

# EVALUATION DE L'IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES SOLAIRES D'IRRIGATION PAR LES FEMMES HORTICULTRICES DANS LA ZONE DES NIAYES AU SÉNÉGAL

Dr Saboury Ndiaye , Dr Blaise W Bass

Dr Saboury Ndiaye , Dr Blaise W Bass

©2025,



This work is licensed under the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction, provided the original work is properly credited. Cette œuvre est mise à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>), qui permet l'utilisation, la distribution et la reproduction sans restriction, pourvu que le mérite de la création originale soit adéquatement reconnu.

*GRANT / SUBVENTION: - ENERGY TRANSITION FOR WOMEN'S ECONOMIC EMPOWERMENT THROUGH  
THE HORTICULTURAL VALUE CHAIN IN GUINEA AND SENEGAL*

# PROJET WEL

La transition énergétique pour l'autonomisation économique  
des femmes à travers la chaîne de valeur horticole dans un contexte  
post-Covid en Guinée et au Sénégal



## Evaluation de l'impact socio-économique de l'adoption des technologies solaires d'irrigation par les femmes horticultrices dans la zone des Niayes au Sénégal

Dr Saboury Ndiaye  
Dr Blaise Waly Basse

Equipe de recherche  
Cheikh Faye  
Isac Mingou  
Dr Maramé Cissé  
Elisabeth Gueye  
Dr Laure Tall



# PROJET WEL

**La transition énergétique pour l'autonomisation économique des femmes à travers la chaîne de valeur horticole dans un contexte post-Covid en Guinée et au Sénégal**

## **Evaluation de l'impact socio-économique de l'adoption des technologies solaires d'irrigation par les femmes horticultrices dans la zone des Niayes au Sénégal**

**Dr Saboury Ndiaye  
Dr Blaise Waly Basse**

**Equipe de recherche  
Cheikh Faye  
Isac Mingou  
Dr Maramé Cissé  
Elisabeth Gueye  
Dr Laure Tall**



# Table des matières

1.	Résumé exécutif .....	9
2.	INTRODUCTION .....	11
2.1.	La transition énergétique en Afrique .....	11
2.2.	La Technologie Solaire pour l'Irrigation, une opportunité pour booster la production horticole.....	12
2.3.	L'irrigation solaire, une opportunité pour l'autonomisation économique des femmes si les contrôles d'accès et de contrôle et de participation à la prise de décision sont levés. ....	13
2.4.	Intégration progressive des technologies solaires dans les politiques et stratégies de développement agricole et rural au Sénégal .....	14
3.	Les objectifs de l'étude et questions d'évaluation .....	17
4.	Méthodologie.....	18
4.1.	Zone d'étude .....	18
4.2.	Echantillonnage .....	18
4.3.	Données d'enquête.....	20
4.4.	Méthode d'estimation des taux d'adoption et déterminants d'adoption de la TSI	21
4.5.	Méthode d'évaluation de l'impact socio-économique de l'adoption des TSI par le Propensity Score Matching ou appariement .....	23
5.	Résultats et discussions.....	27
5.1.	Déterminants de l'adoption des TSI des femmes hortultrices .....	27
5.2.	Estimation des taux d'adoption des TSI au niveau des ménages où les femmes s'activent dans l'horticulture .....	30
5.3.	Impact de l'utilisation de l'énergie solaire sur le revenu agricole, le coût d'irrigation des femmes hortultrices .....	31
6.	Conclusion et recommandations.....	33
7.	Références Bibliographiques .....	34

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Communes où les femmes s'activent dans la production horticole et où les technologies solaires sont utilisées par sous-zone des Niayes .....	17
Tableau 2 : Répartition des personnes enquêtées selon le sexe par zone .....	19
Tableau 3 : Répartition des personnes enquêtées selon le sexe et l'utilisation du solaire par zone ...	19
Tableau 4 : Conditions d'équilibrage .....	24
Tableau 5 : Déterminants adoption TSI au niveau des femmes horticultrices .....	28
Tableau 6 : Taux d'utilisation et écart d'utilisation de l'énergie solaire au niveau ménage.....	30
Tableau 7 : Estimation de l'impact de l'adoption du solaire sur le revenu des femmes horticultrices et le cout d'irrigation.....	31

## Liste des Figures

Figure 1 : Carte de géo référencement des localités couvertes par les enquêtes.....	16
Figure 2 : Test de support commun .....	25

## Liste des Sigles et Abréviations

<b>ANER</b>	Agence Nationale pour les Energies Renouvelables
<b>ATE</b>	Effet Moyen du Traitement dans la population totale
<b>ATE1</b>	Effet Moyen du Traitement dans la population des traités
<b>ATE0</b>	Effet Moyen du Traitement dans la population des non traités
<b>CDN</b>	Contribution Déterminée au niveau National
<b>MCA</b>	Millennium Challenge Account
<b>OIT</b>	Organisation Internationale du Travail
<b>ONG</b>	Organisation Non Gouvernementale
<b>PSE</b>	Plan Sénégal Emergent
<b>TSI</b>	Technologies Solaires d'Irrigation
<b>UNESCO</b>	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
<b>ODD</b>	Objectif de Développement Durable



# 1. Résumé exécutif

Les effets combinés de la récente crise énergétique due à la guerre russo-ukrainienne et de la COVID-19 ont accentué la vulnérabilité des petits exploitants horticoles en particulier les femmes, qui sont fortement dépendantes des pompes à diesel et de l'électricité pour l'irrigation des parcelles agricoles. Cette situation inédite repose le débat sur la transition énergétique pour un accès équitable et inclusif à des sources d'énergie à moindre coût, propres, sobres en carbone, agité lors de la COP 29 de 2023. A l'image des autres pays d'Afrique Subsaharienne, au Sénégal, les acteurs publics et privés sont en train de mettre en œuvre des cadres politiques, réglementaires et des projets pour promouvoir la diffusion des technologies solaires d'irrigation au sein des exploitations agricoles familiales dans le but de promouvoir une agriculture à haute productivité et à faible émission de gaz à effet de serre. Toutefois, partant du fait que les femmes constituent la principale force de travail des exploitations agricoles familiales et qu'elles continuent à subir les effets des inégalités de sexe dans l'accès et le contrôle des ressources productives agricoles, il est important de comprendre dans quelle mesure la diffusion des technologies solaires d'irrigation est inclusive et constitue une voie vers l'autonomisation économique des femmes horticultrices.

C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude portant sur « *l'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* », mise en œuvre dans le cadre du projet recherche-action « *la transition énergétique pour l'autonomisation économique des femmes à travers la chaîne de valeur horticole dans un contexte post-Covid en Guinée et au Sénégal* », financé par le CRDI et exécuté par IPAR. L'étude utilise un modèle probit, la méthode de l'effet moyen du traitement et la méthode de l'appariement pour respectivement répondre aux trois questions de recherche suivantes : quels sont les facteurs socio-économiques qui favorisent ou entravent l'adoption des technologies solaires d'irrigation par les femmes horticultrices ? quels sont les taux d'adoption des technologies solaires au niveau des ménages où les femmes s'activent dans l'horticulture ? l'adoption des technologies solaires d'irrigation a-t-elle un impact sur le revenu et le coût d'irrigation des femmes horticultrices ?

Les résultats de l'étude montrent que certains facteurs favorisent l'accès et l'utilisation du solaire par les femmes horticultrices. Il ressort de l'étude que la participation des femmes dans la prise de décision relatives aux activités horticoles au sein des ménages agricoles est un moyen efficace pour promouvoir l'accès et l'utilisation des technologies solaires par les femmes. Également, l'étude a montré que lorsque la femme a un accès sécurisé à la terre et qu'elle a une superficie plus grande (au moins un hectare), elle est susceptible d'avoir accès et d'utiliser les technologies solaires d'irrigation. Aussi, l'étude a-t-elle montré qu'au sein des ménages polygames, le positionnement de la femme en tant que première épouse du chef de ménage augmente la possibilité pour elle d'avoir accès et d'utiliser les technologies solaires contrairement aux femmes qui sont la seconde et la troisième position. Enfin, il ressort de l'étude que les femmes veuves ont une tendance à avoir accès et utiliser les technologies solaires d'irrigation et que ce sont les femmes qui ont la charge de travail champêtre la plus importante qui sont plus susceptibles d'utiliser les technologies solaires d'irrigation.

Les résultats de l'étude révèlent que l'information et la sensibilisation sur l'existence des technologies solaires d'irrigation ainsi que les conditions d'accès des ménages au sein desquels des femmes s'activent dans l'horticulture ont un impact positif et significatif sur la décision de ces ménages d'adopter les technologies solaires d'irrigation. En effet, parmi les ménages horticoles informés et sensibilisés sur les technologies solaires, le taux d'adoption est de 50%. Au sein des ménages qui ne connaissent pas encore les technologies solaires d'irrigation, l'étude montre que 32% d'entre eux l'auraient adopté s'ils avaient été informés et sensibilisés. Enfin, le taux d'adoption potentielle des technologies solaires de 51% montre que l'information



et la sensibilisation sur le solaire sont une condition nécessaire mais non suffisante, à elles seules, pour favoriser une adoption massive des technologies solaires au sein des ménages agricoles. Lors des discussions de groupe, les femmes ont énuméré certaines contraintes à l'adoption du solaire, notamment la cherté du coût d'acquisition des technologies solaires, les difficultés d'accès au foncier et les contraintes d'accès au crédit. Cela met en exergue la nécessité de mettre en place des mesures incitatives pour subventionner les coûts d'acquisition des technologies solaires, faciliter l'accès à la terre et au crédit.

Enfin, les résultats de l'étude montrent que l'adoption du solaire a un impact positif et significatif sur le revenu agricole et le coût d'irrigation des femmes horticultrices. En effet, les femmes horticultrices utilisatrices des technologies solaires augmentent leur revenu agricole de plus 200 000 Fcfa et réduisent leur coût d'irrigation de moins 125 000 Fcfa, comparées aux femmes horticultrices non utilisatrices des technologies solaires d'irrigation.

En guise de conclusion et de recommandations, les résultats de l'étude révèlent que les technologies solaires d'irrigation peuvent être une voie efficace vers l'autonomisation économique des femmes et les réductions des inégalités de genre. Pour que les politiques et les mesures de soutien en faveur de la diffusion des technologies solaires d'irrigation soient inclusives et profitables aux femmes, il devient primordial d'associer à ces initiatives des investissements complémentaires qui contribuent à la réduction des inégalités de genre, notamment à travers l'amélioration de l'accès sécurisé au foncier et aux technologies, l'augmentation des superficies horticoles allouées aux femmes et l'appui à la valorisation, le renforcement de la participation des femmes à la prise de décision dans les activités agricoles. Il serait également nécessaire de mettre en place des mesures incitatives favorables aux femmes horticultrices, notamment la subvention du coût d'acquisition des technologies solaires et la mise en place de lignes de financements adaptés pour les femmes. Cela nécessite la création et l'animation de cadres de dialogue politique multi-acteurs, le plaidoyer, le lobbying sur la promotion de l'accès, le contrôle et l'utilisation des technologies solaires pour les femmes horticultrices, ainsi que le renforcement des capacités des acteurs par rapport à la problématique des inégalités de genre dans les énergies renouvelables.

## 2. INTRODUCTION

### 2.1. La transition énergétique en Afrique

Des études ont indiqué que, pour répondre à la demande alimentaire croissante des populations, la plupart des pays d'Afrique subsaharienne ont l'intention d'améliorer la capacité de production et la productivité agricoles en adoptant des technologies de production modernes qui favorisent l'intensification des pratiques agricoles ; ce qui risque d'accentuer la pression sur l'environnement (Es'haghi et al., 2022 ; Agula et al., 2018). Ceci est particulièrement visible dans les zones irriguées où les exploitants utilisent principalement des systèmes d'irrigation à base de diesel et d'électricité, mais qui contribuent aux émissions de gaz à effet de serre, à la hausse des coûts de production, d'entretien et de maintenance fréquents. Au cours des cinq dernières années, la dépendance aux énergies fossiles pour l'intensification agricole a montré des limites. En effet, les crises récentes qui ont secoué l'humanité, à savoir la COVID-19 et la Guerre Russo-Ukrainienne, ont négativement impacté les conditions de vie des agriculteurs, en particulier les femmes et les jeunes, à cause de la hausse des prix des intrants agricoles (carburant pour l'irrigation, engrais), des difficultés d'accès aux semences de qualité ainsi que de la commercialisation des produits agricoles.

Cela repose le débat sur la transition énergétique pour promouvoir l'accès des petits agriculteurs à des sources d'énergies propres et à des prix abordables afin d'optimiser la productivité et les revenus agricoles. Ce débat sur les énergies a été agité par les discussions lors de la Conférence des Parties (COP 28) tenue à Dubaï du 30 novembre au 12 décembre 2023. Pour la première fois, un accord historique venait d'être adopté, amenant 200 pays à s'accorder sur un texte qui appelle à faire une transition hors des énergies fossiles (notamment le charbon, le pétrole et le gaz). Comme alternative, la communauté internationale plaide en faveur de la promotion des énergies renouvelables pour un développement durable dans ce contexte de changement climatique. Ainsi, le texte propose-t-il de tripler les énergies renouvelables et de doubler l'efficacité énergétique en 2030, l'opérationnalisation du fonds pour les pertes et préjudices et la mise en place d'un cadre en matière d'adaptation.

En Afrique, la transition énergétique présente à la fois des risques et des opportunités. D'abord, l'Afrique présente une position unique du fait qu'elle a la plus forte croissance en demande d'énergie moderne et détient les taux les plus faibles d'accès à ces formes d'énergie (AIE, 2022c). En outre, le continent a le taux de croissance démographique de l'Afrique qui est deux fois supérieur à la moyenne mondiale, soit environ 2,5 % par an (ONU, 2022) ; ce qui entraîne une forte demande énergétique car l'accès à l'électricité n'est que de 43 % et l'accès à l'énergie pour la cuisson propre est seulement de 17 % (AIE 2022b). En effet, la production actuelle d'électricité par habitant en Afrique subsaharienne est très faible par rapport aux normes internationales – elle est estimée à environ 200 kWh/habitant/an – et les projections de l'IRENA et de l'AIE ne prévoient qu'une augmentation jusqu'à 500 à 700 kWh/habitant/an d'ici à 2030, même dans l'hypothèse d'un accès universel pour les ménages (AIE 2022a ; IRENA 2020). À titre de comparaison, la production annuelle par habitant est actuellement d'environ 5 400 kWh en Chine et d'environ 1 100 kWh en Inde (IWR, 2020).

Du fait de ces potentialités en ressources solaire, éolienne et hydro-électrique, le continent africain présente des avantages comparatifs pour la promotion des énergies renouvelables (Sterl et al., 2022 ; Sterl 2021a, 2021b). Les analyses récentes de l'Africa Energy Outlook de l'AIE (AIE, 2022a) et du World Energy Transitions Outlook de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) (IRENA, 2022c) montrent que la plupart des pays africains pourraient et devraient passer rapidement à des systèmes d'électricité basés sur les énergies renouvelables et réduire au minimum la construction de nouvelles infrastructures de combustibles fossiles.

Certains dirigeants politiques ont fait écho à cette déclaration ; par exemple, les deux derniers présidents du Kenya ont affirmé l'objectif de passer à 100 % d'énergie propre d'ici 2030 (Kuhudzai, 2022).

A contrario, des organisations, des experts et dirigeants politiques soutiennent que l'Afrique devrait tirer profit de la valorisation de ces ressources pétrolières et gazières pour l'industrialisation et les recettes d'exportation tout en marchant vers la transition énergétique. Ce point de vue a été propagé, entre autres, par la Chambre africaine de l'énergie (AEC 2020), la Société financière africaine (AFC, 2022) et l'UNECA (UNECA, 2020). Ces institutions estiment que le gaz devra jouer un rôle important dans les systèmes énergétiques nationaux et que les exportations de pétrole et de gaz pourraient fournir des recettes d'exportation indispensables aux pays disposant de réserves. L'idée que les pays africains devraient accueillir favorablement de nouveaux investissements dans les infrastructures de combustibles fossiles a été reprise par plusieurs dirigeants politiques, tels que les Présidents du Sénégal (Koc et al., 2022) et du Niger. Au Sénégal, le pays compte s'appuyer sur la valorisation des gisements de pétrole et du gaz qu'il a découverts récemment, tout en promouvant le mix énergétique. Cela s'est matérialisé par la signature en juin 2023, par le Gouvernement sénégalais, du Partenariat pour une Transition énergétique juste dont l'ambition est de porter la part des énergies renouvelables dans notre mix énergétique de 31 à 40% d'ici 2030.

Face aux urgences de satisfaction des besoins énergétiques des agriculteurs en général et des horticulteurs en particulier pour l'irrigation, le basculement vers les énergies renouvelables passe pour une solution mais à condition qu'elles soient accessibles et à des coûts abordables surtout pour les petits exploitants agricoles, en particulier les femmes et les jeunes. Dans la même veine, le recours aux énergies fossiles, notamment le pétrole et le gaz, n'est profitable aux agriculteurs que lorsqu'elles sont également accessibles et à moindre coût.

## **2.2. La Technologie Solaire pour l'Irrigation, une opportunité pour booster la production horticole**

La TSI peut contribuer à la réalisation d'un certain nombre d'objectifs de développement durable (ODD) importants, notamment la sécurité alimentaire (ODD 2), la gestion durable des ressources en eau (ODD 6) et l'adaptation au changement climatique (ODD 13) (IRENA, 2016 ; Shah et al., 2018). Les TSI sont de plus en plus reconnues en tant que source d'énergie alternative propre et rentable, comparée aux combustibles fossiles dans le secteur agricole, car ils permettent le développement d'une irrigation à faible émission de carbone et peuvent réduire la dépendance au diesel et à l'électricité, surtout dans les pays où l'accès à l'électricité est limité (IRENA, 2016 ; Mukherji et al., 2017). En outre, la recherche a démontré que les TSI peuvent augmenter le rendement des cultures et aider les agriculteurs à pratiquer des cultures commerciales plus rentables (IRENA, 2016 ; Mukherji et al., 2017). Une étude comparative des pompes solaires et des pompes diesel a montré que les producteurs tirent plus d'avantages avec le pompage solaire, notamment un faible coût d'exploitation, une installation facile, une maintenance réduite et une longue durée de vie par rapport au coût élevé du carburant et de la maintenance d'un moteur diesel, un fonctionnement sans surveillance (Rana et al., 2021). Du point de vue écologique, l'étude menée par Guno et al. (2022) souligne les avantages suivants : une réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 26,5 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>/ha/an et d'évitement des émissions de polluants atmosphériques tels que le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, les oxydes de soufre et les matières particulaires ; des économies d'énergie réalisées entre 11,36 et 378,54 L/ha de diesel par an entraînant une valeur actuelle nette comprise entre -1255 USD/ha et 68 582 USD/ha, des retours sur investissement de 30 % à 2958 %, avec une moyenne de 315 %, et une période de récupération de 0,3 à 30 ans, avec une moyenne de 2,88 ans. Une étude d'impact de l'irrigation solaire au niveau des ménages bénéficiaires et non bénéficiaires, réalisée au Bénin par Burney et al. (2010), a montré que l'irrigation au goutte-à-goutte, alimentée par l'énergie solaire, augmente de manière significative le revenu des ménages et l'apport nutritionnel, en particulier

pendant la saison sèche. De même, les résultats de l'étude révèlent que cette irrigation solaire est économiquement avantageuse par rapport à d'autres technologies. Malgré ces avantages, la diffusion réelle des technologies solaires pour l'irrigation reste lente en raison du coût initial élevé des technologies, du manque de disponibilité des technologies et des services d'appui (financement, vulgarisation, subvention), du manque de coordination entre les parties prenantes (Balana et al., 2020 ; Minh et al., 2020 ; Atuobi-Yefoah et al., 2020).

### **2.3. L'irrigation solaire, une opportunité pour l'autonomisation économique des femmes si les contrôles d'accès et de contrôle et de participation à la prise de décision sont levés.**

Les TSI sont souvent considérées comme des solutions permettant aux femmes agricultrices d'économiser du temps et de la main-d'œuvre, ce qui peut impacter positivement la santé et la nutrition des ménages ruraux. Par exemple, dans le nord du Bénin, Sehgal (2011) démontre que les femmes horticultrices, qui utilisent des systèmes d'irrigation au goutte-à-goutte alimentés par l'énergie solaire, passent 50 % de temps en moins à s'occuper de leurs parcelles par rapport aux méthodes traditionnelles d'arrosage manuel. Par conséquent, cela leur a permis d'allouer du temps à d'autres activités génératrices de revenus, telles que la pêche et l'élevage de lapins. De même, Upadhyay (2004), dans son étude sur le genre et les technologies de petite irrigation au Népal, révèle que l'adoption de technologies d'irrigation simples, comme les kits de goutte à goutte, a permis d'alléger la charge de travail des femmes, d'augmenter les revenus des ménages et d'avoir des effets positifs sur la sécurité alimentaire et la nutrition des ménages. En outre, des cas similaires de réduction de la charge de travail des femmes pour aller chercher de l'eau suite à la mise en place de pompes solaires ont été rapportés au Kenya (Njuki et al., 2014), au Zimbabwe (Magrath, 2015), en Afrique du Sud, en Amérique latine et en Éthiopie (Nigussie et al., 2017).

Les recherches indiquent que la technologie solaire pour l'irrigation a le potentiel de combler le gap des inégalités de genre dans l'agriculture et d'autonomiser les femmes (Huyer, 2016 ; Mohideen, 2018 ; Graham et al. 2016 ; van Houweling et al., 2012 ; Burney et al., 2010 ; Savacool et Drupady 2012). Une étude menée au Ghana par Bryan et Garner (2022) a montré que les femmes qui pratiquent l'irrigation solaire en saison sèche sont très respectées par la communauté et leur famille, ce qui leur permet d'améliorer leur statut social. En effet, la disponibilité des motopompes solaires a indirectement profité aux femmes en réduisant leur temps de travail, ce qui leur a permis de se concentrer sur des activités plus favorables sur le plan économique et d'explorer des voies d'autonomisation au-delà de l'agriculture. La même étude souligne que les femmes qui utilisent l'irrigation solaire ont fait état d'avantages directs, notamment le contrôle des revenus générés par leurs parcelles cultivées (Bryan et Garner, 2022). Des résultats similaires soulignent que les projets d'irrigation spécifiquement conçus pour les femmes, tels que les jardins familiaux irrigués avec le solaire, offrent des avantages directs tels que l'augmentation des actifs, le contrôle des revenus par les femmes et le renforcement du pouvoir de décision (Njuki et al., 2014 ; Alaofè et al., 2016 ; Nigussie et al., 2017 ; Bryan et Garner, 2020). En outre, l'utilisation des technologies de l'information et de la communication pour la promotion de l'irrigation solaire est de plus en plus populaire pour réduire l'écart de connaissances entre les agriculteurs et les agricultrices et améliorer le statut social des femmes (Mittal, 2016 ; Zhu et al., 2022).

Malgré que les femmes constituent la principale force de travail des exploitations familiales horticoles, elles éprouvent toujours des contraintes d'accès et de contrôle des ressources productives, notamment la terre et les technologies agricole, au crédit, aux intrants agricoles, à l'information, aux formations, comme les plateformes solaires d'irrigation ainsi que les autres facteurs de production (Hartung et Pluschke 2018 ; Adisa 2020 ; Adisa 2020 ; Deere et Doss, 2006 ; Doss et Morris, 2001 ; Peterman et al., 2014 ; Nation, 2010 ; Van Koppen, Hope et Colenbrande ; Adisa 2020 ; Flammini et al. 2019 ; Closas et Rap 2019). Par ailleurs, un manque d'attention à l'intersection du genre et des relations de pouvoir social lors de la planification et



de la mise en œuvre des technologies peut conduire à la déresponsabilisation, à de faibles taux d'adoption et à l'échec des programmes en faveur des pauvres, notamment les femmes (Doss, 2018 ; Fischer et al., 2018 ; Belete et Surafel, 2020). Malgré l'importance d'un développement et d'un déploiement de technologies sensibles au genre, de nombreux projets liés à l'agriculture et à l'énergie ont tendance à se concentrer étroitement sur les aspects techniques de l'adoption, de l'utilisation et des avantages. Des études existantes ont mis en évidence l'exclusion systémique et structurelle des femmes des services énergétiques et technologiques, avec un accès limité aux technologies des énergies renouvelables et un manque de participation à la planification et à la prise de décision sur l'utilisation des énergies renouvelables (ADB, 2018 ; Lieu et al., 2020). Les coûts initiaux élevés des technologies solaires peuvent également limiter l'accès des femmes et des groupes défavorisés aux services énergétiques. Il existe des preuves qui suggèrent que la propriété et l'accès aux énergies renouvelables, comme le solaire, et aux programmes de formation et d'éducation profitent souvent aux hommes les plus favorisés, alors que les femmes et les groupes défavorisés ont un accès limité à ces programmes (Bhatta, 2016).

Les normes et pratiques discriminatoires entravent l'accès des femmes à l'énergie (Dutta et al., 2017 ; Doss, 2018). Les stéréotypes et les perceptions liés au genre peuvent également démotiver les femmes à adopter des technologies, en particulier dans des domaines comme l'irrigation qui sont traditionnellement considérés comme dominés par les hommes (ADB, 2020). En outre, l'adoption d'une technologie au niveau du ménage ne profite pas nécessairement à tous les membres du ménage de la même manière, car la structure du ménage et les relations hommes-femmes au sein du ménage peuvent favoriser ou limiter le bénéfice équitable de la technologie (Fischer et al., 2018 ; Theis et al., 2018). En outre, les études suggèrent que dès qu'une activité est mécanisée et devient rentable, elle est accaparée par les hommes (van Eerdewijk et Danielsen, 2015 ; Fischer et al., 2018 ; Theis et al. et al., 2018). La dépendance des femmes à l'égard des membres masculins de la famille ou des techniciens pour les réparations, même mineures, des technologies énergétiques peut également limiter le contrôle qu'elles exercent sur ces technologies (Mahat, 2006). Ainsi, la technologie peut avoir des effets à la fois positifs et négatifs sur l'autonomisation des femmes, en renforçant potentiellement leur pouvoir de décision sur la production et les revenus ou en reproduisant les inégalités de genre existantes et la répartition inégale de la main-d'œuvre sous de nouvelles formes (Bryan et Garner, 2022).

#### **2.4. Intégration progressive des technologies solaires dans les politiques et stratégies de développement agricole et rural au Sénégal**

La promotion des énergies renouvelables fait partie des priorités du Gouvernement du Sénégal, conformément à ses engagements au niveau de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique. Le Plan Sénégal Emergent (PSE) 2014-2035, qui est le cadre de référence des stratégies, projets et programmes de développement, accorde une importance capitale au développement des énergies renouvelables, y compris l'énergie solaire. Le PSE consacre, dans son Axe 2 « Capital humain, protection sociale et développement durable », les objectifs stratégiques pour promouvoir les énergies renouvelables afin de favoriser l'accès des populations aux énergies durables et propres dans le but de réduire la dégradation de l'environnement, des ressources naturelles et les effets néfastes du changement climatique. Dans le plan d'action prioritaire 2019-2023 du Plan Sénégal Emergent, le Gouvernement avait fixé un objectif de faire passer la part des énergies renouvelables dans le mixte-énergétique de 17% à 29% (PSE, 2019). Au niveau sectoriel, le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) a défini une Lettre de Politique Sectorielle pour le Développement Durable (LPSDD) 2016-2020. L'Axe 2 est consacré au développement durable et vise comme objectif stratégique d'intégrer les principes du développement durable dans les politiques publiques, la gestion du cadre de vie, la promotion de moyens d'existence, la résilience des groupes vulnérables et les modes de production et de consommation. A ce titre, elle promeut l'utilisation

des énergies renouvelables pour passer de l'option 15% à 30 ou 40 % pour le mixénergétique entre 2020, 2025. Ce document mentionne explicitement l'énergie solaire. Dans le cadre de la Contribution Nationale Déterminée (CDN), révisée de 2020, le Gouvernement du Sénégal a identifié l'énergie parmi les principaux secteurs sur lequel il compte s'appuyer pour réduire les émissions de gaz à effet de serre à travers la promotion de l'énergie solaire, éolienne et l'hydro-électricité. Dans ce cadre, le Gouvernement vise, d'ici 2030, à atteindre une capacité cumulée installée en solaire de 335 MW, 250 MW en éolien, 314 MW en hydro électricité. Dans cette optique, des politiques et stratégies, des cadres juridiques, réglementaires et des incitations en faveur de la promotion des énergies renouvelables y compris le solaire ont été mis en oeuvre . A titre illustratif peut être cité :

- La Loi n°2010 du 20 décembre 2010 d'orientation sur l'énergie renouvelable qui vise à promouvoir le développement des énergies renouvelables sur l'ensemble du Sénégal ;
- Le décret n° 2011-2013 prévoit les conditions d'achat et de rémunération de l'électricité produite par les installations de production d'énergie renouvelable et les conditions de leur raccordement au réseau. Il fournit également la formule du coût évité qui sert de référence pour le calcul du plafond du prix d'achat de l'électricité ;
- Le décret n° 2011-2014 précisant les conditions d'achat de l'électricité renouvelable excédentaire auprès des producteurs d'énergie;
- Le Décret n°2013-684 portant création, organisation et fonctionnement de l'agence nationale pour les énergies renouvelables (ANER) ;
- L'arrêté interministériel n° 010 158 du 28 mai 2020, fixant les conditions d'exonération de la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) sur une liste de vingt-deux matériaux utilisés dans la production d'énergie renouvelable d'origine solaire, éolienne et biogaz ;
- Le nouveau code général des impôts prévoit un certain nombre d'avantages fiscaux et d'incitations fiscales favorables à la promotion des énergies renouvelables dans les chaînes de valeur agricoles. Selon l'article 241 du code général des impôts, les entreprises agricoles qui investissent dans l'énergie solaire ou éolienne peuvent bénéficier d'une réduction de leurs impôts sur le revenu allant jusqu'à 30 % de la valeur de l'investissement. Entre autres, l'article 242 du Code général des impôts fait explicitement référence aux stations de pompage solaire comme étant éligibles à cette réduction. Pour le cas précis de l'exonération des droits de douanes et de la TVA, celle-ci concerne l'assemblage de toute l'installation (panneau, pompe solaire).

Des incitations financières pour l'accès aux technologies solaires pour l'irrigation sont également promues au niveau des institutions financières internationales (Banque Mondiale, Banque Africaine de Développement, etc.) à travers des lignes de financement logées au niveau des banques nationales de développement. Au Sénégal, la Banque Agricole (LBA), qui est accréditée au fonds vert climat, a inscrit l'agriculture intelligente face au changement climatique dans les projets productifs qu'elle finance dans le secteur agricole et agro-alimentaire. Des projets et programmes de développement et des organisations non gouvernementales appuient la diffusion des technologies solaires d'irrigation au niveau des organisations de producteur, en subventionnant totalement ou partiellement les coûts d'acquisition des technologies solaires d'irrigation.

Bien que plusieurs initiatives de promotion des technologies solaires d'irrigation soient mises en oeuvre au Sénégal par des acteurs étatiques et non étatiques, l'impact de ces interventions sur les petits exploitants agricoles, notamment les femmes, n'a pas fait l'objet d'études approfondies au Sénégal. Il est important de comprendre les dimensions de genre et les technologies solaires d'irrigation au Sénégal, où l'on observe une forte incidence de la féminisation des activités



horticoles. Cette étude vise à combler ce gap de connaissance en examinant le niveau d'adoption de la technologie solaire d'irrigation et en analysant l'impact socio-économique, sur les femmes, de l'adoption des technologies solaires dans la zone des Niayes au Sénégal. La réponse à cette question, qui relève du domaine de l'économie du développement, permettra d'apprendre des expériences passées (Krugman, 2000) et de pouvoir élaborer des politiques fondées sur des preuves (Abhijit et Duflo, 2011). De ce point de vue, l'évaluation d'impact devient un outil d'aide à la décision et de gouvernance afin de combler le gap de connaissance.

### 3. Les objectifs de l'étude et questions d'évaluation

Les objectifs de l'étude sont :

- Estimer les taux d'adoption et les déterminants de l'adoption des technologies solaires d'irrigation dans la zone des Niayes au niveau des ménages et femmes horticultrices ;
- Déterminer l'impact de l'utilisation de l'énergie solaire sur le revenu des femmes et des hommes, le coût d'irrigation dans la zone des Niayes.

En rapport avec l'objectif de l'étude, les questions d'évaluation peuvent être formulées comme suit

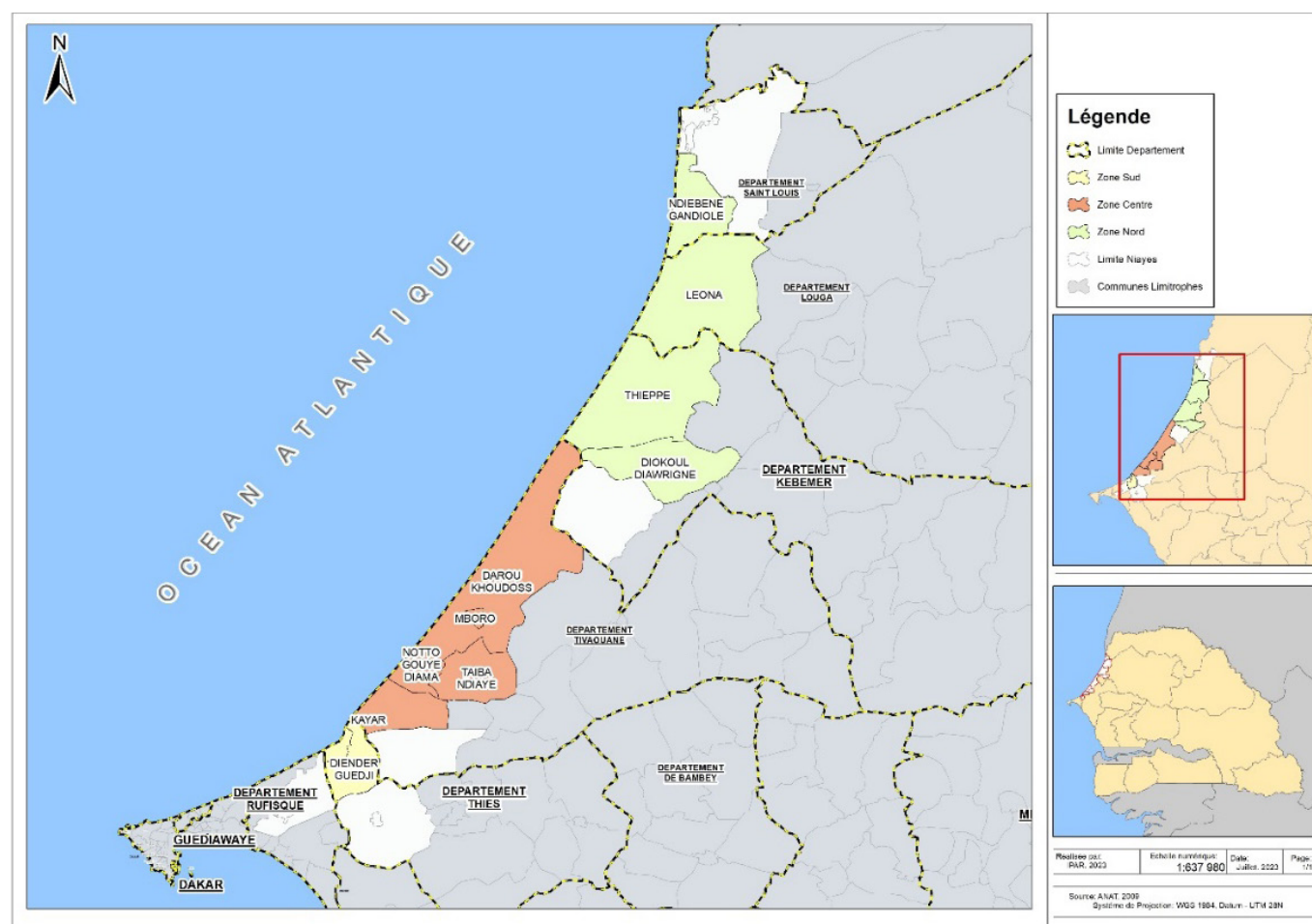
- Quels sont les taux d'adoption réelle et potentielle des technologies solaires au niveau des ménages horticoles ?
- Quels sont les facteurs socio-démographiques qui influencent la décision d'utilisation ou non des technologies solaires ?
- Quel est l'impact de l'utilisation de l'énergie solaire sur le revenu agricole des femmes utilisatrices et non utilisatrices du solaires ?

## 4. Méthodologie

### 4.1. Zone d'étude

Les données utilisées dans cette étude proviennent d'une enquête réalisée par IPAR (2023) dans la Zone des Niayes (Carte 1). La zone des NIAYES où la production horticole est plus importante comparativement à toutes les autres zones agro-écologiques du Sénégal. La zone des Niayes occupe la frange atlantique de la côte sénégalaise et s'étend sur une bande de 180 Km de longueur et une largeur de 5 à 30 Km. Elle est à cheval sur quatre régions administratives : Dakar, Saint Louis, Louga et Thiès. Elle est limitée à l'Ouest par l'océan Atlantique et à l'Est par la route nationale Thiès-Saint-Louis (Pape M. Dieng et Al, 2020).

**Figure 1 : Carte de géo référencement des localités couvertes par les enquêtes**



Source : IPAR, Enquête WEL Sénégal, 2022.

Pour mieux évaluer l'impact de l'irrigation solaire, l'enquête a identifié des i) ménages horticoles solaires et la population des ii) ménages horticoles non solaires. La population des ménages horticoles solaires est constituée par l'ensemble des ménages où il existe au moins une femme horticultrice qui utilise le solaire. La population des ménages horticoles non solaires est constituée des ménages qui n'ont aucune femme horticultrice qui utilise le solaire.

### 4.2. Echantillonnage

Cette partie met en évidence la constitution de la base de sondage, le plan de sondage, le tirage des échantillons et la pondération des données.

## Base de sondage

Le dernier recensement général de la population mené par l'Agence nationale de la Statistique et de la Démographie en 2013 a permis de disposer de la liste des villages et quartiers du Sénégal. Le croisement de cette base de données à celle du Centre de suivi Ecologique sur les zones agro-écologiques a permis de générer l'ensemble des villages et quartiers de la zone des Niayes. Ensuite, un travail de cartographie a été effectué, à travers des personnes ressources des différentes localités, pour identifier les localités où les femmes s'activent dans la production horticole et où les technologies solaires sont utilisées. Ces localités dites solaires sont répertoriées dans le tableau ci-après selon les trois sous-zones des Niayes.

**Tableau 1 : Communes où les femmes s'activent dans la production horticole et où les technologies solaires sont utilisées par sous-zone des Niayes**

Sous-zones	Communes
Zone Sud	Kayar, Diender guedji
Zone Centre	Mboro, Darou Khoudoss, Notto Gouye Diama, Taiba ndiaye
Zone Nord	Leona, Ndiebene gandiole, Thieppe, Diokoul diawrigne

Source : IPAR, Enquête WEL Sénégal, 2022

La base de sondage est principalement la liste des ménages horticoles de la zone des NIAYES.

## Plan de sondage

Du fait de l'effectif élevé des ménages qui constituent l'unité d'échantillonnage et des contraintes de ressources, la méthode de sondage reste la plus appropriée. Le plan de sondage comprend un échantillon de 400 ménages dont 200 ménages horticoles solaires et 200 non solaires. À noter que la taille d'échantillon est choisie de sorte à garantir une représentativité au niveau de la zone des NIAYES et de ses sous-zones. Toutes les communes cartographiées (cf. Tableau 01) ont été retenues dans chacune des sous-zones.

Une approche combinant une stratification et un échantillonnage à deux degrés a été utilisée pour mieux répondre aux objectifs de l'étude. Les strates sont constituées par les trois sous-zones des NIAYES. Le tirage de l'échantillon se fait alors en deux temps dans chaque strate :

Au premier degré, un échantillon de villages est tiré de façon aléatoire dans chaque commune. A noter que des villages de remplacement ont été tirés dans chaque commune afin d'atteindre le quota fixé dans chaque localité. A défaut, la recherche de compléments dans des localités de la même commune a été préconisée. Au deuxième degré, la liste des ménages horticoles solaires et non solaires de chaque village tiré a permis aux agents de sélectionner un échantillon de ménages. Dans chaque commune, 4 villages ont été sélectionnés. Concernant le nombre de ménages à enquêter par village, un nombre constant de ménages a été sélectionné dans chaque village. Ce nombre constant d'unités secondaires est égal à 10 dont 5 ménages horticoles solaires et 5 ménages horticoles non solaires. L'avantage de cette méthode est qu'il n'est pas nécessaire d'avoir la liste exhaustive des ménages horticoles pour l'ensemble de la zone des Niayes, mais seulement ceux résidant dans les villages échantillonnés.

## Tirage et pondération

### Au premier degré

À ce niveau, dans chacune des communes retenues, nous tirons aléatoirement un échantillon de villages.

$M_{ih}$  : nombre de villages dans la commune  $i$  de la strate  $h$  ;

$m_{ih}$  : échantillon de villages tirés dans la commune  $i$  de la strate  $h$ .

La probabilité d'inclusion des villages de la commune  $i$  de la strate  $h$  est donnée par :

$$f_{1ih} = \frac{m_{ih}}{M_{ih}}$$

### Au deuxième degré :

Il consiste à tirer un échantillon de ménages dans chaque village échantillon. Avant de procéder au tirage, une liste des ménages horticoles solaires et non solaires est nécessaire pour permettre de faire un choix aléatoire des ménages de l'échantillon. Cela a été facilité par les chefs de villages et les personnes ressources qui ont permis de dresser la liste des ménages horticoles solaires et non solaires.

Les notations à adopter pour ce degré de tirage sont les suivants :

- $X_{jih}$  : Le nombre total de ménages horticoles dans le village/quartier  $j$  de la commune  $i$  de la strate  $h$  ;
- $x_{jih}$  : La taille de l'échantillon de ménage horticole tiré dans le village échantillon  $j$  de la commune échantillon  $i$  de la strate  $h$ .

La probabilité d'inclusion du ménage du village/quartier échantillon  $j$  de la commune échantillon  $i$  de la strate  $h$  est :

$$f_{2jih} = \frac{x_{jih}}{X_{jih}}$$

En somme, la probabilité globale d'inclusion d'un ménage de la strate  $h$ , de la commune  $i$  et du village/quartier  $j$  est :

$$f_{hij} = f_{1ih}f_{2jih}$$

Ceci se justifiant par le fait que les tirages sont indépendants d'un degré à l'autre.

## Pondération

Étant donné que l'inverse de la probabilité d'inclusion est le coefficient de pondération des unités enquêtées, nous convenons que chaque ménage enquêté de la strate  $h$ , de la commune  $i$  et du village  $j$  a un poids égal à :

$$p_{hij} = \frac{1}{f_{hij}}$$

Le poids de sondage est déterminé par l'inverse des probabilités de tirage pour chaque catégorie de ménages. Les probabilités de tirage sont calculées pour chaque village/quartier et selon la catégorie de ménages horticoles (solaires ou non-solaires) en faisant le rapport entre le nombre de ménages tirés et le nombre total de ménages ciblés selon la catégorie de ménages.

### 4.3. Données d'enquête

Les données utilisées dans cette section ont été collectées dans le cadre du projet intitulé « La transition énergétique pour l'autonomisation économique des femmes à travers la chaîne de valeur horticole dans un contexte post-covid19 au Sénégal » mis en œuvre par l'Initiative Prospective Agricole et Rurale (IPAR). Ce dernier a pour objectif de générer des connaissances par rapport à (i) l'adoptabilité particulièrement par les femmes de système écoénergétique ; (ii) le potentiel d'autonomisation économique des femmes dans la chaîne de valeur horticole, afin d'éclairer les décisions et politiques des gouvernements dans le cadre de la transition énergétique. Dans ce cadre, l'IPAR a mis en œuvre une enquête auprès d'un échantillon d'exploitants horticoles. L'enquête a recueilli des données sur des éléments relatifs aux zones cultivées, aux coûts de production fixes et variables (les coûts des équipements et des matériaux, coûts du carburant dans le cas de l'énergie conventionnelle), aux quantités produites, aux revenus et niveau de satisfaction, les risques et à d'autres informations nécessaires pour atteindre les objectifs de l'étude. L'enquête s'est intéressée aux exploitations horticoles et non horticoles, utilisatrices et non utilisatrices de solaire. Par ailleurs, l'enquête fournit l'information sur les caractéristiques sociodémographiques des ménages (sexe, genre, activité des membres du ménage, lieux de résidence, taille du ménage, etc.). Elle s'intéresse aussi à l'impact de l'intégration de l'énergie solaire sur l'autonomisation économique des femmes.

Globalement, l'enquête a ciblé 772 ménages répartis entre le sud, le nord et le centre des Niayes. Parmi les ménages enquêtés, 650 s'activent dans la production horticole. Au sein des ménages horticoles, 340 utilisent les SIPS contre 310 qui n'utilisent pas les SIPS.

**Tableau 2 : Répartition des personnes enquêtées selon le sexe par zone**

ZONE	SEXE DE LA PERSONNE ENQUÊTÉE		
	Homme	Femme	TOTAL ECHANTILLON
Sud des NIAYES	66	69	135
Centre des NIAYES	164	166	330
Nord des NIAYES	153	154	307
<b>TOTAL ECHANTILLON</b>	<b>383</b>	<b>389</b>	<b>772</b>

Source : IPAR, Enquête WEL Sénégal, 2022.

**Tableau 3 : Répartition des personnes enquêtées selon le sexe et l'utilisation du solaire par zone**

ZONE	UTILISATION DE SOLAIRE DANS LA PRODUCTION HORTICOLE			
	Homme utilisateur	Homme non utilisateur	Femme utilisatrice	Femme non utilisatrice
Sud des NIAYES	22	29	33	34
Centre des NIAYES	56	46	79	76
Nord des NIAYES	80	51	70	74
<b>TOTAL ECHANTILLON</b>	<b>158</b>	<b>126</b>	<b>182</b>	<b>184</b>

Source : IPAR, Enquête WEL Sénégal, 2022.



#### 4.4. Méthode d'estimation des taux d'adoption et déterminants d'adoption de la TSI

Dans la littérature, la plupart des études réalisées sur l'adoption des nouvelles technologies utilisent les méthodes classiques (Tobit, Probit ou le Logit) pour estimer les taux d'adoption et les déterminants de l'adoption des technologies (Diagne et Demont, 2007). Cependant, ces méthodes donnent une estimation biaisée des vrais taux d'adoption car elles supposent que la connaissance de la technologie diffusée est universelle dans la population. En effet, dans la réalité, la diffusion d'une technologie est rarement complète et par conséquent toute la population n'est pas entièrement exposée à la technologie. Ce biais résulte du fait que la population qui n'a pas été exposée à la technologie ne peut pas l'adopter même si elle allait le faire si elle y avait été exposée (Diagne et Demont, 2007). Le biais de non-exposition entraîne souvent une sous-estimation du taux d'adoption potentiel dans la population. Selon Diagne et Demont (2007), le taux d'adoption parmi la sous-population qui a été exposée à la technologie n'est pas aussi une estimation robuste du taux d'adoption réel de la population. En effet, ce taux d'adoption souffre d'un biais de sélection positive qui est dû au fait que le choix de la population bénéficiaire n'est pas aléatoire. En général, la population ciblée pour tester ou diffuser une nouvelle technologie est celle qui est la plus disponible ou la plus engagée à l'accepter (Diagne et Demont, 2007). Dans le même sens, Parienté (2008) note qu'en général, les populations qui participent à un test ou à une diffusion d'une nouvelle technologie sont celles qui sont les plus motivées ou les plus informées sur la technologie. Pour contrôler de façon appropriée les biais de non exposition, de sélection positive et estimer de façon robuste les vrais taux d'adoption et les déterminants, Diagne et Demont (2007) ont développé le modèle d'estimation de l'effet moyen du traitement, plus connue sous le nom de Average Treatment Effect (ATE) dans la littérature. Le cadre conceptuel du modèle d'estimation de l'ATE repose sur le modèle causal de Rubin (1974) qui est adapté en général à l'analyse de la situation dans laquelle un traitement peut être administré ou non à un individu. Dans le contexte de l'utilisation de la TSI, le statut du traitement correspond au statut d'exposition à la TSI. L'exposition se définit comme étant la connaissance de la TSI, rendu possible par l'information, l'accès et la sensibilisation facilités par les acteurs (projets, ONG, promoteurs privés) qui font la diffusion des TSI. Soit  $t_i$  une variable binaire déterminant le statut de l'exposition à la TSI  $t_i = 1$  signifie que l'horticulteur a été exposé à TSI (et par conséquent il connaît la TSI) et  $t_i = 0$  signifie qu'il n'a pas été exposé. L'exposition est supposée avoir un effet sur l'adoption de la TSI qui constitue une variable de résultat. En se basant sur le modèle causal de Rubin (1974), on considère qu'on peut s'attendre à deux résultats potentiels d'adoption correspondant à ce que serait la situation d'un horticulteur sous chacune des alternatives, c'est à dire si l'horticulteur adoption la TSI  $y_i = 1$  et s'il ne l'adoption  $y_i = 0$ . Ces deux d'adoption de la TSI ne sont jamais observés en même temps pour le même horticulteur car il est impossible, pour le même horticulteur, d'être à la fois adoptant et non adoptant de la TSI en même temps. De ce fait, pour un horticulteur qui a été informé ou sensibilisé ou formé sur la TSI,  $y_1$  correspondant à l'adoption de la TSI est observé tandis que  $y_0$  correspondant à la non adoption de la TSI est inconnu et inversement. La valeur qui correspond au résultat non adoption de la TSI par l'horticulteur qui aurait été réalisé si celui n'avait pas été informé, ou formé ou sensibilisé est appelée « contrefactuel » dans la littérature économétrique de l'étude d'impact (Rubin, 1974). Le résultat de l'adoption de la TSI observé  $y$  peut s'écrire comme une fonction des deux résultats d'adoption potentielles  $y_1$  et  $y_0$  et du statut d'exposition  $t_i$  comme suit :

Dans le cas de notre étude où le résultat de l'adoption est une variable binaire prenant la valeur 1 si l'horticulteur adopte la TSI ou 0 sinon, alors la valeur attendue correspondant au résultat moyen de l'adoption de la TSI se résume à la probabilité correspondant à la mesure du taux d'adoption (proportion des adoptants dans la population). Les différents effets de traitement s'écrivent donc comme suit :

$$Y = TY_1 + (1 - T)Y_0$$

**ATE** (Average Treatment Effect) ou Effet Moyen du Traitement sur la population et représente le taux d'adoption potentielle de la TSI pour toute la population des horticulteurs de la zone d'étude :

$$ATE = E(TY_1) = P(Y_1 = 1)$$

**ATE1** : Effet Moyen du Traitement sur la population des horticulteurs qui connaissent la TSI, c'est-à-dire le taux d'adoption de la TSI parmi les horticulteurs qui ont été informés, ou sensibilisés ou formés sur la TSI.

$$ATE1 = E\left(\frac{Y_1}{T} = 1\right) = P\left(Y_1 = \frac{1}{T} = 1\right)$$

**ATE0** : Effet Moyen du Traitement sur la sous-population des horticulteurs qui n'ont pas été exposés à la TSI, c'est à dire le taux d'adoption potentielle de la TSI parmi les horticulteurs qui n'ont pas été informés ou sensibilisés ou formés, c'est à dire qui ne connaissent pas la TSI. Autrement dit, il s'agit du taux d'adoption potentielle de ces horticulteurs s'ils avaient été informés, ou sensibilisés ou formés sur la TSI.

$$ATE0 = E\left(\frac{Y_1}{T} = 0\right) = P\left(Y_1 = \frac{1}{T} = 0\right)$$

Si  $y_0 = 0$ , l'expression du résultat observé de l'utilisation comme fonction du résultat potentiel de l'adoption et du statut de l'exposition se réduit à : . Cette expression montre que la variable de résultat observé de l'adoption est une combinaison de celle de l'exposition à la TSI et du résultat potentiel de l'adoption de la TSI ; d'où l'appellation : Taux commun d'exposition et d'adoption dans la population des horticulteurs, plus connu sous le nom de *Joint Exposure and Adoption* (en Anglais) :

$$(JEA). E(Y) = E(TY_1)$$

La différence de moyenne entre le JEA et ATE est appelé le gap d'adoption (GAP) qui permet d'informer sur la demande de la TSI . Ce GAP est donné par l'équation suivante :

$$GAP = E(Y) - E(TY_1)$$

La différence de moyenne entre ATE et ATE1 est appelée biais de sélection positive (PSB), donné par l'équation :

$$PSB = E(TY_1) - E\left(\frac{Y_1}{T} = 1\right)$$

La procédure d'estimation de l'effet moyen du traitement est basée sur l'équation suivante qui identifie  $ATE(x)$ , laquelle sous-tend l'hypothèse d'indépendance conditionnelle (Diagne et Demont, 2007) :

$$ATE(X) = E(y_1|x) = E(y|x, t = 1) = g(x, \beta)$$

Où  $g$  est une fonction connue (non linéaire) du vecteur des covariables  $x$  et le paramètre  $\beta$  doit être estimé en utilisant la méthode des moindres carrés ou de maximum de vraisemblance en utilisant les observations concernant la souspopulation qui connaît le dispositif solaire avec  $y$  comme variable dépendante et  $x$  le vecteur des variables explicatives. Avec un paramètre estimé  $\hat{\beta}$ , les valeurs prédites  $g(x_i, \hat{\beta})$  sont calculées pour toutes les observations  $i$  de l'échantillon (y compris les observations dans la sous population n'ayant pas accès) et ATE, ATE1 et ATE0 sont estimés en prenant la moyenne des valeurs prédites  $g(x_i, \hat{\beta})$   $i = 1, \dots, n$  à travers tout l'échantillon (pour ATE) et les sous-échantillons respectifs (pour ATE1 et ATE0).

$$\widehat{ATE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g(X_i, \hat{\beta})$$

$$\widehat{ATE1} = \frac{1}{ne} \sum_{i=1}^n T_i g(X_i, \hat{\beta})$$

$$\widehat{ATE0} = \frac{1}{n - ne} \sum_{i=1}^n (1 - T_i) g(X_i, \hat{\beta})$$

#### 4.5. Méthode d'évaluation de l'impact socio-économique de l'adoption des TSI par le Propensity Score Matching ou appariement

Comme dans le modèle d'adoption des TSI, le modèle canonique de Rubin (1974) sera utilisé afin d'identifier l'impact de l'adoption des TSI. Ce modèle permet de définir deux résultats potentiels pour chaque ménage : par exemple le revenu agricole ou coût d'irrigation quand il connaît la TSI et s'il n'est pas exposé au dispositif solaire. Plus précisément, nous sommes intéressés par l'effet d'adoption de l'énergie solaire qui est une variable binaire représentant le statut du ménage, avec signifiant l'exposition au dispositif solaire (traitement) et le non traitement. Pour un ménage horticole donné, l'effet causal de l'utilisation de l'énergie solaire sur sa variable résultat (retour sur investissement) est simplement la différence entre ces deux résultats potentiels ( $y_1 - y_0$ ). Cet effet individuel de l'énergie solaire est inobservable car il est impossible d'observer simultanément à la même date ces deux résultats potentiels pour un ménage (Rubin, 1974). Pour surmonter ce problème d'inférence causale, Rosenbaum et al. (1983), recommandent de transposer le problème au niveau population et de déterminer, à l'aide d'hypothèses additionnelles, un effet causal moyen. L'idée consiste à faire la différence entre le niveau moyen de l'indicateur des ménages exposés au dispositif solaire et celui des non exposés: c'est l'effet moyen du traitement (ATE) qui est égal à  $ATE = E(Y_1 - Y_0)$ . Ce paramètre indique l'effet moyen de l'exposition au dispositif solaire sur le retour sur investissement. On peut aussi estimer l'effet moyen du traitement dans la sous-population des ménages non-exposés au dispositif solaire noté  $ATU = E(Y_1 - Y_0 | t=0)$ . L'effet moyen du traitement dans la souspopulation des ménages exposés au dispositif solaire est aussi un autre paramètre qui peut être défini et estimé :  $ATU = E(Y_1 - Y_0 | t=1)$ . Toutefois, dans l'identification de ces effets causaux, nous sommes confrontés au problème de biais de sélection lié au fait que les ménages exposés et non exposés ne sont pas identiques en termes caractéristiques observables (âge, éducation, sexe, etc.) et inobservables (par exemple la motivation). Dans le cas de l'adoption de nouvelles technologies, chaque horticulteur anticipe le revenu qu'il obtiendrait avec ou sans l'adoption (Imbens and Angrist, 1994). Selon Suri (2011), le choix d'une technologie dépendra des caractéristiques inobservées et des facteurs macroéconomiques affectant la productivité différentielle de la technologie comparée aux technologies traditionnelles. L'horticulteur, étant rationnel, utilise toute l'information relative aux technologies solaires (revenu, coûts, facilité d'utilisation, etc.) et procède à une évaluation individuelle qui lui permettra d'adopter ou pas la technologie (Mendola, 2007; Fourgère, 2010). De ce point de vue, l'adoption d'une technologie est volontaire, générant ce qu'on appelle l'auto-sélection. Des études antérieures (Asfaw et al., 2011) ont suggéré qu'en l'absence de données d'intervention antérieure, l'impact de l'adoption d'une technologie peut être évaluée à l'aide de la variable instrumentale ou de modèles d'effet de traitement. Cependant, cette étude a utilisé les modèles d'effet de traitement pour estimer les différents impacts en raison de l'absence d'instruments valides car le choix d'une variable instrumentale inappropriée (pertinence et restriction par exclusion) peut augmenter le biais de sélection (Angrist et Krueger, 2011).

Autrement dit, lorsque qu'on a deux ménages avec des caractéristiques observables identiques et que l'un est exposé au système d'irrigation solaire, cette hypothèse stipule que les différences

escomptées dans les résultats potentiels ne sont pas dues au fait que l'un est exposé et l'autre non. Par exemple, le coût d'irrigation d'un ménage horticole n'étant pas exposé au système d'irrigation solaire en fait un bon contrefactuel. Ainsi, nous obtenons un estimateur non biaisé de l'effet du traitement en faisant la comparaison des deux résultats, ceci, conditionnellement à ces observables. Les estimateurs utilisant l'hypothèse d'indépendance conditionnelle sont soit basés sur une régression paramétrique pure, où les covariables peuvent être en interaction avec la variable statut de traitement pour tenir compte des résultats hétérogènes, soit sur une procédure d'estimation à deux étapes où la probabilité conditionnelle de traitement  $P(T = 1 | X) = P(X)$  (appelé le score de propension) est estimée dans une première étape ATE, ATE1 et ATE0 sont estimés dans une deuxième étape par des méthodes de régression paramétrique ou non-paramétrique. Cette étude utilise la deuxième méthode avec l'estimateur inverse propensity score weighing pour estimer ATE, ATE1 et ATE0 formulé comme suit Imbens (2004) est très utilisé.

$$\widehat{ATE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - \hat{p}(x_i)) Y_i}{\hat{p}(x_i)(1 - \hat{p}(x_i))}$$

$$\widehat{ATE1} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - \hat{p}(x_i)) Y_i}{(1 - \hat{p}(x_i))}$$

$$\widehat{ATE0} = \frac{1}{1 - n_1} \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - \hat{p}(x_i)) Y_i}{(1 - \hat{p}(x_i))}$$

Où  $n$  est la taille de la population,  $n_1 = \sum_{i=1}^n t_i$  est le nombre de ménages étant exposé à la TSI et  $\hat{p}(x_i)$  est une évaluation consistante du score de propension évalué à. L'effet moyen du traitement dans la souspopulation des ménages utilisant la TSI ATE1 à travers la régression par ajustement est :

$$ATE1_t = n_t^{-1} \sum_{i=1}^n t_i [r_M(X, \delta_M) - r_N(X, \delta_N)]$$

, représente le nombre de ménages utilisant la TSI  $r_T$  et  $r_N$  est le modèle de régression proposé pour les adoptants et non adoptants basés sur les covariables  $X$  et les paramètres  $\delta_j$ , ( $j = M, N$ ). Finalement, en combinant la régression par ajustement avec la méthode par l'inverse du score de propension, nous obtenons l'équation suivante :

$$ATE1_t = n_t^{-1} \sum_{i=1}^n t_i [r_M^*(X, \delta_M^*) - r_N^*(X, \delta_N^*)]$$

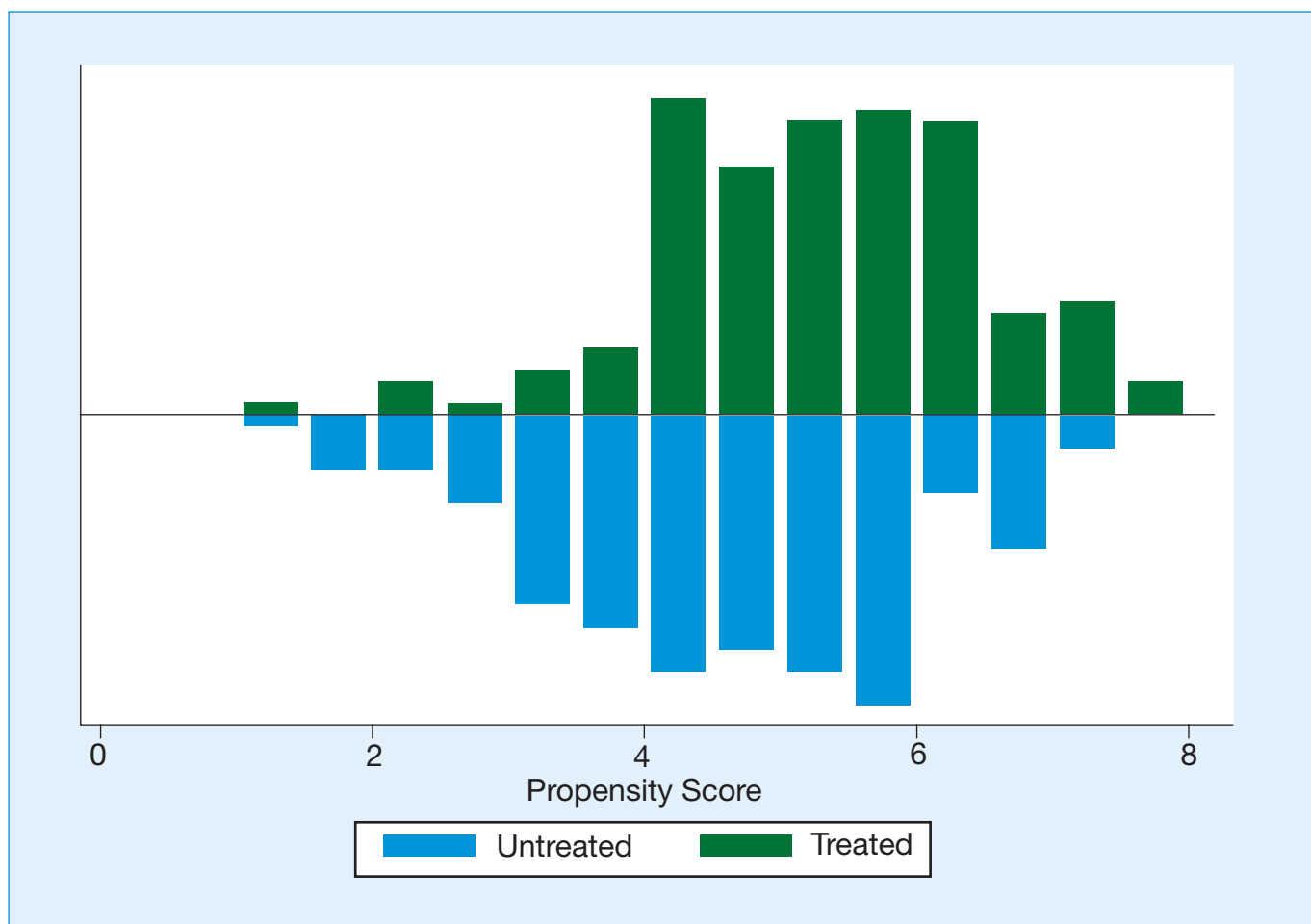
Où  $r_M^* = (\alpha_M^*, \beta_M^*)$  et  $r_N^* = (\alpha_N^*, \beta_N^*)$  sont les paramètres obtenus par la méthode de l'inverse du score de propension.

Avant d'identifier la contribution de l'irrigation solaire sur les différents résultats, nous avons vérifié les hypothèses d'équilibrage de support commun. Le tableau 2 montre la différence de moyenne ajustée au modèle et le rapport de variance entre les ménages horticoles utilisant l'irrigation solaire comme système de production et les ménages horticoles non adoptant de système solaire pour chaque variable qui sont proches de 0 et 1 confirme que la condition d'équilibrage est satisfaite. En outre, pour vérifier l'hypothèse de chevauchement, nous avons utilisé le diagramme de la figure 2 qui montre de part et d'autre, pour un horticulteur utilisant l'irrigation solaire, qu'il est possible de trouver son semblable dans la sous-population des ménages horticoles n'utilisant pas le système solaire.

**Tableau 4 : Conditions d'équilibrage**

Variables	Différences standardisées		Ration de Variances	
	Raw	Weighted	Raw	Weighted
Age du chef de ménage	-0,139	-0,139	0,902	0,903
Nombre d'années de résidence	-0,049	-0,049	0,845	0,845
Zone nord	-0,041	-0,041	0,982	0,982
Zone centre	-0,060	-0,060	1,018	1,018
Wolof	0,136	0,136	0,930	0,930
Pas de scolarisation	-0,094	-0,094	0,932	0,932
Ne sait ni lire ni écrire	-0,042	-0,042	1,020	1,020
Sait lire et écrire	0,059	0,059	1,046	1,046
Primaire	-0,040	-0,040	0,910	0,910
Secondaire premier cycle	0,046	0,046	1,240	1,241
Secondaire deuxième cycle	0,080	0,080	1,929	1,929
Université	0,042	0,042	1,454	1,454
Alphabétisation	-0,119	-0,119	0,396	0,396
Monogame	-0,073	-0,073	0,974	0,974
Veuf	-0,067	-0,067	0,794	0,794
Taille du ménage	-0,088	-0,088	0,961	0,961
Nombre d'individus dans le ménage qui connaissent le dispositif solaire	0,161	0,161	0,750	0,750
Existence de fournisseur dans la commune	0,213	0,213	0,800	0,800
Agriculture comme activité principale	-0,002	-0,002	1,011	1,011
Commerce comme activité principale	-0,108	-0,108	0,341	0,341
Chef de ménage homme	-0,020	-0,020	1,029	1,029
Formation professionnelle	0,003	0,003	1,010	1,011

Figure 2 : Test de support commun





## 5. Résultats et discussions

### 5.1. Déterminants de l'adoption des TSI des femmes hortultrices

Le tableau 3 indique les déterminants de l'adoption des TSI chez les femmes hortultrices. Les résultats révèlent que la participation de la femme à la prise de décision dans la production agricole augmente positivement et significativement la propension pour la femme hortultrice à adopter les TSI. Ceci est valable quel que soit le niveau de participation à la prise de décision, notamment lorsqu'elle est responsable principalement de la prise de décision, participe conjointement à la prise de décision avec le mari ou une autre personne dans et en dehors du ménage. Les effets marginaux montrent que la participation à la prise de décision augmente de 30% la probabilité d'adoption des TSI par les femmes hortultrices. (%). Il ressortir de l'analyse des données des focus group que la participation des femmes dans la prise de décision est souvent justifiée par leur forte implication dans les activités de production agricole ou se limite à des consultations et le dernier mot revient à l'homme. Lors des discussions, un chef de ménage homme déclare : *« C'est nous deux qui prenons les décisions (...) C'est moi qui fais l'achat des semences et de produits, mais concernant la gestion de notre exploitation, c'est ma femme qui s'en charge puisque je suis dans d'autres occupations (...) c'est elle qui s'investit le plus dans les champs. »*. Un autre chef de ménage homme souligne : *« Je discute toujours avec ma femme et je cherche toujours un consensus. Avec mon âge avancé, je n'ai plus la force de travailler dans les champs, c'est mon épouse et mes enfants qui s'occupent des travaux dans mes champs »*.

Plusieurs études ont établi un lien étroit entre la participation de la femme dans la prise de décision et l'adoption des TSI. Une étude menée au Ghana a montré qu'une augmentation du pouvoir de décision des femmes en matière de production et de revenus conduit à l'adoption de systèmes d'irrigation (Brayan et Garner, 2023). Certains auteurs soulignent que la participation limitée des femmes à la prise de décision au sein du ménage et de la communauté se traduit souvent par une adoption moindre des technologies d'irrigation (Theis et al., 2018; Imburgia 2019 ; Lefore et al., 2019). Malgré l'importance reconnue de la participation des femmes dans la prise de décision pour l'adoption des technologies d'irrigation, il faut noter que la majorité des femmes preneurs de décision sont des épouses de chefs de ménages . Une étude menée au Ghana a montré qu'au niveau des parcelles irriguées gérées par les hommes, les femmes sont toujours chargées d'emmener les récoltes au marché pour les vendre lorsque leur mari le leur demande (Brayan et Garner, 2023).

L'étude montre que le mode d'acquisition de la terre par délibération par la mairie influence positivement et significativement l'adoption des TSI par les femmes hortultrices. En réalité, les effets marginaux montrent que l'obtention d'un document juridique attestant la possession foncière augmente de 20% la probabilité d'adoption de la TSI par les femmes . En effet, la sécurisation du foncier permet aux femmes d'avoir un contrôle sur les ressources et leur évite d'être expropriées des terres, permettant ainsi de créer les conditions favorables à l'investissement pour l'augmentation de la productivité agricole. Selon la Banque Mondiale (2017), la possession de terres incite à l'investissement et conditionne l'égalité des chances — et en particulier le pouvoir de négociation des femmes — mais aussi l'aptitude des parents à investir dans le bien-être matériel et économique de leurs enfants et à surmonter les risques agricoles. Aussi, de l'avis de Holonen (2023), le fait de garantir les droits fonciers des femmes peut avoir de profondes répercussions sur le revenu des ménages, la sécurité alimentaire, l'investissement dans l'éducation, la santé ainsi que sur le bien-être des enfants et réduit la violence fondée sur le sexe. D'autres études ont montré que les contraintes d'accès à la terre des femmes constituent un frein majeur à l'adoption des technologies d'irrigation solaire (van Koppen et al., 2012 ; Agarwal, 2020). Par contre, en Inde, une étude a montré que l'obtention d'un certificat

de possession foncière réduit la probabilité de recevoir une pompe solaire d'irrigation dans le cadre d'un programme de subvention des pompes solaires du Gouvernement indien (Kafle et al., 2022).

Par rapport au statut matrimonial, dans un ménage polygame, le fait d'être la première épouse augmente positivement et significativement la probabilité d'adopter les TSI contrairement au fait d'être deuxième et troisième épouse qui est négativement favorable à la probabilité d'adopter les TSI. En effet, la première épouse a généralement plus de pouvoir de décision avec le mari par rapport aux deuxièmes et troisièmes épouses. Aussi, l'étude révèle que le fait d'être veuve est positivement et significativement corrélée avec la propension à adopter les TSI. Une des raisons explicatives pourraient être le fait que la veuve, souvent chef de ménage, prend les décisions à elle seule ou avec ses enfants. D'autre part, du fait de sa vulnérabilité, elle peut bénéficier d'une discrimination positive dans les critères de ciblage des programmes sociaux.

L'étude a également montré que l'adoption des TSI chez les femmes hortultrices augmente positivement et significativement la taille de la parcelle exploitée. Ceci se comprend dans la mesure où l'investissement sur les TSI est si coûteuse qu'il est nécessaire d'avoir une superficie assez importante pour espérer avoir un retour sur investissement. Souvent, les femmes hortultrices ont de très petites superficies constituant ainsi un frein à l'adoption des TSI. Par conséquent, pour faciliter l'accès aux TSI aux femmes hortultrices, il est nécessaire de leur allouer des parcelles d'une superficie adaptée à l'activité. En revanche, une étude menée en Inde, dans le cadre du programme national de subvention des pompes solaires d'irrigation, a montré que la probabilité de recevoir des pompes solaires commence à diminuer pour les agriculteurs possédant plus de 1,8 hectare, ce qui semble démontrer une discrimination positive à l'égard des agriculteurs possédant des terres de superficie minimale au cours du processus de sélection. Toutefois, l'étude indique que les agriculteurs marginaux étaient plus susceptibles de recevoir des subventions de pompe solaire d'irrigation, car ce résultat est représentatif des agriculteurs qui ont été en mesure de postuler au programme (Kafle et al., 2022).

L'étude a également montré que plus le temps de travail augmente plus la femme hortultrice a la propension d'adopter la TSI. Ceci s'explique par le fait que l'irrigation manuelle, généralement pratiquée par les femmes hortultrices, demeure une charge de travail importante, à la fois pénible et fastidieuse; étant donné que la TSI, qui est souvent accompagnée avec l'irrigation goutte à goutte ou par aspersion, permet d'éviter l'usage de l'arrosage manuel. Selon Brayan et Mekonnen (2023), l'accès aux motopompes solaires d'irrigation réduirait la charge de travail des femmes en diminuant le temps qu'elles consacrent à l'irrigation ou à la collecte de l'eau à l'aide de seaux. Lors des focus group, les hortultrices ont souligné que les tâches d'exhaure manuelle sont les plus éprouvantes et prennent le plus de temps. Par conséquent, l'utilisation du solaire les soulage de la charge et de la pénibilité du travail d'exhaure manuel et de remplissage des bassins : *« Le solaire a réduit ma charge de travail. Aujourd'hui je ne fais qu'allumer la machine pour alimenter mes bassins, avant c'était le travail manuel qui fatigue beaucoup les femmes. Si avant je faisais 4 heures, avec le solaire tu peux le faire en 1 heure. »*

En revanche, l'étude a montré que l'augmentation du revenu global dans le ménage impacte négativement et significativement l'adoption des TSI chez les femmes hortultrices. Cela peut être dû au fait que même si la femme constitue la principale force de travail agricole, elle n'a pas un contrôle sur le revenu global du ménage qui est placé sous la responsabilité du mari qui l'utilise à dessein. Ce résultat met également en exergue la problématique du contrôle des ressources par les femmes au sein des ménages.

**Tableau 5 : Déterminants adoption TSI au niveau des femmes hortultrices**

Variables	Coefficients	Effets marginaux
<b>Participation de la femme dans la prise de décision au niveau du ménage</b>		
La femme adulte prend la décision	1,359 (0,212) ***	0,307
Le Mari et la femme prennent conjointement la décision	1,255 (0,208) ***	0,270
Quelqu'un d'autre dans le ménage prend la décision	0,106 (0,646)	0,010
La femme et quelqu'un d'autre dans le ménage prennent la décision conjointement	0,803 (0,315) **	0,131
La femme prend conjointement la décision avec quelqu'un en dehors du ménage	2,628 (0,850) ***	0,770
<b>Mode d'accès à la terre</b>		
Achat	0,226 (0,218)	0,052
Affectation par la mairie	0,786 (0,433) *	0,232
Don	0,356 (0,264)	0,880
Terre du domaine national non affecté	0,786 (0,443)	0,409
Age	-0,005 (0,006)	-0,001
<b>Statut matrimonial</b>		
Première épouse du chef de ménage	0,874 (0,211) ***	0,251
Deuxième épouse du chef de ménage	-0,230 (0,203)	-0,037
Troisième épouse du chef de ménage	-0,005 (0,272)	-0,0009
Veuve	1,131*** (0,375)	0,351
<b>Niveau éducation</b>		
Primaire	-0,163 (0,242)	-0,034
Secondaire 1 <sup>er</sup> cycle	0,147 (0,269)	0,036
Ecole coranique	-0,044 (0,178)	-0,0101
<b>Superficie de terres moyenne parcelle avant utilisation solaire</b>		
Entre 0,1 ha et 0,9 ha	0,951 (0,286) ***	0,238
Plus 1 ha	0,843 (0,317) ***	0,200
<b>Coût entretien réseau irrigation</b>		
Entre 20 à 50 mille Fcfa	0,346 (0,284)	0,090
Plus de 50 mille Fcfa	0,098 (0,299)	0,022
<b>Revenu global du ménage avant utilisation solaire</b>		
Entre 500 mille et 1 million Fcfa	-0,161 (0,224)	-0,036
Entre 1 million et 5 millions Fcfa	-0,667 (0,319) **	-0,0113
Plus de 5 millions Fcfa	-0,945 (0,664)	-0,134
<b>Nombre d'heures de travail avant utilisation TSI</b>		
2 heures à 5 heures	1,682 (0,324) ***	0,439
Plus de 5 heures	1,354 (0,307) ***	0,312

## 5.2. Estimation des taux d'adoption des TSI au niveau des ménages où les femmes s'activent dans l'horticulture

Le tableau 4 présente les résultats des taux d'adoption des TSI au niveau ménage. Les résultats du tableau indiquent que la connaissance des TSI a un impact positif et significatif sur l'adoption du solaire au niveau des ménages horticoles. En effet, dans la zone d'étude, le taux d'adoption actuelle des TSI, au niveau des ménages qui ont été informés et sensibilisés sur les TSI, est estimé à 50%. Le taux d'adoption potentielle moyen, qui représente le taux d'adoption si tous les ménages de l'échantillon avaient été informés et sensibilisés sur les TSI, est estimé à 50,48%. Les résultats montrent également que si les ménages horticoles non informés et sensibilisés sur les TSI l'avaient été, environ 32,67% d'entre eux auraient adopté les TSI. Ceci révèle qu'il existe une demande non satisfaite plus ou moins importante de l'irrigation solaire dans la zone des Niayes. Des études similaires ont montré une relation positive et significative entre la connaissance des technologies solaires d'irrigation et leur adoption par les agriculteurs. Une étude menée au Bangladesh par Sunny et al. (2022) a montré que l'adoption des TSI augmente de 25,1 % si l'agriculteur possède une bonne connaissance sur les technologies solaires d'irrigation. Kabunga et al. (2012) a montré qu'au Kenya la connaissance des technologies augmente l'adoption de 15%. L'étude montre aussi que le biais de sélection positive est estimé à 0,6 % et est significatif, ce qui démontre que les ménages horticoles sensibilisés sur les TSI n'ont pas la même probabilité d'adopter ces TSI que tout autre ménage choisi au hasard dans la population. Ce qui est logique, dans la mesure où ceux qui sont sensibilisés ont plus d'information sur les TSI pour pouvoir les adopter, contrairement à ceux qui ne sont pas sensibilisés. Ceci est confirmé par Sunny (2022) qui souligne que si la plupart des membres de la famille n'ont pas les connaissances nécessaires pour comprendre les avantages du système d'irrigation solaire, la famille peut ne pas décider d'adopter la technologie.

Le gap d'adoption, qui représente la différence entre le taux potentiel d'adoption et le taux actuel d'adoption, est estimé à -1,23 %. Ce gap d'adoption assez faible montre que la sensibilisation sur les TSI d'irrigation, à elle seule, est nécessaire mais pas suffisante pour augmenter l'adoption des TSI dans la zone des Niayes. Ce qui est acceptable dans la mesure où d'autres conditions doivent être réunies pour que les ménages adoptent les TSI. Parmi ces facteurs, on note l'accès aux crédits bancaires ou à des subventions du financement pour l'achat des TSI eu égard à la cherté des TSI. Cela est ressorti lors des discussions par focus group avec les femmes horticultrices qui n'ont pas adopté le solaire en indexant le coût élevé d'acquisition des TSI comme le principal frein à son accès par les femmes horticultrices : « *Nous sommes fatiguées de l'achat de carburant dont les prix ne cessent d'augmenter (...) dès qu'une opportunité se présente, nous n'hésiterons pas car on est fatiguées.* » ; « *On utilise la motopompe mais on ne peut plus continuer parce que le carburant est trop cher, l'électricité aussi. Avoir le solaire est mon souhait actuellement.* »

**Tableau 6 : Taux d'utilisation et écart d'utilisation de l'énergie solaire au niveau ménage**

Paramètres	Adoption Globale	Adoption Hommes	Adoption Femmes
Taux d'utilisation de l'irrigation solaire dans la population totale (%)	59,68***	27,47***	32,21***
Taux d'utilisation de l'irrigation solaire dans la sous-population exposée (%)	57,70***	27,87***	29,83***
Taux d'utilisation de l'irrigation solaire dans la sous-population non exposée (%)	73,71***	24,66***	49,04***
Taux commun d'exposition et d'utilisation à l'irrigation solaire (%)	50,55***	24,41***	26,13***
Gap d'utilisation des TSI (%)	-9,13***	3,05***	-6,07**
PSB : Bais de sélection positive aux TSI (%)	-1,9***	0,003	-0,023**

Note : \*  $p < 0,1$  ; \*\*  $p < 0,05$  ; \*\*\*  $p < 0,01$

### 5.3. Impact de l'utilisation de l'énergie solaire sur le revenu agricole, le coût d'irrigation des femmes horticultrices

Les résultats du tableau 5 révèlent que l'adoption des TSI a un impact positif et significatif sur le revenu agricole des femmes horticultrices. En effet, l'estimation de l'impact avec la méthode Inverse Propensity Score Weighting (IPW) a montré que les femmes horticultrice qui ont adopté le solaire ont augmenté leurs revenus de +217 810 FCFA au seuil de significativité de 1 % par rapport aux femmes horticultrices qui n'ont pas adopté le solaire. Une étude parallèle utilisant la même base de données a trouvé un indice d'autonomisation économique des femmes horticultrices de 0,9351, ce qui démontre que l'amélioration des revenus des femmes et la réduction du temps de travail a un effet levier amplifiant la dynamique d'autonomisation économique en cours des femmes horticultrices dans la zone des Niayes. Cependant, l'autonomisation économique des femmes horticultrices de la zone des Niayes peut être amplifiée et plus transformatrice si les conditions d'accès aux TSI, notamment l'accès au financement et à la propriété des TSI, sont améliorées, ainsi que l'amélioration de la prise de décision des femmes sur l'utilisation des TSI sont renforcées; si également les contraintes structurelles d'accès et de sécurisation des droits fonciers des femmes sont levées et des mesures d'incitation sélectives sont mises en place, par exemple des subventions dédiées au coût d'investissement des technologies pour les femmes horticultrices. Des résultats similaires ont montré que l'adoption des technologies d'irrigation solaire avec les kits goutte-à-goutte a permis d'augmenter les revenus des femmes productrices au Bénin (Sehgal, 2011), au Népal (Upadhyay, 2004), au Kenya (Njuki et al., 2014), Zimbabwe (Magrath, 2015) et en Ethiopie (Nigussie et al., 2017). D'autres auteurs soulignent que les projets d'irrigation solaire spécifiquement conçus pour les femmes, tels que les jardins familiaux irrigués, offrent des avantages directs tels que l'augmentation des actifs, les revenus contrôlés par les femmes et le renforcement du pouvoir de décision (Njuki et al., 2014 ; Alaofè et al., 2016 ; Nigussie et al., 2017 ; Bryan et Garner, 2020).

L'étude a également montré que l'adoption des TSI a un impact positif et significatif sur la réduction du coût d'irrigation. En effet, l'adoption des TSI a réduit le coût d'irrigation de plus de 100 000 Fcfa chez les femmes horticultrices. De même, l'adoption potentielle des TSI aurait réduit le coût d'irrigation de -104 436 Fcfa au seuil de significativité de XX si toutes les femmes horticultrices avaient adopté les TSI. Également, les femmes horticultrices qui n'ont pas adopté les TSI auraient pu réduire les coûts d'irrigation de 81 391 Fcfa au seuil de significativité de 5% si elles avaient adopté les TSI. Dans une étude menée au Népal, Shrestha et al. (2023) rapportent que les femmes utilisant les technologies solaires ont reconnu que, par rapport aux pompes électriques et diesel, les pompes solaires avaient un impact positif certain en termes d'accès à l'eau facile, moins cher et fiable, d'augmentation de la productivité des cultures et des revenus des ménages.

1 Cet indice d'autonomisation économique des femmes a été calculé Faye et Coulibaly (2023) membres de notre équipe de recherche et qui ont utilisé la même base de données.



Lors des discussions par focus group, l'intérêt de l'adoption des TSI en termes de réduction de la cherté du carburant a été bien magnifié par les femmes : « *Je suis mère de famille et veuve, on n'avait plus les moyens d'acheter du gasoil, je me suis ainsi débrouillée pour acquérir un solaire, maintenant on rend grâce à Allah.* » ; « Nous avons une motopompe qui consommait beaucoup de gasoil, on l'a vendue pour acheter des panneaux solaires. Mais comme l'argent n'était pas suffisant, il a fallu contracter un prêt pour compléter ».

**Tableau 7 : Estimation de l'impact de l'adoption du solaire sur le revenu des femmes hortultrices et le cout d'irrigation**

		Femmes adoptantes TSI vs Femmes Non adoptantes TSI	Femmes adoptantes TSI vs Femmes et Hommes non adoptants TSI	Hommes adoptants TSI vs Femmes et Hommes non Adoptants
Coût d'irrigation (Fcfa)	ATE	-104436,9*	-46751,54**	-47575,94*
	ATT	-125456,2	-39690,44*	-75710,84*
	ATU	-81391,5 **	-49417,77**	-37112,55**
Revenu agricole (Fcfa)	ATE	162145,9	112253,5	620713,5**
	ATT	217 870,4*	145115,4	637456*
	ATU	1 010 503	76224,15	598554,4*
Retour sur investissement	ATE	0,29	-10,05***	20,42***
	ATT	0,64	-8,03***	12,07*
	ATU	-0,08	-10,82***	23,52**

Note : \* p<0,1 ; \*\* p<0,05 ; \*\*\* p<0,01



## 6. Conclusion et recommandations

En guise de conclusion et de recommandations, les résultats de l'étude révèlent que les technologies solaires d'irrigation peuvent être une voie efficace vers l'autonomisation économique des femmes et les réductions des inégalités de genre. Pour que les politiques et les mesures de soutien en faveur de la diffusion des technologies solaires d'irrigation soient inclusives et profitables aux femmes, il devient primordial d'associer à ces initiatives des investissements complémentaires qui contribuent à la réduction des inégalités de genre, notamment à travers l'amélioration de l'accès sécurisé au foncier et aux technologies, l'augmentation des superficies horticoles allouées aux femmes et l'appui à la valorisation, le renforcement de la participation des femmes à la prise de décision dans les activités agricoles. En outre, il serait bénéfique de mettre en place des mesures incitatives favorables aux femmes horticultrices, notamment la subvention du coût d'acquisition des technologies solaires et la mise en place de lignes de financements adaptés pour les femmes. Cela nécessite la mise en place et l'animation de cadres de dialogue politique multi-acteurs, le plaidoyer, le lobbying sur la promotion de l'accès, le contrôle et l'utilisation des technologies solaires pour les femmes horticultrices, ainsi que le renforcement des capacités des acteurs face à la problématique des inégalités de genre dans l'utilisation des énergies renouvelables.

## 7. Références Bibliographiques

- Abhijit, V. B. et Duflo, E. (2011). *Repenser la pauvreté*. Editions du Seuil.
- ADB (2018). *Gender equality and social inclusion assessment of the energy sector enhancing social sustainability of energy development in Nepal*. Manila, Philippines: Asian Development Bank
- ADB (2020). *Gender equality and social inclusion diagnostic of selected sectors in Nepal*. Manila, Philippines: Asian Development Bank
- Adisa O. (2020). Rural women's participation in solar-powered irrigation in Niger: lessons from Dimitra Clubs, *Gend. Dev.* 28 535–549. <https://doi.org/10.1080/13552074.2020.1833483>.
- AEC (Chambre africaine de l'énergie). (2020). « Africa Energy Outlook 2021. » <https://energychamber.org/report/africa-energyoutlook-2021>.
- AFC (Société financière africaine). (2022). *Roadmap to Africa's COP: A Pragmatic Path to Net Zero*. [https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/afc-assets/afc/11378\\_AFC\\_COP\\_White\\_paper\\_V2\\_LR-1.pdf](https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/afc-assets/afc/11378_AFC_COP_White_paper_V2_LR-1.pdf)
- Agula, C.; Akudugu, M.A.; Mabe, F.N.; Dittoh, S. (2018). Promoting Ecosystem-Friendly Irrigation Farm Management Practices for Sustainable Livelihoods in Africa: The Ghanaian Experience. *Agric. Food Econ.* Vol., 6, 21.
- AIE. (2022c). « Global Energy Crisis Shows Urgency of Accelerating Investment in Cheaper and Cleaner Energy in Africa. » <https://www.iea.org/news/global-energy-crisis-shows-urgency-of-accelerating-investment-in-cheaper-and-cleaner-energy-in-africa>
- AIE. 2022b. *SDG7 Data and Projections*. (2022). <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections>
- Alaofè, H., Burney, J., Naylor, R., and Taren, D. (2016). Solar-powered drip irrigation impacts on crops production diversity and dietary diversity in Northern Benin. *Food Nutr. Bull.* 37, 164-175
- Angrist, J.D. and Krueger, A.B. *Instrumental Variables and the Search for Identification: From Supply and Demand to Natural Experiments*. *J. Econ. Perspect.* 2001, 15, 69–85. [CrossRef].
- ANSD (2023). *Cinquième Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Rapport préliminaire*. 22p.
- Asfaw, S.; Shiferaw, B.; Simtowe, F. and Haile, M. *Agricultural Technology Adoption, Seed Access Constraints and Commercialization in Ethiopia*. *J. Dev. Agric. Econ.* 2011, 3, 436–477.
- Atuobi-Yeboah, A., Aberman, N.L., Ringler, C. (2020). *Smallholder Irrigation Technology Diffusion in Ghana: Insights from Stakeholder Mapping*. IFPRI Discussion Paper. <https://doi.org/10.2499/p15738coll2.134151>
- Balana, B.B., Bizimana, J.C., Richardson, J.W., Lefore, N., Adimassu, Z., Herbst, B.K. (2020). Economic and food security effects of small-scale irrigation technologies in Northern Ghana. *Water Resources and Economics* 29, 2212–4284. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2019.03.001>
- Banque Mondiale. (2017). *La sécurisation des droits fonciers, une clé pour l'autonomisation des femmes et le développement des villes et de l'économie*. <https://blogs.worldbank.org/fr/voices/securisation-des-droits-fonciers-pour-les-femmes-le-developpement-des-villes-et-l-economie>, consulté le 12 janvier 2023
- Belete, B., and Surafel, M. (2020). Impact of small scale irrigation technology on women empowerment in Amhara national regional state of Ethiopia. *Cogent Eco. Fin.* 8:1837440. doi: 10.1080/23322039.2020.1837440
- Bhatta, K. (2016). "Gender equality and social inclusion in vocational education and training." *Journal of Advanced Academic Research*, Rajasthan, India: Department of Sociology, Mewar University. 3 (2).
- Brayan I et Garner I. (2023) Understanding the pathways to women's empowerment in Northern Ghana and the relationship with small-scale irrigation. *Agriculture and Human Values* (2022) 39:905–920 <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10291-1>

- Bryan, E et Mekonnen D. (2023). Does small-scale irrigation provide a pathway to women's empowerment? Lessons from Northern Ghana Elizabeth. *Journal of Rural Studies*, 97, 474-
- Bryan, E., and Garner, E. (2020). What does empowerment mean to women in northern Ghana? Insights from research around a small-scale irrigation intervention. IFPRI Discussion Paper, 1909. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Bryan, E., and Garner, E. (2022). Understanding the pathways to women's empowerment in northern Ghana and the relationship with small-scale irrigation. *Agric. Hum. Values* 39, 905–920. doi: 10.1007/s10460-021-10291-1
- 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
- Closas, E. Rap. (2017). Solar-based groundwater pumping for irrigation: Sustainability, policies, and limitations, *Energy Policy*. 104 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.035>
- Derenoncourt, E. and Jaquet, S. (2022) AICCRA-Senegal Gender-Smart Accelerator Grant concept note. 15 p.
- Diagne A. and Demont M., 2007. Taking a new look at empirical models of adoption: average treatment effect estimation of adoption rates and their determinants. *Agric. Econ.*, 37, 201–210.
- Doss, C. (2018). Women and agricultural productivity: reframing the issues. *Dev. Policy Rev.* 36, 35–50. doi: 10.1111/dpr.12243
- Dutta, S., Kooijman, A., and Cecelski, E. (2017). Energy access and gender getting the right balance. Washington DC: World Bank/ENERGIA/International Network on Gender and Sustainable Energy.
- Es'haghi, S.R.; Rezaei, A.; Karimi, H.; Ataei, P. (2022). Institutional Analysis of Organizations Active in the Restoration of Lake Urmia: The Application of the Social Network Analysis Approach. *Hydrol. Sci. J.*, 67, 14.
- Eurelectric. (2018). EU Electrification and Decarbonization Scenario Modelling. <https://cdn.eurelectric.org/media/3172/decarbonisation-pathways-electrificatino-part-studyresults-h-AD171CCC.pdf>
- Fischer, G., Wittich, S., Malima, G., Sikumba, G., Lukuyu, B., Ngunga, D., et al. (2018). Gender and mechanization: exploring the sustainability of mechanized forage chopping in Tanzania. *J. Rural. Stud.* 64, 112–122. doi: 10.1016/j.jrurstud.2018.09.012
- Flammini A. B. S., Sims R., Cooke J., Juan M.G.S. (2019). Measuring Impacts and Enabling Investments in Energy-Smart Agrifood Chains.
- Glatze K., Tankari M., Demmler K. (2018). WATER-WISE: Smart Irrigation Strategies for Africa.
- Graham, J.P., Hirai, M., Kim, S.S., (2016). An analysis of water collection labor among women and children in 24 sub-Saharan African countries. *PLoS One* 11 (6), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155981>.
- Guno, C. S., & Agaton, C. B. (2022). Socio-economic and environmental analyses of solar irrigation systems for sustainable agricultural production. *Sustainability*, 14(11), 6834.
- Hartung, H. L. Pluschke. (2018). The benefits and risks of solar-powered irrigation--A global overview, United Nations Food Agric. Organ.
- Holonen, T. (2023). Garantir les droits fonciers des femmes pour renforcer l'égalité des sexes, la sécurité alimentaire et l'émancipation économique. <https://www.un.org/fr/chronique-onu/garantir-les-droits-fonciers-des-femmes-pour-renforcer-l%E2%80%99C3%A9galit%C3%A9-des-sexes-la-s%C3%A9curit%C3%A9> , consulté le 12 janvier 2023.
- Huyer, S. (2016). Closing the gender gap in agriculture, gender. *Technol. Dev.* 20, 105–116. doi: 10.1177/0971852416643872

Imbens, G. W. (2004). Nonparametric estimation of average treatment effects under exogeneity : A Review. *The Review Of Economics And Statistics*, 26.

Imbens, G., and Angrist, J. (1994). Identification and estimation of local average treatment effects. *Econometrica*, 62, pp. 467–75.

IRENA (2016). *Solar pumping for irrigation: Improving livelihoods and sustainability*. Abu Dhabi: The International Renewable Energy Agency

IRENA. (2017). *Planning for the Renewable Future: Long-Term Modelling and Tools to Expand Variable Renewable Power in Emerging Economies*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA\\_Planning\\_for\\_the\\_Renewable\\_Future\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_Planning_for_the_Renewable_Future_2017.pdf)

IRENA. (2018a). *Power System Flexibility for the Energy Transition. Part I: Overview for Policy Makers*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA\\_Power\\_system\\_flexibility\\_1\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Power_system_flexibility_1_2018.pdf)

IRENA. (2022a). *Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Part I—Trade Outlook for 2050 and Way Forward*. <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/GlobalHydrogen-Trade-Outlook>

Kabunga, N.S.; Dubois, T.; Qiam, M. Heterogeneous Information Exposure and Technology Adoption: The Case of Tissue Culture Bananas in Kenya. *Agric. Econ.* 2012, 43, 473–485.

Kashi, K., Labisha, U., Gitta, S., Vishnu, V., Aditi, M. (2022). Are climate finance subsidies equitably distributed among farmers? Assessing socio-demographics of solar irrigation in Nepal. *Energy Research & Social Science*, 91 (102756)

Koc, Cagan, Katarina Hoije et Diederik Baazil. (2022). « Europe Optimal Market for Senegal's Gas, President Sall Says. » <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-08/europe-optimal-market-for-senegal-s-gas-president-sall-says>

Kuhudzai, Remeredzai Joseph. (2022). « President William Ruto Sworn In, Reaffirms Kenya's Commitment to Transition to 100% Clean Energy by 2030. » <https://cleantechnica.com/2022/09/13/president-william-ruto-sworn-in-reaffirms-kenyas-commitment-to-transition-to-100-clean-energy-by-2030>.

Lieu, J., Sorman, A. H., Johnson, O. W., Virla, L. D., and Resurrección, B. P. (2020). Three sides to every story: Gender perspectives in energy transition pathways in Canada, Kenya and Spain. *Energy Res. Soc. Sci.* 68:101550. doi: 10.1016/j.erss.2020.101550

Maddala, G.S. *Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*; Cambridge University Press: New York, NY, USA, 1983.

Magrath, J. (2015). *Transforming lives in Zimbabwe. Rural Sustainable Development Project. Oxfam Case Study*. Oxfam. UK.

Mahat, I. (2006). Gender and rural energy technologies: empowerment perspective—a case study of Nepal. *Can. J. Dev. Stud.* 27, 531–550. doi: 10.1080/02255189.2006.9669172

Minh, T.T., Cofie, O., Lefore, N., Schmitter, P. (2020). Multi-stakeholder dialogue space on farmer-led irrigation development in Ghana: an instrument driving systemic change with private sector initiatives. *Knowl. Manag. Dev. J.* 15 (2), 98–118.

Mittal, S. (2016). Role of Mobile phone-enabled climate information Services in Gender-inclusive Agriculture. *Gend. Technol. Dev.* 20, 1–18.

Mohideen, R. (2018). “Energy technology innovation in South Asia. Implications for gender equality and social inclusion” in ADB South Asia working paper series. ed. Asian Development Bank (Philippines: Manila).

Mukherji, A., Chowdhury, D. R., Fishman, R., Lamichhane, N., Khadgi, V., and Bajracharya, S. (2017). *Sustainable financial solutions for the adoption of solar powered irrigation pumps in Nepal's Terai*. Kathmandu: ICIMOD.

- Nation, M.L. (2010) . Understanding women's participation in irrigated agriculture: a case study from Senegal. *Agric. Hum. Val.* 27, 163–176. <https://doi.org/10.1007/s10460-009-9207-8>
- Nigussie, L., Lefore, N., Schmitter, P., and Nicol, A. (2017). Gender and water technologies: Water lifting for irrigation and multiple purposes in Ethiopia. International Livestock Research Institute (ILRI). Addis Ababa
- Njuki, J., Waithanji, E., Sakwa, B., Kariuki, J., Mukewa, E., and Ngige, J., (2014). Can market-based approaches to technology development and dissemination benefit women smallholder farmers? A qualitative assessment of gender dynamics in the ownership, purchase, and use of irrigation pumps in Kenya and Tanzania. IFPRI discussion paper 01357. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- ONU (Organisation des Nations unies). (2022). Revision of World Population Prospects. Département des affaires économiques et sociales des Nations unies. <https://population.un.org/wpp/>
- Parienté, W., 2008. Analyse d'impact : l'apport des évaluations aléatoires. *Stateco*, 103, 5-17.
- Rana, J.; Kamruzzaman, M.; Hosain Oliver, M.; Akhi, K. (2021). Financial and factors demand analysis of solar powered irrigation system in Boro rice production: A case study in Meherpur district of Bangladesh. *Renew. Energy*, 167, 433–439.
- Rubin D.B., 1974. Estimating causal effects of treatments in randomized and nonrandomized studies. *J. Educ. Psychol.*, 66, 688–701.
- Sehgal, K. (2011). "Case study of solar powered drip irrigation system for women farmers in northern Benin, West Africa" in Master of arts in development studies. Graduate School of Development Studies (The Hague: The Netherlands).
- Shah, S. A., and Memon, N. A. (2014). "Entering male domain and challenging stereotypes: a case study on gender and irrigation in Sindh, Pakistan" in *Informing water policies in South Asia*. eds. A. Prakash, C. G. Goodrich and S. Singh (London, United Kingdom: Taylor & Francis Ltd.)
- Shrestha G, Uprety L, Khadka M and Mukherji A (2023) Technology for whom? Solar irrigation pumps, women, and smallholders in Nepal. *Front. Sustain. Food Syst.* 7:1143546. doi: 10.3389/fsufs.2023.1143546
- Sovacool, B. and Drupady, I. M. (2012). Energy access, poverty, and development: The governance of small-scale renewable energy in developing Asia. *Energy Access, Poverty, and Development: The Governance of Small-Scale Renewable Energy in Developing Asia*. 1-306.
- Sterl, Sebastian, Bilal Hussain, Asami Miketa, Yunshu Li, Bruno Merven, Mohammed Bassam Ben Ticha, Mohamed A. Eltahir Elabbas, Wim Thiery et Daniel Russo. (2022). « An All-Africa Dataset of Energy Model 'Supply Regions' for Solar Photovoltaic and Wind Power. » *Scientific Data* 9 : 664. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01786-5>.
- Sterl, Sebastian, Dalia Fadly, Stefan Liersch, Hagen Koch et Wim Thiery. (2021). « Linking Solar and Wind Power in Eastern Africa with Operation of the Grand Ethiopian Renaissance Dam. » *Nature Energy* 6 (4) : 407–18. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00799-5>
- Sunny, F.A. and Fu, L.; Rahman, M.S.; Huang, Z. Determinants and Impact of Solar Irrigation Facility (SIF) Adoption: A Case Study in Northern Bangladesh. *Energies* 2022, 15, 2460. <https://doi.org/10.3390/en15072460>.
- Sunny, F.A.; Fu, L.; Rahman, M.S.; Huang, Z. (2022). Determinants and Impact of Solar Irrigation Facility (SIF) Adoption: A Case Study in Northern Bangladesh. *Energies*, 15, 2460. <https://doi.org/10.3390/en15072460>
- Suri, T. (2011). Selection and Comparative Advantage in Technology Adoption. *Econometrica*, 79(1), pp. 159-209.
- Tang, Q.; Bennett, S.J.; Xu, Y.; Li, Y. (2013). Agricultural Practices and Sustainable Livelihoods: Rural Transformation within the Loess Plateau, China. *Appl. Geogr.* 41, 15–23.

Theis, S., Lefore, N., Meinzen-Dick, R., and Bryan, E. (2018). What happens after technology adoption? Gendered aspects of small-scale irrigation technologies in Ethiopia, Ghana, and Tanzania. *Agric. Hum. Values* 35, 671–684. doi: 10.1007/s10460-018-9862-8

UNECA. (2022). « Zambia and DRC Sign Cooperation Agreement to Manufacture Electric Batteries. » <https://www.uneca.org/stories/zambia-and-drc-sign-cooperation-agreement-to-manufacture-electric-batteries>.

Upadhyay, B. (2004). Gender aspects of smallholder irrigation technology: Insights from Nepal. *J. appl. Irrig. Sci.* 39, 315–327

Van Eerdewijk, A., and Danielsen, K. (2015). *Gender Matters in Farm Power*. KIT. Netherlands. Gender Matters in Farm Power KIT Royal Tropical Institute.

Van Houweling, E., Hall, R.P., Sakho Diop, A., Davis, J., Seiss, M. (2012). The role of productive water use in women's livelihoods: evidence from rural Senegal. *Water Altern. (WaA)* 5 (3), 658–677

Zhu, X., Li, X., Gong, J., and Jinghong, X. (2022). Technology empowerment: a path to poverty alleviation for Chinese women from the perspective of development communication. *Telecommun. Policy* 46:102328. doi: 10.1016/j.telpol.2022.102328







