



Énergie électrique et inégalités spatiales au Bénin

Arsène Romuald DOSSOU-YOVO ¹; Yves Yao SOGLO ²

1. Doctorant à l'université d'Abomey Calavi ;
2. Enseignant Professeur à l'université d'Abomey-Calavi

Résumé

L'objectif de cet article est d'analyser les inégalités spatiales d'accès à l'électricité au Bénin, en mobilisant les données de l'EHCVM 2022 sur 8 032 ménages et en estimant un modèle spatial autorégressif (SAR) intégrant les effets de voisinage. Les résultats montrent que l'accès à l'électricité est concentré en zones urbaines, que le revenu, l'éducation du chef de ménage et la proportion d'actifs augmentent la probabilité d'accès formel, et que des externalités positives existent : les ménages sont plus susceptibles d'être connectés si leurs voisins le sont, confirmant un mécanisme de diffusion énergétique. Ces constats soulignent l'importance d'orienter les investissements vers les zones rurales et périurbaines sous-équipées et de combiner fiabilité du réseau, solutions décentralisées et tarification ciblée pour promouvoir une transition énergétique inclusive et durable.

Mots-clés : Accès à l'électricité, Inégalités spatiales, Modèle SAR, Demande d'énergie.

Codes JEL : C21, D12, O13, Q41, R14

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.19855846>

Published in: Volume 5 Issue 2

1. Introduction

L'accès aux ressources environnementales et aux biens essentiels constitue un facteur déterminant du développement économique, social et territorial. Parmi ces ressources, l'électricité joue un rôle structurant : elle influe directement sur le bien-être des ménages, la productivité des entreprises, l'accès aux services de base et la création d'opportunités économiques. En ce sens, l'électricité est à la fois un bien de consommation finale, améliorant le confort matériel et la qualité de vie, et un intrant productif, renforçant la capacité productive des agents économiques, notamment dans les secteurs informels et ruraux (Sovacool et al., 2021 ; Steyn et al., 2023). Le bien-être, défini comme la capacité des individus et des ménages à

satisfaire leurs besoins fondamentaux, à jouir d'une vie saine et à accéder à des opportunités économiques, est étroitement lié à l'accès aux ressources énergétiques. Les inégalités désignent quant à elles les écarts observés dans l'accès aux ressources, aux services publics et aux opportunités économiques entre individus, ménages ou territoires. Dans le contexte de l'accès à l'électricité, ces inégalités se manifestent par des différences significatives dans la capacité à se connecter au réseau, à bénéficier d'un approvisionnement fiable et à consommer de l'énergie en fonction des besoins socio-économiques. La relation entre bien-être et inégalités est complexe mais substantielle : des inégalités marquées dans l'accès aux ressources essentielles peuvent réduire le bien-être des populations défavorisées, limiter leur participation économique et freiner leur mobilité sociale (Ravallion, 2018 ; Alkire & Foster, 2011). Dans ce cadre, un accès inégal à l'électricité peut accentuer les écarts de développement entre zones urbaines et rurales, réduire l'efficacité des politiques publiques et perpétuer des mécanismes de marginalisation territoriale (Pueyo & Maestre, 2019 ; Bazilian et al., 2022).

Dans le cas du Bénin, malgré les progrès enregistrés ces dernières années, l'accès à l'électricité demeure fortement inégal. En 2023, environ 57 % de la population avait accès à l'électricité, mais cette moyenne masque des disparités profondes entre zones urbaines (près de 70 %) et zones rurales (environ 18 %). Ces disparités ont des effets directs et indirects sur le développement économique et social. Les communes moins électrifiées présentent souvent des niveaux de productivité plus faibles, une moindre attractivité pour les investissements, une capacité limitée à générer de l'emploi local et une plus grande vulnérabilité face aux chocs économiques. Par contraste, une concentration excessive de l'électricité dans certaines zones urbaines peut engendrer des surcharges du réseau, augmenter les coûts de maintenance et accentuer les pressions environnementales, ce qui limite l'efficacité globale du système énergétique. Sur le plan théorique, l'électricité est perçue comme une ressource avec des externalités positives sur le capital humain et des effets de réseau qui dépassent l'individu ou le ménage (Aklin & Urpelainen, 2018). Cependant, les défaillances du marché, les coûts fixes élevés des infrastructures et les disparités territoriales limitent son expansion équitable (Blimpo & Cosgrove-Davies, 2022). Sur le plan empirique, plusieurs études récentes montrent que les déficits d'infrastructures énergétiques constituent un frein majeur au développement économique et intensifient les inégalités sociales. Foster et Eberhard (2019) montrent que l'insuffisance des réseaux électriques en Afrique subsaharienne retarde l'industrialisation et réduit la productivité, tandis que Lee et al. (2023) démontrent que l'accès à l'électricité contribue de manière significative à l'amélioration du bien-être et à la réduction de la pauvreté.

C'est dans ce contexte que se situe le présent essai, qui vise à analyser les déterminants des inégalités spatiales d'accès à l'électricité au Bénin et leurs effets sur le bien-être des populations. La contribution de cet article est double. D'abord, il évalue l'influence des caractéristiques socio-économiques des ménages, des contraintes institutionnelles et des mécanismes de marché sur l'accès à l'électricité, et il met en lumière les interdépendances spatiales entre communes à travers l'utilisation d'outils économétriques spatiaux.

Pour atteindre cet objectif, l'article est structuré comme suit : la section 1 présente introduction ; la section 2 décrit la méthodologie adoptée, y compris les données utilisées et le modèle spatial autorégressif (SAR) ; la section 3 analyse les résultats des estimations ; enfin, la section 4 expose les conclusions de l'étude et les implications de politiques économiques

2. Méthodologie de recherche

2.1. Modèle théorique

L'économétrie spatiale étend le modèle linéaire classique pour intégrer la dépendance entre entités géographiques voisines. Autrement dit, l'analyse spatiale considère que les observations proches dans l'espace peuvent être corrélées (Anselin, 1988 ; EEA, 2024 ; Shannak et al., 2024). Dans le cas de l'accès à l'électricité, cette approche est essentielle car les inégalités sont très marquées géographiquement. Par exemple, à l'échelle mondiale le taux d'électrification est de 91% en 2020, mais seulement 48% en Afrique subsaharienne (Raimi et al., 2024) (où vit 77% des personnes sans accès). Au Bénin, ces disparités sont énormes : en 2017 seuls 8,3% des populations rurales avaient l'électricité contre 59% en zone urbaine (Missfeldt-Ringius et Malm, 2024 ; Zhu et al., 2025). Ces chiffres montrent que l'offre électrique et la demande sont spatialisées, avec des phénomènes de concentration et de diffusion régionale.

Ces interactions spatiales sont modélisées par une matrice de pondération spatiale \mathbf{W} , qui encode le voisinage entre communes (Anselin, 1999). Typiquement, \mathbf{W} est une matrice carrée $n \times n$ dont l'élément \mathbf{W}_{ij} mesure la proximité ou l'intensité du lien entre les communes i et j . Par exemple, un choix courant est la contiguïté : on pose $\mathbf{W}_{ij} = 1$ si les communes i et j partagent une frontière, et 0 sinon (Anselin, 1999). Ainsi, chaque ligne de la matrice \mathbf{W} définit l'ensemble des voisins d'une commune. Dans la pratique, on normalise souvent \mathbf{W} ligne à ligne (somme de chaque ligne égale à 1), de sorte que $\mathbf{W}\mathbf{y}$ soit une moyenne pondérée des valeurs voisines.

Tableau 1 : Schéma illustrant la contiguïté « rook » sur une grille 3×3

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Source : Calcul de l’auteur, à partir des données de EHCVM 2022

La commune centrale (n°5 en rouge) est voisine de quatre communes (2, 4, 6, 8) (Anselin, 1999). Dans une matrice binaire correspondante $\mathbf{W}_{5;2} = \mathbf{W}_{5;4} = \mathbf{W}_{5;6} = \mathbf{W}_{5;8} = \mathbf{1}$, les autres $\mathbf{W}_{5;j} = \mathbf{0}$.

Le modèle SAR (Spatial Autoregressive Model) incorpore ces dépendances spatiales en ajoutant un retard spatial de la variable dépendante. Formellement on écrit :

$$\mathbf{y} = \rho \mathbf{W} \mathbf{y} + \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (1)$$

Où

- \mathbf{y} est le vecteur ($\mathbf{n} \times \mathbf{1}$) des taux d’accès à l’électricité (variable dépendante) pour chaque commune.
- $\mathbf{W} \mathbf{y}$ est le terme spatial retardé (ou “lag spatial”) : c’est une moyenne pondérée des taux des communes voisines (selon \mathbf{W}). Intégrer $\rho \mathbf{W} \mathbf{y}$ modélise l’influence des voisins. En pratique, cela capture l’idée que l’accès dans une commune dépend des valeurs voisines (Laurent & Tesnière, 2024).
- \mathbf{W} est la matrice de contiguïté définie ci-dessus (Anselin, 1999). Par exemple, si deux communes sont adjacentes, l’élément correspondant de \mathbf{W} vaut 1 (avant normalisation) (Anselin, 1999).
- \mathbf{X} est la matrice des variables explicatives exogènes ($\mathbf{n} \times \mathbf{k}$), contenant des covariables locales (revenu moyen, taux d’urbanisation, densité de population, niveau d’éducation, etc.).
- $\boldsymbol{\beta}$ est le vecteur des coefficients associés ($\mathbf{k} \times \mathbf{1}$), traduisant l’effet moyen de chaque covariable sur le taux d’électrification.

- ρ est le paramètre d'autocorrélation spatiale (scalaire). Sa valeur mesure l'intensité de l'interdépendance spatiale (Laurent & Tesnière, 2024). Si $\rho > 0$, un haut taux d'accès dans le voisinage tend à augmenter le taux de la commune considérée (effet positif).
- ε est le vecteur des termes d'erreur (bruit aléatoire), souvent supposé $\sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I})$

La présence de $\rho \mathbf{W} \mathbf{y}$ rend le modèle endogène du point de vue spatial : le vecteur $\mathbf{W} \mathbf{y}$ contient \mathbf{y} lui-même, ce qui induit une corrélation entre $\mathbf{W} \mathbf{y}$ et ε (Laurent et Tesnière, 2024).

Concrètement, cela signifie qu'une variation de \mathbf{X} dans une commune a un effet direct sur sa propre valeur de y (à travers β), mais aussi un effet indirect sur les communes voisines à travers le terme $(\mathbf{I} - \rho \mathbf{W})^{-1}$.

En fait, on peut écrire la forme réduite :

$$\mathbf{y} = (\mathbf{I} - \rho \mathbf{W})^{-1} \mathbf{X} \beta + (\mathbf{I} - \rho \mathbf{W})^{-1} \varepsilon; \quad (2)$$

ce qui montre qu'un choc local se propage en boucle dans le réseau spatial (effets directs et induits sur tous les voisins) (Kolade et al., 2024; Laurent & Tesnière, 2024).

Avant d'estimer un modèle SAR, il est nécessaire de tester la présence de dépendance spatiale. Deux indices principaux sont mobilisés.

(i) **Indice de Moran (Moran, 1950)**

Cet indice est donné par la formule :

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{n}}{\mathbf{S}_0} * \frac{\sum_i \sum_j \mathbf{w}_{ij} (\mathbf{y}_i - \bar{\mathbf{y}}) (\mathbf{y}_j - \bar{\mathbf{y}})}{\sum_i (\mathbf{y}_i - \bar{\mathbf{y}})^2} \quad (3) \quad \text{avec}$$

- \mathbf{n} : nombre d'unité spatiale ;
- \mathbf{w}_{ij} : éléments de la matrice de contiguïté ;
- $\bar{\mathbf{y}}$: moyenne de y
- $\mathbf{S}_0 = \sum_i \sum_j \mathbf{w}_{ij}$

Ainsi, un I positif et significatif révèle une autocorrélation spatiale positive (clustering), alors qu'un I négatif traduit une dispersion. La significativité de Moran's I est testée par un score Z :

$$\mathbf{Z}(\mathbf{I}) = \frac{\mathbf{I} - \mathbf{E}(\mathbf{I})}{\sqrt{\mathbf{Var}(\mathbf{I})}} \text{ avec } \mathbf{E}(\mathbf{I}) = -\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{n} - \mathbf{1}} \quad (4)$$

(ii) **Indice de Geary (Geary, 1954)**

L'indice de Geary est donné par la formule

$$C = \frac{(n-1)}{2S_0} * \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (y_i - y_j)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (5) \quad \text{avec}$$

$C < 1$ qui indique une autocorrélation positive ; $C > 1$, une autocorrélation négative.

2.2. Modèle empirique

À partir du cadre théorique développé précédemment, l'accès à l'électricité est appréhendé comme le résultat d'un arbitrage économique des ménages et des communes, sous contraintes budgétaires et infrastructurelles, et influencé par des interactions spatiales entre unités géographiques voisines. La présence d'effets de diffusion et de dépendance spatiale justifie l'introduction d'un terme autorégressif spatial, conformément au modèle SAR.

Ainsi, le modèle empirique découle directement du modèle théorique autorégressif spatial et s'écrit comme suit :

$$\begin{aligned} to_ac_elec_i = & \rho \sum_j w_{ij} to_ac_elec_j + \beta_1 prix_elec_i \beta_2 renumoy_Menag_i \\ & + \beta_3 zone_résidenx_i + \beta_4 taux_urbanisat_i + \beta_5 nivo_bienetre_i + \\ & \beta_6 possess_biendurable_i + \beta_7 disponibilit_i + \beta_8 fiabilité_reso_i + \\ & \beta_9 Densitépop_i + \beta_{10} Indice_santé_i + \beta_{11} Indice2_santé_i + \\ & \beta_{12} toactivité_eco_i + \beta_{13} electr_locale_i + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (6)$$

où :

- $to_ac_elec_i$ représente le taux d'accès à l'électricité dans la commune i ;
- $\sum_j w_{ij} to_ac_elec_j$ Correspond au niveau moyen d'accès observé dans les communes voisines, pondéré par la matrice de contiguïté spatiale W ;
- ρ mesure l'intensité de la dépendance spatiale et capte les effets de diffusion intercommunale ;
- X_i regroupe les variables économiques, sociales et infrastructurelles issues du cadre conceptuel ;
- ε est le terme d'erreur idiosyncratique.

Ce modèle permet ainsi de distinguer :

- les effets directs des caractéristiques propres à chaque commune sur l'accès à l'électricité ;
- les effets indirects ou spatiaux, résultant de la proximité géographique et des dynamiques de diffusion entre communes.

L'estimation de ce modèle permet de tester empiriquement l'existence de disparités spatiales et d'identifier les facteurs économiques et territoriaux qui les renforcent (ou les atténuent).

2.3. Stratégie d'identification des variables et source des données

L'analyse des déterminants de l'accès à l'électricité et des inégalités spatiales au Bénin repose sur l'étude d'un ensemble de variables économiques, sociales et structurelles, chacune jouant un rôle précis dans la décision des ménages et dans la configuration territoriale de l'offre énergétique. Ainsi,

- **Le prix de l'électricité (*prix_elec_i*)**

Il constitue une variable clé du modèle. D'un point de vue économique, il agit comme un signal et une barrière d'entrée. Un prix élevé renchérit le coût marginal de la consommation énergétique et limite la capacité des ménages à se raccorder, en particulier pour les groupes à faibles revenus. Comme l'ont montré McTague et Trujillo-Baute (2025), la hausse des prix de l'énergie exacerbe la pauvreté énergétique et influence directement la santé et le bien-être, révélant le caractère central du prix dans la dynamique d'accès à l'énergie. Ainsi, plus le prix est faible, plus la demande d'accès tend à croître, toutes choses égales par ailleurs.

- **Le revenu moyen du ménage (*revenue_moy_Menag*)**

Le revenu joue un rôle déterminant dans la capacité à accéder à l'électricité. En théorie microéconomique, le revenu représente la contrainte budgétaire qui détermine la part du budget consacrée à la consommation d'énergie. Les ménages plus aisés disposent d'une capacité financière suffisante pour supporter les coûts fixes de branchement et les coûts variables d'usage. De plus, les opérateurs du secteur électrique sont plus enclins à investir dans les zones à revenu élevé, où la demande est stable et solvable. On attend donc un effet positif du revenu sur l'accès à l'électricité, traduisant la complémentarité entre bien-être économique et inclusion énergétique (IEG, 2025).

- **Le taux d'urbanisation communal (taux_urbanisat)**

Ce taux renvoie à la concentration spatiale de la population et aux économies d'agglomération. Dans les communes plus urbanisées, la densité de la demande et la proximité des infrastructures facilitent la fourniture de services publics, y compris l'électricité. Cette concentration urbaine favorise la rentabilité des investissements électriques, d'où un effet attendu positif. Cependant, certaines études récentes (Szabo et al., 2025) montrent qu'une urbanisation rapide et mal planifiée peut aussi engendrer des inefficiences ou des surcharges dans les réseaux, nuanciant la relation entre urbanisation et accès à l'électricité (Kolade et al., 2024).

- **La zone de résidence (zone_résidenx)**

Elle capture les disparités structurelles entre milieux. Dans les zones urbaines, les infrastructures de distribution sont plus développées, les coûts unitaires de raccordement moindres et les marchés énergétiques plus attractifs. À l'inverse, les zones rurales souffrent de dispersion spatiale et de coûts fixes élevés, ce qui limite l'extension du réseau. De ce fait, l'effet attendu de la variable « urbain » est positif sur la probabilité d'accès à l'électricité (Portia Oduro et al., 2024).

- **Le niveau de bien-être des ménages (nivo_bienetre)**

Il est mesuré par un indice composite (revenu, logement, équipements, accès aux services), reflète la capacité de consommation et l'investissement dans la qualité de vie. Les ménages mieux dotés en capital physique et humain sont davantage susceptibles d'accéder à des services énergétiques modernes. Ce lien positif entre bien-être et accès énergétique est soutenu par la théorie des capacités d'Amartya Sen, selon laquelle l'accès à l'énergie élargit les libertés et les opportunités économiques (Mukherjee & Sen, 2024) .

- **La possession de biens durables (possess_biendurable)**

Cette variable constitue un indicateur de la demande potentielle d'électricité. Des biens tels que réfrigérateurs, ventilateurs, ou appareils électriques nécessitent une connexion fiable et continue. Ainsi, plus un ménage possède de biens durables, plus sa propension à se raccorder au réseau est forte, ce qui se traduit par une relation positive entre cette variable et l'accès à l'électricité (AFDB, 2025).

- **La disponibilité du réseau électrique (disponibilité_réso)**

Elle reflète la présence physique d'infrastructures de transport et de distribution de l'électricité. Dans la logique microéconomique, il s'agit d'une condition de faisabilité : sans réseau, aucune demande effective ne peut se matérialiser. La disponibilité du réseau a donc un effet direct et positif sur l'accès à l'électricité, puisqu'elle réduit les coûts d'extension et les contraintes d'investissement (World Bank, 2025) .

- **La fiabilité du réseau électrique(fiabilité_réso)**

Cet indicateur mesure la qualité du service, notamment la stabilité de la tension et la fréquence des coupures. Une meilleure fiabilité accroît la satisfaction des usagers, sécurise les investissements domestiques et incite à la connexion. Cette variable a donc un effet positif attendu, puisqu'elle agit à la fois sur la demande des ménages et sur la confiance dans l'offre publique (World Bank, 2025).

- **La densité de la population(Densitépop)**

Cette variable influe également sur la rentabilité des investissements électriques. Les zones à forte densité permettent une réduction des coûts moyens de distribution par habitant et augmentent la viabilité économique des projets d'électrification. L'effet attendu est donc positif, traduisant un phénomène d'économies d'échelle territoriales (Chaturvedi et al., 2025 ; Laurent & Tesnière, 2024).

- **L'indice de santé (Indice_santé)**

Cet indice reflète l'état général du capital humain local. Les zones où la santé est meilleure tendent à être plus productives, à générer plus de revenus et à entretenir une demande énergétique plus élevée. L'effet attendu est positif, dans la mesure où la santé et l'accès à l'énergie se renforcent mutuellement. Cependant, l'indice de santé au carré permet de capter une possible non-linéarité. Au-delà d'un certain niveau de bien-être sanitaire, les gains supplémentaires peuvent devenir marginaux, voire inverser la tendance. Son signe attendu est donc négatif, traduisant des rendements décroissants (Chia et al., 2024).

- **Le taux d'activité économique (toactivité_eco)**

Ce taux mesure la proportion de la population en âge de travailler qui participe au marché du travail. Un niveau élevé d'activité économique stimule la demande énergétique, notamment dans les secteurs productifs et les services. L'effet attendu est donc positif, indiquant une complémentarité entre dynamisme économique et accès à l'électricité (Ebhotu et Tabakov., 2024)..

- **Les sources énergétiques locales (electr_locale)**

Elles représentent la disponibilité d'alternatives telles que l'énergie solaire, la biomasse ou les micro-réseaux. Leur effet sur l'accès à l'électricité conventionnelle est ambivalent : positif si ces sources locales sont complémentaires et soutiennent l'intégration du réseau, négatif si elles constituent des substituts et réduisent la demande pour le réseau principal

(Jayabal, 2024). Enfin, la variable spatiale ($\rho \sum_j w_{ij} t_asseselec_j$) représente l'influence du taux d'accès des communes voisines.

Ainsi, l'ensemble de ces variables permet de comprendre les interactions complexes entre facteurs économiques, sociaux et spatiaux dans la dynamique d'accès à l'électricité. Leur combinaison éclaire les inégalités territoriales et les mécanismes microéconomiques sous-jacents au développement énergétique local. Le tableau ci-contre récapitule les variables identifiées pour l'estimation.

Tableau 2: Variables et Signes attendus

Variables	Signe attendu	Unités de Mesure
Prix de l'électricité	-	FCFA
Revenu moyen du ménage	+	FCFA
Taux d'urbanisation communal	+	Pourcentage (%)
Zone de résidence (urbain/rural)	+	-----
Niveau de bien-être des ménages	+	Pourcentage (%)
Possession de biens durables	+	-----
Disponibilité du réseau électrique	+	Pourcentage (%)
Fiabilité du réseau électrique	+	Echelle
Densité de la population	+	Kilomètre carré (km ²)
Indice de santé	+	Pourcentage (%)
Indice de santé au carré	-	Pourcentage (%)
Taux d'activité économique	+	Pourcentage (%)
Sources énergétiques locales	+/-	-----

Source : Calcul à partir de la base EHCVM (2022)

3. Analyse des résultats

3.1. Analyse descriptive des variables du modèle

L'analyse descriptive porte sur un échantillon de soixante-dix-sept communes du Bénin et met en évidence d'importantes disparités territoriales en matière d'accès à l'électricité, de conditions socio-économiques et de caractéristiques démographiques. Ces statistiques sont présentées en distinguant les variables quantitatives continues des variables qualitatives, conformément à leur nature.

3.1.1. Distribution des variables quantitatives continues

- **Accès à l'électricité et caractéristiques économiques**

Le taux moyen d'accès à l'électricité s'élève à 50,95 %, avec des valeurs extrêmes allant de 5,5 % à 94,55 %. Cette large amplitude indique une forte hétérogénéité spatiale entre les communes. Certaines communes bénéficient d'un niveau d'électrification élevé, tandis que d'autres demeurent très faiblement desservies. Cette dispersion statistique suggère l'existence de disparités territoriales marquées dans la couverture du réseau électrique. Le prix moyen de l'électricité est estimé à 124,87 F CFA, avec un minimum de 86 F CFA et un maximum de 148 F CFA. Cette variabilité reflète des différences dans les conditions locales de fourniture du service électrique et peut être associée à des contraintes d'accessibilité ou de disponibilité du réseau selon les territoires. Ces écarts tarifaires constituent un élément important du contexte économique dans lequel s'inscrit l'accès à l'électricité. Le revenu moyen des ménages s'élève à environ 273 392 F CFA, mais présente une dispersion très élevée, comme l'indiquent les valeurs minimales et maximales observées. Cette hétérogénéité traduit des niveaux de vie très contrastés entre les communes, susceptibles d'influencer la capacité des ménages à accéder et à utiliser durablement l'électricité.

- **Urbanisation, démographie et structures territoriales**

Le taux moyen d'urbanisation est de 31,83 %, ce qui indique que la majorité des communes restent à dominante rurale. Toutefois, certaines communes affichent des niveaux d'urbanisation dépassant 55 %, traduisant une structuration spatiale très différenciée. Cette configuration territoriale suggère que l'accès aux infrastructures, notamment énergétiques, peut varier sensiblement selon le degré d'urbanisation. La densité de population moyenne est estimée à 460 habitants par km², mais elle masque de très fortes disparités. Certaines communes sont faiblement peuplées, tandis que d'autres présentent des densités très élevées, supérieures à 5 000 habitants par km².

Tableau 3: Statistiques descriptives

Variables	Obs.	Moyenne	Min	Max
Taux d'accès à l'électricité (%)	8032	50,95	5,5	94,55
Prix de l'électricité	8032	124,87	86	148
Taux d'urbanisation (%)	8032	31,83	10	55,37
Densité de population	8032	460,15	21,62	5794,67
Revenu moyen des ménages	8032	273 391,8	12 966	2 502 710
Taux d'activité économique (%)	8032	47,09	25,92	67,75
Équipements électriques locaux	8032	892,97	272,56	1329,88

Source : C alcul de l'auteur, à partir des données de EHCVM (2022)

3.1.2. Distribution des variables qualitatives et binaires

L'analyse des variables qualitatives relatives à l'offre d'électricité met en évidence des contrastes importants entre la présence du réseau et sa qualité de fonctionnement. D'après le tableau de distribution des variables qualitatives et binaires, une large majorité des communes disposent d'un réseau électrique opérationnel. En effet, environ deux tiers des communes se situent dans la modalité correspondant à la disponibilité du réseau, ce qui indique que l'infrastructure électrique est globalement présente sur le territoire national. Cependant, cette disponibilité ne garantit pas nécessairement un service de qualité. Le tableau montre que la fiabilité du réseau électrique demeure faible, puisqu'un peu plus de la moitié des communes sont classées dans la modalité indiquant des interruptions fréquentes de l'approvisionnement. Autrement dit, malgré la présence du réseau dans de nombreuses communes, la continuité du service reste problématique dans une proportion importante de territoires. Cette dissociation entre disponibilité et fiabilité souligne que l'accès à l'électricité ne saurait être appréhendé uniquement à travers la présence physique des infrastructures. La qualité du service, mesurée ici par la régularité de l'approvisionnement, constitue une dimension essentielle de l'accès effectif à l'électricité.

Tableau 4 : Distribution des variables qualitatives et binaires

Variable	Modalité	Fréquence	Pourcentage en %
Disponibilité du réseau électrique	Réseau disponible	51	66,23
	Réseau non disponible	26	33,77
Fiabilité du réseau électrique	Réseau peu fiable	41	53,25
	Réseau Fiable	36	46,75

Source : Calcul de l'auteur, à partir des données de EHCVM (2022)

3.1.3. Activité économique et équipements électriques selon le niveau de développement communal

Le taux moyen d'activité économique s'élève à 47,09 %, avec des valeurs comprises entre 25,92 % et 67,75 %, traduisant des structures économiques locales très différenciées. De même, le niveau moyen d'équipements électriques locaux (892,97 unités) révèle une concentration des infrastructures dans certaines communes, tandis que d'autres demeurent moins dotées. Ces écarts reflètent des dynamiques territoriales contrastées en matière de développement économique et d'investissement en infrastructures. Dans l'ensemble, les

statistiques descriptives mettent en évidence une forte hétérogénéité spatiale des conditions d'accès à l'électricité et des caractéristiques socio-économiques des communes béninoises. Les disparités observées concernent aussi bien les niveaux d'électrification que les revenus, la densité démographique, le bien-être et la qualité du réseau.

Tableau 5 : Activité économique et équipements électriques selon le niveau de développement communal

Niveau d'activité économique	Taux d'activité économique moyen (%)	Équipements électriques moyens (unités)	Caractéristiques dominantes
Faible activité économique	25,92 – 35,00	272 – 500	Communes à dominante rurale, faible base productive, investissements limités
Activité économique intermédiaire	35,01 – 50,00	501 – 900	Communes en transition, présence de services et d'activités commerciales locales
Forte activité économique	50,01 – 67,75	901 – 1 330	Communes urbaines ou pôles économiques, forte concentration d'infrastructures

Source : Calcul de l'auteur, à partir des données de EHCVM (2022)

3.1.4. Analyses des mesures d'autocorrélation spatiale globale

Les résultats des mesures d'autocorrélation spatiale globale pour la variable taux d'accès à l'électricité (to_ac elec) révèlent une forte dépendance spatiale positive entre les communes. Cette conclusion découle de la valeur du Moran's I) et du Geary's C, tous deux statistiquement significatifs au seuil de 1 %.

En premier lieu, la valeur du Moran's I, comprise entre -1 et +1, indique l'intensité et la direction de la corrélation spatiale. Un indice proche de +1 traduit une forte similarité spatiale : les communes proches géographiquement tendent à présenter des niveaux d'accès à l'électricité similaires. Dans le cas présent, le Moran's I suggère que les communes béninoises sont fortement auto corrélée positivement, autrement dit, les zones à fort accès à l'électricité sont entourées de zones similaires, tandis que celles à faible accès le sont également. Le score z largement supérieur au seuil critique (1,96 pour $\alpha = 5\%$) confirme la significativité de cette structure spatiale. Ainsi, la distribution géographique de l'électricité relève d'un processus spatialement structuré, probablement influencé par des effets de proximité économique, d'infrastructure ou de planification territoriale par l'Etat. En second lieu, le Geary's C, qui varie également entre 0 et 2, fournit une mesure complémentaire de l'hétérogénéité spatiale. Une

valeur proche de 1 indique l'absence d'autocorrélation, inférieure à 1 une autocorrélation positive, et supérieure à 1 une autocorrélation négative. Ici, la valeur de C est très inférieure à 1, ce qui confirme la présence d'un regroupement spatial homogène. Le z-score associé (-8,280) et la p-value nulle indiquent que cette structure spatiale est hautement significative statistiquement. Ces résultats, cohérents avec ceux du Moran's I, renforcent l'idée d'une forte homogénéité intrarégionale et d'une segmentation spatiale nette entre les territoires bien électrifiés et ceux restés à la marge du réseau national.

Sur le plan économique et territorial, ces résultats traduisent l'existence d'un effet de voisinage ou de diffusion spatiale dans l'accès à l'électricité. En effet, la proximité géographique facilite souvent le partage ou l'extension des infrastructures, notamment à travers les interconnexions du réseau, les sous-stations régionales ou les politiques publiques d'aménagement. Les communes situées à proximité d'un pôle urbain électrifié bénéficient plus facilement des retombées du réseau, ce qui crée des concentrations spatiales de développement énergétique. À l'inverse, les communes enclavées ou rurales, éloignées de ces pôles, restent structurellement désavantagées, consolidant un clivage spatial durable.

Tableau 6 : Mesures d'autocorrélation spatiale globale

Moran's I					
Variable	I	E(I)	-sd(I)	Z	P – value
to_ac_elec	0.936	-0.013	0.115	8.287	0.000
Geary's c					
Variable	C	E(C)	sd(C)	Z	P – value
to_ac_elec	0.063	1.000	0.113	8.280	0.000

Source : A partir des données la matrice de pondération spatiales des 77 commune du Bénin

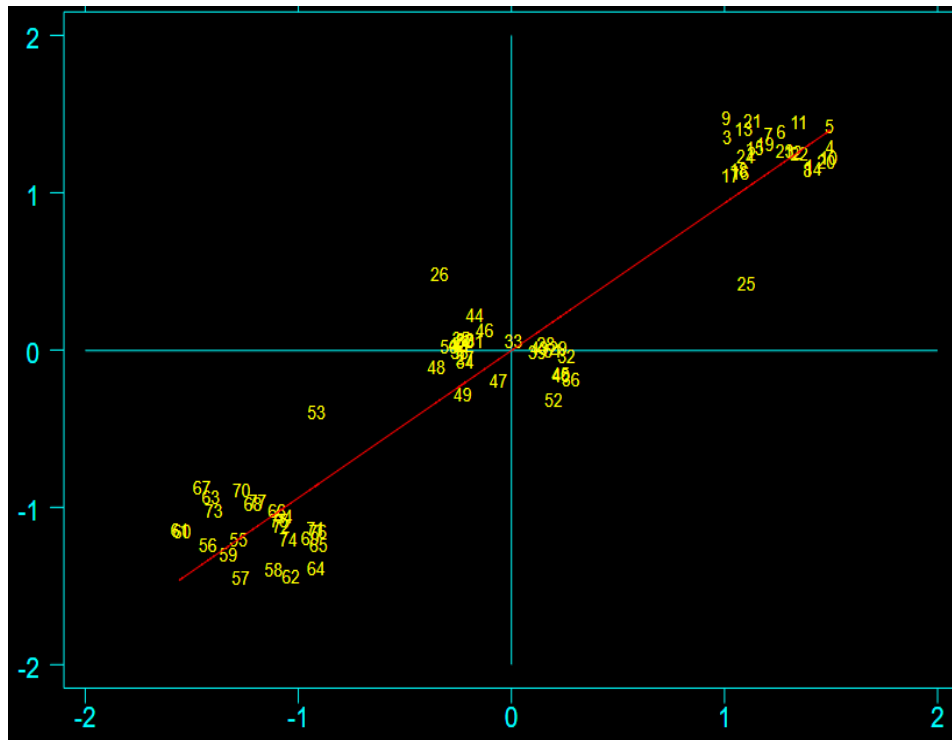
3.1.5. Analyse du diagramme de Moran

L'analyse du diagramme de Moran relatif au taux d'accès à l'électricité dans les 77 communes du Bénin (soit 8032 ménages de façon aléatoire), représentées chacune par un chiffre allant de 1 à 77, révèle une autocorrélation spatiale fortement positive. Cette valeur traduit une distribution géographique non aléatoire de l'électrification. Les communes présentant un fort taux d'accès à l'électricité ont tendance à se regrouper entre elles, tout comme celles dont le niveau d'électrification reste faible. Le diagramme de Moran se divise en quatre quadrants, chacun illustrant une zone spatiale spécifique entre les communes et leurs voisines.

Dans le quadrant supérieur droit (High–High), se trouvent les communes affichant un taux d'accès à l'électricité élevé, entourées de territoires présentant également des niveaux élevés. Ces points correspondent principalement aux communes numérotées entre 1 et 15, qui représentent les zones urbaines et périurbaines les plus développées du pays, notamment Cotonou (1), Abomey-Calavi (2), Porto-Novo (3), Parakou (4) ou encore Bohicon (5). Ces espaces concentrent la majorité des infrastructures électriques et bénéficient d'un fort pouvoir d'attraction. D'un point de vue économique, ces communes constituent des zones d'attraction énergétique et productif, où la disponibilité de l'électricité stimule la création d'entreprises, favorise l'emploi formel et améliore la qualité de vie. Ce regroupement illustre un effet d'agglomération spatiale, dans lequel les avantages liés à l'électrification renforcent la compétitivité et la croissance locale. À l'inverse, le quadrant inférieur gauche (Low–Low) regroupe les communes présentant un faible taux d'accès à l'électricité, entourées elles aussi de communes à faible électrification. Il s'agit majoritairement des communes rurales situées au nord et au centre du pays, identifiées ici par les numéros 50 à 77, telles que Kérou (55), Kouandé (56), Matéri (59), Banikoara (60), Malanville (62) ou Gogounou (63). Ces territoires sont caractérisés par un déficit structurel en infrastructures électriques, lié à leur éloignement géographique, à la faible densité de leur population et à la rentabilité limitée des investissements énergétiques. D'un point de vue économique, ces communes se trouvent dans un cercle vicieux de sous-développement énergétique. L'absence d'électricité restreint la productivité, limite les opportunités économiques et freine l'amélioration du bien-être, ce qui en retour agit sur les investissements publics et privés. Le regroupement de ces points dans le quadrant inférieur gauche illustre donc une marginalisation spatiale persistante. Le quadrant supérieur gauche (Low–High) met en évidence des communes dont le taux d'électrification est faible, mais qui sont entourées de communes mieux dotées. Ces cas concernent notamment des communes intermédiaires numérotées entre 25 et 35, telles que Dassa-Zoumè (27), Savalou (29) ou Glazoué (30), qui se situent entre les zones urbaines méridionales bien électrifiées et les zones septentrionales défavorisées. Ces territoires jouent un rôle de zones de transition énergétique, où la proximité de pôles électrifiés pourrait, à moyen terme, faciliter la diffusion spatiale de l'électricité. Cependant, cette diffusion reste dépendante de la densité du réseau et des politiques d'interconnexion. Ces communes traduisent donc une diffusion partielle, où les effets positifs des zones voisines ne sont pas encore pleinement capitalisés. Enfin, le quadrant inférieur droit (High–Low) correspond à des communes présentant un niveau d'accès à l'électricité relativement élevé, mais entourées de territoires faiblement électrifiés. Ce groupe, composé principalement des communes numérotées entre 16 et 25, comprend des cas comme Lokossa

(17), Aplahoué (18) ou Dogbo (19), situées dans le sud-ouest du pays. Ces communes bénéficient souvent d'un accès prioritaire à l'électricité grâce à des projets spécifiques ou à leur proximité avec des infrastructures de production, sans que ces avantages ne se diffusent pleinement vers leurs voisines immédiates. Cette zone illustre un effet d'enclavement énergétique, où l'accès à l'électricité demeure localisé, créant des disparités marquées entre territoires proches.

Figure 1 : Diagramme de Moran



Source: Auteur, à partir des données de 8032 ménages repartir sur 77 communes du Bénin

3.2. Résultats du modèle SAR et discussions

L'estimation du modèle spatial autorégressif (SAR) met en évidence une dynamique spatiale marquée de la distribution de l'accès à l'électricité au sein des 77 communes du Bénin soit sur 8032 ménages. Le modèle, estimé par la méthode du maximum de vraisemblance, montre une forte cohérence globale avec un pseudo R^2 de 0,79 et un test de Wald hautement significatif. Ces résultats confirment la robustesse du modèle et la pertinence des variables retenues pour expliquer les disparités spatiales de l'accès à l'énergie. Plus fondamentalement, la significativité du coefficient spatial atteste d'une interdépendance territoriale : le niveau d'électrification dans une commune dépend de celui observé dans ses voisines, révélant un effet de diffusion ou d'imitation entre espaces contigus.

Sur le plan microéconomique, la relation négative et significative entre le prix de l'électricité et le taux d'accès à cette énergie traduit la sensibilité des ménages à la tarification du service. Ce résultat s'inscrit dans le cadre de la théorie classique de la demande : la hausse du prix constitue un frein à l'adoption, particulièrement pour les ménages à faibles revenus. En conséquence, la cherté de l'énergie alimente les inégalités spatiales, consolidant un cercle vicieux où les communes à faible revenu demeurent sous-équipées, tandis que les zones plus aisées renforcent leur accès au réseau. À l'inverse, le revenu moyen des ménages présente un effet positif et significatif, soulignant le rôle clé de la capacité économique dans l'accès à l'électricité. Les communes où les ménages disposent de ressources plus élevées peuvent assumer les coûts de raccordement et d'entretien, mais aussi investir dans des sources alternatives d'énergie. Ce résultat revêt une importance particulière dans le contexte béninois, où l'électricité locale ne se limite pas au réseau national, mais inclut également le recours à des systèmes solaires domestiques et à des groupes électrogènes. Ainsi, dans les communes plus riches, la combinaison de ces sources permet de pallier les insuffisances du réseau public, tandis que les communes pauvres demeurent vulnérables aux ruptures d'approvisionnement. Ce phénomène contribue à une forme d'autonomisation énergétique différenciée, renforçant la polarisation entre territoires intégrés et périphériques. La zone résidentielle conserve un effet négatif très marqué, confirmant le désavantage structurel des communes rurales en matière d'accès à l'électricité. La dispersion de l'habitat, la faible densité de la demande et la rentabilité limitée des investissements expliquent la concentration des infrastructures dans les espaces urbains. Ce résultat illustre un effet d'agglomération : les infrastructures énergétiques tendent à se développer là où la demande est forte et géographiquement concentrée, créant ainsi une hiérarchie spatiale des opportunités d'accès.

Le niveau de bien-être exerce un effet positif et significatif traduisant l'interdépendance entre développement humain et infrastructure énergétique. Dans les communes où les indicateurs de bien-être sont élevés, l'accès à l'électricité est plus large, suggérant un processus de causalité circulaire : l'énergie favorise le développement social et économique, lequel à son tour stimule la demande d'électricité. Ce mécanisme cumulé révèle une synergie entre capital humain et disponibilité énergétique. La possession de biens durables montre un effet négatif et significatif, résultat paradoxal mais révélateur. Dans plusieurs communes, la détention de biens modernes (motos, téléphones, radios, etc.) ne s'accompagne pas d'un accès régulier à l'électricité publique. Cela s'explique par le recours à des moyens énergétiques substitutifs, tels que les groupes électrogènes ou les kits solaires autonomes, utilisés comme solutions d'appoint

en dehors du réseau conventionnel. Ce constat met en évidence un dualisme énergétique : d'un côté, les communes intégrées au réseau national ; de l'autre, celles dépendant d'un approvisionnement autonome, souvent plus coûteux et moins stable. La fiabilité du réseau quant à elle, présente un effet positif, proche du seuil de significativité, indiquant que la stabilité de l'alimentation électrique encourage la demande. Ce résultat confirme que la qualité du service, au-delà de la seule disponibilité, joue un rôle déterminant dans la consolidation de la confiance des ménages et la pérennité des abonnements. L'effet global de la densité de population, bien que non significatif au seuil usuel, tend à suggérer que les zones à forte densité concentrent plus de ménages à raccorder, ce qui réduit les coûts marginaux d'électrification et renforce l'efficacité des infrastructures existantes. Les variables de santé et d'activité économique révèlent des dynamiques plus complexes. L'indice principal de santé présente un effet négatif alors que son carré est positif, suggérant une relation non linéaire. Ce résultat illustre un effet de seuil : dans les communes les plus défavorisées, la faiblesse des conditions sanitaires s'accompagne d'un accès limité à l'électricité, alors qu'à partir d'un certain niveau de développement, la modernisation des infrastructures de santé souvent électro dépendantes stimule la demande énergétique. Parallèlement, le taux d'activité économique exerce un effet négatif indiquant que les activités dominantes dans certaines zones, notamment agricoles ou artisanales, demeurent faiblement intensives en énergie. Cette structure économique, tournée vers des activités non électro-intensives, freine la demande locale et limite les incitations à l'investissement public ou privé dans le réseau. Enfin, la variable d'électricité locale, intégrant les usages alternatifs comme le solaire ou les groupes électrogènes, exerce un effet positif et hautement significatif. Ce résultat suggère que les sources d'énergie décentralisées jouent un rôle de complément, voire de substitut, à l'électricité du réseau conventionnel. Les communes ayant développé ces dispositifs bénéficient d'un niveau d'accès globalement supérieur, réduisant partiellement les effets négatifs liés à la faible couverture du réseau national. Toutefois, cette autonomisation énergétique demeure socialement sélective : seuls les ménages disposant d'un revenu suffisant peuvent supporter les coûts initiaux de ces équipements, accentuant ainsi la différenciation intra et intercommunale.

Dans cette perspective, le coefficient spatial autorégressif (ρ) revêt une signification essentielle. Sa valeur positive et significative confirme la présence d'un effet de dépendance spatiale globale, conformément aux résultats du diagramme de Moran obtenu précédemment. Ce lien empirique montre que les communes géographiquement proches présentent des comportements similaires en matière d'accès à l'électricité : les zones fortement électrifiées

tendent à s’agglomérer, formant des pôles régionaux de développement énergétique, tandis que les zones faiblement desservies se concentrent dans d’autres espaces, créant des clusters de sous-équipement. Ces résultats traduisent un processus de diffusion spatiale, où les effets d’agglomération et d’imitation se combinent pour renforcer la transition énergétique du territoire béninois (confère le tableau ci-dessous).

Tableau7 : Résultats du modèle SAR

Variab les	Coefficients	Prob> / t /
Prix de l’électricité	-0,411955	0,000
Revenu du ménage	0,0000288	0,004
Taux d’urbanisation	-0,223929	0,081
Zone de résidence	51,33616	0,000
Niveau d’instruction	16,02378	0,000
Possession de biens durables	-0,666069	0,006
Disponibilité du réseau	-1,882543	0,000
Fiabilité du réseau	6,112524	0,066
Densité de population	-0,008539	0,136
Indice de santé	-483,2993	0,020
Indice de santé au carré	1,318767	0,033
Activité économique	-0,446814	0,029
Localisation électrique	0,0648284	0,003
Observations : 8032		

Source : Calcul de l’auteur, à partir des données de EHCVM (2022)

4. Conclusion générale et implication de politiques économiques

L’objectif de cet article est d’analyser les inégalités spatiales d’accès à l’électricité au Bénin à travers une approche économétrique spatiale, afin de mettre en évidence les interdépendances territoriales dans la distribution de cette ressource essentielle. Pour ce faire, l’étude a mobilisé un modèle spatial autorégressif (SAR) estimé par la méthode du maximum de vraisemblance à partir des données de 8 032 ménages répartis sur les 77 communes du Bénin sur 8032 ménages issues de l’EHCVM 2022. Ce modèle a permis de prendre en compte les effets de voisinage entre communes grâce à l’intégration d’une matrice de contiguïté géographique, afin d’identifier dans quelle mesure les disparités d’accès à l’électricité sont influencées à la fois par les caractéristiques locales et par la situation des communes voisines.

Les résultats révèlent une forte autocorrélation spatiale positive du taux d'accès à l'électricité, traduisant un mécanisme de diffusion et d'agglomération énergétique : les communes bien électrifiées tendent à entraîner leurs voisines, tandis que les zones sous-équipées forment des poches de marginalisation. Au niveau microéconomique, l'analyse montre que le prix élevé de l'électricité limite l'accès, alors que le revenu, le niveau de bien-être et la fiabilité du réseau favorisent la connexion. À l'inverse, la ruralité et la dispersion de l'habitat restreignent les investissements, accentuant les écarts entre zones urbaines et rurales. L'usage de sources alternatives telles que les systèmes solaires ou les groupes électrogènes atténue partiellement le déficit d'accès, mais demeure réservé aux ménages les plus aisés, renforçant le dualisme énergétique. Ces résultats confirment l'existence d'une inégalité territoriale, avec des pôles urbains et économiquement dynamiques concentrant les infrastructures électriques, tandis que les communes rurales restent structurellement défavorisées. L'analyse spatiale a été renforcée par les tests de Moran et de Geary, qui permettent de mesurer et de confirmer la présence d'autocorrélation spatiale. Le test de Moran a montré que les valeurs similaires d'accès à l'électricité se regroupent géographiquement, indiquant un processus de diffusion et d'agglomération. Le test de Geary, complémentaire, a confirmé que les disparités observées ne sont pas aléatoires et reflètent des différences locales significatives entre communes voisines. Ces outils confirment donc que les politiques énergétiques doivent tenir compte non seulement des caractéristiques propres à chaque commune, mais aussi des dynamiques spatiales régionales. En définitive, le modèle SAR, renforcé par les tests de Moran et Geary, montre que les inégalités spatiales d'accès à l'électricité au Bénin résultent à la fois de facteurs économiques internes et d'effets d'interdépendance spatiale.

Ces constats soulignent l'importance d'orienter les politiques énergétiques de manière territorialisée. Il est important de concentrer les investissements sur les zones rurales et périurbaines sous-équipées pour réduire les déséquilibres régionaux et faciliter une diffusion équitable de l'électricité. En parallèle, l'amélioration de la fiabilité du réseau et le développement de solutions décentralisées, comme les mini-réseaux et les systèmes solaires domestiques, doivent accompagner ces investissements pour maximiser l'effet spatial et limiter les poches de marginalisation. Enfin, des politiques tarifaires adaptées, combinant tarification progressive et subventions ciblées pour les ménages à faible revenu, apparaissent indispensables pour élargir l'accès à l'électricité, réduire le recours aux branchements informels et favoriser une transition énergétique inclusive et durable.

Référence bibliographique

- [1] AFDB. (2025). African Economic Outlook. *African Development Bank*, 200.
- [2] Anselin, L. (1988). Lagrange Multiplier Test Diagnostics for Spatial Dependence and Spatial Heterogeneity. *Geographical Analysis*, 20(1), 1–17. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1988.tb00159.x>
- [3] Anselin, L. (1999). Spatial econometrics. *Handbook of Spatial Analysis in the Social Sciences*, 101–122. <https://www.elgaronline.com/view/book/9781789903942/book-part-9781789903942-14.xml>
- [4] Chaturvedi, S., Prabhu, K. S., & Saha, S. (2025). Wellbeing, Values and Lifestyles. In *Wellbeing, Values and Lifestyles*. <https://doi.org/10.1007/978-981-97-4730-6>
- [5] Chia, J. E., Faye, M., Jermaine, K., Tesfaye, B., Modjirom, N., Ahmed, J., & Anfumbom, K. (2024). Navigating the route to polio eradication in the WHO AFRO region. *The Lancet*, 404(10463)Chia, J. E., Faye, M., Jermaine, K., Tesfaye, B., Modjirom, N., Ahmed, J., Anfumbom, K. (2024). Navigating the route to polio eradication in the WHO AFRO region. *The Lancet*, 404(10463), 1637. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)02148-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)02148-2), 1637. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)02148-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)02148-2)
- [6] Ebhota W. S., & Tabakov P. Y. (2024). View of A Retrospect of Energy Demand and Potential of Sub-Saharan Africa : Leveraging Energy Deficit to Attain Clean Energy Hub Region. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology & Environment*, 20(I), 261–294. <https://www.azojete.com.ng/index.php/azojete/article/view/892/510>
- [7] EEA. (2024). *Maximising impact : transforming grant funding for energy Perspectives from ENGIE Energy Access*.
- [8] IEG. (2025). *An Evaluation of the World Bank Group ' s Support to Municipal Solid Waste Management, 2015–24*.
- [9] Jayabal, R. (2024). Towards a carbon-free society : Innovations in green energy for a sustainable future. *Results in Engineering*, 24(October). <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103121>
- [10] Kolade, O., Oyinlola, M., Ogunde, O., Ilo, C., & Ajala, O. (2024). Digitally enabled business models for a circular plastic economy in Africa. *Environmental Technology and Innovation*, 35, 103657. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103657>

- [11] Laurent, C., & Tesnière, C. (2024). Créer des indicateurs ruraux pour étayer la politique territoriale. *AgEcon Search*, 1–26.
- [12] McTague, A., & Trujillo-Baute, E. (2025). Energy prices, energy poverty and health: Evidence from a US cohort study. *Economic Analysis and Policy*, 87(May), 315–332. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2025.05.027>
- [13] Missfeldt-Ringius, F., & Malm, S. (2024). Off-Grid Solar Market Trends Report 2024. In *World Bank*. <https://doi.org/10.1596/38163>
- [14] Mukherjee, P., & Sen, A. A. (2024). Model-independent cosmological inference post DESI DR1 BAO measurements. *Physical Review D*, 110(12), 1–12. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.110.123502>
- [15] Portia Oduro, Peter Simpa, & Darlington Eze Ekechukwu. (2024). Addressing environmental justice in clean energy policy: Comparative case studies from the United States and Nigeria. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 19(2), 169–184. <https://doi.org/10.30574/gjeta.2024.19.2.0087>
- [16] Raimi, D., Zhu, Y., Newell, R. G., & Prest, B. C. (2024). Global energy outlook 2024: Peaks or plateaus. *Resources for the Future*, (April), 60. https://media.rff.org/documents/Report_24-06.pdf
- [17] Shannak, S., Cochrane, L., & Bobarykina, D. (2024). Strategic analysis of metal dependency in the transition to low-carbon energy : A critical examination of nickel, cobalt, lithium, graphite, and copper scarcity using IEA future scenarios. *Energy Research & Social Science*, 118, 103773. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103773>
- [18] Szabo, B., Hadji, A., & van der Vaart, A. (2025). Adaptation Using Spatially Distributed Gaussian Processes. *Journal of the American Statistical Association*, 0(0), 1–34. <https://doi.org/10.1080/01621459.2025.2501717>
- [19] World Bank. (2025). Accroître la mobilisation pauvre tout en protégeant les des recettes intérieures. *PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES DU BÉNIN*, 88.
- [20] Zhu, Y., Raimi, D., Joiner, E., Holmes, B., & Prest, B. C. (2025). Global Energy Outlook 2025 : Headwinds and Tailwinds in the Energy Transition. *Resources for the Future*, (April).