



Bilan carbone et potentiel d'énergie solaire et éolienne au Sénégal



Source: Think Tank « INTERFACE » de L'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD)
sur la finance climat

Année : mars 2025

Table des matières

<i>I Analyse des Émissions de GES au Sénégal.....</i>	<i>6</i>
I.1 Répartition des émissions moyennes des GES de 1970 à 2022 au Sénégal.....	6
I.2 Évolution des émissions moyennes des gaz à effet de serre au Sénégal.....	7
I.3 Projection des émissions moyennes de gaz à effet de serre à l’horizon 2100.....	8
<i>II Tendances des paramètres climatiques au Sénégal.....</i>	<i>9</i>
II.1 Tendances temporelles des paramètres climatiques au Sénégal.....	9
II.2 Tendances spatiales des paramètres climatiques au Sénégal.....	10
<i>III Production solaire et éolienne.....</i>	<i>12</i>
III.1 Tendances spatio-temporelle de la production solaire.....	12
III.2 Tendances spatio-temporelle de la production éolienne au Sénégal.....	13

Ce rapport a été élaboré dans le cadre du projet UNI-LEAD, qui vise à renforcer les capacités des universités du Consortium des universités des PMA sur le changement climatique à fournir des conseils et des services techniques à leurs gouvernements pour un meilleur accès au financement climatique. Ce projet est financé par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), mis en œuvre par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et exécuté par START International en partenariat avec Climate Analytics, Inc. Préparé par le Think Tank du Sénégal en collaboration avec ses partenaires listés dans le tableau ci-dessous, ce document est accompagné d'une note d'orientation et d'une proposition d'idée de projet destinée à être soumise aux institutions accréditées au niveau national.

Prénom et nom	Rôle (s)	Institution
Mamadou Lamine NDIAYE	Leader du Groupe de Travail Climat-Energie chargé des études sur le dimensionnement des infrastructure pour les énergies renouvelables	ESP/UCAD
Dahirou WANE	Chargé des études sur le CC et le potentiel énergétique	ESP/UCAD
Aissatou NDIAYE	Chargé des études sur le CC et le potentiel énergétique	
Sémou NDAO	Chargé des études sur le bilan carbone	ESP/UCAD
Soumaila TIGAMPO	Chargé des études sur le dimensionnement des infrastructure pour les énergies renouvelables	ESP/UCAD
Ibrahima CAMARA	Coordonnateur adjoint des 4 groupe ; participe aussi à la production de connaissance notamment sur le bilan carbone	ESP/UCAD
Lamine DIOUF	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	DCCTEFE/METE
Laurice FAYE	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	DiREC/METE
Ndéye Fatou MBOW	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	SENELEC
Kader DIOP	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	ANER
Aissatou SALL	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	CSE

Ce groupe a été établi suite à plusieurs échanges entre les chercheurs, les acteurs publics et privés. Dirigé par le Prof. Mamadou Lamine Ndiaye du département génie électrique de l'école supérieure polytechnique (ESP) de Dakar. Le groupe est composé de 12 personnes dont 4 femmes. Le groupe est aussi constitué de plusieurs jeunes chercheurs (doctorant et post-doctorant).

Coordination:

Prof. Amadou Gueye

Dr. Ibrahima Camara

Introduction

L'Afrique, particulièrement les pays sub-sahariens, compte parmi les pays les moins développés du monde principalement dû à un accès limité à l'énergie pour tous. Ainsi, dans la quête d'une meilleure qualité de vie pour leurs peuples, les pays africains sont confrontés à de nombreux défis, notamment au manque d'accès à une énergie moderne, abordable et fiable, ce qui freine leur développement socio-économique. Pour relever ce défi, le Sénégal compte s'appuyer sur le secteur de l'énergie à travers le/la mix/transition énergétique, pour garantir un accès universel à une énergie fiable et abordable pour tous. Cependant, avec la nouvelle découverte de grands gisements de gaz et de pétrole sur ses côtes, le Sénégal est confronté aux enjeux environnementaux liés à l'exploitation des énergies fossiles dans l'objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Pour respecter ses engagements de lutte contre les changements climatiques, il est essentiel de tourner vers les énergies vertes (renouvelables). C'est dans ce sens que le Sénégal a fait des efforts considérables dans le domaine des énergies renouvelables qui atteignent aujourd'hui 30% du mix énergétique (Heinrich-Böll, 2023). Pour atteindre l'objectif de mix énergétique (ou assurer une transition énergétique fiable), il est important de comprendre l'évolution spatio-temporelle des facteurs climatiques tels que la température de l'air, le rayonnement solaire et le vent de surface, qui conditionnent la production d'énergie renouvelable.

Par ailleurs, le changement climatique demeure un défi majeur, avec des répercussions directes sur les écosystèmes, les économies et les sociétés, particulièrement dans les pays en développement comme le Sénégal. L'augmentation des émissions de GES menace les efforts de développement durable et exige une compréhension approfondie des tendances historiques, sectorielles et des projections futures des émissions.

Ce travail vise ainsi à fournir des bases scientifiques solides sur deux aspects clés : les tendances et répartition des émissions de GES par secteur au Sénégal entre 1970 et 2022, et les projections futures jusqu'en 2100. Il s'appuie sur les données EDGARv8.0 (Emissions Database for Global Atmospheric Research) et les scénarios RCP pour une compréhension détaillée des émissions dans les secteurs majeurs, tels que l'agriculture, l'énergie, les processus industriels et les déchets. De plus, ce rapport examine les variations des paramètres climatiques liés à la production solaire et éolienne, à l'aide des données ERA5 (1970-2023). Les variations temporelles (anomalies) des paramètres

climatiques et de la production ont été étudiées par comparaison avec la période 1975-2004, considérée comme période de référence. Le choix de cette période est motivé par la perspective d'utiliser les sorties des modèles climatiques régionaux (CORDEX), dont les simulations historiques vont jusqu'à 2005, afin d'étudier le changement futur des productions solaire et éolienne, et de quantifier l'impact de ce changement climatique sur ces deux types d'énergie renouvelables au Sénégal.

I Analyse des Émissions de GES au Sénégal

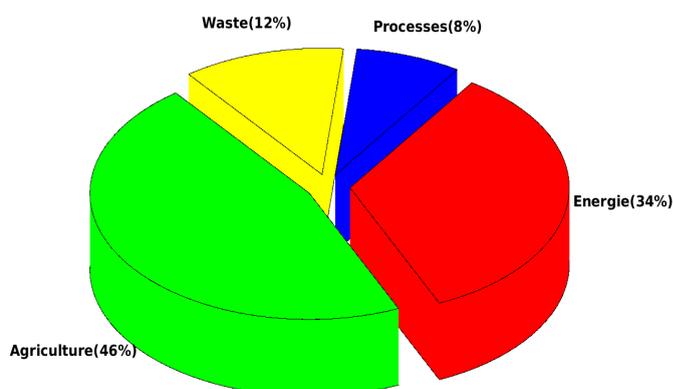
I.1 Répartition des émissions moyennes des GES de 1970 à 2022 au Sénégal

La figure 1 représente la répartition par secteur des émissions moyennes des GES de 1970 à 2022 au Sénégal. L'analyse de cette figure montre que l'agriculture est le secteur le plus important en termes d'émissions de GES, représentant 46% du total. Cela montre que les pratiques agricoles contribuent de manière significative aux émissions globales de GES. Ce secteur inclut des activités telles que l'élevage, la gestion des sols, et l'utilisation des engrais. Cette figure montre également que le secteur de l'énergie est le deuxième plus grand contributeur, représentant 34% des émissions.

Ce pourcentage reflète l'importance de la consommation d'énergie dans le pays, liée à la production d'électricité, le transport, et l'industrie. Quant au secteur des déchets, il représente 12% des émissions de GES. Les émissions provenant des déchets peuvent être dues à la décomposition de matières organiques dans les décharges, la gestion des eaux usées, et d'autres pratiques de gestion des déchets. On constate également que le secteur des processus de transformations industrielles (Processes) est le moins émetteur, avec seulement 8% des émissions totales.

Cette répartition montre que l'agriculture et l'énergie sont les principaux secteurs à cibler pour des stratégies de réduction des émissions de GES au Sénégal. Cette figure souligne la nécessité d'adopter des pratiques agricoles durables, d'améliorer l'efficacité énergétique, et de mettre en place une gestion plus efficace des déchets pour réduire les émissions de GES au Sénégal.

Répartition des Émissions moyennes des GES par Secteur

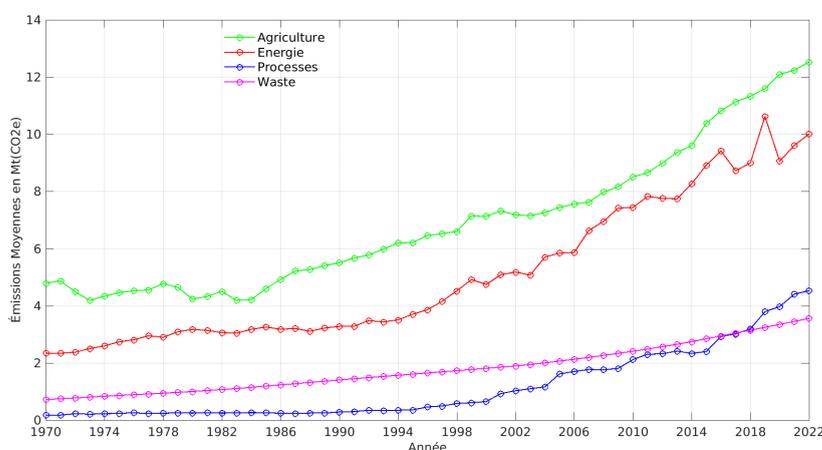


I.2 Évolution des émissions moyennes des gaz à effet de serre au Sénégal

Cette figure représente les émissions moyennes de gaz à effet de serre (en Megatonnes de CO₂ équivalent, MtCO₂e) de quatre secteurs différents (Agriculture, Énergie, Processes, et Waste) au Sénégal entre 1970 et 2022. Parmi ces secteurs, le secteur de l'agriculture se distingue avec les émissions les plus élevées tout au long de la période étudiée. De 1970 à 1994, ces émissions ont fluctué entre 4 et 6 MtCO₂e. Cependant, à partir des années 1990, une augmentation notable a été observée, atteignant 12,4 MtCO₂ en 2022. Cette hausse pourrait être expliquée par l'intensification de l'agriculture, l'expansion des terres agricoles et l'accroissement de l'élevage. L'analyse des émissions du secteur de l'énergie montre une tendance à la hausse constante depuis 1970, passant de 2,2 à 4 MtCO₂e en 1996. A partir de l'année 1998, il y a une augmentation significative des émissions atteignant entre 4 et 10 MtCO₂ en 2022. Cette augmentation reflète probablement à l'industrialisation croissante, la consommation d'énergie, et l'expansion des infrastructures énergétiques. Par ailleurs, à partir de 2006, des fluctuations apparaissent suggérant des variations dans la consommation d'énergie ou l'efficacité énergétique. Contrairement aux deux secteurs précédents, les émissions du secteur des processus industriels sont relativement faibles mais elles affichent une croissance continue. Passant de 0,5 MtCO₂ en 1970 à environ 3,8 MtCO₂ en 2022, cette

augmentation peut être en grande partie attribuée au développement de l'industrie du ciment, de l'extraction minière, et des industries de transformation des produits agricoles, entre autres. Par ailleurs, on constate que cette croissance est moins marquée que celle observée dans les secteurs agricole et énergétique.

En ce qui concerne les émissions du secteur des déchets (Waste), elles sont restées relativement faibles (environ 0,2 Mt CO₂e) entre 1970 et 1998. Cependant, à partir de 2002, elles ont commencé à augmenter régulièrement, passant de 0,2 Mt CO₂e à 4,6 Mt CO₂e en 2022. Cette hausse est probablement due à la croissance de la population urbaine, à l'augmentation des volumes de déchets, et possiblement à une gestion des déchets insuffisante ou inefficace.



En résumé, cette figure montre clairement que les émissions de gaz à effet de serre au Sénégal ont augmenté de manière significative dans tous les secteurs depuis 1970. On constate que le secteur agricole est de loin le plus gros contributeur aux émissions, suivi par l'énergie. Les processus industriels et les déchets montrent également des augmentations, bien que dans une moindre mesure.

I.3 Projection des émissions moyennes de gaz à effet de serre à l'horizon 2100

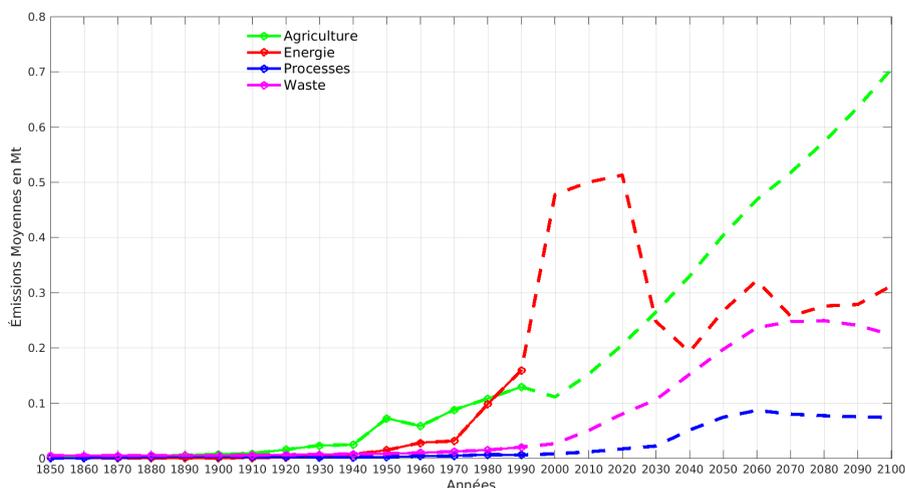
La figure 3 représente l'évolution des émissions moyennes de gaz à effet de serre (GES), en mégatonnes (Mt), pour quatre secteurs (agriculture, énergie, processus industriels et déchets) au Sénégal, selon le scénario RCP8.5, de 1850 à 2100. Dans le secteur de l'agriculture, on observe une augmentation des émissions agricoles qui se poursuit tout au long du 21^e siècle. Les projections indiquent que les émissions continueront à croître, atteignant environ 0,8 Mt en 2100. Pour limiter cette croissance, le Sénégal pourrait adopter des pratiques agricoles durables, promouvoir l'agroforesterie, et encourager l'utilisation de techniques agricoles moins intensives en carbone.

Concernant le secteur de l'énergie, on constate une augmentation rapide des émissions dès les années 1970 jusqu'à 1990, avant de se stabiliser autour de 0,6 Mt à partir des années 2000. Les émissions du secteur énergétique montrent une croissance importante jusqu'en 2040, suivie d'une légère baisse, avant de se stabiliser autour de 0,30 Mt en 2100. Pour atténuer l'impact des émissions du secteur énergétique, le Sénégal pourrait investir davantage dans les énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydroélectrique), améliorer l'efficacité énergétique des infrastructures existantes, et promouvoir des politiques d'économie d'énergie.

Pour le secteur des processus industriels (« Processes »), les projections montrent une tendance croissante des émissions, qui devraient atteindre environ 0,1 Mt en 2100. Pour contrôler l'augmentation des émissions dans ce secteur, il serait crucial d'adopter des technologies moins émettrices de GES dans les industries, ainsi que des politiques visant à encourager la décarbonisation industrielle.

Quant au secteur des déchets (« Waste »), les projections montrent une augmentation continue des émissions jusqu'en 2100, pour atteindre environ 0,24 Mt. Une gestion plus efficace des déchets, notamment par le recyclage, le compostage, et la réduction des déchets à la source, pourrait considérablement réduire les émissions projetées dans ce secteur. La mise en place d'infrastructures de gestion des déchets modernes et l'éducation de la population sur les pratiques durables sont également des mesures à envisager.

Cette figure montre une tendance générale à l'augmentation des émissions dans tous les secteurs, avec une hausse plus prononcée pour l'agriculture et l'énergie.

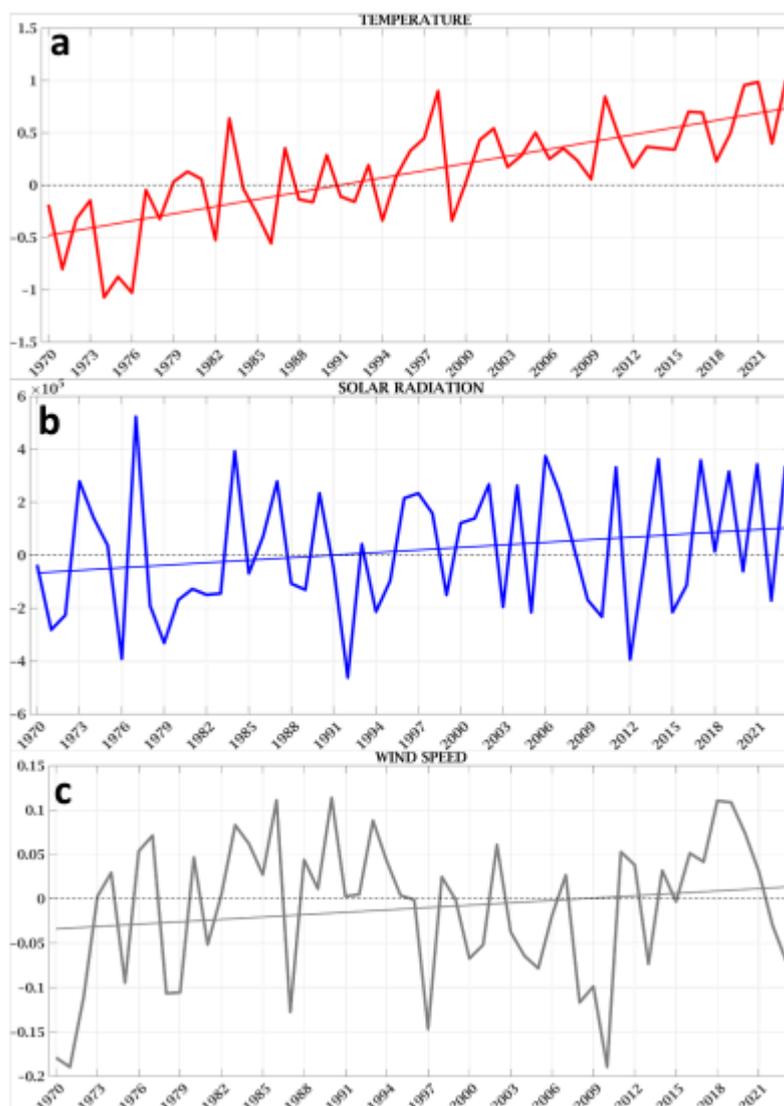


II Tendances des paramètres climatiques au Sénégal

II.1 Tendances temporelles des paramètres climatiques au Sénégal

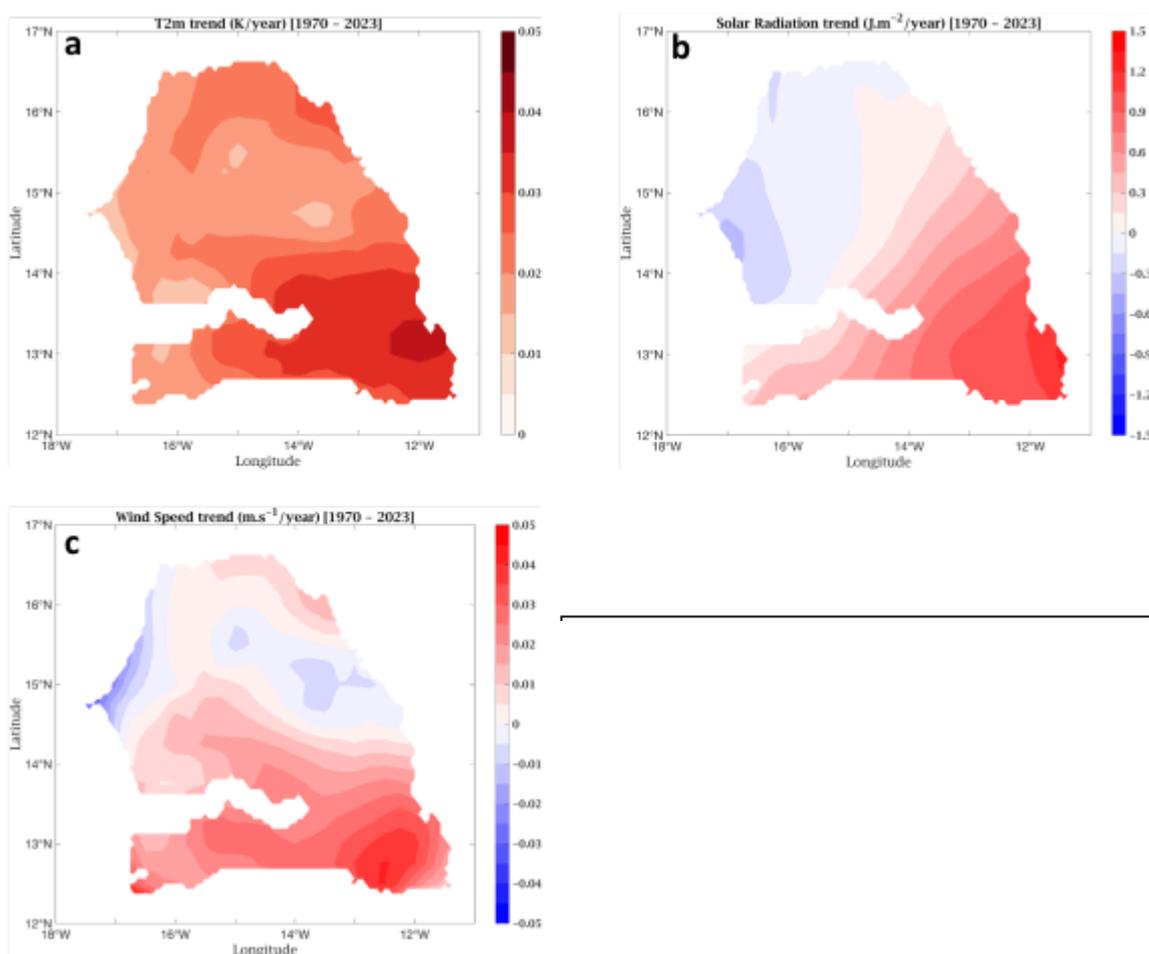
En moyenne sur notre période de référence, le Sénégal enregistre une température moyenne climatologique de 28°C, avec un rayonnement moyen de 249 J.m⁻² et une vitesse moyenne du vent de surface de 3,4 m.s⁻¹.

L'évolution temporelle de ces paramètres climatiques moyennés sur le Sénégal (Figure 4) montre une forte variabilité interannuelle marquée par des années plus faibles ou fortes que la période de référence. La Figure 1a montre que le Sénégal est marqué par une tendance à hausse de la température de surface de l'ordre de 0.023 °C/an sur la période 1970 – 2023, alors que pour la radiation solaire on note une tendance de 0.037 J.m⁻²/an. Cependant, le changement est plus faible en vent de surface marqué par une très faible tendance à la hausse.



II.2 Tendances spatiales des paramètres climatiques au Sénégal

La distribution spatiale sur le Sénégal du changement de température sur notre période d'étude (Figure 5a) montre un réchauffement sur l'ensemble du pays, avec un maximum de réchauffement dans la partie sud-est du pays (Tamba et Kédougou). En plus des régions sud-est du pays, la partie nord-est a aussi connu un changement à la hausse considérable de la température de surface. En revanche, les plus faibles réchauffements sont notés dans les régions côtières et au centre du pays.



Contrairement à la température qui montre un réchauffement sur tout le Sénégal, la Figure 5b montre une distribution hétérogène du changement de la radiation solaire sur le Sénégal. Cette distribution se caractérise par une tendance à une augmentation du

rayonnement solaire au sud et sud-est du pays, tandis que les régions nord et ouest enregistrent une tendance à la baisse. La plus forte baisse du rayonnement solaire est notée dans la partie côtière sud du Sénégal. Comme pour le rayonnement solaire, le changement en vent de surface présente également une distribution non homogène sur le pays avec une tendance à l'intensification du vent dans la moitié sud du pays (sud de 14,5°N). Globalement, la moitié nord du pays montre une tendance à l'affaiblissement du vent de surface, sauf dans la zone nord-est du pays (Podor-Matam). Cependant, la forte tendance à la baisse de l'intensité du vent de surface est notée sur l'axe Dakar-Saint Louis.

III Production solaire et éolienne

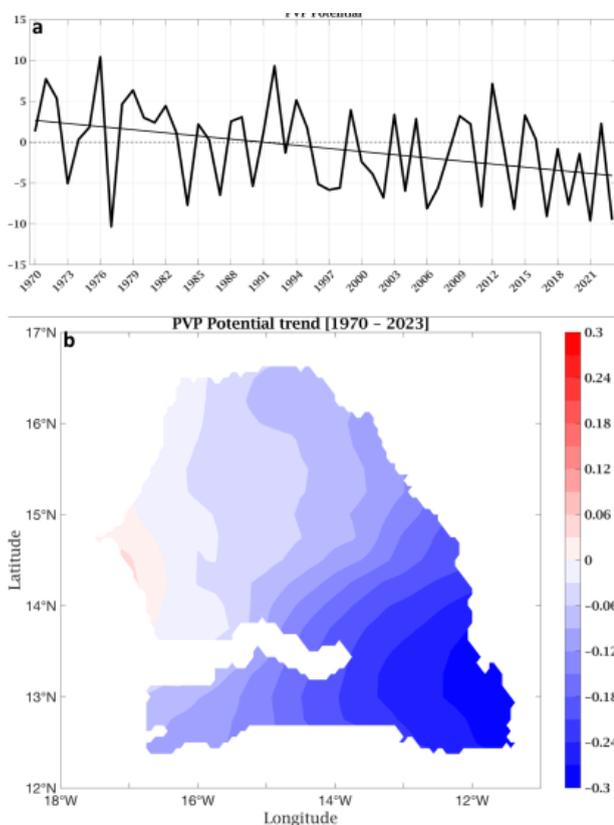
En termes de production d'énergie renouvelable, on note une moyenne climatologique de 79,77 kWh pour le solaire et 63,05 kWh pour l'éolien. La production d'énergie renouvelable étant directement influencée par les conditions environnementales (climatiques), ces changements observés sur la température, le rayonnement solaire et le vent impactent fortement cette production au cours du temps. Pour quantifier leurs impacts, nous avons calculé les tendances associées aux productions solaire et éolienne au Sénégal (Figures 6 et 7).

III.1 Tendances spatio-temporelle de la production solaire

En moyenne sur le Sénégal (Figure 6a), le potentiel solaire montre une évolution opposée à celles de la température (Figure 4a) et du rayonnement solaire (Figure 4b). Cette opposition est caractérisée par une tendance à la baisse du potentiel solaire moyen de l'ordre de -0,127 kWh/an.

La Figure 6b montre que la distribution spatiale de la production solaire sur le Sénégal est fortement corrélée, en opposition de signe, à celle du rayonnement solaire (Figure 5b). Autrement dit, les zones qui tendent à recevoir plus du rayonnement solaire sont associées à une tendance à la baisse de la production solaire. Ainsi, la plus importante baisse de la production est notée au sud-est du pays, alors que c'est seulement dans la zone de tendance à la baisse du rayonnement qui montre une tendance à l'augmentation du potentiel solaire. Ceci peut aussi être expliqué par la distribution de la température de surface, car la température varie inversement avec l'efficacité des panneaux solaires. Par exemple, le fort réchauffement observé au sud-est du pays (Figure 5a) est associé à une

tendance à la diminution du potentiel solaire dans cette région (Figure 6b). Cette figure montre ainsi la forte dépendance du potentiel solaire aux conditions météorologiques.



III.2 Tendances spatio-temporelle de la production éolienne au Sénégal

L'Afrique, et particulièrement le Sénégal, étant également caractérisé par une ressource éolienne, nous avons aussi calculé le potentiel éolien au Sénégal afin d'identifier les zones à fort potentiel éolien et faire une étude comparative avec le potentiel solaire. La Figure 7 montre la production éolienne sur le Sénégal sur la période 1970 – 2023.

Contrairement à la production solaire, celle éolienne montre la même évolution (tendance) que le vent de surface (Figures 4c, 5c). En moyenne au Sénégal on note une augmentation de 0.048 kWh/an de la production éolienne (Figure 7a).

Cependant, cette tendance générale varie selon les régions du Sénégal (Figure 7b) en réponse à la distribution spatiale du vent sur le pays (Figure 5c). En raison de la corrélation positive entre le vent et la production éolienne, la moitié sud du pays montre une tendance positive du potentiel éolien avec un maximum au sud-est. Tandis que le minimum de (forte tendance négative) est observé sur l'axe Dakar-Saint Louis (Figure 7b). En plus de la moitié sud du pays, le nord-est du Sénégal (Podor-Matam) montre aussi une tendance à la hausse de la production éolienne sur notre période d'étude.

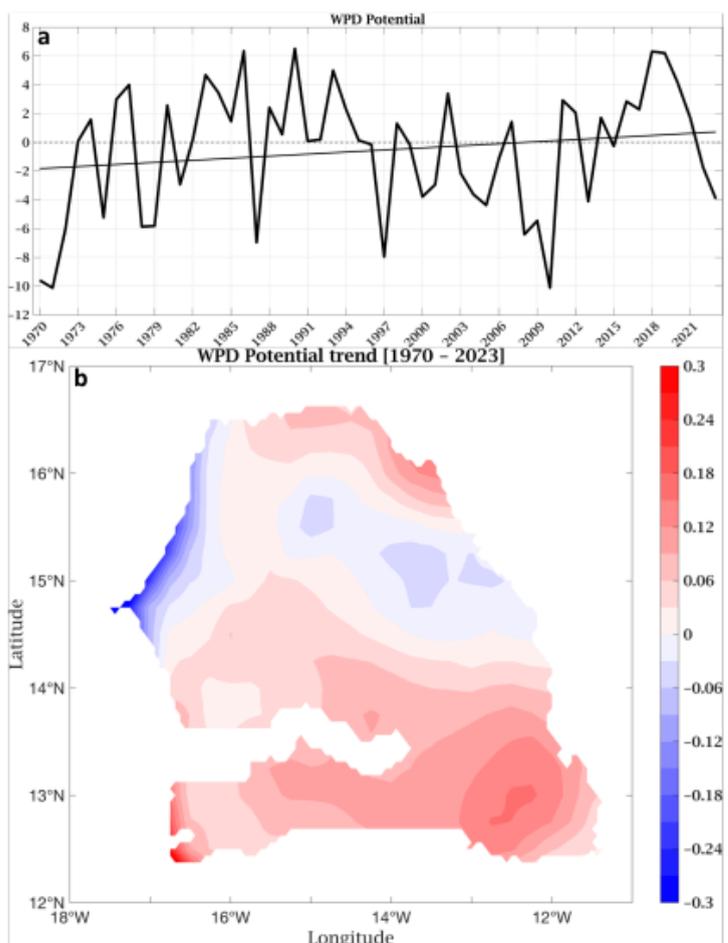


Figure SEQ Figure ٧ ARABIC 7. Identique à la Figure 6, mais pour le potentiel éolien sur le Sénégal.

Conclusion

Cette étude met en évidence l'évolution significative des émissions de gaz à effet de serre au Sénégal, avec des contributions majeures des secteurs de l'agriculture et de l'énergie. Les projections futures, basées sur le scénario RCP8.5, montrent une tendance générale à l'augmentation des émissions dans tous les secteurs, avec une hausse particulièrement marquée dans l'agriculture et l'énergie. Ces tendances soulignent l'urgence pour le Sénégal d'adopter des stratégies de réduction des émissions, en mettant l'accent sur des pratiques agricoles durables, l'amélioration de l'efficacité énergétique et la gestion efficace des déchets. L'intégration de ces mesures dans les politiques nationales est essentielle pour atténuer les impacts des changements climatiques et favoriser un développement durable.

Parallèlement, cette étude a permis de montrer les tendances des facteurs climatiques dominants (température de l'air, rayonnement solaire et vent de surface) sur les énergies renouvelables (solaire et éolienne) sur le Sénégal depuis 1970 jusqu'à présent. Nous avons aussi identifié les zones à fort potentiel éolien et/ou solaire sur le Sénégal. Dans la suite, nous projetons d'utiliser les sorties des modèles climatiques, qui fournissent des évolutions de ces facteurs climatiques dans le futur, pour étudier et quantifier l'effet du changement climatique sur les productions solaire et éolienne au Sénégal.