

Impact De L'irrigation Sur La Sécurité Alimentaire Et La Nutrition Chez Les Riziculteurs Du Bénin

Gbêtondji Melaine Armel Nonvide

Document du Travail 073-2026

Bringing Rigour and Evidence to Economic Policy Making in Africa

CONSORTIUM POUR LA RECHERCHE ÉCONOMIQUE EN AFRIQUE

Impact De L'irrigation Sur La Sécurité Alimentaire Et La Nutrition Chez Les Riziculteurs Du Bénin

Par :

Gbêtondji Melaine Armel Nonvide

Faculté des sciences économique et de gestion

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

AERC Document du Travail 073-2026
African Economic Research Consortium,
Nairobi
April 2026

Avertissement: Les analyses, opinions et recommandations exprimées sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement les points de vue du Consortium, de ses membres individuels ni du Secrétariat de l'CREA.

Publié par:

Le Consortium pour la Recherche Économique en Afrique (**CREA**)

Boîte Postale 62882 – City Square

Nairobi 00200, Kenya

© **2026**, Consortium africain de recherche économique

Résumé

L'investissement dans le développement de l'irrigation est une priorité de la politique agricole au Bénin depuis 1960. Cela a conduit à la mise en place de plusieurs systèmes d'irrigation dans le pays. Cette étude vise à évaluer l'impact de l'irrigation sur la sécurité alimentaire et la nutrition chez les producteurs de riz au Bénin. Elle s'appuie sur des données d'enquête recueillies auprès de 690 producteurs de riz, dont 150 irrigants et 540 non-irrigants, dans la municipalité de Malanville au Bénin. Un modèle de régression à commutation endogène a été utilisé pour contrôler les biais de sélection et les problèmes d'endogénéité liés à la variable d'adoption. L'accès au crédit, aux services de vulgarisation, la fréquence des organisations paysannes, l'accès aux médias, la participation au marché et la distance par rapport au système d'irrigation ont été les principaux déterminants de la participation au système d'irrigation. Les résultats ont également montré un impact positif de l'irrigation sur la diversité alimentaire, le score de consommation alimentaire et l'indice de masse corporelle. Cela confirme le potentiel de l'irrigation pour améliorer la sécurité alimentaire et les résultats nutritionnels chez les riziculteurs du Bénin.

Mots-clés : Irrigation, sécurité alimentaire, résultats nutritionnels, riz, impact, Bénin

1- Introduction

L'insécurité alimentaire et nutritionnelle reste l'un des principaux enjeux de développement au Bénin. Environ 20,0 % des ménages sont en situation d'insécurité alimentaire (Institut National de Statistique et d'Analyse Economique (INSAE), 2015a), et ceux dont la consommation alimentaire est insuffisante ou limitée représentent en moyenne 23% (Programme Alimentaire Mondial (PAM), 2014). L'apport énergétique quotidien de ces ménages n'atteint pas 2 400 kilocalories, une norme fixée par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). En moyenne, un tiers de la population béninoise souffre de la faim et de la malnutrition (Alaofè et al., 2016). Par exemple, la malnutrition chronique est passée de 32% en 2011 à 34% en 2014 (INSAE, 2015b), les personnes les plus touchées étant celles qui vivent dans les zones rurales et dépendent fortement de l'agriculture comme principale source de revenus. Un rapport du PAM publié en 2014 indiquait que les ménages dépendant de l'agriculture sont plus vulnérables à l'insécurité alimentaire, 21 % d'entre eux étant en situation d'insécurité alimentaire et 48 % exposés à ce risque en 2013.

Environ 70% de la population active du Bénin dépend de l'agriculture pour sa subsistance. Comme dans la plupart des pays en développement, la productivité agricole est très faible au Bénin en raison de la mauvaise qualité des sols, de la faible utilisation d'intrants, de l'accès limité aux services et du faible niveau d'investissements dans les infrastructures, notamment l'irrigation (FAO, 2014; PAM, 2014). L'agriculture pluviale reste prédominante, exposant la production agricole au changement climatique et à la variabilité des conditions météorologiques. De plus, la population du Bénin ne cesse d'augmenter, avec un taux de croissance de 2,7 % en 2018 (Banque mondiale, 2020). Ce taux de croissance démographique élevé, en particulier dans les zones rurales, accroît la pression sur la production alimentaire et aggrave l'insécurité alimentaire et la malnutrition (Domenech et Ringler, 2013). Il devient donc vital d'intensifier la production agricole pour répondre à la demande alimentaire de la population. Pour ce faire, l'adoption de technologies appropriées est nécessaire. À cet égard, des données empiriques (Carruthers et al., 1997; Huang et al., 2006; Domenech et Ringler, 2013) ont démontré l'importance des technologies d'irrigation pour maîtriser les risques climatiques et améliorer la productivité agricole. Grâce à l'irrigation, les agriculteurs peuvent avoir plusieurs saisons de culture par an. Dans les régions où les précipitations sont rares ou mal réparties, les agriculteurs peuvent utiliser l'irrigation comme source d'eau supplémentaire pour faire face aux périodes de sécheresse. Pendant la saison sèche, lorsque la production pluviale n'est pas possible, les exploitations irriguées continuent de fonctionner et ont donc des effets positifs sur l'emploi¹, les revenus, la pauvreté (Hussain et Hanjra, 2004 ; Hanjra et al., 2009 ; Burney et Naylor, 2012) et les résultats nutritionnels (Domenech et Ringler, 2013).

La superficie potentielle des terres irrigables au Bénin est estimée à 322 000 hectares (ha), dont 205 900 ha de plaines et 117 000 ha de hautes terres pouvant être irriguées dans les bassins hydrographiques de l'Ouémé, du Mono et du Niger. Depuis 1960, les investissements dans l'irrigation constituent une priorité absolue de la politique agricole du pays. L'objectif est de créer les conditions nécessaires à une agriculture moderne, intensive et compétitive, capable d'assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle du pays et de servir de fondement à son économie, ainsi qu'à une gestion intégrée et durable des ressources naturelles disponibles.

Le renforcement de la sécurité alimentaire et nutritionnelle, la diversification agricole, l'augmentation de la productivité et la conservation du patrimoine écologique constituaient les principaux objectifs susceptibles d'influencer la gestion des ressources en eau ; ils ont été définis dans le « Schéma Directeur de Développement Agricole et Rural² (SDDAR, 2000) » et dans la « Lettre de Déclaration de la Politique de Développement Rural³ (LDPDR, 2000) ». Les premières actions notables en matière de développement de l'irrigation remontent aux années 1970. Avec le soutien d'organisations multilatérales, bilatérales et non gouvernementales, notamment la

¹ Les opportunités d'emploi découlent de la hausse de la demande de main-d'œuvre agricole, due aux besoins supplémentaires en main-d'œuvre pour la construction, l'entretien et la remise en état des installations d'irrigation.

² Plan Directeur du Développement Agricole et Rural

³ Lettre de Déclaration de la Politique de Développement Rural

Banque Mondiale (BM), l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Association ouest-africaine pour le développement du riz (WARDA, aujourd'hui Centre africain du riz), la Banque Africaine de Développement (BAD) et des partenaires techniques chinois, le gouvernement du Bénin a construit plusieurs systèmes d'irrigation dans le pays. Grâce à cette collaboration publique, la superficie des terres irriguées est passée de 3 932 ha en 1975 à 9 724 ha en 1990, puis à 23 040 ha en 2008 (FAO, 2018 ; Nonvide et al., 2018). En fonction de leurs capacités financières, les agriculteurs ont utilisé plusieurs systèmes d'irrigation au Bénin. L'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte sont pratiquées respectivement sur 46%, 42% et 12% de la superficie irriguée totale (FAO, 2005). L'irrigation par canal est utilisée dans tous les systèmes de riziculture irriguée du pays, tandis que l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte sont principalement utilisées pour la production maraîchère. Les producteurs bénéficient souvent d'une assistance technique et financière de la part de l'État et des Organisations Non Gouvernementales (ONG) impliquées dans les activités hydro-agricoles.

Récemment, la nécessité de développer l'irrigation pour atteindre des rendements élevés et garantir la sécurité alimentaire et nutritionnelle a été réaffirmée dans le Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA) 2025 et dans le Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle (PNIASAN) 2017-2021. L'objectif est de porter la superficie irriguée à 35 155 hectares en 2025. Ces plans définissent les lignes directrices pour le développement des infrastructures d'irrigation au Bénin. Ces actions s'appuient notamment sur (i) le soutien à la promotion de petits systèmes d'irrigation pour l'agriculture périurbaine, (ii) le soutien à la mise en place d'infrastructures et d'équipements d'irrigation complémentaires pour les agriculteurs, (iii) la promotion de projets pilotes pour d'autres cultures, en l'occurrence les productions horticoles, et (iv) le soutien au développement de l'irrigation à petite échelle pour le développement de la production rizicole et la promotion du maraîchage intensif (Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP), 2017).

L'objectif de la politique gouvernementale en matière de développement de l'irrigation au Bénin est d'accroître la production de cultures vivrières, en particulier celle du riz, qui occupe environ 50% de la superficie totale des terres irriguées (FAO, 2018). Le riz est l'une des principales cultures vivrières retenues dans le PSDSA-2025 et dans le PNIASAN 2017-2021 du Bénin pour atteindre la sécurité alimentaire et nutritionnelle. L'objectif est d'irriguer 11 000 ha de rizières (PSDSA-2025). L'efficacité des investissements publics dans l'irrigation au Bénin n'a pas été suffisamment étudiée. Des études récentes (Tanaka et al., 2013; Nonvide, 2017, 2019a) ont montré l'effet positif de l'adoption de l'irrigation sur les rendements au Bénin. D'autres études ont analysé les facteurs de réussite des systèmes d'irrigation (Totin et al., 2012 ; Djagba et al., 2014) et leur efficacité (Zannou et al., 2018). Peu d'études ont établi un lien entre les systèmes d'irrigation et la sécurité nutritionnelle au Bénin, exception faite à l'étude de Alaofè et al. (2016).

Domenech (2015) a révélé que, bien que des travaux antérieurs aient montré que l'irrigation contribue à l'amélioration des rendements et à la sécurité alimentaire, les études n'ont généralement pas examiné ses effets sur la nutrition. On sait donc peu de choses sur la manière dont les politiques d'irrigation influencent les résultats nutritionnels des ménages ruraux. De plus, la littérature actuelle présente des résultats mitigés quant aux effets de l'irrigation sur les résultats nutritionnels. Dans certains contextes, des effets positifs de l'irrigation sur la sécurité alimentaire et les résultats nutritionnels ont été rapportés. Par exemple, au Mali, Dillon (2008) a constaté que l'irrigation contribue à l'augmentation de la consommation alimentaire. Nkhata et al. (2014) ont constaté un impact positif de l'irrigation sur la sécurité alimentaire et la pauvreté au Malawi. En Asie du Sud, Pandey et al. (2016) ont montré que les interventions agricoles visant à améliorer l'accès à l'eau contribuent à améliorer l'état nutritionnel. Au Bénin, Alaofè et al. (2016) ont constaté une augmentation de la diversité alimentaire grâce à l'utilisation de l'irrigation goutte à goutte. Dans d'autres cas, aucun lien significatif n'a été établi entre l'utilisation de l'irrigation et les résultats nutritionnels. Par exemple, Hossain et al. (2005) au Bangladesh, Shively et al. (2012) au Népal et Hagos et al. (2017) en Éthiopie ont montré que l'augmentation de la productivité due à l'utilisation de l'irrigation ne se traduisait pas par une meilleure nutrition.

2- Exposé du problème

La malnutrition reste un défi majeur à l'échelle mondiale. Sous toutes ses formes, la malnutrition englobe la sous-alimentation (émaciation, retard de croissance et insuffisance pondérale), les carences en vitamines ou en

minéraux, le surpoids, l'obésité et les maladies non transmissibles liées à l'alimentation qui en découlent (OMS, 2020)⁴. Environ 1,9 milliard d'adultes dans le monde sont en surpoids ou obèses, tandis que 462 millions souffrent d'insuffisance pondérale (OMS, 2020). La malnutrition est plus prononcée dans les pays en développement, en particulier en Afrique Subsaharienne (ASS) où l'on estimait à 23% la proportion de personnes sous-alimentées en 2016, contre une moyenne de 20% pour l'Afrique et de 11% pour le monde (FAO et al., 2017). Au Bénin, la situation nutritionnelle reste également très préoccupante. La malnutrition chronique est passée de 32% en 2011 à 34% en 2016 (INSAE, 2015b ; FAO et al., 2017), alors qu'une prévalence supérieure au seuil de 30% est considérée comme critique par l'OMS (MAEP, 2017). La prévalence du retard de croissance sévère est de 12,4 % (INSAE, 2015b). La prévalence de l'insuffisance pondérale modérée et sévère est de 18,6 % (INSAE, 2015b), tandis que la prévalence de l'obésité chez les adultes est de 7,1 % en 2014 (FAO et al., 2017). La situation de malnutrition est plus critique dans les zones rurales (35,2 % contre 25,8 % dans les zones urbaines) (MAEP, 2017) où la majorité de la population dépend de l'agriculture pour sa subsistance. De plus, dans ces zones rurales, l'accès aux sources de nourriture, aux établissements de santé et aux autres infrastructures est très limité.

Le Bénin dispose toutefois d'un potentiel agricole considérable pour garantir la sécurité alimentaire et la nutrition. En mettant en œuvre sa politique nationale en matière d'alimentation et de nutrition et en améliorant l'accès à une alimentation diversifiée, le pays aura davantage d'opportunités d'améliorer durablement la nutrition et l'état nutritionnel de la population. Récemment, le Bénin a lancé le Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle (PNIASAN)⁵ 2017-2021, qui a maintenu le riz comme culture clé pour améliorer la sécurité nutritionnelle. En outre, le PNIASAN 2017-2021 définit les lignes directrices pour le développement des infrastructures d'irrigation afin de mettre en place environ 11 000 ha de systèmes d'irrigation pour la production de riz et 300 ha pour la polyculture. Cela montre l'importance du système de riziculture irriguée dans la réduction de la malnutrition au Bénin. Cependant, les infrastructures d'irrigation sont sous-utilisées au Bénin. Environ 25 % de la superficie totale aménagée à des fins d'irrigation dans le pays était inutilisée (FAO, 2014 ; Nonvide, 2019b). Dans le périmètre d'irrigation de Malanville (zone d'étude) en 2015, sur les 516 ha de terres irrigables, 116 ha n'étaient pas cultivés. Une similaire situation est observée dans les autres périmètres d'irrigation du Bénin. À titre d'exemple, sur les 88 ha de terres du périmètre d'irrigation de Zonmon, 51,9 ha étaient inutilisés. Dans le périmètre d'irrigation de Bamè, sur les 33 ha de terres irrigables, 20,5 ha n'étaient pas cultivés ; dans le périmètre d'irrigation de Koussin-lélé, sur les 120 ha de terres, 8,2 ha étaient inutilisés (Nonvide, 2019b).

Cette étude vise à apporter des réponses aux questions de recherche suivantes : Quel est le niveau de participation des riziculteurs au système d'irrigation ? Quels sont les facteurs qui influencent la participation des riziculteurs au système d'irrigation ? Et quel est l'impact de l'irrigation sur la sécurité alimentaire et les résultats nutritionnels ? Ce faisant, l'étude contribue à améliorer les connaissances de l'impact de l'irrigation sur les résultats nutritionnels. Elle fournit également une base factuelle pour étayer les futures politiques d'irrigation visant à réduire la faim et la malnutrition au Bénin et dans d'autres pays présentant des contextes agroécologiques et socio-économiques similaires.

3- Objectifs

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer de manière empirique l'impact des projets d'irrigation sur la sécurité alimentaire et les résultats nutritionnels chez les producteurs de riz du Bénin. Les principales variables qui retiennent l'attention dans cette étude sont la diversité alimentaire (DA), le score de consommation alimentaire (SCA), et l'indice de masse corporelle (IMC). Ces variables servent d'indicateurs indirects de la sécurité alimentaire et des résultats nutritionnels.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- estimer le niveau de participation au système d'irrigation chez les riziculteurs ;

⁴ voir <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>

⁵ Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle

- déterminer les facteurs influençant la participation des agriculteurs au système d'irrigation du riz ;
- estimer l'impact de la participation au système d'irrigation du riz sur la sécurité alimentaire
- évaluer l'impact de la participation au système d'irrigation du riz sur les résultats nutritionnels.

4- Hypothèses

Les principales hypothèses à tester dans cette étude sont les suivantes :

- Les facteurs socio-économiques et démographiques ainsi que les variables institutionnelles influencent la décision des agriculteurs de participer au système d'irrigation du riz.
- La participation au système d'irrigation du riz a un impact positif sur la sécurité alimentaire et les résultats nutritionnels.

5- Revue de la littérature

L'agriculture joue un rôle important dans la réduction de l'insécurité alimentaire en augmentant l'intensité des cultures et la productivité de l'élevage. Plusieurs études ont montré que le développement de l'irrigation peut améliorer la productivité agricole, augmenter les revenus et contribuer de manière significative à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté (Bhattarai et Narayanamoorthy, 2003 ; Hussain et Hanjra, 2004 ; Huang et al., 2006 ; Burney et Naylor, 2012; Bagson et Kuuder, 2013; Sinyolo et al., 2014). Bhagowalia et al. (2012) suggèrent que les programmes agricoles incluant l'utilisation de l'irrigation ont un impact significatif sur la diversité alimentaire grâce à l'augmentation de la productivité. Des études antérieures (Lipton et al., 2003 ; Hussain et Hanjra, 2004 ; Domenech, 2015) ont montré que l'irrigation peut avoir un impact direct sur la productivité agricole de trois manières principales, notamment la réduction des pertes de récoltes, la culture multiple et l'extension des terres irriguées. De plus, la promotion des programmes d'irrigation s'accompagne souvent d'un soutien institutionnel en termes de facilitation de l'accès à d'autres intrants agricoles tels que les engrais, les produits agrochimiques et les semences améliorées. Par conséquent, l'irrigation est susceptible d'accroître la stabilité de l'approvisionnement alimentaire, ce qui favorisera certainement une consommation alimentaire plus importante. De plus, les activités non agricoles générées par la demande accrue d'intrants agricoles et l'offre de produits peuvent accroître les opportunités d'emploi (Hussain et Hanjra, 2004; Domenech, 2015), offrant ainsi aux agriculteurs davantage de possibilités de diversifier leurs sources de revenus. Cela pourrait augmenter le revenu total. À mesure que les revenus augmentent, les agriculteurs peuvent se permettre d'acheter davantage de nourriture pour leur consommation et d'investir davantage dans les soins de santé (Domenech, 2015 ; Herforth et Ballard, 2016).

La question importante est de savoir si ces résultats issus de plusieurs études montrent une amélioration de la nutrition. À cet égard, des travaux empiriques antérieurs ont conclu que l'amélioration de la productivité agricole peut être un moyen puissant de réduire la sous-alimentation chez les agriculteurs (Gulati et al., 2012 ; Pandey et al., 2016). Domenech et Ringler (2013) suggèrent que l'irrigation peut améliorer les résultats nutritionnels grâce à l'augmentation des rendements et de la disponibilité des denrées alimentaires ainsi qu'à l'amélioration de l'alimentation tant en quantité qu'en qualité, car elle permet aux petits exploitants agricoles d'augmenter leur production avec les mêmes intrants. Cependant, le potentiel de l'irrigation pour améliorer les résultats nutritionnels dépend de divers facteurs, notamment la disponibilité de l'eau, le type de technologie d'irrigation, l'accès aux intrants agricoles et l'environnement institutionnel régissant l'accès à l'eau (Lipton et al., 2003 ; Domenech, 2015). Une augmentation de la production alimentaire due à l'utilisation de l'irrigation sans amélioration des conditions d'hygiène n'est pas suffisante pour améliorer l'état nutritionnel des agriculteurs ruraux (Bénéfice et Simondon, 1993). Steiner-Asiedu et al. (2012) suggèrent qu'une éducation nutritionnelle est nécessaire pour exploiter pleinement le potentiel de l'irrigation en matière d'amélioration des résultats nutritionnels.

Certaines évaluations empiriques (Veronica et al., 2007 ; Steiner-Asiedu et al., 2012 ; Adam et al., 2016 ; Hagos et al., 2017) reposaient sur un simple test comparatif des résultats nutritionnels entre les participants aux projets

d'irrigation et les non-participants. Dans ce groupe d'études utilisant des tests de différence moyenne (test t et test du chi carré), l'étude de Veronicah et al. (2007) a révélé que la prévalence du retard de croissance et de l'insuffisance pondérale (indicateurs de privation nutritionnelle à long terme) était plus élevée dans les ménages non participants au projet que dans les ménages participants au Kenya. Sur la base d'une évaluation des perceptions des agriculteurs, l'étude d'Adam et al. (2016) a suggéré que les systèmes d'irrigation à petite ont contribué à améliorer l'état nutritionnel des ménages dans la région orientale du Ghana. À l'aide de tests de différence de moyenne entre les utilisateurs et les non-utilisateurs de l'irrigation, Hagos et al. (2017) ont constaté que l'utilisation de l'irrigation par crue en Éthiopie n'avait pas d'effets nutritionnels significatifs. Ce résultat corrobore des études antérieures (Hossain et al., 2005 ; Shively et al., 2012) qui avaient constaté un impact non significatif de l'irrigation sur les résultats nutritionnels. Par exemple, au Bangladesh, le recours à l'irrigation a contribué à augmenter la consommation de riz, mais la diversité alimentaire n'a pas augmenté (Hossain et al., 2005). Cela montre que l'augmentation de la productivité due à l'utilisation de l'irrigation ne se traduit pas nécessairement par une meilleure nutrition, ce qui suggère la nécessité d'interventions sensibles à la nutrition, telles que l'éducation nutritionnelle, pour renforcer les effets de l'irrigation sur les résultats nutritionnels (Hossain et al., 2005 ; Hagos et al., 2017).

La principale faiblesse des études fondées sur des tests de différence de moyenne et l'évaluation des perceptions (Veronicah et al., 2007 ; Steiner-Asiedu et al., 2012; Adam et al., 2016; Hagos et al., 2017) réside dans l'absence de méthodes d'évaluation d'impact appropriées permettant de remédier au problème du biais de sélection, la participation au programme n'étant pas aléatoire. Négliger cet aspect peut conduire à sous-estimer ou à surestimer les impacts de l'irrigation sur les résultats nutritionnels. Pour corriger ce biais, Dillon (2008) a utilisé un appariement par score de propension et des techniques de différence dans les différences avec deux séries de données de panel (1998 et 2006) pour analyser les impacts de l'irrigation au Mali. Il a constaté des augmentations positives significatives de la consommation, de la production agricole et des apports caloriques et protéiques pour les ménages ayant accès à l'irrigation. L'apport calorique quotidien a augmenté de 1 836 calories chez les irrigants, tandis qu'il a diminué de 925 calories chez les non-irrigants. Ces résultats ont prouvé que dans une région à faible potentiel agricole, comme la zone aride du Mali, les programmes agricoles axés sur l'irrigation peuvent améliorer les résultats nutritionnels. En utilisant la même méthode d'analyse basée sur une étude de cas du projet d'irrigation de la vallée de Bwanje au Malawi, Nkhata et al. (2014) ont constaté que l'accès aux installations d'irrigation contribue à augmenter l'apport calorique quotidien par habitant de 10 % chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation par rapport aux non-irrigants. De plus, sur la base d'un protocole expérimental, une étude menée par Alaofè et al. (2016) a analysé l'impact de l'irrigation goutte-à-goutte alimentée par l'énergie solaire dans le cadre de jardins maraîchers solaires (SMG) sur la diversité de la production végétale et la diversité alimentaire au Bénin. Cette étude a été menée dans quatre villages, comprenant deux villages de traitement et deux villages de comparaison appariés dans le nord du Bénin. Des jardins maraîchers solaires ont été installés dans les deux villages de traitement pour les groupes agricoles de femmes pratiquant l'horticulture. Un an plus tard, la comparaison des données de référence et de fin de projet entre les villages de traitement et de contrôle a indiqué une augmentation de la variété des fruits et légumes produits et consommés par les agriculteurs utilisant l'irrigation goutte à goutte par rapport aux autres groupes. L'étude a également révélé qu'environ 57% des femmes utilisaient leurs revenus supplémentaires pour l'alimentation, 54% pour les soins de santé et 25% pour l'éducation. Cette étude a montré que l'irrigation goutte à goutte à énergie solaire a le potentiel d'améliorer l'état nutritionnel grâce à la consommation directe et à l'augmentation des revenus.

6- Cadre conceptuel

Les interventions agricoles visant à accroître la disponibilité en eau constituent des approches prometteuses pour améliorer la situation nutritionnelle, grâce à un meilleur accès à l'eau, à l'augmentation de la productivité agricole et des revenus, ainsi qu'à l'amélioration des conditions d'assainissement et d'hygiène (Passarelli et al., 2018). Face au changement climatique et à la croissance démographique, le développement de l'irrigation est considéré comme un moyen potentiel d'assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Pourtant, certaines études antérieures (Chazovachii, 2012 ; Domenech, 2015) ont indiqué que, dans certaines zones reculées, un accès limité aux marchés pouvait entraver la génération de revenus à partir des cultures irriguées.

Dans cette étude, l'impact de la production de riz irrigué sur les résultats nutritionnels des agriculteurs est examiné principalement à travers deux canaux : directement, via la production propre consommée, et indirectement, via la

production propre vendue pour augmenter les revenus (figure 1). L'impact direct découle d'une disponibilité accrue du riz. En effet, une augmentation de la productivité du riz résultant de la participation au système d'irrigation peut conduire à une disponibilité accrue du riz. En permettant une production pendant la saison sèche, l'irrigation peut accroître la disponibilité alimentaire tout au long de l'année. Les agriculteurs peuvent alors augmenter leur propre consommation de riz. L'impact indirect passe par la vente de la production propre destinée à augmenter les revenus. Dans le contexte particulier de cette étude où seul le riz est cultivé dans le cadre du système d'irrigation, un meilleur accès au marché est essentiel pour garantir des revenus plus élevés aux agriculteurs. Plusieurs circuits de commercialisation existent pour les producteurs de riz de la commune de Malanville, en particulier ceux qui opèrent dans le cadre du système d'irrigation de Malanville. L'État reste le principal acheteur de riz dans la commune de Malanville. Les agriculteurs peuvent également vendre leur riz sur les marchés urbains ou l'exporter vers les pays limitrophes tels que le Togo, le Burkina Faso, le Niger et le Nigeria. Les revenus générés par la vente du riz peuvent être utilisés pour acheter des denrées alimentaires variées et riches en nutriments. Cela peut contribuer à améliorer la consommation et la diversité alimentaires. Lorsqu'ils sont combinés, la consommation directe de la production propre et les achats alimentaires déterminent l'apport nutritionnel total des agriculteurs. Les agriculteurs pratiquant l'irrigation peuvent également augmenter leurs investissements dans les soins de santé grâce à l'augmentation de leurs revenus. Le canal des revenus pourrait ainsi influencer sur les résultats nutritionnels (mesurés par l'indice de masse corporelle) à la fois par la diversité alimentaire et par l'amélioration de l'état de santé. Tous ces éléments ont des implications sur l'amélioration de l'état nutritionnel des riziculteurs.

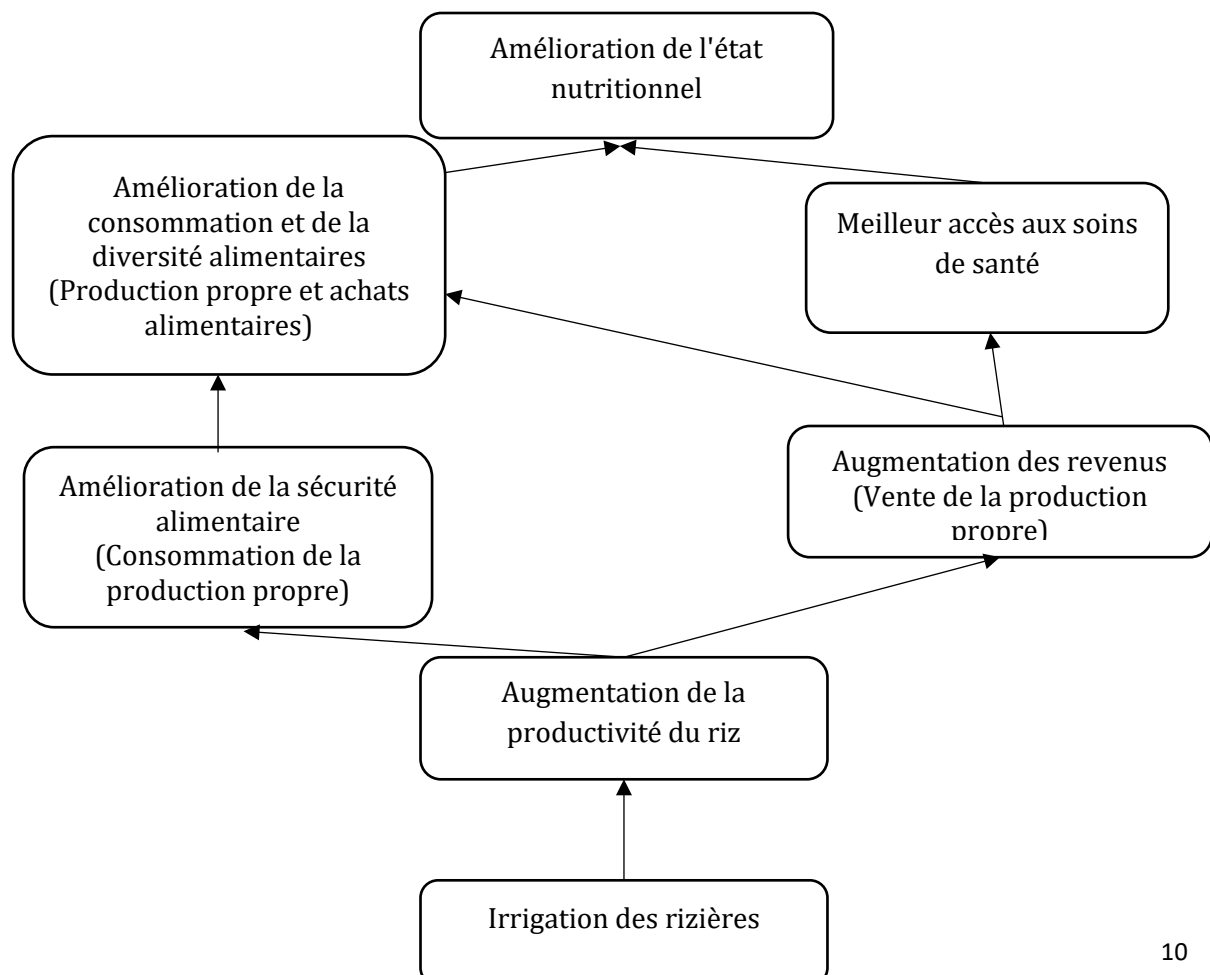


Figure 1 : Liens entre l'irrigation et la nutrition

Source : Adapté de Hussain et Hanjra (2004) et Domenech (2015)

7- Méthode de recherche

7-1-Cadre empirique

7-1-1- Estimation de l'indice de participation au programme d'irrigation

Une approche couramment utilisée pour évaluer le taux d'adoption des nouvelles technologies consiste à calculer simplement le pourcentage d'utilisateurs au sein de l'échantillon de l'enquête. Cependant, cette approche souffre soit d'un « biais de non-exposition » soit d'un « biais de sélection ». En conséquence, les taux d'adoption au sein de la population sont généralement biaisés et incohérents, même lorsqu'ils sont basés sur un échantillon sélectionné de manière aléatoire (Diagne et Demont, 2007 ; Dibba et al., 2012 ; Nguetzet et al., 2013). Pour résoudre ce problème, Diagne et Demont (2007) ont utilisé le cadre de l'effet moyen du traitement (ATE) pour estimer le taux d'adoption potentiel lorsque la population a une connaissance totale de la technologie. Cependant, le taux d'adoption potentiel basé uniquement sur la connaissance sous-estime encore le véritable taux d'adoption potentiel d'une nouvelle technologie, car la simple connaissance ne suffit pas à l'adoption (Diagne, 2010 ; Nguetzet et al., 2013). On peut connaître la technologie sans y avoir accès. Nguetzet et al. (2013) ont pris en compte dans leur analyse à la fois le manque de connaissance et le manque d'accès comme des contraintes à l'adoption de la technologie.

L'accès au système d'irrigation est un facteur important pour y participer. Le système d'irrigation de Malanville est conçu pour desservir les cinq quartiers de la municipalité. En l'absence de données sur la connaissance des systèmes d'irrigation et afin d'éviter de calculer un simple pourcentage de participants à partir de l'échantillon de l'enquête, l'indice de participation mesuré par l'intensité d'adoption a été estimé pour les producteurs de riz individuels à l'aide de la formule suivante, adaptée d'études antérieures (Philip et al., 2000 ; Saka et al., 2005 ; Adeogun et al., 2008) :

$$A_z = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n L_T} \quad (1) \quad \text{Où}$$

: A_z est l'indice de participation au système d'irrigation ; L_i est la superficie des terres couvertes par le système d'irrigation et L_T est la superficie totale des terres consacrées à la culture du riz par l'agriculteur i .

7-1-2- Analyse de la décision de l'agriculteur de participer au programme d'irrigation

La théorie de l'utilité attendue est à la base des décisions d'adoption de technologies. Par conséquent, la décision d'un agriculteur de participer au programme d'irrigation dans la municipalité de Malanville, au Bénin, peut être analysée dans un cadre d'utilité aléatoire. Soit U_{i1} l'utilité obtenue par un agriculteur i grâce à sa participation à l'irrigation et U_{i0} l'utilité de la non-participation. Soit X_i un vecteur de caractéristiques de l'exploitation et de l'agriculteur ainsi que de facteurs institutionnels influençant la participation au programme d'irrigation, et ε_i le terme d'erreur. En fonction de l'état de participation, l'utilité de l'agriculteur i peut être estimée comme suit :

$$\begin{cases} U_{i0} = f(X_{i0}) + e_{i0} \\ U_{i1} = f(X_{i1}) + e_{i1} \end{cases} \quad (2)$$

Un agriculteur ne choisira de participer à un programme d'irrigation que si l'utilité tirée de cette participation est supérieure à celle qu'il retirerait en ne participant pas. Mathématiquement, un agriculteur opte pour l'irrigation si $U_{i1} > U_{i0}$. Cependant, les utilités ne sont pas observables ; la seule chose que nous observons est la décision de l'agriculteur. Les utilités peuvent donc être exprimées dans le modèle de structure latente suivant pour la participation à un programme d'irrigation :

$$Z_i^* = \beta X_i + e_i \quad (3)$$

$$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_i^* > 0 \\ 0 & \text{if } Z_i^* < 0 \end{cases}$$

Où Z_i est une variable binaire de participation au programme d'irrigation, prenant la valeur 1 en cas de participation et 0 en cas de non-participation. X_i désigne les variables explicatives sélectionnées sur la base de la littérature (Dillon, 2008 ; Nkhata et al., 2014 ; Alaofè et al., 2016 ; Hagos et al., 2017). Celles-ci comprennent des caractéristiques socio-économiques telles que l'âge, l'expérience en matière de production rizicole, le sexe, le niveau d'éducation, les activités extra, l'accès aux médias, la distance par rapport au système d'irrigation, ainsi que des variables institutionnelles telles que la fréquence des réunions des organisations d'agriculteurs (FBO), l'accès au crédit et la participation au marché.

7-1-3- Estimation de l'impact de la participation au système d'irrigation

Les variables de résultat (résultats en matière de sécurité alimentaire et de nutrition) sont considérées comme une fonction linéaire de la variable binaire de participation au système d'irrigation, ainsi que des autres variables explicatives.

$$Y_i = \lambda X_i + \beta Z_i + \mu_i \quad (4)$$

Où Y_i est l'indicateur des résultats en matière de sécurité alimentaire et de nutrition et β sont des vecteurs de paramètres à estimer et μ_i le terme d'erreur. Il n'existe pas de méthode unique pour mesurer la sécurité alimentaire et la nutrition. L'étude utilise à la fois l'indice de diversité alimentaire (DD) et l'indice de consommation alimentaire (FCS) pour mesurer la sécurité alimentaire, ainsi que l'indice de masse corporelle (IMC) comme indicateur de l'état nutritionnel chez les riziculteurs du Bénin. Le DD et le FCS sont tous deux des variables continues, tandis que l'IMC est une variable dichotomique dont la valeur est 1 si l'IMC d'un agriculteur se situe dans la fourchette normale (IMC compris entre 18,5 et 25 kg/m^2) et 0 dans le cas contraire. Les formules permettant d'estimer ces résultats sont présentées respectivement dans les Equations E1, E2 et E3 (voir annexe). La DD (Equation E1) est définie comme le nombre d'aliments ou de groupes d'aliments différents consommés au cours d'une période de référence, quelle que soit la fréquence de consommation. Elle reflète l'accès à la variété alimentaire et la disponibilité calorique, car elle est étroitement liée à la consommation alimentaire (Ruel, 2003). Le FCS (Equation E2) combine les données sur la diversité alimentaire et la fréquence alimentaire sur une période de rappel des 7 derniers jours (PAM, 2008). La fréquence alimentaire fournit une estimation du pourcentage d'individus concernés. L'indice FCS est associé à diverses mesures couramment considérées comme des indicateurs indirects de la sécurité nutritionnelle, notamment les dépenses alimentaires et non alimentaires, ainsi que la disponibilité calorique quotidienne par habitant (Hatloy et al., 2000 ; Jones et al., 2013 ; Berti et al., 2004 ; Carletto et al., 2013). L'IMC (équation E3) est défini comme la masse corporelle en kilogrammes divisée par le carré de la taille en mètres et s'exprime en kg/m^2 . L'utilisation de l'IMC permet de déterminer si l'amélioration de l'accès à la nourriture conduit également à une alimentation plus nutritive. Le répondant indique la fréquence de consommation des groupes d'aliments comme indiqué dans le tableau A1 (voir annexe).

La variable de traitement et les variables de résultat dans l'Equation 4 semblent présenter une causalité bidirectionnelle, en ce sens que la participation au programme d'irrigation influe sur les résultats en matière de sécurité alimentaire et de nutrition, mais que, parallèlement les agriculteurs qui adoptent ce programme sont peut-être justement ceux qui bénéficient d'une plus grande sécurité alimentaire et d'un meilleur état nutritionnel. Cette causalité inverse engendre un problème d'endogénéité. De plus, l'auto-sélection intervient généralement dans le processus d'adoption d'une technologie. C'est le cas de la participation au programme d'irrigation dans la municipalité de Malanville où les agriculteurs décident eux-mêmes d'y participer ou non. En raison de certaines caractéristiques non observables (compétences, motivation, aversion au risque, etc.), certains producteurs sont plus enclins à adopter l'irrigation que d'autres. Pour traiter ces problèmes de biais de sélection et d'endogénéité, il faut recourir à des techniques économétriques appropriées. Parmi les différentes techniques utilisées dans la littérature, on peut citer le modèle de sélection de Heckman (Tesfaye et al., 2008 ; Bacha et al., 2011 ; Nonvide, 2017), les méthodes d'appariement par scores de propension (PSM) (Mendola, 2007 ; Dillon, 2008 ; Owusu et al., 2011 ; Nkhata et al., 2014), la méthode des variables instrumentales (IV) (Bezu et al., 2014 ; Verkaart et al., 2017) et le modèle de régression à commutation endogène (ESR) (Di Falco et al., 2011 ; Asfaw et al., 2012). Toutes ces

méthodes sont complémentaires et reposent sur des hypothèses⁶. Jalan et Ravallion (2003) soutiennent que l'hypothèse de sélection sur des variables observables dans l'approche PSM n'est pas plus restrictive que l'élimination des problèmes d'instruments faibles avec les modèles de Heckman et IV. Le principal avantage du modèle ESR réside dans l'estimation conjointe des équations de sélection et de résultats à l'aide d'un estimateur de vraisemblance maximum à information complète (FIML) (Carter et Milon, 2005; Asfaw et al., 2012). Un autre avantage est que le modèle ESR permet de calculer les résultats contrefactuels. En d'autres termes, le modèle ESR nous indiquera dans quelle mesure le DD, le FCS ou l'IMC du non-adoptant se seraient améliorés s'il avait adopté, et la perte de ces indicateurs pour l'adoptant s'il n'avait pas adopté. Cela justifie l'utilisation d'un modèle de régression à commutation endogène.

7-2- Techniques d'estimation : le modèle de régression à commutation endogène

L'estimation du modèle ESR repose sur des estimations distinctes pour les agriculteurs pratiquant l'irrigation et ceux qui ne la pratiquent pas. Cela suggère que la participation à un système d'irrigation devient le critère de sélection, indiquant les régimes auxquels les agriculteurs sont confrontés. Le modèle de participation à l'irrigation est défini par l'équation (2). Il s'agit d'un modèle probit permettant de prédire les facteurs qui influencent la participation au système d'irrigation. Selon cette équation, les résultats en matière de sécurité alimentaire et de nutrition sont observés dans les deux régimes (Maddala, 1983 ; Di Falco et al., 2011).

$$\text{Régime 1: } Y_{1i} = a_1 X_{1i} + v_{1i} \quad \text{si } Z_i = 1 \text{ (pour les irrigants)} \quad (5)$$

$$\text{Régime 2 : } Y_{2i} = a_2 X_{2i} + v_{2i} \quad \text{si } Z_i = 0 \text{ (pour les non-irrigants)} \quad (6)$$

Où Y_i représente les indicateurs de sécurité alimentaire et de nutrition (DD, FCS et IMC), X_i un vecteur de variables explicatives influençant les résultats nutritionnels des agriculteurs, v_i est le terme de perturbation aléatoire pour chaque groupe. Les variables non observées influençant la probabilité de participation à l'irrigation pourraient également affecter les résultats nutritionnels ; ainsi, le terme d'erreur dans l'Equation (2) et ceux des Equations (5) et (6) peuvent être corrélés, ce qui pose des problèmes d'endogénéité et d'autosélection. Pour tenir compte de cela, les Equations (2), (5) et (6) ont été estimées simultanément à l'aide d'une méthode FIML, qui reste l'approche la plus efficace (Lokshin et Sajaia, 2004).

Dans le prolongement de travaux antérieurs (Heckman et al., 2001; Carter et Milon, 2005; Di Falco et al., 2011; Asfaw et al., 2012), le modèle ESR a été utilisé pour comparer les résultats nutritionnels attendus chez les irrigants (a) avec ceux des non-irrigants (b), et pour étudier les résultats nutritionnels attendus dans les cas contrefactuels (c) où les irrigants n'ont pas adopté l'irrigation, et (d) où les non-irrigants l'ont adoptée. Ces mesures sont essentielles pour l'explication des différences nutritionnelles entre les deux groupes d'agriculteurs et pour l'identification des réponses possibles aux changements de politique d'irrigation. Le tableau 1 présente les attentes conditionnelles concernant les résultats nutritionnels pour les quatre cas.

Tableau 1: Attentes conditionnelles, traitement et effets d'hétérogénéité

Sous-échantillon	Étape de décision		Effets des traitements
	Adopter	Non-adoption	
Adoptants	(a) $E(y_{1i} Z_i = 1)$	(c) $E(y_{2i} Z_i = 1)$	TT
Non-adoptants	(d) $E(y_{1i} Z_i = 0)$	(b) $E(y_{2i} Z_i = 0)$	TU
Effets d'hétérogénéité	BH ₁	BH ₀	TH

Remarque : (a) et (b) correspondent aux résultats nutritionnels observés ; (c) et (d) correspondent aux résultats nutritionnels attendus dans un scénario contrefactuel. TT : effet du traitement sur les personnes traitées ; TU : effet du traitement sur les personnes non traitées ; BH₁ : effet d'hétérogénéité de base pour les adoptants ; BH₀ : effet d'hétérogénéité de base pour les non-adoptants ; TH : effet d'hétérogénéité de transition.

⁶ Voir Jalan et Ravallion (2003) pour plus d'informations.

L'effet moyen du traitement (ATE) est défini comme suit :

$$ET = E(y_{1i}|Z_i = 1) - E(y_{2i}|Z_i = 0) \quad (7)$$

L'effet du traitement sur les personnes traitées (TT) est exprimé dans l'équation (8) comme la différence entre les cas (a) et (c) :

$$TT = E(y_{1i}|Z_i = 1) - E(y_{2i}|Z_i = 1) \quad (8)$$

De même, l'effet du traitement sur les non-traités est défini comme suit :

$$TU = E(y_{1i}|Z_i = 0) - E(y_{2i}|Z_i = 0) \quad (9)$$

L'étude fait la distinction entre les effets du traitement et les effets d'hétérogénéité de base. L'effet d'hétérogénéité de base est exprimé par l'équation (10) pour les agriculteurs pratiquant l'irrigation. Cela représente la différence entre les cas (a) et (d).

$$BH_1 = E(y_{1i}|Z_i = 1) - E(y_{1i}|Z_i = 0) \quad (10)$$

Pour les exploitations non irriguées, l'effet d'hétérogénéité de base est exprimé par la différence entre les cas (c) et (b) :

$$BH_2 = E(y_{2i}|Z_i = 1) - E(y_{2i}|Z_i = 0) \quad (11)$$

Enfin, l'effet d'hétérogénéité de transition est calculé (Equation 12). Cela permet de déterminer si l'impact de l'irrigation est plus faible ou plus important pour les adoptants et les non-adoptants par rapport au scénario contrefactuel, donné par :

$$TH = TT - TU \quad (12)$$

L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel STATA. La commande STATA « movestay » a été utilisée pour estimer le modèle de régression de changement endogène par FIML (Lokshin et Sajaia 2004).

7-3- Données et statistiques descriptives

Les données utilisées dans cette étude sont des données recueillies auprès de riziculteurs individuels en 2015 dans la municipalité de Malanville au Bénin. L'emplacement géographique est indiqué à la figure 2. Les données ont été collectées dans le cadre d'un projet parrainé par l'Alliance pour une révolution verte en Afrique (AGRA) au sein du département d'économie agricole de l'université du Ghana. L'échantillon est constitué d'un échantillon aléatoire de 690 riziculteurs, dont 150 irrigants du système d'irrigation de Malanville et 540 agriculteurs pratiquant l'agriculture pluviale⁷. Le climat de la municipalité de Malanville est de type soudano-sahélien, avec une seule saison des pluies qui s'étend de mai à octobre. Les précipitations varient entre 700 mm et 1 000 mm. Ce faible niveau de précipitations a un impact négatif sur la production agricole. La majorité des habitants pratiquent une agriculture de subsistance, les principales cultures étant le maïs, le riz, le millet, le sorgho, le coton et les légumes. Les autres activités économiques de la commune comprennent la pêche, l'élevage, le petit commerce, le commerce et l'artisanat. La commune figure parmi celles qui ont connu le taux de pauvreté le plus élevé (48,0 %) au Bénin (INSAE, 2015a).

La commune de Malanville a été choisie pour cette étude car il s'agit de la plus grande zone de production de riz en République du Bénin. Elle est traversée par le fleuve Niger, et ses affluents offrent un potentiel important pour la production de riz. De plus, les systèmes d'irrigation rizicole de Malanville comptent parmi les plus importants du pays en termes de superficie et de rendement. La superficie totale des terres irrigables couvertes par le système est de 516 ha, dont 400 ha ont été exploités en 2015. Le système a été construit en 1970. L'eau utilisée est pompée dans le fleuve Niger et distribuée aux exploitations agricoles par des canaux de surface. La monoculture est pratiquée, le riz étant produit par environ 1 054 agriculteurs exploitant le système en 2015. L'État est propriétaire des terres irriguées, et la participation au projet d'irrigation est volontaire. La superficie des terres irriguées varie

⁷ Pour plus de détails sur la conception de l'enquête, voir Nonvide et al. (2018)

de 0,25 ha à 2 ha. Les agriculteurs sont répartis en groupes de 20 à 100 personnes, soit un total de 24 groupes, chacun dirigé par un comité de trois (3) personnes. Un comité élargi de treize (13) membres est chargé de gérer le système et a pour rôle d'assurer l'approvisionnement en eau, les autres intrants et les services, de la production primaire à la commercialisation. À la fin de la saison agricole, chaque agriculteur verse au comité, en nature, trois sacs de 84 kg de riz par 0,25 ha. Le comité est censé utiliser une partie des cotisations collectées pour assurer l'entretien et la réhabilitation du système d'irrigation. Mais en réalité, depuis 1990, la réhabilitation du système d'irrigation est effectuée tous les 10 ou 15 ans par l'État.

Le tableau 2 présente les caractéristiques des utilisateurs et des non-utilisateurs de l'irrigation. Aucune différence significative n'a été observée entre les irrigants et les non-irrigants pour les variables suivantes : niveau d'éducation, possession d'un téléphone et accès aux médias. En ce qui concerne le genre, les hommes sont plus impliqués dans la production de riz que les femmes. Environ 81% des agriculteurs pratiquant l'irrigation interrogés et 72% des agriculteurs pratiquant l'agriculture pluviale sont des hommes. Cela s'explique par le fait que les agricultrices des pays en développement, en général et au Bénin en particulier, ont un accès limité aux ressources, notamment à la terre. L'âge moyen des irrigants était de 40 ans contre 42 ans pour les riziculteurs pluviaux ; ce qui implique que des personnes relativement jeunes participent davantage au programme d'irrigation que des personnes plus âgées. Les agriculteurs pratiquant l'irrigation utilisaient davantage d'intrants (engrais, herbicides et semences améliorées) que ceux qui ne pratiquaient pas l'irrigation. Par exemple, ils utilisaient une plus grande quantité d'engrais, environ 305 kg par hectare, alors que les agriculteurs non irrigants en appliquaient en moyenne 226 kg par hectare, ce qui est inférieur au taux recommandé de 300 kg/ha dans la commune de Malanville. Il existait également des différences significatives entre les deux groupes d'agriculteurs en ce qui concerne les variables institutionnelles. Par exemple, les agriculteurs pratiquant l'irrigation avaient davantage de contacts avec les agents de vulgarisation. Environ 94 % d'entre eux ont reçu des visites de vulgarisation, contre 48,9 % des riziculteurs pratiquant la culture pluviale. Tous les agriculteurs pratiquant l'irrigation et seulement 31% des riziculteurs pratiquant la culture pluviale appartenaient à l'organisation des riziculteurs. Environ 87,3 % des agriculteurs pratiquant l'irrigation ont obtenu un crédit au cours de l'année écoulée, contre 54,4 % des riziculteurs pratiquant la culture pluviale. En ce qui concerne l'utilisation de semences améliorées, tous les agriculteurs pratiquant l'irrigation utilisaient des semences de riz améliorées, contre 44% des riziculteurs pratiquant la culture pluviale. Dans la municipalité de Malanville, les agriculteurs produisaient principalement du riz pour le marché, essentiellement parce que le riz n'est pas un aliment de base. Environ 70% du riz produit est commercialisé. Les agriculteurs pratiquant l'irrigation ont vendu une proportion plus élevée (76%) de leur riz que les agriculteurs ne pratiquant pas l'irrigation (66,4 %). De même, la part des ventes de riz dans le revenu total est nettement plus élevée chez les utilisateurs de l'irrigation (62%) que chez les non-utilisateurs (54%). Ce chiffre montre l'importance de la production de riz en tant que source de revenus dans la municipalité de Malanville au Bénin.

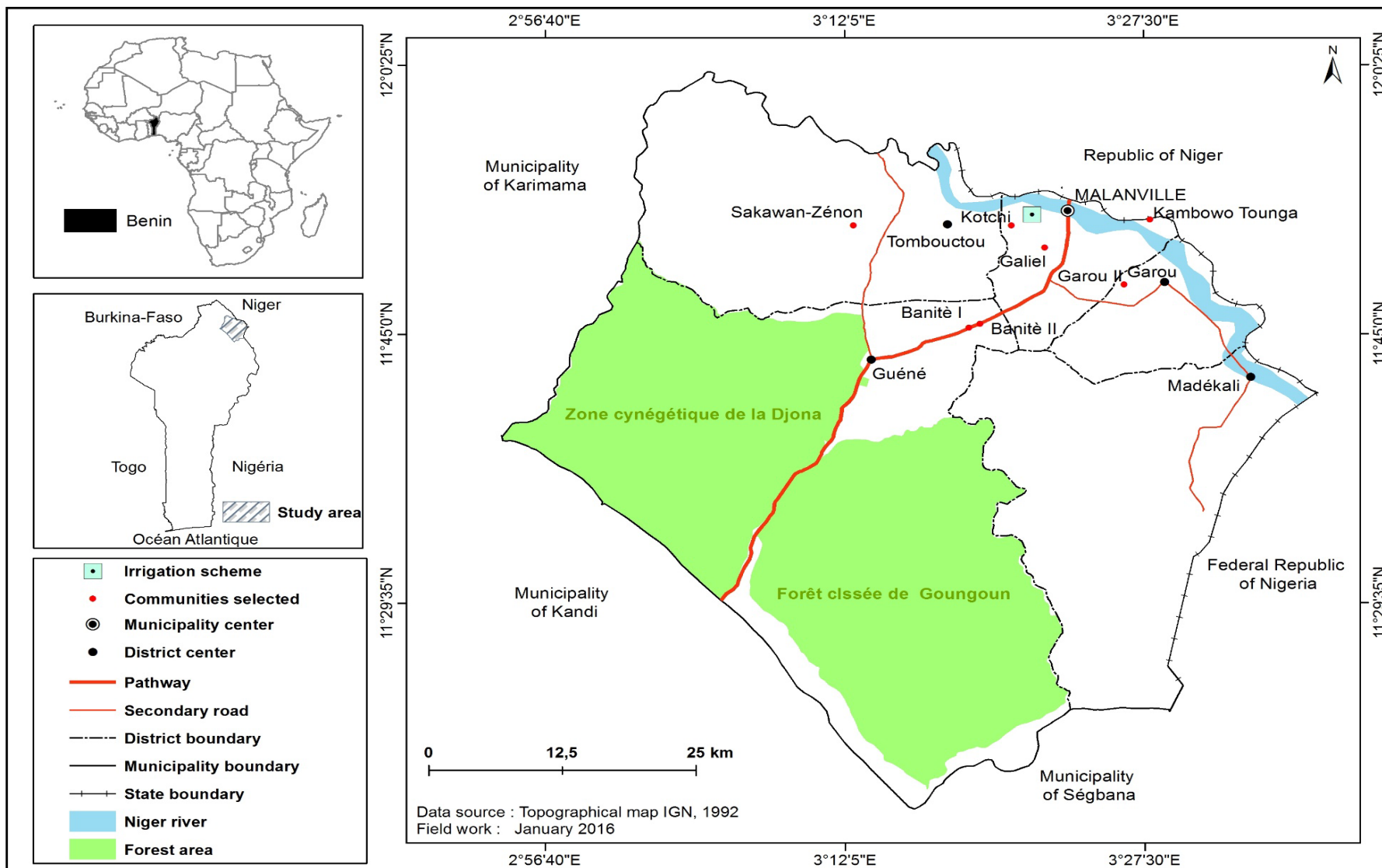


Figure 2 : Carte de la zone d'étude indiquant les communautés sélectionnées et le système d'irrigation

Tableau 2 : Caractéristiques socio-économiques des personnes interrogées

Définition des variables	Mesure	Irrigants	Non-irrigants	Test t
Sexe (%)	1 = Homme	80,67	72,41	4,18**
	0 = Femme	19,33	27,59	
Situation matrimoniale (%)	1 = marié	80,67	92,22	16,98***
	0 = autre	19,33	07,78	
Adhésion à une organisation d'agriculteurs (FBO) (%)	1 = Oui	98,67	34,44	193,86***
	0 = Non	01,33	65,56	
Services de vulgarisation (%)	1 = Oui	94,00	48,89	98,53***
	0 = Non	06,00	51,11	
Accès au crédit (%)	1 = Oui	87,33	54,44	53,67***
	0 = Non	12,67	45,56	
Semences améliorées (%)	1 = Oui	100,00	44,07	149,18***
	0 = Non	00,00	55,93	
Accès au marché (%)	1 = Oui	98,00	92,5	-2,43**
	0 = Non	02,00	07,5	
Activités non agricoles (%)	1 = Oui	66,00	61,00	-10,38***
	0 = Non	34,00	39,00	
Possession d'un téléphone (%)	1 = Oui	35,00	34,00	0,01
	0 = Non	65,00	66,00	
Accès aux médias (%)	1 = l'agriculteur possède une radio ou une télévision; 0 = Non	74,00 26,00	73,00 27,00	0,13
	1 = Oui	80,00	57,00	
Accès aux établissements de santé (%)	0 = Non	20,00	43,00	26,69***
	Années	40,09 (11,00)	42,05 (9,48)	
Expérience agricole	Années	16,32 (7,93)	13,51 (7,60)	-3,95***
	Niveau d'éducation	Nombre d'années de scolarité	2,38 (0,322)	
Fréquence des réunions de l'organisation des agriculteurs	Nombre de réunions	03,00 (1,17)	01,00 (1,55)	-16,26***
	Distance par rapport au système d'irrigation	km	03,34 (1,95)	
Revenus hors exploitation	CFA	20 830 (33 557)	12 180 (36 635)	2,60***
	Engrais	kg/ha	305,33 (92,53)	
Herbicides	Litres/ha	02,81 (1,32)	0,75 (1,78)	-6,76***
	Participation au marché	Proportion de riz vendu	76,09 (20,62)	
Part des revenus provenant du riz (%)			Part du revenu total	0,62 (0,017)

Note : *** p < 0,01 ; ** p < 0,05. Les valeurs entre parenthèses correspondent aux écarts-types.

En ce qui concerne les variables relatives à la sécurité alimentaire et à la nutrition (DD, FCS et IMC), une différence significative a été observée entre les deux catégories d'agriculteurs (tableau 3).

Tableau 3 : Différences moyennes des variables de résultats

Variable	Agriculteurs pratiquants l'irrigation	Non-irrigants	Test t
Indice de masse corporelle	22,50	25,22	13,14***
Poids normal (%)	83,00	62,00	22,08***
Insuffisance pondérale (%)	03,00	02,00	1,21
Surpoids (%)	14,00	36,00	26,30***
Score de diversité alimentaire	08,17	06,80	-6,54***
Score de consommation alimentaire	69,06	37,53	-2,78***
Mauvaise consommation alimentaire (%)	10,67	34,07	5,71***
Consommation alimentaire limite (%)	16,00	0,03	-6,20***
Consommation alimentaire acceptable (%)	73,33	62,96	-2,36**

Note : *** significatif à 1 %, ** significatif à 5 %

L'IMC moyen est de 22,50 chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation et de 25,22 chez ceux qui ne le font pas. Une proportion plus élevée d'agriculteurs pratiquant l'irrigation (83,0 %) présente un poids normal, contre 62 % chez ceux qui ne le font pas. On a également observé que la proportion d'agriculteurs ne pratiquant pas l'irrigation (36%) présentant un surpoids était plus élevée que chez ceux qui la pratiquent (14%). Les agriculteurs pratiquant l'irrigation présentaient une plus grande diversité alimentaire que ceux ne pratiquant pas l'irrigation. Le score de consommation alimentaire (FCS) des agriculteurs pratiquant l'irrigation était d'environ 69, contre 37 pour ceux ne pratiquant pas l'irrigation. En convertissant le FCS en variable catégorielle à l'aide de valeurs seuils standard⁸, environ 10,7 % des agriculteurs pratiquant l'irrigation et 34,1 % de ceux ne pratiquant pas l'irrigation se sont retrouvés dans la catégorie de consommation alimentaire insuffisante. Environ 73,3 % des agriculteurs pratiquant l'irrigation se situaient dans la catégorie de consommation alimentaire acceptable, contre 63% des riziculteurs pratiquant la culture pluviale. Il est important de mentionner que les agriculteurs de la catégorie de consommation alimentaire acceptable étaient plus instruits et bénéficiaient d'un meilleur accès aux services de soutien institutionnels.

8- Résultats et discussion

8-1- Estimation de l'indice de participation au système d'irrigation

L'indice estimé de participation au système d'irrigation parmi les riziculteurs est présenté dans le tableau 4. Les résultats indiquent qu'environ 18 % de la superficie consacrée à la culture du riz était irriguée dans la commune de Malanville. Cela n'est pas surprenant et reflète le chiffre général au Bénin où seulement 5% des terres agricoles sont irriguées (Bouraima et al., 2015). De plus, moins de 8% des terres potentiellement irrigables (322 000 ha) du pays sont développées (FAO, 2018).

Tableau 4 : Superficie moyenne des rizières irriguées et taux de participation

	Moyenne	ET
Superficie totale des rizières (ha)	1,40	1,07
Superficie totale des rizières irriguées (ha)	0,56	0,30
Taux de participation à l'irrigation	0,18	0,36

⁸ Selon le PAM (2008), le seuil type est de 0 à 21 pour une consommation alimentaire insuffisante, de 21,5 à 35 pour une consommation alimentaire limite et supérieur à 35 pour une consommation alimentaire acceptable.

La comparaison de l'indice de participation (tableau 5) n'a révélé aucune différence significative entre les riziculteurs ayant suivi une formation et ceux n'ayant pas suivi de formation. L'indice de participation des riziculteurs n'ayant pas suivi de formation était de 18%, contre 17% pour ceux ayant suivi une formation. L'analyse a également révélé que les rizicultrices avaient un taux de participation nettement plus élevé (20%) que les riziculteurs (14%). Les agriculteurs exerçant des activités non agricoles présentaient un taux de participation plus élevé (32%) que leurs homologues (11%). L'augmentation des revenus extras-s peut fournir aux agriculteurs les ressources nécessaires pour supporter les coûts supplémentaires liés à l'utilisation de l'irrigation. L'accès au marché a augmenté le taux de participation à l'irrigation. Les agriculteurs ayant un meilleur accès au marché présentaient un taux de participation plus élevé (18%) que ceux qui n'y avaient pas accès (7 %). De même, les agriculteurs ayant accès au crédit présentaient un taux de participation plus élevé (25%) que ceux qui n'y avaient pas accès (6%). Une différence significative dans le taux de participation a également été observée entre les agriculteurs membres d'une organisation agricole (37%) et les non-membres (0,1 %). On a également observé un taux de participation nettement plus élevé chez les utilisateurs de semences améliorées par rapport aux non-utilisateurs.

Tableau 5: Indice de participation selon les caractéristiques des agriculteurs

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

Variables	Indice de participation	Test t
Sexe		
Homme	0,14	1,96**
Femme	0,20	
Niveau d'éducation		
Sans instruction	0,18	0,08
Diplômé	0,17	
Activités agricoles hors exploitation		
Oui	0,32	-7,04***
Non	0,11	
Accès aux médias		
Oui	0,25	- 6,97***
Non	0,05	
Accès au marché		
Oui	0,18	-2,06**
Non	0,07	
Adhésion à une organisation professionnelle		
Oui	0,37	-15,49**
Non	0,001	
Accès au crédit		
Oui	0,25	-7,13***
Non	0,06	
Utilisation de semences améliorées		
Oui	0,32	-12,71***
Non	0,00	

8-2- Facteurs influençant la participation au système d'irrigation

Un modèle probit a été utilisé pour déterminer les facteurs déterminants de la participation au programme d'irrigation. Les résultats sont présentés dans le tableau 6. Le modèle s'adapte bien aux données, puisque le test de Wald donne une valeur p inférieure à 1 %. Cela montre que, pris dans leur ensemble, tous les coefficients estimés sont statistiquement significatifs. Les principaux facteurs motivant la décision des agriculteurs de participer au programme d'irrigation étaient l'accès au crédit, les services de vulgarisation, la fréquence des réunions des organisations d'agriculteurs (FBO), l'accès aux médias, la participation au marché et la distance par rapport au programme d'irrigation (tableau 6). Les agriculteurs ayant accès au crédit étaient plus susceptibles de participer au programme d'irrigation. L'accès au crédit augmentait la probabilité de participation au programme d'irrigation de 7,7 %. Comme l'expliquent Bjornlund et Pittock (2017) ainsi que Mdemu et al. (2017), l'absence de crédit empêche les agriculteurs d'accéder en temps opportun aux technologies agricoles, ce qui entraîne des retards dans les opérations agricoles. Le contact avec les agents de vulgarisation et la fréquence des réunions des organisations d'agriculteurs jouent un rôle important dans la décision des agriculteurs de participer au programme d'irrigation.

L'accès aux services de vulgarisation a augmenté de 3,6 % la probabilité de participer au programme d'irrigation, tandis qu'une augmentation unitaire de la fréquence des réunions des organisations d'agriculteurs a augmenté de 2,2 % la probabilité de participer à l'irrigation. Cela suggère que l'apprentissage des technologies agricoles modernes a pu se faire par le biais des services de vulgarisation et des réseaux sociaux (Abdulai et al., 2011; Genius et al., 2014).

Tableau 6 : Estimations du modèle probit de la participation au programme d'irrigation

Variable dépendante Participation à l'irrigation = 1 ; 0 dans le cas contraire	Modèle d'adoption	
	Coeff	dy/dx
Âge (en années)	-0,092 (0,066)	-0,0045
Âge au carré	0,0009 (0,0007)	0,000046
Expérience (en années)	0,0005 (0,019)	0,000026
Sexe (1 = Homme ; 0 = Femme)	0,416 (0,313)	0,020
Niveau d'éducation (1 = Oui, 0 = Non)	-0,034 (0,033)	-0,0017
Accès au crédit (1 = Oui, 0 = Non)	1,568*** (0,273)	0,077
Service de vulgarisation (1 = Oui, 0 = Non)	0,748** (0,343)	0,036
Activités hors exploitation (1 = Oui, 0 = Non)	-0,086 (0,291)	-0,0042
Fréquence des réunions de l'organisation des agriculteurs (nombre de réunions par an)	0,455*** (0,100)	0,022
Accès aux médias (1 = Oui, 0 = Non)	0,797*** (0,305)	0,039
Participation au marché (proportion de riz vendu)	0,024*** (0,006)	0,0012
Accès aux établissements de santé (1 = Oui, 0 = Non)	0,165 (0,331)	0,0081
Distance par rapport au système d'irrigation (en km)	-0,518*** (0,073)	-0,025
Constante	-0,554 (1,571)	--
Log-vraisemblance : -61,393 Pseudo R ² = 0,83	Chi ² de Wald (13) = 113,69	Prob > chi2 = 0,000

Note : *** p < 0,01 ; ** p < 0,05 et * p < 0,1 %. Les valeurs entre parenthèses correspondent aux erreurs-types. dy/dx désigne les effets marginaux.

Le rôle de l'information était également très important pour la participation au programme d'irrigation. Les agriculteurs ayant accès aux médias étaient plus susceptibles de recourir à l'irrigation. L'accès aux médias

augmentait la probabilité de recourir à l'irrigation de 3,9 %. Ce résultat suggère que les technologies de l'information et de la communication (TIC) jouent un rôle important dans la diffusion des technologies agricoles (Kiiza et Pederson, 2012 ; Zhang et al., 2016). La décision des agriculteurs de participer au programme d'irrigation a été influencée positivement par leur participation au marché, ce qui a augmenté la probabilité de recourir à l'irrigation de 0,1 %. Cela souligne l'importance des circuits de commercialisation dans l'utilisation des technologies d'irrigation (Sinyolo et al., 2014). La distance par rapport au programme d'irrigation s'avère avoir eu une influence négative sur la décision de participer au programme d'irrigation. Elle est susceptible de réduire la probabilité de participation à l'irrigation de 2,5 %, ce qui suggère que les agriculteurs résidant à proximité du système d'irrigation sont plus susceptibles de participer à ce dernier. À l'inverse, les agriculteurs éloignés du système sont moins susceptibles d'utiliser l'irrigation en raison des coûts plus élevés en termes de temps et d'énergie nécessaires pour s'y rendre (Sinyolo et al., 2014). Dans l'ensemble, ces résultats soulignent que la décision des agriculteurs de participer au programme d'irrigation est influencée par l'information, un meilleur accès au marché, les ressources financières et l'interaction des agriculteurs par le biais des services de vulgarisation et des organisations d'agriculteurs.

8-3- Évaluation de l'impact de l'adoption de l'irrigation sur la sécurité alimentaire et la nutrition

Cette section présente les résultats du modèle de régression à commutation endogène (ESR) utilisé pour évaluer l'impact de l'irrigation sur la sécurité alimentaire et la nutrition. L'utilisation du modèle ESR est validée par la significativité du test du rapport de vraisemblance de l'indépendance entre les équations, ainsi que par la corrélation entre le terme d'erreur dans l'équation de sélection et ceux dans les équations de résultat. Ces résultats révèlent qu'un phénomène d'autosélection se produit dans le processus de participation au programme d'irrigation, ainsi que la nature endogène de cette participation. Dans ces conditions, l'estimation par les MCO sera biaisées

Les deux indicateurs de sécurité alimentaire utilisés sont la diversité alimentaire (DD) et les scores de consommation alimentaire (FCS). L'indice de masse corporelle (IMC) a été utilisé comme indicateur de l'état de nutritionnelle des riziculteurs. Les résultats de l'analyse pour chacun de ces indices sont examinés dans les sous-sections suivantes.

8-3-1- Impact de l'irrigation sur les scores de consommation alimentaire (FCS)

Le tableau 7 présente les estimations par la méthode du maximum de vraisemblance à information complète (FIML) du modèle ESR de l'impact de l'irrigation sur la consommation alimentaire chez les riziculteurs. Le modèle s'adapte bien aux variables explicatives, comme le montre la significativité du test du rapport de vraisemblance (valeur $p < 0,01$) d'indépendance entre les équations. Le coefficient de corrélation estimé entre la participation à l'irrigation et le score de consommation alimentaire est positif et significativement différent de zéro, ce qui suggère qu'une autosélection s'est produite lors de la participation des agriculteurs aux programmes d'irrigation.

Les résultats indiquent que l'expérience en matière de production de riz, l'accès au crédit, l'accès aux médias et la participation au marché sont des variables qui influencent de manière significative la sécurité alimentaire chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation au Bénin. L'expérience en matière de riziculture est positivement associée à l'indice de sécurité alimentaire (FCS) chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation. Cela implique qu'une augmentation de l'expérience des agriculteurs dans la production de riz contribue à l'amélioration de la sécurité alimentaire chez ces derniers. L'accès au crédit et aux médias s'est avéré être positivement associé à la sécurité alimentaire. Le revenu agricole et la participation à des activités non-agricoles ont également fait augmenter les scores de consommation alimentaire chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation. Ces résultats suggèrent que la capacité financière des agriculteurs est importante pour l'amélioration de la sécurité alimentaire. Un autre résultat intéressant est le lien positif entre la participation au marché et la consommation alimentaire. Comme le souligne le cadre conceptuel, l'accès aux marchés est l'un des principaux moyens par lesquels l'irrigation peut améliorer la sécurité alimentaire et les résultats nutritionnels, car un meilleur accès aux marchés est essentiel pour garantir des revenus plus élevés aux agriculteurs. Sinyolo et al. (2014) soutiennent que l'irrigation vise à améliorer la production agricole et les excédents commercialisables.

Tableau 7 : Estimations des paramètres de l'impact de l'irrigation sur la consommation alimentaire

Variable dépendante Ln Score de consommation alimentaire (FCS)	Modèle de résultat	
	Irrigants	Non-irrigants
Âge (en années)	-0,071 (0,080)	0,015 (0,038)
Pouvoir de l'âge	0,0007* (0,027)	-0,00011 (0,0004)
Expérience (en années)	0,027*** (0,010)	-0,019 (0,020)
Sexe (1 = Homme ; 0 = Femme)	0,039 (0,176)	0,392*** (0,131)
Niveau d'éducation (nombre d' s de scolarité)	0,024 (0,023)	0,050*** (0,014)
Accès au crédit (1 = Oui, 0 = Non)	1,672*** (0,223)	0,075 (0,118)
Service de vulgarisation (1 = Oui, 0 = Non)	-0,197 (0,331)	1,229*** (0,135)
Activités hors exploitation (1 = Oui, 0 = Non)	0,160 (0,145)	0,542*** (0,139)
Fréquence des réunions de l'organisation des agriculteurs (nombre de réunions par an)	-0,014 (0,062)	0,105** (0,047)
Accès aux médias (1 = Oui, 0 = Non)	0,639** (0,266)	0,556*** (0,125)
Participation au marché (proportion de riz vendu)	0,010*** (0,003)	0,003 (0,002)
Accès aux établissements de santé (1 = Oui, 0 = Non)	-0,047 (0,184)	0,907*** (0,125)
Constante	3,267*** (0,873)	1,810** (0,884)
Rho_0	0,102 (0,172)	
Rho_1	0,677 (0,200)***	

Log-vraisemblance : - 1153,51 Wald chi2 (12) = 71,53 Prob > chi2 = 0,000

Test LR des équations indépendantes : chi2 (1) = 7,63 Prob > chi2 = 0,005

Note : *** p < 0,01 ; ** p < 0,05 et * p < 0,1 %. Les valeurs entre parenthèses sont des erreurs-types.

Les valeurs attendues du FCS dans les conditions réelles et contrefactuelles sont présentées dans le tableau 8. Les cellules (a) et (b) représentent les valeurs attendues du FCS observées dans l'échantillon. Le FCS attendu pour les agriculteurs qui participent au programme d'irrigation est supérieur à celui du groupe d'agriculteurs qui n'y participent pas. Sur la base de cette simple comparaison, il peut être trompeur d'attribuer la différence de FCS à la

participation des agriculteurs au programme d'irrigation. Dans le cas contrefactuel (c), il est clairement démontré que l'effet de traitement pour les agriculteurs pratiquant l'irrigation est de 0,33. Cela équivaut à une différence de 39,1 %⁹ dans le FCS moyen. En d'autres termes, si les agriculteurs pratiquant l'irrigation n'avaient pas participé au programme d'irrigation, leur FCS aurait diminué de 39,1 %. Dans le scénario contrefactuel (d), si les agriculteurs non irrigués avaient participé au programme d'irrigation, leur FCS aurait augmenté de 19,7 %. Cependant, l'effet d'hétérogénéité transitionnelle est positif, ce qui implique que l'effet de l'irrigation sur le FCS est nettement plus important pour les agriculteurs qui y ont effectivement participé que pour ceux qui n'y ont pas participé.

Tableau 8: Impact de l'irrigation sur les scores de consommation alimentaire : attentes conditionnelles, effets de traitement et effets d'hétérogénéité

Sous-échantillon	Étape de décision		Effets du traitement
	Adopter (N = 150)	Non-adoption (N = 540)	
Agriculteurs pratiquant l'irrigation	(a) 4,25 (0,17)	(c) 3,92 (0,23)	TT = 0,33 (0,023)***
Agriculteurs riziculteurs pluviaux	(d) 3,75 (0,33)	(b) 3,57 (0,33)	TU = 0,18 (0,020)***
Effets d'hétérogénéité	BH ₁ = 0,50 (0,019)***	BH ₂ = 0,35 (0,023)***	TH = 0,15 (0,002)***

Note : *** significatif à 1 % ; Les valeurs entre parenthèses sont des erreurs-types.

La dernière ligne du tableau 8, qui tient compte de l'effet d'hétérogénéité potentiel dans l'échantillon, révèle que les agriculteurs qui participent effectivement au programme d'irrigation auraient un score FCS plus élevé que les agriculteurs qui n'y participaient pas dans les cas contrefactuels (c) et (d). Cela met en évidence le fait que certains facteurs d'hétérogénéité importants font que les irrigants sont mieux lotis que les non-adoptants. Dans l'ensemble, les résultats ont révélé que la participation au programme d'irrigation améliore considérablement la sécurité alimentaire des agriculteurs grâce à une augmentation du score de consommation alimentaire. D'autres études ont mis en évidence un impact positif similaire de l'irrigation sur la consommation alimentaire (Dillon, 2011; Nkhata et al., 2014). Au Mali, par exemple, Dillon (2011) a constaté que l'adoption de l'irrigation était associée à une augmentation de la consommation par habitant.

8-3-2- Impact de l'irrigation sur la diversité alimentaire (DA)

Les estimations du modèle ESR concernant l'impact de l'irrigation sur la diversité alimentaire chez les riziculteurs sont présentées dans le tableau 9. Le modèle s'adapte bien aux variables explicatives, comme l'indique la significativité du test du rapport de vraisemblance (valeur $p < 0,01$) portant sur l'indépendance entre les équations. Le coefficient de corrélation estimé entre le recours à l'irrigation et le score de consommation alimentaire est positif et significativement différent de zéro, ce qui suggère qu'un phénomène d'auto-sélection s'est produit lors de la participation aux programmes d'irrigation. Des variables telles que l'expérience en matière de production de riz, le niveau d'éducation, les activités extraes, la participation au marché et l'accès aux établissements de santé ont des effets significatifs sur la diversité alimentaire chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation au Bénin.

Tableau 9 : Estimations des paramètres de l'impact de l'irrigation sur la diversité alimentaire

Variable dépendante Diversité Alimentaire (DA)	Modèle de résultat	
	Irrigants	Non-irrigants

⁹ L'effet de traitement dans cette unité est interprété comme une différence en pourcentage. En réalité, lorsque la variable de résultat est log-transformée, multiplier le TT par 100 constitue une approximation. Selon Asfaw et al. (2012), la différence exacte en pourcentage est donnée par $100(e^{TT} - 1)$, où e est l'exponentielle e et TT est l'effet de traitement moyen fourni par l'analyse de la variable log-transformée.

Âge (en années)	0,019 (0,060)	0,044 (0,050)
Pouvoir de l'âge	-0,0002 (0,0006)	-0,00033 (0,0005)
Expérience (en années)	0,038** (0,015)	-0,0054 (0,011)
Sexe (1 = Homme ; 0 = Femme)	-0,346 (0,260)	0,548*** (0,171)
Niveau d'éducation (nombre d'années de scolarité)	0,085* (0,033)	-0,023 (0,018)
Accès au crédit (1 = Oui, 0 = Non)	0,041 (0,327)	0,093 (0,155)
Service de vulgarisation (1 = Oui, 0 = Non)	0,614 (0,495)	0,521*** (0,176)
Activités hors exploitation (1 = Oui, 0 = Non)	0,616*** (0,213)	0,697*** (0,181)
Fréquence des réunions de l'organisation des agriculteurs (nombre de réunions par an)	-0,061 (0,092)	0,011 (0,059)
Accès aux médias (1 = Oui, 0 = Non)	-0,135 (0,390)	0,357** (0,163)
Participation au marché (proportion de riz vendu)	0,035*** (0,0054)	0,011*** (0,003)
Accès aux établissements de santé (1 = Oui, 0 = Non)	0,662** (0,274)	0,158 (0,163)
Constante	3,360*** (1,286)	3,967*** (1,156)
Rho_0		-0,223 (0,250)
Rho_1		0,408 (0,203)**

Loi de vraisemblance : - 1356,24 Wald chi2 (12) = 85,86 Prob > chi2 = 0,000

Test LR d'indépendance des équations : chi2 (1) = 4,33 Prob > chi2 = 0,037

Note : *** p < 0,01 ; ** p < 0,05 et * p < 0,1. Les valeurs entre parenthèses sont des erreurs-types.

L'expérience en riziculture est positivement associée à la DD, ce qui suggère qu'une augmentation de l'expérience des agriculteurs en matière de production de riz contribue à l'amélioration de la DD chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation. Par rapport aux hommes, le fait d'être une femme augmente la diversité des aliments consommés. Cela concorde avec les travaux d'Ibnouf (2011) et de Passarelli et al. (2018). Le manque d'accès à des semences de haute qualité, à des engrais, au crédit, aux pesticides et aux services de commercialisation constitue un problème auquel majeure sont confrontées les femmes des pays en développement en tant que productrices (Ibnouf, 2011 ;

Abdullah et al., 2019). Malgré cela, les femmes, par rapport aux hommes, sont plus susceptibles de jouer un rôle positif dans la sécurité alimentaire des ménages (Ibnouf, 2011).

L'éducation a également un effet positif sur la diversité alimentaire, ce qui implique qu'elle constitue un outil important pour améliorer la sécurité alimentaire des agriculteurs, car les agriculteurs instruits sont plus susceptibles de bénéficier d'une meilleure sécurité alimentaire que ceux qui ne le sont pas. Plus le niveau d'éducation est élevé, plus la diversification de l'alimentation est importante. Ce résultat est conforme à des études qui ont constaté que l'éducation améliore la sécurité alimentaire des agriculteurs (Arene et Anyaeji, 2010 ; Mango et al., 2014 ; Mutisya et al., 2016).

La participation à des activités non agricoles augmente la diversité alimentaire chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation. Cela souligne l'importance de la capacité financière des agriculteurs pour l'amélioration de la sécurité alimentaire. Une association positive a également été constatée entre l'accès au marché et la diversité alimentaire. Cela indique que les agriculteurs qui ont accès au marché ont pu diversifier leur consommation. L'accès aux établissements de santé est positivement associé à la diversité alimentaire, ce qui suggère que les agriculteurs qui ont accès à des établissements de santé sont susceptibles de diversifier leur consommation. Cela résulte probablement de l'éducation nutritionnelle dispensée par les agents de santé.

Le tableau 10 présente le menu alimentaire consommé par les agriculteurs au cours de la semaine écoulée. Il fait apparaître une diversité alimentaire chez les agriculteurs. Cependant, la préférence pour les céréales est évidente chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation et ceux qui ne la pratiquent pas. En effet, les céréales ont été consommées pendant 6 jours au cours de la semaine écoulée, tandis que les racines et tubercules, ainsi que les légumes et les fruits, ont été consommés de manière égale pendant 3 jours par les deux groupes d'agriculteurs. Les groupes alimentaires « viande et poisson » et « lait et produits » laitiers, qui fournissent davantage de calories, sont davantage consommés par les agriculteurs pratiquant l'irrigation que par ceux qui ne le font pas. En effet, la viande est consommée pendant 5 jours par les agriculteurs pratiquant l'irrigation, contre 3 jours pour ceux qui ne le font pas. De même, les agriculteurs pratiquant l'irrigation ont consommé du poisson pendant 6 jours au cours de la semaine écoulée, contre 4 jours pour les agriculteurs non irrigués. Au cours de la semaine écoulée, le lait et les produits laitiers ont été consommés pendant 4 jours par les agriculteurs pratiquant l'irrigation, contre 2 jours pour les agriculteurs non irrigués.

Tableau 10 : Groupes d'aliments consommés par les agriculteurs au cours de la semaine écoulée

Groupes d'aliments consommés	Nombre moyen de jours au cours de la semaine écoulée (0-7 jours)	
	Agriculteurs pratiquant l'irrigation	Non-irrigants
Céréales	6	6
Légumes-racines et tubercules	3	3
Légumes et fruits	3	3
Viande	5	3
Œufs	1	1
Poisson	6	4
Légumineuses, noix et graines	2	2
Lait et produits laitiers	4	2
Huiles, graisses et beurre	1	3
Sucré	6	4

La diversité alimentaire attendue dans les conditions réelles et contrefactuelles est indiquée dans le tableau 11. Les cellules (a) et (b) représentent le score DD observé. Le DD est respectivement de 8,17 et 6,80 pour les agriculteurs pratiquant l'irrigation et ceux qui ne la pratiquent pas. La différence est d'environ 1,37. Il peut être trompeur d'attribuer cette différence de diversité alimentaire à la participation des agriculteurs au programme d'irrigation. Dans le cas contrefactuel (c), l'effet de traitement pour les agriculteurs ayant adopté l'irrigation est de 0,30. Cela équivaut à une différence de 3,8 % en termes de DD si les agriculteurs qui participent effectivement au programme d'irrigation n'y avaient pas participé. Dans le scénario contrefactuel (d), où les agriculteurs n'ayant pas participé au programme d'irrigation y auraient effectivement participé, ils auraient enregistré une augmentation de 0,44 (soit une différence d'environ 6,5 % en termes de DD) de leur DD. Cependant, l'effet d'hétérogénéité transitoire est

négatif, ce qui implique que l'impact de l'irrigation sur la diversité alimentaire est nettement plus faible pour les agriculteurs ayant effectivement participé que pour ceux n'y ayant pas participé. Les agriculteurs non irrigants tireraient davantage profit d'une diversification alimentaire plus que les agriculteurs irrigants. Cela est plausible car les agriculteurs irrigants ont déjà diversifié leur alimentation au fil du temps. Ce résultat suggère la mise en œuvre de politiques visant à faciliter la participation des agriculteurs non irrigants à une diversification alimentaire.

Tableau 11 : Impact de l'irrigation sur la diversité alimentaire : effets conditionnels, effets du traitement et effets d'hétérogénéité

Sous-échantillon	Étape de décision		Effets des traitements
	Adopter (N = 150)	Non-adoption (N = 540)	
Agriculteurs pratiquant l'irrigation	(a) 8,17 (0,96)	(c) 7,87 (0,56)	TT = 0,30 (0,09)***
Agriculteurs riziculteurs pluviaux	(d) 7,24 (1,08)	(b) 6,80 (0,54)	TU = 0,44 (0,05)***
Effets d'hétérogénéité	BH ₁ = 0,93 (0,09)***	BH ₂ = 1,07 (0,05)***	TH = -0,14 (0,007)***

Note : *** significatif à 1 % ; Les valeurs entre parenthèses sont des erreurs-types.

La dernière ligne du tableau 11, qui tient compte de l'effet d'hétérogénéité potentiel au sein de l'échantillon, révèle que les agriculteurs ayant effectivement participé au programme d'irrigation présenteraient une diversité alimentaire (DD) plus élevée que ceux n'y ayant pas participé dans les scénarios contrefactuels (c) et (d). Cela met en évidence le fait que certains facteurs d'hétérogénéité importants font que les agriculteurs pratiquant l'irrigation se trouvent dans une situation plus favorable que ceux qui ne le font pas. Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que le programme d'irrigation améliore considérablement la sécurité alimentaire des agriculteurs grâce à une augmentation de la diversité alimentaire. Ce résultat corrobore celui d'Alaofè et al. (2016), qui ont constaté que l'irrigation goutte à goutte alimentée par l'énergie solaire avait le potentiel d'accroître la diversité alimentaire chez les producteurs de fruits et légumes. Si ces résultats concordent avec de nombreuses études antérieures, ils sont en contradiction avec ceux de Hossain et al. (2005) et Shively et al. (2012), qui n'ont constaté aucune augmentation significative de la diversité alimentaire chez les utilisateurs de l'irrigation.

8-4- Impact de l'irrigation sur les résultats nutritionnels

L'indice de masse corporelle (IMC) des agriculteurs est utilisé comme indicateur des résultats nutritionnels. Il prend la valeur 1 si l'IMC d'un agriculteur se situe dans la fourchette normale, et 0 dans le cas contraire. La fourchette normale de l'IMC pour les adultes se situe entre 18,5 et 25 kg/m² (OMS, 1995, 2000 ; Nonterah et al., 2018). La variable dépendante étant binaire, le modèle probit à commutation endogène a été estimé à l'aide de la commande STATA « switch_probit » (Lokshin et Sajaia 2011).

Les résultats sont présentés dans le tableau 12. Dans l'ensemble, le modèle s'est bien adapté aux variables explicatives, comme le montre la significativité du test du rapport de vraisemblance. Le coefficient de corrélation estimé entre la participation à l'irrigation et l'indicateur nutritionnel (IMC) est négatif et significativement différent de zéro, ce qui suggère qu'une autosélection s'est produite dans le processus de participation aux programmes d'irrigation. La différence entre les coefficients de l'équation de l'IMC pour les utilisateurs et les non-utilisateurs de l'irrigation illustre la présence d'une hétérogénéité dans l'échantillon. La fonction IMC pour les irrigants est significativement différente de celle des non-irrigants.

Tableau 12 : Estimations des paramètres de l'impact de l'irrigation sur les résultats nutritionnels

Variable dépendante IMC (1 si poids normal et 0 dans le cas contraire)	Modèle de résultat	
	Irrigants	Non-irrigants

Âge (en années)	-0,188 (0,117)	0,024 (0,036)
Pouvoir de 2 de l'âge	0,002 (0,003)	-0,00035 (0,00037)
Expérience (en années)	-0,047** (0,020)	-0,017 (0,008)
Sexe (1 = Homme ; 0 = Femme)	-0,157 (0,376)	0,210*** (0,126)
Niveau d'éducation (nombre d' s de scolarité)	-0,010 (0,043)	-0,016 (0,013)
Accès au crédit (1 = Oui, 0 = Non)	-0,772 (0,615)	0,054 (0,114)
Service de vulgarisation (1 = Oui, 0 = Non)	0,131 (0,693)	0,307 (0,132)
Activités hors exploitation (1 = Oui, 0 = Non)	-0,460 (0,315)	-0,147 (0,132)
Fréquence des réunions de l'organisation des agriculteurs (nombre de réunions par an)	-0,107 (0,131)	0,119*** (0,043)
Accès aux médias (1 = Oui, 0 = Non)	-0,344 (0,648)	0,206* (0,121)
Participation au marché (proportion de riz vendu)	-0,0045 (0,008)	0,0016 (0,002)
Accès aux établissements de santé (1 = Oui, 0 = Non)	0,824** (0,364)	0,480*** (0,122)
Constante	7,110*** (0,873)	-0,598 (0,843)
Rho_0		0,131 (0,194)
Rho_1		-0,711 (0,327)**

Log-vraisemblance : - 449,731 Wald chi2 (13) = 106,97 Prob > chi2 = 0,000

Test LR d'indépendance des équations : chi2 (2) = 8,80 Prob > chi2 = 0,012

Note : *** p < 0,01 ; ** p < 0,05 et * p < 0,1 %. Les valeurs entre parenthèses sont des erreurs-types.

Les résultats indiquent que l'expérience en matière de production rizicole est significativement associée à la probabilité de se situer dans la fourchette normale d'IMC chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation. Une année supplémentaire d'expérience dans la production rizicole irriguée réduit la probabilité de se situer dans la fourchette normale d'IMC. Cela suggère que les agriculteurs plus expérimentés ont moins de chances de se situer dans la fourchette normale d'IMC, probablement en raison d'un manque d'éducation nutritionnelle et ainsi que de mauvaises conditions d'hygiène. Les études de Bénéfice et Simondon (1993) et de Steiner-Asiedu et al. (2012) soutiennent que l'amélioration des conditions d'hygiène et l'éducation nutritionnelle sont nécessaires pour exploiter

pleinement le potentiel de l'irrigation en matière d'amélioration des résultats nutritionnels. Le fait d'être un homme augmente la probabilité de se situer dans la fourchette normale d'IMC chez les agriculteurs non irrigants, tandis qu'aucun effet significatif n'est observé chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation. Un résultat similaire est également observé pour la variable « fréquence des réunions de l'organisation des agriculteurs », qui a un effet positif sur la probabilité de se situer dans la fourchette d'IMC normale chez les agriculteurs non irrigants. L'accès aux établissements de santé est également significativement associé à la probabilité de se situer dans la fourchette d'IMC normale, tant pour les agriculteurs irrigants que pour les non-irrigants. Cela implique que les agriculteurs qui ont accès à des établissements de santé sont susceptibles de se situer dans la fourchette d'IMC normale par rapport à ceux qui n'y ont pas accès. Cet effet semble être plus marqué chez les agriculteurs pratiquant l'irrigation. Ce résultat corrobore notre analyse du cadre conceptuel selon laquelle un meilleur accès aux soins de santé est une condition importante pour un meilleur état nutritionnel. L'argument est que l'augmentation des revenus due à la participation au programme d'irrigation peut lever certains des obstacles auxquels les agriculteurs sont confrontés pour accéder aux établissements de santé. Dans le même ordre d'idées, Domenech (2015) soutient que l'irrigation favorise les investissements dans les soins de santé. Cependant, Burney et al. (2010) ont constaté une différence non significative dans les dépenses de santé entre les utilisateurs et les non-utilisateurs de l'irrigation.

Le tableau 13 présente l'IMC attendu dans les conditions réelles et contrefactuelles. Cela permet de quantifier les effets de l'irrigation sur les résultats nutritionnels. Comme le montre le tableau 12, les résultats de l'effet de traitement sur le groupe traité (TT) indiquent que les agriculteurs pratiquant l'irrigation ont 3,9 % de chances supplémentaires de se situer dans la fourchette d'IMC normale. De plus, les résultats de l'effet de traitement sur le groupe non traité (TU) suggèrent que si les agriculteurs adoptaient l'irrigation, cela entraînerait une augmentation de 34% la probabilité de se situer dans la fourchette d'IMC normale. Par conséquent, la participation à des programmes d'irrigation contribue à améliorer les résultats nutritionnels chez les riziculteurs de la municipalité de Malanville, au Bénin. Ce constat est conforme à des études antérieures qui ont conclu que l'irrigation recèle un grand potentiel d'amélioration de la nutrition grâce à l'augmentation de la production alimentaire, à la hausse des revenus, à l'amélioration de l'accès à l'eau et à l'assainissement, ainsi qu'à l'amélioration des conditions d'hygiène. Au Kenya, par exemple, l'augmentation de la production alimentaire résultant de l'irrigation conduit à une plus grande disponibilité alimentaire et à une amélioration de l'état nutritionnel (Kirogo et al., 2007; Veronicah et al., 2007). De même, une étude menée par Adam et al. (2016) suggère que les systèmes d'irrigation à petite échelle ont contribué à améliorer l'état nutritionnel des ménages dans la région orientale du Ghana, tandis que l'irrigation est associée à une réduction du risque de retard de croissance (scores z de taille pour l'âge) au Malawi (Benson, 2015). Cependant, Hagos et al. (2017) ont constaté que le recours à l'irrigation par crue en Éthiopie n'avait pas d'effets nutritionnels significatifs, ce qui suggère qu'une productivité accrue due à l'utilisation de l'irrigation ne se traduit pas nécessairement par une amélioration de l'état nutritionnel. Des interventions telles que l'éducation nutritionnelle contribueraient à renforcer les effets de l'irrigation sur les résultats nutritionnels (Hossain et al., 2005 ; Hagos et al., 2017).

Tableau 13. Impact de l'irrigation sur les résultats nutritionnels : attentes conditionnelles, traitement et effets d'hétérogénéité

Catégories	Observations	Moyenne	Écart-type
TT	150	0,039***	0,015
TU	540	0,340***	0,135

Note : *** significatif à 1 %

9- Conclusion

Les ressources en eau sont essentielles à la production agricole et à l'amélioration du bien-être des acteurs de la chaîne de valeur. Cet article traite de l'impact de l'irrigation sur la sécurité alimentaire et les résultats nutritionnels chez les riziculteurs du Bénin. Il prend comme étude de cas le système d'irrigation de Malanville. Les scores de diversité alimentaire et de consommation alimentaire ont été utilisés comme indicateurs de la sécurité alimentaire,

et l'IMC comme indicateur des résultats nutritionnels. Dans la méthodologie, le modèle de changement endogène est utilisé pour tenir compte des facteurs observables et non observables susceptibles d'influencer la décision de participer au système d'irrigation. Trois conclusions importantes peuvent être tirées des résultats. Premièrement, l'indice de participation au programme d'irrigation reste faible, avec un taux de participation de 18%. Deuxièmement, les variables clés qui déterminent la décision de participation sont l'accès au crédit, l'accès aux services de vulgarisation, la fréquence des réunions de l'organisation des agriculteurs, l'accès aux médias, la participation au marché et la distance par rapport au programme d'irrigation. Enfin, la participation aux programmes d'irrigation a un impact positif et significatif sur la sécurité alimentaire et les résultats nutritionnels dans la municipalité de Malanville. La participation au programme d'irrigation augmente le score de diversité alimentaire de 3,8 % et le score de consommation alimentaire de 39,1 %. De plus, elle augmente de 3,9 % la probabilité d'avoir un IMC dans la fourchette normale. Ces résultats sont particulièrement importants et appellent à la mise en place de politiques publiques visant à promouvoir le développement des programmes d'irrigation.

L'analyse des facteurs déterminants de la participation au programme d'irrigation a également donné lieu à des résultats intéressants. La décision des agriculteurs de participer au programme d'irrigation est motivée par l'accès à l'information, la participation au marché, un meilleur accès aux débouchés commerciaux, et les ressources financières. L'accès aux médias constitue un canal important pour le partage d'informations, tandis que l'information joue un rôle déterminant dans les décisions des agriculteurs. Le développement d'un marché du crédit permet aux agriculteurs d'investir dans des outils de gestion de l'eau et d'acheter d'autres intrants agricoles susceptibles de soutenir la production végétale. Les agriculteurs devraient également renforcer leurs capacités financières en s'engageant dans des activités non agricoles. Pour que le projet d'irrigation ait un impact plus important sur la sécurité alimentaire et les résultats nutritionnels, une participation active au marché est nécessaire. Grâce au marché, les agriculteurs irrigués peuvent vendre leurs produits et s'offrir d'autres aliments nutritifs. C'est essentiel pour réaliser le potentiel du projet d'irrigation parmi les riziculteurs de la municipalité de Malanville au Bénin.

Références

- Abdulai, A., V. C. Owusu and J. E. A. Bakang (2011). Adoption of Safer Irrigation Technologies and Cropping Patterns: Evidence from Southern Ghana. *Ecological Economics*, 70 (7), 1415–23.
- Abdullah, Zhou, D., Shah, T., Ali, S., Ahmad, W., Din, I. U., Ilyas, A. (2019). Factors affecting household food security in rural northern hinterland of Pakistan. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18 (2), 201-210.

- Adam, J. N., Al-hassan, S. and Akolgo, D. A. (2016). Small scale irrigation and rural poverty reduction in the upper east region of Ghana. *African Journal of Science and Research*, (5)2, 38-42.
- Adeogun, O. A., Ajana, A. M., Ayinla, O. A., Yarhere, M. T. and Adeogun, M. O. (2008). Application of logit models in adoption decisions: A study of hybrid clarias in Lagos State, Nigeria. *American-Eurasian J. Agric. and Environ. Science*, 4 (4): 468-472.
- 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.
- Arene, C. J. and Anyaeji, C. (2010). Determinants of food security among households in Nsukka Metropolis of Enugu State, Nigeria. *Pakistan Journal of Social Science*, 30 (1), 9-16.
- Asfaw, S., Shiferaw, B., Simtowe, F., and Lipper, L. (2012). Impact of modern agricultural technologies on smallholder welfare: Evidence from Tanzania and Ethiopia. *Food Policy*, 37(3), 283-295.
- Bacha, D., Namara, R. E., Bogale, A., and Tesfaye, A. (2011). Impact of small-scale irrigation on household poverty: empirical Evidence from the ambo district in Ethiopia. *Irrigation and Drainage*, 60, 1–10.
- Bagson, E., and Kuuder C. J. W. (2013) Assessment of a Small scale Irrigation Scheme on Household Food Security and Leisure in Kokoligu, Ghana. *Research on Humanities and Social Sciences*, 3 (1).
- Benefice, E., Simondon, K. (1993). Agricultural development and nutrition among rural populations: a case study of the middle valley in Senegal. *Ecol. Food Nutr.* 31, 45–66.
- Benson, T. (2015). Association between irrigated farming and improved nutrition in farm households in Malawi. *Agrekon*, 54 (3), 62-86.
- Berti, P. R., Krasevec, J., and FitzGerald, S. (2004). A Review of the Effectiveness of Agriculture Interventions in Improving Nutrition Outcomes. *Public Health Nutrition*, 7 (5): 599–609.
- Bezu, S., Kassie, G. T., Shiferaw, B. and Ricker-Gilbert, J. (2014). Impact of Improved Maize Adoption on Welfare of Farm Households in Malawi: A Panel Data Analysis. *World Development*, 59, 120–131.
- Bhagowalia, P., Headey, D., Kadiyala, S. (2012). Agriculture, Income, and Nutrition Linkages in India, Insights from a Nationally Representative Survey. IFPRI Discussion Paper 01195, July 2012.
- Bhattarai, M., and Narayanamoorthy, A. (2003). Impact of irrigation on rural poverty in India: an aggregate panel-data analysis. *Water Policy*, (5), 443–458
- Bjornlund H, Pittock J. (2017). Exploring the productivity and profitability of small-scale communal irrigation systems in Sub-Saharan Africa. *International Journal of Water Resources Development*, 33 (5), 685-689, DOI: 10.1080/07900627.2017.1326881.
- Bouraima, A-K, Weihua, Z. and Chaofu, W. (2015). Irrigation water requirements of rice using Cropwat model in Northern Benin. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8 (2), 58-64.
- Burney, J. A., and Naylor, R. L. (2012). Smallholder Irrigation as a Poverty Alleviation Tool in Sub-Saharan Africa. *World Development*, 40(1), 110–123.
- Burney, J., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R., Pasternak, D. (2010). Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano-Sahel. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107(5), 1848–1853.
- Carletto, C., Zezza, A., Banerjee, R. (2013). Towards better measurement of household food security: Harmonizing indicators and the role of household surveys. *Global Food Security*, (2): 30–40.
- Carruthers, I., Rosegrant, M. W., and Seckler, D. (1997). Irrigation and food security in the 21st century. *Irrigation and Drainage Systems*, 11, 83–101.
- Carter, D. W. and Milon, J. W. (2005). Price knowledge in household demand for utility services. *Land Economics*, 81(2), 265-283.
- Chazovachii, B. (2012). The impact of small scale irrigation schemes on rural livelihoods: the case of Panganai irrigation scheme Bikita District Zimbabwe. *J. Sustain. Dev. Afr.*, 14(4), 217–231.
- Diagne, A. (2010). Technological change in smallholder agriculture: Bridging the adoption gap by understanding its source. *African Journal of Agricultural Resources and Economics*, 5(1), 261–283.
- 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. *Agricultural Economics* 37, 201–210.
- Dibba, L., Diagne, A., Fialor, S. C. and Nimoh, F. (2012). Diffusion and adoption of new rice varieties for Africa (Nerica) in the Gambia. *African Crop Science Journal*, 20 (s1), 141 – 153.
- Di Falco, S., Veronesi, M. and Yesuf, M. (2011). Does adaptation to climate change provide food security? A micro-perspective from Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(3), 829-846.
- Dillon, A. (2011). Do differences in the scale of irrigation projects generate different impacts on poverty and production? *Journal of Agricultural Economics*, 62(2), 474-492.
- Dillon, A. (2008). Access to Irrigation and the Escape from Poverty: Evidence from Northern Mali. IFPRI Discussion Paper 00782. Development Strategy and Governance Division.
- Djagba, J. F., Rodenburg, J., Zwart, S. J., Houndagba, C. J., and Kiepe, P. (2014). Failure and success factors of irrigation system developments: A case study from the Ouémé and Zou valleys In Benin. *Irrigation and Drainage*, 63, 328–339.
- Domenech, L. (2015). Improving irrigation access to combat food insecurity and undernutrition: A review. *Global Food Security*, 6, 24–33.
- Domenech, L., and Ringler, C. (2013). The impact of irrigation on nutrition, health and gender. IFPRI Discussion Paper 01259.
- FAO (2005). Irrigation in Africa in figures. AQUASTAT Survey, 2005. Land and Water Development Division, FAO, Rome.
- FAO (2014). Adapting to climate change through land and water management in Eastern Africa. Land and Water Development Division, FAO, Rome.
- FAO (2018). Statistical Database (AQUASTAT). FAO, Rome.
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO. (2017). The state of food security and nutrition in the world 2017: Building resilience for peace and food security. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i7695e.pdf>.
- Genius, M., P. Koundouri, C. Nauges and V. Tzouvelekas (2014). Information Transmission in Irrigation Technology Adoption and Diffusion: Social Learning, Extension Services, and Spatial Effects. *American Journal of Agricultural Economics*, 96, 1, 328–44.
- Gulati, A., Ganesh-Kumar, A., Shreedhar, G., Nandakumar, T. (2012). Agriculture and malnutrition in India. *Food Nutr. Bull.* 33 (1), 74–86.
- Hagos, F., Mulugeta, A., Erkossa, T., Langan, S., Lefore, N. and Abebe, Y. (2017). Poverty Profiles and Nutritional Outcomes of Using Spate Irrigation in Ethiopia. *Irrigation and Drainage*, 66 (4), 577-588.
- Hanjra, M. A., Ferede, T., and Gutta, D. G. (2009). Reducing poverty in Sub-Saharan Africa through investments in water and other priorities. *Agricultural Water Management*, 96, 1062–1070.
- Hatloy, A., Hallund, J., Diarra, M. M., Oshaug, A. (2000). Food variety, socioeconomic status and nutritional status in urban and rural areas in Koutiala (Mali). *Public Health Nutrition*, 3 (1), 57–65.
- Heckman, J. J., Tobias, J. L., and Vytlačil, E. J. (2001). Four parameters of interest in the evaluation of social programs. *Southern Economic Journal*, 68 (2), 210-233.
- Herforth, A. and Ballard, T. J. (2016). Nutrition indicators in agriculture projects: Current measurement, priorities, and gaps. *Global Food Security*, 10, 1–10.
- Hossain, M., F. Naher, and Shahabuddin, Q. (2005). Food Security and Nutrition in Bangladesh: Progress and Determinants. *Journal of Agricultural and Development Economics*, 2 (2): 103–132.
- Huang, Q., Rozelle, S., Huang, J., Lohmar, B., Wang, J. (2006). Irrigation, Agricultural Performance and Poverty Reduction in China. *Food Policy*, 31(1), 30-52
- Hussain, I., and Hanjra, M. A. (2004). Irrigation and Poverty Alleviation: Review of the empirical evidence. *Irrigation and Drainage*, 53, 1–15.
- Ibnouf, F. O. (2011). Challenges and possibilities for achieving household food security in the

- Western Sudan region: the role of female farmers. *Food Security*, 3 (2), 215-231.
- INSAE (2015a). Rapport Enquête Modulaire Intégrée sur les Conditions de Vie des ménages (EMICoV, 2015). Cotonou, Benin.
- INSAE (2015b). Enquête par grappes à indicateurs multiples 2014, Rapport final, Cotonou, Bénin.
- Jalan, J. and Ravallion, M. (2003). Does piped water reduce diarrhea for children in rural India?. *Journal of Econometrics*, 112, 153–173.
- Jones, A. D., Ngure, F. M., Pelto, G., and Young, S. L. (2013). What Are We Assessing When We Measure Food Security? A Compendium and Review of Current Metrics. *Adv. Nutr.* 4: 481–505. doi:10.3945/an.113.004119.
- Kiiza, B. and Pederson, G. (2012). ICT-based market information and adoption of agricultural seed technologies: Insights from Uganda. *Telecommunications policy*, 36 (4), 253-259.
- Kirogo, V., Kogi-Makau, W. and Muroki, N. M. (2007). The Role of Irrigation on Improvement of Nutritional Status of Young Children in Central Kenya. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development* 7 (2): 1–16.
- Lipton, M., Litchfield, J. and Faures, J-M. (2003). The Effects of Irrigation on Poverty: A Framework for Analysis. *Water Policy*, 5 (5-6), 413–27.
- LDPDR (2000). Lettre de Déclaration de la Politique de Développement Rural. Cotonou. http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf_DPDR.pdf
- Lokshin, M. and Sajaia, Z. (2004). Maximum likelihood estimation of endogenous switching regression models. *The Stata Journal*, 4(3), 282-289.
- Lokshin, M. and Sajaia, Z. (2011). Impact of interventions on discrete outcomes: Maximum likelihood estimation of the binary choice models with binary endogenous regressors. *The Stata Journal*, 11(3), 368–385.
- MAEP (2017). Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA) 2025 et Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle PNIASAN 2017 – 2021. Cotonou, Benin.
- Maddala, G. S. (1983). Limited-dependent and qualitative variables in economics. New York, NY: Cambridge University Press.
- Mango, N., Zamasiya, B., Makate, C., Nyikahadzo, K., Siziba, S. (2014). Factors influencing household food security among smallholder farmers in the Mudzi district of Zimbabwe. *Development Southern Africa*, 31 (4), 625-640.
- Mdemu M V, Mziray N, Bjornlund H, and Kashaigili J J. (2017). Barriers to and opportunities for improving productivity and profitability of the Kiwera and Magozi irrigation schemes in Tanzania. *International Journal of Water Resources Development*, 33 (5), 725-739.
- Mendola, M. (2007). Agricultural technology adoption and poverty reduction: A propensity score matching analysis for rural Bangladesh. *Food Policy*, 32, 372–393.
- Mutisya, M., Ngware, M. W., Kabiru, C. W. Kandala, N-B. (2016). The effect of education on household food security in two informal urban settlements in Kenya: a longitudinal analysis. *Food Security*, 8, 743–756
- Nguezet, P. M. D., Diagne, A., Okoruwa, O. V., Ojehomon, V. and Manyong, V. (2013). Estimating the Actual and Potential Adoption Rates and Determinants of NERICA Rice Varieties in Nigeria, *Journal of Crop Improvement*, 27(5), 561-585.
- Nkhata, R., Jumbe, C., and Mwabumba, M. (2014). Does irrigation have an impact on food security and poverty? Evidence from Bwanje Valley Irrigation Scheme in Malawi. Working Paper 04, IFPRI.
- Nonterah, E. A., Debpuur, C., Agongo, G., Amenga-Etego, L., Crowther, N. J., Ramsay, M. and Abraham Rexford Oduroas members of AWIGen and the H3Africa Consortium (2018). Socio-demographic and behavioural determinants of body mass index among an adult population in rural Northern Ghana: the AWI-Gen study. *Global Health Action*, 11:sup2, 1467588. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/16549716.2018.1467588?needAccess=true>
- Nonvide, G. M. A. (2019a). A re-examination of the impact of irrigation on rice production in

- Benin: An application of the endogenous switching model. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 40, 657–662.
- Nonvide, G. M. A. (2019b). Policy for improving adoption and profitability of irrigation in Benin. Review of Agricultural and Applied Economics, *Acta Oeconomica et Informatica*, 22 (1), 76-82.
- Nonvide, G. M. A. (2017). Effect of irrigation adoption on rice yield in the municipality of Malanville, Benin. *African Development Review*, 29 (2), 109-120.
- Nonvide, G. M. A., Sarpong, D. B., Kwadzo, T-M. G., Anim-Somuah H, and Amoussouga Gero, F. (2018). Farmers' perceptions of irrigation and constraints on rice production in Benin: a stakeholder-consultation approach. *International Journal of Water Resources Development*, 34, 6, 1001-1021.
- Owusu, V., Abdulai, A., Abdul-Rahman, S. (2011). Non-farm work and food security among farm households in Northern Ghana, *Food Policy*, 36, 108–118.
- Pandey, V. L., Mahendra Dev, S. and Jayachandran, U. (2016). Impact of agricultural interventions on the nutritional status in South Asia: A review. *Food Policy*, 62, 28–40.
- Passarelli, S., Mekonnen, D., Bryan, E. and Ringler, C. (2018). Evaluating the pathways from small-scale irrigation to dietary diversity: evidence from Ethiopia and Tanzania. *Food Security*, 10, 981–997.
- Philips, D., Masangwa, M. and Philip, B. (2000). Adoption of maize and related technologies in the north-west Zone of Nigeria. *Moor J. Agric. Res.*, 1: 98-105.
- Ruel, M. T. (2003). Operationalizing Dietary Diversity: A Review of Measurement Issues and Research Priorities. *Journal of Nutrition*, 133 (11), 3911S–3926S.
- Saka, J. O., Okoruwa, V. O., Lawal, B. O. and Ajijola, S. (2005). Adoption of Improved Rice Varieties among Small-Holder Farmers in South-Western Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences*, 1 (1), 42-49.
- SDDAR (2000). Schéma Directeur de Développement Agricole et Rural. Cotonou. http://www.hubrural.org/IMG/pdf/benin_sddr_rapport_financement_rural.pdf
- Sinyolo, S., Mudhara, M., and Wale, E. (2014). The impact of smallholder irrigation on household welfare: The case of Tugela Ferry irrigation scheme in KwaZulu-Natal, South Africa. *Water SA*, Pretoria, 40 (1).
- Shively, G., Sununtnasuk, C., Brown, M., (2012). Measuring the Links between Agriculture and Child Health in Nepal. Nutrition CRSP Research Briefing Paper No. 10.
- Steiner-Asiedu, M., Abu, B. A. Z, Setorglo, J., Asiedu, D. K. and Anderson, A. K. (2012). The Impact of Irrigation on the Nutritional Status of Children in the Sissala West District of Ghana. *Current Research Journal of Social Sciences*, 4 (2), 86-92.
- Tanaka, A., Saito, K., Azoma, K., Kobayashi, K. (2013). Factors affecting variation in farm yields of irrigated lowland rice in southern-central Benin. *European Journal of Agronomy*, 44, 46-53.
- Tesfaye, A., Bogale, A., Namara, R. E., Bacha, D. (2008). The impact of small-scale irrigation on household food security: The case of Filtino and Godino irrigation schemes in Ethiopia. *Irrigation Drainage Systems*, 22 (2), 145–158.
- Totin, E., van Mierlo, B., Saïdou, A., Mongbo, R., Agbossou, E., Stroosnijder, L., and Leeuwis, C. (2012). Barriers and opportunities for innovation in rice production in the inland valleys of Benin. *NJAS –Wageningen Journal of Life Sciences*, 60-63, 57–66.
- Verkaart, S., Munyua, B.G., Mausch, K., and Michler, J. D. (2017). Welfare impacts of improved chickpea adoption: A pathway for rural development in Ethiopia? *Food Policy*, 66, 50–61.
- Veronicah, K., Kogi-Makau, W., and Muroki, N. M. (2007). The role of irrigation on improvement of nutritional status of young children in central Kenya. *African journal of food agriculture nutrition and development*, 7 (2), 1-16.
- World Bank (2020). Population growth rate. <https://worldpopulationreview.com/countries/benin-population/>
- World Food Program (WFP, 2014). Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire (AGVSA) Benin, 146pp. Available at http://www.insae-bj.org/./Benin_AGVSA_Rapport_2013.pdf.

- World Food Program (WFP, 2008). Food consumption analysis Calculation and use of the food consumption score in food security analysis. www.wfp.org/odan/senac.
- WHO (2020). Fact sheets - Malnutrition - World Health Organization.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>.
- WHO (2000). Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. World Health Organization Technical Report Series, 894:i-xii,1–253. [file:///C:/Users/HP-Pro/Downloads/WHO TRS 894.pdf](file:///C:/Users/HP-Pro/Downloads/WHO_TRS_894.pdf)
- WHO (1995). Physical Status: the use and interpretation of anthropometry. Geneva: World Health Organization Technical Report Series, 854:i-x,1–452.
[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37003/WHO TRS 854.pdf?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37003/WHO_TRS_854.pdf?sequence=1)
- Yu, B. (2012). From Plot to Plate: Linking Agricultural Productivity and Human Nutrition in Bangladesh. Selected Paper prepared for presentation at the International Association of Agricultural Economists (IAAE) Triennial Conference, Foz do Iguaçu, Brazil, 18-24 August.
- Zannou, A., Chogou, S. K., Saliou, I. O. and Biaou, G. (2018). Technical efficiency of irrigated rice seed farmers in Koussin-Lélé, Benin Republic. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 10(1), 28-37.
- Zhang, Y., Wang, L. and Duan, Y. (2016). Agricultural information dissemination using ICTs: A review and analysis of information dissemination models in China. *Information Processing in Agriculture*, 3, 17–29

Annexe : Formules permettant d'estimer le DD, le FCS et l'IMC

$$DD = ? \text{ food groups consumed} \quad (E1)$$

$$FCS = ? a_i X_i \quad (E2)$$

$$BMI = \frac{\text{Weight in kg}}{\text{height in meters squared}} \quad (E3)$$

Où a_i est le poids de chaque groupe alimentaire, et X_i la fréquence de consommation des aliments

Tableau A1 : Groupes d'aliments et pondérations

	Produits alimentaires	Groupes d'aliments	Poids
1	Maïs, bouillie de maïs, riz, sorgho, pâtes au millet, pain et autres céréales	Aliments de base	
2	Manioc, pommes de terre et patates douces, autres tubercules, bananes plantains		2
3	Haricots, pois, arachides et noix de cajou	Légumineuses	3
4	Légumes à feuilles	Légumes	1
5	Fruits	Fruits	1
6	Bœuf, chèvre, volaille, porc, œufs et poisson	Viande et poisson	4
7	Lait, yaourt et autres produits laitiers	Lait	4
8	Sucre et produits à base de sucre, miel	Sucre	0,5
9	Huiles, graisses et beurre	Huile	0,5
10	Épices, thé, café, sel, farine de poisson, petites quantités de lait pour le thé.	Condiments	0

Source: Programme alimentaire mondial (2008)



Mission

To strengthen local capacity for conducting independent, rigorous inquiry into the problems facing the management of economies in sub-Saharan Africa.

The mission rests on two basic premises: that development is more likely to occur where there is sustained sound management of the economy, and that such management is more likely to happen where there is an active, well-informed group of locally based professional economists to conduct policy-relevant research.

Bringing Rigour and Evidence to Economic Policy Making in Africa

- Improve quality.
- Ensure Sustainability.
- Expand influence.

www.aercafrica.org

Learn More



www.facebook.com/aercafrica



www.instagram.com/aercafrica_official/



twitter.com/aercafrica



www.linkedin.com/school/aercafrica/

Contact Us

African Economic Research Consortium
Consortium pour la Recherche Economique en Afrique
Middle East Bank Towers,
3rd Floor, Jakaya Kikwete Road
Nairobi 00200, Kenya
Tel: +254 (0) 20 273 4150
communications@ercafrica.org