

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

Un Peuple - Un But - Une Foi

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE
DU PLAN ET DE LA COOPÉRATION

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA PLANIFICATION ET DES POLITIQUES ÉCONOMIQUES

DIRECTION DE LA PLANIFICATION



Planning Paper n°32

Estimation des PIBs régionaux et départementaux à l'aide des données satellitaires: Approche par la méthode ELIM-Enhanced Light Intensity Model

Souleymane CISSÉ

Ingénieur Statisticien Economiste

Division de la Planification régionale / Direction de la Planification, 64 Rue Carnot x Dr. Thèze, BP : 4010 Dakar,

Email : souleymane.cisse@economie.gouv.sn

Mamadou GUEYE

Ingénieur Statisticien Economiste

Division de la Méthodologie et de l'Innovation / Agence nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD)

Email : ext.mamadou.l.gueye@ansd.sn

Boubacar SANÉ

Économiste

Laboratoire de Recherches sur les Institutions et la Croissance (LINC-UCAD)

Email : boubacarsane@gmail.com

@DP/DPR– Août 2024

www.plandev.sn

Estimation des PIBs régionaux et départementaux à l'aide des données satellitaires: Approche par la méthode ELIM-Enhanced Light Intensity Model

Souleymane CISSÉ Mamadou GUEYE Boubacar SANÉ

Résumé

L'utilisation de données d'intensité lumineuse nocturne pour l'estimation de PIB au niveau infranational prend de l'ampleur dans le monde de la recherche compte tenu de l'indisponibilité de compte régionaux. Une des limites de cette approche est la mesure de l'activité agricole dans le milieu rural, essentiellement pratiquée pendant la journée, surtout pour les pays en développement comme le Sénégal. Nous estimons le PIB par département et pôle de développement du Sénégal à partir de l'intensité lumineuse nocturne, tout en prenant en compte l'activité agricole plus dominante en zone rurale qu'en zone urbaine. La principale contribution de cette étude est qu'elle est la première à spatialiser le PIB du Sénégal **en utilisant des données satellitaires combinées à l'activité agricole**. Elle contribue ainsi à la littérature en levant la principale limite ressortie de l'étude menée par Cissé et al. (2023).

En s'appuyant sur les travaux de Wang et al. (2019) inspirés de Gosh et al (2010), notre méthodologie se décline en trois étapes : (i) utilisation de l'intensité lumineuse et de la carte du bâti pour extraire les zones urbaines et estimation du PIB urbain pour chaque commune voire département en utilisant la composante non agricole du PIB; (ii) utilisation de la distribution de la population, de la production agricole et du PIB agricole national pour estimer le PIB agricole des zones rurales et (iii) combinaison des PIBs urbain et rural pour représenter le PIB total au niveau infranational. D'après les résultats, la répartition du PIB selon le département montre un poids plus important à Dakar (16,56%), suivi de Mbacké (12,3%). Il s'ensuit les départements de Pikine (9,43%), Rufisque (9,06%), Thiès (7,03%) et Mbour (6,53%). Ces zones représentent au total près de 70% du PIB.

Mots-clés : PIB, Intensité lumineuse, VIIRS, SNPP, DNB, régions.

Abstract

The use of nighttime light intensity data for GDP estimation at the subnational level is gaining momentum in the research world given the unavailability of regional accounts. One of the limitations of this approach is the measurement of agricultural activity in rural areas, which is mainly practiced during the day, especially for developing countries such as Senegal. We estimate GDP by department and development pole of Senegal based on nighttime light intensity, while taking into account agricultural activity which is more dominant in rural areas than in urban areas. The main contribution of this study is that it is the first to spatialize Senegal's GDP using satellite data combined with agricultural activity. It thus contributes to the literature by removing the main limitation identified in the study conducted by Cissé et al. (2023).

Building on the work of Wang et al. (2019) inspired by Gosh et al (2010), our methodology is divided into three steps: (i) use of light intensity and the built-up area map to extract urban areas and estimate urban GDP for each municipality or even department using the non-agricultural component of GDP; (ii) use of the distribution of population, agricultural production and national agricultural GDP to estimate agricultural GDP in rural areas and (iii) combination of urban and rural GDP to represent total GDP at the subnational level. According to the results, the distribution of GDP by department shows a greater weight in Dakar (16.56%), followed by Mbacké (12.3%). This is followed by the departments of Pikine (9.43%), Rufisque (9.06%), Thiès (7.03%) and Mbour (6.53%). These areas represent a total of nearly 70% of GDP.

Keywords: GDP, Nighttime-light intensity, VIIRS, SNPP, DNB, regions.

Les opinions exprimées dans ce document de travail sont celles des auteurs et ne représentent pas nécessairement celles de la Direction de la Planification. Les documents de travail décrivent les recherches et analyses en cours par les auteurs et sont publiés pour susciter des commentaires et le débat.

Table des matières

Introduction	4
I. Quelques faits stylisés sur les économies régionales.....	6
II. Collecte des données	9
II.1 Imagerie satellitaire nocturne	9
II.2 Données sur la population, l'habitat et l'agriculture	10
III. Méthodologie.....	11
III.1 Prétraitement des données.....	11
III.2 Modèle et simulation.....	12
IV. Résultats et discussions	14
IV.1 PIB au niveau des pôles de développement régionaux	15
IV.2 PIB par tête.....	16
IV.3 Relation entre PIB et emploi	16
Conclusion	18

Introduction

Ces dernières années, les questions relatives au développement régional sont à l'ordre du jour dans de nombreux pays. Il y a au moins deux raisons à cela. D'abord, la persistance des disparités régionales met à l'épreuve la capacité des pays à promouvoir la croissance économique tout en garantissant la cohésion sociale. Ensuite, la croissance économique apparaît de plus en plus alimentée par la productivité plus élevée d'entreprises et de travailleurs concentrés dans un nombre restreint de régions.

Au Sénégal, l'évolution enregistrée tant au niveau politique que socio-économique durant la dernière décennie s'est caractérisée par un élan résolu vers un surcroît de décentralisation. La réorganisation institutionnelle de l'Etat prévoit un rééquilibrage des pouvoirs au bénéfice des collectivités territoriales. Mieux encore, l'avènement des nouvelles autorités marque un changement de paradigme dans la gestion de la politique économique et sociale, en prônant une transformation systémique du Sénégal, à travers notamment un développement endogène porté par des pôles territoires viables. L'atteinte de cet objectif requiert une évaluation de l'activité économique au niveau régional, ce qui permettrait de mieux orienter les investissements publics. Cependant, on note une absence de statistiques officielles sur l'activité économique régionale.

Face à cette situation, un nombre croissant d'études utilise l'intensité lumineuse nocturne comme indicateur de l'activité économique et humaine (Elvidge et al., 1997 ; Doll et al., 2000 ; Chen et Nordhaus, 2011 ; Henderson, 2011, 2012 ; Ghosh et al. 2010 ; Doll, 2006, 2008). Ainsi, les données sur l'éclairage nocturne, détectées par les satellites constituent une méthode pour visualiser et analyser la distribution spatiale de l'environnement socio-économique de manière cohérente, efficace et peu coûteuse (Wang, 2019). Dans ce sens, plusieurs études sont notées durant la dernière décennie (Bundervoet et al., 2015 ; Bickenbach et al., 2016 ; Basihos, 2016 ; Omar, 2019 ; McCord, 2022 ; Cissé et al., 2023).

Au Sénégal, Cissé et al. (2023) ont tenté d'estimer le PIB régional pour l'ensemble des régions du Sénégal à partir de l'intensité lumineuse nocturne. D'après les résultats, il existe une relation linéaire positive entre le PIB et les intensités lumineuses nocturnes. Une augmentation de 1% des intensités induirait une augmentation de 0,34% du PIB. En prenant en compte l'étendue des pays, cette élasticité est de 0,27. Les évolutions du PIB observées au niveau des régions reflètent globalement la dynamique de croissance positive observée au niveau national depuis 2012. Dakar

affiche une dynamique quasi similaire à celle du pays, reflétant son poids important dans l'économie du Sénégal, mais également les disparités notoires entre les régions. Hormis Dakar, les régions de Thiès (3,6%), Diourbel (2,9%) et Kaolack (0,8%) contribuent le plus à la création de richesse.

Toutefois, le recours aux intensités lumineuses nocturnes pour l'estimation du PIB régional peut présenter des limites. En effet, elles semblent être un mauvais indicateur de l'activité agricole dans les pays en développement où celle-ci se déroule principalement pendant la journée et peut donc émettre moins de lumière (Prakash, 2019). De ce fait, les lumières nocturnes pourraient ne pas être un bon indicateur de l'activité économique dans les zones rurales où l'activité agricole est plus prépondérante. Ainsi, les méthodes développées à partir de ces études sont peu performantes pour les régions dépendantes de l'agriculture.

De nombreuses études ont démontré que l'utilisation des lumières nocturnes est insuffisante pour mesurer avec précision le PIB au niveau infranational. En effet, dans de nombreux pays d'Afrique subsaharienne (ASS), une grande partie de la population (environ 175 millions) est engagée dans des activités agricoles à petite échelle (OCDE, 2016). Ainsi, il est très difficile de mesurer les activités agricoles de subsistance à petite échelle à l'aide des lumières nocturnes. Par conséquent, les activités économiques totales peuvent être sous-estimées. Par ailleurs, selon Bundervoet (2015), les éclairages nocturnes ne permettent pas de saisir plus de la moitié des activités économiques au Libéria.

Partant de ce constat, plusieurs auteurs (Wu et al. 2013 ; Yue et al., 2014 ; Keola et al., 2015 ; Wang et al., 2019 ; Ustaoglu et al., 2021) ont intégré cet aspect dans l'estimation des PIB au niveau infranational. Keola et al. (2015) affirment que les lumières nocturnes sont insuffisantes pour expliquer le PIB de l'agriculture et de la sylviculture. Par conséquent, ils ont intégré l'occupation du sol et les données relatives à l'éclairage nocturne pour l'estimation et la distribution spatiale du PIB des industries primaires. Yue et al. (2014) ont plutôt adopté l'indice d'établissement humain pour l'estimation du PIB des industries secondaires et tertiaires ainsi que les données sur la superficie des terres pour l'estimation du PIB des industries primaires. Wu et al. (2013) ont étudié la relation entre la lumière nocturne et le PIB en décomposant ce dernier ensemble de données en productions agricoles et non agricoles.

Au regard de la littérature existante, on peut noter une rareté (à notre connaissance) de travaux empiriques au Sénégal utilisant les données NPP-VIIRS pour l'estimation du PIB non agricole et agricole, et aucune analyse n'a été entreprise au niveau régional. Ainsi, la principale question de recherche qui se dégage est la suivante : Quel est le niveau de PIB par région et département prenant en compte l'activité agricole ?

Dans cette étude, nous complétons les travaux de Wu et al. (2013), Keola et al. (2015) et Zhao et al. (2017), Wang (2019) et Ustaoglu (2020) en estimant le PIB pour l'ensemble des régions du Sénégal à partir de l'intensité lumineuse nocturne tout en prenant en compte l'activité agricole plus dominante en zone rurale qu'en zone urbaine.

La principale contribution de cette étude est qu'elle est la première à spatialiser le PIB du Sénégal en utilisant des données satellitaires comme l'intensité lumineuse VIIRS, combinées à l'activité agricole. Elle contribue ainsi à la littérature en levant la principale limite ressortie de l'étude menée par Cissé et al. (2023).

La suite de ce travail s'articule de la manière suivante : la première section aborde les faits stylisés des économies régionales, la deuxième, la collecte des données et leurs spécificités, la troisième traite de la méthodologie – prétraitement des données, modèle et simulation et, la quatrième, présente les résultats et discussions.

I. Quelques faits stylisés sur les économies régionales

L'offre et la demande globale de biens et services d'un pays peuvent être décomposées suivant celles des grands centres urbains dans lesquels se trouvent les villes et celles des localités rurales. Cette décomposition offre l'image d'une forte bipolarisation entre Dakar et le reste du pays, dont certaines zones disposent pourtant d'importantes potentialités que l'absence d'une politique volontariste d'aménagement du territoire cohérent n'a pas permis de mettre en valeur.

En effet, la conjugaison de l'ensemble des facteurs économiques régionaux tels que la population, la connectivité, la spécialisation, l'attractivité en termes d'échanges et de capacité à favoriser un développement autonome dans son environnement, a structuré le pays en cinq (05) zones géographiques – Dakar, Thiès, Saint-Louis, Kaolack et Ziguinchor-, qui comprennent un épiceutre et des périphéries polarisées (CEFDEL, 2015).

Le poids important de l'économie de Dakar se traduit en termes d'infrastructures, de distribution et de connectivité, la région sert de pont pour les échanges commerciaux entre le Sénégal et les pays d'exportations et/ou d'importations, mais aussi d'approvisionnement des régions de l'intérieur du pays. L'horticulture, le tourisme, les matériaux de construction et énergies nouvelles constituent les secteurs clés permettant au capital d'en tirer avantage vis-à-vis des autres.

La zone de Thiès reste également un pôle incontournable pour la connectivité et la distribution vers les autres pôles et à l'échelle internationale, avec ses importantes infrastructures routière et aéroportuaire. Les secteurs clés dominants de cette zone sont constitués du Tourisme balnéaire sur la petite côte, l'horticulture, la pêche et les mines ainsi que l'industrie agroalimentaire.

La zone de Saint-Louis représente la plus irriguée du pays avec un potentiel de 55 000 hectares de terres irrigables. Elle offre d'énormes potentiels en matière de transformation et écoulement des produits locaux avec, notamment, la présence de la Société d'Intensification de la Production agricole (SIPA). Sa position historique et géographique, propice à l'émergence de nouvelles formes de tourisms (écotourisme) et l'existence de gaz naturel à Grand Tortue et des énergies renouvelables, renforce ses potentialités et sa position dominante.

La zone de Kaolack est reconnue pour ses potentialités naturelles, touristiques et économiques telles que les grandes étendues de terres fertiles et une pluviométrie favorable à l'agriculture, l'abondance des ressources en eau avec plusieurs bras de mer et rivières affluentes. Zone active dans la pêche et le secteur du tourisme, elle regorge une façade maritime avec des ressources marines pour la pêche artisanale et la pêche industrielle, d'importantes ressources halieutiques dans la « Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum », de nombreux sites et cours d'eau et le Parc National du Delta du Saloum.

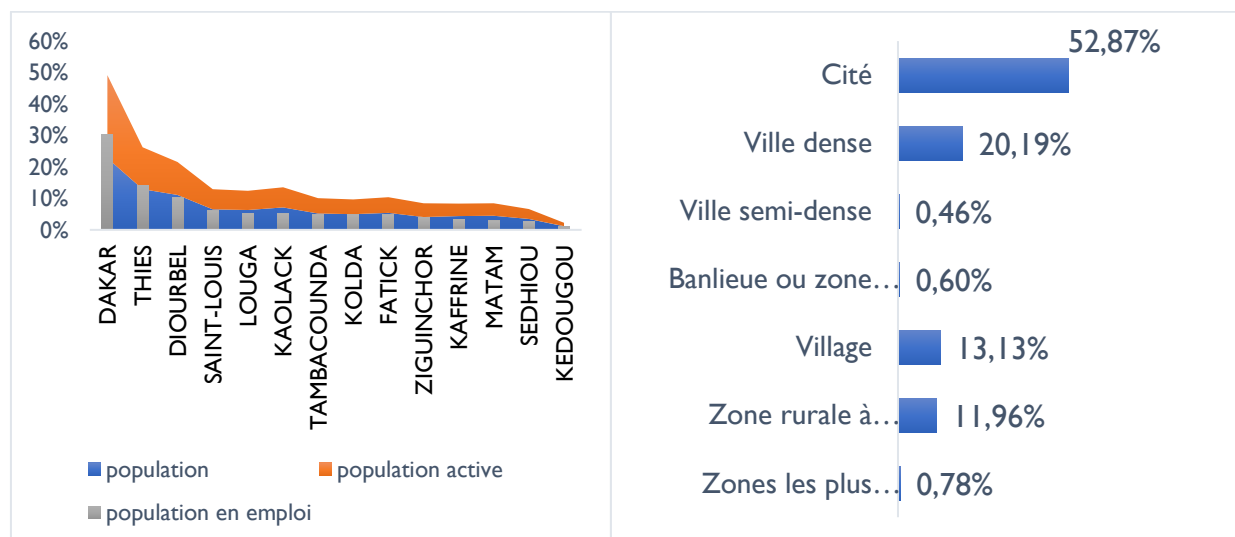
La zone sud de Ziguinchor regorge également d'immenses potentialités naturelles et économiques : une pluviométrie abondante, d'importantes ressources en eau (Fleuve Gambie, nappe phréatique exploitable). Elle s'active notamment dans l'horticulture avec ses sols fertiles et particulièrement propices à la culture horticole, une façade maritime de plus de 80 km, une vingtaine d'îles au niveau du delta du Fleuve. Elle constitue un carrefour commercial frontalier avec la Gambie et les deux Guinée (Conakry et Bissau), en sus de l'existence de marchés sous régionaux (Diaobé et Manda Douane).

Par ailleurs, ces dernières années, la région de Diourbel s'est notamment démarquée sur le plan démographique compte tenu notamment de l'attractivité religieuse du département de Mbacké. Plusieurs sites et monuments religieux et historiques dont la Grande Mosquée de Diourbel érigée en patrimoine mondial de l'UNESCO, la constitution des associations villageoises, l'esprit d'entrepreneuriat qui anime, bon nombre d'actifs, constituent des atouts importants de la région.

Selon les données GHSL-2023, 74% de la population vivaient dans les zones urbaines en 2020. La répartition selon les différentes zones de peuplement montre plus de la moitié (52,7%) de la population concentrée dans les cités (communes dont au moins 50 % de la population se trouve dans un centre urbain). Le reste de la population est essentiellement réparti entre les villes denses, les villages (13,13%) et les zones rurales à populations dispersées (11,96%). Les plus faibles parts de populations sont localisées dans les villes semi-denses, les banlieues ou zones périurbaines ainsi qu'au niveau des zones les plus inhabitées.

Cette urbanisation plus avancée dans certaines régions que dans d'autres, est à l'origine d'une concentration des populations, populations actives et populations en emploi dans les quatre régions les plus urbanisées du pays, en l'occurrence, Dakar, Thiès, Diourbel et Saint-Louis, au détriment notamment des régions comme Kédougou, Sédhiou, Matam et Kaffrine.

Figure 1 : Population, population active, emploi et zones de peuplement



Source : Estimations des auteurs à partir de l'EHCVM 2020/2021 et à partir de European Commission, GHSL Data Package 2023

II. Collecte des données

II.1 Imagerie satellitaire nocturne

Les données d'intensités lumineuses font partie des produits de données satellitaires les plus largement reconnus, fournissant une expression visuelle de la présence de l'activité humaine sur la surface de la Terre. En outre, la délimitation globale des zones éclairées et de leurs niveaux de luminosité est utilisée par des scientifiques couvrant un large éventail de disciplines, des économistes aux biologistes en passant par les astronomes. La collecte de ces données pour utilisation dans ces différents domaines d'intérêt nécessite de passer au crible un grand nombre d'observations et d'en obtenir un nombre suffisant de haute qualité afin d'en dériver une mesure stable de la luminosité telle qu'elle est vue de l'espace, exempte de caractéristiques extranaturelles.

Les données annuelles d'intensités lumineuses sont issues du produit « VIIRS SNPP DNB », collectées à partir de l'instrument VIIRS- Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, intégré au satellite SNPP-Suomi National Polar Partnership. Elles sont obtenues à partir de EOG-Earth Observation Group, Payne Institute for Public Policy, Colorado School of Mines (siteweb : <https://eogdata.mines.edu/products/vnl/>), qui annualise les données à partir des observations mensuelles en ayant recours à plusieurs méthodes visant à filtrer les caractéristiques extranaturelles – les nuages, les lumières parasites, les pixels éclairés par le soleil et la lune, pixels de combustion de la biomasse – et isoler le paysage (Elvidge et al., 2021).

Le VIIRS SNPP DNB a une résolution spatiale plus élevée et une plage de détection radiométrique assez large. De nombreuses études ont utilisé ces types de données pour analyser une série de phénomènes socio-économiques à distance. Elles sont adaptées à la détection d'activités infranationales, car il capture des images à haute irradiation et recueille des informations à un niveau d'environ 0,5 km, avec une gamme dynamique élevée (Elvidge et al, 2013). Shi et al (2014) ont utilisé ces types de données pour extraire les zones urbaines bâties de 12 villes chinoises et ont constaté qu'elles ont une précision spatiale supérieure à celle des données DMSP-OLS pour l'ensemble des 12 villes – les premières études réalisées dans la littérature ont eu recours notamment à ce deuxième type de données. Ils ont conclu que ces améliorations sont dues à la haute résolution spatiale et à la large plage de détection radiométrique.

II.2 Données sur la population, l'habitat et l'agriculture

Les informations spatiales relatives à la population et à l'habitat ont été obtenues à partir de l'ensemble de données GHSL-*Global Human Settlement Layer*, qui a été cartographié sur la base de l'imagerie Landsat pour montrer les zones bâties mondiales et la distribution de la population de 1975 à 2035 (Pesaresi et al, 2016). Le cadre de la GHSL produit des informations spatiales globales sous la forme de cartes des zones bâties, de cartes des densités de population et de cartes des établissements humains sur la surface de la Terre au fil du temps. La grille de population GHSL montre la distribution et la densité de la population. Les informations de la grille de population sont désagrégées à partir des unités de recensement ou administratives en nombre de personnes par cellule. La grille de peuplement GHSL montre les zones bâties classées, y compris les « cellules rurales », les « grappes urbaines » et les « centres urbains ». Nous avons utilisé les ensembles de données « GHS_BUILT_S_E2020_GLOBE_R2023A_54009_100_VI_0 » et « GHS_POP_E2020_GLOBE_R2023A_54009_100_VI_0 », avec une résolution spatiale de 100 m plus précise.

Les données agricoles au niveau des départements complètent les données spatiales d'intensité lumineuse. L'activité agricole n'est pas aussi intense en lumière que les activités commerciales, elle serait donc sous-représentée dans un modèle basé uniquement sur les intensités lumineuses.

Un nombre de 17 produits agricoles représentatifs (production et prix moyen du marché) a été utilisé afin de dériver une estimation de la distribution spatiale du PIB agricole au Sénégal. Un mélange de cultures vivrières, de cultures de rente, de cultures annuelles et de cultures pérennes. Ces produits représentatifs comprennent l'arachide, le coton, le niébé, le manioc, la pastèque, le sésame, le mil, le sorgho, le maïs, le riz, le fonio, le bissap, le gombo, le diakhatou, le piment, le beref et l'aubergine. Les données de la production agricole au niveau des départements proviennent des résultats définitifs de la campagne agricole 2020/2021 produits par la Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques agricoles (DAPSA). La production de chaque département au Sénégal est valorisée en utilisant les prix des spéculations moyens annuels, estimés par la FAO- Food Agricultural Organisation.

Ensemble, les intensités lumineuses (représentant une activité économique à plus forte valeur ajoutée) et la production agricole (un aspect important de l'économie sénégalaise) fournissent une estimation générale de l'activité économique au niveau infranational.

III. Méthodologie

III.1 Prétraitement des données

Comme le SNPP VIIRS DNB n'est pas une mesure directe des activités socio-économiques, nous avons adopté une série de mesures de prétraitement des données pour éliminer les caractéristiques non pertinentes. Nous avons utilisé le produit annuel de 2020 « VNL_v21_npp_2020_global_vcmlcfg_c202205302300.median » qui contient des valeurs médianes de radiance sans nuages, ayant subi un processus d'élimination des valeurs aberrantes pour filtrer les flammes et autres lumières éphémères.

Afin d'obtenir les zones éclairées urbaines, nous avons généré un masque à partir des données sur le bâti « GHS_BUILT_S_E2020_GLOBE_R2023A_54009_100_VI_0 » avec des pixels ayant une valeur supérieure à un (01) (représentant les groupements urbains et les centres urbains) pour extraire les zones éclairées des données SNPP-VIIRS DNB à l'intérieur des limites urbaines. Il s'agit donc d'extraire les pixels urbains liés aux activités socio-économiques urbaines et d'éliminer les détections de lumière non pertinentes. Dakar étant la ville la plus grande et la plus développée du Sénégal, les valeurs des pixels urbains des autres zones ne devraient pas dépasser celles de Dakar. Nous avons donc utilisé la valeur maximale des pixels urbains de Dakar comme seuil et avons constaté que toutes les valeurs des pixels des autres régions urbaines étaient inférieures à ce seuil. Enfin, nous avons fixé à 0 les valeurs des pixels SNPP VIIRS DNB non urbains pour nous aider à identifier les activités socio-économiques rurales.

Par la suite, l'imagerie SNPP VIIRS DNB prétraitée est analysée sur la base des valeurs des pixels - pixels avec une valeur de zéro et pixels avec des valeurs positives. Ghosh et al (2010) et Wang et al (2019) ont développé leur modèle en incorporant l'activité agricole, qui est une composante importante de l'activité économique dans les pays en développement. Elle contribue de manière significative au PIB national, sans pour autant être capturée de manière efficiente par l'imagerie lumineuse. Par conséquent, les auteurs ont supposé que les régions plus sombres puissent être utilisées pour représenter l'utilisation des terres non urbaines. Les données de population « GHS_POP_E2020_GLOBE_R2023A_54009_100_VI_0 » de LandScan ont ainsi été utilisées pour estimer les activités agricoles.

Comme les productivités agricoles peuvent ne pas être uniformes pour tous les départements, la densité de population ne peut pas refléter de manière adéquate l'activité économique agricole

réelle. Pour surmonter cette limite, nous avons estimé les productions agricoles basées sur 17 spéculations représentatives (production et prix moyen du marché) pour obtenir une estimation de la distribution spatiale du PIB agricole au Sénégal, puis nous avons appliqué le PIB agricole national pour normaliser ces estimations.

Ainsi en suivant la méthode développée par Ghosh et al (2010), nous avons supposé ce qui suit : (1) l'imagerie SNPP VIIRS DNB prétraitée avec une valeur de pixel supérieure à zéro peut représenter une estimation de l'activité économique de la région urbaine, constituée principalement d'activités économiques secondaires et tertiaires, et (2) les valeurs de pixels égales à zéro peuvent représenter les zones rurales qui pratiquent principalement des activités agricoles. Nous avons créé un masque des zones rurales pour extraire la population rurale des données démographiques du GHSL. Par conséquent, l'imagerie SNPP VIIRS DNB prétraitée est principalement utilisée pour estimer les valeurs du PIB urbain, tandis que la population rurale extraite, la production agricole et les données de prix sont utilisées pour estimer les valeurs du PIB rural.

III.2 Modèle et simulation

De nombreux modèles différents, y compris des modèles de régression linéaire, des modèles de régression log-log et des modèles de régression de second ordre ont été développés pour estimer les données socio-économiques à l'aide des NTL [Letu et al, 2010 ; Aldhous et al 2005 ; Zhang et al, 2011 ; Lo, 2001 ; Townsend et al, 2010]. Par exemple, Henderson, Storeygard et Weil (2012) ont développé un modèle statistique en combinant les données des NTL et la croissance des revenus afin de mieux estimer la véritable croissance des revenus. Ils ont conclu que l'imagerie satellitaire peut être un substitut utile pour estimer l'activité économique si les données traditionnelles ne sont pas disponibles ou sont de mauvaise qualité. Shi et al (2014) ont utilisé un modèle de régression linéaire simple pour estimer le PIB et la consommation d'électricité à plusieurs échelles.

Néanmoins, en raison du manque de données d'enquête représentatives à des échelles géographiques suffisamment bas comme le département et la commune, il est très difficile de développer et de valider un modèle statistique basé directement sur ces méthodes. Il a également été constaté que les données démographiques peuvent ne pas refléter pleinement les activités

agricoles. Par exemple, des études ont montré que l'association entre la lumière et les activités économiques était plus faible dans les pays dépendant de l'agriculture.

Sur cette base, le modèle que nous avons développé est inspiré de celui de Wang et al (2019) qui lui-même s'est inspiré de Gosh et al (2010). Le modèle d'intensité lumineuse amélioré (**ELIM-Enhanced Light Intensity model**), développé par Wang et al (2019), que nous avons adapté au Sénégal, est constitué par les étapes suivantes (Figure 1) : (1) utilisation de l'intensité lumineuse pour extraire les zones urbaines et estimer le PIB urbain pour chaque département ; (2) utilisation de la distribution de la population et de la production agricole pour estimer le PIB agricole pour les zones rurales et ; (3) la combinaison des PIBs urbain et rural peut représenter le PIB total au niveau infranational.

Nous avons défini la valeur du pixel rural (RV_j) du PIB rural sur la base de la population et de la production agricole dans chaque département, comme suit :

$$RV_j = \frac{PN_j}{TRP} * \sum_i^d X_i * Y_i$$

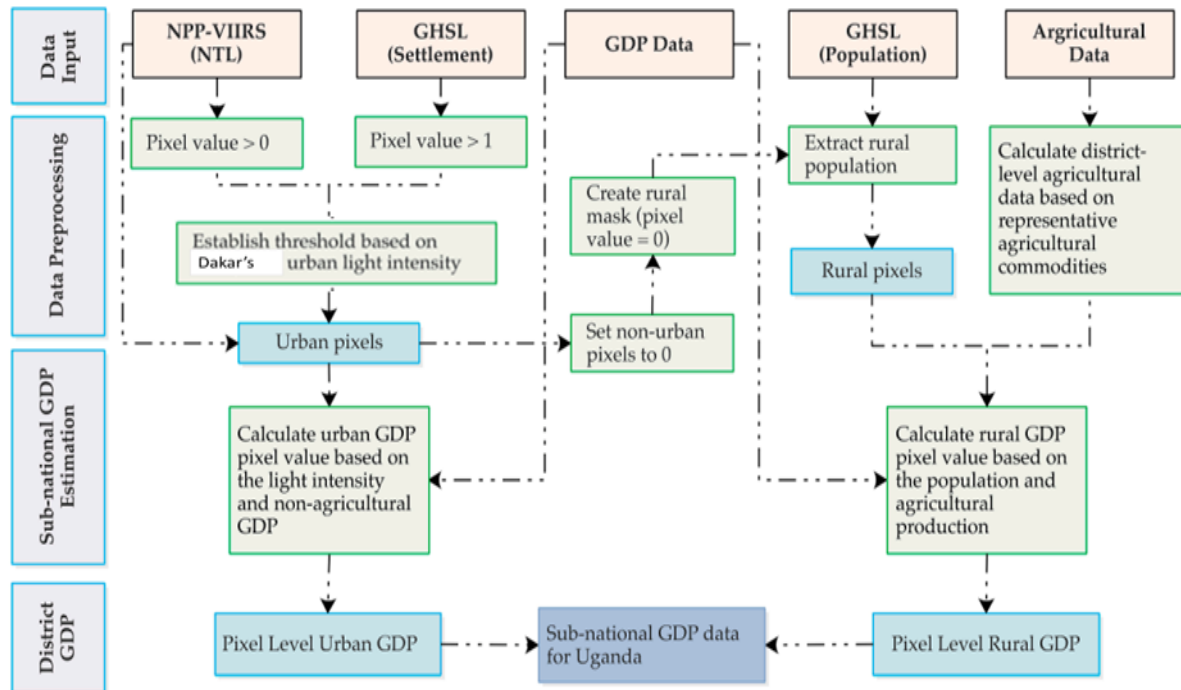
où j est l'identification unique (ID) du pixel rural (couche de population), PN_j est la valeur de la population du pixel correspondant, TRP est la valeur totale de la population rurale, i est le type de produit agricole, d est le nombre total de spéculations agricoles, X_i est la production du produit agricole correspondant, et Y_i est le prix moyen de la récolte du produit agricole.

Ensuite, nous avons défini la valeur du pixel du PIB urbain (UV_i) comme suit :

$$UV_i = \frac{PV_i}{TNTL} * NAGDP$$

où i est l'identifiant du pixel urbain (couche SNPP-VIIRS DNB), PV_i est la valeur du pixel correspondant, $TNTL$ est le total des valeurs lumineuses du pays, et $NAGDP$ est le total du PIB non agricole du pays.

Figure 2 : Schéma de prétraitement des données



Source: Adapté à partir de Wang, X., Rafa, M., Moyer, J. D., Li, J., Scheer, J., & Sutton, P. (2019). Estimation and mapping of sub-national GDP in Uganda using NPP-VIIRS imagery. *Remote Sensing*, 11(2), 163.

IV. Résultats et discussions

Les figures 2 et 3 donnent les PIBs au niveau pixel à 2 kilomètres de résolution à partir de l'espace ainsi que leur agrégation au niveau département. Les estimations montrent une plus grande activité vers la zone Ouest du pays et, dans une moindre mesure, dans la zone nord, alors que les zones centre, sud et sud-est, sont les moins productives. La répartition du PIB selon le département montre un poids plus important à Dakar (16,56%) puis à Mbacké (12,3%). Il s'ensuit les départements de Pikine (9,43%), Rufisque (9,06%), Thiès (7,03%) et Mbour (6,53%). Ces zones représentent au total près de 70% du PIB.

Figure 3 : PIB/pixel (en millions de FCFA)

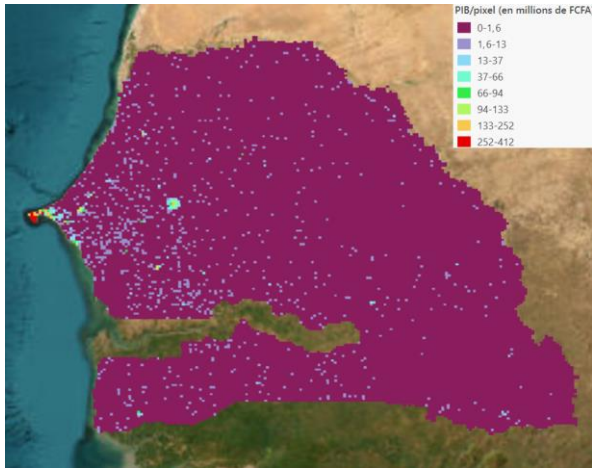
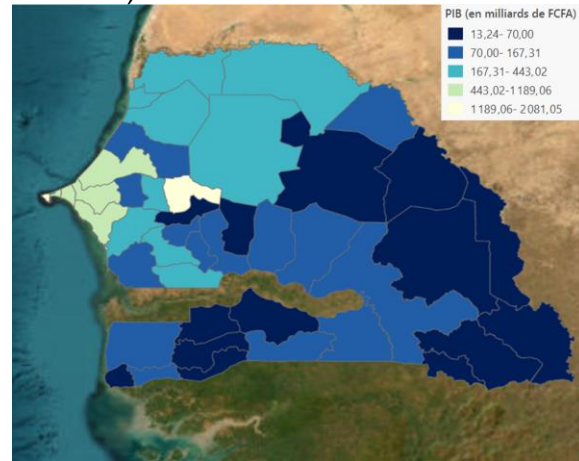


Figure 4 : PIB par département (en Milliards de FCFA)

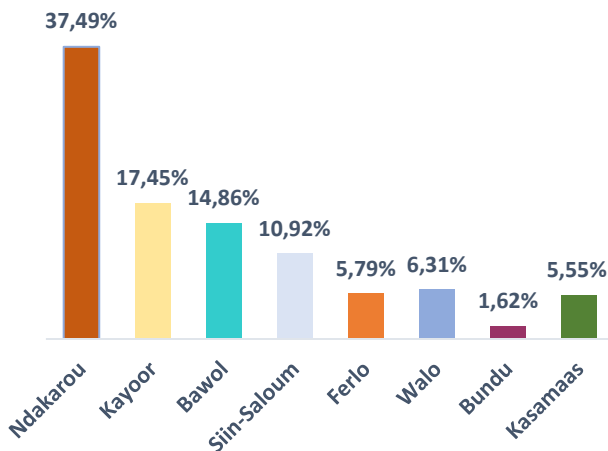


Source : Estimation des auteurs

IV.1 PIB au niveau des pôles de développement régionaux

L'évaluation du PIB au niveau des pôles de développement économique -Voir Projet de transformation systémique du gouvernement-, est motivée par la nouvelle approche de développement visant un rééquilibrage des territoires et la décentralisation des activités économiques. Elle montre la prépondérance du pôle Ndakarou (37,49%), puis des pôles de Kayoor (17,45%), Bawol (14,86%) et Siin-Saloum(10,92%). Le Ferlo, le Walo et le Kasamaas constituent entre 5,7% et 6,4% du PIB. Le poids économique de Bundu reste le plus faible avec seulement 1,62% du PIB.

Figure 5 : Niveau du PIB par pôle de développement

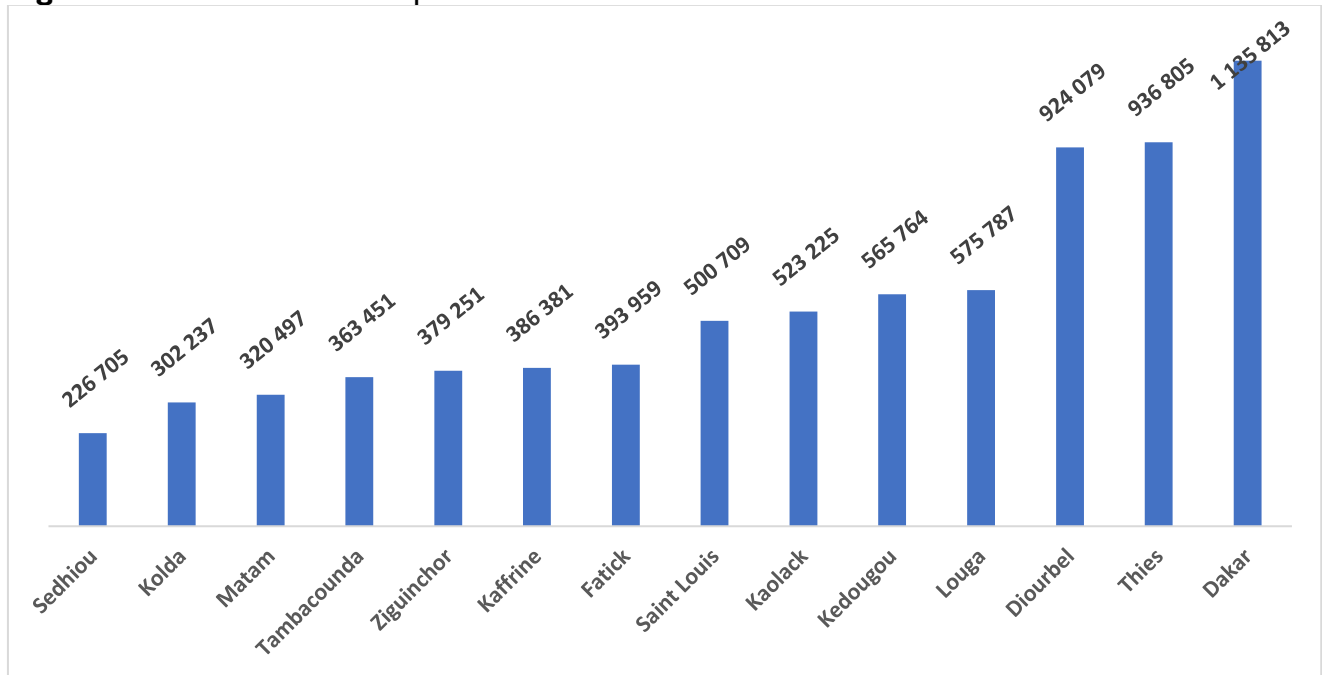


Source : Conception et estimation des auteurs

IV.2 PIB par tête

La distribution du PIB par tête révèle que la région enregistre un PIB de 1 135 813 FCFA par habitant, suivie par la région de Thiès (936 805 FCFA par habitant) et Diourbel (924 079 FCFA par habitant). On remarque notamment une région de Kédougou (565 764 FCFA par habitant) qui vient juste après Louga, 4^{ème} région en termes de PIB par habitant. Ce résultat s'explique par une relative faiblesse du poids de la population dans la région (région la moins peuplée du pays).

Figure 6 : Distribution du PIB par tête



Source : Estimations des auteurs

IV.3 Relation entre PIB et emploi

La question de la relation entre la croissance économique et l'emploi trouve toute sa pertinence dans le contexte économique récent marqué par l'exploitation du gaz et du pétrole par le Sénégal. L'importance du lien entre la croissance et l'emploi, et l'insistance sur le fait qu'une croissance forte, soutenue et durable est essentielle pour créer plus d'emplois n'a jamais été aussi fortement ressenties. Selon les modèles conçus par ILB pour évaluer le rythme d'une croissance durable, le taux de croissance annuel du PIB mondial par habitant doit dépasser 2% sur une période de plusieurs années, pour permettre à la dynamique de création d'emplois de s'enclencher et de contribuer ainsi à diminuer de moitié l'incidence de la pauvreté à l'horizon 2015 (ILB, 2003).

En Afrique occidentale, Kamgnia (2006) montre que neuf pays se caractérisent par une relative bonne synchronisation de l'évolution moyenne de l'emploi et du PIB : Bénin, Burkina-Faso, Cap Vert, Côte d'Ivoire, Ghana, Liberia, Mauritanie, Nigeria et Sénégal. D'après les analyses de l'auteur, « Dans ces pays, l'emploi semble se comporter de façon procyclique : les phases d'expansion économique ou de récession ont en général tendance à être liées à des tendances équivalentes de l'emploi total ». La croissance économique de ces pays est favorable à l'emploi, bien qu'une telle dynamique de création d'emplois soit souvent suivie d'un déclin de la productivité du travail.

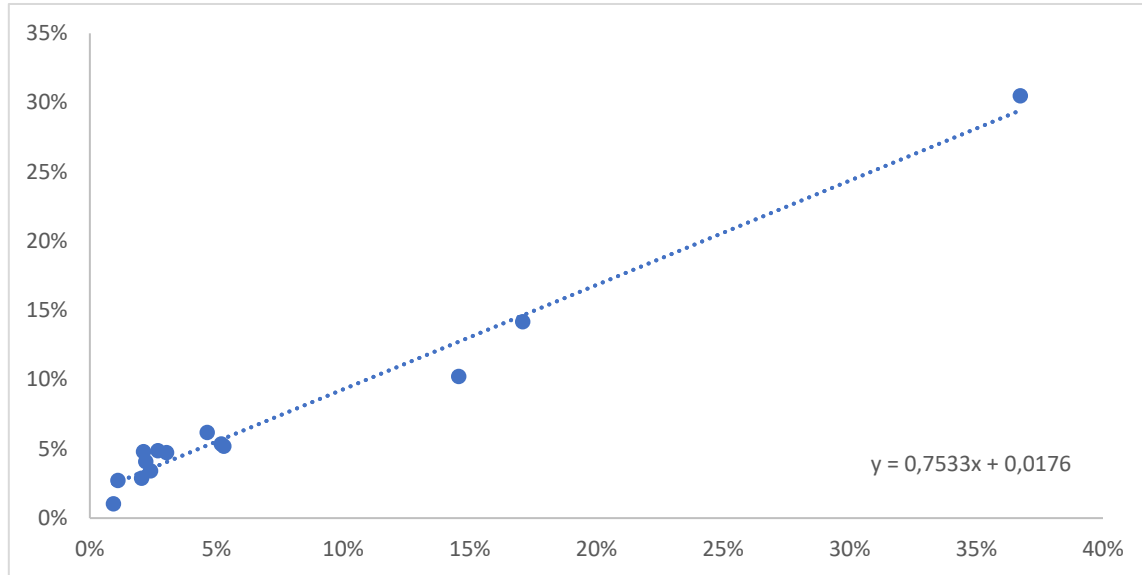
Au niveau régional, Cissé et al. (2023) analysent le lien entre les PIBs régionaux et l'emploi. Pour deux années (2011 et 2018), une relation linéaire positive entre le logarithme des PIBs régionaux et le logarithme de l'emploi est observée. Une estimation par données de Panel de l'élasticité de l'emploi à la croissance, effectuée par les auteurs, montre qu'une croissance de 1% au niveau d'une région implique une augmentation de 0,2% du niveau de l'emploi. Cette élasticité cadre avec la littérature théorique et empirique qui la considère comprise entre 0 et 1 (Kapsos, 2006; Khan, 2007; UNDP, 2009).

Par ailleurs, les résultats de cette présente étude montrent que les régions qui contribuent le plus à la création de richesse sont davantage pourvoyeuses d'emplois. Les régions de Dakar, Thiès et Diourbel englobent plus de 50% du PIB et des emplois. Cette situation s'explique par plusieurs facteurs.

Sur le plan économique, Dakar engorge plus du tiers des entités économiques dénombrées lors du Recensement général des Entreprises (40% ; RGE 2016). Après Dakar, la région de Thiès se positionne comme la région du Sénégal ayant le potentiel économique le plus important. Elle tient cette position économique favorable du dynamisme des secteurs de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche, du tourisme, de l'artisanat, du commerce et des mines. La région de Diourbel qui occupe la troisième position est principalement caractérisée par l'agriculture, l'élevage, le commerce et dans une moindre mesure l'artisanat. L'agriculture est essentiellement basée sur les cultures de rente (arachide, sésame, manioc, pastèque) et sur les cultures vivrières (mil, sorgho, maïs, niébé). L'élevage se caractérise par l'existence de techniques traditionnelles que sont l'élevage pastoral fondé sur la transhumance et l'élevage sédentaire du terroir villageois. Le commerce est par essence une activité très prisée des « Baol – Baol ». Elle occupe d'ailleurs, une place importante dans le développement économique de la région. Cette situation s'explique par la position

géographique de la région, à mi-chemin entre l'important centre de production de la zone sylvo-pastorale et les grands centres de consommation du centre ouest (Dakar, Thiès et Kaolack).

Figure 7 : PIB et population en emploi par région



Source : EHCVM-2 et estimations des auteurs

Conclusion

La transformation systémique du Sénégal, à travers un développement endogène porté par des pôles territoriaux viables, requiert une évaluation de l'activité économique au niveau régional voir pôle de développement, ce qui permettrait de mieux orienter les investissements publics. Cependant, on note une rareté de statistiques officielles sur l'activité économique régionale. Pour pallier cette situation, plusieurs auteurs ont tenté de mesurer l'activité régionale en ayant recours à l'intensité lumineuse nocturne. Ainsi, Cissé et al. (2023) ont estimé le PIB régional pour l'ensemble des régions du Sénégal en ayant recours aux données satellitaires comme l'intensité lumineuse nocturne (VIIRS). Toutefois, l'étude comportait certaines limites liées au fait que les intensités lumineuses nocturnes semblent être un mauvais indicateur de l'activité agricole dans les pays en développement où celle-ci se déroule principalement pendant la journée et peut donc émettre moins de lumière nocturne.

Face à cette situation, dans une seconde version de l'étude, nous avons estimé le PIB par département et pôle de développement du Sénégal à partir de l'intensité lumineuse nocturne, tout en prenant en compte l'activité agricole plus dominante en zone rurale qu'en zone urbaine.

Pour y arriver, la méthodologie utilisée s'inspire des travaux de Wang et al. (2019) qui, lui-même, s'est inspiré de Gosh et al (2010). Trois étapes constituent le modèle d'intensité lumineuse amélioré, développé par Wang et al. (2019) que nous avons adapté au Sénégal : (1) utilisation de l'intensité lumineuse et de la carte du bâti pour extraire les zones urbaines et estimation du PIB urbain pour chaque commune voir département en ayant recours au PIB non agricole ; (2) utilisation de la distribution de la population, de la production agricole et du PIB agricole nationale pour estimer le PIB agricole pour les zones rurales et (3) la combinaison des PIBs urbain et rural pour représenter le PIB total au niveau infranational.

D'après les résultats, la répartition du PIB selon le département montre un poids plus important à Dakar (16,56%), suivi de Mbacké (12,3%). Il s'ensuit les départements de Pikine (9,43%), Rufisque (9,06%), Thiès (7,03%) et Mbour (6,53%). Ces zones représentent au total près de 70% du PIB.

L'évaluation du PIB au niveau des pôles de développement, motivée par la nouvelle approche de développement prônée par les nouvelles autorités, montre la prépondérance du pôle Ndakarou (37,49%), puis des pôles Kayoor (17,45%), Bawol (14,86%) et Siin-Saloum(10,92%). Le Ferlo, le Walo et le Kasamaas constituent entre 5,7% et 6,4% du PIB. Le poids économique de Bundu reste le plus faible, avec seulement 1,62% du PIB.

En définitive, l'utilisation des intensités lumineuses nocturnes pour l'estimation de l'activité économique à l'échelle des régions, départements ou pôles s'impose pour les pays comme le Sénégal dans la mesure où la disponibilité de telles données fait défaut. Le recours à ces données satellitaires permettrait de mieux planifier et cibler les interventions de l'Etat.

Références bibliographiques

- [1] Aldhous, P. (2005). Energy: China's burning ambition. *Nature*, 435(7046).
- [2] Basihos, S. (2016). Nightlights as a Development Indicator: The Estimation of Gross Provincial Product (GPP) in Turkey. Available at SSRN 2885518
- [3] Bickenbach, F., Bode, E., Nunnenkamp, P., & Söder, M. (2016). Night lights and regional GDP. *Review of World Economics*, 152(2), 425-447
- [4] Bundervoet, T., Maiyo, L., & Sanghi, A. (2015). Bright lights, big cities: measuring national and subnational economic growth in Africa from outer space, with an application to Kenya and Rwanda. The World Bank
- [5] CISSÉ, S., GUEYE, Mamadou., SANÉ, Boubacar. (2023). Estimation des PIBs régionaux à l'aide des données satellitaires d'intensité lumineuse nocturne au Sénégal, Planning paper n° 28, Direction de la Planification.
- [6] Chen, Xi, Nordhaus, William, 2011. Using luminosity data as a proxy for economic statistics. *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.* 108 (21), 8589–8594.
- [7] Doll, C. H., Muller, J. P., & Elvidge, C. D. (2000). Night-time imagery as a tool for global mapping of socioeconomic parameters and greenhouse gas emissions. *AMBIO: a Journal of the Human Environment*, 29(3), 157-162.
- [8] Doll, C. N., Muller, J. P., & Morley, J. G. (2006). Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. *Ecological Economics*, 57(1), 75-92
- [9] Doll, Christopher, 2008. CIESIN Thematic Guide to Night-Time Light Remote Sensing and its Applications. Center for International Earth Science Information Network, Columbia University, New York
- [10] Elvidge, C., K. Baugh, E. Kihn, H. Kroehl, E. Davis, and C. Davis. 1997. 'Relation between Satellite Observed Visible-Near Infrared Emissions, Population, Economic Activity and Electric Power Consumption.' *International Journal of Remote Sensing* 18 (6): 1373–9.
- [11] Ghosh, T., R. L. Powell, C. D. Elvidge, K. E. Baugh, P. C. Sutton, and S. Anderson. 2010. 'Shedding Light on the Global Distribution of Economic Activity.' *The Open Geography Journal* 3 (1): 148–61.
- [12] Henderson, V., A. Storeygard, and D. Weil. 2011. 'A Bright Idea for Measuring Economic Growth.' *American Economic Review: Papers and Proceedings* 101 (3): 194–99.
- [13] Henderson, J. V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2012). Measuring economic growth from outer space. *American economic review*, 102(2), 994-1028.
- [14] Kamgnia, B. D. (2006). Le lien entre la croissance et l'emploi: Quelles sont les particularités de l'Afrique. *Banque africaine de développement-Consortium pour la recherche économique en Afrique*.
- [15] Kapsos, S. (2006). The employment intensity of growth: Trends and macroeconomic determinants (pp. 143-201). Palgrave Macmillan UK.
- [16] Khan, A. R. (2007). Growth, employment and poverty: An analysis of the vital nexus based on some recent UNDP and ILO/SIDA studies.

- [17] Keola, S., Andersson, M., & Hall, O. (2015). Monitoring economic development from space: using nighttime light and land cover data to measure economic growth. *World Development*, 66, 322-334.
- [18] Lo, C.P. Modeling the population of China using DMSP operational linescan system nighttime data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2001, 67, 1037–1047.
- [19] Letu, H., Hara, M., Yagi, H., Naoki, K., Tana, G., Nishio, F., & Shuhei, O. (2010). Estimating energy consumption from night-time DMPS/OLS imagery after correcting for saturation effects. *International journal of remote sensing*, 31(16), 4443-4458.
- [20] McCord, G. C., & Rodriguez-Heredia, M. (2022). Nightlights and Subnational Economic Activity: Estimating Departmental GDP in Paraguay. *Remote Sensing*, 14(5), 1150.
- [21] OCDE et FAO (2016). Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2016-2025.
- [22] Omar, N. S., & Ismal, A. (2019). Night lights and economic performance in Egypt. *Advances in Economics and Business*, 7(2), 69-81.
- [23] Pesaresi, M., Syrris, V., & Julea, A. (2016). A new method for earth observation data analytics based on symbolic machine learning. *Remote Sensing*, 8(5), 399.
- [24] Prakash, A., Shukla, A. K., Bhowmick, C., & Beyer, R. C. M. (2019). Night-time luminosity: Does it brighten understanding of economic activity in India. *Reserve Bank of India Occasional Papers*, 40(1), 1-24.
- [25] Shi, Kaifang, Yu, Bailang, Huang, Yixiu, Hu, Yingjie, Yin, Bing, Chen, Zuoqi, Chen, Liujia, Wu, Jianping, 2014. Evaluating the ability of NPP-VIIRS nighttime light data to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: a comparison with DMSP-OLS data. *Rem. Sens.* 6 (2), 1705–1724
- [26] Townsend, A. C., & Bruce, D. A. (2010). The use of night-time lights satellite imagery as a measure of Australia's regional electricity consumption and population distribution. *International Journal of Remote Sensing*, 31(16), 4459-4480.
- [27] UNDP (2009). Employment and Livelihoods. The 4th National Human Development Report. Ministry of Planning and Investment, and UNDP Lao PDR, Vientiane
- [28] Wang, X., Rafa, M., Moyer, J. D., Li, J., Scheer, J., & Sutton, P. (2019). Estimation and mapping of sub-national GDP in Uganda using NPP-VIIRS imagery. *Remote Sensing*, 11(2), 163.
- [29] Wu, K. Y., Ye, X. Y., Qi, Z. F., & Zhang, H. (2013). Impacts of land use/land cover change and socioeconomic development on regional ecosystem services: The case of fast-growing Hangzhou metropolitan area, China. *Cities*, 31, 276-284.
- [30] Yue, W., Gao, J., & Yang, X. (2014). Estimation of gross domestic product using multi-sensor remote sensing data: A case study in Zhejiang province, East China. *Remote Sensing*, 6(8), 7260-7275.
- [31] Zhang, Q., & Seto, K. C. (2011). Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data. *Remote Sensing of Environment*, 115(9), 2320-2329.

- [32] Zhao, M., Cheng, W., Zhou, C., Li, M., Wang, N., & Liu, Q. (2017). GDP spatialization and economic differences in South China based on NPP-VIIRS nighttime light imagery. *Remote Sensing*, 9(7), 673.