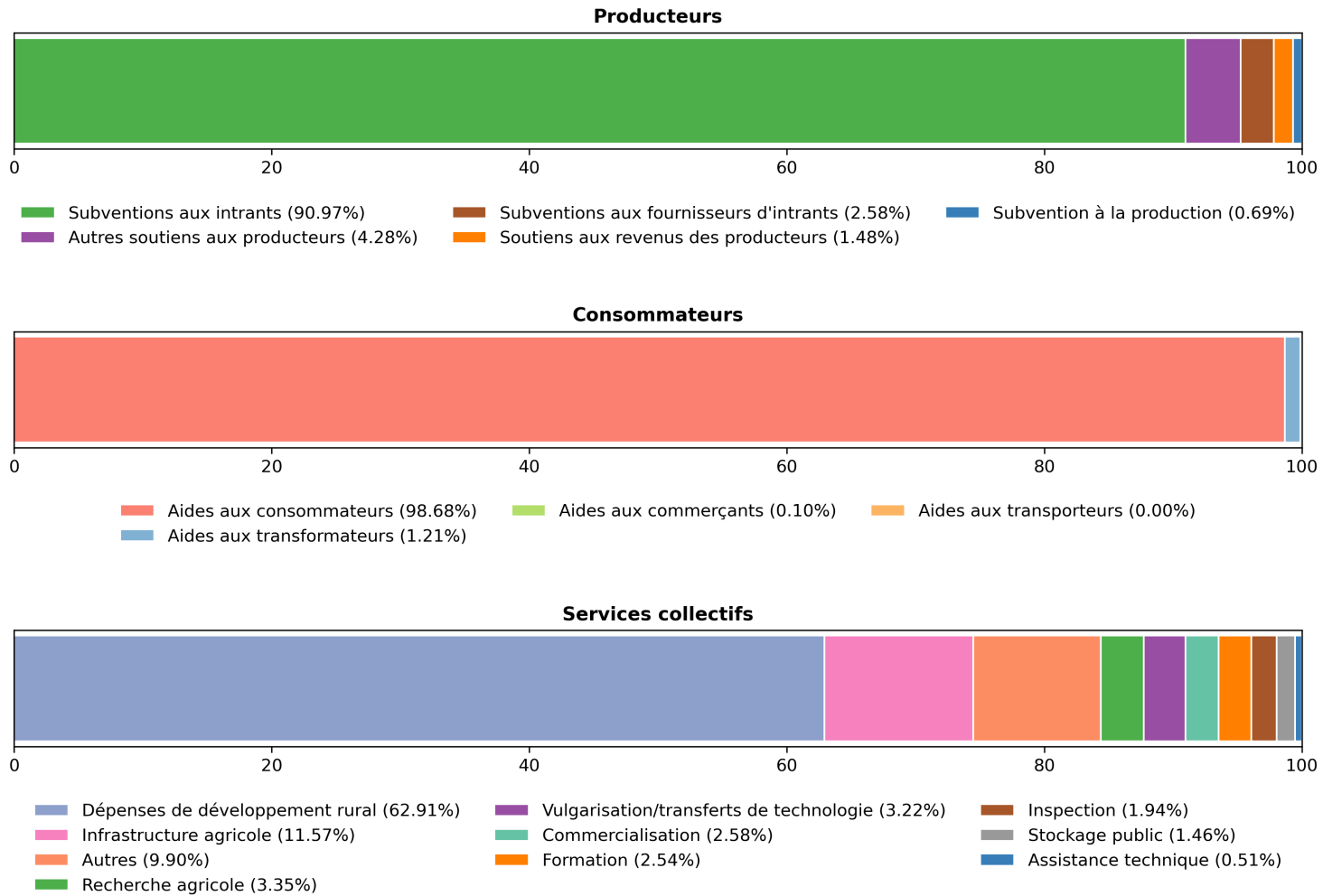


FIGURE 2.3 : Détail des composantes des dépenses publiques agricoles (producteurs, consommateurs, services collectifs)

Source : Auteur.

La Figure 2.3 offre une décomposition plus fine des trois grandes catégories, mettant en évidence plusieurs déséquilibres :

- **Transferts aux producteurs** : près de 91 % de ces dépenses sont constituées de subventions aux intrants, principalement les engrais. Ce biais en faveur des intrants, bien que courant dans les politiques agricoles africaines, soulève de nombreuses interrogations quant à leur efficacité, leur durabilité environnementale et leur contribution réelle à l'accroissement de la productivité.
- **Transferts aux consommateurs** : ces aides sont quasi-exclusivement dirigées vers les ménages (98,7 %), avec très peu de soutien aux transformateurs ou distributeurs. Cette orientation sociale, souvent justifiée par des impératifs de sécurité alimentaire, limite néanmoins les effets multiplicateurs potentiels sur les chaînes de valeur agricoles.
- **Services collectifs** : cette catégorie regroupe les dépenses destinées à renforcer les conditions structurelles du développement agricole. Elle représente la part la plus importante des dépenses agricoles (environ 64 %), mais sa composition appelle une lecture nuancée. En effet, près de 63 % des services collectifs relèvent en réalité de *dépenses de développement rural général*, comme l'éducation, la santé ou les infrastructures rurales. Bien qu'essentielles, ces dépenses ne ciblent pas spécifiquement le secteur agricole. Leur contribution à l'agriculture est indirecte, en améliorant les conditions de vie et la productivité des populations rurales, mais leur inclusion dans les budgets agricoles peut être discutée.

En comparaison, les dépenses plus directement agricoles telles que les infrastructures agricoles spécifiques (11 %), la recherche agricole (3,35 %), la formation, la vulgarisation, l'assistance technique, l'inspection, le stockage, la commercialisation (ensemble environ 13 %) apparaissent relativement sous-financées. Or, ces postes sont essentiels à moyen terme pour soutenir l'innovation, renforcer les capacités techniques des producteurs, et améliorer l'efficacité des filières agricoles.

À titre d'exemple, la recherche agricole reste nettement sous-financée, alors que les engagements de Malabo fixent un objectif de 1 % du PIB agricole. Selon le Global Food Policy Report (IFPRI, 2020), atteindre ce seuil en Afrique subsaharienne permettrait d'accroître la productivité agricole de plus de 60 % d'ici à 2050.

3.2.2 La variable de résultat : la performance du secteur agricole

La variable de résultat utilisée est le logarithme de la valeur ajoutée agricole. Cette mesure constitue une approximation de la performance du secteur agricole et permet de capter les évolutions de la productivité globale du secteur. Par ailleurs, cet indicateur présente l'avantage d'être disponible de manière harmonisée pour l'ensemble des pays et des années de l'échantillon, via les bases de données de la Banque mondiale (World development indicators, WDI).

3.2.3 Covariables de contrôle pour l'estimation du GPS

Tout comme dans le cadre classique du score de propension, le GPS appliqué à un traitement continu (Hirano & Imbens, 2004) nécessite l'identification d'un ensemble de caractéristiques observables susceptibles d'influencer simultanément le niveau de traitement et le résultat. Afin de garantir la condition d'indépendance conditionnelle faible (weak unconfoundedness), les variables de contrôle suivantes ont été sélectionnées et elles couvrent les dimensions économiques, structurelles, budgétaires, institutionnelles, agricoles et climatiques susceptibles d'influencer à la fois le niveau de dépenses publiques agricoles et la performance du secteur :

- **Variables macroéconomiques et budgétaires en $t - 1$** : PIB par habitant, Dette publique (% PIB), Aide publique au développement, Investissements directs étrangers (IDE), Rente des ressources naturelles.
- **Facteurs agricoles et structurels en $t - 1$** : Stock de capital agricole, Fertilisation par hectare, Part des terres irriguées dans les superficies cultivées, Taux de protection nominale, Part de la population rurale.
- **Institutions et gouvernance en $t - 1$** : Indice de contrôle de la corruption, Indice de stabilité politique.
- **Conditions climatiques** : Précipitations annuelles moyennes, Variation moyenne des températures.

A l'exception des variables climatiques, toutes les covariables sont retardées d'une période pour garantir qu'elles ne soient pas influencées par le traitement en t , comme le recommande Hirano & Imbens (2004).

3.3 Stratégie d'Identification Empirique

L'application de la méthodologie des Scores de Propension Généralisés (GPS) à nos données ($N \approx 133$ observations finales, $i = 1, \dots, n$ pays ; $n = 1, \dots, T$ années) soulève des défis économétriques spécifiques. Bien que le cadre canonique de Hirano & Imbens (2004) dispose d'outils d'estimation éprouvés pour les coupes transversales (Bia & Mattei, 2008), son extension aux données longitudinales nécessite une gestion rigoureuse de l'hétérogénéité inobservée et de l'autocorrélation. Cette section détaille notre stratégie d'identification pour répondre à ces exigences.

3.3.1 Première étape : Modélisation du traitement

La première étape consiste à modéliser le processus de décision budgétaire. L'estimateur GPS suppose que les observations sont indépendantes. Or, une application de la méthode sur des données empilées (*pooling*) exposerait l'analyse à un biais d'hétérogénéité inobservée, les variables de contrôle disponibles ne suffisant pas toujours à capter les caractéristiques structurelles invariantes (Smith & Todd, 2005). De plus, l'autocorrélation des erreurs au sein d'une même unité risque de biaiser l'inférence statistique si elle n'est pas corrigée (Bertrand et al., 2004; Wooldridge, 2010).

L'approche standard pour traiter l'hétérogénéité consisterait à introduire des effets fixes pays (*Country Fixed Effects*). Toutefois, dans notre contexte d'échantillon restreint, l'estimation de 20 paramètres d'effets fixes consommerait une part excessive des degrés de liberté, entraînant une inflation de la variance des estimateurs et une saturation du modèle (*overfitting*).

Pour surmonter cela, nous adoptons une stratégie d'identification s'inspirant de [Magrini et al. \(2017\)](#). Au lieu d'effets fixes pays, nous introduisons des *Effets fixes de Clusters régionaux*. Nous modélisons l'hétérogénéité structurelle à travers quatre zones agro-géopolitiques homogènes : le *Sahel*, l'*Afrique de l'Ouest Côtière*, l'*Afrique de l'Est* et l'*Afrique Australe*. Cette spécification présente un double avantage théorique. D'une part, elle permet de réduire le biais en capturant l'essentiel de l'hétérogénéité agro-climatique et institutionnelle. Et d'autre part, elle permet un contrôle de la variance en préservant la puissance statistique nécessaire à l'estimation non-paramétrique de la dose-réponse. Parallèlement, la dynamique temporelle est contrôlée par des effets fixes annuels (pour capter les chocs systémiques globaux) et l'introduction de variables retardées ($t - 1$), assurant l'antériorité temporelle des covariables sur le traitement. Cette stratégie se traduit par l'estimation du modèle de régression suivant par les Moindres Carrés Ordinaires (MCO) :

$$D_{it} = \alpha + \beta X_{it-1} + \eta_{Region} + \delta_t + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (2.5)$$

Où :

- D_{it} représente le log des dépenses agricoles sur les dépenses totales.
- X_{it-1} est le vecteur des covariables retardées.
- η_{Region} désigne les effets fixes de clusters régionaux décrits ci-dessus.
- δ_t représente les effets fixes temporels.

La spécification du modèle d'estimation du GPS inclut des termes quadratiques pour le PIB par habitant, la part de la population rurale, la rente des ressources naturelles, l'aide publique au développement et l'usage d'engrais, de façon à autoriser des formes non linéaires dans la relation entre ces déterminants structurels et le niveau de dépenses publiques agricoles. Cette spécification s'appuie sur la littérature d'économie politique des soutiens agricoles et des ressources naturelles ([Anderson et al., 2013](#); [Olson, 1971](#); [Bates, 1981](#); [Sachs & Warner, 2001](#); [Torvik, 2001](#); [Pack & Pack, 1993](#); [Feyzioglu et al., 1998](#); [Foster & Rosenzweig, 2010](#)), qui documente des mécanismes tels que la transformation structurelle, le biais urbain, la Dutch disease, la fongibilité de l'aide et les complémentarités dans l'adoption d'intrants. Le Score de propension généralisé estimé \hat{R}_{it} est obtenu en évaluant la densité normale conditionnelle de D_{it} sachant X_{it} :

$$\hat{R}_{it} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\hat{\sigma}^2} (D_{it} - X_{it}\hat{\beta})^2\right). \quad (2.6)$$

TABLE 2.1 : Régression du traitement conditionnelle aux covariables

	log DPA	log Transferts prod.	log Transferts conso.	log Services coll.
log PIB/hab (t-1)	0.093 (2.571)	2.787** (1.121)	2.625 (2.128)	-1.976 (2.316)
log PIB/hab ² (t-1)	-0.007 (0.197)	-0.155* (0.080)	-0.198 (0.163)	0.137 (0.177)
log Pop rurale % Pop tot (t-1)	-35.312 (23.402)	-13.261 (8.921)	0.504 (19.737)	-37.314 (29.740)
log Pop rurale % Pop tot ² (t-1)	4.124 (2.771)	1.903* (1.118)	0.138 (2.363)	4.265 (3.524)
log Dette publique % PIB (t-1)	-0.353*** (0.121)	-0.172 (0.111)	0.283*** (0.101)	-0.107 (0.117)
Contrôle de la corruption (t-1)	0.137 (0.186)	0.056 (0.152)	0.025 (0.157)	-0.020 (0.173)
Stabilité politique (t-1)	0.011 (0.083)	-0.117 (0.086)	-0.004 (0.070)	-0.143* (0.079)
log APD (t-1)	-5.982 (8.291)	15.262* (7.745)	0.035 (6.767)	-7.319 (7.368)
log APD ² (t-1)	0.150 (0.198)	-0.364* (0.185)	0.003 (0.161)	0.179 (0.176)
log IDE (t-1)	-0.089 (0.057)	-0.004 (0.053)	0.046 (0.047)	-0.012 (0.051)
log Rente ress. nat.% PIB (t-1)	-1.277* (0.743)	-0.050 (0.544)	-0.691 (0.606)	-1.178* (0.655)
log Rente ress. nat.% PIB ² (t-1)	0.336* (0.193)	0.085 (0.144)	0.175 (0.157)	0.277 (0.169)
Protection nominale agricole (t-1)	-0.003* (0.002)	-0.003** (0.001)	-0.001 (0.001)	-0.000 (0.002)
log Capital agricole (t-1)	-0.195 (0.120)	-0.264*** (0.095)	0.045 (0.115)	-0.058 (0.120)
log Usage d'engrais kg/ha (t-1)	0.986 (1.143)	-1.592* (0.902)	0.341 (0.911)	1.721 (1.050)
log Usage d'engrais kg/ha ² (t-1)	-0.045 (0.051)	0.073* (0.040)	-0.016 (0.041)	-0.080* (0.047)
log Surface irriguée % terres cultivées (t-1)	-0.277 (0.168)	0.167** (0.081)	0.076 (0.153)	-0.248 (0.156)
Précipitations (mm)	-0.001 (0.001)	-0.000 (0.000)	0.000 (0.001)	-0.001 (0.001)
Variation température annuelle (°C)	0.335*** (0.109)	-0.028 (0.095)	0.066 (0.094)	0.234** (0.105)
log Transferts producteurs (t-1)			-0.022 (0.084)	0.092 (0.088)
log Transferts consommateurs (t-1)		0.228 (0.148)		-0.431*** (0.121)
log Services collectifs (t-1)		0.225** (0.087)	-0.013 (0.082)	
Année 2009 (Crise financière)	-0.062 (0.140)	-0.140 (0.129)	0.176 (0.114)	-0.055 (0.124)
Année 2011 (Crise alimentaire)	-0.240** (0.117)	-0.122 (0.105)	-0.101 (0.095)	-0.171 (0.104)
Année 2020 (Covid-19)	-0.262* (0.135)	-0.056 (0.112)	-0.005 (0.106)	-0.218* (0.126)
Zone : Sahel	-1.011** (0.473)	0.198 (0.234)	0.157 (0.454)	-0.580 (0.457)
Zone : Af. Ouest côtière	-0.794* (0.407)	0.644*** (0.195)	0.466 (0.374)	-0.869** (0.375)
Zone : Af. Est	-0.562* (0.317)	-0.647*** (0.200)	-0.356 (0.376)	-0.099 (0.323)
Constante	136.217 (92.208)	-137.533 (86.184)	-17.481 (78.846)	158.088* (88.745)
Num. obs.	113	120	115	109
R ²	0.580	0.782	0.458	0.613

Significativité : * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01. Erreurs standards entre parenthèses.

log DPA (log Dépenses publiques agricoles en % des Dépenses totales), log Transferts prod. (log Transferts budgétaires aux producteurs en % des Dépenses totales), log Transferts conso. (log Transferts budgétaires aux consommateurs en % des Dépenses totales), log Services coll. (log Services collectifs pour le développement agricole en % des Dépenses totales).

3.3.2 Seconde étape : Validation du support commun et de la condition d'équilibre

La validité de l'inférence causale repose sur un chevauchement suffisant (*common support*) des distributions de scores, comme le soulignent Hirano & Imbens (2004). L'analyse descriptive met en évidence des observations extrêmes dans la queue inférieure de la distribution du traitement ($T_{it} < 1.2$ en log, soit des dépenses inférieures à 1%). La présence de ces valeurs dégrade la normalité de la distribution du traitement et la qualité de l'ajustement du GPS. Nous appliquons donc une troncature de cet intervalle. Cette restriction suit la stratégie proposée par Crump et al. (2009), qui visent à améliorer la validité interne en concentrant l'analyse sur le « noyau commun » des pays africains comparables (Figure 2.4).

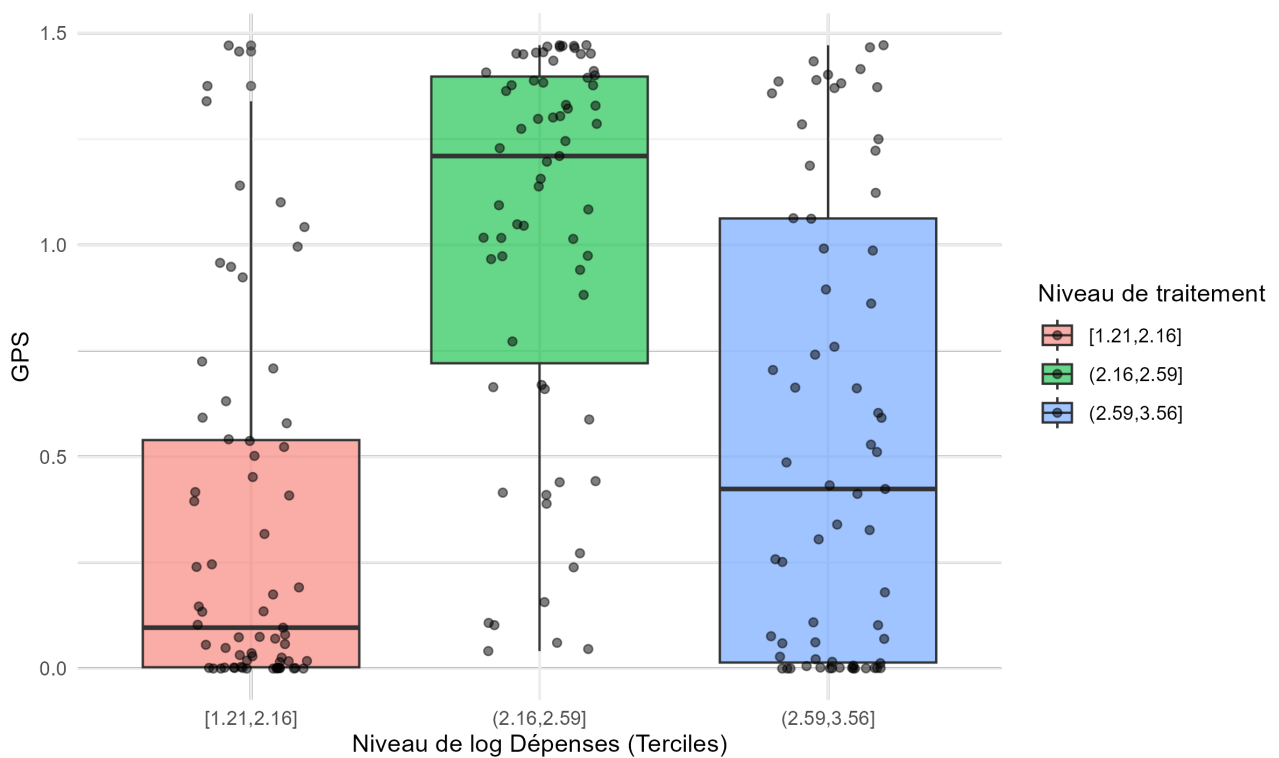


FIGURE 2.4 : Boxplots du support commun après troncature

Source : Auteur.

La qualité du GPS est ensuite évaluée par le test de la propriété d'équilibrage (*Balancing Property*). Notre évaluation de l'équilibre des covariables repose sur deux diagnostics complémentaires. D'une part, suivant l'approche d'Imai & van Dyk (2004), nous régressons successivement chaque covariable X_{ik} sur le traitement continu D_i et le GPS estimé \hat{R}_i , et vérifions que le coefficient associé au traitement devient non significatif une fois que l'on conditionne sur le GPS. Formellement, pour chaque covariable $k = 1, \dots, K$, nous estimons d'abord le modèle « brut » :

$$X_{ik} = \alpha_k + \beta_k^{\text{brut}} D_i + \varepsilon_{ik},$$

puis le modèle ajusté :

$$X_{ik} = \alpha'_k + \beta_k^{\text{adj}} D_i + \gamma_k \hat{R}_i + \varepsilon'_{ik}.$$

Une covariable est considérée comme équilibrée lorsque le coefficient β_k^{adj} n'est plus statistiquement significatif dans le modèle ajusté (voir Table 2.2).

D'autre part, afin de pallier la sensibilité des tests d'hypothèse à la taille de l'échantillon (Austin, 2019), nous recourons à un diagnostic fondé sur les corrélations partielles (Schwartz et al., 2025). Pour cela, nous commençons par retirer l'effet du GPS sur le traitement et sur chaque covariable. Nous estimons d'abord :

$$D_i = \pi_0 + \pi_1 \hat{R}_i + u_i \quad \Rightarrow \quad \hat{u}_i,$$

puis, pour chaque covariable k ,

$$X_{ik} = \lambda_{0k} + \lambda_{1k} \hat{R}_i + v_{ik} \quad \Rightarrow \quad \hat{v}_{ik},$$

où \hat{u}_i et \hat{v}_{ik} désignent les résidus des régressions sur le GPS. La corrélation partielle entre le traitement et la covariable k , conditionnellement au GPS, est alors donnée par :

$$\rho_k = \text{corr}(\hat{u}_i, \hat{v}_{ik}),$$

et nous en retenons la valeur absolue $|\rho_k|$ comme mesure de déséquilibre résiduel pour la covariable k . Nous construisons ensuite un indicateur global en calculant la moyenne des corrélations absolues (Average Absolute Correlation) :

$$|\overline{\rho}| = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |\rho_k|.$$

Dans la lignée de Zhu et al. (2015) et de Wu et al. (2024), nous considérons qu'un bon équilibrage global est atteint lorsque $|\overline{\rho}| < 0,1$, seuil usuel retenu comme indicateur de faible corrélation résiduelle. Cette métrique, ainsi que les valeurs $|\rho_k|$ covariable par covariable, est visualisée dans la Figure 2.9 en annexes. Les deux diagnostics (par régression et par corrélations partielles) identifient les mêmes covariables équilibrées et non équilibrées après ajustement, ce qui confirme la robustesse de notre spécification, un constat similaire à celui rapporté par Wu et al. (2024).

TABLE 2.2 : Test d'équilibrage des covariables (régression du traitement sur chaque covariable, avant et après contrôle par le GPS)

Covariable	p-val. brute	p-val. ajustée (GPS)	Conclusion
log PIB/hab (t-1)	0.000	0.000	NON (Ajouté au modèle DR)
log Pop rurale % Pop tot (t-1)	0.000	0.000	NON (Ajouté au modèle DR)
log Dette publique % PIB (t-1)	0.009	0.011	NON (Ajouté au modèle DR)
Contrôle de la corruption (t-1)	0.044	0.079	OK
Stabilité politique (t-1)	0.400	0.307	OK
log APD (t-1)	0.000	0.000	NON (Ajouté au modèle DR)
log IDE (t-1)	0.011	0.009	NON (Ajouté au modèle DR)
log Rente ress. nat.% PIB (t-1)	0.000	0.000	NON (Ajouté au modèle DR)
Protection nominale agricole (t-1)	0.003	0.003	NON (Ajouté au modèle DR)
log Capital agricole (t-1)	0.374	0.375	OK
log Usage d'engrais kg/ha (t-1)	0.000	0.000	NON (Ajouté au modèle DR)
log Surface irriguée % terres cultivées (t-1)	0.933	0.770	OK
Précipitations (mm)	0.760	0.734	OK
Variation température annuelle (°C)	0.138	0.145	OK
Année 2009 (Crise financière)	0.661	0.554	OK
Année 2011 (Crise alimentaire)	0.489	0.511	OK
Année 2020 (Covid-19)	0.208	0.204	OK
Région (cluster)	0.001	0.003	NON (Ajouté au modèle DR)

3.3.3 Troisième étape : Estimation de la Fonction Dose-Réponse

Suivant l'approche de [Hirano & Imbens \(2004\)](#), nous modélisons l'espérance conditionnelle du résultat en fonction du traitement et du GPS (incluant leurs termes quadratiques et interactions). Toutefois, pour limiter l'impact du biais résiduel mis en évidence par le test d'équilibrage (notamment pour les variables à forte inertie), nous ajustons ce modèle de base en incluant les covariables non équilibrées (Z_{it}). Nous estimons ainsi l'espérance conditionnelle de la valeur ajoutée agricole (Y_{it}) comme suit :

$$E[Y_{it} | D_{it}, \hat{R}_{it}, Z_{it}] = \gamma_0 + \gamma_1 D_{it} + \gamma_2 D_{it}^2 + \gamma_3 \hat{R}_{it} + \gamma_4 \hat{R}_{it}^2 + \gamma_5 (D_{it} \cdot \hat{R}_{it}) + \lambda Z_{it} \quad (2.7)$$

Cette spécification flexible permet de capter les non-linéarités via les termes quadratiques et l'interaction. Par ailleurs, l'ajout des covariables résiduelles permet de réduire la sensibilité de l'estimation aux imperfections du GPS, la réduction dimensionnelle par le seul score pouvant être, selon ([Wooldridge, 2010](#)), « somewhat illusory ». La Fonction Dose-Réponse (DRF), notée $\mu(d)$, est ensuite obtenue pour chaque niveau de traitement d , comme la moyenne des valeurs prédites sur l'ensemble de l'échantillon :

$$\hat{\mu}(d) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 d + \hat{\gamma}_2 d^2 + \hat{\gamma}_3 \hat{R}_{it}(d) + \hat{\gamma}_4 \hat{R}_{it}(d)^2 + \hat{\gamma}_5 (d \cdot \hat{R}_{it}(d)) + \hat{\lambda} Z_{it} \right) \quad (2.8)$$

Cette fonction dose-réponse est ensuite tracée pour représenter visuellement l'évolution de la valeur ajoutée agricole selon différents niveaux de dépenses publiques agricoles. Elle permet d'évaluer la forme de la relation (linéaire, croissante, décroissante, concave, etc.) ainsi que l'existence d'un optimum (effet décroissant ou inversé au-delà d'un seuil). La Figure 2.5 présente la fonction dose-réponse estimée avec des intervalles de confiance à 95% obtenus par approximation analytique des erreurs de prédiction issues

du modèle de résultat. Ils reflètent l'incertitude associée à l'estimation de la relation entre la valeur ajoutée agricole et le traitement conditionnellement au GPS et aux covariables. À titre de robustesse, la Figure 2.10 montre des intervalles de confiance construits par bootstrap par pays ($B = 500$), en réestimant à chaque réplication le modèle de traitement (GPS) et le modèle de résultat. Les deux approches conduisent à une forme très similaire de la courbe, les bandes bootstrap étant logiquement plus larges.

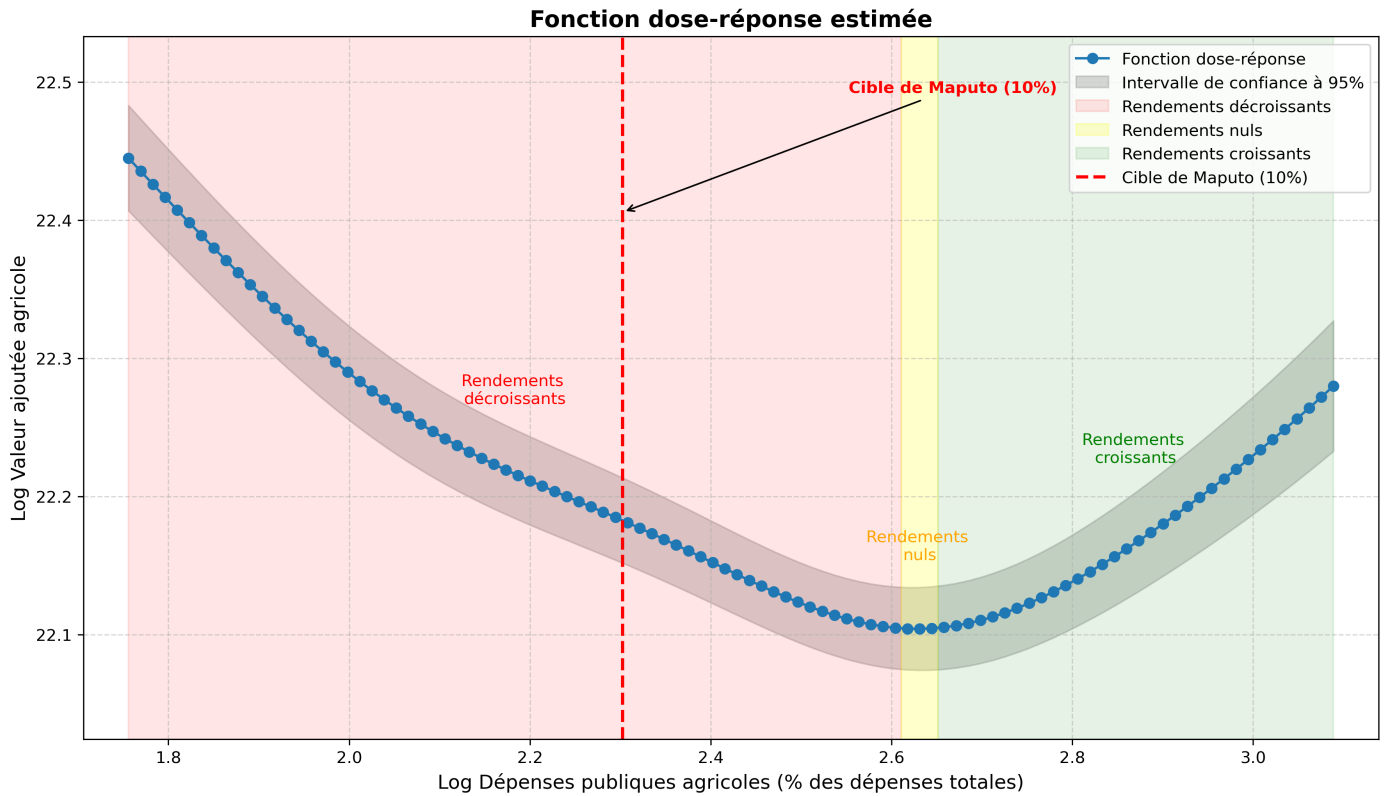


FIGURE 2.5 : Fonction dose-réponse estimée pour les dépenses publiques agricoles totales (% du budget national), avec zones de rendements décroissants (rouge), stables (jaune) et croissants (vert), et indication de la cible de Maputo à 10 % (ligne pointillée rouge)

Source : Auteur.

4 Résultats

4.1 Résultat principal

Les résultats empiriques mettent en évidence une relation non linéaire entre la part des dépenses publiques agricoles et la performance du secteur. La fonction dose-réponse estimée (Figure 2.5) permet d'identifier trois zones distinctes d'efficacité budgétaire. Dans la première zone (5,8 % à 13,4 % du budget), les rendements apparaissent décroissants. Une hausse de la part des dépenses agricoles est associée à une baisse de la valeur ajoutée agricole. Ce résultat suggère qu'à ces niveaux d'investissement, encore insuffisants, l'effort budgétaire peut produire des effets défavorables, dans la mesure où des montants limités sont dispersés entre de multiples postes, diluant ainsi leur intensité, et pouvant être orientés vers des dépenses à faible productivité marginale. La seconde zone (13,4 % à 14,2 %) correspond à un plateau de neutralité où l'intensité budgétaire s'accroît sans pour autant se traduire par une croissance agricole. Ce n'est qu'au-delà d'un seuil d'environ 14,2 % que la relation s'inverse positivement, générant des rendements croissant sur la valeur ajoutée agricole. Ces résultats suggèrent l'existence d'un plancher d'intensité budgétaire à partir duquel l'investissement public atteint une masse critique suffisante pour enclencher une transformation productive du secteur agricole. Cette conclusion remet en perspective la pertinence de la cible de Maputo. En se situant à 10 %, l'objectif de Maputo tombe dans la zone de rendements décroissants identifiée dans nos résultats. Par conséquent, le simple respect de cet engagement politique ne garantit pas l'émergence d'effets positifs sur la valeur ajoutée agricole. Nos résultats plaident pour un dépassement de cette cible, situant l'effort budgétaire minimal autour de 14–15 % pour générer un impact positif sur la croissance de la valeur ajoutée agricole.

4.2 Hétérogénéité

En affinant l'analyse par composante des dépenses publiques agricoles, on constate que tous les types de dépenses ne produisent pas les mêmes effets. Les fonctions dose-réponse estimées pour chacune des trois grandes composantes (transferts aux producteurs, transferts aux consommateurs, services collectifs) présentent des configurations contrastées.

- **Les transferts budgétaires aux producteurs**, composées à plus de 90 % de subventions aux intrants (engrais, semences, etc.), présentent également une relation non linéaire avec la performance agricole. La fonction dose-réponse estimée (Figure 2.6) met en évidence trois zones distinctes d'efficacité budgétaire. Les rendements sont décroissant sur la valeur ajoutée agricole lorsque les transferts aux producteurs sont inférieurs à 3,1 % du budget. Ils deviennent nuls entre 3,1 % et 3,3 %, puis croissants au-delà de 3,3 %. Cette dynamique suggère qu'à faible intensité, les transferts aux producteurs orientés majoritairement sur les subventions aux intrants, ne sont pas seulement inefficaces, mais négatifs pour la valeur ajoutée du secteur. Les travaux sur l'économie politique des subventions soutiennent que de faibles volumes de transferts sont particulièrement vulnérables à la captation par les élites locales (Mason & Jayne, 2013), détournant les ressources de leur usage productif. De plus, ces interventions peuvent créer des distorsions de marché et des comportements

de recherche de rente (Krueger, 1974) qui, en l'absence d'une couverture universelle, réduisent l'efficacité globale du secteur. Ce n'est qu'au-delà de 3,3 % du budget national qu'ils deviennent susceptibles de soutenir la croissance du secteur, probablement via une diffusion plus large des intrants ou des complémentarités avec d'autres investissements. Ces résultats ne contredisent pas les critiques formulées dans la littérature à l'encontre des subventions aux intrants en Afrique subsaharienne. Ils suggèrent plutôt que l'enjeu tient moins à l'existence des subventions aux intrants en tant que tels qu'à leur mise en œuvre à faible échelle et de manière insuffisamment ciblée, ainsi qu'à leur articulation avec les autres dépenses agricoles (Ricker-Gilbert et al., 2011; Jayne & Rashid, 2013; Ghins et al., 2017). Ils impliquent qu'une stratégie de dépenses agricoles fortement concentrée sur les subventions aux intrants peut produire des résultats très différents selon que l'on reste sous, ou au-dessus, du seuil d'efficacité budgétaire.

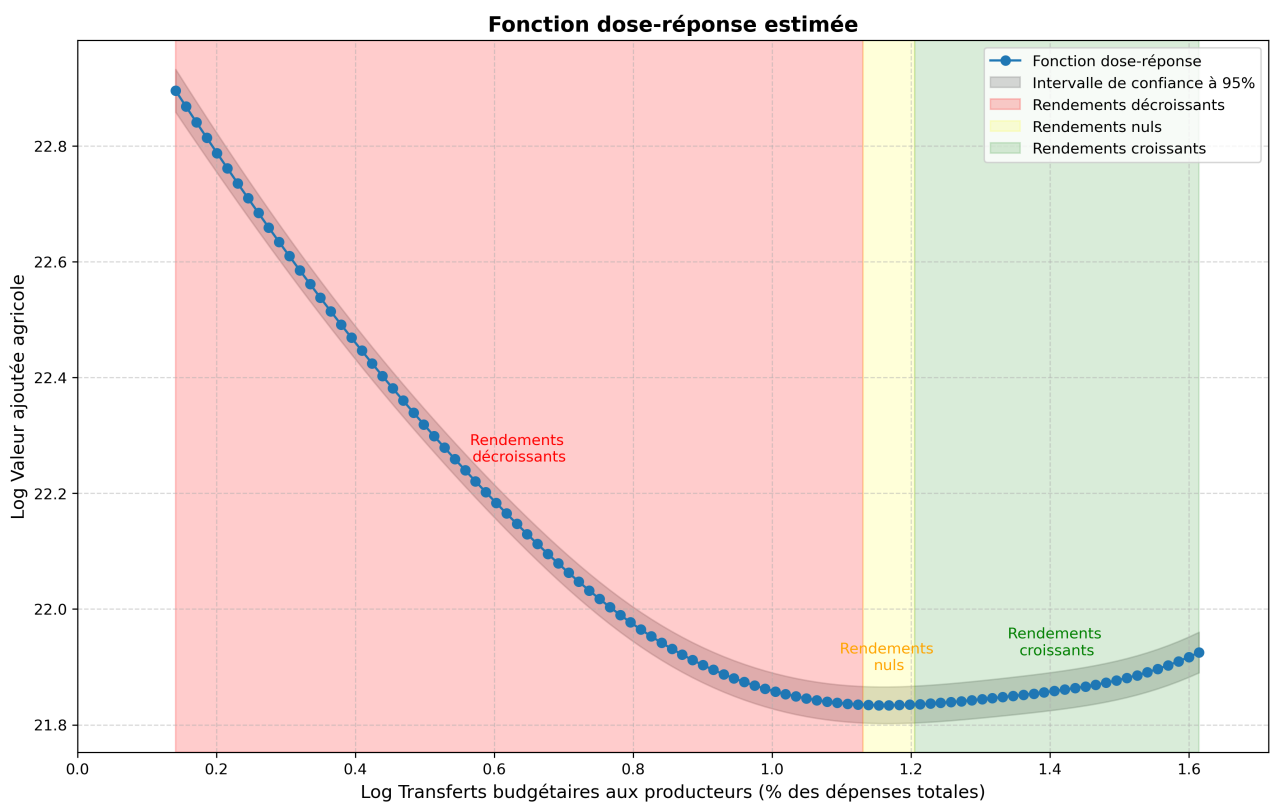


FIGURE 2.6 : Fonction dose-réponse estimée pour les Transferts budgétaires aux producteurs

Source : Auteur.

- Concernant les **Transferts budgétaires aux consommateurs** (subventions alimentaires, filets sociaux, alimentation scolaire), ils révèlent une relation non monotone en forme d'escalier, structurée également en trois zones d'efficacité budgétaire (Figure 2.7). En deçà de 1,31 % du budget national, la fonction dose réponse est croissante ce qui indique qu'une hausse de l'effort budgétaire en faveur des consommateurs est associée à une augmentation de la valeur ajoutée agricole. Cette dynamique traduit potentiellement des effets d'entraînement sur la demande et les débouchés, via le soutien au pouvoir d'achat, la stabilisation de la demande alimentaire et la sécurisation des

débouchés, ce qui peut accroître les incitations à produire et soutenir l'activité du secteur. Entre 1,31 % et 1,69 %, l'apparition du palier suggère une saturation des effets bénéfiques, pouvant refléter deux mécanismes concomitants. D'une part, dans les pays de l'échantillon, ces dépenses financent des dispositifs d'intervention sur les marchés, tels que l'OPVN ¹ au Niger, l'ADMARC ² au Malawi ou la SONAGESS ³ au Burkina Faso, qui opèrent notamment via des points de vente de céréales locales (maïs, mil, sorgho, riz) à prix social. La stagnation pourrait alors résulter de contraintes structurelles d'offre sur ces céréales de base, limitant la capacité du secteur à répondre à une demande subventionnée croissante. D'autre part, bien que les agences s'appuient souvent sur des achats de céréales locales (maïs, mil, sorgho, riz) plutôt que sur des importations, leur objectif de protection du pouvoir d'achat, en particulier urbain, implique une compression des prix à la consommation. L'intervention publique peut alors jouer un rôle de plafond sur les prix de marché, limitant la capacité des producteurs à capter les rentes saisonnières liées à la rareté. Ce constat soutient l'hypothèse d'un « biais urbain » dans les politiques de sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne, où le soutien au consommateur se fait au détriment de la valorisation de la production agricole (Bates, 1981). La reprise de la croissance de la DRF intervient au-delà de 1,69 % d'effort budgétaire. Cela suggère que cette intensité budgétaire permet de dépasser les contraintes associés à la stagnation. À ce niveau d'effort budgétaire, les transferts aux consommateurs pourraient davantage s'institutionnaliser sous la forme d'une demande structurée, notamment via des programmes d'alimentation scolaire et de réserves institutionnelle adossés à l'approvisionnement local. Contrairement aux interventions ponctuelles de stabilisation des prix, ces dispositifs offrent des débouchés sécurisés, susceptibles de réduire le risque de marché pour les producteurs (Sumburg & Sabates-Wheeler, 2011) et stimuler la croissance du secteur.

¹Office des Produits Vivriers du Niger

²Agricultural Development and Marketing Corporation

³Société Nationale de Gestion du Stock de Sécurité Alimentaire

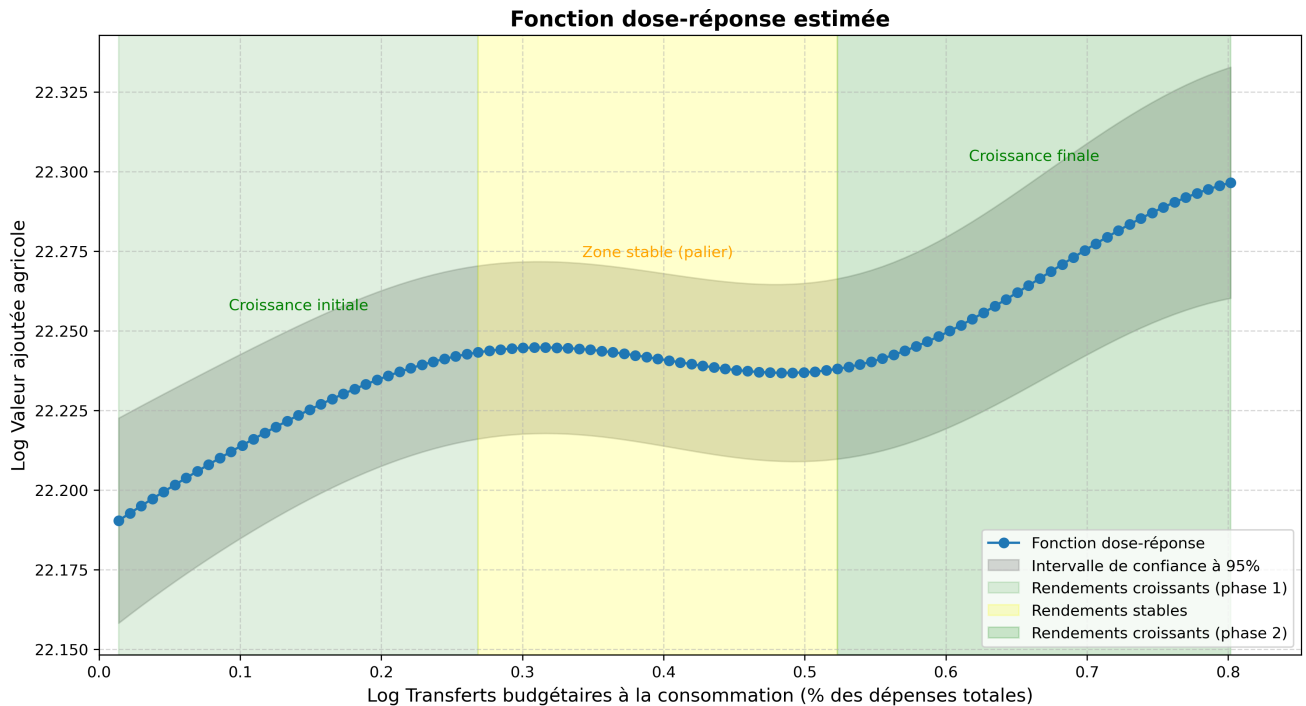


FIGURE 2.7 : Fonction dose-réponse estimée pour les Transferts budgétaires aux consommateurs

Source : Auteur.

- Contrairement aux dépenses de transferts privés qui présentent des signes d'inefficacité et de saturation, les **services collectifs** (biens publics tels que la recherche agronomique, les infrastructures rurales, les services de formation et de vulgarisation) révèlent une fonction dose-réponse strictement croissante et convexe sur la valeur ajoutée agricole (Figure 2.8). La fonction dose réponse ne montre aucun point de retournement ni de palier de saturation. Au contraire, la pente s'accroît à mesure que l'intensité budgétaire augmente, ce qui suggère qu'une intensification de l'effort budgétaire consacré aux biens et services collectifs est associée à une amélioration de la performance du secteur. Ce résultat est en cohérence avec la littérature qui met en avant le rôle central des biens publics agricoles (recherche, infrastructures, vulgarisation) dans la croissance du secteur dans les pays en développement (Elías, 1985; Fan et al., 2000; Fan & Thorat, 2007; Dewbre & Borot de Battisti, 2008; Fan et al., 2008). En outre, la ligne verticale représentant la cible de Maputo intercepte la courbe dans une zone de croissance forte. Ce qui implique que l'objectif de Maputo n'est pas intrinsèquement inefficace, mais qu'il le devient en raison de la mauvaise qualité allocative observée au niveau agrégé. Le seuil élevé de 14-15 % identifié dans notre résultat principal représente ainsi le coût de cette inefficacité allocative. Un constat qui souligne que ce n'est pas le volume de dépense en soi qui garantit la performance, mais aussi sa qualité allocative.

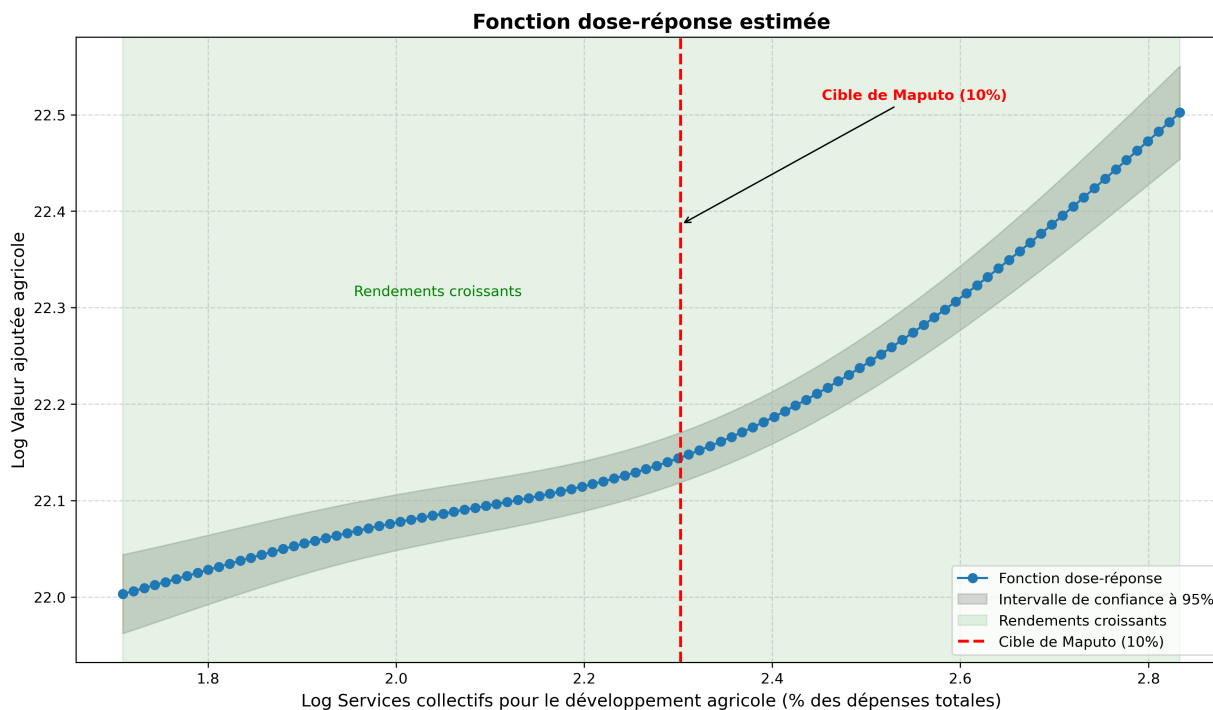


FIGURE 2.8 : Fonction dose-réponse estimée pour les Services collectifs avec indication de la cible de Maputo (10%)

Source : Auteur.

4.3 Robustesse

Nous conduisons une série de tests de robustesse afin d'évaluer la stabilité de la forme estimée de la fonction dose-réponse (DRF). En premier lieu, nous réestimons la fonction dose-réponse entre la part des dépenses publiques agricoles et la valeur ajoutée agricole par Bootstrap (500 itérations). La forme de la DRF est conservée, ce qui renforce la robustesse du résultat même si les intervalles de confiance s'élargissent sur l'ensemble de la distribution, avec une amplification aux niveaux les plus faibles et les plus élevés du traitement (Figure 2.10).

En second lieu, la sensibilité du résultat au choix de la variable dépendante est évaluée en substituant à la valeur ajoutée agricole à des mesures alternatives de performance. L'utilisation du logarithme de la valeur ajoutée agricole rapportée au PIB ($\log(\text{VA ag}/\text{PIB})$) reproduit une dynamique similaire de la DRF (Figure 2.11). De plus, l'obtention d'une dynamique similaire lorsque la variable de résultat est le PIB global ($\log(\text{PIB})$) soutient l'hypothèse d'une transformation structurelle (Figure 2.12). Ce résultat suggère qu'au-delà du seuil critique identifié (14-15 %), l'efficacité de la dépense publique agricole cesse d'être confinée au seul secteur agricole pour générer des externalités positives sur l'ensemble de l'économie (Gollin et al., 2002; Tiffin & Irz, 2006; Timmer, 2009). L'agriculture passe alors d'un statut de secteur assisté à celui de moteur de croissance, tirant la performance macroéconomique globale via des effets d'entraînement intersectoriels.

En outre, la fonction de réponse des rendements céréaliers (t/ha) présente une trajectoire monotone strictement croissante (Figure 2.13). Ce contraste par rapport à la valeur ajoutée agricole suggère que

l'effort budgétaire améliore relativement tôt la productivité physique, mais que la conversion de ces gains en valeur ajoutée est limitée à faible intensité budgétaire.

5 Discussion et recommandations

5.1 Discussion

Ces résultats s'inscrivent dans les enseignements de la littérature tout en apportant des éléments de nuance contextuelle pour l'Afrique subsaharienne. Premièrement, nos résultats confirment que les dépenses publiques agricoles peuvent stimuler la croissance du secteur, à condition qu'elles atteignent un niveau suffisant et qu'elles soient orientées vers les catégories les plus productives. Ce constat rejoint les travaux menés dans d'autres régions du monde. En Asie, plusieurs études ont mis en évidence que les investissements publics dans la recherche agricole, l'éducation rurale et les infrastructures génèrent des gains de productivité supérieurs à ceux obtenus par des subventions aux intrants privés. [Fan et al. \(2008\)](#) en Inde et [Gulati et al. \(2018\)](#) en Asie du Sud ont notamment montré qu'un dollar public investi dans les biens publics agricoles produit des effets nettement plus importants sur la croissance agricole et la réduction de la pauvreté qu'un dollar alloué aux subventions directes. De même, [Fan et al. \(2004\)](#) ont observé en Chine un impact plus marqué des investissements dans les routes rurales et l'éducation sur la réduction de la pauvreté que des subventions directes aux producteurs.

Les résultats obtenus pour notre échantillon de pays africains corroborent ces évidences observées dans d'autres contextes. Ils montrent que c'est principalement via les dépenses de nature productive (biens publics) que l'État peut stimuler la valeur ajoutée agricole, alors que les dépenses de transfert aux producteurs tendent à avoir un rendement moindre, voire nul ou négatif. Ce constat rejoint les conclusions des travaux de [Benin et al. \(2009\)](#) et [Mogues et al. \(2012\)](#), qui avaient mis en évidence une hétérogénéité des effets selon le type de dépense. Cependant, nos résultats vont plus loin en identifiant une « zone toxique » à faible niveau de dépense où l'effet est négatif, suggérant des phénomènes de captation politique et de recherche de rente ([Krueger, 1974](#); [Mason & Jayne, 2013](#)) qui détruisent la valeur ajoutée plutôt que de la créer. Plus largement, ces résultats soutiennent que « la qualité de la dépense importe autant que son niveau ».

Deuxièmement, nos résultats apportent un éclairage sur la non-linéarité de l'effet des dépenses publiques agricoles, en identifiant un seuil budgétaire critique plus élevé que prévu. Les cibles politiques fixées dans les cadres continentaux, notamment la Déclaration de Maputo (2003) et son renouvellement à Malabo (2014), ont proposé un objectif minimum de 10 %, s'inspirant des trajectoires observées dans certains pays d'Asie ou d'Amérique latine (qui allouaient environ 10 % de leur budget à l'agriculture) lors de leurs phases de forte croissance agricole ([Goyal & Nash, 2017](#)). Or, les résultats présentés ici montrent que les effets positifs sur la valeur ajoutée agricole apparaissent de manière significative uniquement à partir d'un effort budgétaire supérieur à 14,2 %. En se situant à 10 %, l'objectif de Maputo tombe malheureusement dans une zone de rendements décroissants ou de neutralité. Ce qui

signifie que les pays africains qui consacrent au minimum 10 % de leurs dépenses à l'agriculture ne peuvent espérer en tirer qu'un effet marginal nul ou négatif sur la croissance agricole. Ce constat aide à expliquer pourquoi, plus de vingt ans après Maputo, la croissance agricole n'a pas atteint les résultats attendus. La plupart des États n'ont pas atteint durablement le niveau d'effort requis, avec des dépenses publiques agricoles représentant en moyenne environ 3 % du budget total au cours de la dernière décennie (ReSAKSS, 2020). Toutefois, les résultats observés sur les services collectifs nuancent ce constat. Si l'effort de 10 % était majoritairement alloué aux biens publics, il se situerait dans une zone de forte croissance. Le blocage n'est donc pas le volume de 10 % en soi, mais sa composition. En l'absence d'une masse critique d'investissement bien orientée, les conditions nécessaires à une croissance agricole ne sont pas réunies. En ce sens, nos résultats offrent un éclairage aux décideurs pour justifier l'augmentation des dépenses agricoles, non seulement en termes de priorité politique, mais aussi en tant que levier efficace de croissance économique et de réduction de la pauvreté comme le soutient la déclaration de Malabo (Union africaine, 2014). Elle suggère qu'il ne suffit pas d'investir un peu plus, il faut investir assez et investir mieux pour enclencher une trajectoire de croissance agricole.

Troisièmement, il convient de discuter les implications plus larges de ces résultats en termes de politiques publiques agricoles. L'évidence de rendements décroissants entre les transferts directs aux producteurs et la performance agricole est cohérente avec les critiques théoriques et empiriques formulées à l'encontre des subventions aux intrants. En effet, ces mécanismes tendent à générer des effets d'éviction budgétaire au détriment de dépenses structurantes, sans garantir de croissance agricole, voire en devenant contre-productifs lorsqu'ils sont captés par des intérêts particuliers (Jayne & Rashid, 2013). Cette inefficience pourrait également trouver une explication structurelle dans ce que nous enseignent l'évolution de la DRF des rendements céréaliers en comparaison à celle sur la valeur ajoutée. Si la dépense publique parvient à stimuler les rendements physiques dès les faibles niveaux d'investissement, elle échoue à convertir ce surplus en valeur économique. Ce découplage illustre l'argument de Barrett (2008) selon lequel, en l'absence d'infrastructures adéquates (biens publics), l'augmentation de l'offre physique déprime les prix locaux, neutralisant les gains économiques. Cette analyse s'aligne également avec la conclusion de Timmer (2009) pour qui la transformation structurelle exige de lier l'offre agricole à une demande solvable pour éviter que les gains de productivité ne se traduisent par une chute des revenus.

Dès lors, l'effet positif significatif des dépenses en services collectifs réaffirme le rôle central de l'État dans la correction de ces imperfections de marché via la fourniture de biens publics (recherche, infrastructures, formation). Ces investissements dans les biens collectifs génèrent des externalités qui ne sont pas valorisées par le marché et que le secteur privé ne peut apporter. Nos conclusions apportent ainsi un soutien empirique aux plaidoyers pour un réinvestissement public massif, tel que préconisé par Goyal & Nash (2017) et Pernechele et al. (2021), qui soulignent l'impératif de réallouer les ressources vers les services collectifs agricoles.

Le réinvestissement des pouvoirs publics dans l'agriculture doit tenir compte de la non-linéarité des effets entre le volume des dépenses et leur efficacité. Comme l'indiquent nos résultats, un effort budgétaire restant en deçà d'un certain seuil produit un impact limité, risquant de conduire à la conclusion erronée d'une inefficacité intrinsèque de la dépense publique. Il apparaît donc que c'est l'insuffisance des

montants, conjuguée à leur allocation inefficace, qui explique l'absence de résultats. Cette distinction est essentielle, tant sur le plan académique que pour les débats de politique publique. Elle implique que les gouvernements ne devraient pas réduire l'effort face à des résultats mitigés, mais au contraire le renforcer pour atteindre le seuil d'efficacité opérationnelle.

Enfin, bien que les transferts budgétaires destinés aux consommateurs soient traditionnellement moins mobilisés dans les politiques agricoles que les soutiens directs aux producteurs ou les services collectifs, nos résultats suggèrent qu'il constitue un complément pertinent pour stimuler la croissance sectorielle. Lorsque des mécanismes tels que les subventions alimentaires ou les transferts sociaux renforcent le pouvoir d'achat des consommateurs, ils peuvent contribuer à une croissance de la demande intérieure, ce qui améliore les incitations économiques à produire. Cette logique de transmission par la demande rejoint certains travaux sur les effets multiplicateurs des programmes de transferts en milieu rural, qui montrent que ces transferts peuvent, dans certains contextes, être partiellement réalloués à l'investissement agricole et conduire à des gains de productivité (Fisher et al., 2017; Hajdu et al., 2020; Asfaw et al., 2014; Ambler et al., 2020). Par ailleurs, la non-linéarité de la relation apporte un éclairage sur la structuration des marchés agricoles. L'existence d'un palier de stagnation, suivi d'une reprise de la croissance au-delà d'un certain seuil, suggère des rendements limités des interventions de faible ampleur et renvoie à l'idée que l'efficacité des soutiens à la consommation dépend fortement de leur échelle et de leurs modalités de mise en œuvre. Au-delà d'un certain niveau, ces instruments peuvent contribuer à stabiliser et régulariser les débouchés, en se rapprochant de formes de demande plus prévisible et institutionnalisée, susceptibles de renforcer la coordination des filières et les incitations à investir (Sumberg & Sabates-Wheeler, 2011). Dans cette perspective, le soutien à la consommation ne se réduit pas à une mesure sociale, mais peut aussi, sous certaines conditions, constituer un levier de politique agricole visant à sécuriser les débouchés indispensables à la croissance du secteur.

5.2 Recommandations

À la lumière de ces résultats, plusieurs recommandations se dessinent pour orienter les politiques budgétaires agricoles en Afrique subsaharienne. Les décideurs publics devraient agir simultanément sur le niveau global des dépenses et sur leur composition afin de maximiser l'impact sur la croissance du secteur agricole :

- **Viser au-delà de la cible de Maputo pour atteindre le seuil critique** : les gouvernements devraient non seulement respecter l'engagement de Maputo (10 %), mais viser à porter les dépenses publiques agricoles vers un seuil cible de 14 à 15 % des dépenses totales. Nos résultats montrent en effet que la cible de 10 % se situe encore dans une zone de rendements constants, voire décroissants. Atteindre ce seuil supérieur de 15 % apparaît comme une condition nécessaire pour sortir de la zone de stagnation et enclencher la transformation structurelle du secteur. Cela implique d'augmenter graduellement les budgets alloués à l'agriculture, en dépit des contraintes fiscales. Des arbitrages budgétaires forts sont justifiés par le fait qu'au-delà de ce point d'inflexion, l'efficacité de la dépense publique ne se limite plus au secteur agricole mais tire l'ensemble de

l'économie. Les partenaires techniques et financiers peuvent appuyer cet effort en conditionnant une partie de leur aide budgétaire à une trajectoire de dépassement de la cible de Maputo. Il importe toutefois de ne pas sacrifier la qualité à la quantité. La hausse des enveloppes budgétaires doit s'accompagner d'une bonne gouvernance et d'une allocation optimale entre postes de dépenses.

- **Prioriser les biens publics agricoles** : une réallocation interne du budget agricole est préconisée en faveur des dépenses ayant les plus forts multiplicateurs sur la croissance du secteur. Il s'agit d'augmenter la part des ressources consacrées aux services collectifs pour le développement agricole : recherche agronomique, vulgarisation et conseil agricole, infrastructures agricoles et rurales (routes, irrigation, stockage), formation des agriculteurs etc. Ces postes doivent devenir prioritaires dans l'utilisation des fonds publics, car ce sont eux qui génèrent des externalités positives durables sur la croissance. Selon le Global Food Policy Report (IFPRI, 2020), consacrer 1 % du PIB agricole à la recherche en Afrique subsaharienne permettrait d'accroître la productivité agricole de plus de 60 % d'ici à 2050. Cette recommandation est cohérente avec les conclusions de nombreuses études (Goyal & Nash, 2017; Pernechele et al., 2021) qui plaident pour un retour de l'État dans ses fonctions stratégiques de soutien productif (infrastructures, innovation).
- **Repenser les subventions aux producteurs** : au vu des rendements décroissants observés, les transferts budgétaires directs aux producteurs (subventions aux intrants) devraient être repensés ou réorientés. Plutôt que d'abolir purement et simplement tout soutien aux producteurs, ce qui pourrait être politiquement difficile et potentiellement préjudiciable à court terme pour certains agriculteurs vulnérables, il convient d'accroître l'efficacité de ces dépenses. Cela peut passer par une meilleure ciblage des subventions (par exemple, focaliser les intrants subventionnés sur les petits exploitants pauvres ou sur les cultures stratégiques à fort potentiel), par des programmes de subventions conditionnelles à des pratiques agricoles durables, ou expérimenter d'autres mécanismes comme les soutiens au revenu des producteurs, beaucoup utilisés au sein de la politique agricole commune de l'Union européenne. L'objectif est de réduire le poids budgétaire des soutiens peu productifs, tout en accompagnant les agriculteurs, avec des moyens limités, vers une plus grande efficacité. Il s'agit de passer d'une logique de subvention récurrente, souvent reconduite sans condition (IPAR, 2015), à une logique d'investissement dans le capital productif agricole.
- **Transformer le soutien à la consommation** : nos résultats montrent que les transferts aux consommateurs peuvent ralentir la croissance agricole s'ils se limitent à des objectifs sociaux (biais urbain), mais la stimulent lorsqu'ils s'inscrivent dans la structuration d'une demande institutionnelle. Dans un contexte de vulnérabilité alimentaire structurelle, l'opposition entre soutien aux consommateurs et appui aux producteurs doit être dépassée au profit d'une approche synergique. Plutôt que de recourir à des mécanismes de stabilisation généralisée des prix, qui protègent le pouvoir d'achat urbain au prix d'une dévalorisation de la production agricole, il est

recommandé de privilégier des instruments de demande structurée. Les politiques de protection sociale gagneraient à s'appuyer sur des transferts monétaires ciblés ou des programmes d'achats institutionnels (cantines scolaires, constitution de stocks stratégiques locaux) qui garantissent un débouché rémunérateur aux agriculteurs tout en sécurisant les populations vulnérables. Cette stratégie de « filets sociaux productifs » permet de transformer la contrainte de sécurité alimentaire en opportunité de marché, en assurant que la protection des plus pauvres ne se fasse pas au détriment de l'incitation économique nécessaire à la croissance du secteur.

- **Améliorer l'efficacité et la gouvernance des dépenses publiques agricoles** : augmenter et réorienter les budgets ne produira des résultats que si ces fonds sont gérés de manière efficiente. Il est donc recommandé de renforcer les mécanismes de planification, de suivi et d'évaluation des dépenses publiques agricoles. L'adoption d'un cadre pluriannuel de programmation budgétaire pour l'agriculture permettrait d'assurer une intensité budgétaire continue dans le temps, en cohérence avec les cibles stratégiques fixées, et d'éviter les discontinuités susceptibles de réduire, voire d'annuler, les efforts consentis. De plus, améliorer la transparence budgétaire (via des rapports publics et l'implication des organisations de producteurs dans le suivi des engagements de Maputo) peut aider à maintenir la pression pour respecter les cibles et éviter la dispersion des fonds dans des programmes à faible efficacité.

6 Conclusion

Ce chapitre montre que l'efficacité des dépenses publiques agricoles en Afrique subsaharienne dépend autant de leur volume que de leur allocation. Si l'objectif de 10 % (déclaration de Maputo) reste un minimum nécessaire, nos résultats situent le véritable seuil de rentabilité autour de 14-15 % du budget total. C'est à ce niveau que l'investissement public déclenche une croissance sectorielle et génère des gains significatifs de valeur ajoutée pour l'agriculture et le PIB global. La composition des dépenses est tout aussi cruciale. Les biens publics (recherche, infrastructures) s'imposent comme le levier de croissance le plus efficace. En revanche, les transferts (producteurs/consommateurs) ne produisent des effets positifs qu'à forte intensité, en deçà, ils risquent de créer des inefficacités.

Ces résultats invitent à repenser les stratégies budgétaires en privilégiant des dépenses génératrices d'externalités positives et propices à la croissance du secteur agricole. Ils suggèrent également que la performance actuelle de l'agriculture en Afrique subsaharienne ne résulte pas d'une inefficacité intrinsèque de la dépense publique, mais d'un niveau insuffisant et d'une allocation sous-optimale dans ces différentes composantes. Enfin, le chapitre met en évidence que les transferts aux consommateurs présentent des rendements croissants sur la valeur ajoutée agricole, ce qui ouvre une perspective de recherche sur leurs effets multiplicateurs et leurs interactions avec les politiques de soutien à l'offre.

Annexes

Annexe 1. Tests complémentaires d'équilibres des covariables

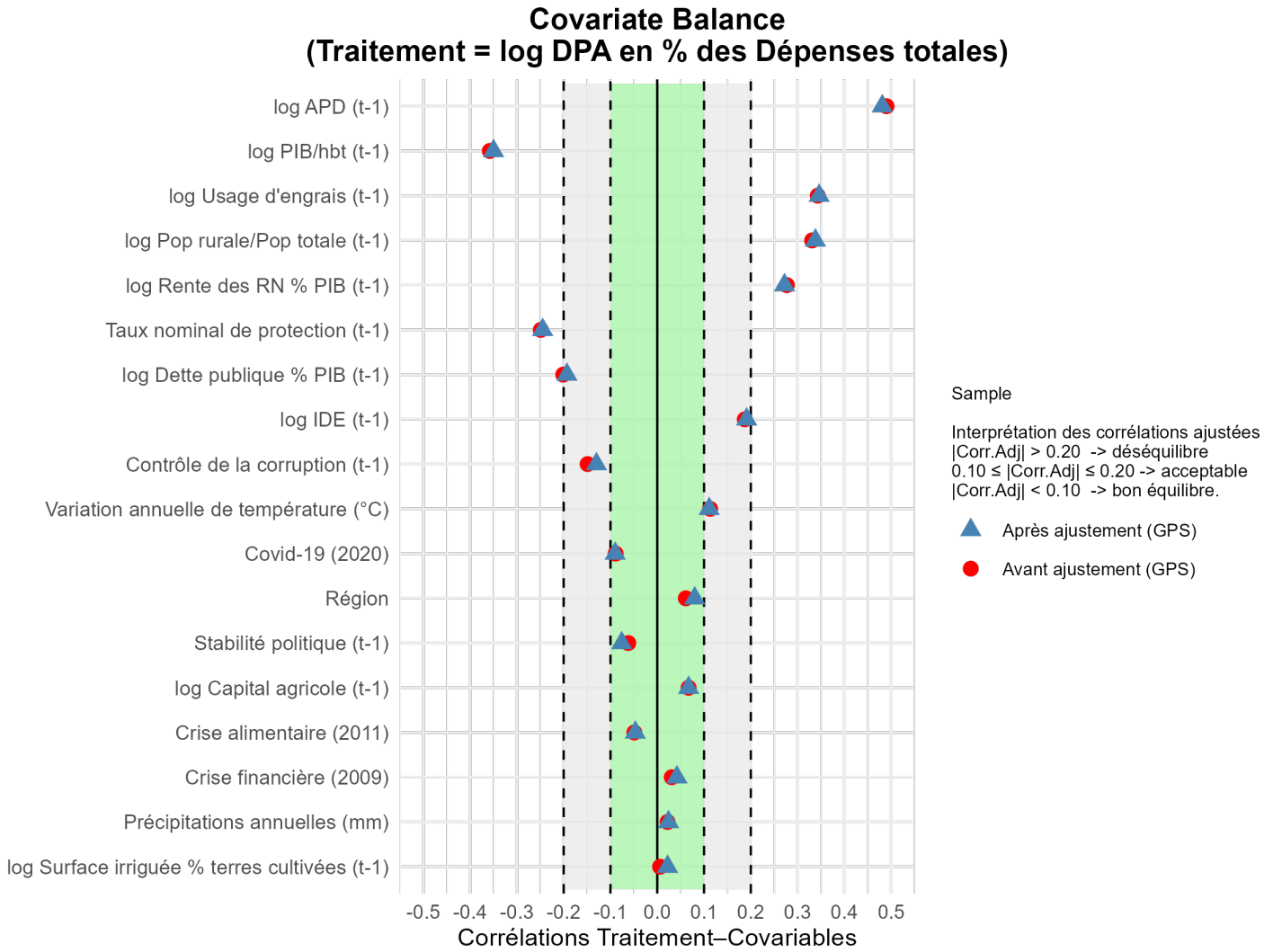


FIGURE 2.9 : Équilibre des covariables avant et après ajustement du GPS. Les corrélations ajustées sont interprétées comme suit : $Corr.Adj < 0,10$: bon équilibre ; entre 0,10 et 0,20 : acceptable ; $> 0,20$: déséquilibre

Source : Auteur.

TABLE 2.3 : Test d'équilibrage des covariables (traitement : transferts aux producteurs)

Covariable	Stat t (brute)	p-val. brute	Stat t (ajustée)	p-val. ajustée	Décision
log Transferts consommateurs (t-1)	1.42	0.158	1.16	0.249	OK
log Services collectifs (t-1)	2.93	0.004	2.52	0.012	(Ajouté au modèle DR)
log PIB/hab (t-1)	5.16	0.000	5.04	0.000	(Ajouté au modèle DR)
log Pop rurale % Pop tot (t-1)	3.98	0.000	3.86	0.000	(Ajouté au modèle DR)
log Dette publique % PIB (t-1)	2.72	0.007	2.27	0.024	(Ajouté au modèle DR)
Contrôle de la corruption (t-1)	1.18	0.238	1.61	0.110	OK
Stabilité politique (t-1)	0.22	0.827	0.08	0.935	OK
log APD (t-1)	0.81	0.421	0.44	0.660	OK
log IDE (t-1)	6.47	0.000	6.28	0.000	(Ajouté au modèle DR)
log Rente ress. nat.% PIB (t-1)	2.63	0.009	2.68	0.008	(Ajouté au modèle DR)
Protection nominale agricole (t-1)	1.72	0.087	1.85	0.066	OK
log Capital agricole (t-1)	7.81	0.000	8.26	0.000	(Ajouté au modèle DR)
log Usage d'engrais kg/ha (t-1)	2.67	0.008	3.19	0.002	(Ajouté au modèle DR)
log Surface irriguée % terres cultivées (t-1)	0.15	0.878	0.04	0.966	OK
Précipitations (mm)	1.98	0.049	2.24	0.026	(Ajouté au modèle DR)
Variation température annuelle (°C)	0.04	0.970	0.34	0.735	OK
Année 2009 (Crise financière)	0.65	0.514	0.51	0.608	OK
Année 2011 (Crise alimentaire)	0.14	0.892	0.46	0.649	OK
Année 2020 (Covid-19)	1.17	0.244	1.27	0.207	OK
Région (cluster)	3.60	0.000	3.59	0.000	(Ajouté au modèle DR)

TABLE 2.4 : Test d'équilibrage des covariables (traitement : transferts aux consommateurs)

Covariable	Stat t (brute)	p-val. brute	Stat t (ajustée)	p-val. ajustée	Décision
log Transferts producteurs (t-1)	0.41	0.685	0.17	0.863	OK
log Services collectifs (t-1)	2.29	0.023	1.53	0.129	OK
log PIB/hab (t-1)	2.06	0.041	1.32	0.189	OK
log Pop rurale % Pop tot (t-1)	1.37	0.172	0.18	0.859	OK
log Dette publique % PIB (t-1)	5.83	0.000	6.15	0.000	(Ajouté au modèle DR)
Contrôle de la corruption (t-1)	1.42	0.158	0.99	0.324	OK
Stabilité politique (t-1)	3.55	0.001	2.85	0.005	(Ajouté au modèle DR)
log APD (t-1)	3.32	0.001	2.83	0.005	(Ajouté au modèle DR)
log IDE (t-1)	2.52	0.013	2.60	0.010	(Ajouté au modèle DR)
log Rente ress. nat.% PIB (t-1)	3.03	0.003	2.28	0.024	(Ajouté au modèle DR)
Protection nominale agricole (t-1)	0.70	0.485	0.45	0.655	OK
log Capital agricole (t-1)	0.97	0.335	0.90	0.370	OK
log Usage d'engrais kg/ha (t-1)	2.04	0.043	1.96	0.051	OK
log Surface irriguée % terres cultivées (t-1)	5.76	0.000	6.39	0.000	(Ajouté au modèle DR)
Précipitations (mm)	0.33	0.744	0.35	0.725	OK
Variation température annuelle (°C)	0.78	0.434	0.68	0.497	OK
Année 2009 (Crise financière)	0.69	0.488	0.50	0.619	OK
Année 2011 (Crise alimentaire)	0.23	0.820	0.51	0.611	OK
Année 2020 (Covid-19)	1.18	0.241	1.04	0.302	OK
Région (cluster)	2.63	0.009	3.05	0.003	(Ajouté au modèle DR)

TABLE 2.5 : Test d'équilibrage des covariables (traitement : services collectifs)

Covariable	Stat t (brute)	p-val. brute	Stat t (ajustée)	p-val. ajustée	Décision
log Transferts producteurs (t-1)	1.98	0.049	1.58	0.117	OK
log Transferts consommateurs (t-1)	0.93	0.356	0.79	0.430	OK
log PIB/hab (t-1)	1.74	0.084	1.81	0.072	OK
log Pop rurale % Pop tot (t-1)	1.51	0.134	1.66	0.098	OK
log Dette publique % PIB (t-1)	1.27	0.205	0.96	0.338	OK
Contrôle de la corruption (t-1)	1.43	0.154	1.48	0.141	OK
Stabilité politique (t-1)	3.04	0.003	2.89	0.004	AJOUTER (DR)
log APD (t-1)	4.46	0.000	4.33	0.000	AJOUTER (DR)
log IDE (t-1)	1.87	0.064	1.87	0.063	OK
log Rente ress. nat. % PIB (t-1)	0.37	0.709	0.46	0.648	OK
Protection nominale agricole (t-1)	0.70	0.484	0.61	0.541	OK
log Capital agricole (t-1)	0.68	0.500	0.62	0.538	OK
log Usage d'engrais kg/ha (t-1)	2.34	0.021	2.09	0.038	AJOUTER (DR)
log Surface irriguée % terres cultivées (t-1)	1.60	0.112	1.88	0.062	OK
Précipitations (mm)	1.17	0.244	1.37	0.172	OK
Variation température annuelle (°C)	0.14	0.887	0.16	0.870	OK
Année 2009 (Crise financière)	0.47	0.639	0.54	0.589	OK
Année 2011 (Crise alimentaire)	0.95	0.346	0.82	0.415	OK
Année 2020 (Covid-19)	0.64	0.522	0.43	0.666	OK

Annexe 2. Fonction dose-réponse des robustesses

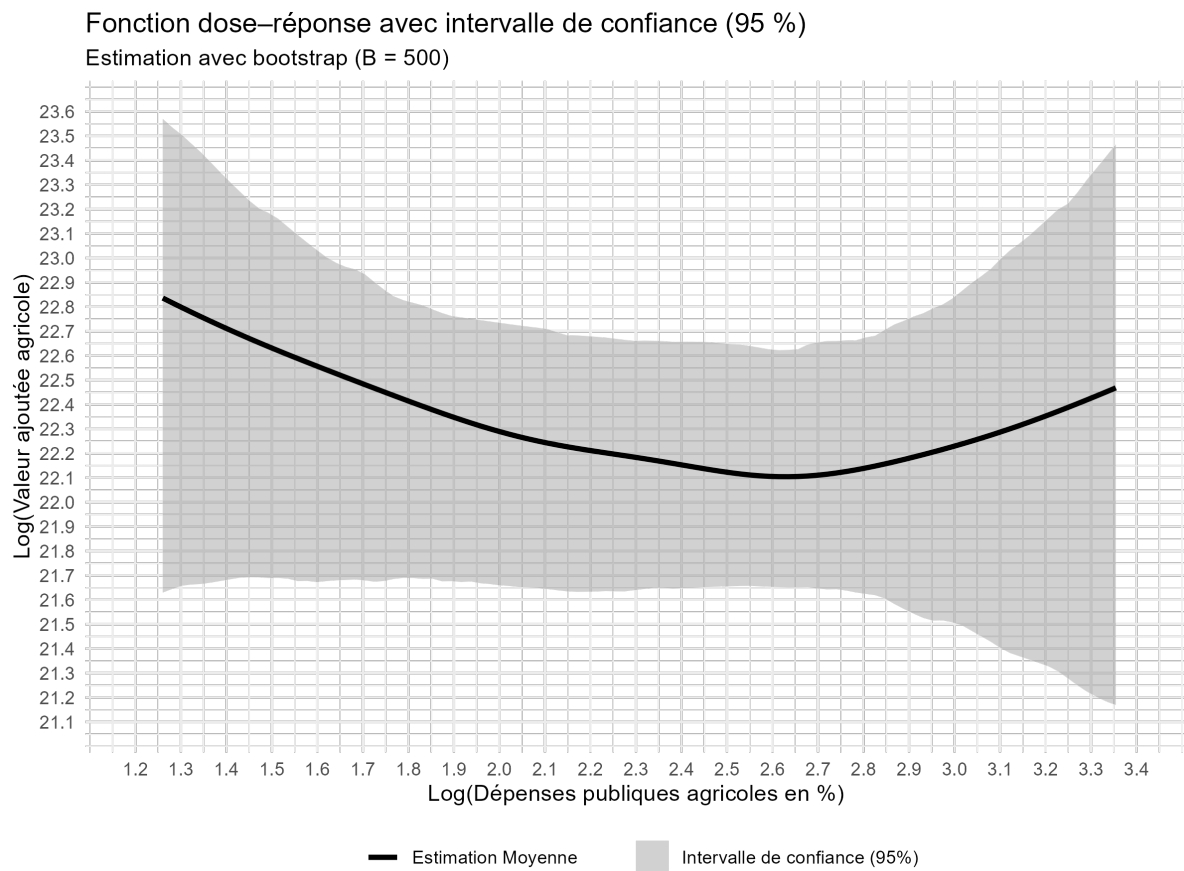


FIGURE 2.10 : Fonction dose-réponse estimée pour les dépenses publiques agricoles (% dépenses totales) avec bandes de confiance obtenues par bootstrap (5 00 réplifications) – test de robustesse de la Figure 2.5.

Source : Auteur.

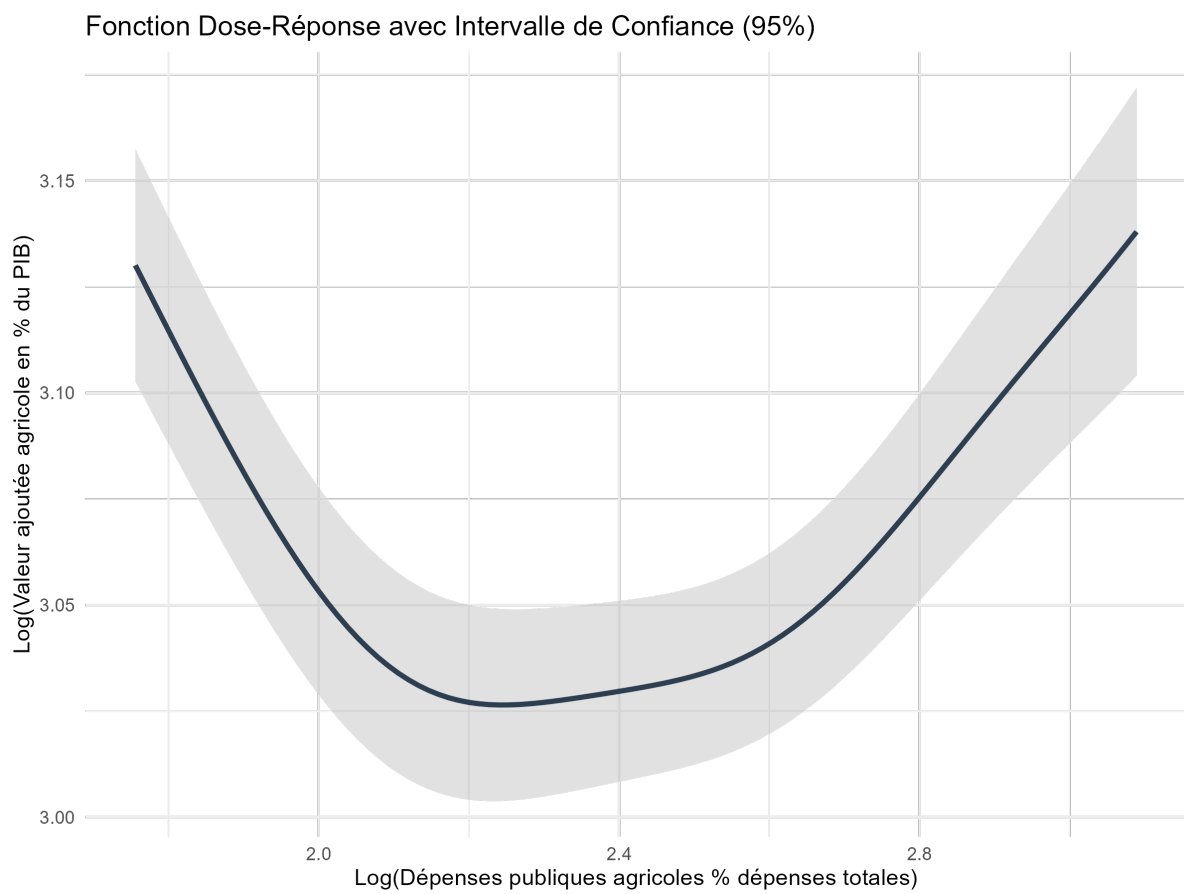


FIGURE 2.11 : Fonction dose-réponse estimée des DPA (% Dépenses totales) sur la Valeur ajoutée agricole (% du PIB)

Source : Auteur.

Fonction Dose-Réponse avec Intervalle de Confiance (95%)

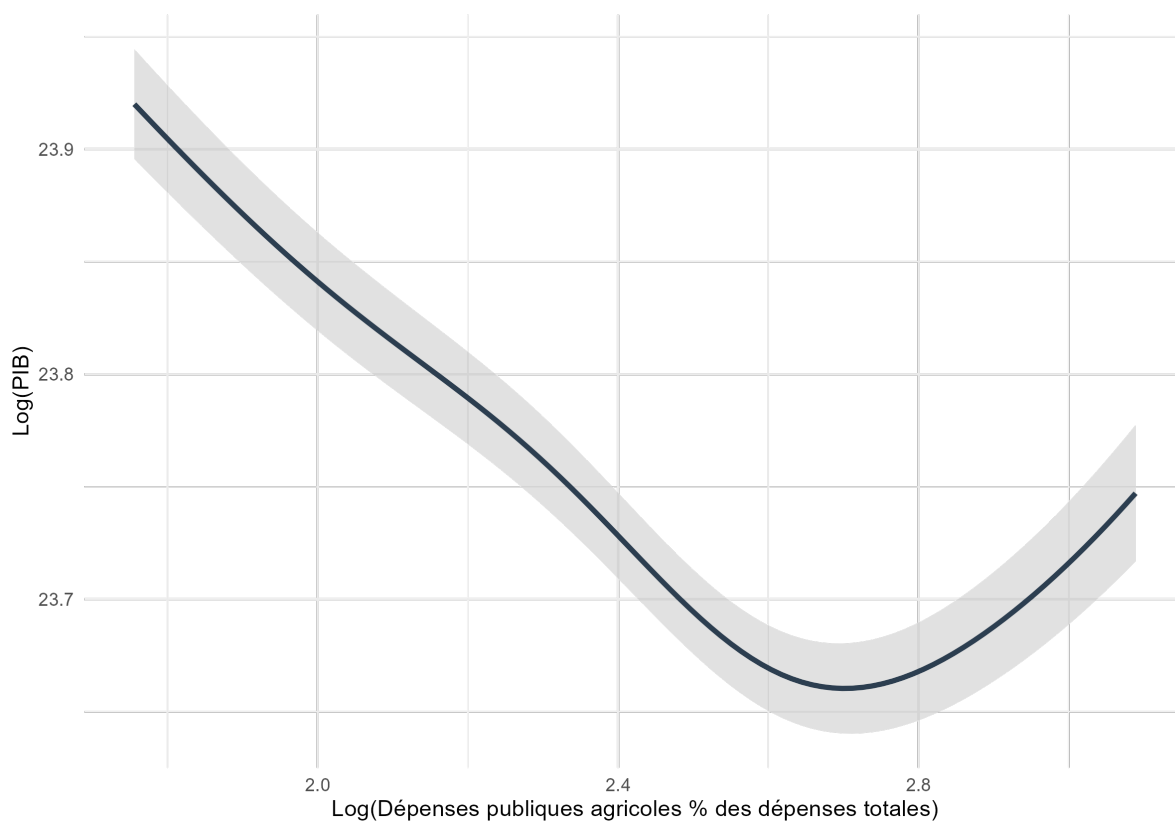


FIGURE 2.12 : Fonction dose-réponse estimée des DPA (% Dépenses totales) sur le PIB
Source : Auteur.

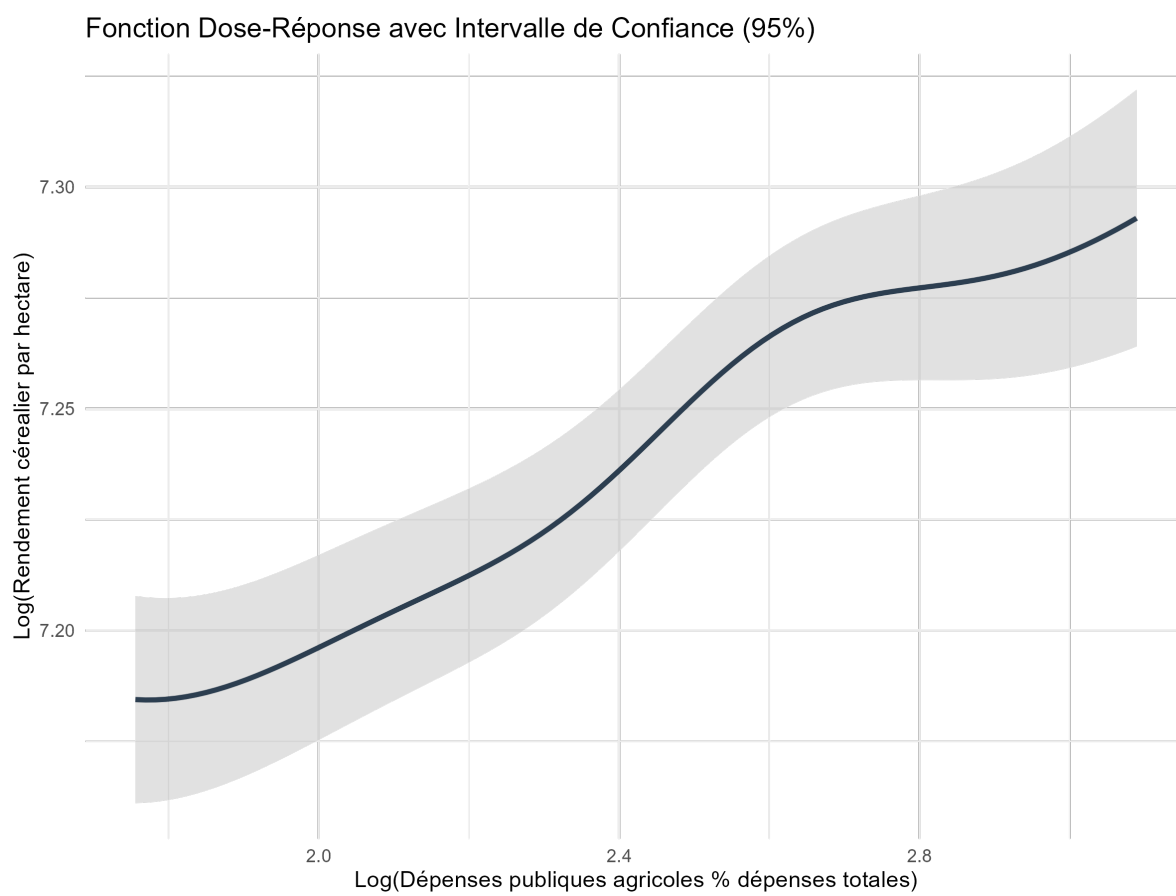


FIGURE 2.13 : Fonction dose-réponse estimée des DPA (% Dépenses totales) sur les Rendements céréaliiers par hectare

Source : Auteur.

Les soutiens publics à l'agriculture : des leviers pour la transition vers des systèmes alimentaires durables ?

Résumé¹

À partir de données issues de l'Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation, cet article vise à analyser et comprendre le fonctionnement actuel des soutiens publics tout en évaluant dans quelle mesure ils sont effectivement orientés vers la promotion de systèmes agricoles durables. À l'aide d'une analyse d'économie politique des soutiens publics, nous montrons au niveau global les différences de soutien et le manque d'outils et de dispositifs financés pour accélérer les transitions agricoles.

¹Ce chapitre a été coécrit avec Matthieu Brun, directeur scientifique de la Fondation FARM. Chercheur associé au laboratoire Les Afriques dans le Monde (CNRS) et à l'Institut de recherche et d'études Méditerranée-Moyen-Orient (Iremmo)

Avant-propos du chapitre 3

Chapitre publié dans : *Revue internationale des études du développement No 254 2024-1*

Cet avant-propos vise à informer les membres du jury que le chapitre 3 du présent manuscrit constitue la version publiée d'un article paru dans la Revue internationale des études du développement (n° 254, 2024/1). Il ne s'agit en aucun cas d'une redite du chapitre 1. En effet, bien que le chapitre 3 mobilise certaines données et éléments d'analyse élaborés dans le chapitre 1, ceux-ci sont intégrés dans un cadre d'analyse centré sur les enjeux de durabilité et sur une lecture d'économie politique des soutiens publics à l'agriculture.

Il convient de signaler que la structure de la première partie du chapitre 3 peut rappeler celle du chapitre 1, ce qui pourrait donner l'impression d'une reprise. Cependant, cette similarité initiale est intentionnelle car servant de base à une discussion approfondie des implications des résultats pour les transitions agroécologiques. Autrement dit, le chapitre 3 exploite les éléments repris du chapitre 1 pour développer une analyse axée sur la durabilité des systèmes agricoles et alimentaires, et propose un éclairage sur le rôle des politiques de soutien public comme leviers de transition agroécologique. Ainsi, loin de répéter le chapitre 1, le chapitre 3 apporte une contribution nouvelle en recontextualisant les données dans un nouveau cadre analytique et en examinant en détail leurs implications pour les transitions vers des systèmes agricoles durables.

1 Introduction

L'adoption en 2015 des Objectifs de développement durable (ODD) a considérablement élargi les objectifs des politiques publiques et l'intervention de l'État, y compris dans l'agriculture, en mettant l'accent sur la recherche d'une plus grande durabilité, dans toutes ses dimensions, économique, sociale et environnementale. L'ODD 2 en particulier, vise à éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable. Il adopte une approche systémique en prenant en compte la production et la consommation d'aliments, leurs impacts sur la santé et les écosystèmes, l'inclusion des personnes vulnérables, ainsi que le fonctionnement des marchés. Pour réduire la faim et la pauvreté tout en améliorant la résilience des agricultures et leur adaptation au changement climatique, les investissements dans le secteur agricole sont cruciaux, comme souligné dans le Rapport des Nations unies sur les objectifs de développement durable de 2019. Cependant, la part des dépenses publiques consacrées à l'agriculture par rapport à la contribution du secteur à l'économie reste faible et a même chuté entre 2001 et 2017 (Nations Unies, 2019). Selon les données de l'Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation², une moyenne d'environ 708 milliards de dollars a été allouée à l'agriculture entre 2019 et 2021. Toutefois, une grande partie de ce soutien peut engendrer des distorsions de prix sur le marché, nuire à l'environnement et avoir un impact négatif sur les producteurs, notamment sur leurs revenus. En effet, jusque-là, dans la majorité des cas, les politiques agricoles visent d'abord à produire plus pour contribuer à la sécurité alimentaire et les soutiens publics qui en découlent incitent peu à l'émergence d'une agriculture durable sur le plan environnemental. Comme le rappelle le dernier rapport du programme Monitoring and Analysing Food and Agricultural Policies (MAFAP) de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), moins de 1 % des dépenses publiques en agriculture dans les pays africains sont orientées vers la transition des systèmes productifs vers plus de durabilité (Pernechele et al., 2021). Il semblerait donc que dans de multiples contextes, les soutiens publics aient tendance à nous éloigner de l'atteinte des ODD.

Dans le même temps, le contexte actuel, marqué par les chocs successifs de la pandémie de Covid-19 et de la guerre en Ukraine, a contribué à remettre en haut de l'agenda les enjeux liés au développement agricole, à la souveraineté alimentaire ou énergétique. Ce retour et cette réappropriation de la souveraineté pourraient être le signe d'une volonté et d'un besoin de politiques publiques et de régulation tout en replaçant le soutien à l'agriculture au centre d'une stratégie visant à dissiper le spectre de l'insécurité alimentaire et plus largement du sous-développement. La deuxième édition du sommet de Dakar sur la souveraineté alimentaire, avec pour thème « Nourrir l'Afrique : souveraineté alimentaire et résilience », en est un exemple. Les conclusions appellent à un investissement de 28 à 36 milliards de dollars pour atteindre l'objectif Faim Zéro en Afrique à l'horizon 2030. Face aux dépendances de certaines agricultures aux intrants importés et à une énergie très chère, la réflexion sur la souveraineté contribue aussi à penser l'accélération de l'adoption de trajectoires agroécologiques dans les Suds (Tayeb Cherif et al., 2023).

²<https://fondation-farm.org/observatoire/accueil/>

Pour une analyse approfondie et efficace de ces financements, il est essentiel de disposer d'une compréhension claire et partagée des différents dispositifs de soutien public actuellement en place. Cela implique l'identification et la comparaison des politiques et mesures de soutien à l'agriculture à travers le monde, qui varient grandement d'une région à l'autre et même d'un pays à l'autre. Actuellement, il existe peu d'outils, d'instruments ou de bases de données permettant une comparaison transparente des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation. Nous proposons donc de présenter une approche comparative de ces soutiens au niveau international à l'aide de l'Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation. Après avoir présenté les outils et la méthode de calcul permettant la comparaison au niveau international, nous dresserons un panorama mondial des soutiens publics avant d'analyser la manière dont les financements publics peuvent être orientés vers une transformation agroécologique des systèmes de production. Nous nous concentrerons sur la dimension environnementale de la durabilité pour les besoins de cet article ³.

2 Mesurer et comparer les soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation dans le monde

Il existe un grand nombre d'outils de politiques publiques à la disposition des administrations publiques nationales pour accompagner le développement des systèmes agricoles, qui peuvent être de nature budgétaire, fiscale, sociale, réglementaire ou encore capitalistique (actionnariat public des entreprises). Dans le cadre de notre analyse et pour le développement d'un Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation, nous nous sommes concentrés sur les mesures de soutien à l'agriculture qui passent par des aides budgétaires ou qui assurent un soutien des prix agricoles grâce notamment à une protection aux frontières.

À partir des données provenant de trois sources, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), la Banque interaméricaine de développement (BID), et l'Organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation (programme MAFAP), nous avons effectué un travail de désagrégation et de reconstruction. Cette démarche avait pour but d'harmoniser les données en vue de leur comparaison, aboutissant à la création d'une base de données consolidée qui comprend des informations sur 44 pays à revenu élevé, 35 pays à revenu intermédiaire et 8 pays à faible revenu. Ces pays représentent près de 90 % de la production agricole mondiale. Les données disponibles le sont en fonction des pays de 1986 à 2021. L'Observatoire construit, offre sur le site internet de la Fondation FARM une plateforme de connaissances accessible gratuitement avec notamment une cartographie dynamique et des outils de comparaison entre pays.

À partir des sources disponibles et des données comparables, nous avons défini trois principaux indicateurs, à savoir les dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation, le soutien des

³D'autres dimensions, notamment économique et sociale, mériteraient une analyse dédiée dans un autre article.

prix du marché (écart entre le prix intérieur et le prix mondial, causé par des barrières tarifaires ou non tarifaires) et le soutien total à l'agriculture et l'alimentation qui agrège les deux précédents indicateurs (Tapsoba & Brun, 2022a). Nous proposons de revenir brièvement sur ces différents indicateurs, mais avant cela notons qu'ils contiennent des limites sur lesquelles il nous faut nous arrêter. En effet, la fiabilité des données peut dans certains contextes poser problème autant que leur qualité en vertu du processus d'agrégation et d'harmonisation. Les méthodes de calcul peuvent varier d'une institution à l'autre, conduisant à une perte de qualité des données. La majeure partie des régions du monde est représentée, à l'exception de l'Afrique du Nord qui n'est pas couverte par les trois sources utilisées. Les indicateurs ne prennent pas en compte la politique monétaire ou encore l'ensemble des impôts, taxes et autres prélèvements fiscaux opérés sur le secteur agricole. Les indicateurs utilisés sont exprimés en million de dollars courant américain ou en % de la valeur de la production agricole.

Les dépenses publiques agricoles sont généralement définies selon la Classification des fonctions des administrations publiques (CFAP/COFOG) et concernent l'ensemble des dépenses engagées par l'État pour atteindre les objectifs socioéconomiques du secteur agricole. Toutefois, lorsqu'il faut mesurer ces dépenses, on compte de nombreux indicateurs produits par différentes institutions (OCDE, FAO, BID, Banque mondiale, Resakss, etc.) qui sont peu comparables en raison de méthodologies et d'objectifs différents. L'objectif de l'Observatoire est de suivre et d'analyser les soutiens publics à l'agriculture, dans ses différentes formes et composantes. De ce fait, seuls les indicateurs renseignant les niveaux et la composition des dépenses publiques agricoles sont retenus. Il s'agit des mesures que proposent l'OCDE, la BID et le programme MAFAP. Cependant, chacune de ces mesures concerne un nombre limité de pays. Par exemple, l'OCDE se consacre à ses membres et à douze économies émergentes, la BID uniquement à ses membres et le programme MAFAP à une vingtaine de pays d'Afrique subsaharienne.

Dans l'objectif de couvrir un large échantillon de pays, nous proposons un indicateur donnant une mesure comparable des dépenses publiques agricoles entre les pays qui sont couverts par l'OCDE, la BID et le MAFAP. Cet indicateur est dénommé « Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA) » et repose sur des équivalences ou des correspondances entre les systèmes de comptabilisation des soutiens agricoles de ces trois institutions. L'OCDE et la BID utilisent toutes deux le Manuel de l'ESP (OECD, 2016), une méthode développée par l'OCDE pour évaluer les soutiens agricoles. Le MAFAP, à travers son Guide méthodologique volume 2 (Ghins et al., 2013), s'aligne également sur cette approche. Cette uniformité méthodologique permet d'assurer la comparabilité et la cohérence des données recueillies.

L'indicateur de dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation est composé de transferts budgétaires à la production, à la consommation, et de services collectifs pour le développement agricole. Les transferts budgétaires à la production apportent un soutien aux producteurs à titre individuel, englobant principalement les subventions à la production et aux intrants, le soutien au revenu des agriculteurs, ainsi que d'autres formes de paiements profitant directement aux producteurs. En revanche, les transferts budgétaires à la consommation encouragent la consommation de produits agroalimentaires et englobent les paiements destinés aux consommateurs, aux transformateurs, aux transporteurs et aux

commerçants de produits agroalimentaires. Quant aux services collectifs, ils soutiennent de manière collective les acteurs du secteur agricole et se distinguent en deux catégories. Tout d'abord, il y a les services collectifs spécifiques au secteur agricole, comprenant toutes les dépenses liées aux infrastructures agricoles, à la recherche agricole, à la formation et à l'assistance technique, à la vulgarisation et aux transferts de technologie, à l'inspection ainsi qu'au stockage. Ensuite, on trouve les services collectifs indirects au secteur agricole, qui se traduisent sous forme de dépenses rurales, telles que la santé, l'éducation, les infrastructures, etc.

Le soutien des prix du marché (SPM) traduit la valeur monétaire des soutiens aux producteurs découlant uniquement des mesures créant un écart entre le prix à l'intérieur des frontières d'un pays et le prix mondial pour un produit agricole donné. Il est défini comme la « valeur monétaire annuelle des transferts bruts des consommateurs et des contribuables aux producteurs agricoles, qui découlent des mesures créant un écart entre les prix intérieurs et les prix à la frontière d'un produit agricole donné, mesurés au départ de l'exploitation » [OECD \(2019\)](#). Plusieurs mesures politiques peuvent influencer sur le prix d'un produit comme les droits de douane, les taxes ou les subventions à l'exportation, etc. Le plus souvent, ces politiques modifiant les prix intérieurs des produits ont pour conséquence de créer un écart positif ou négatif par rapport au prix à la frontière.

Enfin, le soutien total à l'agriculture et à l'alimentation représente la somme des soutiens des prix du marché (SPM) et des dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA). Il correspond à l'estimation du soutien total calculée par l'OCDE et la BID.

3 Panorama mondial des soutiens publics

Le soutien total à l'agriculture et à l'alimentation est, sur la période 2019-2021 en moyenne deux fois plus élevé dans les pays à revenu élevé de l'échantillon (29 % de la valeur de la production agricole) que dans les pays à revenu intermédiaire (14 %). Le soutien total a cependant été réduit de moitié au cours des vingt dernières années dans les pays à revenu élevé en raison notamment des réformes de politiques agricoles pour se conformer aux règles de l'accord sur l'agriculture signées au terme du cycle de l'Uruguay⁴. À l'inverse, les pays émergents ont augmenté leur soutien à l'agriculture pour favoriser le développement de leur secteur agricole et assurer leur sécurité alimentaire.

Si depuis le début des années 2000 on observait une convergence du soutien public total à l'agriculture et à l'alimentation entre ces deux groupes de pays, depuis 2015 l'écart recommence à se creuser à la faveur d'une hausse des soutiens dans les pays à revenu élevé⁵. Notons aussi que la majeure partie du soutien total est octroyée sous forme de dépenses budgétaires. Ces dépenses publiques atteignent plus de

⁴Le cycle de l'Uruguay, qui s'est déroulé de 1986 à 1994 sous l'égide du GATT, a marqué un tournant majeur dans la libéralisation du commerce international, notamment des produits agricoles avec l'introduction de l'accord sur l'agriculture. Ces négociations ont conduit à la création de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) en 1995.

⁵On observe pour les pays à revenu intermédiaire une légère hausse en 2020 pour soutenir le secteur au moment de la pandémie de Covid-19

75 % du soutien total des pays à revenu élevé et représentent pas moins de 60 % dans les pays émergents. En analysant les composantes du soutien total, deux constats doivent être présentés : plus un pays dépend de son agriculture, moins il la soutient, et les pays riches et émergents ont des politiques de protection plus marquées.

3.1 Plus un pays dépend de son agriculture, moins il la soutient

Il existe au niveau mondial de très grands écarts en matière de soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation, comme l'illustre la Figure 3.1. Globalement, plus un pays a des revenus élevés, plus il dépense pour soutenir ses agriculteurs et ses agricultrices (en proportion de la valeur de la production agricole) alors que l'agriculture ne fournit plus chez lui qu'une partie mineure de l'emploi et de la croissance économique (Tapsoba & Brun, 2022b). À l'inverse, dans les pays où l'agriculture joue encore un rôle majeur dans la création de richesse et l'emploi d'une grande partie de la population, les dépenses publiques consacrées au secteur agricole sont, paradoxalement, faibles. Plusieurs éléments peuvent éclairer cette situation. Parmi ces facteurs, on trouve des priorités budgétaires dans tous les secteurs, ainsi que l'impact des politiques d'ajustement structurel et de la libéralisation des marchés agricoles. Cette dernière a notamment offert des débouchés à la surproduction des produits agroalimentaires, bon marché en provenance des pays développés vers les pays en développement. Ainsi, dans les pays à revenu élevé, l'intensité des dépenses publiques à l'agriculture et à l'alimentation est plus de deux fois supérieure à celle des pays à revenu intermédiaire (9 %) et à faible revenu (10 %).

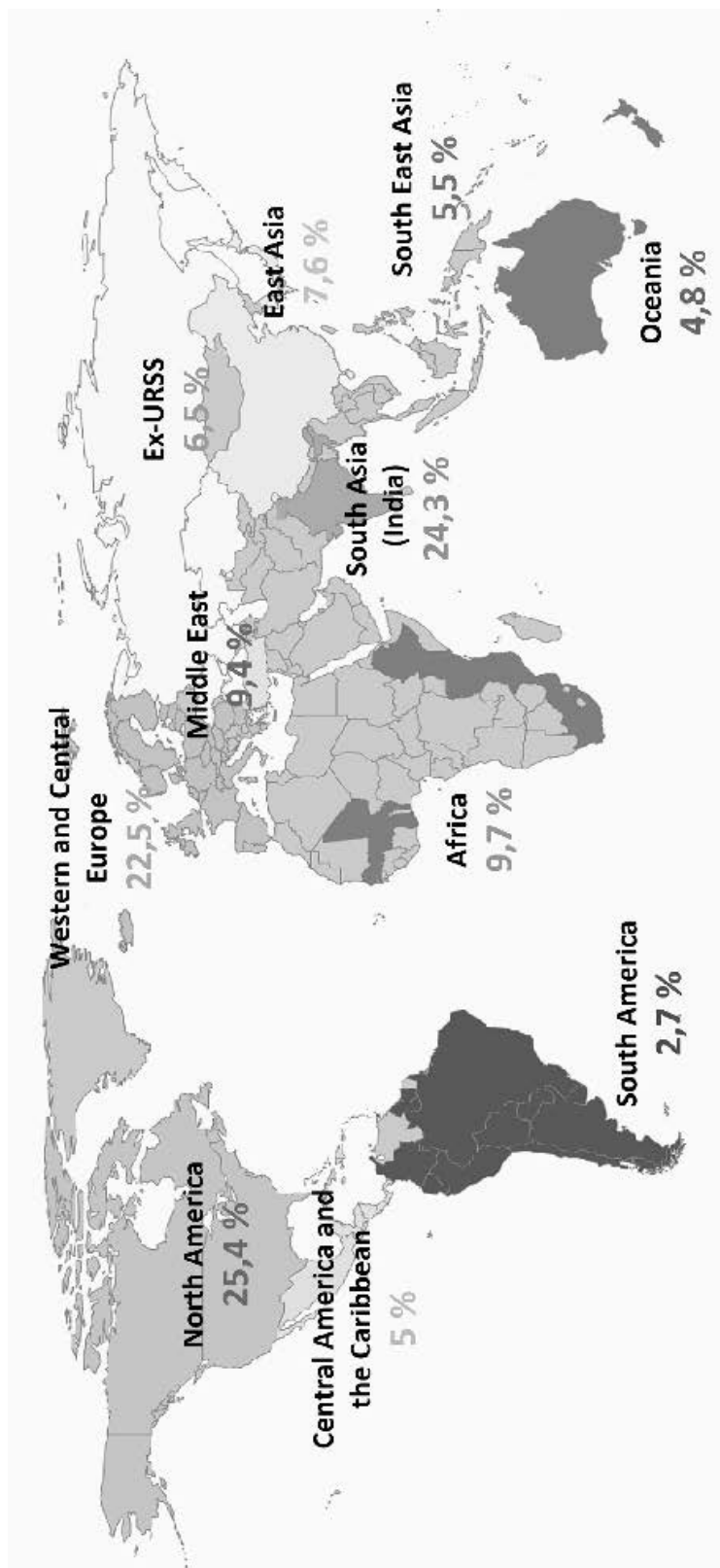


FIGURE 3.1 : Dépenses publiques de soutien à l’agriculture et à l’alimentation par région, en % de la valeur de la production agricole, moyenne des trois dernières années connues

Sources : Calculs des auteurs, à partir des données du MAFAP, de la BID, de l’OCDE, de la FAO.

L'Europe et l'Amérique du Nord, qui sont les deux premières régions exportatrices de produits agricoles bruts et transformés, sont aussi celles qui dépensent le plus pour leur agriculture et leur alimentation. Comme l'indique la Figure 3.1, cela représente entre 22 et 25 % de la valeur de la production agricole, un chiffre particulièrement élevé en comparaison des autres pays et régions, à l'exception de l'Inde (24 %). L'analyse des transferts budgétaires aux consommateurs (subventions) indique aussi que les pays à revenu élevé soutiennent le plus la consommation alimentaire. Ils sont notamment très élevés aux États-Unis en raison du fonctionnement de la politique agricole et le financement des Food Stamps (Devienne et al., 2005). L'Inde fait également partie des pays qui soutiennent le plus la consommation alimentaire. Malgré l'insécurité alimentaire qui reste prégnante en Afrique subsaharienne, les transferts aux consommateurs en provenance du budget de l'État y sont inférieurs à 1 % de la valeur de la production agricole.

L'écart du soutien entre pays riches, pays émergents et pays à faible revenu s'accroît considérablement quand on ramène les montants des dépenses publiques au nombre d'actifs familiaux ou salariés travaillant en agriculture. Ainsi, ces dépenses de soutien par actif agricole, aux États-Unis (45 700 \$), sont 80 fois supérieures à celles existantes en Inde ou en Chine (580 \$) et 2 690 fois plus importantes qu'au Ghana (17 \$).

Nous proposons de partager quelques analyses sur les pays d'Afrique subsaharienne couverts par l'Observatoire dans la mesure où ils sont parmi les plus exposés à l'insécurité alimentaire et où les défis démographiques obligent à penser la transformation des agricultures. Globalement, sur la moyenne des trois dernières années connues, les dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation représentent 9,7 % de la valeur de la production agricole. Il y a de fortes variations d'un pays à l'autre, le Sénégal et l'Éthiopie ont les plus hauts niveaux de dépenses (19 % de la valeur de la production agricole) alors qu'elles ne dépassent pas 5 % au Malawi, au Mali ou au Rwanda. De plus, même si certains États africains sont parvenus à augmenter le niveau des budgets publics pour l'agriculture, à la suite des engagements pris à Maputo en 2003 (consacrer au moins 10 % des budgets au secteur agricole), une bonne partie de ces dépenses soutiennent indirectement le secteur agricole. En effet, comme dans l'ensemble des pays à faible revenu, l'essentiel du soutien public à l'agriculture et à l'alimentation en Afrique subsaharienne est massivement orienté vers les services collectifs à l'agriculture et l'alimentation. Ces services représentent plus de 80 % du total des dépenses budgétaires attribuées à l'agriculture, mais les deux tiers ne ciblent pas directement le secteur agricole. Il s'agit par exemple de dépenses rurales de santé, d'éducation, d'infrastructures, etc. Ces dépenses sont cependant essentielles et contribuent, de manière indirecte, au développement du secteur agricole dans la mesure où la majeure partie des populations rurales travaille dans ce secteur. Le tiers restant, orienté directement vers le secteur agricole, est composé de dépenses de formation (2 % des services collectifs), de vulgarisation (2 %) ou d'infrastructures agricoles (11 %). En outre, la part consacrée à la recherche (3 % des services collectifs) reste bien en deçà de l'objectif de 1 % du produit intérieur brut (PIB) agricole fixé par les accords de Malabo (0,29 % aujourd'hui). Pourtant, un accroissement de la recherche et développement agricole en Afrique subsaharienne, à hauteur de 1 % du PIB agricole annuel, pourrait augmenter de 60 % la productivité d'ici 2050 (IFPRI, 2020).

S'agissant des transferts à la production, dans les pays africains couverts par l'Observatoire on constate que les dépenses demeurent faibles et qu'elles sont en plus affectées à plus de 90 % aux subventions à l'achat d'intrants, au détriment d'autres actions qui pourraient bénéficier tout autant, sinon plus, aux producteurs, comme les subventions à la production, des soutiens aux revenus, etc. Au regard des niveaux de productivité agricole de la région, ce constat soulève de nombreuses questions quant à l'efficacité de ces subventions aux intrants (principalement des engrais) et quant à la justification de leur poids dans les aides à la production. En ce qui concerne le soutien à la consommation, 98 % des transferts budgétaires sont composés des aides aux consommateurs et 1 % aux transformateurs, pourtant essentiels au développement des filières agroalimentaires et à leur transformation vers une plus grande durabilité.

3.2 Des agricultures plus protégées dans les pays riches et émergents

Parmi les instruments de soutien à l'agriculture, le soutien des prix du marché (SPM) est le plus contesté au sein de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), principale instance de régulation des politiques agricoles. En effet, elles vont à l'encontre des nombreux accords commerciaux qui poussent vers une libéralisation des échanges. Elles sont pourtant, dans un grand nombre de pays, la principale forme d'aide accordée aux producteurs. Dans les pays qu'analyse le rapport 2022 du suivi et de l'évaluation des politiques agricoles (OECD, 2022), l'OCDE rappelle que le soutien à travers le paiement de prix plus élevés aux producteurs atteint 317 milliards de dollars par an moyenne 2019-2021).

Au cours des dernières décennies, de façon tendancielle, le niveau du SPM s'est fortement réduit dans les pays à revenu élevé, tout en augmentant progressivement dans les pays à revenu intermédiaire (Figure 3.2). L'écart moyen entre ces deux types de pays est passé de 15 % en 2000-2002 à seulement 2 % en 2019-2021. Toutefois, il existe de grandes disparités du soutien aux prix du marché entre les pays de ces catégories. En effet s'agissant des pays à revenu élevé, l'Union européenne, les États-Unis, l'Australie, le Canada, l'Uruguay ou encore la Nouvelle-Zélande ont des niveaux de soutien des prix, donc de protection de l'agriculture, faibles, à la différence du Japon, de la Corée, de la Norvège ou de la Suisse (Figure 3.3). Dans la catégorie des pays à revenu intermédiaire, il y a aussi de grandes disparités. Le poids de certains géants agricoles comme la Chine, l'Inde ou le Brésil de par l'intensité de leur soutien et la taille de leur agriculture influence la moyenne de cette catégorie.

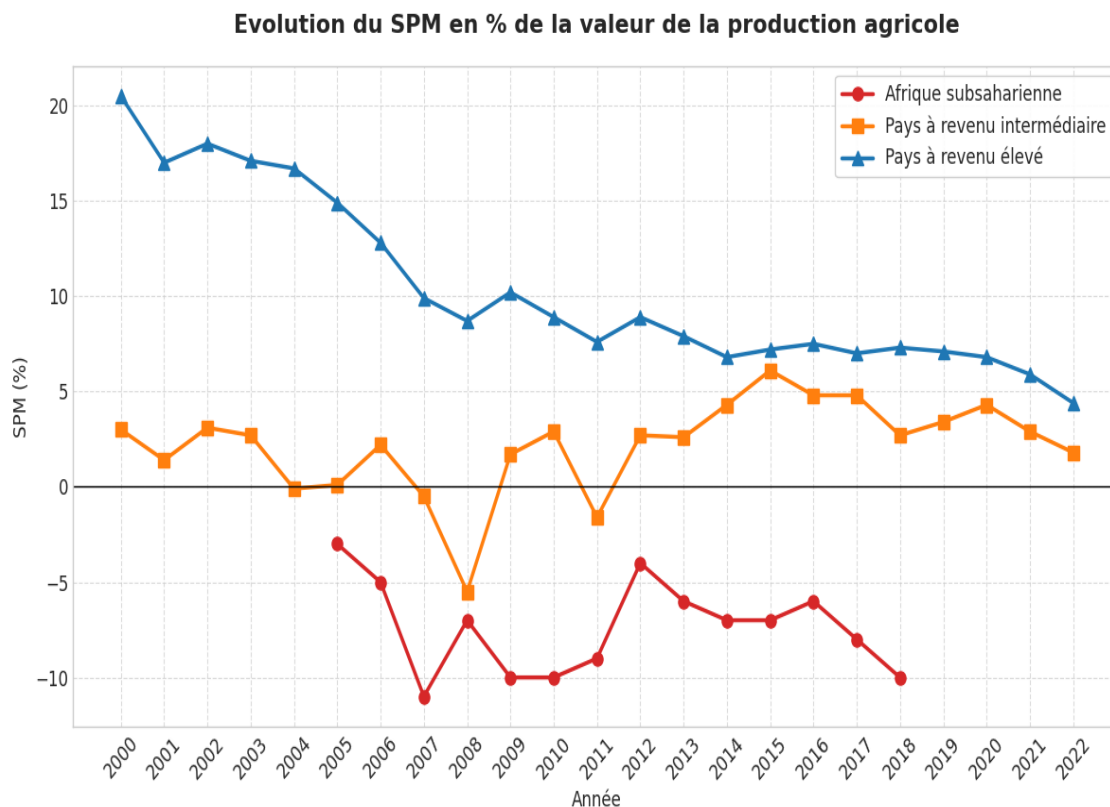


FIGURE 3.2 : Evolution du SPM en % de la valeur de la production agricole

Sources : Calculs des auteurs, à partir des données du MAFAP, de la BID, de l'OCDE, de la FAO.

Cette convergence des niveaux de soutien entre pays à revenu élevé et intermédiaire contraste fortement avec la situation en Afrique subsaharienne (Tapsoba & Brun, 2023). Sur la période 2005-2018, le Soutien des prix de marché (SPM) y est resté négatif, signalant une taxation implicite des producteurs et l'inefficacité des protections en place. Ce constat réactualise le diagnostic posé par (Bates, 1981). Bien que formulée il y a quarante ans, son analyse du « biais urbain » conserve toute sa pertinence pour expliquer la tendance observée du SPM. La priorité reste donnée à l'approvisionnement des villes à bas coût, au détriment des revenus agricoles. Les gouvernements ont privilégié la protection des consommateurs urbains au détriment des producteurs ruraux. Pour garantir la sécurité alimentaire des villes, ils ont maintenu des barrières douanières faibles, favorisant l'entrée de denrées alimentaires à bas prix provenant de marchés mondiaux à haute productivité. Ce choix politique perpétue le désavantage structurel de l'agriculture locale face aux importations massives.

Soutien des prix du marché selon le niveau de revenu des pays en % de la valeur de production agricole

Pays à revenu élevé	2000-2002	2019-2021	Pays à revenu intermédiaire	2000-2002	2019-2021
Australie	0%	0%	Argentina	-7%	-20%
Bahamas (4) & (6)	21%	18%	Belize (5) & (6)	11%	8%
Barbade (5) & (7)	29%	26%	Bolivie (1) & (11)	-9%	12%
Canada	8%	5%	Brésil	3%	1%
Chile	5%	0%	Chine	3%	11%
Islande	48%	40%	Colombie	23%	9%
Israël	14%	12%	Costa Rica	8%	4%
Japan	50%	35%	République dominicaine (1) & (12)	45%	14%
Corée	51%	44%	Equateur (1) & (9)	6%	9%
Nouvelle-Zélande	0%	1%	El Salvador (3) & (10)	25%	25%
Norvège	49%	30%	Guatemala (1) & (11)	13%	5%
Panama (4) & (8)	12%	16%	Guyane (4) & (12)	13%	10%
Suisse	55%	30%	Haïti (1) & (4)	28%	21%
Trinité et Tobago (4) & (8)	27%	15%	Honduras (5) & (10)	12%	8%
UE	16%	4%	Inde	-10%	-19%
Uruguay (3) & (13)	2%	3%	Indonésie	7%	15%
USA	6%	1%	Jamaïque (1) & (12)	30%	38%
Royaume-Uni	0%	7%	Kazakhstan	8%	-1%
Moyenne PRE	18%	7%	Mexique	19%	5%
(1) 2006/08			Nicaragua (3) & (10)	9%	10%
(2) 2007/09			Paraguay (2) & (11)	0%	0%
(3) 2009/11			Pérou (4) & (11)	5%	6%
(4) 2010/12			Philippines	22%	26%
(5) 2011/13			Russie (12)	3%	6%
(6) 2012/14			Suriname (1) & (11)	13%	16%
(7) 2012/15			Afrique du Sud	6%	2%
(8) 2013/15			Turquie	21%	14%
(9) 2014/16			Ukraine	-6%	1%
(10) 2015/17			Vietnam	5%	-9%
(11) 2016/18			Moyenne PRI	3%	5%
(12) 2017/19					
(13) 2018/20.					

FIGURE 3.3 : Evolution du SPM selon le niveau de revenu des pays en % de la valeur de la production agricole

Sources : Calculs des auteurs, à partir des données du MAFAP, de la BID, de l'OCDE, de la FAO.

Ces évolutions des soutiens et de la protection des agricultures montrent que l'agriculture africaine est relativement peu protégée et qu'elle l'est à un degré moindre que dans les autres régions en développement (Debar & Tapsoba, 2019b). Ainsi, les dépenses de soutien à l'agriculture se concentrent dans les pays à revenu élevé et intermédiaire tandis que les pays à revenu faible connaissent un soutien des prix négatif. Cela reflète un double problème dans les pays à faible revenu : d'une part, un manque de ressources budgétaires allouées à la production agricole, et d'autre part, une politique commerciale qui favorise la protection des consommateurs et encourage l'achat de produits importés à bas prix, ce qui nuit aux producteurs agricoles locaux. Dans le cas des pays africains, le soutien agricole est donc pris dans une contradiction politique. Les dépenses de soutien à l'agriculture et à l'alimentation sont supposées stimuler

la productivité du secteur, or le soutien négatif des prix agricoles efface les effets de ces dépenses et n'offre pas aux agriculteurs un climat propice à l'amélioration de la production. Ce constat soulève plus largement la question de la cohérence des politiques agricoles et commerciales.

Dans ce panorama, nous avons présenté un paysage mondiale des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation très contrasté. A présent, nous allons nous intéresser à leur impact environnemental et à la manière dont ils peuvent participer aux transitions vers la construction de systèmes alimentaires durables.

4 (Ré)orienter les soutiens publics vers des systèmes agricoles et alimentaires durables

Face aux chocs climatiques, géopolitiques, sanitaires (surpoids et sous-alimentation notamment) et sociaux auxquels sont confrontées les agricultures du monde, l'élaboration de systèmes alimentaires plus durables demeure un défi majeur pour atteindre les ODD. Il est essentiel d'évaluer les soutiens publics, tant en termes d'affectation que de montant, dans leur contribution à l'atteinte de ces objectifs, et de voir en quoi ils peuvent encourager ou décourager la transformation des agricultures vers une durabilité plus forte (Valiorgue, 2023). En fonction des contextes, cela nécessite un accroissement et une (ré)orientation des politiques actuelles de soutien à l'agriculture vers des politiques de systèmes alimentaires durables qui allient production/productivité, santé et préservation de l'environnement. Cette seconde partie du chapitre se penchera sur les limites des politiques actuelles de soutien à l'agriculture en termes de durabilité, mais insistera aussi sur la nécessité d'une analyse systémique pour relier les enjeux environnementaux à la demande alimentaire. Enfin, nous reviendrons sur des leviers existants pour réorienter les soutiens publics.

4.1 Les limites des politiques actuelles du soutien à l'agriculture

Les politiques actuelles de soutien à l'agriculture se concentrent principalement sur la production et la productivité. En effet, selon nos calculs⁶, à partir de l'estimation du soutien aux producteurs (ESP) auquel sont ajoutés les transferts budgétaires aux consommateurs qui soutiennent indirectement la production, 83 % des soutiens à l'agriculture ciblent la production et la productivité agricoles. Ces aides sont d'ailleurs concentrées dans les pays à revenu élevé et les pays émergents. Or, cette approche du soutien à l'agriculture, principalement axée sur la production, ne prend pas en compte ou néglige souvent les enjeux environnementaux et sanitaires liés à l'agriculture. À ce titre, l'OCDE a construit une

⁶L'estimation du soutien aux producteurs (ESP), calculée par l'OCDE, est l'indicateur le plus couramment utilisé pour mesurer les soutiens à la production. Il comprend les transferts budgétaires aux producteurs et le soutien des prix du marché. Cependant, l'ESP ne couvre pas l'ensemble des soutiens aux producteurs, car il n'inclut pas toutes les aides accordées aux consommateurs de produits alimentaires, notamment les transferts budgétaires qui constituent pourtant un soutien indirect aux producteurs. Lorsque l'on tient compte des transferts budgétaires aux consommateurs, le montant total des soutiens à la production au niveau mondial est estimé à 584 milliards de dollars, soit environ 83 % des 708 milliards de dollars consacrés à l'agriculture et à l'alimentation entre 2019 et 2021.

typologie pour classer les différents types de soutien agricole en fonction de leur impact potentiel sur l'environnement (OCDE, 2013). Les mesures considérées comme les plus préjudiciables sont justement celles qui encouragent fortement la production, risquant ainsi d'accroître les externalités négatives de l'agriculture selon l'OCDE. Il s'agit notamment du soutien des prix du marché, des paiements liés à la production (par unité produite) et des subventions aux intrants variables tels que les engrais et les produits phytosanitaires, octroyés sans contraintes environnementales sur les pratiques agricoles (Figure 3.4). Le soutien financier accordé à ces pratiques potentiellement néfastes pour l'environnement s'élève à environ 265 milliards de dollars, représentant en moyenne plus de la moitié de l'ESP mondiale au cours de la période 2019-2021 (Figure 3.5). Il est important de noter que ce montant net est sous-estimé en raison du soutien négatif accordé aux producteurs dans les pays à faible revenu. Si l'on ne considère que les pays à revenu élevé et intermédiaire, le montant total atteint 279 milliards de dollars.

Mesures de soutien aux producteurs selon leur impact potentiel sur l'environnement

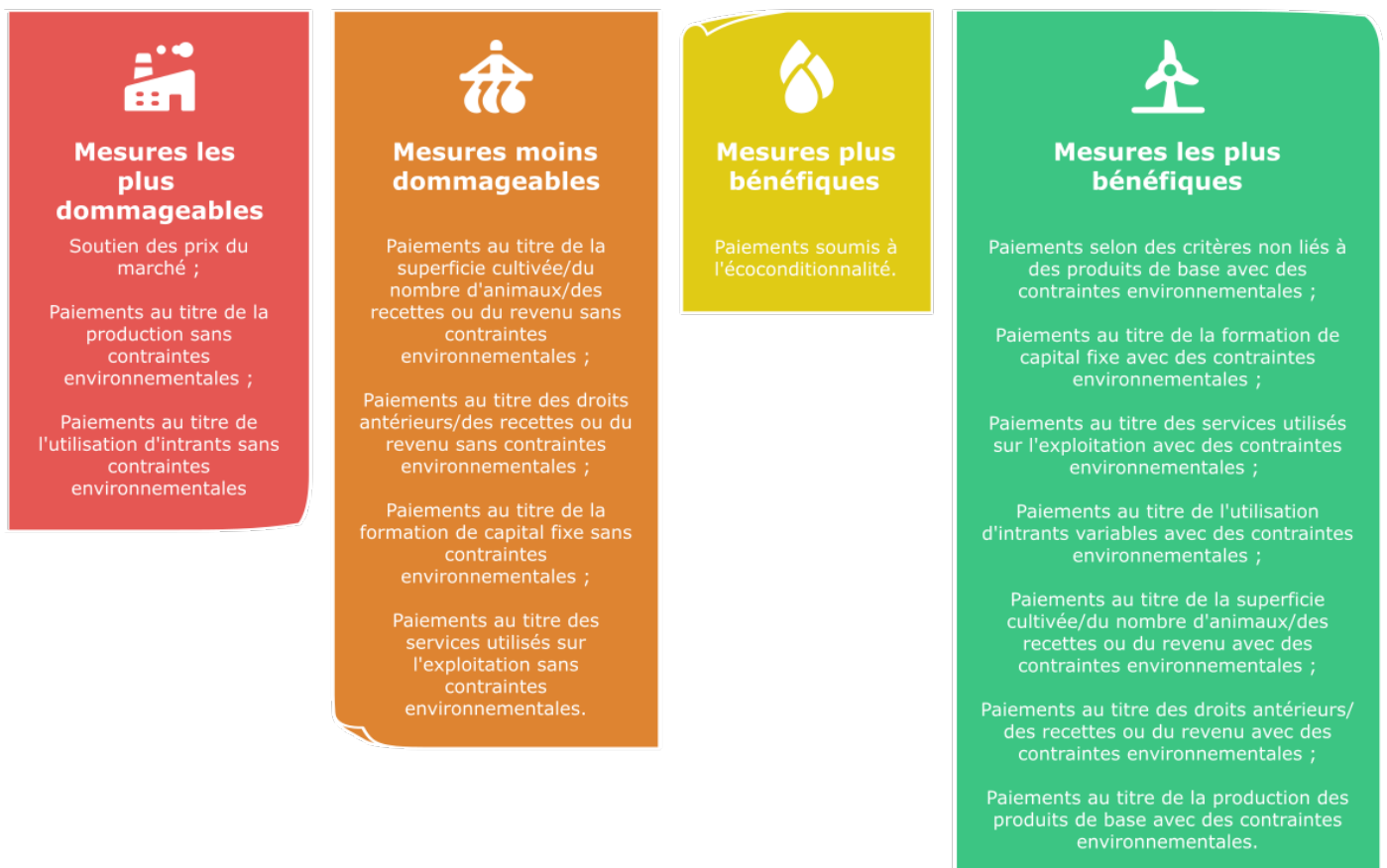


FIGURE 3.4 : Mesures de soutien aux producteurs selon leur impact potentiel sur l'environnement

Sources : Elaboration des auteurs, d'après (OCDE, 2013).

D'autres mesures de soutien à la production sont considérées comme moins préjudiciables, neutres

ou même bénéfiques pour l'environnement, en fonction de leur degré de dissociation par rapport à la production, de l'application de contraintes environnementales aux pratiques agricoles, ou encore de leur contribution à la réalisation d'objectifs agro-environnementaux spécifiques. Le montant de ces mesures s'élève à 223 milliards de dollars, mais seule une part très marginale est soumise à des critères écologiques stricts. Selon un rapport de la Banque mondiale et de l'IFPRI, les subventions « vertes » ou destinées à soutenir des résultats environnementaux s'élèveraient à près de 29 milliards de dollars (Gautam et al., 2022). Ces subventions prennent différentes formes selon les pays, telles que des incitations à utiliser des intrants moins polluants, à produire des biens ayant moins d'externalités négatives ou encore des paiements pour la préservation des ressources naturelles ou la mise en place de zones de conservation. Bien que le soutien accordé par le biais de ces subventions ait augmenté ces dernières années, il reste limité en termes de volume et de nombre de pays les proposant. En dehors de la Chine, elles sont principalement mises en place dans les pays développés.

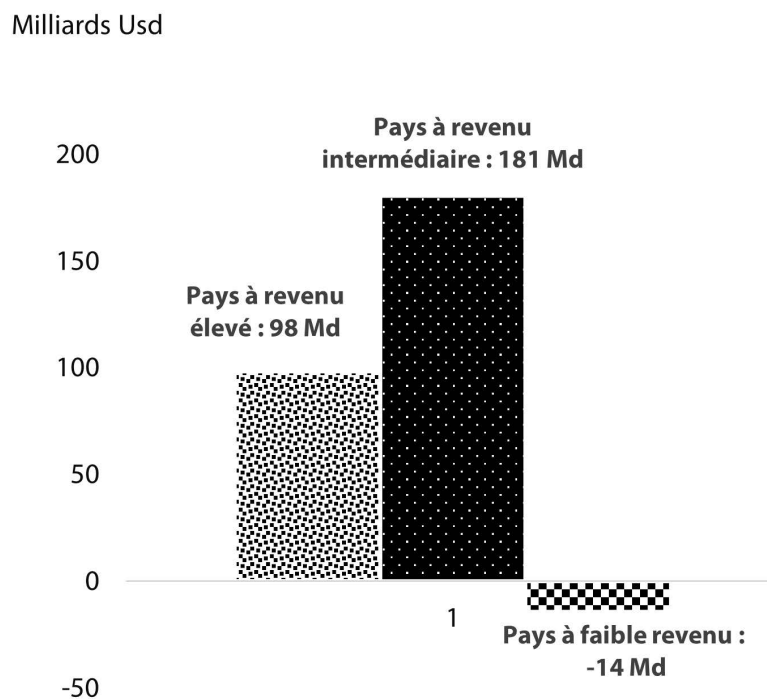


FIGURE 3.5 : Soutiens potentiellement nocifs à l'environnement par niveau de revenu des pays, en moyenne sur la période 2019-2021

Sources : Calculs des auteurs, à partir des données du MAFAP, de la BID, de l'OCDE, et de Agincentives Consortium.

L'impact négatif de ces soutiens sur l'environnement dépend de nombreux facteurs, tels que les pratiques agricoles et d'élevage utilisées, le niveau de productivité agricole, mais aussi les régimes alimentaires. Dans les pays industrialisés, où sont concentrés les soutiens, les politiques agricoles mises en place depuis la fin des années 1940 ont joué un rôle crucial dans les profonds changements qu'ont connus les mondes agricoles, contribuant à l'évolution des pratiques agricoles et à ce qui est décrit

comme une modernisation de ce secteur. Cela s'est traduit par la promotion d'une agriculture industrielle aux États-Unis et en Europe puis par la révolution verte dans certains pays à revenu intermédiaire. L'agriculture s'est progressivement motorisée et de nouvelles variétés de cultures à haut rendement ont été introduites, associées à une utilisation intensive d'engrais chimiques, de pesticides et d'eau. Ces nouvelles techniques et intrants ont visé à améliorer la productivité agricole (voir infra) et à diminuer le prix de l'alimentation. Ces évolutions ont permis de répondre aux besoins alimentaires, mais elles ont également entraîné une augmentation considérable des impacts environnementaux (eau, sols, biodiversité, air, émissions de gaz à effet de serre [GES]) et sociaux de l'agriculture. De plus, les prix alimentaires et les gains de revenus ou de compétitivité des producteurs ont été largement remis en question par la hausse des coûts de production associée à la dépendance aux énergies fossiles et aux autres intrants de ces modèles d'agriculture (van der Ploeg et al., 2019).

4.2 De la fourche à la fourchette : adopter une approche « système alimentaire »

En outre, il est important de ne pas considérer uniquement le stade de la production agricole, mais d'adopter une approche en termes de systèmes alimentaires pour comprendre les enjeux de durabilité environnementale (émission de GES, impacts sur la biodiversité, sur les sols, la qualité de l'air et des eaux, etc.). Les régimes alimentaires jouent en effet un rôle crucial dans les externalités négatives liées à l'agriculture, car l'offre et la demande alimentaires soutiennent et orientent implicitement la production agricole. C'est le cas de la production et de la consommation de viande, notamment bovine. L'intensification des systèmes d'élevage a engendré une forte demande de production végétale (céréales et oléo-protéagineux) contribuant à un changement d'usage des sols et à une hausse des émissions de GES (Rebulard, 2022). 30 % de la production mondiale de céréales est destiné à l'alimentation animale (70 % en Europe) (Rebulard, 2022). L'intensification de l'élevage dans certains pays a été permise par des politiques de soutiens ciblées à des productions végétales (céréales en Europe, oléo-protéagineux en Amérique du Nord, etc.).

Les systèmes alimentaires sont donc, de la production à la consommation, responsables d'externalités négatives qui peuvent être induites par des politiques de soutien à l'agriculture. En 2015, à l'échelle mondiale, le système alimentaire, de la production à la consommation, était responsable du tiers des émissions anthropiques de GES (Crippa et al., 2021). Il y a cependant des différences entre les pays à revenu élevé et les pays en développement. Crippa et al. (2021) précisent que le quart des émissions de GES (27 %) provenait des pays industrialisés qui représentent 15 % de la population mondiale. Les émissions des régimes alimentaires de ces pays sont non seulement plus élevées, mais elles contiennent aussi des émissions importées du fait des importations de produits agricoles et alimentaires depuis les pays du Sud. Enfin 43 % des émissions de GES sont liées aux activités post-récoltes dans les pays industrialisés (transport, transformation, emballage, distribution, gestion des déchets) contre 24 % dans les pays en développement (Crippa et al., 2021).

La consommation alimentaire fait, elle aussi, l'objet de soutiens publics. Ces derniers, en fonction de leur fonctionnement, participent à orienter les systèmes de production agricole. Entre 2018 et 2021, les transferts budgétaires accordés à la consommation de produits agroalimentaires (destinés aux consommateurs, aux transformateurs et dans le cadre de programmes alimentaires) ont atteint 101 milliards de dollars. Selon le rapport sur l'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2022, ces subventions ciblent principalement les produits de base tels que les céréales, les viandes et le sucre, au détriment d'autres aliments qui contribuent à une alimentation équilibrée sur le plan nutritionnel, tels que les fruits, les légumes ou les légumineuses (FAO et al., 2022). Bien que ce soutien direct à la consommation reste marginal par rapport au total du soutien consacré à l'agriculture et à l'alimentation, il n'encourage pas l'adoption de régimes alimentaires sains et moins préjudiciables à l'environnement. Ce soutien est concentré à 99 % dans les pays à revenu élevé et intermédiaire, notamment aux États-Unis, où il représente près de 52 % de ce montant. Ainsi, les politiques de soutien qui favorisent la consommation de régimes non respectueux de l'environnement contribuent également à accroître les externalités négatives de l'agriculture.

4.3 Supprimer ou réorienter les soutiens publics ?

Les formes actuelles de soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation n'encouragent pas la transition vers des systèmes alimentaires durables (FAO et al., 2021). Pour autant, stopper ou réduire drastiquement les soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation ne favoriserait pas un alignement sur les ODD. Les soutiens publics ne peuvent être supprimés en raison des conséquences et socio-économiques que cela entraînerait. Des études montrent que la suppression totale du soutien agricole aurait des effets négatifs sur la production, la consommation, la disponibilité alimentaire et la santé (Gautam et al., 2022; Springmann & Freund, 2022). Bien que des réductions d'émissions de gaz à effet de serre puissent être observées, elles seraient accompagnées d'une diminution de la production végétale et animale ainsi que de l'emploi agricole. Il est donc essentiel de trouver un équilibre entre la promotion de pratiques agricoles durables et la nécessité de soutenir le secteur agricole pour assurer la sécurité alimentaire et le bien-être socio-économique. Dans cette optique, la hausse des soutiens agricoles dans toutes leurs composantes (producteurs, consommateurs et services collectifs pour le développement agricole) accompagnée d'une modification de leur composition au Sud et la réorientation, au Nord, vers des pratiques agroécologiques et le développement de systèmes alimentaires sains et nutritifs, est une priorité mondiale (FAO et al., 2021).

Dans les pays du Sud, il ne s'agit pas tant de réorienter les soutiens que de les augmenter tant ils demeurent faibles. Les analyses de la section précédente montrent clairement que les niveaux de soutien actuels, notamment en Afrique subsaharienne, sous toutes leurs formes, demeurent très insuffisants. Très peu de pays africains parviennent à respecter leur engagement de Maputo, qui consiste à allouer au moins 10 % de leurs budgets au secteur agricole. De plus, en Afrique subsaharienne, les budgets de soutien à l'agriculture dépendent beaucoup de l'aide extérieure. Selon les chiffres du MAFAP, cette dépendance

s'est établie en moyenne à 20 % sur la période de 2015 à 2020. Tout en augmentant l'ensemble des soutiens, il est également crucial d'allouer davantage de budgets à la composante associée directement à la production. Actuellement, seulement 8 % des dépenses publiques liées à l'agriculture et à l'alimentation sont consacrées à la production ou au soutien du producteur, alors que près de 60 % des budgets sont alloués à des dépenses de développement rural (santé, éducation, infrastructures, etc.), certes essentielles, mais qui ne contribuent pas directement à la production agricole (Figure 3.6). En outre, les financements de l'aide publique au développement en matière agricole sont dirigés vers ces dépenses rurales. Il reste donc à savoir si l'aide budgétaire apportée par les partenaires techniques et financiers pourrait être augmentée et orientée vers les soutiens aux producteurs.

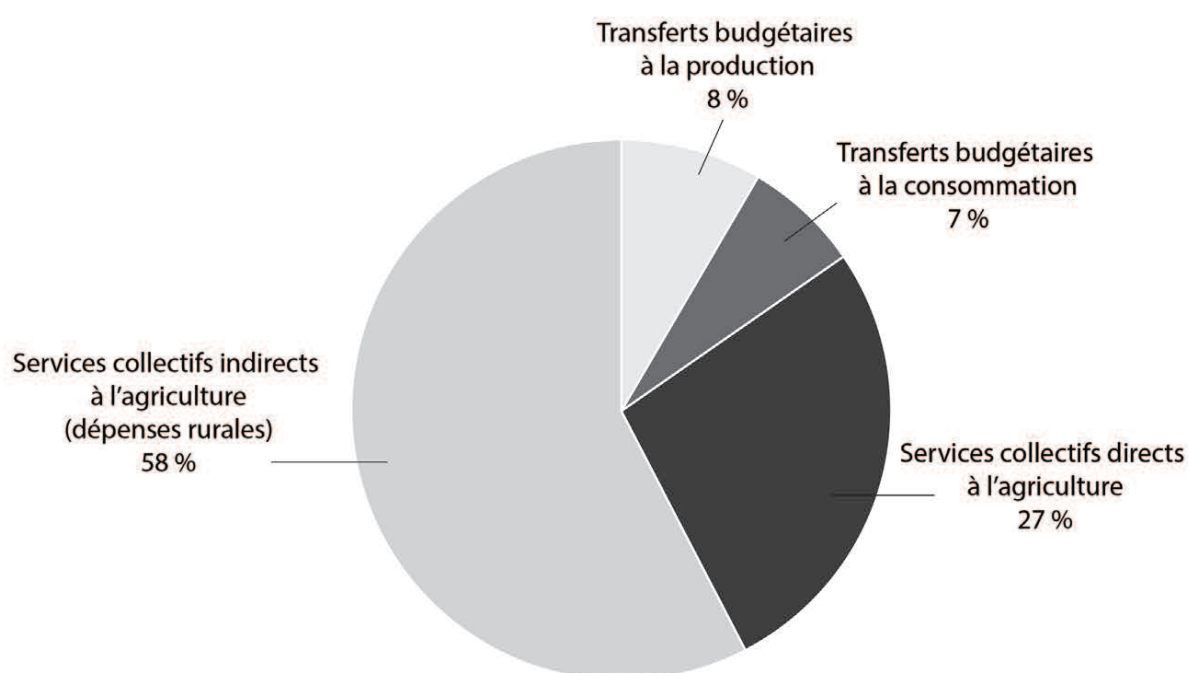


FIGURE 3.6 : Afrique subsaharienne : composition des dépenses publiques à l'agriculture et à l'alimentation, moyenne des trois dernières années connues

Sources : Calculs des auteurs, à partir des données du MAFAP.

Par ailleurs, il est essentiel de souligner que les subventions à l'achat d'intrants variables, notamment des engrais, constituent souvent la seule forme de transferts budgétaires dont les producteurs bénéficient pour soutenir directement la production. Ces derniers peuvent représenter jusqu'à 90 % du soutien aux producteurs⁷. Les mécanismes de ces subventions aux engrais en Afrique subsaharienne sont par

⁷Il convient de noter que la part des subventions allouées aux engrais dans les soutiens aux producteurs peut sembler importante, mais en réalité, elle représente 90 % d'un montant relativement faible. En moyenne, les transferts budgétaires aux producteurs pour les quinze pays africains disposant de données s'élèvent à 1,2 milliard de dollars au cours des trois dernières années connues. En comparaison, les transferts budgétaires dans les pays à revenu intermédiaire s'élèvent à 139 milliards de dollars, tandis que les pays à revenu élevé en présentent un total de 159 milliards de dollars.

ailleurs critiqués pour leur inefficacité. Le ciblage inadéquat et des mécanismes de subventions parfois mal conçus, ainsi que des problèmes de corruption et de détournement sont souvent relevés (Jayne & Rashid, 2013; Morris et al., 2007). Il est nécessaire de corriger ces inefficacités tout en accroissant les subventions, en raison du faible niveau de consommation en engrais dans cette région. En 2020, la consommation moyenne en engrais ⁸ par hectare de terres arables était de 22,5 kg, soit six fois moins que la moyenne mondiale, alors qu'elle est essentielle pour accroître la production. L'objectif ici n'est pas de rattraper les autres régions du monde, mais d'atteindre des niveaux suffisants pour accroître la production sans compromettre la durabilité des sols et les dégâts environnementaux associés. De plus, il apparaît essentiel de développer des capacités locales de production et d'approvisionnement d'engrais (minéraux, organiques ou de synthèse), notamment en Afrique (Tayeb Cherif et al., 2023).

Les transferts budgétaires à la production devraient également être orientés vers d'autres formes de soutiens connus pour leur efficacité en raison de leur rôle prépondérant dans les politiques agricoles de pays ou de régions (comme l'Europe de l'Ouest et l'Amérique du Nord) où les objectifs de productivité agricole ont été atteints (Butault, 2004). Il s'agit notamment des paiements directs au titre de la production et du soutien au revenu des producteurs, qui sont quasi inexistantes dans les politiques de soutien à l'agriculture en Afrique subsaharienne. Orienter le soutien à la production sur ces deux axes est indispensable, en les conditionnant à des critères socio-environnementaux et à des résultats économiques (choix de cultures comme les légumineuses ou vivrières, ciblage des producteurs les plus vulnérables, etc.). Cela peut constituer un levier important pour améliorer la production agricole, d'autant que les producteurs de cette région évoluent dans un environnement mondial ultra-compétitif où ils peinent à exister. De plus, la mise en pratique d'un tel mécanisme de soutien permettrait d'améliorer le ciblage des producteurs et donc l'efficacité de tous les transferts budgétaires à la production. Cependant, l'absence de statut professionnel et juridique agricole constitue un obstacle à la mise en oeuvre de ces soutiens et à leur ciblage. Le métier d'agriculteur est très souvent considéré comme un mode de vie plutôt que comme un statut entrepreneurial.

Au niveau des services collectifs – qui font l'objet de l'essentiel des dépenses –, un accroissement du soutien aux services spécifiquement liés à l'agriculture est nécessaire. Ces derniers ne représentent que 32 % du soutien pour la fourniture de services collectifs contre 68 % pour des services ruraux sans lien direct avec l'agriculture. Parmi les services directs à l'agriculture, l'essentiel du soutien est orienté vers la fourniture d'infrastructures qui sont encore insuffisantes. Ce type de soutien doit être renforcé. Il est également important d'orienter davantage de soutien vers la formation, la recherche et la vulgarisation (IFPRI, 2020). La recherche, en particulier sur les cultures de subsistance (mil, sorgho, tubercules) est parfois négligée au profit des cultures commerciales comme le coton.

Ces différentes orientations du soutien doivent s'accompagner de mesures de protection temporaires pour permettre le développement de certaines filières stratégiques, comme l'illustre l'exemple de la filière avicole au Sénégal (Fondation FARM & Fondation Avril, 2022). Les États d'Afrique subsaharienne

⁸Selon les données FAO, comprenant la fertilisation minérale uniquement.

doivent définitivement rompre avec le biais urbain à l'encontre du secteur agricole, d'autant plus que dans les différentes régions du monde où la suppression du biais urbain a été opérée, la production agricole s'est nettement améliorée (Laborde et al., 2019).

Dans les pays du Nord, ainsi que dans certains pays en développement où la majorité du soutien à l'agriculture est potentiellement nuisible à l'environnement, il devient nécessaire de réorienter ces soutiens vers des pratiques agricoles plus durables. Le développement et la mise en oeuvre de ces pratiques nécessitent un environnement politique (lois, décrets, normes, plans d'investissements, instruments financiers, etc.) favorable et approprié. Or, les modèles conventionnels sont enfermés dans des trajectoires avec des contraintes structurelles à débloquent, ce qui nécessite des changements fondamentaux (HLPE, 2019). Comme le rappellent Place et al. (2022) l'un des principaux goulets d'étranglement qui entravent les transitions agricoles, au-delà de la disponibilité des solutions, est de savoir si les bonnes politiques, adaptées au contexte, peuvent être mises en oeuvre.

Cette réorientation du soutien vers des pratiques agricoles durables sur le plan environnemental peut s'articuler autour des leviers techniques, sociaux, financiers et agronomiques issus de l'agroécologie. Cette dernière offre une approche holistique de l'agriculture en mettant l'accent sur la préservation des écosystèmes, la diversification des cultures, la réduction de l'utilisation de produits chimiques et la promotion de la biodiversité (Côte et al., 2022). Les politiques publiques peuvent soutenir cette transition en fournissant des incitations financières et des formations aux agriculteurs pour les aider à adopter des techniques agroécologiques, comme c'est le cas en Inde dans l'État d'Andhra Pradesh (Landy & Dorin, 2022), en France (Hubert & Couvet, 2021), au Brésil (Niederle et al., 2019) et au Sénégal (Boillat et al., 2022; Bottazzi & Boillat, 2021). Cela peut prendre la forme de subventions pour la conversion vers des méthodes agroécologiques, de soutien à la recherche et au développement dans ce domaine, et de programmes de formation pour les agriculteurs.

Pour soutenir efficacement des systèmes alimentaires durables, il est également crucial de mettre en oeuvre des politiques qui modifient les habitudes de consommation et de promouvoir des régimes alimentaires sains. L'organisation d'un environnement alimentaire favorable, basée sur des incitations et des réglementations, peut renforcer la demande de produits sains. Au niveau des incitations, les soutiens publics directs à l'alimentation sont actuellement insuffisants et ne ciblent pas adéquatement les aliments nutritifs tels que les fruits et les légumes. L'accès à une alimentation saine est souvent restreint pour les personnes à faible revenu, car les aliments nutritifs peuvent être coûteux (FAO et al., 2022). Cela crée une disparité dans les régimes alimentaires en fonction du niveau de revenu. Les politiques visant à soutenir les systèmes alimentaires durables doivent prendre en compte ces disparités et promouvoir l'accès équitable à des aliments sains. La diversité des contextes impose des mesures spécifiques à chaque région. Dans les pays développés, le problème de disponibilité se pose moins que dans les pays en développement. Cependant, l'accès à ces aliments reste un défi, en particulier pour les populations à faible revenu. Des incitations adaptées peuvent être mises en place pour réduire les obstacles financiers à l'accès aux aliments sains et encourager leur consommation. Dans les pays en développement, la disponibilité et l'accessibilité

des aliments sains constituent des défis majeurs. C'est notamment le cas dans les pays à revenu intermédiaire (Afrique du Sud, Égypte, Mexique, îles du Pacifique, etc.) qui sont confrontés à l'augmentation de pathologies liées à l'alimentation (surpoids, obésité, maladies cardiovasculaires) (Popkin et al., 2012). Des mesures spécifiques doivent être prises pour développer des filières visant à améliorer la production agricole locale, renforcer les infrastructures de distribution et faciliter l'accès des populations à faible revenu à des aliments nutritifs et abordables. À l'inverse, que ce soit dans les pays industrialisés ou dans les pays en développement, des actions peuvent être mises en oeuvre pour limiter l'attractivité des aliments riches en calories, en particulier ceux contenant des quantités élevées de gras, de sucre et de sel, et présentant des risques pour la santé (taxes mises en oeuvre au Mexique et au Chili depuis 2014).

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons analysé les financements publics et les soutiens au prix du marché dévolus à l'agriculture et à l'alimentation en comparant à l'échelle mondiale le montant et la structuration de ces soutiens. Nous avons ainsi montré que plus un pays a des revenus élevés plus il soutient son agriculture et que dans certains contextes, comme en Afrique subsaharienne, le manque de protection des agricultures face à la compétition mondiale annulait le trop faible niveau des soutiens publics. Après avoir analysé les limites des financements publics actuels, nous avons insisté sur la nécessité de réorienter, dans les pays à revenu élevé, les soutiens publics vers des mesures qui encouragent la préservation de l'environnement et la régénération des ressources naturelles. À l'inverse, dans les pays à revenu faible, et plus particulièrement en Afrique subsaharienne, où les soutiens budgétaires à la production agricole et à l'alimentation sont dramatiquement insuffisants, il faut non seulement accroître les montants des soutiens et les orienter vers des pratiques durables en mobilisant la grande diversité de mécanismes, d'instruments et d'incitations existants ou à co-construire. Ces derniers doivent en effet être élaborés, gérés, voire contrôlés par les acteurs des filières, les agriculteurs en premier lieu, afin qu'ils soient appropriés et utilisés selon des stratégies définies collectivement et sur lesquelles les politiques publiques pourront s'aligner. Cela demande cependant que les producteurs soient représentés et les filières organisées dans des instances de coordination où la gouvernance est régulée par la puissance publique. Cela suppose aussi d'investir dans la montée en capacité des organisations représentatives des producteurs et des filières. Les États ont un rôle clé à jouer et ne doivent pas s'effacer, il faut au contraire qu'ils occupent un rôle de garant et qu'ils aient la capacité d'orienter les soutiens publics vers des cibles prioritaires, en particulier les agricultures familiales, les femmes, les jeunes ruraux, les biens communs et les zones enclavées. Le renforcement des institutions nationales et régionales en charge de l'agriculture et des financements sera d'ailleurs indispensable pour canaliser les nouveaux financements. L'enjeu réside aussi dans la cohérence des politiques publiques, notamment les politiques de soutien et les politiques commerciales qui encouragent les importations alimentaires au détriment des producteurs (Fondation FARM & Fondation Avril, 2022). Dans le même temps, l'ensemble de ces dispositifs ne doit pas réduire les revenus des agriculteurs, ce qui appelle aussi à une réflexion au niveau des industries agroalimentaires

et des consommateurs.

Le financement de l'agriculture dans le monde, et en particulier dans les pays en développement, est en recomposition. De nouveaux modèles apparaissent, caractérisés par l'émergence d'outils comme les crédits carbone ou les financements climatiques, ainsi que l'implication d'acteurs privés dont les financements doivent être orientés vers les mêmes cibles décrites plus haut, trop longtemps marginalisées. Un vaste chantier de recherche et de politiques publiques s'ouvre pour guider et vérifier que ces mécanismes et ces acteurs agissent dans le sens des trajectoires de transformation des agricultures vers une plus grande durabilité. Au coeur de ce chantier, les données tiennent un rôle essentiel mais elles font souvent défaut, notamment pour évaluer les impacts des changements de pratiques et pour mesurer les financements publics et privés qui y sont consacrés. Ces données seront particulièrement importantes pour guider les efforts du financement de l'adaptation au changement climatique des agricultures dans les Suds. La COP 28 à Dubaï a d'ailleurs tiré la sonnette d'alarme, montrant que l'adaptation est faible, voire inexistante dans un certain nombre de pays, faute d'investissements publics et privés. Nous sommes en effet encore très loin des 1000 milliards de dollars nécessaires chaque année pour permettre aux pays en développement de combattre les effets du changement climatique, tous secteurs confondus ([United Nations Environment Programme, 2023](#)).

Deuxième partie

Technologie solaire et atténuation de gaz à effet de serre (GES) dans l’horticulture irriguée : leçons d’une évaluation d’impact au Sénégal

“We reject the idea that Africa must choose between economic growth and low-carbon development.”

— KOFI ANNAN (2015)

Carbon Footprints of Irrigated Horticulture in Senegal : The Roles of Energy Use, Agronomic Practices, and Structural Inequalities

Abstract¹

This chapter estimates greenhouse gas (GHG) emissions from irrigated horticulture in Senegal's Niayes region using an approach that separates two components of the carbon footprint : emissions arising from agricultural practices, particularly fertilization, and emissions associated with the energy required for irrigation. Emissions are calculated following IPCC guidelines (Tier 1 and Tier 2), whose equations were transcribed and implemented in a Stata program that enables the decomposition of the carbon footprint by its main sources. The data utilized are derived from a survey questionnaire designed to collect all required information for emissions accounting, including energy sources and irrigation technologies, fertilizer use and cropping practices, yields, and the structural constraints faced by producers. Estimates based on data from 804 producers show that emissions, measured in kg CO₂-equivalent per kg of crop, stem primarily from fertilization practices (85%), while the impact of energy consumption remains minimal. Although solar producers exhibit lower emission levels than non-users, fertilization practices play a predominant role in total emissions relative to energy consumption. These findings support the adoption of integrated strategies that maximize the potential benefits of solar irrigation while improving fertilizer and irrigation management. Beyond technical determinants, the results also show that structural inequalities, particularly gender-based disparities, shape the emission levels, with estimated emissions per kilogram of crop roughly five times higher for women than for men.

¹Ce chapitre a été coécrit avec Arouna Zoromé. Université Clermont Auvergne, CNRS, IRD, CERDI, F-63000, Clermont-Ferrand, France et Mohammed VI Polytechnic University, (EIEA-ABS-UM6P), Rabat, Morocco.

1 Introduction

Agriculture is both at the forefront of climate change impacts and a significant contributor to it. On the one hand, climate change threatens food production, especially in tropical and arid regions. On the other, agriculture contributes substantially to anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions, accounting for approximately 12–25% of global emissions, depending on the scope considered (Vermeulen et al., 2012; Crippa et al., 2021). In sub-Saharan Africa, where economies are predominantly agro-silvo-pastoral, agriculture can represent nearly half of national emissions (Richards et al., 2015). These emissions mainly arise from enteric fermentation, grazing animal manure, synthetic fertilizers, rice cultivation, manure management, crop residues, biomass burning, and manure applied to soils (Tongwane & Moeletsi, 2018; Smith et al., 2014). This scenario presents a critical policy dilemma : how to simultaneously enhance agricultural productivity to ensure food security and reduce the sector's carbon footprint ?

Addressing this dual challenge demands adopting a new paradigm centered around reducing agriculture's negative environmental impacts through a comprehensive ecological transition, consistent with global climate targets, particularly limiting global warming to 2°C. This transition must encompass the entire agricultural sector, prompting a rethinking of production systems to become more eco-efficient consuming fewer resources and emitting fewer pollutants per unit of product or cultivated area. Essential steps include improved nitrogen fertilization management, reducing emissions from enteric fermentation, crop residue burning, synthetic fertilizer use, and increased adoption of cleaner energy sources (Wollenberg et al., 2016).

In Senegal and, more broadly, West Africa, the horticultural subsector illustrates these intersecting agricultural and environmental challenges. Since the 1980s, the region has experienced unprecedented horticultural growth, driven by diversification into vegetable and fruit crops to meet rising urban demand and export opportunities (Hollinger & Staatz, 2015; OECD & FAO, 2016; Bricas et al., 2016). In Senegal, previously underutilized areas like the Niayes region have become central to national horticultural production, accounting for between half and two-thirds of the country's fresh vegetable production (Fare et al., 2017). This expansion relies heavily on motorized irrigation, facilitated by easy access to shallow groundwater pumped using motor pumps, enabling intensive dry-season production where rainfed agriculture is insufficient. Consequently, energy use has become crucial in irrigated horticultural production. Traditionally, fossil fuels (primarily petrol and diesel) dominate irrigation systems, leading to high economic costs and environmental externalities, notably CO_2 emissions from fuel combustion. Recently, alternative solutions such as photovoltaic solar pumps have emerged, supported by development programs aimed at reducing diesel dependency and promoting cleaner irrigation practices (Sanogo et al., 2025; Utz, 2011).

While numerous studies have analyzed agricultural GHG balances globally, the literature remains scarce in the West African context and particularly for horticultural systems. Existing research often emphasizes non-energy emissions, such as deforestation, land-use changes, and nitrous oxide emissions from fertilizers, which dominate Africa's agricultural carbon footprint (IPCC, 2006; Tubiello, 2019). Conversely, the role of energy in agricultural GHG inventories remains poorly documented for tropical farming systems. In industrialized countries, fuel and electricity usage in agricultural operations (machi-

nery, pumping, greenhouse heating, etc.) represents a significant emission source (Pellerin et al., 2017; Sims & Flammini, 2014; Flammini et al., 2022). In Africa, where mechanization is less widespread, energy use has traditionally been a secondary consideration in agricultural emissions analyses, except for irrigation-related motorization. Recent studies, however, suggest this aspect deserves greater attention. Qin et al. (2024) show that globally, agricultural irrigation consumes approximately 1,896 petajoules (PJ) of energy annually, emitting around 216 Mt CO_2 -equivalent to 15 % of agriculture-related emissions, with notably high footprints associated with diesel-powered pumps. These findings reflect increasing interest in solar-powered irrigation and renewable energy solutions more broadly. Several economic studies have evaluated financial and productivity benefits of transitioning from diesel to solar energy for small-scale farmers (Burney et al., 2010, 2013; Birhanu et al., 2023; Diouf, 2024). However, few studies rigorously compare the carbon footprints of equivalent irrigation systems powered by fossil versus renewable energy sources. Studies quantifying potential climate benefits from energy transitions in African irrigated agriculture remain limited. To the best of our knowledge, only El-Gafy & El-Bably (2016) have assessed GHG emissions comparing diesel and electric irrigation pumps in Egypt, concluding that electric pumps offer superior environmental, economic, and social benefits. Additionally, most West African agricultural GHG inventories aggregate data at the country or regional level, neglecting micro-level practice heterogeneity (Mostefaoui et al., 2024; Tongwane & Moeletsi, 2018). This underscores the need for detailed empirical studies leveraging field data to compare emissions across production systems.

This chapter measures greenhouse gas (GHG) emissions generated by a sample of horticultural producers located in the Niayes region of Senegal, with a particular focus on two dimensions : energy use for irrigation and agricultural practices, especially fertilization. More specifically, we compare the carbon footprint of producers using different energy sources and examine the extent to which the adoption of low-carbon technologies, in particular solar irrigation, can strengthen the climate sustainability of irrigated horticulture. In this context, the chapter addresses two research questions : (1) What is the magnitude and composition of GHG emissions from horticultural producers in the Niayes region, taking into account the main sources of emissions (fertilization and energy use) ? (2) To what extent does the adoption of solar irrigation reduce both energy-related emissions and total emissions ?

We collected primary data from field surveys conducted as part of the project “Energy Transition for Women’s Economic Empowerment through the Horticultural Value Chain in Post-COVID contexts in Guinea and Senegal” led by IPAR (Initiative Prospective Agricole et Rurale)². Data comprise detailed information on 804 horticultural producers managing 1,550 plots in the Niayes area, covering eight vegetable crops (onion, tomato, carrot, potato, cabbage, okra, pepper, and eggplant). Based on IPCC guidelines IPCC (2006) and using emission factors adapted to the West Africa context, we first calculated GHG emissions per production system at plot level, including emissions from irrigation-related energy consumption (fuel or electricity) and input use (mineral and organic fertilizers). Subsequently, we conduct comparative analyses of emissions levels based on producer characteristics.

Our results indicate that fertilization and crop residues are primary GHG sources rather than energy use, with emissions decreasing as plot size increases. Emission levels vary significantly by region, with the

²See <https://ipar.sn/>

highest noted in southern areas. The regional disparities reflect local contextual factors : for example, the southern zone exhibit higher emissions despite lower fertilizer use, due to inefficient irrigation methods that limit yields. Major emitting crops include pepper, okra, and cabbage. Furthermore, female producers emit approximately five times more GHG per kilogram produced compared to male counterparts, mainly due to their concentration on micro-plots (less than 0.5 ha). Unsurprisingly, the results further reveals that producers using solar energy for irrigation tend to emit less GHG than those relying on fossil fuels. Overall, reducing emissions in horticultural value chains requires improving fertilization practices, alongside integrating solar energy within broader sustainability strategies. Additionally, our analyses explore critical policy-relevant dimensions, such as the socio-economic implications of gender disparities in land access. In sum, these findings provide valuable insights to inform energy transition strategies in Senegalese and African horticultural value chains, integrating concerns of productivity, gender equity, and environmental sustainability.

The rest of the paper is structured as follows. Section 2 outlines the survey data ; Sections 3 and 4 detail methodologies for emission calculations and activity data ; and the final section presents and discusses findings.

2 Survey data

2.1 Sampling design and implementation

We collected original micro-level data through a dedicated producer–plot survey specifically designed to answer our research questions. The survey was implemented as part of the research project “Energy Transition for the Economic Empowerment of Women through the Horticultural Value Chain in a Post-Covid Context in Guinea and Senegal”, led by IPAR (Initiative Prospective Agricole et Rurale). We designed a survey to collect, during the 2021–2022 agricultural season, all activity data required to estimate GHG emissions.

The target population consists of horticultural households in the Niayes region, defined as households with at least one horticultural producer growing one of the eight focus crops (potato, onion, tomato, carrot, okra, pepper, eggplant and cabbage). The Niayes form the main horticultural belt of Senegal, stretching along the Atlantic coast across several administrative regions. Within this area, we distinguish three sub-zones (North, Center and South), which serve as sampling strata (see Figure 4.1).

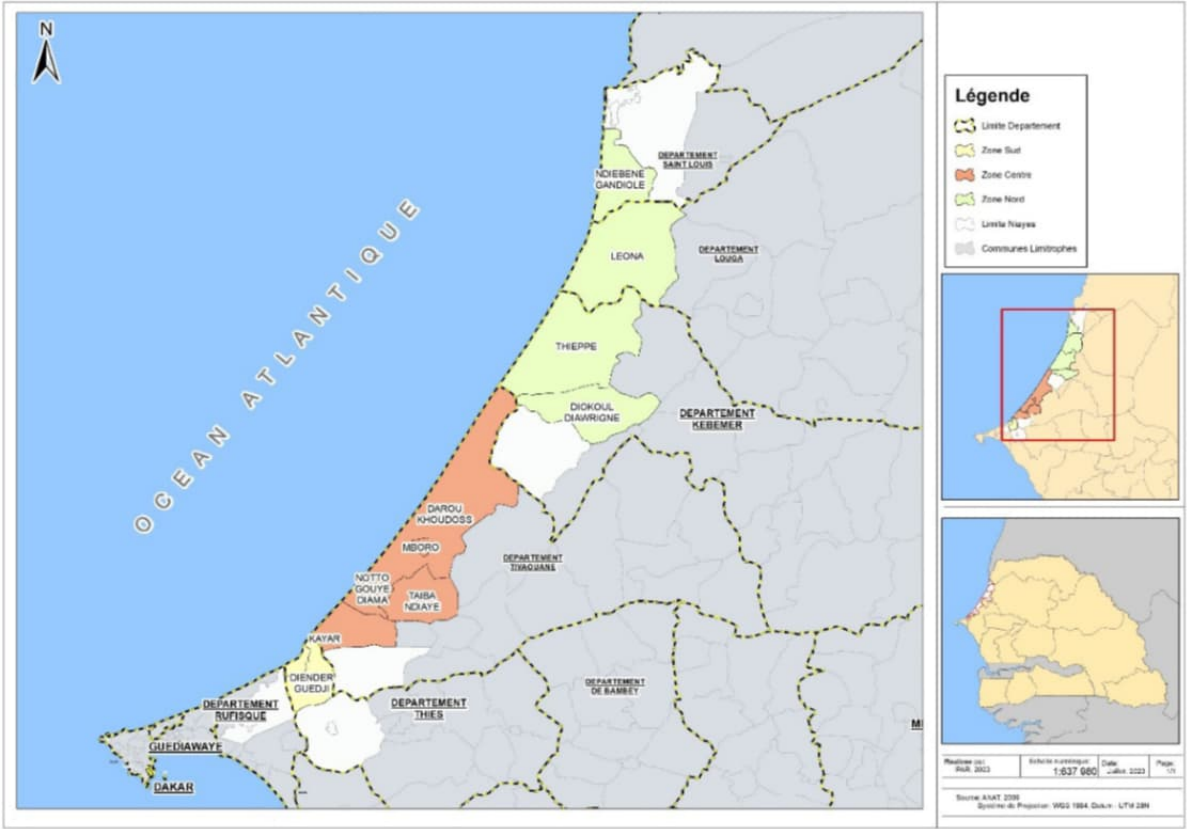


FIGURE 4.1 : Map of the localities covered by the surveys

Source : IPAR, WEL Senegal survey, 2022.

The sampling³ strategy follows a three-stage stratified cluster design, a standard approach in large-

³For more details regarding sampling design, see Faye & Mingou (2023)

scale household and agricultural surveys facing strong spatial heterogeneity and tight budget constraints (Grosh & Muñoz, 1996; Deaton, 2018; Groves et al., 2011; Lohr, 2021). In the first stage, communes are randomly selected within each of the three agro-ecological sub-zones of the Niayes (North, Center and South). In the second stage, a random sample of villages is drawn in each selected commune. In a third stage, horticultural producers are randomly selected within each village. At the last stage, we apply an stratification between producers using solar-powered irrigation and those relying exclusively on non-solar technologies. This design improves the coverage of the different agro-ecological sub-zones and, at the same time, ensures that the sample includes enough solar and non-solar producers for comparative analysis.

The final dataset includes 815 surveyed producers from 389 households, of whom 804 reported positive horticultural production during the 2021/2022 agricultural season. These producers manage 1,550 plots distributed across the three sub-zones. Among them, 410 producers (51 %) use solar energy for irrigation, whereas 394 producers (49 %) rely exclusively on fossil fuel, electricity or manual systems. To the best of our knowledge, this is the first dataset in West Africa that, based on a representative sample of horticultural producers, relies on a questionnaire specifically designed for plot-level GHG accounting, allowing a precise distinction between energy-related emissions and those arising from agronomic practices.

2.2 Questionnaire content

The survey ⁴ was designed to capture the full set of variables needed to compute plot-level GHG emissions, in accordance with IPCC guidelines. It combines standard socio-economic modules with detailed information on agricultural practices, input use, irrigation technologies and energy profiles at both crop and plot level. At producer level, the survey collects information on demographic characteristics, income sources, land access and tenure, as well as access to credit and advisory services. At the farm and plot levels, it records the number and size of plots, tenure arrangements and the geographic location of each plot.

Several modules focus on production practices over the entire horticultural cycle. For each crop and plot, the questionnaire documents soil preparation, sowing methods, seeds varieties, fertilisation practices (types and quantities of mineral and organic fertilisers, number and timing of applications), pest and weed management, irrigation practices, harvesting, storage and labour use. Dedicated sections record detailed information on irrigation equipment and energy sources, including the type of pumps and irrigation systems (manual, hose, sprinkler, drip), the type of energy used for water abstraction and application (solar, electricity, diesel, petrol or manual), the number and capacity of solar installations and fuel pumps, the duration and frequency of irrigation, and the associated expenditures on fuel and electricity. This high level of detail allows us to collect the activity data required to estimate GHG emissions from fertilisation, crop residue management and energy use at the plot level.

⁴The survey questionnaire is available on request.

2.3 Sample description and stylized facts

2.3.1 Socio-professional characteristics of producers

Figure 4.2 highlights the main stylized facts on producers solar energy adoption, gender, production area, and age. We note that producers are unevenly distributed across the three zones of production, North, Center, and South. They are primarily concentrated in the North (45%) and Center (38%) zone. Data also indicates a higher adoption of solar energy in the North and Center zones, where approximately 52% of producers use solar energy, compared to 45% in the South zone. Overall sample, 438 out 804 producers are women (approximately 54%) and 366 are men (approximately 46%). Among those using solar technologies, women represent 52% compared to 48% for men. And the adoption rate of solar energy within each group is 48% for women and 54% for men. Looking at the producers’ age distribution, it ranges from 18 to 87 years, with an average age of 43 years for both solar and non-solar users. Most producers (48%) fall within the 28 to 47 age range, and adoption rates across different age categories are relatively similar.

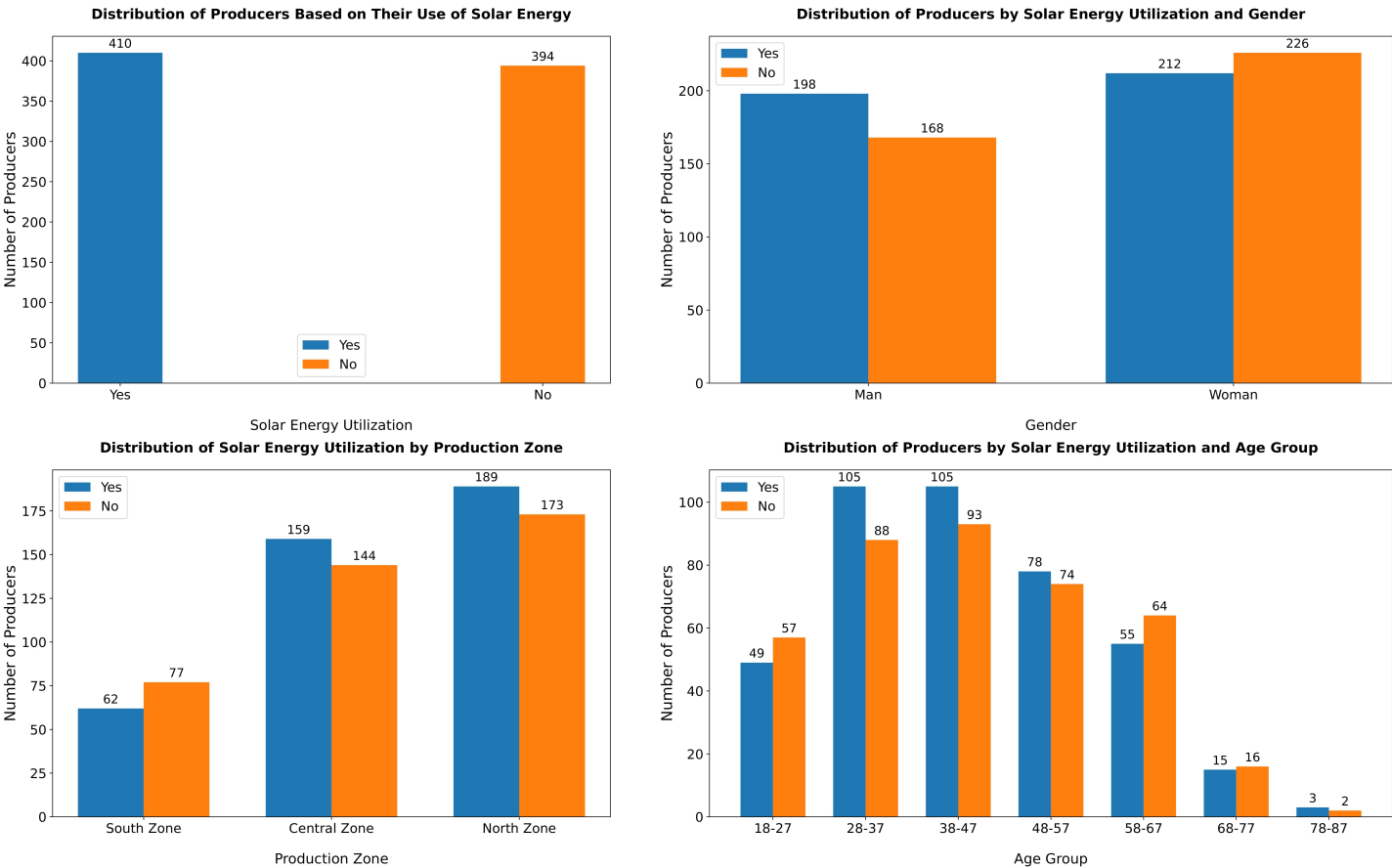


FIGURE 4.2 : Distribution of solar and non-solar producers by gender, zone and age

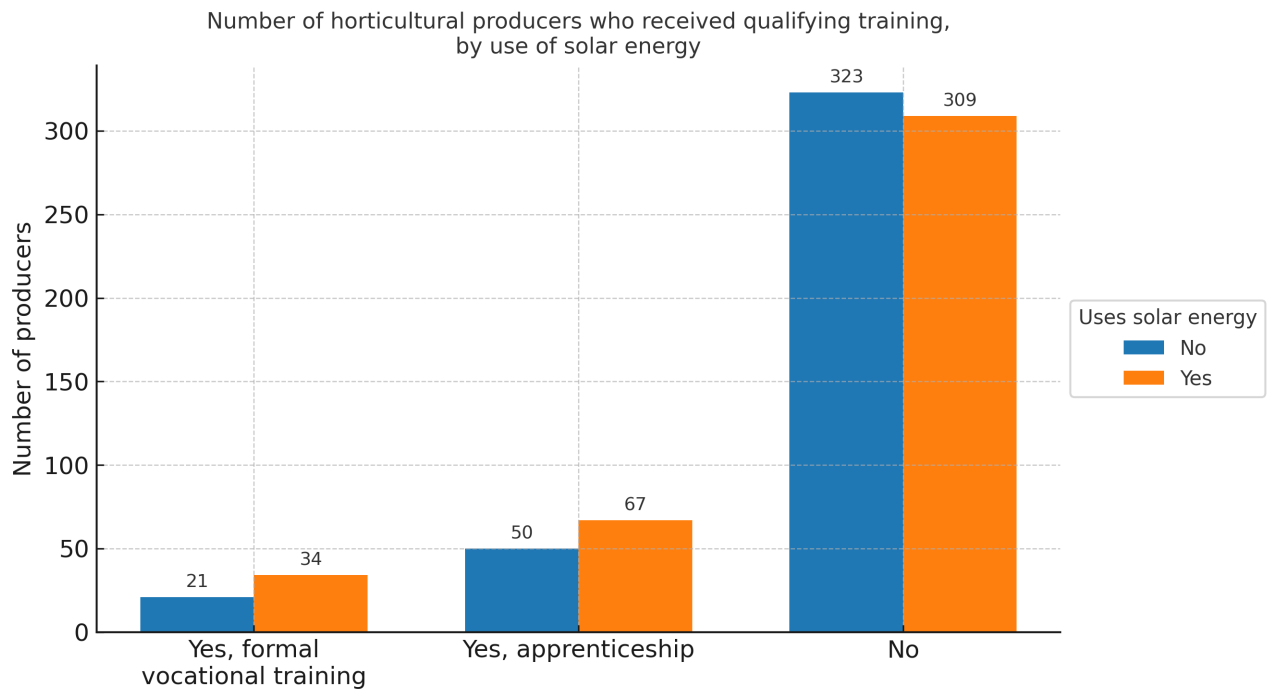
Source : Authors.

Moreover, as shown in Table 4.3, Agriculture is the primary activity and main source of income for

over 90% of horticultural producers, regardless of whether they use solar energy. However, there is a notable difference in the average income between solar and non-solar producers. The income difference amounts to 575,430 FCFA, which could suggest that the use of solar energy positively impacts the earnings of producers who rely on agriculture as their main occupation and source of income.⁵

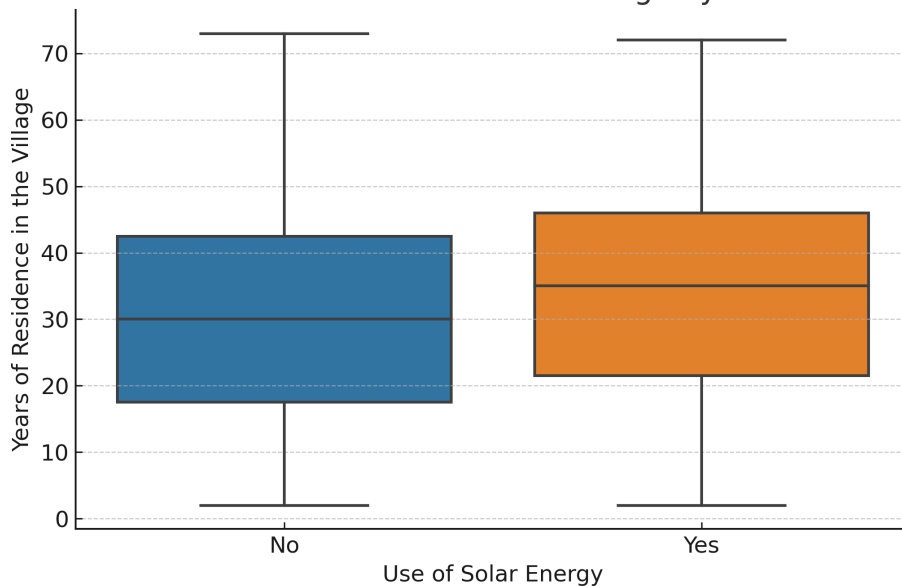
Graph (a) in Figure 4.3 shows that most horticultural producers (78%) have neither professional training nor apprenticeship experience. Only 55 producers have received professional training, and 117 have undergone apprenticeship training. There is not much difference between solar and non-solar producers. Regarding the length of residence in the village, producers also present similar characteristics. On average, they have lived in their villages for about 34 years, with no statistically significant difference between solar energy users and non-users (see Graph (b) in Figure 4.3).

⁵But at this stage of the analysis, this is just an intuition that we have not tested yet.



- a -

Distribution of Years of Residence in the Village by Use of Solar Energy



- b -

FIGURE 4.3 : Distribution of solar and non-solar producers by training status and length of residence in the village

Source : Authors.

Figure 4.4 shows how producers are distributed following land acquisition modes, property types, plot types, and the average distance between producers' fields and their homes. Various forms of land acquisition are observed, including rental, sharecropping, (co)ownership with or without documentation, and borrowing. Ownership structures include individual, family, and collective arrangements, while the nature of the plots comprises irrigated perimeters, lowlands, and rainfed lands. Borrowing and co-ownership emerge as the most prevalent land management arrangements among producers. Among those who own their plots, individual and family ownership dominate. The majority of producers cultivate irrigated perimeters, and, on average, live within 2.5 kilometers of their agricultural plots. Solar and non-solar producers are consistently homogeneous across all observed dimensions.

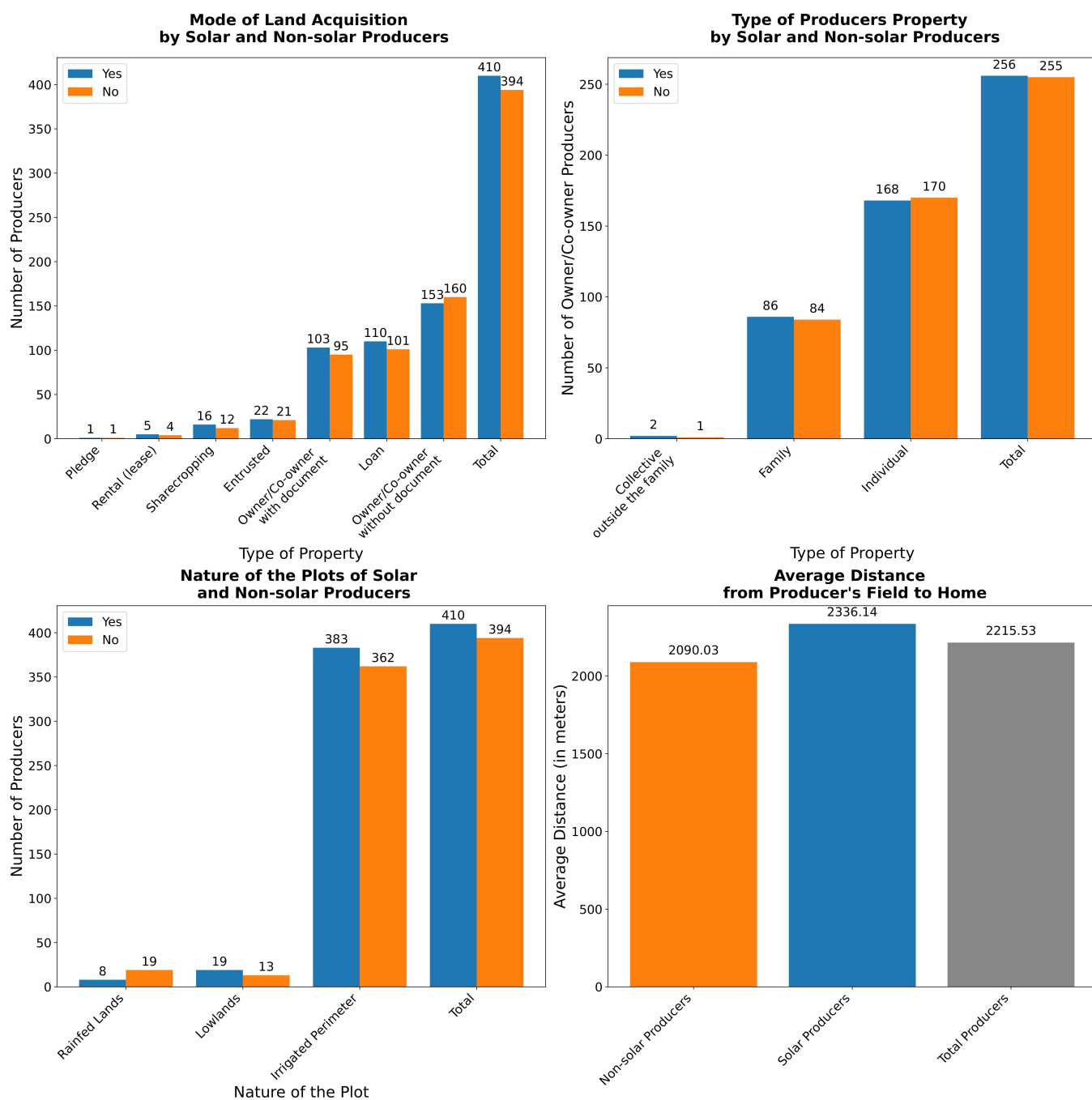


FIGURE 4.4 : Distribution of solar and non-solar producers by type of land ownership, nature of plot and average distance to home

Source : Authors.

Figure 4.5 shows the dissemination channels and solar equipment financing mode among producers. Data reveal two main facts. First, awareness of solar technologies is widespread among horticultural producers, with only 24% of non-solar producers reporting a lack of awareness. Second, a mimetic effect seems to significantly contribute to the spread of solar energy. The primary channels through which

producers learn about solar technologies are through neighboring horticulturists, family, friends, and close acquaintances, accounting for over 73% of producers. In contrast, institutional channels, such as television, NGOs, cooperatives, or government initiatives, play a relatively minor role. These findings suggest that social interactions may be crucial in the dissemination of solar technologies. Regarding the financing mechanisms, among the 410 producers using solar energy, 257 own their equipment. Most of them, roughly 85%, have self-financed their solar equipment, either through cash payment or borrowing. Very few producers have benefited from external support from NGOs/foundations, cooperatives/producer organizations, or government.

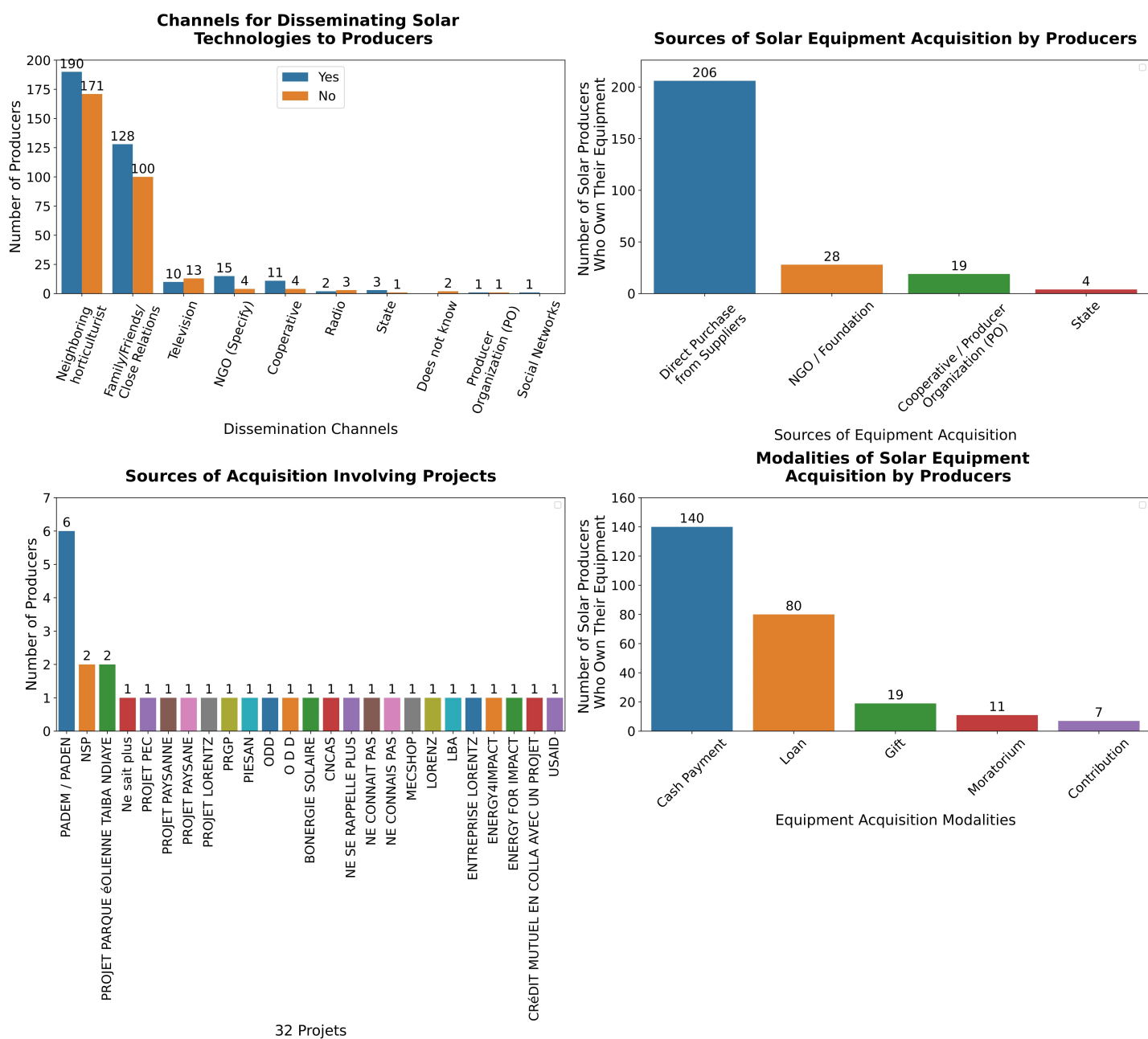


FIGURE 4.5 : Distribution of solar and non-solar producers by dissemination channels and financing mechanisms

Source : Authors.

2.3.2 Economic and operational characteristics of producers

Table 4.1 reports t-tests for differences in means between solar and non-solar producers across key economic and technical indicators : cultivated area, average annual income, average daily working time, average production and irrigation costs. The average cultivated area is very similar in both groups (around 1 ha) and the difference in means is not statistically significant, which suggests that solar and non-solar

producers operate comparable land sizes. By contrast, a sizeable and statistically significant income gap emerges in favour of solar users. Solar producers report an average annual income of 1,517,474 FCFA compared with 1,041,614 FCFA for non-solar producers, and the difference in means is significant at 5 %.

TABLE 4.1 : T-test for differences in means between solar and non solar producers, across various economic and technical indicators

Variable	Mean (Non-solar)	Mean (Solar)	Mean Diff.	t-stat	Sig.
Avg. cultivated area (ha)	1.033	1.010	0.0227	0.2650	ns
Avg. annual income (FCFA)	1,041,614	1,517,474	-475,860	-2.5613	**
Avg. working hours/day	7.043	7.027	0.0163	0.0869	ns
Avg. production cost	458,644	586,450	-127,806	-1.2389	ns
Avg. irrigation cost	109,748	98,506	11,242	0.5127	ns

Source : Authors.

For the other indicators, the tests do not reveal statistically significant differences. Average daily working time is almost identical (about 7 hours per day). Likewise, although solar users display somewhat higher average production costs and slightly lower irrigation costs than non-solar producers, these gaps are not statistically significant.

2.3.3 Cropping patterns and crop distribution

Figure 4.6 shows the distribution of crop types in the sample, measured in number of plots and disaggregated by zone, solar use and gender. The production system is dominated by three main crops. Onion alone accounts for about 32 % of all plots, while tomato and cabbage represent roughly 19 % and 17 %, respectively. Potato and eggplant each account for around 11 % of plots, whereas carrot, okra and chilli pepper remain marginal in terms of land allocation.

The spatial distribution of crops reveals marked regional specialisation. Onion and tomato are heavily concentrated in the northern zone, where the number of plots is far higher than in the Centre and the South. Potato and eggplant are more frequently cultivated in the central zone, whereas cabbage is more evenly distributed between the Centre and the North, with a more limited presence in the South. Okra, chilli pepper and carrot remain minor crops across all zones.

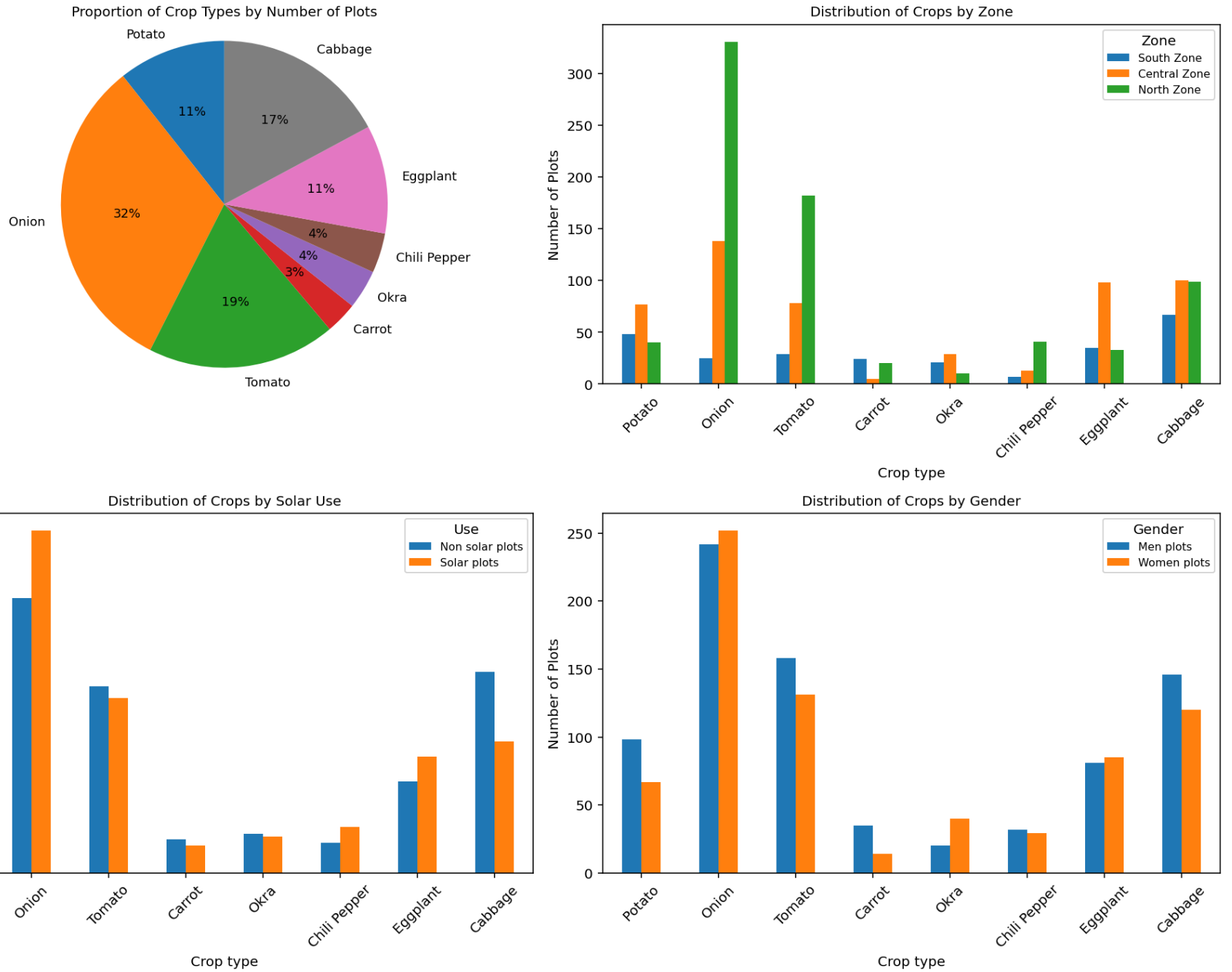


FIGURE 4.6 : Distribution of producers by energy profiles

Source : Authors.

The comparison between solar and non-solar plots indicates that the adoption of solar energy is not confined to a specific crop. For most crops, the number of solar plots is similar to or higher than the number of non-solar plots. Solar use is particularly pronounced on onion and eggplant plots, and is also frequent for potato and chilli pepper. By contrast, cabbage and, to a lesser extent, tomato remain more often irrigated with non-solar technologies, with a larger number of plots relying on conventional energy sources.

The gender breakdown reveals a strong involvement of women in the main horticultural crops. Men and women cultivate onion, tomato, eggplant and cabbage in broadly comparable proportions, with women even holding a slightly higher share of onion plots. Women also account for a substantial share of tomato and cabbage plots, although men remain slightly predominant. Some secondary crops appear more gendered. Okra is predominantly grown on women's plots, whereas potato and carrot are more frequently found on men's plots.

2.3.4 Energy use patterns for irrigation

We now examine how producers mobilise energy to irrigate their plots. Horticultural producers mainly use energy for irrigation activities, including pumping and watering, and combine five main sources : solar power, diesel, gasoline, electricity and human labour. Analysis of these energy-use patterns reveals a wide diversity of combinations rather than a simple opposition between solar and non-solar users. Figure 4.7 illustrates the distribution of producers across 22 distinct energy profiles.

Solar energy is the most widespread source in the sample. Nearly one quarter of producers (23.2 %) rely exclusively on solar power for their irrigation needs. Manual methods also remain central in the local energy landscape. They are used as the sole source of energy by 13.8 % of producers and in combination with solar energy by a further 13.5 %. Producers who depend exclusively on fossil fuels account for 16.3 % of the sample, with 64 producers using only diesel and 67 only gasoline.

By contrast, very few producers (2.5 %) rely exclusively on electricity. However, electricity frequently appears in mixed energy profiles, which suggests that it is often used as a complementary or backup source when other systems fail or are insufficient. Beyond these main patterns, a variety of other mixed profiles involve different combinations of solar, fossil fuels, electricity and manual labour. The most common combinations are "Gasoline and Manual" (8.7 % of producers) and "Diesel and Solar" (5 % of producers). More complex profiles involving more than three energy sources, such as "Diesel, Gasoline, Manual and Electricity", are rare and concern only a small number of producers (between 1 and 12 depending on the specific combination).

The heterogeneity in energy profiles is central to our research question, which aims to quantify greenhouse gas emissions associated with different energy uses and agricultural practices. Emissions are therefore estimated so as to reflect the full range of energy profiles observed in the sample.

Energy Profiles of Horticultural Producers

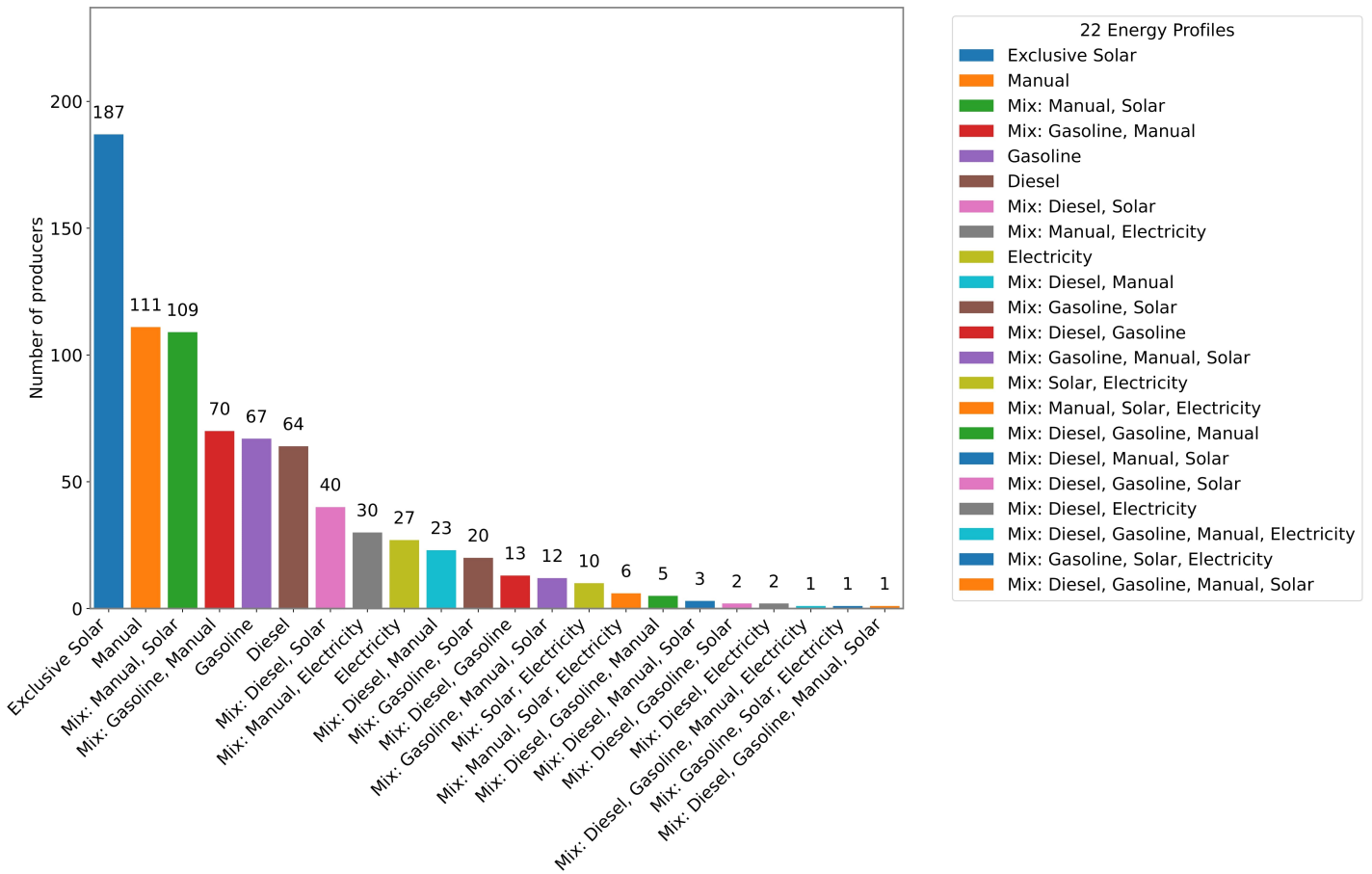


FIGURE 4.7 : Distribution of producers by energy profiles

Source : Authors.

3 Methodology

3.1 Emissions Inventory

This section presents the inventory of greenhouse gas (GHG) emissions associated with the horticultural activities of the producers in our sample in the Niayes area. The approach is based on identifying the main emission sources, as well as describing the physicochemical and biological processes underlying the formation of these GHGs. GHG emissions in the Agriculture, Forestry, and Other Land Use (AFOLU) sector are primarily composed of methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), and carbon dioxide (CO_2).

3.1.1 Sources of N_2O

Nitrous oxide (N_2O) mainly originates from the nitrification and denitrification processes of nitrogen in cultivated soils. Nitrification is the aerobic microbial oxidation of ammonium into nitrate, while denitrification is an anaerobic process that converts nitrate into gaseous nitrogen, with N_2O as an intermediate by-product (IPCC, 2006). In our sample's farming practices, soil nitrogen is supplied through fertilization and through crop residues left in the fields after harvest. Nitrogen fertilization whether organic (manure, organic waste) or synthetic (chemical fertilizers), leads to N_2O emissions in two main ways : first, through the volatilization of ammonia (NH_3) and nitrogen oxides (NO_x) from the soil ; and second, through the leaching and runoff of nitrogen, mainly in the form of nitrate (NO_3^-). In our case, farmers use N-P-K fertilizers, diammonium phosphate (DAP), and urea, as well as various animal manures (cattle, poultry, sheep, horse) and organic household waste. Crop residues, such as stems, leaves, and roots left in the field also represent a source of N_2O emissions when they decompose under microbial activity. Decomposition releases nitrogen, which can then undergo nitrification and denitrification, producing N_2O . As with fertilizer-related emissions, these N_2O fluxes follow both direct and indirect emission pathways. However, for indirect emissions, the IPCC guidelines and FAO recommendations generally highlight leaching as the main pathway through which crop residues contribute indirectly to N_2O emissions (IPCC, 2006; Tubiello et al., 2015). In addition to these two principal N_2O sources, energy consumption by motorized equipment used by our producers also contributes, albeit to a lesser extent, to N_2O emissions. The combustion of fossil fuels (gasoline or diesel) in engines can produce N_2O , particularly when combustion conditions are suboptimal (Crutzen & Andreae, 1990; European Environment Agency (EEA) & UNECE/EMEP Task Force on Emission Inventories and Projections, 2016). In such cases, high temperatures favor the formation of nitrogen oxides (NO_x), including nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO_2), which can subsequently undergo chemical reactions in the atmosphere, forming N_2O . Furthermore, the electricity used for agricultural activities can indirectly lead to N_2O emissions if it is generated by power plants burning fossil fuels that emit NO_x , later transformed into N_2O .

3.1.2 Sources of CO_2

Direct CO_2 emissions from the horticultural producers in our sample stem predominantly from energy use, namely fossil fuels (gasoline and diesel) and electricity (generated from fossil fuels) for pumping and

irrigating fields. The combustion of these fuels at high temperatures releases carbon, which is subsequently emitted into the atmosphere in the form of CO_2 . Moreover, the application of urea-based fertilizers also results in CO_2 emissions. Urea is widely used in agriculture due to its high nitrogen content, but its decomposition in the soil contributes to CO_2 releases. Once urea is applied, it is hydrolyzed into ammonia (NH_3) and carbon dioxide under the action of the urease enzyme naturally present in the soil (IPCC, 2006). This CO_2 from urea is considered an indirect emission, as it first transforms into another compound before becoming CO_2 . In addition, excessive use of urea can accelerate the mineralization of soil organic matter, releasing additional CO_2 that was previously stored in organic form.

3.1.3 Sources of CH_4

Generally, methane (CH_4) emissions in agriculture primarily arise from livestock, flooded rice paddies, fossil fuel combustion, and manure. Livestock emissions are typically dominant due to enteric fermentation in ruminants such as cattle, which produce large amounts of methane (IPCC, 2006). In our context, the relevant methane source is the use of energy. CH_4 emissions occur when fossil fuels or electricity generated from fossil fuels are used to power pumping and irrigation equipment.

3.2 Scope of GHG emission calculations : Scopes 1 and 2

GHG emission calculations are typically categorized into three scopes, as standardized by the Greenhouse Gas Protocol, which provides a framework for GHG accounting (Ranganathan et al., 2004; World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2011). Scope 1 (Direct Emissions) refers to emissions from sources directly controlled by the producer. For horticultural producers, this includes emissions from the use of inputs and fuel combustion in agricultural equipment such as tractors and pumps. Scope 2 (Indirect Energy-Related Emissions) concerns emissions resulting from the consumption of purchased energy (electricity, heat, steam) that is produced outside the horticultural operation. For horticultural producers, this includes electricity purchased for irrigation purposes. And, Scope 3 (Other Indirect Emissions) encompasses all other indirect emissions that result from the producer's activities but originate from sources not owned or controlled by them. For horticultural producers, this includes emissions from the production of agricultural inputs (such as fertilizers and pesticides), the transportation of agricultural products to markets, and the treatment and disposal of waste generated by agricultural activities.

A full understanding of GHG emissions across the entire horticultural value chain would require Scope 3 data, but this is beyond the current scope of our analysis. Here, we focus on Scopes 1 and 2, as the available data does not allow us to extend to Scope 3.

3.3 GHG Emission calculations

The emission computation is based on emission coefficients or factors derived from recognized sources (IPCC, 2006; Bouwman et al., 2002; Crutzen & Andreae, 1990; Koch & Salou, 2016), as well as on activity data from the horticultural producers in our sample. Emission factors are coefficients that measure the emissions or absorptions of gases per unit of activity. These coefficients are based on measurement samples designed to provide a representative emission rate for a specific level of activity under certain operating conditions (Tubiello et al., 2015). Activity data reflect the human actions that generate GHG emissions or absorptions in a given area and over a specific time period (IPCC, 2006; Tubiello et al., 2015). According to IPCC (2006) guidelines, GHG emissions can be estimated in three tiers based on the precision of the activity data and emission factors.

- Tier 1 : Uses simple equations and default emission factor values.
- Tier 2 : Builds on the Tier 1 methodology but incorporates country- or region-specific emission factors.
- Tier 3 : An advanced method employing models and measurement systems adapted to local conditions and repeated over time, thus offering greater accuracy and certainty in assessments.

Given the available data, we rely on a combination of Tier 1 and Tier 2 methods, with the choice of tier determined by the level of detail in the activity data and the availability of context-specific emission factors. Emissions are computed separately for (i) fertilizer use and crop residue management and (ii) energy use for irrigation, which allows us to identify the relative contribution of agronomic and energy-related sources to total emissions from horticultural operations. We first calculate GHG emissions at the plot–crop level and then aggregate them to the producer level by summing across all plots managed by each producer. The analysis covers 1,550 plots cultivated by 804 producers, some of whom operate multiple plots. Emissions are expressed as kilograms of CO₂-equivalent per kilogram of output at both the plot and producer levels.

3.3.1 Calculation of Emissions from Fertilization

Following the IPCC guidelines, we estimate both direct and indirect N_2O emissions from nitrogen fertilizers, as well as CO_2 losses associated with the use of urea during fertilization.

a. Direct N_2O Emissions

In accordance with the 2006 IPCC guidelines, we first calculate direct nitrogen-based nitrous oxide emissions ($N_2O^{df} - N$) as follows :

$$N_2O_i^{df} - N = (QN_i^{of} + QN_i^{nof}) \times EF^f \quad (4.1)$$

Where $N_2O_i^{df} - N$ represents the annual amount of direct nitrogen-based nitrous oxide emissions resulting from organic and non-organic fertilizer application, in *kg/year*. QN_i^{of} and QN_i^{nof} are the quantities of

nitrogen supplied by, respectively, organic and non-organic fertilizers for each plot i . And, EF^f is the emission factor that converts the quantity of fertilizer nitrogen into $N_2O - N$ emissions (see Table 4.6).

These nitrogen-based N_2O emissions ($N_2O - N$) are then converted into total nitrous oxide (N_2O) using the following equation :

$$N_2O_i^{df} = N_2O_i^{df} - N \times \frac{44}{28} \quad (4.2)$$

Here, $\frac{44}{28}$ corresponds to the molar mass ratio of N_2O ($44g/mol$) to N_2 ($28g/mol$), used to convert the nitrogen fraction of nitrous oxide ($N_2O - N$) into nitrous oxide (N_2O).

b. Indirect N_2O Emissions

Indirect N_2O emissions are divided into two categories : volatilization and leaching.

• Volatilized Emissions

These are estimated using the following equation :

$$N_2O_i^{if-vol} = (QN_i^{of} \times \text{Frac}^{GAZM} + QN_i^{nof} \times \text{Frac}^{GAZE}) \times EF^{vol} \times \frac{44}{28} \quad (4.3)$$

where $N_2O_i^{if-vol}$ is the indirect annual amount of volatilized nitrous oxide emissions from nitrogen fertilizer application, in $kg/year$. Frac^{GAZE} is the fraction of nitrogen volatilized in the form of NH_3 and NO_x , in kg of volatilized N per kg of applied N . And, EF^{vol} is the emission factor for N_2O resulting from volatilized nitrogen, expressed in $kg N - N_2O$ per kg of ($NH_3 - N + NO_x - N$ volatilized).

• Leached Emissions

N_2O emissions from leaching are calculated as follows :

$$N_2O_i^{if-lea} = (QN_i^{of} + QN_i^{nof}) \times \text{Frac}^{lea} \times EF^{lea} \times \frac{44}{28} \quad (4.4)$$

where $N_2O_i^{if-lea}$ is the indirect annual amount of leached nitrous oxide emissions from nitrogen fertilizer application, in $kg/year$. Frac^{lea} is the fraction of nitrogen fertilizer lost through leaching, expressed in kg of leached N per kg of applied N . And, EF^{lea} is the emission factor for N_2O resulting from nitrogen leaching, in $kg N - N_2O$ per kg of N leached.

• Total Indirect N_2O Emissions from Fertilization are thus :

$$N_2O_i^{if} = N_2O_i^{if-vol} + N_2O_i^{if-lea} \quad (4.5)$$

c. CO₂ Losses Associated with Urea During Fertilization

We compute the carbon-dioxide ($CO_{2_i}^{urea}$) as follows :

$$CO_{2_i}^{urea} = Q_i^{urea} \times EF^{urea} \times \frac{44}{12} \times 10^{-3} \quad (4.6)$$

Where $CO_{2_i}^{urea}$ represents the annual amount of carbon dioxide due to urea application, in gigagrams per year for each plot i . Q_i^{urea} is the annual quantity of urea fertilizer, in tons of urea per year for each plot i . EF^{urea} is the emission factor for CO_2 from urea use, in tons. The ratio $\frac{44}{12}$ is the factor that allows the conversion of the carbon-equivalent dioxide obtained from $Q_i^{urea} \times EF^{urea}$ into carbon dioxide (CO_2).

3.3.2 Calculation of Emissions from Crop Residues

Nitrogen contained in both above-ground and below-ground crop residues is also a source of direct and indirect N_2O emissions (IPCC, 2006). The method used to calculate these emissions is the same as that used for fertilizer-related emissions.

a. Direct N_2O Emissions from Crop Residues

Direct N_2O emissions from crop residues are estimated as follows :

$$N_2O_i^{dcr} = QN_i^{cr} \times EF^f \times \frac{44}{28} \quad (4.7)$$

Where $N_2O_i^{dcr}$ represents the annual amount of direct N_2O emissions from crop residues, in kg N_2O per year. And, QN_i^{cr} is the amount of nitrogen supplied by crop residues for each plot i .

b. Indirect N_2O Emissions from Crop Residues

According to the IPCC guidelines and FAO recommendations, leaching is generally considered the primary pathway by which crop residues indirectly contribute to N_2O emissions. These emissions are computed as follows :

$$N_2O_i^{icr} = QN_i^{cr} \times \text{Frac}^{lea} \times EF^{lea} \times \frac{44}{28} \quad (4.8)$$

c. Total Emissions from Crop Residues

Total N_2O emissions from crop residues are given by :

$$N_2O_i^{cr} = N_2O_i^{dcr} + N_2O_i^{icr} \quad (4.9)$$

3.3.3 Total Emissions from Fertilization and Crop Residues

The total emissions from fertilization and crop residues in the soil represent the sum of N_2O emissions from all nitrogen inputs to the soil plus the CO_2 emissions associated with urea use. They are calculated in CO_2 equivalents as follows :

$$eqCO_{2i}^{fcr} = (N_2O_i^{df} + N_2O_i^{if} + N_2O_i^{cr}) \times GWP \times 10^{-6} + CO_{2i}^{urea} \quad (4.10)$$

$eqCO_{2i}^{fcr}$ is the total emissions from fertilization and crop residues for each cultivated plot i , expressed in gigagrams (Gg) of CO_2 equivalent per year. $GWP = 310$ which is the 100-year Global Warming Potential for N_2O , to convert Gg of N_2O into Gg of $eqCO_2$.

3.4 Calculation of Emissions from Energy Consumption

3.4.1 Emissions from Fossil Fuel Consumption for Irrigation and Water Lifting

This section covers emissions from the use of gasoline and diesel to power pumps and irrigation systems. These activities produce CO_2 , CH_4 , and N_2O emissions, which are estimated following [Tubiello et al. \(2015\)](#) recommendations using the following equations :

$$CO_{2i}^{fc} = Cons_i^{fc} \times EF^{CO_2,fc} \times 10^{-6} \quad (4.11)$$

$$CH_{4i}^{fc} = Cons_i^{fc} \times EF^{CH_4,fc} \times 10^{-6} \quad (4.12)$$

$$N_2O_i^{fc} = Cons_i^{fc} \times EF^{N_2O,fc} \times 10^{-6} \quad (4.13)$$

CO_{2i}^{fc} , CH_{4i}^{fc} and $N_2O_i^{fc}$ are, respectively, the quantity of GHG emissions from fossil fuel consumption for each plot i , in $Gg/year$. $Cons_i^{fc}$ is fossil fuel consumption for each plot i . $EF^{CO_2,fc}$, $EF^{CH_4,fc}$ and $EF^{N_2O,fc}$ emission factor for the corresponding fossil fuel consumed, in kg/TJ . Note that fossil fuel consumption (fc) term refers to both gasoline and diesel.

3.4.2 Emissions from Electricity Consumption for Irrigation and Water Lifting

Approximately 80 percent of electricity production in Senegal is based on fossil fuels ([Ministère du Pétrole et des Énergies \(Sénégal\), 2020](#)). Consequently, the electricity consumed from the national grid for water lifting and irrigation generates GHG emissions, which can be estimated as follows :

$$CO_{2i}^e = Cons_i^e \times EF^{CO_2,e} \times 10^{-6} \quad (4.14)$$

$$CH_{4i}^e = Cons_i^e \times EF^{CH_4,e} \times 10^{-6} \quad (4.15)$$

$$N_2O_i^e = Cons_i^e \times EF^{N_2O,e} \times 10^{-6} \quad (4.16)$$

CO_{2i}^e , CH_{4i}^e and $N_2O_i^e$ are, respectively, the quantity of CO_2 , CH_4 and N_2O emissions from electricity consumption for each plot i , in $Gg/year$. $Cons_i^e$ is electricity consumption in $kWh/year$ (for CO_2) and in $TJ/year$ (for CH_4 and N_2O) for each plot i . $EF^{CO_2,e}$ emission factor for CO_2 from electricity in Senegal, in kg/kWh , and $EF^{CH_4,e}$ and $EF^{N_2O,e}$ represent respectively emission factors for CH_4 and N_2O from electricity, in kg/TJ .

3.4.3 Total Emissions from Energy Consumption

Total emissions from energy consumption encompass the sum of emissions from both fossil fuel and electricity use.

- The total N_2O and CH_4 emissions from energy consumption are directly converted to CO_2 -equivalent using :

$$N_2OeqCO_{2i}^{ec} = \sum_i (N_2O_i^{fc} + N_2O_i^e) \times GPW^{N_2O} \quad (4.17)$$

$$CH_4eqCO_{2i}^{ec} = \sum_i (CH_{4i}^{fc} + CH_{4i}^e) \times GPW^{CH_4} \quad (4.18)$$

Where GPW^{N_2O} and GPW^{CH_4} are the 100-year Global Warming Potentials of N_2O and CH_4 , respectively, used to convert Gg of N_2O and CH_4 into Gg of $eqCO_2$.

- The total CO_2 emissions from energy consumption are calculated as :

$$CO_{2i}^{ec} = \sum_i (CO_{2i}^{fc} + CO_{2i}^e) \quad (4.19)$$

- The following equation summarizes the total energy consumption emissions in CO_2 -equivalent :

$$eqCO_{2i}^{ec} = \sum_i (CO_{2i}^{ec} + N_2OeqCO_{2i}^{ec} + CH_4eqCO_{2i}^{ec}) \quad (4.20)$$

3.5 Total Emissions in CO_2 Equivalent

The total emissions for each cultivated plot are calculated by summing the total emissions from fertilization and crop residues with those from energy consumption :

$$eqCO_{2i} = \sum_i (eqCO_{2i}^{fcr} + eqCO_{2i}^{ec}) \quad (4.21)$$

4 Activity Data for Emissions Calculations

Activity data are derived from survey information collected on the horticultural plots. These data include quantities of nitrogen from fertilizers and crop residues, as well as the amounts of fuel and electricity consumed for pumping and irrigation purposes.

4.1 Estimating Nitrogen from Fertilization and Crop Residues

4.1.1 Nitrogen from Fertilizers

A. Organic Fertilizers

Our horticultural producers use cattle, goat, poultry, and horse manure, along with household organic waste. The amount of nitrogen is obtained by multiplying the quantity of organic material used by its nitrogen content. Table 4.7 provides the nitrogen contents used to estimate nitrogen quantities :

$$QN_{i,of} = Qa \times Nc \quad (4.22)$$

Where $QN_{i,of}$ is the quantity of nitrogen for each type of organic fertilizer. Qa , the applied quantity of organic each fertilizers/matter. And Nc is the nitrogen content in the organic fertilizers/matter used (see Table 4.7).

B. Non-Organic or Synthetic Fertilizers

Here, synthetic fertilizers include N-P-K formulas, DAP (diammonium phosphate), and urea. For N-P-K and DAP, the nitrogen quantity is directly derived from the applied formulas :

$$QN_{i,NPK} = Qa \times Formula_{NPK}^{used} \quad (4.23)$$

And

$$QN_{i,DAP} = Qa \times Formula_{DAP}^{used} \quad (4.24)$$

For urea, the amount of nitrogen is obtained by multiplying the applied quantity by 46 percent, which corresponds to the nitrogen fraction of urea :

$$QN_{i,urea} = Qa \times 0.46 \quad (4.25)$$

Then

$$QN_{i,nof} = \sum_i (QN_{i,NPK} + QN_{i,DAP} + QN_{i,urea}) \quad (4.26)$$

4.1.2 Nitrogen from Crop Residues

In the case of crop residues, the calculation approach differs slightly. Residue nitrogen is typically estimated from crop yields and harvested areas (IPCC, 2006). However, the IPCC categories for residue calculations cover the following crops : barley, dry beans, maize, millet, oats, potatoes, paddy rice, rye, sorghum, soybeans, and wheat. This excludes most of the crops in our study (with the exception of potatoes). Therefore, to estimate nitrogen in the residues of our six other crops, we make the simplifying assumption that all these crops behave similarly to potatoes. The nitrogen quantities from crop residues are estimated in five steps :

Step 1 : Annual Yield of Dry Matter Harvested

$$Yield^{DryMatter} = \sum_i (Yield^{Fresh} \times frac^{DryMatter}) \quad (4.27)$$

Where $Yield^{DryMatter}$ is the dry matter yield of the harvested crop, in kg of dry matter per hectare per year. $Yield^{Fresh}$ is the fresh yield of the crop, in kg per hectare per year. And $frac^{DryMatter}$, the fraction of dry matter in the harvested crop, in kg of dry matter per kg of fresh crop (see Table 4.7).

Step 2 : Dry Matter of Above-Ground Residues

$$Residue^{DryMatter,above} = \frac{Yield^{DryMatter}}{1000} \times Slope \times Intercept \quad (4.28)$$

Where $Residue_{DryMatter}^{above}$ is the dry matter of above-ground residues for the crop, in kg of dry matter per hectare. The division by 1000 is to convert the yield (in kg) into Mg, as the IPCC model expresses above-ground residues in Mg/ha. *Slope* and *Intercept* can be found in table 4.7.

Step 3 : Ratio of Above-Ground Residue Dry Matter to Harvested Dry Matter (R_{AE})

$$R_{AE} = \frac{Residue^{DryMatter,above}}{Yield^{DryMatter}} \times 1000 \quad (4.29)$$

Step 4 : Ratio of Below-Ground Residues to Harvested Dry Matter (R_{ST})

$$R_{ST} = R_{ST-BIO} \times \left[\frac{(Residue^{DryMatter,above} \times 1000) + Yield^{DryMatter}}{Yield^{DryMatter}} \right] \quad (4.30)$$

Where R^{ST-BIO} is the ratio of below-ground residues to above-ground biomass for the crop (Table 4.7).

Step 5 : Amount of Nitrogen Supplied by Crop Residues

$$QN_i^{cr} = (Yield^{DryMatter} \times area \times frac^{Renew}) \times [R^{AE} \times N^{AE} \times (1 - frac^{Extract}) + R^{ST} \times N^{ST}] \quad (4.31)$$

Where QN_i^{cr} is the amount of nitrogen supplied by crop residues, in kg per year. $Yield^{DryMatter}$ is the dry matter yield of the harvested crop, in kg of dry matter per hectare per year. $area$ is the total annual harvested area of the crop, in hectares per year. $frac^{Renew}$ is the fraction of the total cropped area that is renewed annually. For annual crops, $frac^{Renew} = 1$. R^{AE} is the ratio of above-ground residue dry matter to harvested dry matter. N^{AE} is the nitrogen content of above-ground residues, in kg per kg of residue. $frac^{Extract}$ is the fraction of above-ground residues extracted annually for feed, bedding, or construction, in kg. In our data, we assume this fraction is zero due to lack of information. R^{ST} is the ratio of below-ground residues to harvested dry matter, in kg. And N^{ST} is the nitrogen content of below-ground residues, in kg per kg of residue (see Table 4.7).

4.2 Computing Fossil Fuel and Electricity Consumption

4.2.1 Fossil Fuels

Fuel consumption is calculated in terajoules (TJ) for the purpose of estimating associated GHG emissions. It is derived from the following equation :

$$Cons_i^{fc} = M^{fc} \times NCV^{fc} \quad (4.32)$$

Where $Cons_i^{fc}$ is the consumption of fossil fuel in Tj/year. M^{fc} is the mass of the fuel consumed (in 1,000 tonnes). NCV^{fc} is the default net calorific value of fuel fc (see Table 4.8). And fc refers to the type of fossil fuel (gasoline or diesel).

We calculated the mass of the fossil fuel consumed M_{fc} as follows :

$$M_{fc} = \frac{Costs^{fc,consumed}}{PumpPrice^{fc}} \times Density^{fc} \quad (4.33)$$

Where $Costs^{fc}$ is the total cost of fossil fuel fc consumption (in local currency, FCFA). $PumpPrice^{fc}$ is the per-liter pump price of fossil fuel fc during the study period in Senegal. And $Density^{fc}$ is the mass per liter of fossil fuel fc , in kg/l.

4.2.2 Electricity

Electricity consumption is estimated from total electricity costs and the unit cost per kWh :

$$Cons_i^e = \frac{Costs^{e,consumed}}{Price_{perkWh}} \quad (4.34)$$

Where $Cons_i^e$ is the electricity consumption in kWh/year. $Costs^{e,consumed}$ is the total cost of electricity consumption (in FCFA). And $Price_{perkWh}$ is the unit cost of one kWh of electricity (in FCFA).

Table 4.2 summarizes the main activity variables entering the emissions calculations, namely nitrogen inputs from fertilization and crop residues and energy use for irrigation. Further descriptive statistics are reported in Table 4.4 and Table 4.5.

Variable	N	Mean	Std. dev.	Min	Max
N from NPK fertilizers	804	83.16665	580.29	0.00	15000.00
N from DAP fertilizers	804	21.60569	315.69	0.00	7200.00
N from organic materials (manure and waste)	804	649.71609	4053.87	0.00	74750.00
N from urea	804	261.81037	779.55	0.00	9200.00
Estimated N from crop residues	804	88.30633	57.56	23.13	576.93
Total N from fertilization and crop residues	804	1016.29880	4444.18	0.23	74850.00
Total gasoline consumed	804	0.01012	0.12	0.00	3.26
Total diesel consumed	804	0.00599	0.03	0.00	0.35
Total fuel consumed	804	0.01611	0.15	0.00	3.61
Total electricity consumed	804	0.00066	0.00	0.00	0.07
Yield	804	39991.61400	31405.30	20.00	360000.00

Notes : All nitrogen and yield variables are expressed in kg/ha. Energy variables are expressed in Terajoule (TJ)/ha.

TABLE 4.2 : Descriptive statistics of activity variables

Source : Authors.

5 Results and discussions

5.1 Average GHG Emissions : Energy Use and Agricultural Practices

Figure 4.8 presents average greenhouse gas emissions from producers, expressed in kilograms of CO₂ equivalent per kilogram of crop. Mean emissions are estimated at approximately 0.41 kg CO₂-eq/kg. The decomposition clearly shows the predominance of agricultural practices, especially fertilization and crop residue management, which account for about 85 percent of total emissions, or around 0.35 kg CO₂-eq/kg. In comparison, the energy-related component linked to irrigation remains secondary, representing about 0.06 kg CO₂-eq/kg. Within this share, fossil fuel use contributes around 0.05 kg CO₂-eq/kg, while electricity represents only a minor fraction of approximately 0.01 kg CO₂-eq/kg. This breakdown points to a hierarchy in potential mitigation levers. On one side are inputs and agronomic practices, and on the other, the energy required for irrigation. At the international level, the literature estimates the contribution of irrigation and energy to represent between 10 and 20 % of agricultural emissions, as noted by [Qin et al. \(2024\)](#). The estimates reported here for the Niayes region fall within this range, with energy accounting for roughly 15 % of the horticultural carbon footprint. These findings are particularly relevant in light of Senegal's nationally determined contributions (NDCs), which target an unconditional 7 % reduction in total emissions by 2030. Agriculture and energy have been identified as key priority sectors. The sector-specific targets aim to reduce agricultural emissions by 2.36 % and energy-related emissions by 10 % by 2030 ([Senegal, 2020](#)). The relative magnitudes observed here, with emissions largely driven by agronomic practices and a 15 % contribution from energy, help identify concrete mitigation pathways within irrigated horticultural systems, particularly through the substitution of fossil fuels with solar-powered technologies.

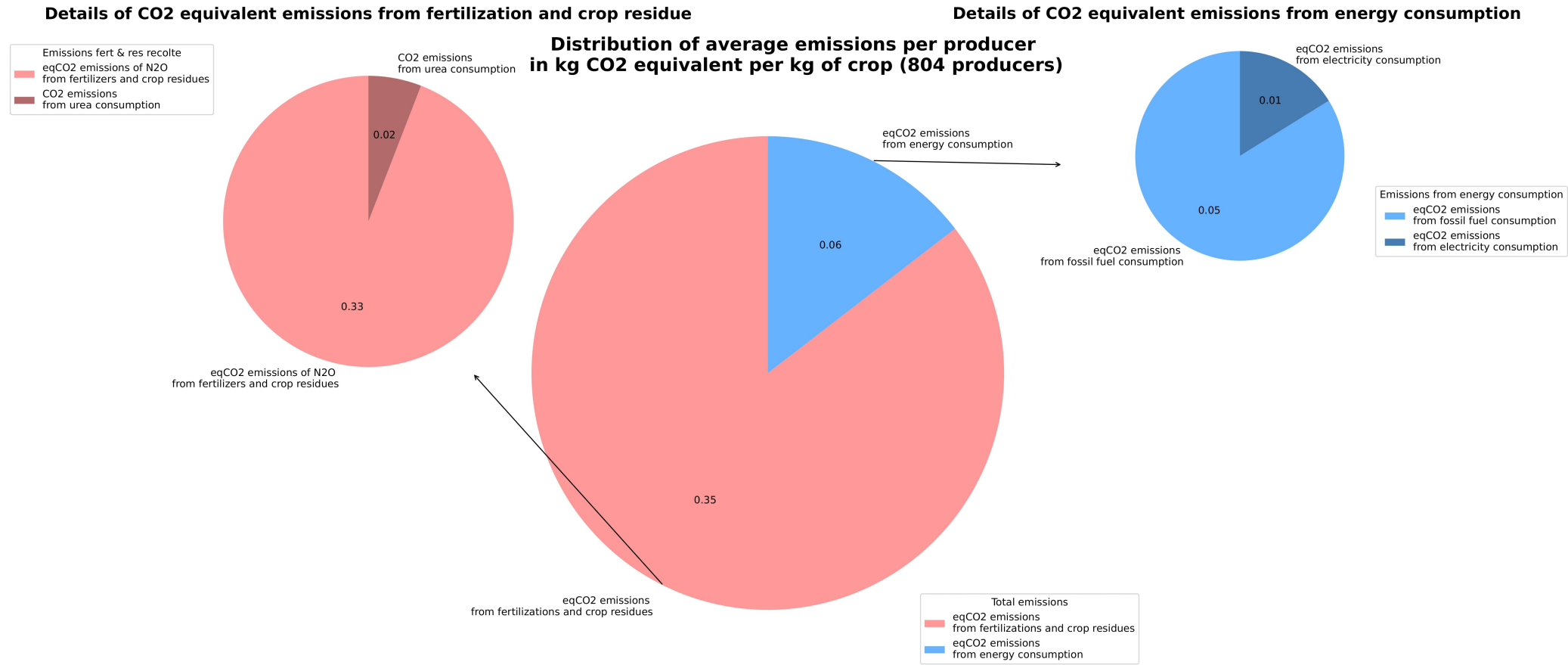


FIGURE 4.8 : Producer-level average emissions overview

5.2 Solar Energy and the Mitigation of Irrigation-Related Emissions

Figure 4.9 reports average energy-related emissions for three categories of producers based on their use of solar technologies : exclusive solar users, mixed energy users including solar, and producers not using solar at all. The exclusive solar profile results in no direct CO₂ emissions during operation and fully substitutes fossil fuel use, effectively eliminating these emissions. The mixed energy profile averages around 0.03 kg CO₂-eq/kg, primarily from fossil fuels, while electricity remains a minor contributor. In contrast, the non-solar profile reaches approximately 0.12 kg CO₂-eq/kg, with fossil fuels as the dominant source and electricity representing a slightly higher share than in the mixed group.

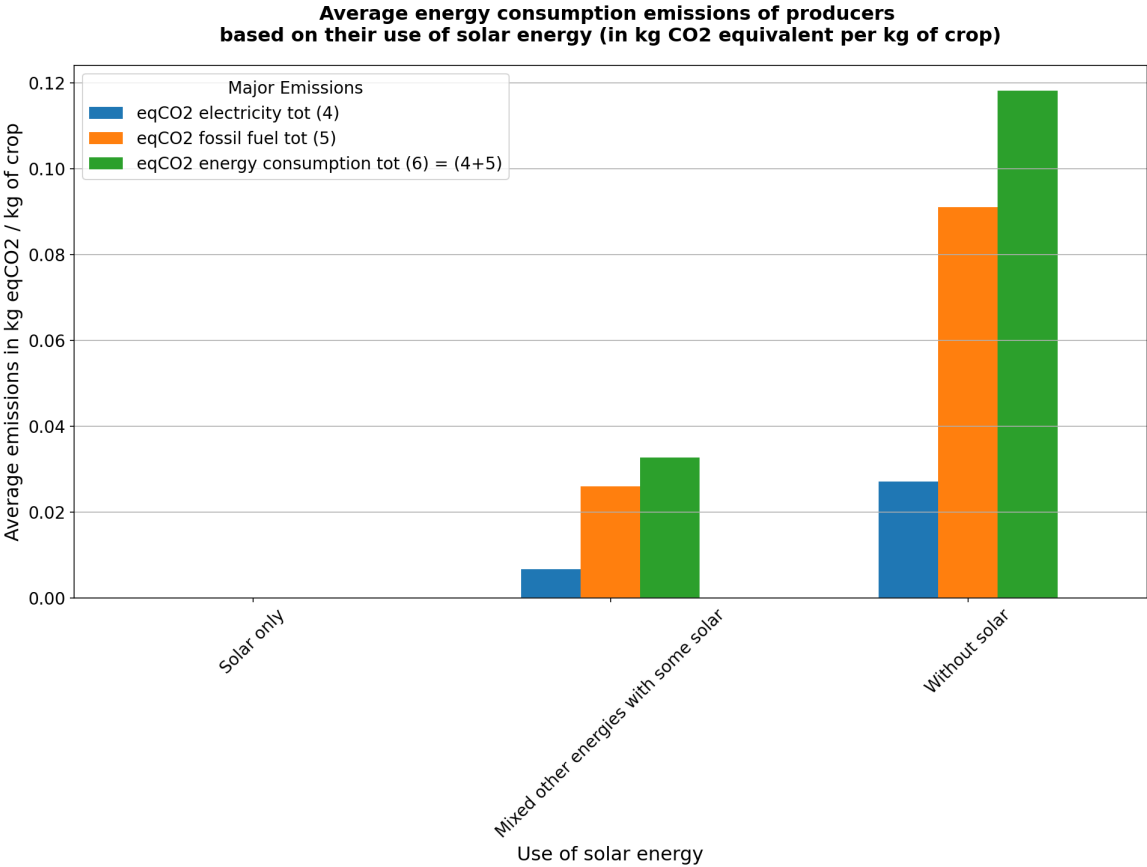


FIGURE 4.9 : Average energy emissions of producers based on their use of solar

Source : Authors.

These results highlight the mitigation potential associated with transitioning from fossil-based irrigation systems to those incorporating solar energy. The average difference in energy-related emissions between non-solar and solar users ranges from 0.09 to 0.12 kg CO₂-eq per kilogram of output. Relative to the levels observed among non-solar producers, this gap translates into a potential reduction of approximately 75 to 100 %, depending on whether the transition leads to a mixed or fully solar-powered system. These findings are consistent with recent research indicating that more efficient, low-carbon irrigation technologies can, under optimal configurations, reduce pumping-related emissions by up to 90 % (Qin

et al., 2024). In the Niayes region, shifting from thermal to solar pumping could substantially reduce emissions attributable to irrigation. This partially supports the hypothesis that adopting low-carbon energy improves the climate sustainability of irrigated horticulture, at least when the analysis focuses on energy consumption alone. However, it remains essential to assess whether energy profile also contributes to lowering total greenhouse gas emissions.

5.3 From Pumping to Overall Emissions : Does the Energy Profile Reduce Total GHG Emissions ?

Figure 4.10 presents average greenhouse gas emissions by energy configuration observed in the sample. In total, twenty-two distinct energy profiles were identified, including exclusive sources (e.g., manual pumping only, solar only, diesel only, electricity only) as well as various mixed combinations. Emission levels vary widely across profiles. Counterintuitively, they are not systematically lower for those relying exclusively on so-called carbon-neutral sources such as solar or manual energy. In some instances, plots using only solar or human energy even display higher total emissions than those relying on fossil fuels. Across all configurations, fertilization and crop residue management remain the primary sources of emissions, while the contribution of energy use is generally secondary. The breakdown confirms that nitrogen inputs, including organic sources, constitute the dominant driver of GHG emissions in most cases. Among energy-related emissions, fossil fuel consumption is the main contributor. Although purely electricity-based profiles are rare, they too can be associated with non-negligible emission levels.

Total average emissions by energy profile of producers (in kg CO2 equivalent per kg of crop)

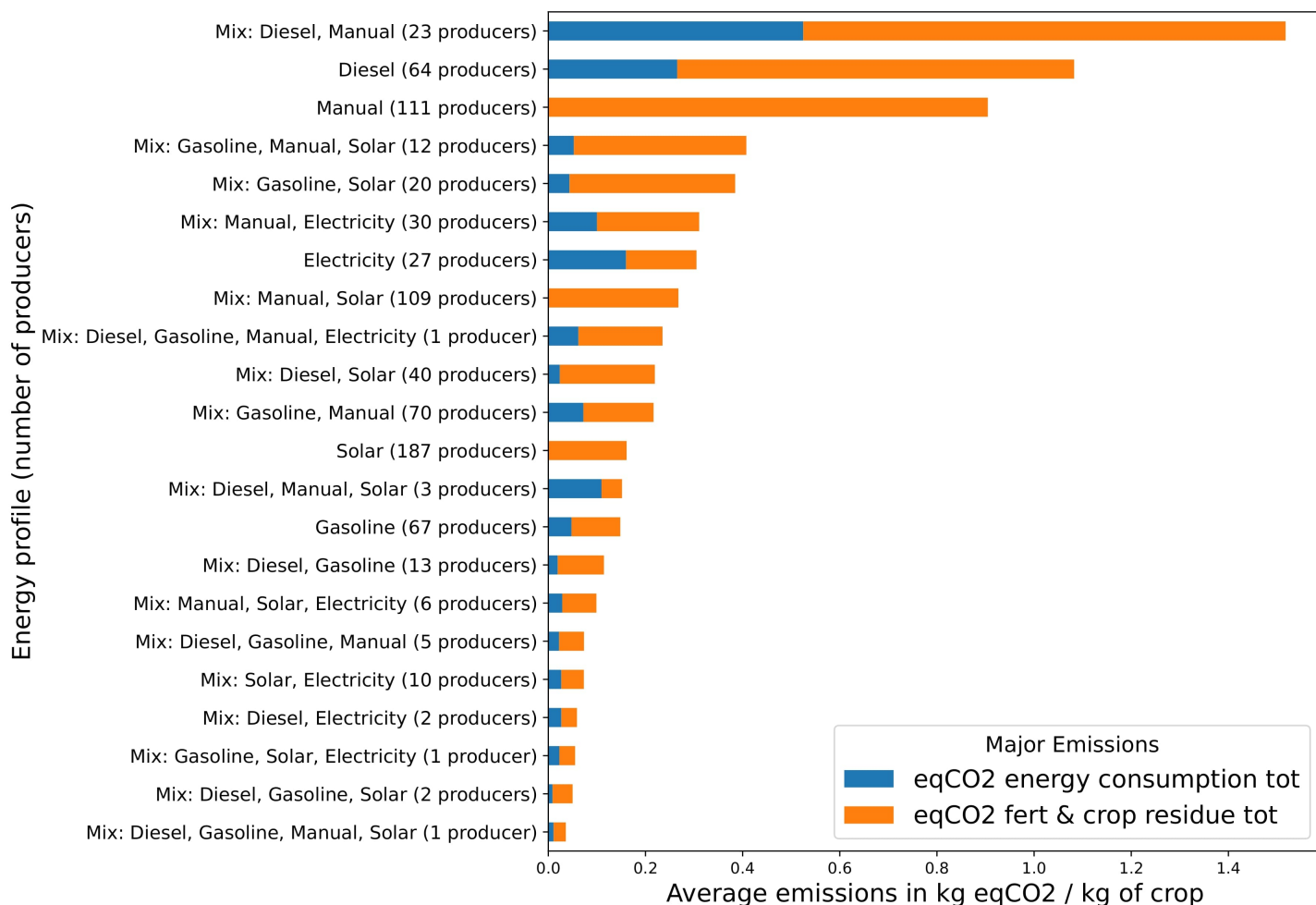


FIGURE 4.10 : Total average GHG emissions by producers energy profile

Source : Authors.

However, producers using solar energy, either exclusively or in combination with other sources report average total emissions approximately 50 percent lower than those not using solar at all (Figure 4.11). This difference appears to reflect not so much the direct effect of energy type, which carries relatively little weight, but rather correlated factors such as differences in agronomic practices or productivity. In other words, solar users may be adopting more efficient production methods and/or achieving higher yields. In summary, while solar adoption constitutes a powerful lever to reduce energy-related emissions, identifying pathways to mitigate total emissions requires broadening the analytical scope to include other determinants such as production zones, cropping systems, farm size, and gender dynamics.

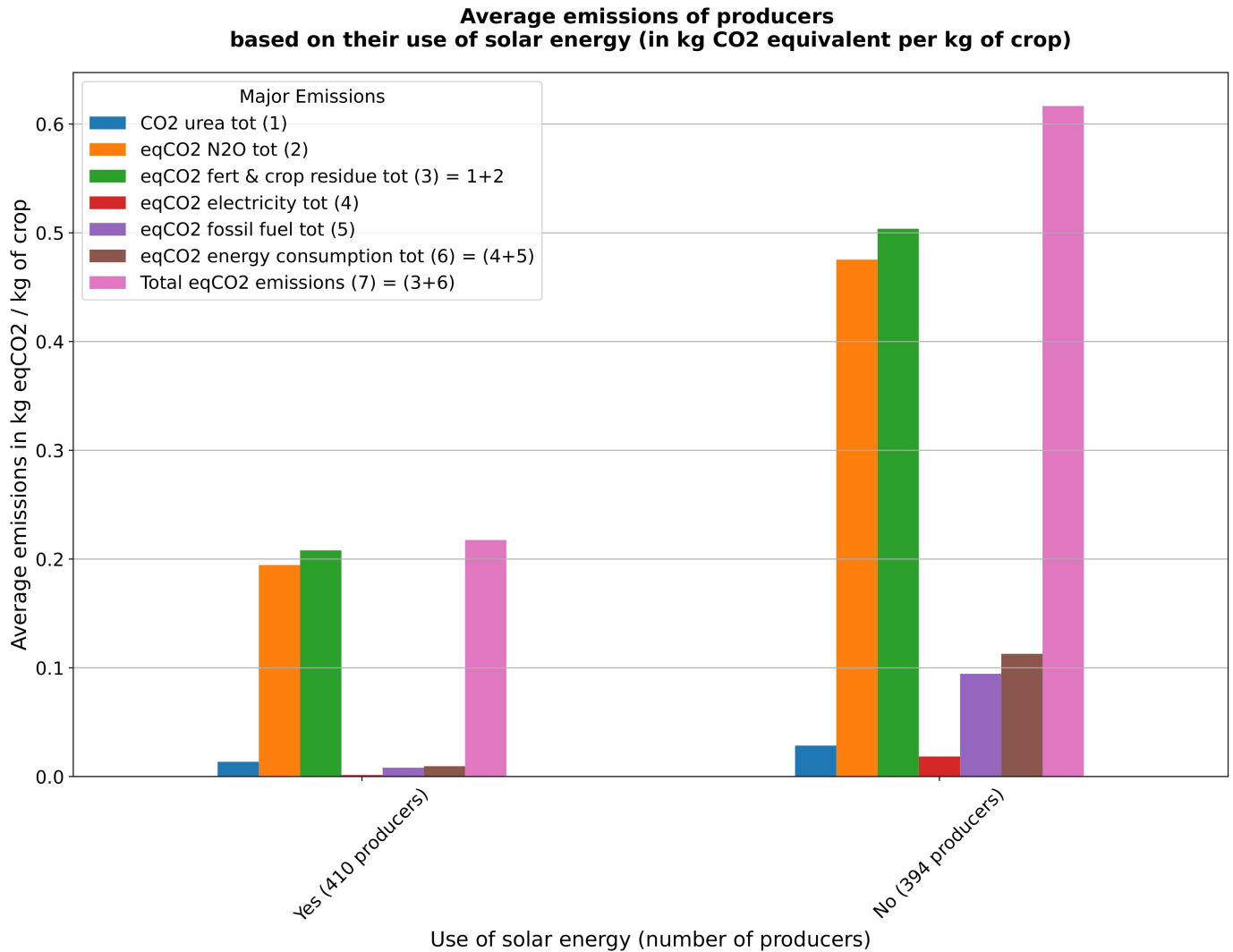


FIGURE 4.11 : Total average GHG emissions of producers based on their use of solar

Source : Authors.

5.4 Heterogeneity in Total Emissions : Structural Determinants Beyond Energy Use

5.4.1 Regional Disparities (North, Center, South)

The results reveal marked geographical disparities in emissions and irrigation practices across the main horticultural zones of the Niayes region : North, Center, and South. As shown in Figure 4.12, producers in the Southern zone exhibit significantly higher emissions intensity, averaging around 0.91 kg CO₂-eq per kilogram of crop, compared to 0.36 kg in the North and 0.23 kg in the Center. In all regions, emissions are primarily driven by fertilization and crop residues. However, the South shows a proportionally higher contribution from energy-related emissions, partly due to a lower adoption rate of solar irrigation technologies. Only 45 % of producers in the South use solar pumps, versus approximately

52 % in both the Center and North. This lower uptake of solar energy translates into greater reliance on fossil fuels for pumping, which could increase the energy-related share of emissions in the South. Paradoxically, nitrogen input levels in the South are not higher than in the other zones. In fact, they are slightly lower. Total nitrogen application (mineral and organic) ranges from 430 to 794 kg/ha in the South, compared to 528 to 1160 kg/ha in the Center and North. This suggests that the higher emissions intensity in the South may stem from lower agricultural productivity, given that emissions are measured per unit of output. Indeed, yields in the South are the lowest across the sample, ranging from 19.6 to 36.1 tons per hectare, while they reach 20.9 to 43.6 t/ha in the North and 21.1 to 37.4 t/ha in the Center. This yield gap, possibly driven by differences in water access or agronomic practices, mechanically inflates the emission ratio per kilogram produced in the South, despite lower input use.

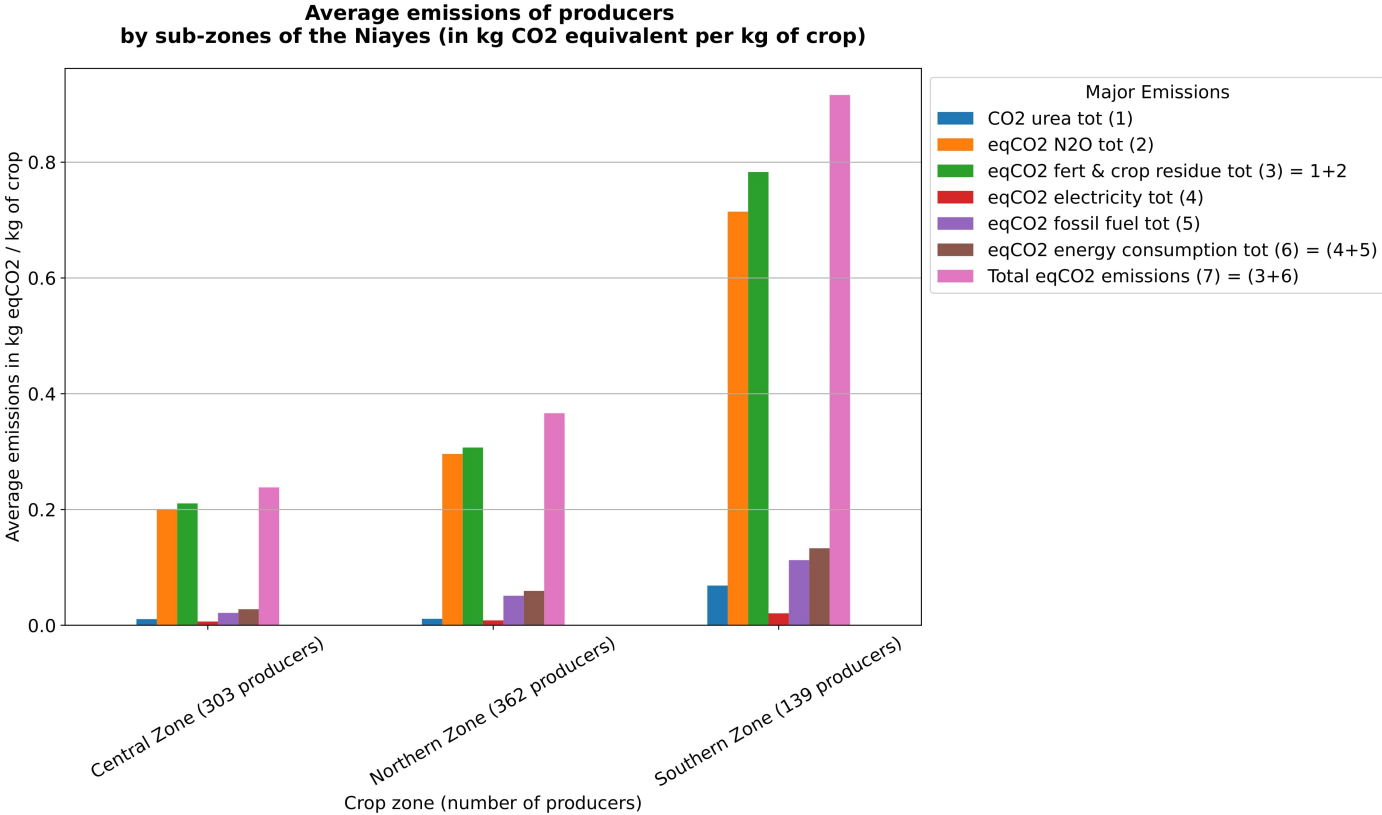
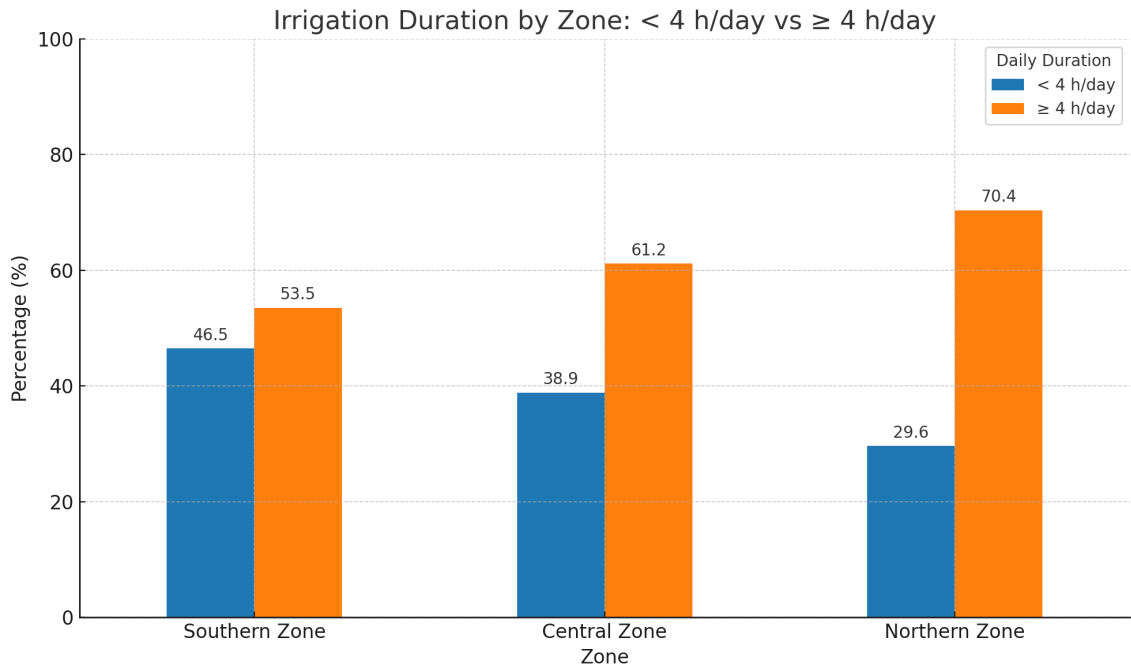


FIGURE 4.12 : Total average GHG emissions by sub-zones of the Niayes

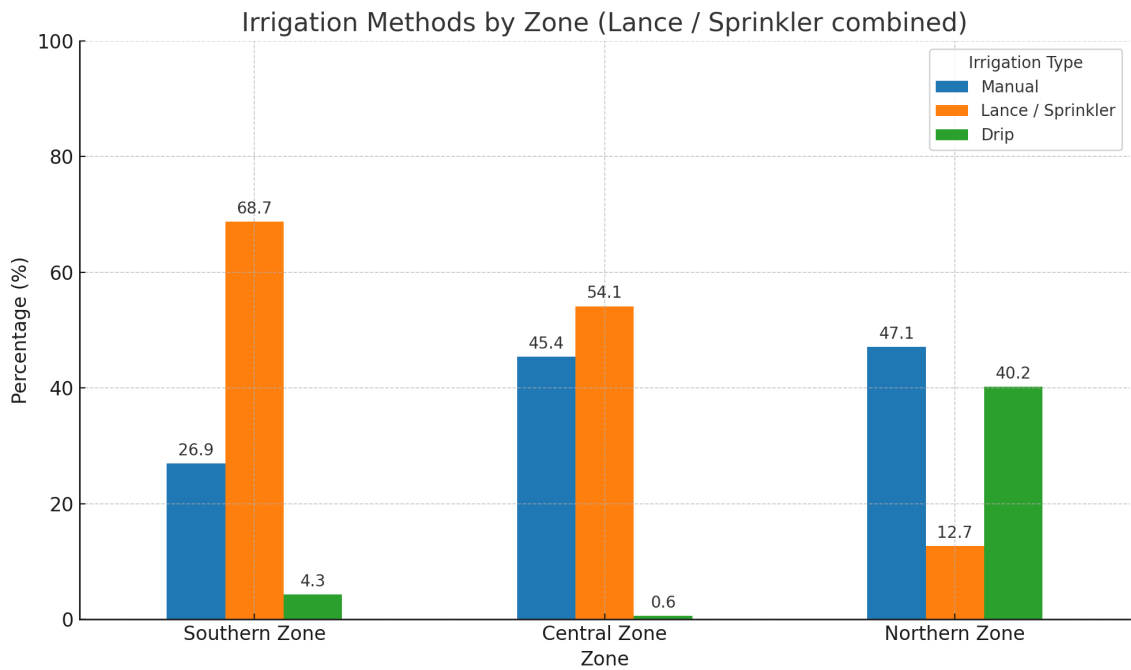
Source : Authors.

Several indicators of irrigation practices help explain these productivity and emissions disparities. First, daily irrigation time varies by region. Producers in the South irrigate on average for 3.88 hours per day, compared to 4.03 hours in the Center and 4.70 hours in the North. Nearly 46 % of producers in the South irrigate for less than four hours per day, versus 39 % in the Center and just 30 % in the North. This suggests that water availability or irrigation effort is relatively more constrained in the South. Second, and perhaps more critically, irrigation techniques differ sharply across zones, as shown in Figure 4.13. Drip irrigation, known for its water efficiency and reduced nutrient leaching, is widely

adopted in the North, with 40 % of producers using it. In contrast, sprinkler irrigation dominates in the South, where 69 % of producers rely on it, along with a considerable share of manual watering (27 %). These less efficient methods often result in either under-irrigation or over-irrigation, which contributes to nitrogen leaching and can reduce yields. The findings of [Diouf et al. \(2018\)](#) in the Niayes support this interpretation, showing that drip irrigation not only improves water efficiency but also significantly boosts yields, reaching an average of 28.7 t/ha compared to 24.4 t/ha under sprinklers and 20.8 t/ha under manual irrigation. Irrigation practices thus provide a key to understanding the lower productivity observed in the South and, consequently, its higher emissions intensity per unit of output.



- a -



- b -

FIGURE 4.13 : Irrigation duration and method by Zone

Source : Authors.

5.4.2 Crop-Specific Differences in Emissions

The results also show that GHG emissions vary considerably across crop types, reflecting the distinct input requirements and technical itineraries associated with each horticultural crop. As shown in Figure 4.14, major crops such as tomatoes and carrots display the lowest emissions, averaging around 0.1 kg CO₂-eq per kilogram of crop. This is followed by potatoes and eggplants, which emit approximately 0.2 kg CO₂-eq/kg. Crops such as onions, cabbages, and okra exhibit higher emissions levels, ranging from 0.3 to 0.6 kg CO₂-eq per kilogram. Peppers stand out with exceptionally high emissions, reaching an average of 3.5 kg CO₂-eq per kilogram of crop.

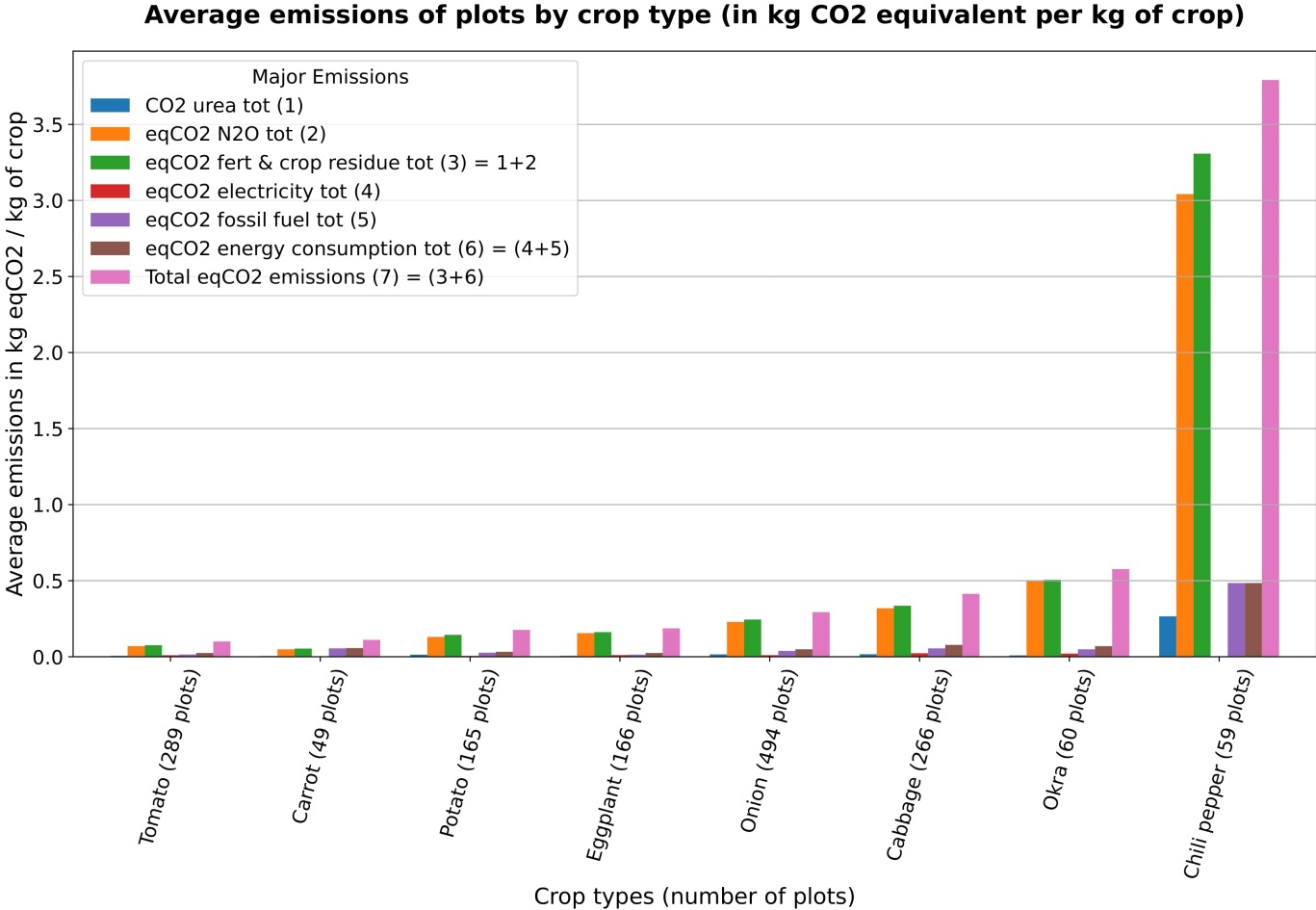


FIGURE 4.14 : Total average GHG emissions by Crop

Source : Authors.

These variations in emissions profiles by crop can be partly explained by differences in nitrogen input levels and crop yields. Crops such as carrots, potatoes, tomatoes, and cabbages are relatively less nitrogen-intensive, receiving average nitrogen inputs of approximately 152 kg/ha (carrot), 229 kg/ha (potato), 251 kg/ha (tomato), and 354 kg/ha (cabbage). By contrast, eggplants and okra are among the most nitrogen-demanding crops, with average applications of 1.02 tons/ha and 1.38 tons/ha respectively. Onions (629 kg/ha) and peppers (651 kg/ha) fall in the intermediate range in terms of nitrogen use. However, input

intensity alone does not tell the full story. Yield differentials across crops play a central role in shaping GHG intensity per unit of output. For example, despite receiving the highest levels of nitrogen, eggplants also record the highest average yield in the sample (34.4 t/ha), resulting in relatively low emissions per kilogram of product (around 0.2 kg CO₂-eq/kg). In contrast, peppers show the lowest average yield (only 7 t/ha), and when combined with substantial fertilizer use (651 kg/ha), this leads to the highest emissions per kilogram produced. In other words, while total emissions from pepper production may be moderate in absolute terms, the low productivity inflates its emissions intensity per unit of output. These findings support the idea that the carbon performance of a given crop depends on the balance between input intensity and yield. Highly productive crops can dilute the emissions associated with input use across greater volumes of output, while low-yielding crops experience the opposite effect, even modest input levels can result in high emissions intensity. Overall, these crop-specific differences highlight production choices as a potential lever for reducing emissions intensity. The crop type influences the GHG profile through its input requirements and yield potential. As such, any climate mitigation strategy in irrigated horticulture should be differentiated across value chains and tailored to the specific characteristics of each crop, in order to target the most relevant emission drivers.

5.4.3 Farm Size and Emission Intensity

Farm size emerges as another major source of heterogeneity in the carbon footprint of irrigated horticulture. Our results suggest pronounced scale effects on emissions per unit of output. To examine this, farms in the sample were classified into size categories : micro (≤ 0.5 ha), very small (0.5–1 ha), small (1–2 ha), medium (2–3 ha), fairly large (3–4 ha), large (4–6 ha), and very large (≥ 10 ha). Micro farms, which account for the majority of the sample (55 % of producers), display substantially higher GHG emissions per kilogram of crop, averaging 0.68 kg CO₂-eq/kg (see Figure 4.15). As farm size increases, emissions per unit of production decline sharply, reaching as low as 0.03 kg CO₂-eq/kg among the largest farms. Across all size groups, the structure of emissions remains similar, with fertilization and crop residues consistently dominating the total, while energy-related emissions remain comparatively marginal.

**Average emissions of producers
by farm size (in kg CO2 equivalent per kg of crop)**

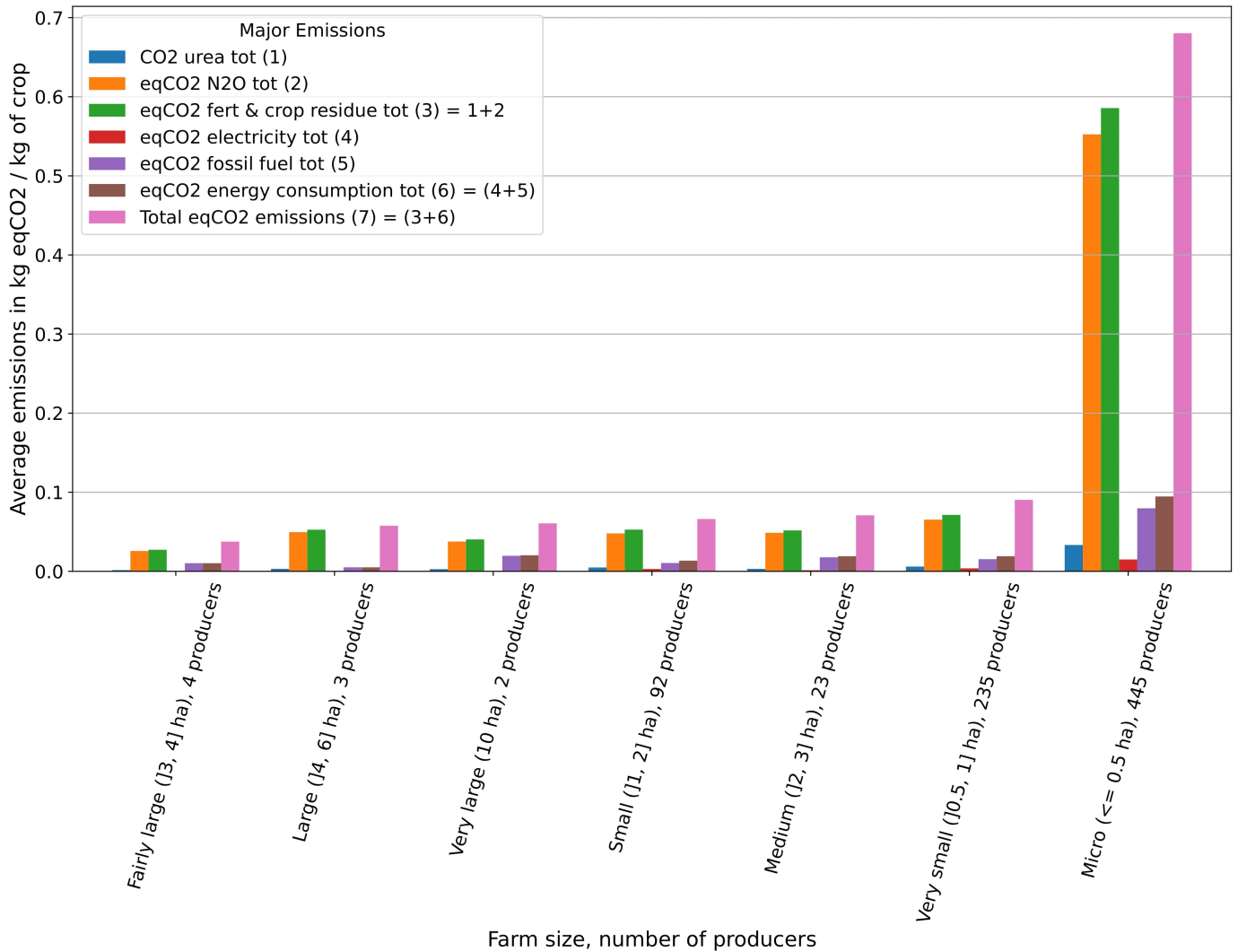


FIGURE 4.15 : Total average GHG emissions by Farm size

Source : Authors.

This pattern reflects a markedly better carbon performance per unit of output among larger farms. While their total emissions are higher in absolute terms (which is expected given their greater land area and total input use), larger farms are relatively more efficient in emissions per kilogram of crop. This may reflect scale economies and more effectively managed intensification. [Garzon Delvaux et al. \(2020\)](#) notes that smaller farms tend to be less profitable and less efficient than their larger counterparts. As a result, producing one kilogram of vegetables on a large farm often emits significantly less GHG than on a micro farm, as larger producers are better able to spread fixed emissions (such as the base load of a diesel engine or water pump) across higher production volumes and tend to achieve better yields through more optimized input use. Furthermore, access to technological innovations, such as solar kits or drip irrigation systems is often more difficult for smallholders due to higher entry costs relative to their scale. This means that, without external support, micro farms tend to remain locked into traditional and less efficient

systems, even though they could theoretically benefit the most from low-carbon technologies. Our results underscore the importance of collective strategies that could enable small producers to access shared equipment, such as community-managed solar pumps, in order to capture scale efficiencies. Narrowing the efficiency gap faced by micro farms could serve as a lever for improving both agronomic performance, through better yields, and climate outcomes, by reducing emissions intensity.

5.4.4 Gender Disparities in Emissions and Agricultural Practices

Our findings reveal significant gender-based disparities in landholding structure, productivity, input use, and consequently in greenhouse gas (GHG) emissions. As shown in Figure 4.16, female producers emit, on average, five times more GHGs per kilogram of crop than their male counterparts, approximately 0.65 kg CO₂-eq/kg for women, compared to 0.13 kg CO₂-eq/kg for men. Two main factors help explain this difference in emission intensity between male and female producers.

The first concerns differences in cultivated plot sizes. On average, women farm plots that are half the size of those cultivated by men, around 0.5 hectares versus 1 hectare. In addition, nearly 70 % of the micro-farms (≤ 0.5 ha) in the sample are managed by women. As shown earlier, micro-farms tend to have the highest GHG emissions per unit of output due to their small scale, which makes them more prone to inefficient use of production inputs. Our results indicate a relatively more intensive use of fertilizers (relative to plot size) on farms operated by women, particularly organic fertilizers. Organic fertilization alone accounts for over half (about 52 %) of total GHG emissions among female farmers. In contrast, male producers show a more balanced emissions structure, with approximately 24 % of their emissions stemming from organic fertilization, 28 % from mineral fertilization, and 31 % from energy use.

The second factor, which can be viewed as a consequence of the first, relates to differences in productivity. The results indicate that yields on male-operated farms are on average 22 % higher than those on female-operated farms, equivalent to about 8 additional tons per hectare. This productivity gap may be driven in part by the smaller landholdings cultivated by women, which mechanically limits their production potential compared to men. This constraint has a direct effect on carbon intensity indicators : for comparable total emission levels, it results in higher GHG emissions per unit of output for women. In other words, the higher emissions per kilogram observed among female producers can be explained by their lower overall production, which amplifies the apparent emission intensity. These findings highlight the structural disadvantage faced by women due to unequal access to key productive resources. This inequality contributes to higher carbon intensity once emissions are expressed per unit of output. The results are consistent with previous research linking gender disparities in agricultural performance to differential resource endowments (Kane & Aidara, 2022; Quisumbing, 1995; Udry, 1996). Reducing the gender gap is not only a matter of socio-economic equity but also a climate imperative, as better-resourced female horticultural producers who are more numerous could be both more efficient and less emission-intensive per unit produced.

**Average emissions of producers
by gender (in kg CO2 equivalent per kg of crop)**

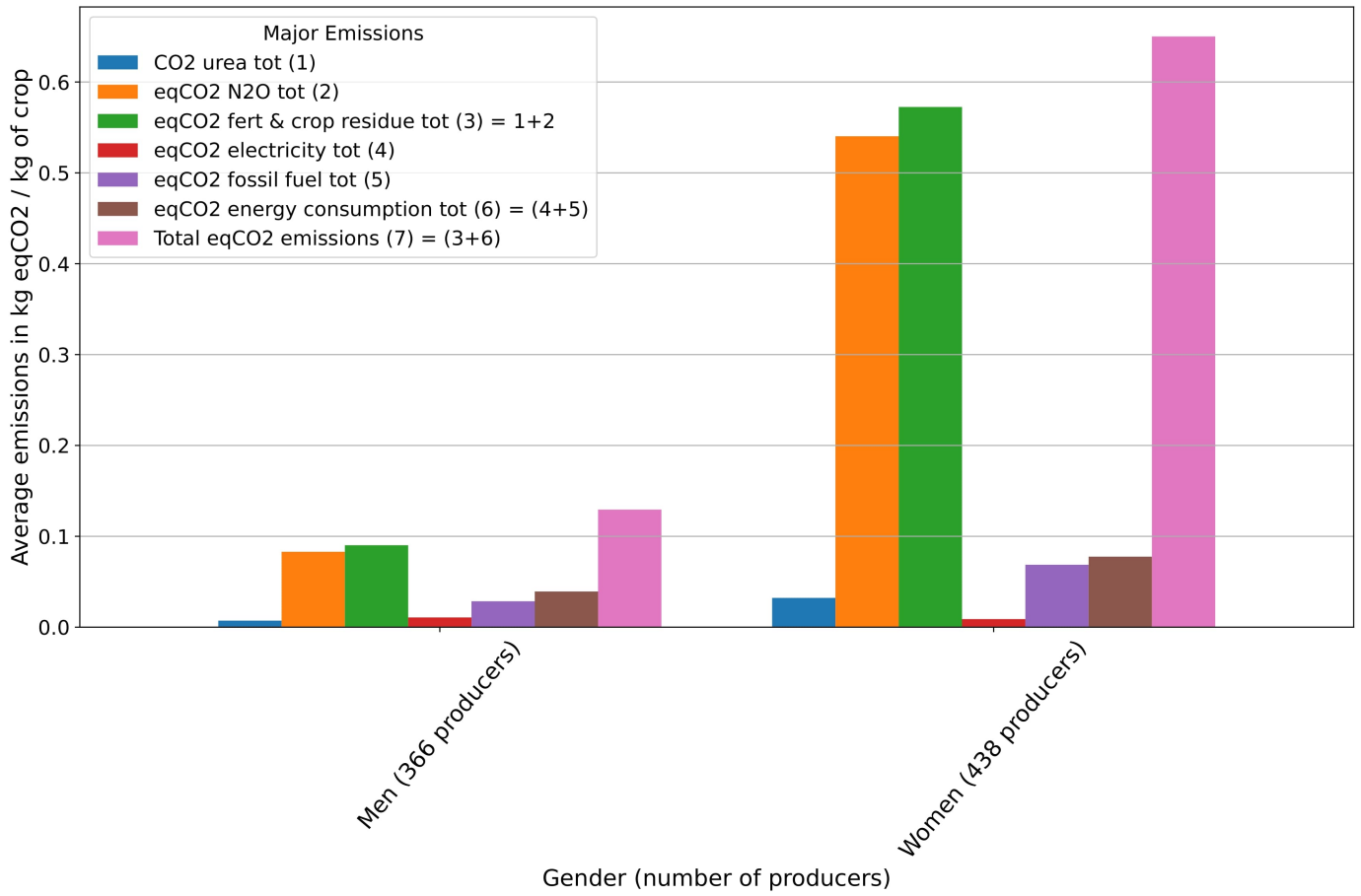


FIGURE 4.16 : Total average GHG emissions by Gender

Source : Authors.

6 Conclusion

This chapter provides new empirical evidence on the carbon footprint of irrigated horticulture in West Africa by offering a micro-level assessment of greenhouse gas emissions in Senegal's Niayes region. Using original plot-level data from 804 producers and applying IPCC-aligned estimation methods adapted to regional conditions, the chapter provides a comprehensive decomposition of emission sources within smallholder horticultural systems.

Our results highlight that emissions are overwhelmingly driven by agricultural practices, primarily nitrogen fertilization and crop residue management which account for nearly 85 % of total emissions, while energy-related emissions remain secondary but non-negligible. Within the energy component, the adoption of solar-powered irrigation technologies emerges as a powerful lever for reducing the sector's carbon footprint. Solar systems, whether used exclusively or in hybrid configurations lower energy-related emissions by 75 % to 100 % compared to fossil-fuel-based systems. However, the transition to solar energy does not automatically guarantee lower total emissions, as the latter depend on a broader set of structural and agronomic factors.

The analysis reveals considerable heterogeneity in emission intensity across farms, driven by regional disparities, crop choices, farm size, and gender. Southern producers, who have lower yields and lower adoption of efficient irrigation methods, exhibit higher per-unit emissions. Crop-specific footprints vary widely, reflecting both input intensity and productivity levels, underscoring the need for crop-tailored mitigation strategies. Notably, farm size emerges as a critical determinant : micro-farms (≤ 0.5 ha), which dominate the sample, exhibit significantly higher emission intensities, likely due to inefficiencies stemming from scale constraints. These structural disadvantages are particularly salient for female producers, who manage disproportionately smaller plots and face limited access to inputs and irrigation technologies. As a result, women's average emissions per kilogram of produce are five times higher than those of men, despite similar or lower absolute input use.

Taken together, these findings suggest that mitigating GHG emissions in Senegalese horticulture requires a multi-pronged strategy. While promoting low-carbon energy adoption, such as solar irrigation remains essential, broader structural transformations are equally critical. These include improving access to land and productive resources for women, supporting the dissemination of efficient irrigation technologies, and fostering more sustainable fertilization practices. Such interventions would not only enhance the climate sustainability of horticultural value chains but also improve their productivity and equity. Ultimately, this chapter underscores the importance of integrating environmental and socio-economic dimensions in designing inclusive and effective low-carbon transition pathways for agriculture in sub-Saharan Africa.

Appendices

Appendix 1. Income (in XOF) from main activity : solar vs. non-solar producers

Main activity	Avg Income (Solar)	Avg Income (Non-Solar)	Sample Size (S)	Sample Size (NS)	Mean Difference	Significance	Cumulative Freq (S + NS)
Agriculture	1,687,814	1,112,384	373	352	575,430	Significant	725
Trade	888,846	1,074,000	13	20	-185,154	Not significant	33
Transport	1,785,000	4,790,000	4	5	-3,005,000	Not significant	9
Other (unspecified)	1,920,000	450,000	1	2	1,470,000	Not tested	3
Craftwork	1,245,000	900,000	2	4	345,000	Not significant	6
Fishing	1,750,000	-	2	-	-	Not tested	2
Migrant remittance	-	1,466,667	-	3	-	Not tested	3
Salaried work	2,235,714	1,330,000	7	3	905,714	Not significant	10
Livestock	747,143	790,000	7	5	-42,857	Not significant	12
Hunting/Gathering	3,000,000	-	1	-	-	Not tested	1

TABLE 4.3 : Comparison of average income (in XOF) by main activity between solar and non-solar households.

Appendix 2. Descriptive statistics of activity data

Variable	N	Mean	Std. dev.	Min	Max
<i>Non-solar users</i>					
N from NPK fertilizers	394	96.35	787.30	0.00	15000.00
N from DAP fertilizers	394	4.27	49.99	0.00	909.00
N from organic materials (manure and household waste)	394	751.18	5098.32	0.00	74750.00
N from urea	394	234.92	685.35	0.00	9200.00
Estimated N from crop residues	394	88.50	60.71	23.13	576.93
Total N from fertilization and crop residues	394	1086.72	5391.18	0.43	74850.00
Total gasoline consumed	394	0.01943	0.18	0.00	3.26
Total diesel consumed	394	0.01053	0.04	0.00	0.35
Total fuel consumed	394	0.02996	0.21	0.00	3.61
Total electricity consumed	394	0.00121	0.01	0.00	0.07
Yield	394	40096.57	31398.77	20.00	260250.00
<i>Solar users</i>					
N from NPK fertilizers	410	70.50	255.35	0.00	4000.00
N from DAP fertilizers	410	38.26	438.97	0.00	7200.00
N from organic materials (manure and household waste)	410	552.21	2696.19	0.00	33500.00
N from urea	410	287.65	860.47	0.00	9200.00
Estimated N from crop residues	410	88.12	54.45	23.29	440.63
Total N from fertilization and crop residues	410	948.62	3292.42	0.23	39533.24
Total gasoline consumed	410	0.00117	0.01	0.00	0.06
Total diesel consumed	410	0.00162	0.01	0.00	0.17
Total fuel consumed	410	0.00279	0.02	0.00	0.23
Total electricity consumed	410	0.00013	0.00	0.00	0.01
Yield	410	39890.76	31449.61	166.67	360000.00

Notes : All nitrogen and yield variables are expressed in kg/ha. Energy variables are expressed in TJ/ha.

TABLE 4.4 : Descriptive statistics of activity data for non-solar and solar users
Source : Authors.

Variable	N	Mean	Std. dev.	Min	Max
<i>Central subzone</i>					
N from NPK fertilizers	303	46.74	146.73	0.00	1670.00
N from DAP fertilizers	303	1.43	11.98	0.00	150.00
N from organic materials (manure and household waste)	303	629.12	2943.68	0.00	33500.00
N from urea	303	261.25	838.72	0.00	9200.00
Estimated N from crop residues	303	82.03	51.59	28.59	440.63
Total N from fertilization and crop residues	303	938.55	3469.44	0.43	38274.74
Total gasoline consumed	303	0.00214	0.01	0.00	0.14
Total diesel consumed	303	0.00650	0.03	0.00	0.32
Total fuel consumed	303	0.00864	0.04	0.00	0.46
Total electricity consumed	303	0.00063	0.01	0.00	0.07
Yield	303	37426.92	32155.85	5000.00	360000.00
<i>Northern subzone</i>					
N from NPK fertilizers	362	122.71	837.68	0.00	15000.00
N from DAP fertilizers	362	44.18	467.28	0.00	7200.00
N from organic materials (manure and household waste)	362	733.25	5170.31	0.00	74750.00
N from urea	362	266.60	635.64	0.00	7820.00
Estimated N from crop residues	362	95.93	61.94	23.29	576.93
Total N from fertilization and crop residues	362	1166.73	5553.18	1.15	74850.00
Total gasoline consumed	362	0.01600	0.18	0.00	3.26
Total diesel consumed	362	0.00610	0.03	0.00	0.35
Total fuel consumed	362	0.02000	0.21	0.00	3.61
Total electricity consumed	362	0.00078	0.00	0.00	0.03
Yield	362	43624.86	32189.78	166.67	252400.00
<i>Southern subzone</i>					
N from NPK fertilizers	139	59.57	262.87	0.00	3020.00
N from DAP fertilizers	139	6.79	77.10	0.00	909.00
N from organic materials (manure and household waste)	139	477.07	2585.30	0.00	27250.00
N from urea	139	250.58	969.29	0.00	9200.00
Estimated N from crop residues	139	82.13	56.08	23.13	312.36
Total N from fertilization and crop residues	139	794.01	2791.49	0.23	27480.00
Total gasoline consumed	139	0.01200	0.04	0.00	0.34
Total diesel consumed	139	0.00460	0.02	0.00	0.22
Total fuel consumed	139	0.01600	0.06	0.00	0.55
Total electricity consumed	139	0.00043	0.00	0.00	0.02
Yield	139	36120.16	26486.11	20.00	152000.00

Notes : All nitrogen and yield variables are expressed in kg/ha. Energy variables are expressed in TJ/ha.

TABLE 4.5 : Descriptive statistics of activity data by subzone in the Niayes
Source : Authors.

Appendix 3. Factor Tables

Appendix 3.1. Emissions Factors

Variables	Descriptions	Values	Unit	Sources
Nitrous oxide (N_2O)				
Direct fertilizer emissions				
EF^f	Direct emission factor of N_2O for nitrogen inputs from mineral fertilizers, organic amendments, and crop residues	0.01	kg $N_2O - N$	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol 4
Indirect fertilizer emissions				
$Frac^{GAZE}$	Fraction of synthetic fertilizer nitrogen volatilized as NH_3 and NO_x	0.1	kg N volatilized	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol 6
$Frac^{GAZM}$	Fraction of organic nitrogen fertilizer materials volatilized as NH_3 and NO_x	0.2	kg N volatilized	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol 7
$Frac^{lea}$	Fraction of total nitrogen added to soils that is lost through leaching and runoff	0.3	kg N leached	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol 8
EF^{vol}	Emission factor for N_2O from atmospheric deposition of nitrogen onto soils and water surfaces	0.01	kg $N_2O - N$	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol 9
EF^{lea}	Emission factor for N_2O from nitrogen leaching and runoff	0.0075	kg $N_2O - N$	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol 10
Energy emissions				
$EF^{N_2O,fc}$ for gasoline	N_2O emission factor for motor gasoline	2	kg/TJ	Table 54A Emission factor and net calorific value, by energy carrier (Tubiello et al., 2015)
$EF^{N_2O,fc}$ for diesel	N_2O emission factor for diesel	28.6	kg/TJ	Table 54A Emission factor and net calorific value, by energy carrier (Tubiello et al., 2015)
$EF^{N_2O,e}$	N_2O emission factor for electricity	0.01	kg/TJ	Table 54A Emission factor and net calorific value, by energy carrier (Tubiello et al., 2015)
Carbon dioxide (CO_2)				
Fertilizer emissions				
EF^{urea}	CO_2 emission factor for urea	0.2	tonnes C	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol 4
Energy emissions				
$EF^{CO_2,fc}$ for gasoline	CO_2 emission factor for motor gasoline	69300	kg/TJ	Table 54A Emission factor and net calorific value, by energy carrier (Tubiello et al., 2015)
$EF^{CO_2,fc}$ for diesel	CO_2 emission factor for diesel	74100	kg/TJ	Table 54A Emission factor and net calorific value, by energy carrier (Tubiello et al., 2015)
$EF^{CO_2,e}$	CO_2 emission factor for electricity in Senegal	0.624	kg/kWh	CO_2 emissions per kWh from electricity generation (IEA/OECD, 2012)
Methane (CH_4)				
Energy emissions				
$EF^{CH_4,fc}$ for gasoline	CH_4 emission factor for motor gasoline	80	kg/TJ	Table 54A Emission factor and net calorific value, by energy carrier (Tubiello et al., 2015)
$EF^{CH_4,fc}$ for diesel	CH_4 emission factor for diesel	4.15	kg/TJ	Table 54A Emission factor and net calorific value, by energy carrier (Tubiello et al., 2015)
$EF^{CH_4,e}$	CH_4 emission factor for electricity	1.2	kg/TJ	Table 54A Emission factor and net calorific value, by energy carrier (Tubiello et al., 2015)

TABLE 4.6 : Table of emission factors

Appendix 3.2. Fertilization and crops residue

Variables	Description	Values	Unit	Sources
Cow manure nitrogen content	Nitrogen content of cow manure	0.00545	kg N	AGRIBALYSE : Methodology, Table 160 in Annex G (Koch et al, 2007)
Chicken manure nitrogen content	Nitrogen content of chicken manure	0.01495	kg N	AGRIBALYSE : Methodology, Table 160 in Annex G (Koch et al, 2007)
Goat manure nitrogen content	Nitrogen content of goat manure	0.0067	kg N	AGRIBALYSE : Methodology, Table 160 in Annex G (Koch et al, 2007)
Horse manure nitrogen content	Nitrogen content of horse manure	0.00484	kg N	AGRIBALYSE : Methodology, Table 160 in Annex G (Koch et al, 2007)
Organic household waste nitrogen content	Nitrogen content of organic household waste	0.006	kg N	AGRIBALYSE : Methodology, Table 160 in Annex G (Koch et al, 2007)
$frac^{DryMatter}$	Fraction of dry matter	0.22	kg of dry matter	TABLE 11.2 DEFAULT FACTORS FOR ESTIMATING N ADDED TO SOILS FROM CROP RESIDUES (IPCC, 2006)
$Slope$	Slope	0.1	~	TABLE 11.2 DEFAULT FACTORS FOR ESTIMATING N ADDED TO SOILS FROM CROP RESIDUES (IPCC, 2006)
$Intercept$	Intercept	1.06	~	TABLE 11.2 DEFAULT FACTORS FOR ESTIMATING N ADDED TO SOILS FROM CROP RESIDUES (IPCC, 2006)
R_{ST-BIO}	Ratio of below-ground residues to above-ground biomass	0.2	~	TABLE 11.2 DEFAULT FACTORS FOR ESTIMATING N ADDED TO SOILS FROM CROP RESIDUES (IPCC, 2006)
$frac^{Renew}$	Fraction of total cropped area renewed annually	1	~	For annual crops, $FracRenouv = 1$ (IPCC, 2006)
N^{AE}	Nitrogen content of above-ground residues from yields in harvested dry matter	0.019	kg N/kg dry matter	TABLE 11.2 DEFAULT FACTORS FOR ESTIMATING N ADDED TO SOILS FROM CROP RESIDUES (IPCC, 2006)
$frac^{Extract}$	Fraction of above-ground residues from harvested dry matter removed annually for feed, bedding, and construction	~	~	~
N^{ST}	Nitrogen content of below-ground residues from yields in harvested dry matter	0.014	kg N/kg dry matter	TABLE 11.2 DEFAULT FACTORS FOR ESTIMATING N ADDED TO SOILS FROM CROP RESIDUES (IPCC, 2006)

TABLE 4.7 : Table of fertilization and crop residue factors

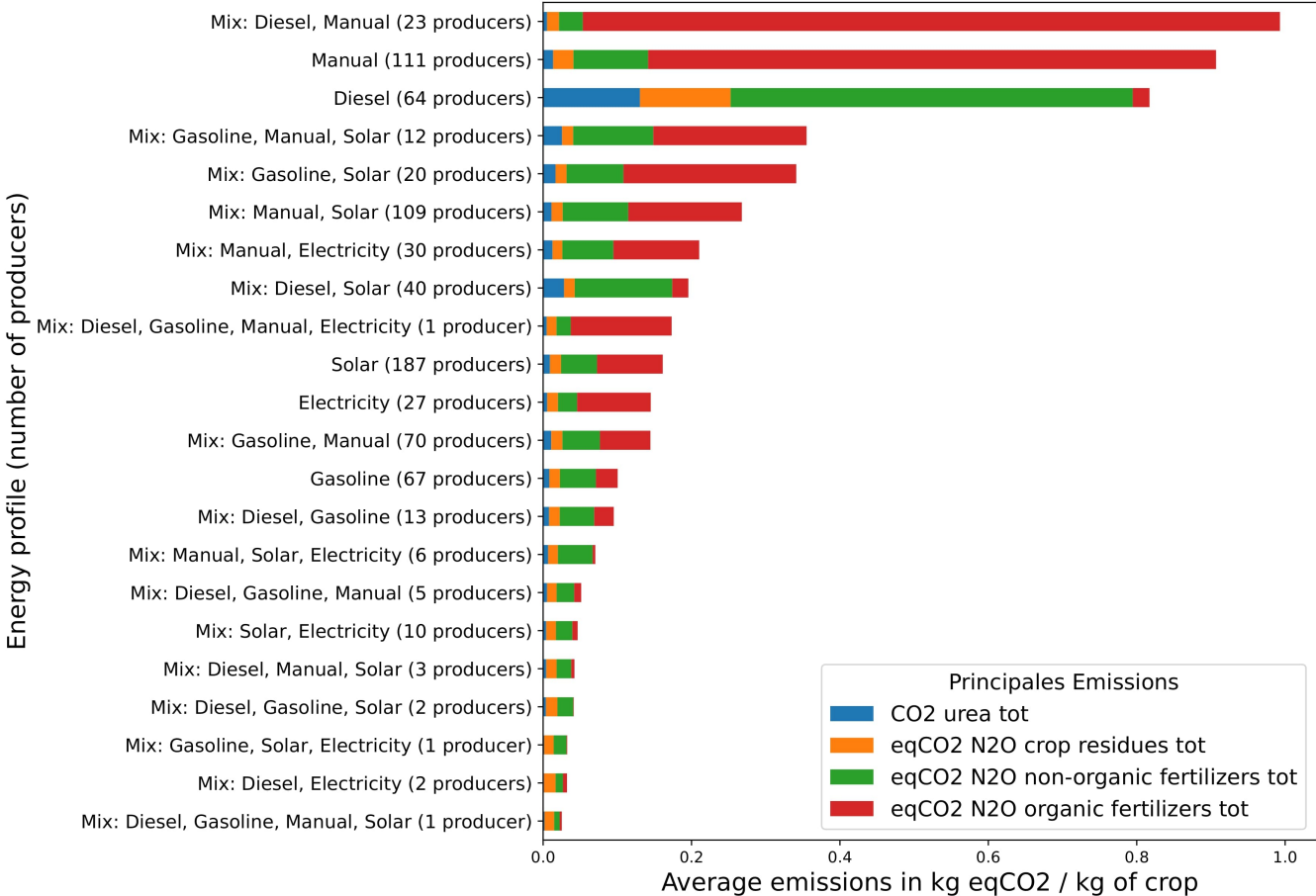
Appendix 3.3. Energy consumption

Variables	Description	Values	Unit	Sources
NCV^{fc} for gasoline	Net (lower) calorific value	44.3	GJ/t	(Tubiello et al., 2015)
NCV^{fc} for diesel	Net (lower) calorific value	43	GJ/t	(Tubiello et al., 2015)
$Density^{fc}$ for gasoline	Mass of gasoline in 1 liter of this fuel	0.755	kg/l	
$Density^{fc}$ for diesel	Mass of diesel in 1 liter of this fuel	0.845	kg/l	
Gasoline price	Average price of gasoline at service stations in 2021	775	FCFA/l	Annual evolution of the Harmonized Consumer Price Index (HCPI) (ANSD, 2022)
Diesel price	Average price of diesel at service stations in 2021	655	FCFA/l	Annual evolution of the Harmonized Consumer Price Index (HCPI) (ANSD, 2022)
Electricity price (per 50 kWh)	Average price for a consumption of 50 kWh of electricity in 2021	5760	50 kWh	Annual evolution of the Harmonized Consumer Price Index (HCPI) (ANSD, 2022)
100-year Global Warming Potentials				
GPW^{CH_4}	100-year Global Warming Potential	21	Gg CH ₄ in Gg CO ₂ -eq	(Tubiello et al., 2015)
GPW^{N_2O}	100-year Global Warming Potential	310	Gg N ₂ O in Gg CO ₃ -eq	(Tubiello et al., 2015)
GPW^{CO_2}	100-year Global Warming Potential	1	Gg CO ₂	(Tubiello et al., 2015)

TABLE 4.8 : Table of energy consumption factors

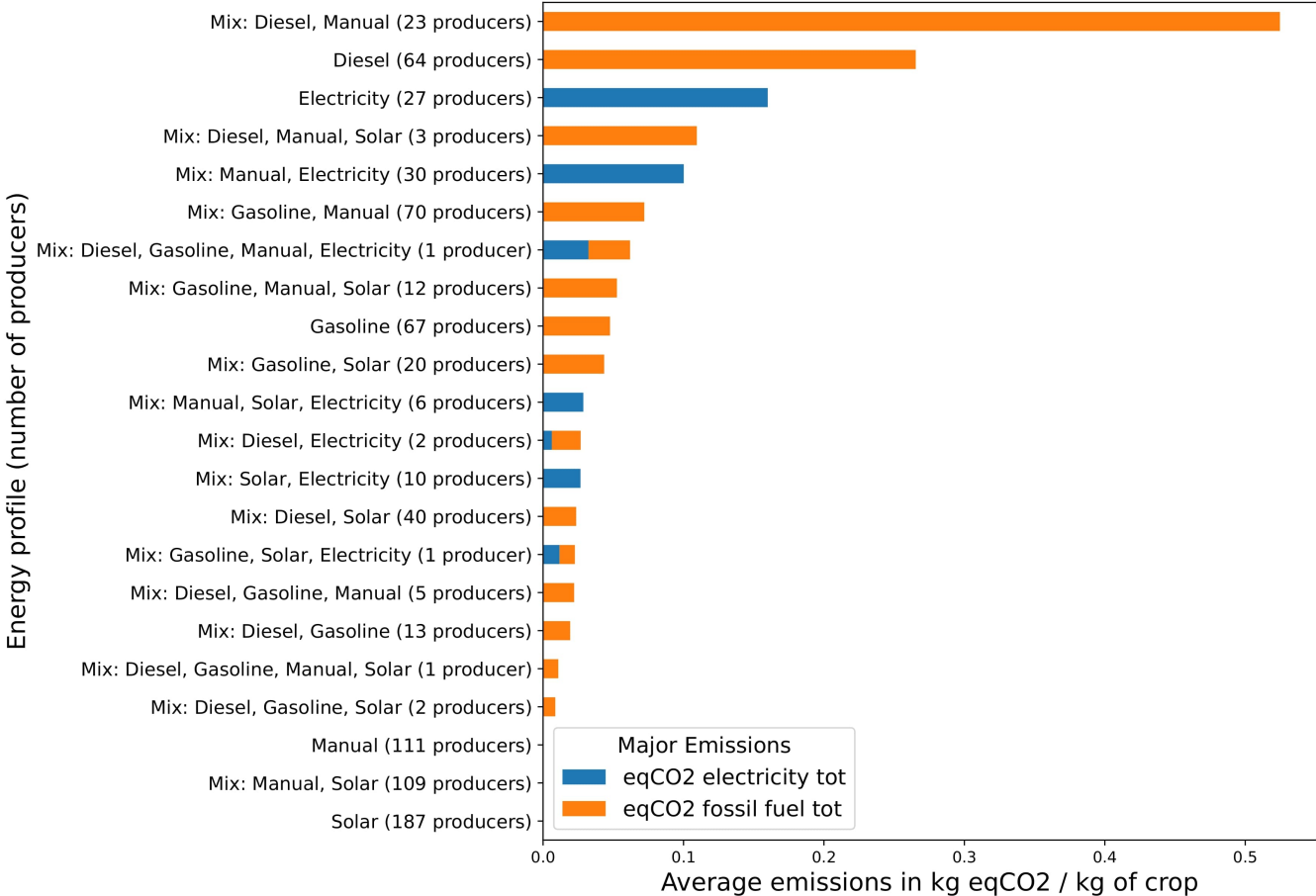
Appendix 4. Average emissions from fertilization and crop residues by producers energy profile

Average emissions from fertilizations and crop residues by energy profile of crop producers (in kg CO2 equivalent per kg of crop)



Appendix 5. Average energy emissions by producers energy profile

Average emissions from energy consumption by energy profile of producers (in kg CO2 equivalent per kg of crop)



Solar Energy Adoption and Greenhouse Gas Emissions in Agriculture : Evidence from Horticultural Production in Senegal

Abstract¹

This chapter assesses the causal impact of solar energy adoption on greenhouse gas (GHG) emissions in Senegal's horticultural production sector, using survey data from 804 producers. Relying on propensity score matching (PSM) with various matching algorithms, we find that adopting solar technology leads to a significant reduction in overall GHG emissions, ranging from 47% to 57%. This reduction is entirely attributable to a near-total decline (99%) in emissions related to energy consumption. Importantly, and contrary to concerns raised in the literature, solar energy adoption does not result in a statistically significant increase in GHG emissions from fertilization practices. This implies that, in our context, the decline in energy-related emissions is fully translated into net reductions in overall GHG emissions, without being offset by changes in agronomic practices. Robustness checks across alternative matching algorithms confirm the consistency of our findings. Furthermore, heterogeneity analyses highlight variation in treatment effects across several socio-economic characteristics, including gender, plot size, and production zone. These results highlight the need for targeted and context-specific policy interventions, particularly those aimed at improving access to solar technologies for small-scale producers, addressing gender disparities in adoption, and promoting complementary sustainable farming practices to maximize both environmental and economic outcomes.

¹Ce chapitre a été coécrit avec Arouna Zoromé et Harouna Kinda. Université Clermont Auvergne, CNRS, IRD, CERDI, F-63000, Clermont-Ferrand, France et Mohammed VI Polytechnic University, (EIEA-ABS-UM6P), Rabat, Morocco.

1 Introduction

Climate change presents a major challenge for developing countries, which must reconcile agricultural growth, food security, and environmental sustainability. In this context, international agreements such as the Paris Agreement (COP21) call for a shift toward low-emission production systems. Agriculture, as both a significant emitter and a potential part of the solution, lies at the heart of this transition. Senegal has embraced this dynamic. Through its Nationally Determined Contributions (NDCs), the country has committed to a 7% reduction in greenhouse gas (GHG) emissions by 2030, with agriculture and energy identified as priority sectors. At the same time, it faces the growing demand for food while managing increasingly stressed natural resources.

Integrating renewable energy into agricultural systems has thus emerged as a national strategy to promote development while enhancing sustainability. Irrigation, in particular, has been identified as a key lever for sustainably intensifying production, especially in semi-arid regions where horticulture plays a strategic role in supplying fruits and vegetables to urban areas (Burney et al., 2013; Hollinger & Staatz, 2015; OECD & FAO, 2016; Bricas et al., 2016). Solar irrigation technologies offer a promising alternative to fossil fuels (diesel/gasoline/electricity), with the potential to simultaneously reduce carbon emissions and improve farm profitability. With high and stable solar irradiation throughout the year, Senegal offers favourable conditions for the deployment of solar-powered irrigation systems.

The Niayes region, the country's main horticultural hub vividly illustrates both the opportunities and constraints of this transition. This area accounts for up to two-thirds of Senegal's national fruit and vegetable production (Fare et al., 2017) and constitutes a critical source of income for numerous small-scale producers, the majority of whom are women (Ndiaye & Bass, 2023). Yet, it faces mounting pressures : recurrent droughts have led to declining water availability (Aguar, 2009); urbanization has sharply reduced cultivable land (Diack et al., 2017); and irrigation systems remain heavily reliant on fossil energy sources (Fare et al., 2017; Fare, 2018). These dynamics have led to both intensifying farming practices and growing negative environmental externalities.

In response to these challenges, solar irrigation is generating increasing interest across developing countries, supported by a growing body of empirical work highlighting its positive effects on agricultural productivity and income generation. For instance, Burney et al. (2010) show, in their study in Benin, that a solar-powered drip irrigation system significantly improves horticultural yields, women's incomes, and household food security. Similar findings are reported by Burney & Naylor (2012) in a broader sub-Saharan African context, showing that small-scale irrigation, especially when powered by solar energy, can be a powerful tool for rural poverty reduction and food system resilience. More recent studies in South Asia (Buisson et al., 2024; Sarker et al., 2025) further confirm that solar pumps reduce irrigation costs, increase crop profitability, and enhance farmer incomes, particularly in regions facing water variability.

Alongside these impact studies, an expanding literature has explored the determinants of solar technology adoption. Key barriers include high upfront costs, limited access to credit, weak technical support services, and socio-demographic factors such as gender, age, education, and farm size (Ruzzante et al., 2021; Sow et al., 2024; Bhattarai et al., 2025; Sanogo et al., 2025). These studies suggest that solar technologies are not socially neutral and that their diffusion is shaped by unequal access, often

to the detriment of poorer farmers and women (Djobo et al., 2025; Kafle et al., 2022). Other research highlights the critical role of institutional support, maintenance infrastructure, and training, without which large-scale adoption remains limited (Durga et al., 2024).

Although economic impacts are well documented, the environmental consequences of solar irrigation, especially on GHG emissions remain largely unexplored. In theory, two opposing effects can be expected. On the one hand, a direct effect : substituting solar energy for diesel or gasoline engines should reduce or eliminate emissions directly associated with irrigation. On the other hand, there may be indirect effects : the increased availability and lower marginal cost of energy could alter farming practices in ways that increase emissions, for example by encouraging more input-intensive cropping, expanding irrigated areas, or intensifying production cycles. An emerging research indicates that these indirect effects may partially offset or even outweigh the environmental benefits of substitution. For instance, Lefore et al. (2021) and Mitra et al. (2023) highlight the risks of rebound effects linked to changes in water use and agricultural intensification. Balasubramanya (2024) further points out that switching to solar pumps does not automatically result in net emission reductions, especially when farmers continue to rely on hybrid energy systems or adopt more input-intensive farming methods. These dynamics remain largely underexplored in West Africa, in part due to the scarcity of detailed data on energy use, agricultural practices, and emissions at the farm level.

While the adoption of solar irrigation is rapidly increasing across sub-Saharan Africa, little is known about its impact on greenhouse gas (GHG) emissions at the farm level. Most existing studies focus on yield or income gains, with limited attention to environmental trade-offs. This paper seeks to address this gap by evaluating the net impact of solar irrigation adoption on plot-level GHG emissions in Senegal's horticultural sector, and examines how this impact varies by farm size, gender, etc.

To our knowledge, this is the first empirical study quantifying the net environmental effects of solar irrigation in West African horticulture, based on field-level GHG estimates. We contribute to the literature in four key ways, offering novel insights of both academic and policy relevance. First, it enriches the empirical evidence on mitigation strategies in agriculture by providing detailed estimates of GHG emissions in irrigated horticulture in Senegal. Second, it complements existing studies on the economic impacts of solar technology adoption by offering an environmental perspective. Third, it proposes an integrated view of agricultural transitions, linking energy use, agronomic practices, and environmental performance. Fourth, it identifies differentiated leverage points across producer profiles, informing more targeted and effective public policy interventions.

We rely on a unique dataset collected from 804 horticultural producers in the Niayes region, encompassing more than 1,500 plots, as part of the project “Energy Transition for Women’s Economic Empowerment along the Horticultural Value Chain in a Post-COVID Context in Guinea and Senegal,” led by the Initiative Prospective Agricole et Rurale (IPAR). The dataset provides detailed information on farming practices, energy consumption, and plot-level emissions (Chapter 4). Causal identification of the effects relies on a quasi-experimental method (propensity score matching) that helps control for selection bias in solar adoption (Rosenbaum & Rubin, 1983; Rubin, 1974).

The empirical results show that adopting solar energy for irrigation leads to a significant reduction in overall greenhouse gas (GHG) emissions, ranging from 47% to 57%, depending on the estimation

method used. Analysis of transmission channels reveals that this reduction is almost entirely driven by a decrease in energy consumption-related emissions, accounting for 99% of the total effect. Importantly, and in contrast to concerns raised in the literature, solar energy adoption does not lead to a statistically significant increase in GHG emissions from fertilization practices. Several studies suggest that improved energy access such as through solar-powered irrigation may incentivize intensification and lead to greater use of fertilizers, potentially offsetting some of the environmental gains. However, in our context, this offsetting effect does not materialize, largely due to limited possibilities for plot expansion in the study region. These findings suggest that the reduction in energy-related emissions is fully transmitted to overall GHG reductions, without being undermined by increased fertilization-related emissions.

The rest of the paper details these dynamics as follows. Section 2 and 3 present the conceptual framework and the data. Sections 4 and 5 report the empirical strategy, results and robustness checks. Section 6 discusses policy implications. Section 7 concludes by summarizing the key findings and suggesting directions for future research.

2 Conceptual Framework

The adoption of solar-powered irrigation technologies by horticultural producers in Senegal is expected to drive a transition toward lower-emission agricultural systems. Beyond reducing environmental pressure, this transition aims to enhance productivity and resilience at the farm level. However, the impact of solar-powered irrigation is shaped by a technical, economic, and institutional factors. The net environmental outcome depends not only on the energy source but also on farmers' behavioural responses to lower irrigation costs and how institutions support this technological shift.

The first mechanism at play is the **direct substitution effect**. By replacing diesel or gasoline-powered pumps with solar alternatives, farmers significantly reduce their reliance on fossil fuels, leading to a direct decrease in energy-related greenhouse gas (GHG) emissions. This is often the most visible and immediate environmental gain associated with solar adoption.

However, the second mechanism, the **cost-reduction and intensification effect** introduces potential rebound effects. With solar energy being effectively free at the point of use, the marginal cost of irrigation drops. This can result in more frequent watering, expansion of irrigated land, and increased cropping intensity. While this enhances productivity, it can also increase emissions through greater fertilizer use, input application, and soil disturbance.

The effect of **agronomic practices** highlights a critical limitation : in most cases, the adoption of solar irrigation is not paired with improvements in fertilizer management. Farmers may continue to use inefficient or excessive amounts of nitrogen-based fertilizers, resulting in continued or even increased N₂O emissions, a potent GHG that contributes significantly to total agricultural emissions at the plot level.

The outcomes of solar adoption are further differentiated by **socioeconomic heterogeneity**. Large commercial farms are more likely to scale up their operations and intensify input use, potentially leading to higher GHG emissions per hectare. Conversely, smallholders and women farmers may adopt solar irrigation more modestly or face constraints in accessing the technology and support services, limiting

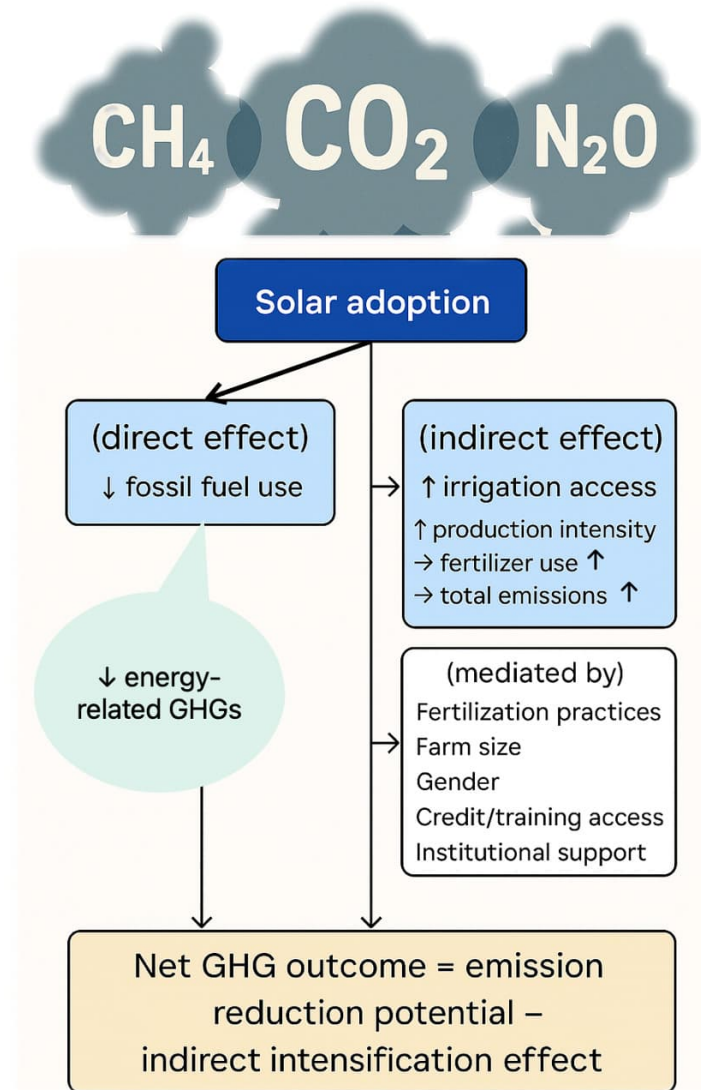


FIGURE 5.1 : Linking Solar Irrigation to GHG Emissions Reduction

both their productivity gains and emission reductions.

Finally, the **institutional and support infrastructure effect** underscores the importance of the enabling environment. Access to maintenance, availability of technical training, and credit or subsidy mechanisms all affect the sustainability and effectiveness of solar irrigation systems. Adoption may be suboptimal without institutional support, leading to equipment failure or unintended environmental outcomes.

In sum, while solar irrigation has clear potential to lower GHG emissions, primarily by reducing fossil energy use, this benefit can be offset by indirect increases in emissions tied to intensification. The net effect is mediated by factors such as agronomic practices, farm size, gender, and institutional quality. Understanding these transmission mechanisms is essential for designing targeted policies that maximize the environmental and economic benefits of solar irrigation in Senegal and similar contexts.

3 Data

3.1 Survey Data from the WEL Project

The data used in this study were collected as part of the research project titled "Energy Transition for Women's Economic Empowerment through the Horticultural Value Chain in a Post-COVID Context in Guinea and Senegal." This project, led by the Initiative Prospective Agricole et Rurale (IPAR), aims to enhance women's economic empowerment by generating knowledge on the adoptability and economic empowerment potential of various eco-energy solutions for water management within the horticultural value chain. The objective is to inform government decisions and policies regarding energy transition in Guinea and Senegal.

Data were collected from a representative sample of horticultural producers in the Niayes region, including both users and non-users of solar energy for irrigation purposes. These data provide detailed information on the socio-demographic and economic characteristics of horticultural producers, as well as on their farming operations. They also include insights into producers' equipment and agricultural practices. The survey covers eight horticultural crops : eggplant, carrot, cabbage, okra, onion, pepper, potato, and tomato, cultivated on 1,550 plots managed by 804 producers in the Niayes region of Senegal during the 2021-2022 agricultural season. Each producer may manage one or more plots, distributed across three sub-areas : Center, North, and South. For further details on the data and questionnaires, refer to Chapter 4

3.2 GHG emissions calculations

To calculate GHG measures, we rely on Scopes 1 and 2 of the GHG Protocol standards. Scope 1 includes direct emissions from sources directly controlled by producers, such as emissions resulting from input use and fuel combustion in agricultural equipment (e.g., tractors and pumps). Scope 2 encompasses indirect energy-related emissions, which result from the consumption of purchased energy (e.g., electricity, heat, steam) produced outside the horticultural operation ([GHG Protocol, 2004](#))². Scope 3 emissions, which pertain to upstream and downstream activities, were not included due to data limitations.

GHG emissions were calculated by multiplying activity data with their corresponding emission factors (EF). According to technical documents from the IPCC and the Food and Agriculture Organization (FAO), activity data represent human activities that generate emissions or absorptions of GHGs within a specific area and time frame ([IPCC, 2006](#); [Tubiello et al., 2015](#)). Emission factors, on the other hand, are coefficients that quantify the emissions or absorptions per unit of activity. These factors are derived from representative measurements and are specific to certain operating conditions. Emission factors are sourced from scientific publications, technical reports by the FAO and IPCC, or databases such as Agribalyse by ADEME or Ecoinvent.

The IPCC Guidelines provide a comprehensive framework for estimating GHG emissions in agriculture, structured across three tiers ([IPCC, 2006](#)) :

²See the full report authored by [Ranganathan et al. \(2004\)](#)

- Tier 1 : Employs simplified equations and default emission factors.
- Tier 2 : Builds upon Tier 1 by integrating region- or country-specific emission factors.
- Tier 3 : Utilizes advanced models and local measurement systems over time, offering greater precision and reduced uncertainty.

Note that higher-tier methodologies enhance accuracy and reduce uncertainty, though they require more resources and greater complexity (Tubiello et al., 2015).

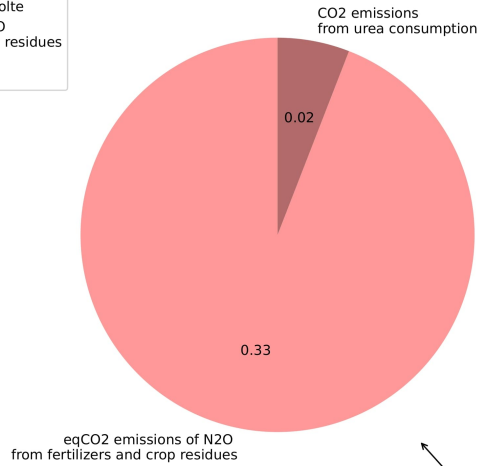
For our study, we applied a combination of Tier 1 and Tier 2 methodologies, depending on the availability of activity data and emission factors. We differentiated GHG emissions by their sources : emissions from fertilization and crop residues on one hand, and emissions from energy consumption on the other. This distinction allowed for a more precise and detailed assessment of the various contributions to overall emissions from horticultural operations. Using plot level data, we computed four measures of greenhouse gas (GHG) emissions :

1. CO₂ emissions from urea application ;
2. CO₂-equivalent (*eqCO₂*) emissions of N₂O derived from fertilizer use and crop residues ;
3. CO₂-equivalent (*eqCO₂*) emissions from fossil fuel consumption ;
4. CO₂-equivalent (*eqCO₂*) emissions from electricity use.

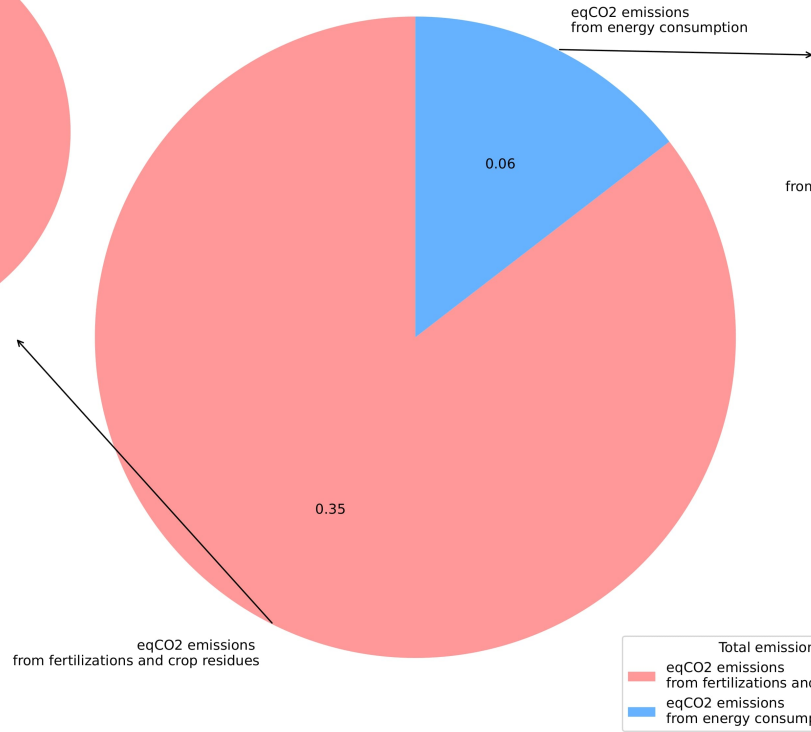
For each plot, we calculated total GHG emissions from fertilizers by aggregating measures (1) and (2), and total GHG emissions from energy consumption by summing measures (3) and (4). The total GHG emissions at the plot level were then obtained by combining these two sources. Finally, plot-level emissions were aggregated to estimate the total GHG emissions for each producer (see Figure 5.2). For additional details on the methodology and computations, refer to Chapter 4. From these total emissions per producer, we then decompose them into two main components : emissions from fertilizers and emissions from energy consumption. This decomposition allows for a more detailed examination of the relative contributions of each source to the overall GHG emissions.

Details of CO2 equivalent emissions from fertilization and crop residue

Emissions fert & res recolte
 eqCO2 emissions of N2O from fertilizers and crop residues
 CO2 emissions from urea consumption

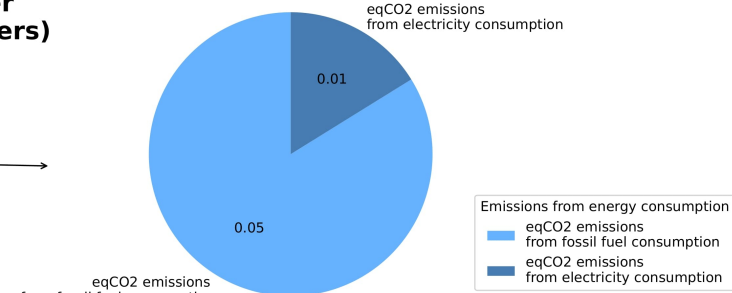


Distribution of average emissions per producer in kg CO2 equivalent per kg of crop (804 producers)



Total emissions
 eqCO2 emissions from fertilizations and crop residues
 eqCO2 emissions from energy consumption

Details of CO2 equivalent emissions from energy consumption



Emissions from energy consumption
 eqCO2 emissions from fossil fuel consumption
 eqCO2 emissions from electricity consumption

Source : (Tapsoba & Zoromé, 2023)

FIGURE 5.2 : Details of GHG measures

4 Empirical Strategy

Our objective is to estimate the impact of *solar energy adoption* on *greenhouse gas (GHG) emissions expressed in kg eqCO₂* in the context of horticultural production in Senegal. Given the potential selection bias due to non-random adoption of solar energy by farms, we apply a counterfactual evaluation framework using a treatment effect approach.

The initial sample includes 391 producers that use solar energy, some of whom opt for a combination of solar and other energy sources. To isolate the specific effect of solar energy, it is crucial to focus on those who use it exclusively. In fact, producers using a mixed-energy approach (solar and other sources) introduce confounding factors that make it difficult to directly attribute the observed effects to solar energy. Therefore, to ensure a strict and homogeneous comparison, the treatment group consists of the 180 producers who have exclusively adopted solar technologies.

The control group, on the other hand, includes 399 producers using conventional energy sources, such as diesel or grid electricity. This distinction between exclusively solar producers and those using conventional energy sources allows for a more precise measurement of the impact of solar energy on GHG emissions. The average treatment effect on the treated (ATT) is defined as :

$$ATT = E[(Y_i^1 - Y_i^0)|Solar_i = 1] = E[Y_i^1|Solar_i = 1] - E[Y_i^0|Solar_i = 1] \quad (5.1)$$

where $Solar_{it}$ is a binary indicator equal to 1 if farm i uses solar energy, and Y denotes the level of GHG emissions. $Y_i^0|Solar_i = 1$ is the counterfactual GHG emissions that would have been observed for a treated unit if it had not adopted solar energy, while $Y_i^1|Solar_i = 1$ is the observed emissions for treated units. The main challenge in estimating ATT lies in the fact that the counterfactual $Y_i^0|Solar_i = 1$ is not observable.

To address this, we use *propensity score matching (PSM)* to compare producers using solar energy with similar producers that do not, based on observable covariates. This helps correct for selection bias on observables (Rosenbaum & Rubin, 1983; Rubin, 1974).

4.1 Matching on Propensity Scores

The first key assumption required for PSM is **conditional independence** :

$$(Y^0, Y^1) \perp Solar | X \quad (5.2)$$

This means that, conditional on a vector of observable characteristics X , the assignment to solar energy adoption is independent of the potential outcomes.

Under this assumption, we can rewrite equation (5.1) as :

$$ATT = E[Y_i^1|Solar_i = 1, X_i] - E[Y_i^0|Solar_{it} = 0, X_i] \quad (5.3)$$

Matching directly on X becomes difficult as the dimensionality increases. Therefore, following

Rosenbaum & Rubin (1983), we use the *propensity score*, $p(X_i)$, which is the probability of adopting solar energy conditional on X_i :

$$p(X_i) = Pr(Solar_i = 1|X_i) \quad (5.4)$$

This score can be estimated using a probit or logit model. A second assumption is **common support** : for each treated unit, there must exist at least one comparable untreated unit :

$$0 < p(X_i) < 1 \quad (5.5)$$

This ensures that treated and control units can be matched meaningfully. The ATT can now be estimated as :

$$ATT = E[Y_i^1 | Solar_i = 1, p(X_i)] - E[Y_i^0 | Solar_i = 0, p(X_i)] \quad (5.6)$$

Based on the equation (5.6), we implement various matching algorithms (see subsection 4.2).

4.2 Matching Algorithms

To estimate the impact of solar energy adoption on GHG emissions in Senegal's horticultural sector, we apply four commonly used propensity score matching (PSM) algorithms. Each treated unit (i.e., a horticultural producer using solar energy) is matched with control units (non-solar producers) based on the closeness of their propensity scores³.

The first three estimators implement **n-Nearest Neighbors Matching (n-NNM)** with $n = 1, 2, 3$ (LaLonde, 1986). This method matches each solar producer to the n closest non-solar producers based on propensity scores. While simple and intuitive, it can suffer from poor matches if the nearest neighbors are not sufficiently close.

We next apply **Radius Matching (r-RM)** using three calipers : $r = 0.005$ (narrow), $r = 0.01$ (medium), and $r = 0.05$ (wide) (Dehejia & Wahba, 2002). This approach matches a treated unit to all control units with estimated propensity scores within the specified radius. Its flexibility lies in avoiding poor matches beyond the caliper but may leave some treated units unmatched if no suitable control exists within the radius.

Kernel Matching (KM) is also employed, where each treated unit is matched with a weighted average of all control units. The weights decrease with the distance in propensity scores between treated and control units (Dehejia & Wahba, 2002). This method reduces variance due to the use of all available observations, though it may introduce bias if poor matches receive positive weights.

Lastly, we use **Local Linear Regression Matching (LLRM)**, developed by Heckman et al. (1998), which extends kernel matching by incorporating a linear adjustment in the weighting function. This semi-parametric approach reduces bias near the boundaries of the propensity score distribution.

Each matching method has strengths and limitations. Nearest neighbor matching is straightforward

³We restrict our analysis to the region of common support, excluding treated observations whose propensity score lies outside the range of the control group. This restriction avoids extrapolation bias and ensures reliable treatment effect estimation (Dehejia & Wahba, 1999; Lucotte, 2012).

but prone to bias ; kernel and regression-adjusted methods reduce bias at the cost of increased complexity and potential variance. As recommended by [Dehejia & Wahba \(2002\)](#), we test the sensitivity of our results across methods and compute standard errors using **bootstrapping**, as the matching estimators lack closed-form variances.

5 Results

5.1 Propensity Score Estimation

To estimate the average treatment effect on the treated (ATT), we first compute the propensity score, the conditional probability of receiving treatment given observable covariates (see the list of covariates [Table 5.7](#)). Following [Rosenbaum & Rubin \(1983\)](#) and [Heckman et al. \(1997\)](#), the propensity score serves as a balancing score, ensuring that, conditional on this score, the distribution of covariates is similar between treated and control groups.

Let $Solar_i \in \{0, 1\}$ be the treatment indicator, where $Solar_i = 1$ if individual i adopts the treatment (e.g., solar energy) and $Solar_i = 0$ otherwise. Let X_i be a vector of pre-treatment covariates. The propensity score $p(X_i)$ is defined as :

$$p(X_i) = \Pr(Solar_i = 1 | X_i). \quad (5.7)$$

We estimate the propensity score using a probit model :

$$\Pr(Solar_i = 1 | X_i) = \Phi(X_i' \beta), \quad (5.8)$$

where $\Phi(\cdot)$ denotes the cumulative distribution function of the standard normal distribution, and β is the vector of coefficients to be estimated.

The selection of covariates X_i is guided by economic theory and prior empirical literature to satisfy the unconfoundedness (conditional independence) assumption. Specifically, we include variables such as plot size, gender, irrigation mode, etc. (see the list of covariates [Table 5.7](#)). [Table 5.8](#) reveals that both economic constraints and farm-level performance significantly influence the probability of adopting solar technology. Additionally, regional factors and certain plot-level or demographic characteristics affect adoption likelihood, highlighting the importance of context in shaping technology diffusion. These findings support the robustness of the propensity score matching strategy, as the selection into treatment appears systematic and observable. This justifies the subsequent use of these variables to estimate treatment effects on GHG emissions.

After estimating the propensity scores, we implement different matching algorithms, including nearest neighbor, radius, kernel, and local linear regression matching to construct comparable groups and estimate the ATT, as presented in the subsection [5.2](#).

5.2 Baseline results

Table 5.1 displays the baseline results under various matching specifications, as presented in subsection 4.2. We observe that the estimated ATT remains negative and statistically significant across all matching methods, indicating a robust reduction in GHG emissions associated with the adoption of solar energy in horticultural farms.

Our results yield two main insights : First, producers using solar energy emit significantly less GHG compared to those relying on traditional energy sources. In all specifications, the average treatment effect on the treated (ATT) ranges from approximately -0.634 to -0.843 , depending on the matching method. This consistent negative effect suggests a meaningful environmental gain from the use of solar energy in the sector. The estimated average treatment effect on the treated (ATT) measures the impact of solar energy adoption on the greenhouse gas (GHG) emissions (in kg) of producer i , expressed in logarithmic form. The use of a logarithmic transformation allows for a better economic interpretation, reduces heteroskedasticity, and helps manage extreme values. When the dependent variable is in logarithms, the coefficient of a binary variable can be interpreted as the average percentage change in the dependent variable. Specifically : Percentage Effect = $(e^{ATT} - 1) \times 100$

In Table 5.1, the estimated ATT ranges from approximately -0.634 to -0.843 , depending on the matching method. Therefore : Average Effect = $(e^{-0.634} - 1) \times 100 \approx -47\%$ and $(e^{-0.843} - 1) \times 100 \approx -57\%$

These results suggest that, on average, the adoption of solar energy leads to a reduction in GHG emissions ranging between **47% and 57%**, depending on the estimation technique used.

Second, the magnitude of the ATT estimates tends to be slightly more pronounced under kernel and local linear regression matching, where more control information is utilized. This may reflect a more accurate estimation of counterfactual outcomes due to better balancing of covariates.

The robustness of our estimates is supported by several diagnostic checks. The pseudo- R^2 values are low after matching, confirming that observable characteristics are well balanced across treated and control units (Caliendo & Kopeinig, 2008; Sianesi, 2004). The standardized bias measures fall well below the 0.1 threshold suggested by Rosenbaum & Rubin (1985), satisfying the balancing property of the matching approach. Furthermore, the Rosenbaum bounds sensitivity test indicates that hidden bias due to unobserved confounders is unlikely to overturn our conclusions.

Overall, the adoption of solar energy technologies appears to yield significant environmental benefits by reducing GHG emissions in Senegalese horticulture. These findings are aligned with the theoretical expectations of energy transition benefits and contribute empirical evidence supporting sustainable energy adoption in agriculture.

5.3 Testing transmission channels

5.3.1 Direct channels : Impact on Emissions from energy consumption

Table 5.2 presents the estimated average treatment effect on the treated (ATT) according to various matching specifications, assessing the impact of solar energy adoption on emissions specifically attributable

TABLE 5.1 : Baseline results : Estimated ATT under different matching specifications

	n-Nearest neighbors matching			r-Radius matching			Kernel	local linear
	n=1	n=2	n=3	r=0.005	r=0.01	r=0.05	matching	matching
ATT	-0.843*** (0.174)	-0.786*** (0.156)	-0.732*** (0.148)	-0.786*** (0.158)	-0.737*** (0.135)	-0.634*** (0.115)	-0.635*** (0.116)	-0.637*** (0.113)
N	579	579	579	579	579	579	579	579
Treated/Untreated	180/399	180/399	180/399	180/399	180/399	180/399	180/399	180/399
Pseudo-R ²	0.036	0.013	0.008	0.009	0.009	0.006	0.006	0.036
Gamma Rosenbaum	2.4	2.6	2.4	2.4	2.4	2.2	2.2	2.2
Standardized Bias	0.111	0.894	0.979	0.998	0.969	0.996	0.996	0.111

Standard errors in parentheses are bootstrapped using 500 replications. * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

to energy consumption. All ATT estimates are statistically significant at the 1% level and are obtained using 500 bootstrap replications.

These results reveal three key insights : First, adopting solar energy significantly reduces emissions associated with energy consumption. Across all matching methods, the ATT estimates range from approximately -4.526 to -4.860 , indicating a substantial environmental benefit from shifting away from conventional fossil-based energy sources. The effect sizes are notably larger than those in Table 5.1, confirming that a significant portion of overall GHG reductions originates directly from changes in energy consumption patterns.

Given the log-linear specification, the percentage impact is calculated as : Percentage Effect = $(e^{\text{ATT}} - 1) \times 100$. For example, $\text{ATT} = -4.526 \Rightarrow (e^{-4.526} - 1) \times 100 \approx -98.92\%$. Therefore, $\text{ATT} = -4.860 \Rightarrow (e^{-4.860} - 1) \times 100 \approx -99.22\%$. Thus, solar adoption reduces energy-related emissions by **98.92% to 99.22%**, depending on the specification.

Secondly, kernel and local linear matching yield more pronounced and precise effects. These specifications leverage a greater share of the control sample to construct better counterfactuals. Third, robustness checks support the validity of the estimates. The low pseudo- R^2 values and standardized bias measures confirm that the treated and control groups are well balanced post-matching. The Gamma Rosenbaum values of 6 across all specifications suggest that results are robust to potential hidden biases. These diagnostics reinforce the internal validity of the causal interpretation.

The evidence in Table 5.2 strongly supports the environmental benefits of adopting solar energy in agriculture. The nearly 99% reduction in energy consumption emissions not only validates theoretical expectations but also provides rigorous empirical support for promoting clean energy in the agricultural sector of sub-Saharan Africa. These results position solar technology as the cornerstone of sustainable development and climate mitigation strategies in the region.

5.3.2 Indirect channels : Impact on Emissions from fertilization practices

Table 5.3 presents the estimated average effect of treatment on the treated (ATT) of solar energy adoption on emissions originating from fertilization practices, using various matching specifications. In contrast to the results for total emissions (Table 5.1) and energy-related emissions (Table 5.2), the ATT estimates in Table 5.3 are statistically insignificant across all specifications.

Regarding the main Insights, we remark that there is no statistically significant effect of solar adoption

TABLE 5.2 : Impact on emissions from energy consumption

	n-Nearest neighbors matching			r-Radius matching			Kernel	local linear
	n=1	n=2	n=3	r=0.005	r=0.01	r=0.05	matching	matching
ATT	-4.860*** (0.362)	-4.843*** (0.317)	-4.768*** (0.290)	-4.788*** (0.274)	-4.768*** (0.257)	-4.547*** (0.200)	-4.546*** (0.202)	-4.526*** (0.202)
N	579	579	579	579	579	579	579	579
Treated/Untreated	180/399	180/399	180/399	180/399	180/399	180/399	180/399	180/399
Pseudo-R ²	0.036	0.013	0.008	0.009	0.009	0.006	0.006	0.036
Gamma Rosenbaum	6	6	6	6	6	6	6	6
Standardized Bias	0.111	0.894	0.979	0.998	0.969	0.996	0.996	0.111

Standard errors in parentheses are bootstrapped using 500 replications. * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

on emissions from fertilization. The ATT estimates range from -0.072 to -0.177 across all matching techniques, but none are statistically different from zero. The standard errors are relatively large compared to the effect sizes, suggesting high variance in the outcome or a weak association between solar adoption and fertilization-related emissions. These findings imply that the observed reductions in overall greenhouse gas (GHG) emissions (Tables 5.1 and 5.2) are primarily driven by changes in energy consumption rather than changes in fertilization practices. This result is consistent with the hypothesis that solar energy adoption directly affects emissions related to irrigation, machinery, and electricity use, but does not substantially influence input-intensive practices like fertilization.

Third, post-matching diagnostics confirm acceptable balance : pseudo- R^2 values are low, and standardized bias remains well below conventional thresholds (0.1–0.25 for nearest neighbor, 0.024 for kernel methods). However, the Rosenbaum bounds test was not reported for this outcome, due to the absence of significant effects.

Although the adoption of solar energy significantly reduces total and energy-specific emissions, its influence on emissions from fertilization appears negligible. This lack of effect on emissions from fertilization is likely due to land constraints. Indeed, the production area is already under land pressure, making it unlikely that the use of solar energy would lead to a significant increase in cultivated area. Our survey data show that producers who have adopted solar technologies have only marginally increased their cultivated area, with an average increase of around 200 m², without expanding their production campaigns.

This lack of change in fertilization practices highlights that clean energy technologies, while effective in reducing energy-related emissions, do not necessarily generate environmental benefits in other agricultural practices without additional behavioral or agronomic changes. Therefore, the observed emission reductions from solar adoption are primarily attributed to the substitution of electricity and fuel sources, rather than changes in agricultural input use. If reducing emissions from fertilization becomes a policy goal, future interventions will need to incorporate complementary agronomic or behavioral strategies to achieve this objective.

5.4 Additional sensitivity checks

Table 5.4 presents additional robustness checks designed to test the validity of the estimated treatment effects of solar energy adoption on total GHG emissions. Several econometric techniques and alternative

TABLE 5.3 : Impact on emissions from fertilization practices

	n-Nearest neighbors matching			r-Radius matching			Kernel	local linear
	n=1	n=2	n=3	r=0.005	r=0.01	r=0.05	matching	matching
ATT (0.201)	-0.168 (0.177)	-0.129 (0.168)	-0.072 (0.178)	-0.177 (0.155)	-0.145 (0.127)	-0.090 (0.128)	-0.092 (0.124)	-0.121
N	579	579	579	579	579	579	579	579
Treated/Untreated	163/399	163/399	163/399	163/399	163/399	163/399	163/399	163/399
Pseudo-R ²	0.036	0.013	0.008	0.009	0.009	0.006	0.006	0.036
Gamma Rosenbaum	-	-	-	-	-	-	-	-
Standardized Bias	0.111	0.894	0.979	0.998	0.969	0.996	0.996	0.111

Standard errors in parentheses are bootstrapped using 500 replications. * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

specifications are employed to account for potential selection bias, assess sensitivity to outliers, and test alternative definitions of the dependent variable. The results confirm the robustness and consistency of the core findings. Regarding the main insights :

Controlling for selection bias : Columns (1) and (2) report results from a Control Function Approach (CFA) and a Heckman two-step procedure, respectively. In both cases, the treatment effect remains strongly negative and statistically significant at the 1% level, with ATT estimates of -0.642 and -0.638 , respectively. Moreover, the inverse Mills ratio and propensity score are not statistically significant. This suggests that selection into solar adoption does not bias the main findings, further strengthening the credibility of the treatment effects.

OLS regression and entropy balancing : Column (3) provides an OLS estimate of the treatment effect, which remains highly significant (-0.639). Columns (4) and (5) apply two variants of entropy balancing to reweight the control group. Both methods yield statistically significant and negative effects (-0.635 and -0.590), confirming the robustness of the results even when covariate distributions are exactly balanced between treated and untreated units.

Dropping outliers : Column (6) excludes producers with plot sizes greater than 2 hectares⁴. The ATT estimate (-0.622) becomes slightly more negative and remains highly significant, suggesting that the results are not driven by extreme observations or large producers.

Alternative definition of GHG emissions : Column (7) tests whether the core findings hold under an alternative GHG metric : GHG per kilogram of output. The ATT remains significantly negative : -0.392 , confirming that solar energy adoption reduces emissions regardless of the measurement method used.

Across all specifications and robustness checks, the negative impact of solar adoption on GHG emissions is consistently confirmed. This reinforces the reliability of the baseline findings and highlights the environmental effectiveness of solar technologies in horticultural production systems. By addressing concerns related to selection bias, model specification, and data quality, these results offer strong empirical support for policy efforts to promote solar energy adoption in agriculture.

⁴Note that 97% of producers in the sample hold plots of less than or equal to 2 hectares. Among the remaining 3% (20 producers), plot sizes range from just over 2 hectares to a maximum of 10 hectares. These observations are considered outliers and are excluded in column (6) Table 5.4.

TABLE 5.4 : Total GHG emissions - Robustness checks

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	CFA	Heckman	OLS	Entropy 1	Entropy 2	No outliers	GHG/kg	GHG/Ha
ATT	-0.642*** (0.106)	-0.638*** (0.106)	-0.639*** (0.106)	-0.635*** (0.101)	-0.590*** (0.105)	-0.622*** (0.116)	-0.392*** (0.120)	-0.287** (0.120)
Pscore	0.260 (1.126)							
Inv. Mills Ratio		-0.112 (1.264)						
<i>N</i>	579	579	579	579	579	579	579	579
R ²	0.392	0.392	0.392	0.397	0.383	-	-	-
Pseudo R ²	-	-	-	-	-	0.008	0.006	0.014
Gamma Rosenbaum	-	-	-	-	-	2.1	2.1	2.1
Selection Bias	-	-	-	-	-	0.985	0.996	0.869
Include control vars.	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

In columns (1) to (5), robust standard errors are reported in parentheses. In columns (6) and (7), standard errors are bootstrapped using 500 replications, and the kernel matching method is applied. Entropy 1 refers to entropy balancing using only the first moment restriction (mean weighting) in column (4), while Entropy 2 applies entropy balancing with both the first and second moment restrictions (mean and variance weighting) in column (5). Significance levels : * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

5.5 Heterogeneity

To explore whether the impact of adopting solar technology on greenhouse gas (GHG) emissions varies across specific subgroups, we conducted a set of heterogeneity regressions by production zone, gender, and plot size. These characteristics are theoretically relevant, as they may influence both adoption behavior and emission outcomes, and thus serve as a basis for designing more targeted and effective policies.

All regressions in this section are estimated using Ordinary Least Squares (OLS). This choice is motivated by two primary considerations. First, in specific subgroups (e.g., the *South* zone or *Other plots* (> 1 ha)), the number of observations is too small to apply matching techniques reliably. Second, the robustness checks performed earlier (notably the Control Function Approach and the Heckman two-step procedure, see columns (1) and (2) Table 5.4) revealed no significant selection bias, justifying the use of OLS without concern for endogeneity-related distortions. Furthermore, the OLS benchmark result falls between the upper and lower bounds of our previous matching baseline estimates, lending additional credibility to this approach (see column (3) Table 5.4).

Table 5.5 reports the estimated treatment effects of adopting solar technology on total GHG emissions across the different subgroups.

Production zone : In both South, Center, and North, the treatment effect is negative, but only statistically significant in South and North. Specifically, adopting solar technology is associated with a reduction of -37.4% (South) and -58.2%(North). In contrast, the effects in the central zone are not statistically significant, suggesting that the emission-reducing impact of solar adoption may vary depending on geographic or agroecological characteristics.

Gender : The effect of solar adoption on emissions is statistically significant for both male- and female producers. Specifically, emissions are reduced by approximately 51.5% for men and 27.9% for women, as derived from the exponential transformation of the estimated coefficients ($\exp^{-0.741} - 1 \approx -52.3\%$

and $\exp^{(-0.497)} - 1 \approx -39.2\%$). These results suggest that solar energy adoption contributes to emissions reduction across gender lines, though the magnitude of the effect is somewhat greater for male-headed producers. This disparity may reflect differences in the scale of production, energy usage intensity, or access to complementary resources and technologies.

Plot size : The emission reductions associated with solar adoption are statistically significant across all plot size categories. Specifically, estimated reductions are approximately 40.6% for micro plots (≤ 0.5 ha), 38.7% for small plots (0.5–1 ha), and 42.8% for larger plots (> 1 ha), as derived from the exponential transformation of the estimated treatment effects. These results indicate that while solar adoption yields substantial mitigation benefits across the board, the relative gains are particularly pronounced for producers operating on larger plots. This may reflect greater energy intensity or higher baseline emissions among these farms, leading to larger absolute reductions when transitioning away from fossil fuel-based energy sources.

Overall, these findings highlight that solar adoption consistently reduces emissions across multiple dimensions of heterogeneity. The effect is particularly pronounced among producers in the South and North zones, women, and micro-plot holders, offering valuable insights for designing targeted climate-smart agricultural policies.

TABLE 5.5 : Total GHG emissions - Heterogeneity

	Production zone			Gender		Plot size		
	South	Center	North	Men	Women	Micro plots	Small plots	Larger plots
ATT	-0.468*	-0.164	-0.873***	-0.741***	-0.497***	-0.520***	-0.489***	-0.559**
	(0.259)	(0.157)	(0.152)	(0.147)	(0.156)	(0.151)	(0.134)	(0.273)
N	96	176	290	253	309	321	156	65
R ²	0.616	0.471	0.358	0.363	0.367	0.273	0.233	0.209
Include control vars.	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Robust standard errors are reported in parentheses. Significance levels : * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. **Micro plots** : ≤ 0.5 ha; **Small plots** : $0.5 < \text{size} \leq 1$ ha; **Larger plots** : > 1 ha.

5.6 Using Mixed Energy Sources

To further assess the impact of solar energy adoption on GHG emissions, we re-estimate the treatment effects by redefining the treated group to consider producers who adopt solar energy in combination with traditional (fossil-based) energy sources—that is, those using *mixed-energy systems*. Unlike the baseline model, which focuses solely on exclusive solar users, this specification accounts for producers who are only partially treated, as they continue to rely on both clean and polluting energy sources.

If solar energy has a dominant effect, we would expect a statistically significant reduction in emissions. In other words, a significant negative coefficient would imply that the beneficial impact of solar energy adoption outweighs the negative externalities of concurrent fossil fuel use.

However, the results presented in Table 5.6 indicate that the average treatment effects for mixed-energy adopters are significant only for the linear matching. This suggests that the climate mitigation benefits of solar energy adoption are not fully realized unless producers transition entirely away from fossil fuels. In

this context, **full solar adoption** appears necessary to achieve meaningful and measurable reductions in GHG emissions.

TABLE 5.6 : Results for producers using solar energy in mixed with other energy : Estimated ATT under different matching specifications

	n-Nearest neighbors matching			r-Radius matching			Kernel	local linear
	n=1	n=2	n=3	r=0.005	r=0.01	r=0.05	matching	matching
ATT	-0.146 (0.166)	-0.043 (0.148)	-0.078 (0.138)	-0.136 (0.129)	-0.134 (0.113)	-0.147 (0.099)	-0.148 (0.099)	-0.171* (0.098)
N	599	599	599	599	599	599	599	599
Treated/Untreated	200/399	200/399	200/399	200/399	200/399	200/399	200/399	200/399
Pseudo-R ²	0.01	0.006	0.005	0.003	0.003	0.001	0.001	0.01
Gamma Rosenbaum	-	-	-	-	-	-	-	-
Standardized Bias	0.943	0.994	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.943

Standard errors in parentheses are bootstrapped using 500 replications. * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

6 Discussion and policy implications

This Chapter provides new empirical evidence to the literature on the environmental impact of solar irrigation in developing countries. Our results reveal that full adoption of solar energy systems leads to substantial reductions in GHG emissions—up to 57% in total and nearly 99% in energy-related emissions. These findings align with prior research by [Burney et al. \(2010\)](#) and [Buisson et al. \(2024\)](#), which document the dual benefits of solar-powered irrigation for food security and emission mitigation in Sub-Saharan Africa and South Asia, respectively. Although these studies are not a life-cycle emissions analysis, they strongly support solar irrigation as a development and environmental priority. They confirm that decentralized renewable energy systems can serve as effective climate-smart technologies for small-holder agriculture.

In contrast, our results show that partial adoption—i.e., using solar alongside diesel or electric pumping does not yield significant emission reductions. This finding reinforces similar conclusions from [Balasubramanya \(2024\)](#), who emphasize that mixed-energy systems often fail to displace enough fossil fuel use to generate measurable environmental gains. Consequently, policy efforts should prioritize pathways to full energy transition rather than promoting incremental or hybrid systems.

A significant concern raised in the literature is the potential for rebound effects, wherein lower energy costs could incentivize greater input use and intensify production [Burke & Emerick \(2016\)](#). However, our analysis shows no evidence of such effects in fertilization-related emissions. This result may be due to systemic constraints in Senegalese horticulture such as land scarcity, limited access to finance, and risk aversion that restrict overuse of fertilizers, as similarly noted by [Bhattarai et al. \(2025\)](#) and [Mitra et al. \(2023\)](#).

Moreover, this study reveals critical heterogeneities in the effectiveness of solar adoption. Emission reductions are most pronounced among male-producers and large-plot producers. These findings align with

the inclusive energy access framework proposed by [Lefore et al. \(2021\)](#) and the equity-focused analysis of [Ndiaye & Bass \(2023\)](#), both of which emphasize the need for gender-sensitive and size-sensitive strategies to ensure equitable access to renewable energy technologies in agriculture.

Importantly, energy-related emissions represent only 15% of total emissions in our sample, with fertilizer use accounting for the remaining 85%. From a broader perspective, promoting solar energy adoption aligns with Senegal's Nationally Determined Contributions (NDCs), which outline the country's commitment to reducing GHG emissions by 2030. Senegal aims to achieve an unconditional 7% reduction in emissions, with agriculture and energy identified as key sectors. Specific targets include a 2.36% decrease in agricultural emissions and a 10% reduction in emissions from the energy sector by 2030 ([NDC Senegal, 2020](#))⁵. Solar energy adoption within the horticultural sector supports these goals by reducing fossil fuel-related emissions and contributing to national sustainability objectives.

Our findings offer actionable policy pathways to advance sustainable horticulture in Senegal. First, incentives should focus on supporting full solar transitions, as partial adoption yields limited emissions reduction. Subsidies and accessible financing mechanisms are essential to enable the complete replacement of fossil fuel-based irrigation systems. Second, targeted efforts are needed to address adoption barriers among marginalized groups, particularly women and micro-plot farmers through improved access to credit, tailored extension services, and capacity-building programs. Third, since the majority of GHG emissions stem from fertilizer use, solar adoption initiatives should be coupled with training in sustainable agronomic practices such as organic inputs, composting, and precision fertilization. Fourth, decentralized planning should empower local authorities to scale solar infrastructure in ways that reflect regional agroecological conditions and needs. Finally, drawing on evidence from other countries, adaptive implementation models such as farmer cooperatives and pay-as-you-go systems should be explored to enhance affordability and uptake. Together, these strategies underscore the importance of embedding solar energy within a broader sustainability framework that addresses energy access, environmental performance, and social equity in agricultural systems.

By integrating these strategies, the horticultural sector, through its transition to solar energy, can make a meaningful contribution to Senegal's NDC targets while promoting sustainable development, enhancing resilience to climate challenges, and ensuring food security for fruits and vegetables.

7 Conclusion

This Chapter provides robust empirical evidence on the environmental benefits of solar energy adoption in Senegal's horticultural production sector. Using a quasi-experimental approach with multiple propensity score matching algorithms, supplemented by entropy balancing and robustness checks, we find that the adoption of solar irrigation systems leads to substantial and statistically significant reductions in greenhouse gas (GHG) emissions, ranging from 47% to 57%. These reductions are primarily attributable to an almost complete elimination (99%) of energy-related emissions due to the substitution of fossil fuels by solar power.

⁵See Senegal's NDC <https://faolex.fao.org/docs/pdf/sen211288.pdf>

Importantly, our analysis shows that this reduction in energy-related emissions is not offset by rebound effects in fertilization practices. Despite concerns in the literature that cheaper solar energy might incentivize more intensive input use, our findings reveal no significant increase in GHG emissions from fertilization. This outcome may reflect structural constraints such as limited land availability and relatively modest changes in production practices post-adoption.

Heterogeneity analysis highlights that emission reductions vary across farm profiles. The mitigation impact is more pronounced among male producers and those operating much larger plots. Additionally, adoption effects vary by agroecological zone, with statistically significant results observed in the North and the South. These findings highlight the need for targeted interventions, such as subsidies or credit schemes, to increase access to solar technologies among disadvantaged groups.

Robustness checks further validate our results. We demonstrate consistency across alternative estimators (OLS, Heckman selection models, control function approaches), specifications (log-level and kg-per-output emissions), and subgroups (gender, plot size, and zone). Moreover, our results indicate that producers who adopt solar energy in combination with traditional energy sources (i.e., mixed-energy systems) do not experience statistically significant reductions in emissions compared to the control group. This suggests that **full solar adoption** is necessary to achieve meaningful climate mitigation benefits.

While solar adoption clearly reduces energy-related emissions, these represent only 15% of total emissions in horticulture, with 85% stemming from fertilizer use. This suggests that clean energy transitions, while impactful, must be complemented by improved agronomic practices, such as better nutrient management, organic fertilization, and sustainable input use to achieve holistic climate mitigation in the sector.

Future research should explore the combined effects of solar adoption and sustainable agronomic practices on farm-level efficiency and resilience. Incorporating GHG emissions and productivity into a multiple-output efficiency framework would offer insights into optimal input allocation and sustainable intensification pathways. Ultimately, this Chapter reinforces the role of decentralized solar energy as a cornerstone of climate-smart agriculture and a critical lever for achieving national and global emission reduction targets.

Appendices

Appendix 1. List of Covariates

TABLE 5.7 : List of Covariates Used in the Propensity Score Estimation

Variable Name	Description
Training	Whether the producer has received any agricultural training (1 = Yes, 0 = No)
Primary income source	Whether agriculture is the main source of household income
Gender	Gender of the producer (1 = Male, 0 = Female)
Plot type	Type of land tenure (e.g., rented, owned, collective)
Age	Age of the producer (in years)
Average irrigation duration	Average irrigation duration per session (in hours)
Ownership	Whether the plot is owned by the producer (1 = Yes, 0 = No)
Individual	Whether the plot is individually managed (1 = Yes, 0 = No)
Plot size	Size of the plot (in hectares)
Irrigation mode	Type of irrigation system used (e.g., drip, manual)
Center	Dummy variable for geographic zone : Center (baseline is South)
North	Dummy variable for geographic zone : North (baseline is South)

Appendix 2. Estimating the Propensity Score

TABLE 5.8 : Estimation of the Propensity Score

	Treatment (1/0)
Training	0.079 (0.155)
Primary income source	0.069* (0.211)
Gender	0.260** (0.133)
Plot type	0.221 (0.236)
Age	0.001 (0.004)
Average irrigation duration	-0.013 (0.030)
Ownership	0.-032 (0.160)
Individual	-0.161 (0.157)
Plot size	-0.253*** (0.096)
Irrigation mode	-0.303*** (0.035)
Center	0.248 (0.188)
North	0.733*** (0.172)
_cons	0.342 (0.396)
<i>N</i>	579
Pseudo R2	0.173

Standard errors in parentheses are robust.

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Conclusion générale

« The world is hungry for action, not words. Act with courage and vision.»

— Nelson Mandela, Speech at Trafalgar Square, “Make Poverty History” Campaign, London (February 3, 2005)

Cette thèse a analysé les soutiens publics à l’agriculture sous deux angles. D’une part, elle a interrogé la capacité de l’effort public à se traduire en performance économique, en particulier dans les pays d’Afrique subsaharienne. D’autre part, elle a examiné la compatibilité des instruments mobilisés avec l’impératif de durabilité, entendu ici comme la capacité des systèmes agricoles à produire, s’adapter et réduire leur empreinte environnementale. Les résultats mettent en évidence plusieurs constats majeurs. Premièrement, à l’échelle macroéconomique, il existe des déséquilibres structurels importants dans la répartition des soutiens agricoles. Les pays à haut revenu subventionnent massivement leur agriculture, tandis que de nombreux pays en développement, bien que plus dépendants du secteur agricole, ne disposent que de marges budgétaires limitées pour soutenir leurs agriculteurs. Ces disparités Nord-Sud s’accompagnent parfois de politiques opposées, certains pays pratiquent même des taxes implicites sur leurs agriculteurs alors que d’autres subventionnent fortement les prix intérieurs.

Deuxièmement, l’efficacité budgétaire des soutiens diffère selon le niveau de dépense et le type de dépenses engagées. Nos résultats sur un ensemble de 20 pays d’Afrique subsaharienne révèlent que la relation entre dépenses publiques agricoles et performance du secteur n’est pas linéaire. L’objectif continental de 10 % des budgets nationaux (Déclaration de Maputo) apparaît insuffisant pour maximiser la croissance agricole, le seuil optimal se situant plutôt autour de 14 à 15 %. Au-delà du niveau d’investissement, l’allocation budgétaire joue un rôle tout aussi déterminant. En effet, les dépenses consacrées aux biens publics (infrastructures rurales, recherche agricole, formation, services de vulgarisation, etc.) génèrent en moyenne une croissance agricole plus élevée que les subventions et transferts privés directs. Autrement dit, un dollar investi en recherche ou en infrastructures produit davantage d’effets positifs sur le long terme qu’un dollar de subvention à des intrants, ce qui pose la question d’une meilleure répartition des dépenses publiques agricoles.

Troisièmement, la plupart des soutiens actuels présentent un faible alignement environnemental. Ils sont, en effet, insuffisamment ciblés au regard des enjeux du développement durable. Une large part des 710 milliards de dollars consacrés au secteur continue d’alimenter des distorsions de marché en maintenant des prix artificiellement bas ou élevés et en encourageant des pratiques peu respectueuses de l’environnement. Comme nous l’avons montré au chapitre 3, la majorité des politiques agricoles vise avant

tout l'augmentation de la production et le soutien du revenu agricole par des interventions sur les prix, avec des arbitrages récurrents entre protection des filières, coût de l'alimentation pour les consommateurs et gestion de l'instabilité des marchés. Cette orientation se traduit par de faibles incitations publiques à l'adoption de modes de production écologiquement durables. Dans ces conditions, les politiques de soutien n'orientent pas suffisamment les systèmes agricoles vers des trajectoires durables et peuvent même les freiner. Ce décalage entre les ambitions climatiques affichées et la réalité des soutiens publics agricoles souligne l'urgence de repenser ces politiques en profondeur.

Enfin, à l'échelle microéconomique, la thèse apporte un éclairage sur les leviers de transition à travers l'étude de cas de l'irrigation solaire au Sénégal (zone des Niayes). Il en ressort que l'adoption de pompes solaires en substitution des motopompes diesel pour l'irrigation horticole permet une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'échelle de l'exploitation. Ce résultat met en avant le potentiel des technologies bas-carbone dans l'agriculture sahélienne pour concilier intensification agricole et atténuation du changement climatique. Toutefois, l'analyse révèle que le bilan environnemental d'une telle innovation ne dépend pas uniquement du choix technologique en lui-même, mais aussi des pratiques agronomiques et des facteurs structurels qui conditionnent l'intensité carbone de la production. En particulier, dans l'échantillon étudié, les plus faibles performances environnementales sont associées à de très petites exploitations affichant de faibles rendements. En outre, les horticultrices de notre échantillon présentent une intensité carbone par kilogramme produit jusqu'à cinq fois supérieure à celle des horticulteurs, non pas qu'elles adoptent des pratiques plus polluantes, mais parce qu'elles cultivent des micro-parcelles aux rendements bien plus bas du fait de contraintes d'accès aux intrants et à la terre. Ce résultat met en lumière un paradoxe socio-environnemental important, dans la mesure où des facteurs de justice sociale tels que l'accès inégal aux ressources, le genre ou la taille des exploitations influencent directement la durabilité environnementale. Cette seconde partie de la thèse déplace notre regard, au-delà de la seule adoption de l'irrigation solaire comme levier d'atténuation, vers une perspective de développement intégré. Les gains climatiques ne peuvent être pleinement réalisés qu'à la condition de combiner l'adoption de la technologie avec l'amélioration des pratiques agricoles, par exemple l'optimisation de la fertilisation, et avec une réduction des inégalités structurelles.

Implications pour les politiques publiques

Les enseignements de cette thèse engendrent de nombreuses implications pour les décideurs, tant au niveau international que national. Au niveau international, l'intégration de la dimension environnementale dans les outils de mesure et de suivi des soutiens agricoles constitue une condition indispensable pour réorienter efficacement les politiques publiques. Les cadres actuels, historiquement construits pour évaluer les distorsions commerciales, s'avèrent aujourd'hui incomplets. Ils quantifient les transferts économiques, mais ne caractérisent pas les incitations environnementales qu'ils génèrent. Il est donc impératif de faire évoluer ces outils pour qu'ils qualifient la nature des soutiens au regard des impératifs de durabilité. Cette évolution suppose d'abord de s'appuyer sur les acquis existants. Cela implique d'abord de renforcer l'infrastructure de données. Le travail de consolidation réalisé dans cette thèse, à travers l'Observatoire

mondial des soutiens publics, démontre la faisabilité d'un suivi fondé sur les transferts budgétaires et les soutiens des prix du marché. L'enjeu consiste à renforcer et à étendre la couverture géographique, en particulier en Afrique, où à peine vingt pays font l'objet d'un suivi régulier par le programme MAFAP. Une fois cette base renforcée, une seconde étape devient déterminante, celle de disposer d'un référentiel partagé permettant de qualifier les soutiens au regard de la durabilité. L'OCDE a déjà développé une typologie des instruments de soutien selon leur impact potentiel sur l'environnement, mais cette approche demeure limitée à son périmètre institutionnel et n'a pas abouti à une classification internationale. Il apparaît dès lors nécessaire de construire un cadre commun, comparable dans son principe aux catégories de l'OMC. Là où l'OMC classe les soutiens selon leur degré de distorsion des marchés, ce nouveau référentiel les classerait selon des critères environnementaux. Une telle typologie pourrait reposer sur des critères explicites, tels que l'intensité en intrants, la pression sur les ressources naturelles, l'empreinte carbone et la capacité d'adaptation, afin de qualifier les soutiens selon leur compatibilité avec les objectifs de durabilité et les engagements climatiques. Un tel cadre fournirait un repère opérationnel pour orienter la réallocation des soutiens et contribuerait à structurer une gouvernance internationale des politiques agricoles davantage alignée sur la durabilité.

Au niveau des politiques nationales, la thèse invite à des réformes stratégiques différenciées selon les contextes, tout en convergeant vers des objectifs communs de productivité durable et de résilience. Pour les pays à revenu élevé (Amérique du Nord, Europe, etc.), il s'agit d'abord de mieux aligner les soutiens existants sur les objectifs climatiques et de préservation des ressources. L'enjeu est de rompre avec des dispositifs qui, dans leur état actuel, tendent à verrouiller les systèmes agricoles dans des trajectoires peu compatibles avec la durabilité. Les soutiens pourraient évoluer vers des instruments conditionnant les paiements à la réduction des externalités environnementales et à la production de services écosystémiques comme la protection des sols et la préservation de la biodiversité. Dans les pays en développement et notamment en Afrique subsaharienne, les implications portent d'abord sur l'augmentation et l'efficacité des investissements publics agricoles. Nos résultats suggèrent que le seuil de 10 % du budget public consacré à l'agriculture (objectif de Maputo) est probablement trop bas pour enclencher une transformation significative du secteur. Les gouvernements devront viser un effort plus ambitieux, aux alentours de 15 % des dépenses publiques, pour atteindre le niveau à partir duquel les investissements se traduisent en gains de croissance pour le secteur. Toutefois, l'augmentation des ressources ne peut produire d'effets durables sans une amélioration de la qualité de la dépense. Une réallocation vers des postes de fourniture de biens publics agricoles est centrale, notamment le conseil et la formation, la recherche, ainsi que le développement d'infrastructures (irrigation, stockage, marchés, etc.). Les subventions sur les intrants, lorsqu'elles dominent la structure de dépense, tendent à produire des effets plus limités et moins durables.

Par ailleurs, l'intégration des technologies bas-carbone et des innovations agroécologiques constitue également un axe structurant. Le cas du Sénégal analysé dans cette thèse appelle à un soutien public pour accélérer la transition énergétique de l'irrigation en favorisant l'adoption du solaire. Des programmes nationaux peuvent soutenir l'équipement et réduire les barrières d'entrée, tout en renforçant les capacités d'usage. Les gains climatiques et productifs restent toutefois conditionnés à un accompagnement sur les pratiques agronomiques et les compétences techniques. Le soutien à une pompe solaire gagne à être couplé à un appui en gestion de l'eau et en fertilisation efficiente, afin d'éviter que des rendements faibles

ou un usage excessif d'intrants ne réduisent les bénéfices attendus. Les politiques de transition énergétique dans l'irrigation doivent articuler la décarbonation de l'énergie avec l'amélioration des performances agronomiques et l'efficacité des intrants.

Enfin, une implication transversale majeure concerne la réduction des inégalités d'accès aux ressources en milieu rural. Les écarts liés à la taille des exploitations, au genre et à l'accès à la terre, à l'eau ou au financement ne se limitent pas uniquement à un enjeu d'équité. Ils conditionnent également la performance globale du secteur et ses impacts. Comme montré dans la thèse, certaines catégories vulnérables peuvent présenter une empreinte plus élevée par unité produite du fait de contraintes structurelles qui limitent leurs rendements et leur capacité d'ajustement. Agir sur ces inégalités devient alors un levier de transformation. Cela implique de mettre en place des politiques articulant simultanément inclusion et durabilité. La sécurisation des droits fonciers des femmes et la mise en place de mécanismes de financement climatique adaptés aux petits exploitants pourraient améliorer à la fois les résultats économiques et les trajectoires d'adaptation et d'atténuation.

Perspectives de recherche

Bien que cette thèse apporte des éléments de réponse importants, elle ouvre également des perspectives pour de futures recherches afin d'approfondir la compréhension et le pilotage des soutiens publics dans un contexte de transition agricole. Une première perspective majeure consiste à renforcer le cadre de consolidation des soutiens afin de mieux apprécier, de façon comparable, leur contribution réelle à la transition durable. Cette piste se prolonge dans deux directions. D'une part, il s'agit de développer une taxonomie environnementale des mesures, permettant de qualifier les soutiens selon qu'ils sont favorables, défavorables, neutres ou conditionnels du point de vue écologique, et d'en déduire des indicateurs synthétiques de compatibilité avec la durabilité. D'autre part, l'effort de suivi doit être étendu aux pays et régions encore insuffisamment couverts, notamment l'Afrique du Nord, afin d'obtenir une lecture plus complète des soutiens à l'échelle mondiale.

Un deuxième axe de recherche consisterait à évaluer l'efficacité des conditionnalités environnementales appliquées aux soutiens publics. De nombreuses politiques commencent à introduire des critères ou obligations environnementales à l'octroi d'aides. Il serait instructif d'évaluer dans quelle mesure ces conditionnalités induisent des changements de comportement et des bénéfices environnementaux mesurables. Ceci pourrait se faire par des évaluations d'impact comparant des groupes d'agriculteurs soumis ou non à des écoconditionnalités, ou en analysant les évolutions avant/après la mise en place de nouvelles exigences dans des programmes publics. De même, la question de la conception optimale de ces conditionnalités pourrait constituer aussi une piste de recherche. Quels indicateurs environnementaux utiliser, comment vérifier le respect des critères, quels mécanismes d'incitation sont les plus efficaces pour accompagner les agriculteurs vers la recherche de plus de durabilité dans les pratiques ?

Un troisième axe serait d'élargir le spectre des innovations étudiées en se penchant sur de nouvelles approches agroécologiques susceptibles d'être soutenues par les pouvoirs publics. L'irrigation solaire n'est

qu'un exemple parmi d'autres des solutions techniques ou organisationnelles émergentes. Des recherches futures pourraient analyser l'impact d'innovations telles que l'agroforesterie, les biofertilisants et techniques de lutte biologique intégrée, ou encore l'agriculture de conservation, lorsqu'elles sont encouragées par des politiques publiques. Dans quelle mesure des programmes de subvention à l'agroforesterie ou de paiement pour services environnementaux pourraient-ils améliorer simultanément la productivité des parcelles et le stockage de carbone ? Quelles sont les barrières à l'adoption de ces pratiques et comment les politiques peuvent-elles les lever ? Il s'agit d'interroger l'impact agronomique et environnemental de ces innovations et la façon dont l'État peut agir en catalyseur de leur mise à l'échelle. De plus, l'étude de ces innovations pourrait s'accompagner d'une réflexion sur les systèmes de connaissances et de vulgarisation, notamment comment adapter les services de conseil agricole pour diffuser les savoir-faire agroécologiques.

De même, une analyse de l'impact hydrologique de la diffusion des pompes solaires s'impose. Si, dans le cadre de cette thèse, le travail de recherche s'est focalisé sur les émissions de GES, il est également crucial de considérer la gestion durable de la ressource en eau. Des travaux récents soulignent en effet que sans régulation, l'accès facilité à l'eau via le solaire peut conduire à une surexploitation des nappes phréatiques dans certaines zones arides (Balasubramanya, 2024; Closas & Rap, 2017). Combiner l'innovation technique avec des mécanismes de gouvernance de l'eau (comités d'usagers, quotas de pompage, etc.) est une piste de recherche cruciale pour que l'irrigation solaire reste un atout durable.

Enfin, une piste de recherche transversale consisterait à envisager les transitions agricoles comme un bien public mondial. Les bénéfices qu'elles génèrent en matière de résilience climatique, de préservation de la biodiversité, de sécurité alimentaire dépassent largement les frontières nationales. Ils appellent une action collective internationale à la hauteur de leur portée globale. Dès lors, une question essentielle se pose : comment concevoir des mécanismes de financement public et internationaux capables de soutenir la co-construction de ce bien public, dans un esprit de solidarité entre pays et de responsabilité partagée ? Quels instruments permettraient de mutualiser les efforts, d'assurer un partage équitable des coûts de transition, et de canaliser des ressources vers les pays ayant le moins de capacités budgétaires, mais des besoins environnementaux et sociaux urgents ? Ces questions appellent à explorer les cadres de coordination existants, mais aussi à inventer de nouvelles formes de gouvernance des transitions agricoles comme bien commun mondial.

Pour finir, l'ensemble de ces perspectives souligne que la question des soutiens publics agricoles doit demeurer un chantier de recherche et d'action majeur face aux défis imbriqués de sécurité alimentaire et de changement climatique. Les constats de cette thèse invitent à une réorientation structurelle des politiques agricoles, fondées sur une évaluation rigoureuse de leur efficacité et de leur cohérence avec les objectifs de développement durable. Relever ce défi exigera non seulement de mieux mesurer, comprendre et anticiper les effets des politiques, mais également d'un courage politique pour traduire ces connaissances en réformes efficaces. Nous ne pouvons qu'espérer que les résultats de ce travail, et ceux à venir dans ce domaine contribueront à guider les décideurs publics dans l'élaboration de soutiens agricoles à la hauteur du double impératif de nourrir la planète et de la préserver.

Bibliographie

- Afonso, A. & Sousa, R. M. (2012). The macroeconomic effects of fiscal policy. *Applied Economics*, 44(34), 4439–4454. DOI : [10.1080/00036846.2011.591732](https://doi.org/10.1080/00036846.2011.591732).
- Aguiar, L. A. A. (2009). *Impact de la variabilité climatique récente sur les écosystèmes des Niayes du Sénégal entre 1950 et 2004*. Thèse de doctorat (sciences de l'environnement), Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec, Canada). PDF disponible : [Archipel UQAM](#).
- Akroyd, S. & Smith, L. (2007). *Review of Public Spending to Agriculture : Main Study & Country Case-Studies*. Technical Report 44924, Oxford Policy Management. A joint DFID / World Bank study. Final draft, January 2007. PDF Available : [World Bank](#).
- Alexiou, C. (2009). Government spending and economic growth : Econometric evidence from the south eastern europe (see). *Journal of Economic and Social Research*, 11(1), 1–16. PDF Available : [ResearchGate](#).
- Ambler, K., de Brauw, A., & Godlonton, S. (2020). Cash transfers and management advice for agriculture : Evidence from Senegal. *The World Bank Economic Review*, 34(3), 597–617. DOI : [10.1093/wber/lhz005](https://doi.org/10.1093/wber/lhz005).
- Anderson, K. & Masters, W. A., Eds. (2009). *Distortions to Agricultural Incentives in Africa*. Washington, DC : The World Bank. DOI : [10.1596/978-0-8213-7652-2](https://doi.org/10.1596/978-0-8213-7652-2). PDF Available : [World Bank](#).
- Anderson, K., Rauser, G., & Swinnen, J. (2013). Political Economy of Public Policies : Insights from Distortions to Agricultural and Food Markets. *Journal of Economic Literature*, 51(2), 423–477. DOI : [10.1257/jel.51.2.423](https://doi.org/10.1257/jel.51.2.423).
- Anderson, K. & Valdés, A., Eds. (2008). *Distortions to Agricultural Incentives in Latin America*. Washington, DC : The World Bank. DOI : [10.1596/978-0-8213-7513-6](https://doi.org/10.1596/978-0-8213-7513-6). PDF Available : [World Bank](#).
- Aschauer, D. A. (1989). Is public expenditure productive? *Journal of Monetary Economics*, 23(2), 177–200. DOI : [10.1016/0304-3932\(89\)90047-0](https://doi.org/10.1016/0304-3932(89)90047-0).
- Asfaw, S., Davis, B., Dewbre, J., Handa, S., & Winters, P. (2014). Cash transfer programme, productive activities and labour supply : Evidence from a randomised experiment in Kenya. *The Journal of Development Studies*, 50(8), 1172–1196. DOI : [10.1080/00220388.2014.919383](https://doi.org/10.1080/00220388.2014.919383).

- Austin, P. C. (2019). Assessing covariate balance when using the generalized propensity score with quantitative or continuous exposures. *Statistical Methods in Medical Research*, 28(5), 1365–1377. DOI : [10.1177/0962280218756159](https://doi.org/10.1177/0962280218756159). PDF Available : [PubMed Central](#).
- Balasubramanya, S. (2024). Navigating the opportunities and risks of solar irrigation : The importance of comprehensive accounting and smart regulations. World Bank Blogs. Published on : [The Water Blog](#).
- Banque mondiale (2011). *Manuel d'analyse des dépenses publiques dans l'agriculture destiné aux professionnels*. Rapport technique 60015-GLB, Banque internationale pour la reconstruction et le développement / Banque mondiale, Washington, DC. Rapport n° 60015-GLB (mars 2011). Préparé avec le Ministère du développement international du Royaume-Uni (UKaid/DFID). PDF disponible : [World Bank PDF](#).
- Barreiro-Hurlé, J. & Witwer, M. (2013). *MAFAP Methodological Implementation Guide : Volume I. Analysis of price incentives and disincentives*. Mafap technical notes series, FAO, Rome, Italy. PDF Available : [FAO/MAFAP](#).
- Barrett, C. B. (2008). Smallholder market participation : Concepts and evidence from eastern and southern africa. *Food Policy*, 33(4), 299–317. DOI : [10.1016/j.foodpol.2007.10.005](https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2007.10.005).
- Barro, R. J. (1974). Are government bonds net wealth? *Journal of Political Economy*, 82(6), 1095–1117. DOI : [10.1086/260266](https://doi.org/10.1086/260266). Article : [UChicago Press](#). PDF : [Harvard DASH](#).
- Barro, R. J. (1990). Government spending in a simple model of endogenous growth. *Journal of Political Economy*, 98(5), S103–S125. Part 2. DOI : [10.1086/261726](https://doi.org/10.1086/261726). PDF Available : [Harvard University's DASH repository](#).
- Bates, R. H. (1981). *Markets and States in Tropical Africa : The Political Basis of Agricultural Policies*. California Series on Social Choice and Political Economy. Berkeley : University of California Press. ISBN : [0-520-04253-0](#).
- Bellmann, C. (2019). *Subsidies and Sustainable Agriculture : Mapping the Policy Landscape*. Technical report, Chatham House (The Royal Institute of International Affairs), London. December 2019. PDF Available : [Chatham House](#).
- Benin, S., Mogue, T., Cudjoe, G., & Randriamamonjy, J. (2009). Public expenditures and agricultural productivity growth in Ghana. In *2009 Conference, International Association of Agricultural Economists (IAAE)* Beijing, China. Contributed Paper. DOI : [10.22004/ag.econ.51634](https://doi.org/10.22004/ag.econ.51634). PDF Available : [AgEcon Search](#).
- Bertrand, M., Duflo, E., & Mullainathan, S. (2004). How much should we trust differences-in-differences estimates? *The Quarterly Journal of Economics*, 119(1), 249–275. DOI : [10.1162/003355304772839588](https://doi.org/10.1162/003355304772839588).

- Bhattarai, D., Fishman, R., Lamichhane, N., & Mukherji, A. (2025). Targeted finance and the adoption of solar irrigation by smallholder and women farmers. *Energy Policy*, 202, 114569. DOI : [10.1016/j.enpol.2025.114569](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114569).
- Bia, M. & Mattei, A. (2008). A stata package for the estimation of the dose-response function through adjustment for the generalized propensity score. *The Stata Journal*, 8(3), 354–373. DOI : [10.1177/1536867X0800800303](https://doi.org/10.1177/1536867X0800800303). PDF Available : [SagePub](#).
- Birhanu, B. Z., Sanogo, K., Traore, S. S., Thai, M., & Kizito, F. (2023). Solar-based irrigation systems as a game changer to improve agricultural practices in Sub-Saharan Africa : A case study from Mali. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1085335. DOI : [10.3389/fsufs.2023.1085335](https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1085335).
- Boillat, S., Belmin, R., & Bottazzi, P. (2022). The agroecological transition in Senegal : transnational links and uneven empowerment. *Agriculture and Human Values*, 39(1), 281–300. DOI : [10.1007/s10460-021-10247-5](https://doi.org/10.1007/s10460-021-10247-5).
- Bose, N., Haque, M. E., & Osborn, D. R. (2007). Public expenditure and economic growth : A disaggregated analysis for developing countries. *The Manchester School*, 75(5), 533–556. DOI : [10.1111/j.1467-9957.2007.01028.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9957.2007.01028.x).
- Bottazzi, P. & Boillat, S. (2021). Political agroecology in Senegal : Historicity and repertoires of collective actions of an emerging social movement. *Sustainability*, 13(11), 6352. DOI : [10.3390/su13116352](https://doi.org/10.3390/su13116352).
- Bouwman, A. F., Boumans, L. J. M., & Batjes, N. H. (2002). Modeling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4), 1080. DOI : [10.1029/2001GB001812](https://doi.org/10.1029/2001GB001812). PDF Available : [AGU Pub](#).
- Bricas, N. & Tchamda, C. (2017). *Les villes d’Afrique subsaharienne sont-elles si dépendantes des importations alimentaires ?* So What? Policy Brief 4, Chaire UNESCO Alimentations du Monde. HAL : [hal-01995601](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01995601). PDF Available : [Agritop CIRAD](#).
- Bricas, N., Tchamda, C., & Martin, P. (2016). Les villes d’afrique de l’ouest et du centre sont-elles si dépendantes des importations alimentaires ? *Cahiers Agricultures*, 25(5), 55001. DOI : [10.1051/cagri/2016036](https://doi.org/10.1051/cagri/2016036).
- Buisson, M.-C., Mitra, A., Hounsa, T., Habib, M. A., & Mukherji, A. (2024). A place in the sun : Farmers’ co-benefits from solar irrigation in Bangladesh. *Energy Economics*, 140, 107973. DOI : [10.1016/j.eneco.2024.107973](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107973).
- Burke, M. & Emerick, K. (2016). Adaptation to climate change : Evidence from US agriculture. *American Economic Journal : Economic Policy*, 8(3), 106–140. DOI : [10.1257/pol.20130025](https://doi.org/10.1257/pol.20130025).
- Burney, J., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R., & Pasternak, D. (2010). Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano–Sahel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(5), 1848–1853. DOI : [10.1073/pnas.0909678107](https://doi.org/10.1073/pnas.0909678107).

- Burney, J. A. & Naylor, R. L. (2012). Smallholder irrigation as a poverty alleviation tool in Sub-Saharan Africa. *World Development*, 40(1), 110–123. DOI : [10.1016/j.worlddev.2011.05.007](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.05.007).
- Burney, J. A., Naylor, R. L., & Postel, S. L. (2013). The case for distributed irrigation as a development priority in Sub-Saharan Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12513–12517. DOI : [10.1073/pnas.1203597110](https://doi.org/10.1073/pnas.1203597110).
- Butault, J.-P., Ed. (2004). *Les soutiens à l'agriculture : Théorie, histoire, mesure*. Versailles : Éditions Quæ. DOI : [10.3917/quae.butau.2004.01](https://doi.org/10.3917/quae.butau.2004.01).
- Butkiewicz, J. L. & Yanikkaya, H. (2011). Institutions and the impact of government spending on growth. *Journal of Applied Economics*, 14(2), 319–341. DOI : [10.1016/S1514-0326\(11\)60017-2](https://doi.org/10.1016/S1514-0326(11)60017-2).
- Caliendo, M. & Kopeinig, S. (2008). Some practical guidance for the implementation of propensity score matching. *Journal of Economic Surveys*, 22(1), 31–72. DOI : [10.1111/j.1467-6419.2007.00527.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00527.x).
- Castañeda, A., Doan, D., Newhouse, D., Nguyen, M. C., Uematsu, H., & Azevedo, J. P. (2018). A new profile of the global poor. *World Development*, 101, 250–267. DOI : [10.1016/j.worlddev.2017.08.002](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.08.002).
- Christiaensen, L. & Kaminski, J. (2016). *Working Paper 229 - Structural change, economic growth and poverty reduction – Micro-evidence from Uganda*. Working Paper Series 2322, African Development Bank. PDF Available : [African Development Bank](https://www.afdb.org/en/documents/document/working-paper-229-structural-change-economic-growth-and-poverty-reduction-micro-evidence-from-uganda).
- Closas, A. & Rap, E. (2017). Solar-based groundwater pumping for irrigation : Sustainability, policies, and limitations. *Energy Policy*, 104, 33–37. DOI : [10.1016/j.enpol.2017.01.035](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.035).
- Côte, F.-X., Rapidel, B., Sourisseau, J.-M., Affholder, F., Andrieu, N., Bessou, C., Caron, P., Deguine, J.-P., Faure, G., Hainzelin, É., et al. (2022). Levers for the agroecological transition of tropical agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 67. DOI : [10.1007/s13593-022-00799-z](https://doi.org/10.1007/s13593-022-00799-z).
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 2(3), 198–209. DOI : [10.1038/s43016-021-00225-9](https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9).
- Crump, R. K., Hotz, V. J., Imbens, G. W., & Mitnik, O. A. (2009). Dealing with limited overlap in estimation of average treatment effects. *Biometrika*, 96(1), 187–199. DOI : [10.1093/biomet/asn055](https://doi.org/10.1093/biomet/asn055).
- Crutzen, P. J. & Andreae, M. O. (1990). Biomass burning in the tropics : Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, 250(4988), 1669–1678. DOI : [10.1126/science.250.4988.1669](https://doi.org/10.1126/science.250.4988.1669).
- Deaton, A. (2018). *The Analysis of Household Surveys : A Microeconometric Approach to Development Policy*. Washington, DC : World Bank. DOI : [10.1596/978-1-4648-1331-3](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1331-3).
- Debar, J. & Tapsoba, A. F. (2019a). Les agricultures africaines au défi de la transformation structurelle. In P. Chalmin & Y. Jégourel (Eds.), *L'Afrique et les marchés mondiaux de matières premières : ARCADIA 2019* (pp. 67–80). Rabat : Policy Center for the New South. PDF disponible : [ARCADIA 2019](https://www.pcnssouth.org/fr/publications/arcadia-2019).

- Debar, J. & Tapsoba, A. F. (2019b). *Les protections à l'importation sur les produits agricoles : état des lieux et enjeux pour l'Afrique subsaharienne*. Technical report, Fondation FARM. PDF disponible : [Note n° 12](#).
- Debar, J.-C. (2017). Productivité du travail agricole : les écarts se creusent entre l'europe et l'afrique. Blog de la Fondation FARM. Publié le 11 décembre 2017. En ligne : old.fondation-farm.org (consulté le 26 mars 2019).
- Dehejia, R. H. & Wahba, S. (1999). Causal effects in nonexperimental studies : Reevaluating the evaluation of training programs. *Journal of the American Statistical Association*, 94(448), 1053–1062. DOI : [10.1080/01621459.1999.10473858](https://doi.org/10.1080/01621459.1999.10473858).
- Dehejia, R. H. & Wahba, S. (2002). Propensity score-matching methods for nonexperimental causal studies. *Review of Economics and Statistics*, 84(1), 151–161. DOI : [10.1162/003465302317331982](https://doi.org/10.1162/003465302317331982).
- Devarajan, S., Swaroop, V., & Zou, H. (1996). The composition of public expenditure and economic growth. *Journal of Monetary Economics*, 37(2), 313–344. DOI : [10.1016/S0304-3932\(96\)90039-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(96)90039-2).
- Devienne, S., Bazin, G., & Charvet, J. (2005). Politique agricole et agriculture aux états-unis : évolution et enjeux actuels. *Annales de Géographie*, (641), 3–26. DOI : [10.3406/geo.2005.1595](https://doi.org/10.3406/geo.2005.1595).
- Dewbre, J. & Borot de Battisti, A. (2008). *Agricultural Progress in Cameroon, Ghana and Mali : Why it Happened and How to Sustain It*. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers 9, OECD. DOI : <https://doi.org/10.1787/241275631215>. PDF Available : [OECD iLibrary](#).
- Diack, M., Loum, M., Guisse, A., & Sane, M. B. (2017). Dynamics of agricultural land and the risk to food insecurity in the niayes region of diamniadio, west senegal. *Jàmà : Journal of Disaster Risk Studies*, 9(1), a355. DOI : [10.4102/jamba.v9i1.355](https://doi.org/10.4102/jamba.v9i1.355).
- Diouf, M., Ndiaye, S., Diedhiou, I., & Diaw, E. (2018). Comparing methods of water use by irrigation in the horticultural hydro system of the niayes, senegal. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 8(4), 431–444. DOI : [10.24214/jcbps.D.8.4.43144](https://doi.org/10.24214/jcbps.D.8.4.43144).
- Diouf, O. (2024). *Solar Powered Irrigation Systems (SPIS) Potential and Perspectives in Sub-Saharan Africa*. GGGI Technical Report 39, Global Green Growth Institute (GGGI), Seoul, Republic of Korea. Contributors : Osee Yelkouni ; Alexis Tapsoba ; Lamine Ouedraogo ; Yassia Sawadogo (Burkina Faso) ; Sengozi David Kyeyun ; Fredrick Barasa ; Fred Tuhairwe (Uganda) ; Shiferaw Tafesse Gobena ; Ibsa Melkamu Amenu (Ethiopia). PDF Available : [GGGI Technical Report No. 39](#).
- Djobo, A. C., Diop, L., Sarr, A., Sane, B., & Ly, M. A. (2025). Irrigation practices and pumping systems in senegal's niayes region : Challenges and prospects for renewable energy adoption. *Journal of Water Resource and Protection*, 17(4), 223–241. DOI : [10.4236/jwarp.2025.174011](https://doi.org/10.4236/jwarp.2025.174011).

- Durga, N., Schmitter, P., Ringler, C., Mishra, S., Magombeyi, M. S., Ofosu, A., Pavelic, P., Hagos, F., Melaku, D., Verma, S., Minh, T., & Matambo, C. (2024). Barriers to the uptake of solar-powered irrigation by smallholder farmers in sub-saharan africa : A review. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101294. DOI : [10.1016/j.esr.2024.101294](https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101294).
- Effland, A. (2011). *Classifying and Measuring Agricultural Support : Identifying Differences Between the WTO and OECD Systems*. Economic Information Bulletin EIB-74, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. PDF Available : [ERS USDA](#).
- Egbetunde, T. & Fasanya, I. O. (2013). Public expenditure and economic growth in nigeria : Evidence from auto-regressive distributed lag specification. *Zagreb International Review of Economics & Business*, 16(1), 79–92. PDF Available : [HRČAK](#).
- El-Gafy, I. K. E.-D. & El-Bably, W. F. (2016). Assessing greenhouse gasses emitted from on-farm irrigation pumps : case studies from egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 7(3), 939–951. DOI : [10.1016/j.asej.2015.07.001](https://doi.org/10.1016/j.asej.2015.07.001).
- Elías, V. J. (1985). *Government Expenditures on Agriculture and Agricultural Growth in Latin America*. Research Report 50, International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC. PDF Available : [CGIAR](#).
- European Environment Agency (EEA) & UNECE/EMEP Task Force on Emission Inventories and Projections (2016). *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2016*. EEA Report 21/2016, European Environment Agency, Copenhagen. DOI: [10.2800/247535](https://doi.org/10.2800/247535).
- Fan, S., Gulati, A., & Thorat, S. (2008). Investment, subsidies, and pro-poor growth in rural india. *Agricultural Economics*, 39(2), 163–170. DOI : [10.1111/j.1574-0862.2008.00328.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2008.00328.x).
- Fan, S., Hazell, P., & Thorat, S. (2000). Government spending, growth and poverty in rural india. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(4), 1038–1051. DOI : [10.1111/0002-9092.00101](https://doi.org/10.1111/0002-9092.00101).
- Fan, S. & Thorat, S. (2007). Public investment and poverty reduction : Lessons from China and India. *Economic and Political Weekly*, 42(8), 704–710. [JSTOR:4419287](#) | [EPW \(page article\)](#).
- Fan, S., Zhang, L., & Zhang, X. (2004). Reforms, investment, and poverty in rural china. *Economic Development and Cultural Change*, 52(2), 395–421. DOI : [10.1086/380593](https://doi.org/10.1086/380593).
- FAO (2019). *FAO framework on rural extreme poverty : Towards reaching Target 1.1 of the Sustainable Development Goals*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO. PDF Available : [FAO Open Knowledge](#).
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO (2022). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022 : Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable*. Rome : FAO. DOI : [10.4060/cc0639en](https://doi.org/10.4060/cc0639en).

- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO (2025). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2025 : Addressing high food price inflation for food security and nutrition*. Rome : FAO. DOI : [10.4060/cd6008en](https://doi.org/10.4060/cd6008en).
- FAO, UNDP, & UNEP (2021). *A Multi-Billion-Dollar Opportunity : Repurposing Agricultural Support to Transform Food Systems*. Rome : FAO. DOI : [10.4060/cb6562en](https://doi.org/10.4060/cb6562en).
- Fare, Y. (2018). *Origine et transformation d'un système agraire au Sénégal – La zone des Niayes –*. PhD thesis, Institut agronomique, vétérinaire et forestier de France (IAVF), Paris. Direction : Marc Dufumier. Soutenance : 04/07/2018. PDF disponible : theses.fr.
- Fare, Y., Dufumier, M., Loloum, M., Miss, F., Pouye, A., Khastalani, A., & Fall, A. (2017). Analysis and diagnosis of the agrarian system in the Niayes region, northwest Senegal (west Africa). *Agriculture*, 7(7), 59. DOI : [10.3390/agriculture7070059](https://doi.org/10.3390/agriculture7070059).
- Faye, C. & Mingou, I. (2023). *Rapport sur l'autonomisation des femmes dans l'horticulture (Sénégal)*. Rapport de recherche, Centre de recherches pour le développement international (CRDI), Ottawa, Canada. Projet WEL – La transition énergétique pour l'autonomisation économique des femmes en contexte post-Covid. PDF disponible : [IDRC](https://www.idrc.ca/).
- Feyzioglu, T., Swaroop, V., & Zhu, M. (1998). A panel data analysis of the fungibility of foreign aid. *The World Bank Economic Review*, 12(1), 29–58. DOI : [10.1093/wber/12.1.29](https://doi.org/10.1093/wber/12.1.29).
- Fisher, E., Attah, R., Barca, V., O'Brien, C., Brook, S., Holland, J., Kardan, A., Pavanello, S., & Pozarny, P. (2017). The livelihood impacts of cash transfers in sub-Saharan Africa : beneficiary perspectives from six countries. *World Development*, 99, 299–319. DOI : [10.1016/j.worlddev.2017.05.020](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.05.020).
- Flammini, A., Pan, X., Tubiello, F. N., Qiu, S. Y., Rocha Souza, L., Quadrelli, R., Bracco, S., Benoit, P., & Sims, R. (2022). Emissions of greenhouse gases from energy use in agriculture, forestry and fisheries : 1970–2019. *Earth System Science Data*, 14, 811–821. DOI : [10.5194/essd-14-811-2022](https://doi.org/10.5194/essd-14-811-2022).
- Fondation FARM & Fondation Avril (2022). *Les politiques publiques en faveur des filières agricoles en Afrique : De la Déclaration de Malabo à quelques études de cas*. Etude, Fondation FARM et Fondation Avril. PDF disponible : [FARM/Fondation Avril](https://www.farm.org/).
- Foster, A. D. & Rosenzweig, M. R. (2010). Microeconomics of technology adoption. *Annual Review of Economics*, 2(1), 395–424. DOI : [10.1146/annurev.economics.102308.124433](https://doi.org/10.1146/annurev.economics.102308.124433).
- Furceri, D. (2010). Stabilization effects of social spending : Empirical evidence from a panel of OECD countries. *The North American Journal of Economics and Finance*, 21(1), 34–48. DOI : [10.1016/j.najef.2009.11.007](https://doi.org/10.1016/j.najef.2009.11.007).
- Garzon Delvaux, P. A., Riesgo, L., & Gomez y Paloma, S. (2020). Are small farms more performant than larger ones in developing countries? *Science Advances*, 6(41), eabb8235. DOI : [10.1126/sciadv.abb8235](https://doi.org/10.1126/sciadv.abb8235).

- Gautam, M., Laborde, D., Mamun, A., Martin, W., Piñeiro, V., & Vos, R. (2022). *Repurposing Agricultural Policies and Support : Options to Transform Agriculture and Food Systems to Better Serve the Health of People, Economies, and the Planet*. Technical report, World Bank and IFPRI, Washington, DC. DOI : [10.1596/36875](https://doi.org/10.1596/36875). PDF Available : [World Bank Open Knowledge Repository](#).
- Gemmell, N., Kneller, R., & Sanz, I. (2016). Does the composition of government expenditure matter for long-run GDP levels? *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 78(4), 522–547. DOI : [10.1111/obes.12121](https://doi.org/10.1111/obes.12121).
- Ghins, L., Ilicic-Komorowska, J., & Mas Aparisi, A. (2013). *Guides méthodologiques de mise en œuvre du SPAAA : Volume II. Analyse des dépenses publiques pour l'alimentation et l'agriculture*. Notes techniques du spaaa, FAO, Rome. PDF disponible : [FAO/MAFAP](#).
- Ghins, L., Mas Aparisi, A., & Balié, J. (2017). Myths and realities about input subsidies in sub-saharan africa. *Development Policy Review*, 35(S2), O214–O233. DOI : [10.1111/dpr.12258](https://doi.org/10.1111/dpr.12258).
- Glauber, J. & Sinha, T. (2021). *Procuring Food Stocks Under World Trade Organization Farm Subsidy Rules : Finding a Permanent Solution*. Technical report, International Institute for Sustainable Development (IISD). PDF Available : [IISD Report](#).
- Glauber, J. W. (2024). Public stockholding programs and the WTO. In *Navigating the Trade Landscape*. PDF Available : [CGSpace](#).
- Gollin, D., Lagakos, D., & Waugh, M. E. (2014). The agricultural productivity gap. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(2), 939–993. DOI : [10.1093/qje/qjt056](https://doi.org/10.1093/qje/qjt056).
- Gollin, D., Parente, S., & Rogerson, R. (2002). The role of agriculture in development. *American Economic Review*, 92(2), 160–164. DOI : [10.1257/000282802320189177](https://doi.org/10.1257/000282802320189177).
- Goyal, A. & Nash, J. (2017). *Reaping Richer Returns : Public Spending Priorities for African Agriculture Productivity Growth*. Washington, DC : World Bank. DOI : [10.1596/978-1-4648-0937-8](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0937-8).
- Grosh, M. E. & Muñoz, J. (1996). *A Manual for Planning and Implementing the Living Standards Measurement Study Survey*. Technical report, World Bank. PDF Available : [World Bank Documents](#).
- Groves, R. M., Fowler Jr., F. J., Couper, M. P., Lepkowski, J. M., Singer, E., & Tourangeau, R. (2011). *Survey Methodology*. John Wiley & Sons, 2 edition. Publisher page : [Wiley](#). ISBN : [978-1-118-21134-2](https://doi.org/10.1002/9781118211342). Print ISBN : [978-0-470-46546-2](https://doi.org/10.1002/9780470465462).
- Gulati, A., Ferroni, M. A., & Zhou, Y. (2018). *Supporting Indian Farms the Smart Way*. New Delhi : Academic Foundation. In association with ICRIER. Publisher page : [Academic Foundation](#). ISBN : [978-93-327-0472-5](https://doi.org/10.1002/9789332704725).
- Hajdu, F., Granlund, S., Neves, D., Hochfeld, T., Amuakwa-Mensah, F., & Sandström, E. (2020). Cash transfers for sustainable rural livelihoods? examining the long-term productive effects of

- the child support grant in south africa. *World Development Perspectives*, 19, 100227. DOI : [10.1016/j.wdp.2020.100227](https://doi.org/10.1016/j.wdp.2020.100227).
- Hasegawa, T., Fujimori, S., Havlík, P., Valin, H., Bodirsky, B. L., Doelman, J. C., Fellmann, T., Kyle, P., Koopman, J. F. L., Lotze-Campen, H., et al. (2018). Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, 8(8), 699–703. DOI : [10.1038/s41558-018-0230-x](https://doi.org/10.1038/s41558-018-0230-x).
- Heckman, J. J., Ichimura, H., & Todd, P. (1998). Matching as an econometric evaluation estimator. *The Review of Economic Studies*, 65(2), 261–294. DOI : [10.1111/1467-937X.00044](https://doi.org/10.1111/1467-937X.00044).
- Heckman, J. J., Ichimura, H., & Todd, P. E. (1997). Matching as an econometric evaluation estimator : Evidence from evaluating a job training programme. *The Review of Economic Studies*, 64(4), 605–654. DOI : [10.2307/2971733](https://doi.org/10.2307/2971733).
- Hirano, K. & Imbens, G. W. (2004). The propensity score with continuous treatments. In A. Gelman & X.-L. Meng (Eds.), *Applied Bayesian Modeling and Causal Inference from Incomplete-Data Perspectives* (pp. 73–84). John Wiley & Sons. DOI : [10.1002/0470090456.ch7](https://doi.org/10.1002/0470090456.ch7).
- HLPE (2019). *Approches agroécologiques et autres approches novatrices pour une agriculture et des systèmes alimentaires durables propres à améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rapport HLPE 14, High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition, Committee on World Food Security. PDF disponible : [Rapport HLPE](#).
- Hollinger, F. & Staatz, J. M., Eds. (2015). *Croissance agricole en Afrique de l’Ouest : Facteurs déterminants de marché et de politique*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture (FAO) et Banque africaine de développement (BAD). PDF disponible : [FAO \(i4337f\)](#). ISBN : [978-92-5-208700-7](https://doi.org/978-92-5-208700-7).
- Holtz-Eakin, D. (1992). *Public-Sector Capital and the Productivity Puzzle*. NBER Working Paper 4122, National Bureau of Economic Research (NBER). PDF Available : [NBER Working Paper](#).
- Hubert, B. & Couvet, D., Eds. (2021). *La transition agroécologique : Quelles perspectives en France et ailleurs dans le monde ? Tome I*. Les Presses des Mines. DOI : [10.3917/mines.huber.2021.01](https://doi.org/10.3917/mines.huber.2021.01).
- IFPRI (2020). *Global Food Policy Report 2020 : Building Inclusive Food Systems*. Washington, DC : International Food Policy Research Institute. DOI [10.2499/9780896293670](https://doi.org/10.2499/9780896293670).
- Imai, K. & van Dyk, D. A. (2004). Causal inference with general treatment regimes : Generalizing the propensity score. *Journal of the American Statistical Association*, 99(467), 854–866. DOI : [10.1198/016214504000001187](https://doi.org/10.1198/016214504000001187).
- International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, & World Bank (2022). *Subsidies, Trade, and International Cooperation*. Analytical note 2022/001, International Monetary Fund. DOI : [10.5089/9798400208355.064](https://doi.org/10.5089/9798400208355.064).

- IPAR (2015). *Subventions des intrants agricoles au Sénégal : Controverses et Réalités*. Rapport annuel sur l'état de l'agriculture et du monde rural au Sénégal, Initiative Prospective Agricole et Rurale (IPAR), Dakar. PDF disponible : [Rapport IPAR](#).
- IPCC (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 : Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*. Hayama, Japan : Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Volume page : [IPCC-NGGIP \(Vol.4\)](#).
- Ivanic, M. & Martin, W. (2014). *Short- and Long-Run Impacts of Food Price Changes on Poverty*. Policy research working paper 7011, World Bank. PDF Available : [World Bank Documents](#).
- Jayne, T. S. & Rashid, S. (2013). Input subsidy programs in sub-saharan africa : A synthesis of recent evidence. *Agricultural Economics*, 44(6), 547–562. DOI : [10.1111/agec.12073](#).
- Johnson, M. E. & Flaherty, K. (2008). *Strategic Analysis and Knowledge Support Systems : A Guidebook for Practitioners*. ReSAKSS Working Paper 4, International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC. PDF Available : [ReSAKSS WP #4](#).
- Kafle, K., Uprety, L., Shrestha, G., Pandey, V., & Mukherji, A. (2022). Are climate finance subsidies equitably distributed among farmers ? assessing socio-demographics of solar irrigation in Nepal. *Energy Research & Social Science*, 91, 102756. DOI : [10.1016/j.erss.2022.102756](#).
- Kalecki, M. (1943). Political aspects of full employment. *The Political Quarterly*, 14(4), 322–331. [doi:10.1111/j.1467-923X.1943.tb01016.x](#) | [PDF \(Wiley\)](#) | [Page \(Wiley\)](#).
- Kalecki, M. (1971). *Selected Essays on the Dynamics of the Capitalist Economy 1933–1970*. Cambridge : Cambridge University Press. ISBN : [978-0521079839](#) (aussi 0521079837).
- Kane, A. & Aidara, M. M. (2022). Differences in agricultural productivity among women and men on small-scale farms in Senegal : Contributions of agricultural innovations. *Journal of Agricultural Science*, 14(5), 1–12. DOI : [10.5539/jas.v14n5p1](#).
- Kheyfets, I., Mastruzzi, M., Merotto, D. L., & Sondergaard, L. M. (2011). *A New Data Tool to BOOST Public Spending Efficiency*. Europe and Central Asia Knowledge Brief 43, The World Bank. PDF Available : [World Bank OKR PDF](#).
- Kimaro, E. L., Keong, C. C., & Sea, L. L. (2017). Government expenditure, efficiency and economic growth : A panel analysis of sub-Saharan African low income countries. *African Journal of Economic Review*, 5(2), 34–54. DOI : [10.61538/ajer.v5i2.426](#).
- King, R. G. & Rebelo, S. (1990). Public policy and economic growth : Developing neoclassical implications. *Journal of Political Economy*, 98(5), S126–S150. DOI : [10.1086/261727](#).

- Kluge, J., Schneider, H., Uhlenborff, A., & Zhao, Z. (2012). Evaluating continuous training programmes by using the generalized propensity score. *Journal of the Royal Statistical Society : Series A (Statistics in Society)*, 175(2), 587–617. DOI : [10.1111/j.1467-985X.2011.01000.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2011.01000.x).
- Kneller, R., Bleaney, M. F., & Gemmell, N. (1999). Fiscal policy and growth : Evidence from OECD countries. *Journal of Public Economics*, 74(2), 171–190. DOI : [10.1016/S0047-2727\(99\)00022-5](https://doi.org/10.1016/S0047-2727(99)00022-5).
- Koch, P. & Salou, T. (2016). *AGRIBALYSE® : Methodology (Version 1.3)*. Technical report, ADEME, Angers, France. PDF disponible : [AGRIBALYSE v1.3 Methodology PDF](#).
- Krueger, A. O. (1974). The political economy of the rent-seeking society. *American Economic Review*, 64(3), 291–303. PDF Available : [AEA](#).
- Krueger, A. O., Schiff, M., & Valdés, A. (1988). Agricultural incentives in developing countries : Measuring the effect of sectoral and economywide policies. *The World Bank Economic Review*, 2(3), 255–271. DOI : [10.1093/wber/2.3.255](https://doi.org/10.1093/wber/2.3.255).
- Krueger, A. O., Schiff, M., & Valdés, A., Eds. (1992). *The Political Economy of Agricultural Pricing Policy : A World Bank Comparative Study (5-volume set)*. Baltimore, MD : Johns Hopkins University Press (for the World Bank). ISBN : [0801840309](https://www.worldbank.org/0801840309).
- Laborde, D., Lallemand, T., Majeed, F., Mamun, A., Martin, W., & Tokgoz, S. (2025). *Introducing the Updated AgIncentives Database*. Technical report, AgIncentives Working Paper, IFPRI, Washington DC, Washington, DC. PDF Available : [AgIncentives Project Note 1](#).
- Laborde, D., Lallemand, T., McDougal, K., Smaller, C., & Traore, F. (2019). *Transforming Agriculture in Africa & Asia : What Are the Policy Priorities ?* Technical report, International Institute for Sustainable Development (IISD). PDF : [IISD PDF](#).
- LaLonde, R. J. (1986). Evaluating the econometric evaluations of training programs with experimental data. *American Economic Review*, 76(4), 604–620. JSTOR : [1806062](https://www.jstor.org/stable/1806062).
- Landau, D. (1983). Government expenditure and economic growth : A cross-country study. *Southern Economic Journal*, 49(3), 783–792. DOI : [10.2307/1058716](https://doi.org/10.2307/1058716).
- Landy, F. & Dorin, B. (2022). L'état au secours de la transition agroécologique ? le cas de l'inde. *Mouvements*, 109(1), 94–106. DOI : [10.3917/mouv.109.0094](https://doi.org/10.3917/mouv.109.0094).
- Lefore, N., Closas, A., & Schmitter, P. (2021). Solar for all : A framework to deliver inclusive and environmentally sustainable solar irrigation for smallholder agriculture. *Energy Policy*, 154, 112313. DOI : [10.1016/j.enpol.2021.112313](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112313).
- Leite, W. (2017). *Practical Propensity Score Methods Using R*. SAGE Publications. DOI : [10.4135/9781071802854](https://doi.org/10.4135/9781071802854). ISBN : [9781452288888](https://www.worldbank.org/9781452288888).

- Lerner, A. P. (1943). Functional finance and the federal debt. *Social Research*, 10(1), 38–51. PDF : [scan](#) ; JSTOR : [stable/40981939](#) ; DOI : [10.2307/40981939](#).
- Lohr, S. L. (2021). *Sampling : Design and Analysis*. Chapman and Hall/CRC, 3 edition. ISBN : [9780367279509](#).
- Lowder, S. K., Rotondi, J., Diao, X., Masias, I., Smart, J., et al. (2019). *A Database User Manual for SPEED : Statistics on Public Expenditures for Economic Development*. Technical report, International Food Policy Research Institute (IFPRI). PDF Available : [CGSpace/IFPRI](#).
- Lucotte, Y. (2012). Adoption of inflation targeting and tax revenue performance in emerging market economies : An empirical investigation. *Economic Systems*, 36(4), 609–628. DOI : [10.1016/j.ecosys.2012.01.001](#).
- Lupu, D., Petrisor, M. B., Bercu, A., & Tofan, M. (2018). The impact of public expenditures on economic growth : A case study of central and eastern european countries. *Emerging Markets Finance and Trade*, 54(3), 552–570. DOI : [10.1080/1540496X.2017.1419127](#).
- Magrini, E., Montalbano, P., Nenci, S., & Salvatici, L. (2017). Agricultural (dis)incentives and food security : Is there a link ? *American Journal of Agricultural Economics*, 99(4), 847–871. DOI : [10.1093/ajae/aaw103](#).
- Mas Aparisi, A., Ghins, L., & Balié, J. (2015). *Initiatives for the Monitoring and Analysis of Agricultural Public Expenditure in Africa : A Comparative Review and Analysis*. Technical report, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. PDF : [FAO/OpenKnowledge PDF](#).
- Mason, N. M. & Jayne, T. S. (2013). Fertiliser subsidies and smallholder commercial fertiliser purchases : Crowding out, leakage and policy implications for zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 64(3), 558–582. DOI : [10.1111/1477-9552.12025](#).
- Matthews, A. (2013). Doha negotiations on agriculture and future of the WTO multilateral trade system. In *Proceedings of the 135th Seminar of the European Association of Agricultural Economists (EAAE)* Belgrade, Serbia. DOI : [10.22004/ag.econ.160370](#). PDF Available : [AgEcon Search](#).
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M. G., Sapkota, T., Tubiello, F. N., & Xu, Y. (2019). Food security. In *Climate Change and Land : An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*, IPCC Special Report (pp. 437–550). Cambridge University Press. PDF Available : [IPCC Chapter 5](#).
- Mellal, A. & Derbal, A. (2020). L’Omc et les programmes de stockage publics à des fins de sécurité alimentaire dans les ped : avancées et perspectives. *Dirassat Journal Economic Issue*, 11(1), 547–566. DOI : [10.34118/djei.v11i1.118](#).

- Ministère du Pétrole et des Énergies (Sénégal) (2020). *Rapport d'activités 2020*. Technical report, Ministère du Pétrole et des Énergies, Dakar, Sénégal. PDF : [Rapport officiel](#).
- Mirzabaev, A., Kerr, R. B., Hasegawa, T., Pradhan, P., Wreford, A., von der Pahlen, M. C. T., & Gurney-Smith, H. (2023). Severe climate change risks to food security and nutrition. *Climate Risk Management*, 39, 100473. doi:10.1016/j.crm.2022.100473.
- Mitra, A., Buisson, M.-C., Osmani, A. Z., & Mukherji, A. (2023). Unleashing the potential of solar irrigation in Bangladesh : Key lessons from different implementation models. *Environmental Research Letters*, 19(1), 014024. doi:10.1088/1748-9326/ad0eaf.
- Mitra, P. & Choi, S. M. (2020). Safeguarding Africa's food security in the age of COVID-19. IMF Blog (International Monetary Fund). [IMF Blog](#).
- Mkandawire, P. T. & Soludo, C. C. (1999). *Our Continent, Our Future : African Perspectives on Structural Adjustment*. Dakar and Trenton, NJ and Ottawa, ON : CODESRIA and Africa World Press and IDRC. PDF | eISBN:155250204X | ISBN:9780865437050.
- Modigliani, F. (1961). Long-run implications of alternative fiscal policies and the burden of the national debt. *The Economic Journal*, 71(284), 730–755. DOI : [10.2307/2228247](#) ; Page : [Oxford Academic](#) ; JSTOR : [stable/2228247](#).
- Mogues, T., Yu, B., Fan, S., & McBride, L. (2012). *The impacts of public investment in and for agriculture : Synthesis of the existing evidence*. ESA Working Paper 12-07, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. PDF Available : [ESA Working paper](#).
- Morris, M., Kelly, V. A., Kopicki, R., & Byerlee, D. (2007). *Fertilizer Use in African Agriculture : Lessons Learned and Good Practice Guidelines*. Washington, DC : World Bank. ISBN:9780821368800.
- Mostefaoui, M., Ciais, P., McGrath, M. J., Peylin, P., Patra, P. K., & Ernst, Y. (2024). Greenhouse gas emissions and their trends over the last 3 decades across Africa. *Earth System Science Data*, 16(1), 245–275. doi:10.5194/essd-16-245-2024.
- Nabuurs, G.-J., Mrabet, R., Abu Hatab, A., Bustamante, M., Clark, H., Havlík, P., House, J., Mbow, C., Ninan, K. N., Popp, A., Roe, S., Sohngen, B., Towprayoon, S., & Steinfeld, J.-P. (2023). Agriculture, forestry and other land uses (AFOLU). In *IPCC 2022 : Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 747–860). Cambridge University Press. DOI : [10.1017/9781009157926.009](#) | PDF Available : [IPCC Chapter 7](#).
- Nations Unies (2019). *Rapport sur les objectifs de développement durable 2019*. Technical report, Nations Unies, Département des statistiques, New York. PDF disponible : [Version française](#).

- Ndambiri, H. K., Ritho, C., Ng'ang'a, S. I., Kubowon, P. C., Mairura, F. C., Nyangweso, P. M., Muiruri, E. M., & Cherotwo, F. H. (2012). Determinants of economic growth in Sub-Saharan Africa : A panel data approach. *International Journal of Economics and Management Sciences*, 2(2), 18–24. PDF Available : [Karu Space](#).
- Ndiaye, S. & Bass, B. W. (2023). *Évaluation de l'impact socio-économique de l'adoption des technologies solaires d'irrigation par les femmes horticultrices dans la zone des Niayes au Sénégal*. Rapport de recherche IDL-64184, Centre de recherches pour le développement international (CRDI/IDRC), Ottawa, Canada. Projet WEL – La transition énergétique pour l'autonomisation économique des femmes en contexte post-Covid. PDF disponible : [IRDC](#).
- Niederle, P. A., Sabourin, E., Schmitt, C. J., De Avila, M. L., Petersen, P., & Santos de Assis, W. (2019). A trajetória brasileira de construção de políticas públicas para a agroecologia. *Redes*, 24(1), 270–291. [doi:10.17058/redes.v24i1.13035](https://doi.org/10.17058/redes.v24i1.13035).
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Political Economy of Institutions and Decisions. Cambridge : Cambridge University Press. [doi:10.1017/CBO9780511808678](https://doi.org/10.1017/CBO9780511808678) | ISBN: 978-0-521-39734-6 | ISBN: 978-0-521-39416-1 | ISBN: 978-0-511-80867-8.
- Nurudeen, A. & Usman, A. (2010). Government expenditure and economic growth in Nigeria, 1970–2008 : A disaggregated analysis. *Business and Economics Journal*, 2010(BEJ-4), 1–11. PDF Available : [HILARIS](#).
- Nyasha, S. & Odhiambo, N. M. (2019). The impact of public expenditure on economic growth : a review of international literature. *Folia Oeconomica Stetinensia*, 19(2), 81–101. DOI : [10.2478/fofi-2019-0015](https://doi.org/10.2478/fofi-2019-0015).
- OCDE (2013). *Moyens d'action au service de la croissance verte en agriculture*. Études de l'OCDE sur la croissance verte. Paris : Éditions OCDE. DOI : [10.1787/9789264204140-fr](https://doi.org/10.1787/9789264204140-fr).
- Odedokun, M. O. (2001). *Public finance and economic growth : Empirical evidence from developing countries*. WIDER Working Paper 72/2001, UNU-WIDER, Helsinki. PDF Available : [Working Paper](#).
- OECD (2016). *OECD's Producer Support Estimate and Related Indicators of Agricultural Support : Concepts, Calculations, Interpretation and Use (The PSE Manual)*. Manual, OECD Trade and Agriculture Directorate, Paris. PDF Available : [OECD](#).
- OECD (2019). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2019*. Paris : OECD Publishing. DOI : [doi:10.1787/39bfe6f3-en](https://doi.org/10.1787/39bfe6f3-en).
- OECD (2022). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2022 : Reforming Agricultural Policies for Climate Change Mitigation*. Paris : OECD Publishing. DOI : [doi:10.1787/7f4542bf-en](https://doi.org/10.1787/7f4542bf-en).
- OECD (2023). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2023 : Adapting Agriculture to Climate Change*. Paris : OECD Publishing. [doi:10.1787/b14de474-en](https://doi.org/10.1787/b14de474-en).

- OECD (2024). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2024 : Innovation for Sustainable Productivity Growth*. Paris : OECD Publishing. doi:10.1787/74da57ed-en.
- OECD & FAO (2016). Agriculture in sub-Saharan Africa : Prospects and challenges for the next decade. In *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016–2025* (pp. 61–96). Paris : OECD Publishing. DOI : 10.1787/agr_outlook – 2016 – en.
- Okou, C., Spray, J., & Unsal, D. F. (2022). *Staple Food Prices in Sub-Saharan Africa : An Empirical Assessment*. IMF Working Paper WP/22/135, International Monetary Fund, Washington, DC. DOI : doi:10.5089/9798400216190.001.
- Okoye, L. U., Omankhanlen, A. E., Okoh, J. I., Urhie, E., & Ahmed, A. (2019). Government expenditure and economic growth : The case of Nigeria. In *Proceedings of SOCIOINT 2019 : 6th International Conference on Education, Social Sciences and Humanities* (pp. 1184–1194). Istanbul, Turkey. PDF Available : SOCIOINT 2019.
- Olson, Mancur, J. (1971). *The Logic of Collective Action : Public Goods and the Theory of Groups, with a New Preface and Appendix*, volume 124 of *Harvard Economic Studies*. Cambridge, MA : Harvard University Press. ISBN: 978-0-674-53751-4.
- Pack, H. & Pack, J. R. (1993). Foreign aid and the question of fungibility. *The Review of Economics and Statistics*, 75(2), 258–265. DOI : 10.2307/2109431.
- Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., et al. (2017). Identifying cost-competitive greenhouse gas mitigation potential of French agriculture. *Environmental Science & Policy*, 77, 130–139. DOI : 10.1016/j.envsci.2017.08.003.
- Pernechele, V., Fontes, F., Baborska, R., Nkuingoua, J. C., Pan, X., & Tuyishime, C. (2021). *Public expenditure on food and agriculture in sub-Saharan Africa : Trends, challenges and priorities*. Technical report, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. DOI : 10.4060/cb4492en.
- Piesse, J. & Thirtle, C. (2010). Agricultural R&D, technology and productivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 365(1554), 3035–3047. DOI : 10.1098/rstb.2010.0140.
- Place, F., Niederle, P., Sinclair, F., Carmona, N. E., Guéneau, S., Gitz, V., Alpha, A., Sabourin, E., & Hainzelin, É. (2022). *Agroecologically-conducive policies : A review of recent advances and remaining challenges*. Technical Report Working Paper 1, Agroecology Transformative Partnership Platform (Agroecology TPP). DOI : 10.17528/cifor-icraf/008593.
- Popkin, B. M., Adair, L. S., & Ng, S. W. (2012). Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutrition Reviews*, 70(1), 3–21. DOI : 10.1111/j.1753-4887.2011.00456.x.

- Qin, J., Duan, W., Zou, S., Chen, Y., Huang, W., & Rosa, L. (2024). Global energy use and carbon emissions from irrigated agriculture. *Nature Communications*, 15(1), 3084. DOI : [10.1038/s41467-024-47383-5](https://doi.org/10.1038/s41467-024-47383-5).
- Quisumbing, A. R. (1995). *Gender differences in agricultural productivity : A survey of empirical evidence*. Technical Report 5, International Food Policy Research Institute (IFPRI). PDF Available : [CGSpace](#).
- Rada, N. E. & Buccola, S. T. (2012). Agricultural policy and productivity : Evidence from Brazilian censuses. *Agricultural Economics*, 43(4), 355–367. DOI : [10.1111/j.1574-0862.2012.00588.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2012.00588.x).
- Rajkumar, A. S. & Swaroop, V. (2008). Public spending and outcomes : Does governance matter ? *Journal of Development Economics*, 86(1), 96–111. DOI : [10.1016/j.jdeveco.2007.08.003](https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2007.08.003).
- Rakotoarisoa, M. A., Iafate, M., & Paschali, M. (2011). *Why Has Africa Become a Net Food Importer ? Explaining Africa's Agricultural and Food Trade Deficits*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). PDF Available : [FAO Open Knowledge](#). ISBN 978-92-5-107088-8.
- Ranganathan, J., Corbier, L., Bhatia, P., Schmitz, S., Gage, P., Oren, K., & Cook, E. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol : A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition)*. Technical report, World Resources Institute (WRI) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). PDF Available : [GHG Protocol](#). ISBN 1-56973-568-9.
- Rebulard, S. (2022). Les futurs alimentaires au défi de l'anthropocène. In S. Abis & M. Brun (Eds.), *Le Déméter 2022 : Alimentation : les nouvelles frontières* (pp. 43–61). Paris : IRIS Éditions. En ligne : [Cairn \(chapitre\)](#).
- ReSAKSS (2020). ReSAKSS CAADP database. [Base en ligne \(ReSAKSS\)](#).
- ReSAKSS (2023). Tracking indicators : Government agriculture expenditure. [Indicateurs en ligne \(ReSAKSS\)](#).
- Richards, M. B., Wollenberg, E. K., & Buglion-Gluck, S. (2015). *Agriculture's Contribution to National Emissions*. Technical report, CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). PDF Available : [CGSpace](#).
- Ricker-Gilbert, J., Jayne, T. S., & Chirwa, E. (2011). Subsidies and crowding out : A double-hurdle model of fertilizer demand in Malawi. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(1), 26–42. DOI : [10.1093/ajae/aaq122](https://doi.org/10.1093/ajae/aaq122).
- Rosenbaum, P. R. & Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1), 41–55. DOI : [10.1093/biomet/70.1.41](https://doi.org/10.1093/biomet/70.1.41).
- Rosenbaum, P. R. & Rubin, D. B. (1985). The bias due to incomplete matching. *Biometrics*, 41(1), 103–116. DOI : [10.2307/2530647](https://doi.org/10.2307/2530647).

- Rubin, D. B. (1974). Estimating causal effects of treatments in randomized and nonrandomized studies. *Journal of Educational Psychology*, 66(5), 688–701. DOI : [10.1037/h0037350](https://doi.org/10.1037/h0037350).
- Ruzzante, S., Labarta, R., & Bilton, A. (2021). Adoption of agricultural technology in the developing world : A meta-analysis of the empirical literature. *World Development*, 146, 105599. DOI : [10.1016/j.worlddev.2021.105599](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105599).
- Sachs, J. D. & Warner, A. M. (2001). The curse of natural resources. *European Economic Review*, 45(4-6), 827–838. DOI : [10.1016/S0014-2921\(01\)00125-8](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00125-8).
- Sanogo, M., Yonaba, R., Keïta, A., Lawane, A., Barbier, B., Aminatou, A. M. G., Bazié, I., & Ouarmé, S. (2025). Adoption of solar-powered pumps in agriculture : Insights from smallholders in Burkina Faso. *Discover Agriculture*, 3(1), 53. DOI : [10.1007/s44279-025-00205-8](https://doi.org/10.1007/s44279-025-00205-8).
- Sarker, S. A., Zhu, N., Almutlaq, F., Adnan, K. M., & Huq, M. E. (2025). Financial impact and adoption of solar irrigation in Rangpur, Bangladesh. *Energy Strategy Reviews*, 59, 101732. DOI : [10.1016/j.esr.2025.101732](https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101732).
- Schaltegger, C. A. & Torgler, B. (2006). Growth effects of public expenditure on the state and local level : Evidence from a sample of rich governments. *Applied Economics*, 38(10), 1181–1192. DOI : [10.1080/00036840500392334](https://doi.org/10.1080/00036840500392334).
- Schnepf, R. & Hanrahan, C. E. (2011). *U.S. and EU Agricultural Support : Overview and Comparison*. Technical Report R41713, Congressional Research Service. PDF Available : [CRS Report for Congress](#).
- Schwartz, J., Feng, Y., Castro, E., & Wei, Y. (2025). Causal concentration–response modeling with continuous curves and exposure error correction : PM2.5 and mortality in the Medicare cohort. *Environmental Health Perspectives*, 133(6), 067007. DOI : [10.1289/EHP15238](https://doi.org/10.1289/EHP15238).
- Senegal (2020). Contribution déterminée au niveau national (cdn) – Senegal first NDC. UNFCCC page : [Senegal First NDC](#).
- Sianesi, B. (2004). An evaluation of the Swedish system of active labor market programs in the 1990s. *Review of Economics and Statistics*, 86(1), 133–155. DOI : [10.1162/003465304323023723](https://doi.org/10.1162/003465304323023723).
- Sims, R. E. & Flammini, A. (2014). Energy-smart food—technologies, practices and policies. In J. Bundschuh & G. Chen (Eds.), *Sustainable Energy Solutions in Agriculture*. CRC Press. DOI : [10.1201/b16643-15](https://doi.org/10.1201/b16643-15).
- Smith, J. A. & Todd, P. E. (2005). Does matching overcome LaLonde’s critique of nonexperimental estimators? *Journal of Econometrics*, 125(1-2), 305–353. DOI : [10.1016/j.jeconom.2004.04.011](https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2004.04.011).
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., et al. (2014). Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In *Climate Change 2014 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment*

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 811–922). Cambridge University Press. [PDF](#) | DOI : [10.1017/CBO9781107415416.017](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416.017) | ISBN: 9781107415416 / 9781107654815.
- Sow, A. A., Mane, P. Y. B., Sawaneh, M., & Kafando, H. (2024). Adoption of solar pumping systems by vegetable farmers in Niayes agro-ecological zone of Senegal : Adoption as a sequential process. *Journal of Power and Energy Engineering*, 12(9), 19–36. DOI : [10.4236/jpee.2024.129002](https://doi.org/10.4236/jpee.2024.129002).
- Springmann, M. & Freund, F. (2022). Options for reforming agricultural subsidies from health, climate, and economic perspectives. *Nature Communications*, 13, 1–12. DOI : [10.1038/s41467-021-27645-2](https://doi.org/10.1038/s41467-021-27645-2).
- Sumberg, J. & Sabates-Wheeler, R. (2011). Linking agricultural development to school feeding in sub-Saharan Africa. *Food Policy*, 36(3), 341–349. DOI : [10.1016/j.foodpol.2011.03.001](https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.03.001).
- Tanzi, V. & Davoodi, H. R. (1997). *Corruption, Public Investment, and Growth*. IMF Working Paper WP/97/139, International Monetary Fund. PDF : [IMF](#) ; DOI : [10.5089/9781451929515.001](https://doi.org/10.5089/9781451929515.001) ; ISBN : [9781451929515](#).
- Tanzi, V. & Zee, H. H. (1997). Fiscal policy and long-run growth. *IMF Staff Papers*, 44(2), 179–209. [doi:10.2307/3867542](https://doi.org/10.2307/3867542) | [JSTOR:3867542](#) | [PDF \(IMF eLibrary\)](#).
- Tapsoba, A. F. & Brun, M. (2022a). *Observatoire mondial du soutien à l’agriculture et à l’alimentation*. Note méthodologique. Fondation FARM. PDF disponible : [Publication FARM](#).
- Tapsoba, A. F. & Brun, M. (2022b). Plus les pays dépendent de l’agriculture, moins ils la soutiennent. Blog de la Fondation FARM. Publié le 5 décembre 2022. En ligne : [Publication FARM](#).
- Tapsoba, A. F. & Brun, M. (2023). Vers une convergence du soutien des prix du marché entre pays riches et émergents. Blog de la Fondation FARM. Publié le 4 janvier 2023. En ligne : [Publication FARM](#).
- Tapsoba, A. F. & Brun, M. (2024). Les soutiens publics à l’agriculture et à l’alimentation. *Revue internationale des études du développement*, 254, 147–176. DOI : [10.4000/ried.10379](https://doi.org/10.4000/ried.10379).
- Tapsoba, A. F. & Zoromé, A. (2023). *Impact environnemental des producteurs horticoles dans la région des Niayes au Sénégal : Évaluation des émissions de gaz à effet de serre des systèmes de production solaires et non solaires*. Rapport de recherche IDL-64187, Centre de recherches pour le développement international (CRDI/IDRC), Ottawa, Canada. Projet WEL – La transition énergétique pour l’autonomisation économique des femmes en contexte post-Covid. PDF disponible : [IRDC](#).
- Tayeb Cherif, O., Brun, M., Diéval, S., & Le Faou, S. (2023). *Hausse des prix et crises géopolitiques : quelle résilience des agricultures africaines face aux chocs ?* Policy brief. Fondation FARM / AFDI. PDF disponible : [Publication FARM](#).
- The World Bank and the UK Department for International Development (2011). *How Do We Improve Public Expenditure in Agriculture ? A Synthesis Report of the DFID–World Bank Knowledge Partnership Project “Public Expenditures for Pro-Poor Agricultural Growth”*. Technical report, International

- Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington, DC. Joint Discussion Paper—Issue 3. PDF Available : [World Bank document](#). DOI : [10.1596/2825](#).
- Tiffin, R. & Irz, X. (2006). Is agriculture the engine of growth? *Agricultural Economics*, 35(1), 79–89. DOI : [10.1111/j.1574-0862.2006.00141.x](#).
- Timmer, C. P. (2009). *A World without Agriculture : The Structural Transformation in Historical Perspective*. Washington, D.C. : The AEI Press. ISBN: [9780844742793](#).
- Tongwane, M. I. & Moeletsi, M. E. (2018). A review of greenhouse gas emissions from the agriculture sector in africa. *Agricultural Systems*, 166, 124–134. DOI : [10.1016/j.agsy.2018.08.011](#).
- Torvik, R. (2001). Learning by doing and the Dutch disease. *European Economic Review*, 45(2), 285–306. DOI : [10.1016/S0014-2921\(99\)00071-9](#).
- Trouvé, A. & Bazin, G. (2018). La politique agricole commune : un compromis européen en crise. In G. Chouquer & M. Maurel (Eds.), *Les mutations récentes du foncier et des agricultures en Europe* (pp. 97–112). Besançon : Presses universitaires de Franche-Comté. DOI : [10.4000/books.pufc.5678](#).
- Tsakok, I. (1990). *Agricultural Price Policy : A Practitioner's Guide to Partial-Equilibrium Analysis*. Ithaca, NY : Cornell University Press. ISBN : [9780801495960](#).
- Tubiello, F. N. (2019). Greenhouse gas emissions due to agriculture. In P. Ferranti, E. M. Berry, & J. R. Anderson (Eds.), *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* (pp. 196–205). Amsterdam : Elsevier. DOI : [10.1016/B978-0-08-100596-5.21996-3](#).
- Tubiello, F. N., Córdor-Golec, R. D., Salvatore, M., Piersante, A., Federici, S., Ferrara, A., Rossi, S., Flammini, A., Cardenas, P., Biancalani, R., et al. (2015). *Estimations des émissions de gaz à effet de serre en agriculture*. Technical report, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Rome. PDF : [FAO](#). ISBN : [9789252086741](#).
- Udry, C. (1996). Gender, agricultural production, and the theory of the household. *Journal of Political Economy*, 104(5), 1010–1046. DOI : [10.1086/262050](#).
- Union africaine (2014). Déclaration de Malabo sur la croissance accélérée de l'agriculture et la transformation pour une prospérité partagée et de meilleures conditions de vie. 23e Session ordinaire de la Conférence de l'Union africaine, Malabo, Guinée équatoriale. PDF Available : [Union africaine](#).
- United Nations (2024). *World Population Prospects 2024 : Summary of Results*. Technical Report UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York. PDF Available : [UN DESA](#).
- United Nations Environment Programme (2023). *Adaptation Gap Report 2023 : Underfinanced. Underprepared. Inadequate Investment and Planning on Climate Adaptation Leaves World Exposed*. Technical report, UNEP. DOI : [10.59117/20.500.11822/43796](#).

- Utz, V. (2011). *Modern Energy Services for Modern Agriculture : A Review of Smallholder Farming in Developing Countries*. Technical report, GIZ-HERA (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH), Eschborn. PDF Available : [Energyedia](#).
- Valiorgue, B. (2023). La durabilité agricole, ou l'enjeu du siècle. In S. Abis & A. Marie (Eds.), *Le Démetér 2023 : Agriculture et alimentation : la durabilité à l'épreuve des faits* (pp. 25–38). IRIS Éditions. Page de publication : [Cairn](#).
- van der Ploeg, J. D., Barjolle, D., Bruil, J., et al. (2019). The economic potential of agroecology : Empirical evidence from Europe. *Journal of Rural Studies*, 71, 46–61. DOI : [10.1016/j.jrurstud.2019.09.003](#).
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7), 494–501. DOI : [10.1038/s43016-021-00322-9](#).
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. I. (2012). Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 195–222. DOI : [10.1146/annurev-environ-020411-130608](#).
- Williamson, J., Ed. (1990). *Latin American Adjustment : How Much Has Happened?* Washington, DC : Institute for International Economics. ISBN : [9780881321258](#).
- Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlík, P., Obersteiner, M., Tubiello, F. N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., et al. (2016). Reducing emissions from agriculture to meet the 2 °c target. *Global Change Biology*, 22(12), 3859–3864. DOI : [10.1111/gcb.13340](#).
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge, MA : The MIT Press, 2 edition. ISBN : [9780262232586](#).
- World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development (2011). *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*. Technical report, Greenhouse Gas Protocol. PDF Available : [GHG Protocol Product Standard](#).
- World Trade Organization (2013). Public stockholding for food security purposes. Ministerial Decision (WT/MIN(13)/38; WT/L/913), adopted 7 December 2013, Ninth WTO Ministerial Conference, Bali. PDF Available : [WTO document](#).
- Wu, S., Tang, J., & Lin, E. S. (2010). The impact of government expenditure on economic growth : How sensitive to the level of development? *Journal of Policy Modeling*, 32(6), 804–817. DOI : [10.1016/j.jpolmod.2010.05.011](#).
- Wu, X., Mealli, F., Kioumourtzoglou, M., Dominici, F., & Braun, D. (2024). Matching on generalized propensity scores with continuous exposures. *Journal of the American Statistical Association*, 119(545), 757–772. DOI : [10.1080/01621459.2022.2144737](#).

Xu, A. (2023). *Impact of Agricultural Support on Environmental and Climate Objectives*. WTO Staff Working Paper ERSD-2023-08, World Trade Organization, Geneva. PDF Available : [WTO](#).

Zhu, Y., Coffman, D. L., & Ghosh, D. (2015). A boosting algorithm for estimating generalized propensity scores with continuous treatments. *Journal of Causal Inference*, 3(1), 25–40. DOI : [10.1515/jci-2014-0022](#).

Contributions aux coécritures

Cette thèse est le fruit de travaux individuels et de recherches collaboratives. Le détail de mes contributions personnelles pour les chapitres coécrits est présenté ci-dessous :

- **Les Chapitres 1 et 2** sont des travaux individuels.
- **Le Chapitre 3** : Ce chapitre a été coécrit avec Matthieu Brun⁶, directeur scientifique de la Fondation FARM. Ma contribution se situe à plusieurs niveaux :
 - ✓ La revue de littérature ;
 - ✓ L'analyse des données ;
 - ✓ La rédaction.
- **Le Chapitre 4** : Ce chapitre a été coécrit avec Arouna Zoromé⁷. Ma contribution se situe à plusieurs niveaux :
 - ✓ La revue de littérature ;
 - ✓ La collecte et l'apurement de la base de données ;
 - ✓ Les calculs des émissions de GES ;
 - ✓ La rédaction.
- **Le Chapitre 5** : Ce chapitre a été coécrit avec Arouna Zoromé et Harouna Kinda⁸. Ma contribution se situe à plusieurs niveaux :
 - ✓ La revue de littérature ;
 - ✓ L'apurement de la base de données ;
 - ✓ Les régressions économétriques ;
 - ✓ La rédaction.

⁶Chercheur associé au laboratoire Les Afriques dans le Monde (CNRS) et à l'Institut de recherche et d'études Méditerranée-Moyen-Orient (Iremmo)

⁷Université Clermont Auvergne, CNRS, IRD, CERDI, F-63000, Clermont-Ferrand, France et Laboratory of Industrial Economics of Emerging Africa, Africa Business School, Mohammed VI Polytechnic University, (EIEA-ABS-UM6P), Rabat, Morocco

⁸Laboratory of Industrial Economics of Emerging Africa, Africa Business School, Mohammed VI Polytechnic University, (EIEA-ABS-UM6P), Rabat, Morocco

Table des matières

Dédicaces	iii
Avant-propos	v
Remerciements	vi
Résumé	x
Abstract	xi
Liste des tableaux	xiv
Liste des figures	xviii
Introduction générale	1
1 Contexte général	1
2 Problématique	3
3 Structure de la thèse	6
3.1 Partie I – Soutiens publics à l’agriculture : analyser les instruments de mesure, évaluer l’efficacité budgétaire et questionner la durabilité des politiques	7
3.2 Partie II – Technologie solaire et atténuation de gaz à effet de serre (GES) dans l’horticulture irriguée : leçons d’une évaluation d’impact au Sénégal	8
4 Contributions de la thèse	9
I Soutiens publics à l’agriculture : analyser les instruments de mesure, évaluer l’efficacité budgétaire et questionner la durabilité des politiques 13	
Chapitre 1 Cartographie des soutiens publics à l’agriculture : création d’un Observatoire mondial	14
1 Introduction	15
2 Méthodologie	17
2.1 Etape 1 : identification des soutiens	18
2.2 Etape 2 : correspondance des composantes du soutien entre sources	20
2.3 Soutien total à l’agriculture et à l’alimentation (STAA) : DPAA et SPM	29

3	Un Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture et à l'alimentation au sein de la Fondation FARM	30
4	Résultats : panorama mondial des soutiens publics	31
4.1	Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA)	31
4.2	Soutien des prix de marché (SPM)	41
4.3	Une lecture consolidée du soutien total à l'agriculture et à l'alimentation (STAA)	48
5	Discussion : implications pour la gouvernance des politiques agricoles	50
6	Conclusion	52
	Annexes	54
	Annexe 1. Tableau de correspondance (MAFAP-OCDE/BID) des Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA)	55
	Annexe 2. Classement des produits agricoles par SPM	57
	Annexe 3. Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation (STAA), en % de la valeur de la production agricole (moyenne des trois dernières années connues)	58
	Annexe 4. Panorama détaillé des DPAA, SPM et STAA, par pays et par région	59
	Annexe 5. Echantillons de pays de l'Observatoire et période couverte	66
	Annexe 6. Classement des pays par niveau de revenu	67
	Annexe 7. Découpage des pays par région géographique	68

Chapitre 2 Efficacité de la dépense publique agricole en Afrique subsaharienne : quelle intensité et quelle allocation budgétaire ? 69

1	Introduction	70
2	Dépenses publiques, croissance économique et productivité agricole : une relation nuancée	72
2.1	Dépenses publiques et croissance économique	72
2.2	Dépenses publiques à l'agriculture et performance du secteur agricole	73
3	Méthodologie	74
3.1	Cadre théorique : le score de propension généralisé (GPS)	74
3.2	Données et description des variables	76
3.3	Stratégie d'Identification Empirique	81
4	Résultats	88
4.1	Résultat principal	88
4.2	Hétérogénéité	88
4.3	Robustesse	92
5	Discussion et recommandations	93
5.1	Discussion	93
5.2	Recommandations	95
6	Conclusion	97
	Annexes	98
	Annexe 1. Tests complémentaires d'équilibres des covariables	98
	Annexe 2. Fonction dose-réponse des robustesses	101

Chapitre 3	Les soutiens publics à l’agriculture : des leviers pour la transition vers des systèmes alimentaires durables ?	105
1	Introduction	107
2	Mesurer et comparer les soutiens publics à l’agriculture et à l’alimentation dans le monde	108
3	Panorama mondial des soutiens publics	110
3.1	Plus un pays dépend de son agriculture, moins il la soutient	111
3.2	Des agricultures plus protégées dans les pays riches et émergents	114
4	(Ré)orienter les soutiens publics vers des systèmes agricoles et alimentaires durables . .	117
4.1	Les limites des politiques actuelles du soutien à l’agriculture	117
4.2	De la fourche à la fourchette : adopter une approche « système alimentaire » . .	120
4.3	Supprimer ou réorienter les soutiens publics ?	121
5	Conclusion	125

II Technologie solaire et atténuation de gaz à effet de serre (GES) dans l’horticulture irriguée : leçons d’une évaluation d’impact au Sénégal 127

Chapitre 4	Carbon Footprints of Irrigated Horticulture in Senegal: The Roles of Energy Use, Agronomic Practices, and Structural Inequalities	128
1	Introduction	129
2	Survey data	132
2.1	Sampling design and implementation	132
2.2	Questionnaire content	133
2.3	Sample description and stylized facts	134
3	Methodology	145
3.1	Emissions Inventory	145
3.2	Scope of GHG emission calculations: Scopes 1 and 2	146
3.3	GHG Emission calculations	147
3.4	Calculation of Emissions from Energy Consumption	150
3.5	Total Emissions in CO_2 Equivalent	152
4	Activity Data for Emissions Calculations	153
4.1	Estimating Nitrogen from Fertilization and Crop Residues	153
4.2	Computing Fossil Fuel and Electricity Consumption	155
5	Results and discussions	157
5.1	Average GHG Emissions : Energy Use and Agricultural Practices	157
5.2	Solar Energy and the Mitigation of Irrigation-Related Emissions	159
5.3	From Pumping to Overall Emissions: Does the Energy Profile Reduce Total GHG Emissions?	160
5.4	Heterogeneity in Total Emissions: Structural Determinants Beyond Energy Use	162
6	Conclusion	171

Appendices	172
Appendix 1. Income (in XOF) from main activity: solar vs. non-solar producers	172
Appendix 2. Descriptive statistics of activity data	173
Appendix 3. Factor Tables	175
Appendix 3.1. Emissions Factors	175
Appendix 3.2. Fertilization and crops residue	176
Appendix 3.3. Energy consumption	177
Appendix 4. Average emissions from fertilization and crop residues by producers energy profile	178
Appendix 5. Average energy emissions by producers energy profile	179
Chapitre 5 Solar Energy Adoption and Greenhouse Gas Emissions in Agriculture: Evidence from Horticultural Production in Senegal	180
1 Introduction	181
2 Conceptual Framework	183
3 Data	185
3.1 Survey Data from the WEL Project	185
3.2 GHG emissions calculations	185
4 Empirical Strategy	188
4.1 Matching on Propensity Scores	188
4.2 Matching Algorithms	189
5 Results	190
5.1 Propensity Score Estimation	190
5.2 Baseline results	191
5.3 Testing transmission channels	191
5.4 Additional sensitivity checks	193
5.5 Heterogeneity	195
5.6 Using Mixed Energy Sources	196
6 Discussion and policy implications	197
7 Conclusion	198
Appendices	200
Appendix 1. List of Covariates	200
Appendix 2. Estimating the Propensity Score	201
Conclusion générale	202
Bibliographie	207
Contributions aux coécritures	228
Table des matières	229
Liste des tableaux	234

Liste des figures	236
Résumé	240
Abstract	241

Liste des tableaux

Chapitre 1. Cartographie des soutiens publics à l’agriculture : création d’un Observatoire mondial

Table 1.1.	Correspondance des catégories de transferts budgétaires aux producteurs : OCDE/BID vs. MAFAP	22
Table 1.2.	Correspondance des transferts budgétaires aux consommateurs : OCDE/BID vs. MAFAP	23
Table 1.3.	Correspondance des services généraux de soutien agricole : OCDE/BID vs. MAFAP	25
Table 1.4.	Correspondance des indicateurs de soutien des prix de marché : OCDE/BID vs. MAFAP	29
Table 1.5.	Comparaison des niveaux de soutien public selon différents indicateurs	41

Chapitre 2. Efficacité de la dépense publique agricole en Afrique subsaharienne : quelle intensité et quelle allocation budgétaire ?

Table 2.1.	Régression du traitement conditionnelle aux covariables	83
Table 2.2.	Test d’équilibrage des covariables (régression du traitement sur chaque covariable, avant et après contrôle par le GPS)	86
Table 2.3.	Test d’équilibrage des covariables (traitement : transferts aux producteurs)	99
Table 2.4.	Test d’équilibrage des covariables (traitement : transferts aux consommateurs)	99
Table 2.5.	Test d’équilibrage des covariables (traitement : services collectifs)	100

Chapitre 3. Les soutiens publics à l’agriculture : des leviers pour la transition vers des systèmes alimentaires durables ?

Chapitre 4. Carbon Footprints of Irrigated Horticulture in Senegal: The Roles of Energy

Use, Agronomic Practices, and Structural Inequalities

Table 4.1. T-test for differences in means between solar and non solar producers, across various economic and technical indicators 141

Table 4.2. Descriptive statistics of activity variables 156

Table 4.3. Comparison of average income (in XOF) by main activity between solar and non-solar households. 172

Table 4.4. Descriptive statistics of activity data for non-solar and solar users 173

Table 4.5. Descriptive statistics of activity data by subzone in the Niayes . . 174

Table 4.6. Table of emission factors 175

Table 4.7. Table of fertilization and crop residue factors 176

Table 4.8. Table of energy consumption factors 177

Chapitre 5. Solar Energy Adoption and Greenhouse Gas Emissions in Agriculture: Evidence from Horticultural Production in Senegal

Table 5.1. Baseline results: Estimated ATT under different matching specifications 192

Table 5.2. Impact on emissions from energy consumption 193

Table 5.3. Impact on emissions from fertilization practices 194

Table 5.4. Total GHG emissions - Robustness checks 195

Table 5.5. Total GHG emissions - Heterogeneity 196

Table 5.6. Results for producers using solar energy in mixed with other energy: Estimated ATT under different matching specifications . . 197

Table 5.7. List of Covariates Used in the Propensity Score Estimation 200

Table 5.8. Estimation of the Propensity Score 201

Liste des figures

Chapitre 1. Cartographie des soutiens publics à l'agriculture : création d'un Observatoire mondial

Figure 1.1.	Système de classification et de mesure du soutien à l'agriculture de l'OCDE.	19
Figure 1.2.	Système de classification et de mesure du soutien à l'agriculture du Programme MAFAP de la FAO.	20
Figure 1.3.	Aperçu de l'Observatoire mondial des soutiens publics à l'agriculture.	31
Figure 1.4.	Répartition régionale des Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation (DPAA).	32
Figure 1.5.	Montant des dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation par pays (en millions USD), moyenne des trois dernières années disponibles, regroupé par régions.	34
Figure 1.6.	Cartographie des Dépenses publiques agricoles exprimées en pourcentage de la valeur de la production agricole, moyenne sur les trois dernières années disponibles, par région.	36
Figure 1.7.	Panorama par pays des Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation, en % de la valeur de la production agricole (moyenne des trois dernières années connues).	37
Figure 1.8.	Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation par région, en % de la valeur de la production agricole, moyenne sur les trois dernières années connues.	38
Figure 1.9.	Soutien des prix du marché par région (moyenne des trois dernières années disponibles, en millions USD).	43
Figure 1.10.	Soutien des prix du marché par pays (moyenne des trois dernières années disponibles, en millions USD).	45
Figure 1.11.	Produits agricoles les plus concernés par les soutiens (positifs ou négatifs) des prix de marché (moyenne annuelle sur les trois dernières années disponibles, en milliards USD).	47

- Figure 1.12. Soutien total à l'agriculture et à l'alimentation (STAA), par pays (moyenne des trois dernières années disponibles, en millions USD). 49

Chapitre 2. Efficacité de la dépense publique agricole en Afrique subsaharienne : quelle intensité et quelle allocation budgétaire ?

- Figure 2.1. Carte des dépenses publiques agricoles en % des dépenses totales (moyenne, années disponibles) 77
- Figure 2.2. Composition moyenne des dépenses publiques agricoles 78
- Figure 2.3. Détail des composantes des dépenses publiques agricoles (producteurs, consommateurs, services collectifs) 79
- Figure 2.4. Boxplots du support commun après troncature 84
- Figure 2.5. Fonction dose-réponse estimée pour les dépenses publiques agricoles totales (% du budget national), avec zones de rendements décroissants (rouge), stables (jaune) et croissants (vert), et indication de la cible de Maputo à 10 % (ligne pointillée rouge) 87
- Figure 2.6. Fonction dose-réponse estimée pour les Transferts budgétaires aux producteurs 89
- Figure 2.7. Fonction dose-réponse estimée pour les Transferts budgétaires aux consommateurs 91
- Figure 2.8. Fonction dose-réponse estimée pour les Services collectifs avec indication de la cible de Maputo (10%) 92
- Figure 2.9. Équilibre des covariables avant et après ajustement du GPS. Les corrélations ajustées sont interprétées comme suit : $Corr_{Adj} < 0,10$: bon équilibre ; entre 0,10 et 0,20 : acceptable ; $> 0,20$: déséquilibre 98
- Figure 2.10. Fonction dose-réponse estimée pour les dépenses publiques agricoles (% dépenses totales) avec bandes de confiance obtenues par bootstrap (5 00 réplifications) – test de robustesse de la Figure 2.5. 101
- Figure 2.11. Fonction dose-réponse estimée des DPA (% Dépenses totales) sur la Valeur ajoutée agricole (% du PIB) 102
- Figure 2.12. Fonction dose-réponse estimée des DPA (% Dépenses totales) sur le PIB 103
- Figure 2.13. Fonction dose-réponse estimée des DPA (% Dépenses totales) sur les Rendements céréaliers par hectare 104

Chapitre 3. Les soutiens publics à l'agriculture : des leviers pour la transition vers des

systemes alimentaires durables ?

Figure 3.1.	Dépenses publiques de soutien à l'agriculture et à l'alimentation par région, en % de la valeur de la production agricole, moyenne des trois dernières années connues	112
Figure 3.2.	Evolution du SPM en % de la valeur de la production agricole . . .	115
Figure 3.3.	Evolution du SPM selon le niveau de revenu des pays en % de la valeur de la production agricole	116
Figure 3.4.	Mesures de soutien aux producteurs selon leur impact potentiel sur l'environnement	118
Figure 3.5.	Soutiens potentiellement nocifs à l'environnement par niveau de revenu des pays, en moyenne sur la période 2019-2021	119
Figure 3.6.	Afrique subsaharienne : composition des dépenses publiques à l'agriculture et à l'alimentation, moyenne des trois dernières années connues	122

Chapitre 4. Carbon Footprints of Irrigated Horticulture in Senegal: The Roles of Energy Use, Agronomic Practices, and Structural Inequalities

Figure 4.1.	Map of the localities covered by the surveys	132
Figure 4.2.	Distribution of solar and non-solar producers by gender, zone and age	134
Figure 4.3.	Distribution of solar and non-solar producers by training status and length of residence in the village	136
Figure 4.4.	Distribution of solar and non-solar producers by type of land ownership, nature of plot and average distance to home	138
Figure 4.5.	Distribution of solar and non-solar producers by dissemination channels and financing mechanisms	140
Figure 4.6.	Distribution of producers by energy profiles	142
Figure 4.7.	Distribution of producers by energy profiles	144
Figure 4.8.	Producer-level average emissions overview	158
Figure 4.9.	Average energy emissions of producers based on their use of solar	159
Figure 4.10.	Total average GHG emissions by producers energy profile	161
Figure 4.11.	Total average GHG emissions of producers based on their use of solar	162
Figure 4.12.	Total average GHG emissions by sub-zones of the Niayes	163
Figure 4.13.	Irrigation duration and method by Zone	165
Figure 4.14.	Total average GHG emissions by Crop	166

Figure 4.15.	Total average GHG emissions by Farm size	168
Figure 4.16.	Total average GHG emissions by Gender	170

Chapitre 5. Solar Energy Adoption and Greenhouse Gas Emissions in Agriculture: Evidence from Horticultural Production in Senegal

Figure 5.1.	Linking Solar Irrigation to GHG Emissions Reduction	184
Figure 5.2.	Details of GHG measures	187

Résumé

Face au double défi de garantir la sécurité alimentaire mondiale et de répondre à l'urgence climatique, cette thèse interroge l'efficacité économique et la durabilité environnementale des soutiens publics agricoles. La première partie est consacrée à l'analyse des outils de mesure de ces soutiens. Elle propose un cadre de consolidation des données pour améliorer le suivi et la comparabilité internationale des politiques de soutien et questionne leur efficacité ainsi que leurs orientations en matière de durabilité. Ainsi le Chapitre 1 surmonte une fragmentation des données internationales en les consolidant autour d'un « Observatoire mondial des soutiens publics », couvrant 93 pays représentant plus de 90 % de la valeur de la production agricole mondiale. Le second chapitre questionne l'efficacité des soutiens publics agricoles en Afrique subsaharienne. Il évalue la pertinence de la cible politique de 10 % fixée par la déclaration de Maputo sur les dépenses publiques agricoles. Les résultats mettent en évidence une relation non linéaire où le seuil d'efficacité des dépenses pour stimuler la valeur ajoutée agricole se situe autour de 14-15 %. Le chapitre 3 dresse une analyse d'économie politique globale des soutiens publics, montrant qu'en dépit des défis en lien avec le changement climatique, la majorité des soutiens publics agricoles demeure faiblement alignée avec les Objectifs du développement durable (ODD). La seconde partie change d'échelle pour évaluer l'impact de l'irrigation solaire dans la zone des Niayes (Sénégal). Le bilan carbone de 804 producteurs révèle que 85 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) proviennent des pratiques de fertilisation et non de l'énergie. L'analyse met en lumière des inégalités structurelles, notamment de genre avec les exploitations dont le chef est une femme émettant jusqu'à cinq fois plus de GES par kilo de produit, en raison de rendements plus faibles. L'évaluation d'impact par propensity score matching (PSM) montre que l'adoption du solaire réduit les émissions totales de 47 % à 57 %, essentiellement par la substitution des énergies fossiles. L'adoption partielle (solaire/fossile) se révèle inefficace pour réduire les émissions, ce qui plaide pour des politiques soutenant une transition technologique complète. Les conclusions de la thèse invitent à une réorientation structurelle des politiques agricoles, fondée sur leur efficacité et leur cohérence avec les ODD. Relever ce défi exigera non seulement de mieux mesurer, comprendre et anticiper les impacts des politiques, mais également une forte volonté politique pour les traduire en réformes efficaces.

Mots-clés : Soutiens publics ; Agriculture ; Dépenses publiques ; Maputo ; Durabilité ; Irrigation solaire ; Émissions de GES ; Afrique subsaharienne, Sénégal.

Abstract

Faced with the dual challenge of ensuring global food security and responding to the climate emergency, this thesis examines the economic efficiency and environmental sustainability of public agricultural support. The first part focuses on analyzing the tools used to measure this support. It proposes a data consolidation framework to improve the monitoring and international comparability of support policies, while questioning their effectiveness and sustainability orientation. Consequently, Chapter 1 overcomes the fragmentation of international data by consolidating them into a "Global Observatory of Public Support," covering 93 countries representing over 90 % of the global value of agricultural production. Chapter 2 questions the effectiveness of public agricultural support in Sub-Saharan Africa. It assesses the relevance of the 10 % policy target set by the Maputo Declaration regarding public agricultural expenditure. The results highlight a non-linear relationship, indicating that the expenditure efficiency threshold for boosting agricultural value added actually lies around 14–15 %. Chapter 3 provides a global political economy analysis of public support, showing that despite climate change challenges, the majority of public agricultural support remains weakly aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs). The second part shifts scale to evaluate the impact of solar irrigation in the Niayes zone (Senegal). The carbon footprint assessment of 804 producers reveals that 85 % of greenhouse gas (GHG) emissions stem from fertilization practices rather than energy. The analysis highlights structural inequalities, particularly regarding gender, with women emitting up to five times more GHG per kilogram of produce due to lower yields linked to restricted access to resources. The impact evaluation (PSM) shows that solar adoption reduces total emissions by 47 % to 57 %, primarily through the substitution of fossil fuels. Partial adoption (solar/fossil) proves ineffective in reducing emissions, advocating for policies that support a full technological transition. The thesis concludes by calling for a structural reorientation of agricultural policies, based on their efficiency and coherence with the SDGs. Meeting this challenge will require not only better measuring, understanding, and anticipating policy impacts, but also the political courage to translate them into effective reforms.

Keywords: Public support; Agriculture; Public expenditure; Maputo; Sustainability; Solar irrigation; GHG emissions; Sub-Saharan Africa; Senegal.