

VARIABILITÉ INTERANNUELLE DU RAYONNEMENT SOLAIRE INCIDENT SUR LA FAÇADE ATLANTIQUE D'AFRIQUE CENTRALE.

Amine OUHECHOU¹, Nathalie PHILIPPON¹, Béatrice MOREL².

¹ *Institut des Geosciences de l'Environnement, Grenoble, France ; amine.ouhechou@univ-grenoble-alpes.fr ; nathalie.philippon@univ-grenoble-alpes.fr*

² *ENERGY Lab, Saint Denis, La Réunion, France ; beatrice.morel@univ-reunion.fr*

Résumé : La façade Atlantique d'Afrique Centrale (Cameroun-Gabon-Congo-Guinée équatoriale) abrite les forêts les plus denses et sempervirentes d'Afrique Centrale. Elle est caractérisée par une longue saison sèche (juin-septembre) très nuageuse. Cette couverture nuageuse, essentiellement composée de nuages bas, filtre fortement le rayonnement solaire incident et joue sur la quantité et la qualité de la lumière disponible pour les forêts et sur l'évapotranspiration. Les produits ERA5 et SARA 2 fournissent des données de rayonnement solaire incident à partir de 1979 et 1983, respectivement. L'objectif de cette étude est de dépeindre l'évolution des niveaux de rayonnement sur la région depuis 40 ans à partir de ces deux bases de données, et d'en extraire d'éventuelles tendances. Pour cela, nous mettons en œuvre des approches statistiques multivariées pour extraire les modes de variabilité spatio-temporelle du rayonnement solaire et les relier à ceux de la nébulosité notamment.

Abstract: The Atlantic coast of Central Africa (Cameroon-Gabon-Congo-Equatorial Guinea) is home to the densest evergreen forests in Central Africa. It is characterized by a long, very cloudy dry season (June-September). This cloud cover, mainly composed of low clouds, strongly filters incoming solar radiation and affects the quantity and quality of light available for the forests and evapotranspiration. The ERA5 and SARA 2 products provide incoming solar radiation data from 1979 and 1983, respectively. The objective of this study is to depict the evolution of solar radiation levels in the region over the last 40 years using these two databases, and to extract possible trends. To do this, we use multivariate statistical approaches to extract the spatial and temporal variability modes of solar radiation and link them to those of cloud cover.

Mots-Clés : rayonnement solaire – variabilité interannuelle – Afrique Centrale

Introduction

Le rayonnement solaire incident à la surface (SSR) est une variable climatique essentielle pour le fonctionnement des forêts tropicales et la principale source d'énergie pour la biosphère (Jiang et al., 2020). Les mesures à long terme du rayonnement solaire sont donc d'une importance majeure pour la compréhension du système climatique (Hartmann et al., 1986).

En raison du manque de données in-situ de rayonnement solaire à long terme en Afrique Centrale, deux bases de données de rayonnement solaire sont ici utilisées : les réanalyses ERA5 de 1979 à 2020 et le produit SARA-2 de 1983 à 2020. Ces données sont utilisées pour dépeindre l'évolution des niveaux de rayonnement sur la région et extraire des modes de variabilité spatio-temporelle par le biais de l'Analyse en Composantes Principales (ACP). En outre, des données de la fraction nuageuse du produit COMET sont également utilisées afin de comprendre le lien entre les modes de variabilité du rayonnement solaire et ceux de la fraction nuageuse durant la saison sèche nuageuse juin-septembre (Dommo et al., 2018).

1. Données et méthodes

Dans cette étude, nous avons utilisé des séries mensuelles de SSR sur la période mai-octobre issues de la base de données SARA-2 (période 1983-2020) et des réanalyses ERA5 (période 1979-2020). Nous avons également utilisé des séries mensuelles de fraction nuageuse issues de la base de données COMET sur la période 1991-2015. Les données de rayonnement solaire et de fraction nuageuse sont extraites sur une large fenêtre couvrant l'ensemble du bassin d'Afrique Centrale (15°S-15°N, 5°E-30°E).

Par la suite et afin de décrire les modes de variabilité de rayonnement solaire sur la région, nous avons effectué une analyse en composantes principales (ACP) de ces produits. Tout d'abord, un masque terre/océan a été appliqué pour ne garder que les pixels terrestres, puis toutes les séries mensuelles ont été standardisées afin de donner le même poids à tous les pixels. Par la suite, nous avons réalisé l'ACP sur chacun des mois de mai à octobre et sur une zone réduite centrée sur le Gabon-Congo (7°S-7°N, 8°-18°E). Les produits SARA-2 et COMET ayant une résolution spatiale fine de 0.05°, nous avons effectué l'ACP sur 10000 pixels choisis aléatoirement. Pour les données ERA5 dont la résolution spatiale est de 0.25°, l'ACP a été effectuée sur 1000 pixels.

1.1. Les modes de variabilité du rayonnement solaire (mai-octobre)

Dans cette partie, le 1^{er} mode de variabilité de l'ACP du rayonnement solaire (c'est-à-dire la première composante PC1) est corrélé avec la série temporelle de rayonnement solaire de chaque pixel de la région pour SARA-2 (Figure 1) et ERA5 (Figure 2). Les corrélations présentées dans ces figures sont toutes significatives à 0.05.

Pour SARA-2 (Figure 1), les résultats montrent une cohérence spatiale plus forte en mai, juin et octobre avec un pourcentage de variance expliquée par le 1^{er} mode de 33 %, 43% et 34 %, respectivement. Nous remarquons également que le signal temporel est propagé sur l'océan en juin juillet, alors qu'il est propagé au Nord de la région en mai et septembre.

Outre les champs spatiaux de corrélation, les Figures 1 et 2 représentent également des séries temporelles du 1^{er} mode de l'ACP sur données standardisées. Celles-ci montrent une tendance à la baisse de mai à juillet et septembre (plus forte en juillet avec un coefficient de corrélation $R = -0,41$) et une faible tendance à la hausse en août (avec $R=0.15$) et octobre (avec $R = 0.11$).

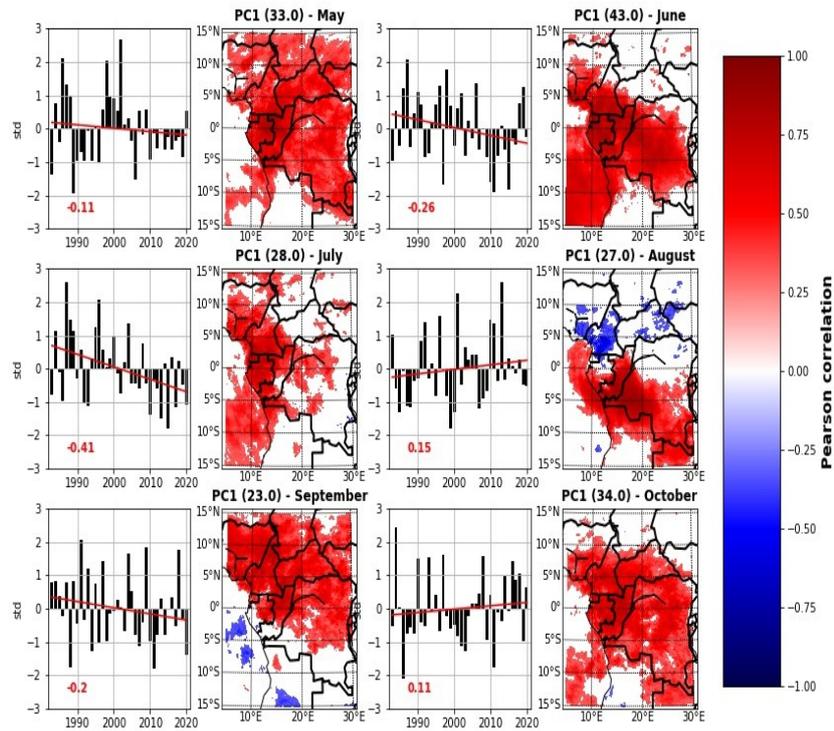


figure 1. Cartes de corrélation entre le 1^{er} mode de variabilité de l'ACP (PC1) et le rayonnement solaire SARAH-2 sur les 6 mois de mai à octobre (2e et 4e colonnes ; le pourcentage de variance expliquée par le 1^{er} mode de l'ACP est donné au-dessus de chaque carte) et pour chacune des cartes, série temporelle de variance du 1^{er} mode de l'ACP sur données standardisées correspondante (1ere et 3e colonnes ; les valeurs en rouge représentent les corrélations entre les 1^{ers} modes de l'ACP et les années).

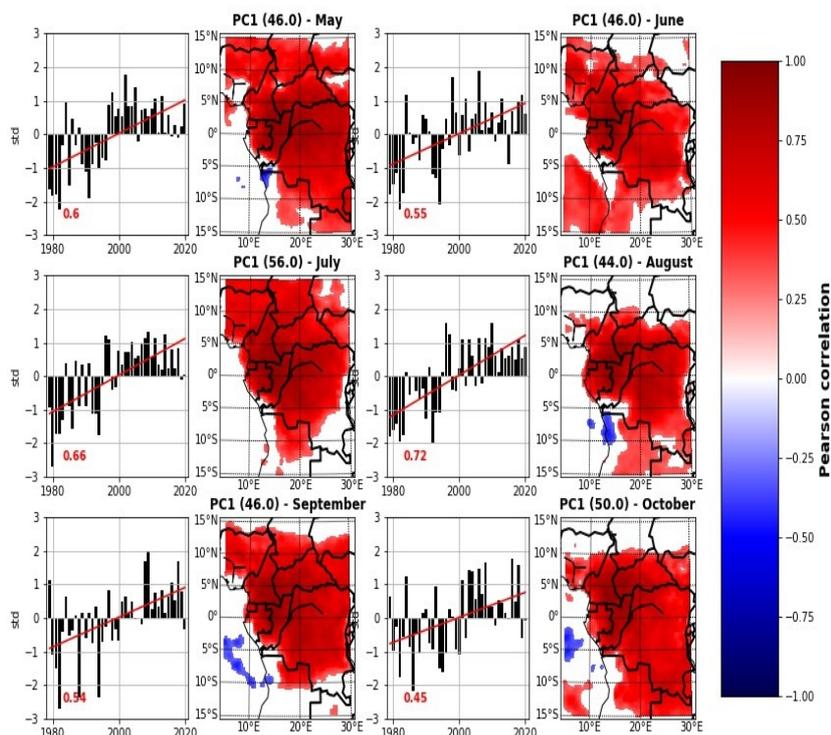


figure 2. Cartes de corrélation entre le 1^{er} mode de variabilité de l'ACP (PC1) et le rayonnement solaire ERA5 sur les 6 mois de mai à octobre (2e et 4e colonnes ; le pourcentage de variance expliquée par le 1^{er} mode de l'ACP est donné au-dessus de chaque carte) et pour chacune des cartes, série temporelle de variance du 1^{er} mode de l'ACP sur données standardisées correspondante (1ere et 3e colonnes ; les valeurs en rouge représentent les corrélations entre les 1^{ers} modes de l'ACP et les années).

Pour ERA5 (Figure 2), les résultats montrent une cohérence spatiale plus forte en juillet et octobre (les pourcentages de variance expliquée par le 1^{er} mode sont 56 % et 50 %, respectivement). Les résultats montrent également que le signal temporel est propagé sur l'océan pour le mois de juin uniquement. Nous observons également une tendance à la hausse pour tous les mois, même si cette tendance est plus marquée en août ($R=0.72$) et juillet ($R=0.66$).

Globalement, ERA5 montre une tendance à la hausse du rayonnement solaire dans la région avec un éclaircissement dans les années 2000s alors que SARAH-2 a montré une tendance à la baisse du rayonnement solaire incident avec un assombrissement dans les années 2010 qui concerne principalement la période de mai à juillet.

En l'absence de séries temporelles de mesures in situ avec une profondeur temporelle suffisamment longue pour estimer la tendance, il reste difficile de valider les résultats ainsi obtenus et de confirmer le sens de l'évolution.

1.2. Modes de variabilité de la fraction nuageuse des données COMET (mai à octobre 1991 - 2015) et lien avec le rayonnement solaire

Pour répondre à la question posée dans cette section et comprendre les résultats trouvés à partir des deux produits et ERA5, nous les confrontons avec les données de fraction nuageuse fournies par le produit COMET.

Pour ce faire, nous avons appliqué la même procédure d'ACP que celle utilisée dans la première section pour le rayonnement solaire aux séries mensuelles de fraction nuageuse COMET entre mai et octobre sur la période 1991-2015. Le 1^{er} mode de variabilité de l'ACP de la fraction nuageuse des données COMET et les 1^{ers} modes de variabilité de l'ACP (PC1) du rayonnement solaire des données ERA5 et SARAH-2 sont présentés dans la Figure 3. Les corrélations entre le 1^{er} mode de l'ACP COMET et ceux des données SARAH-2 et ERA5 sont données dans le Tableau 1.

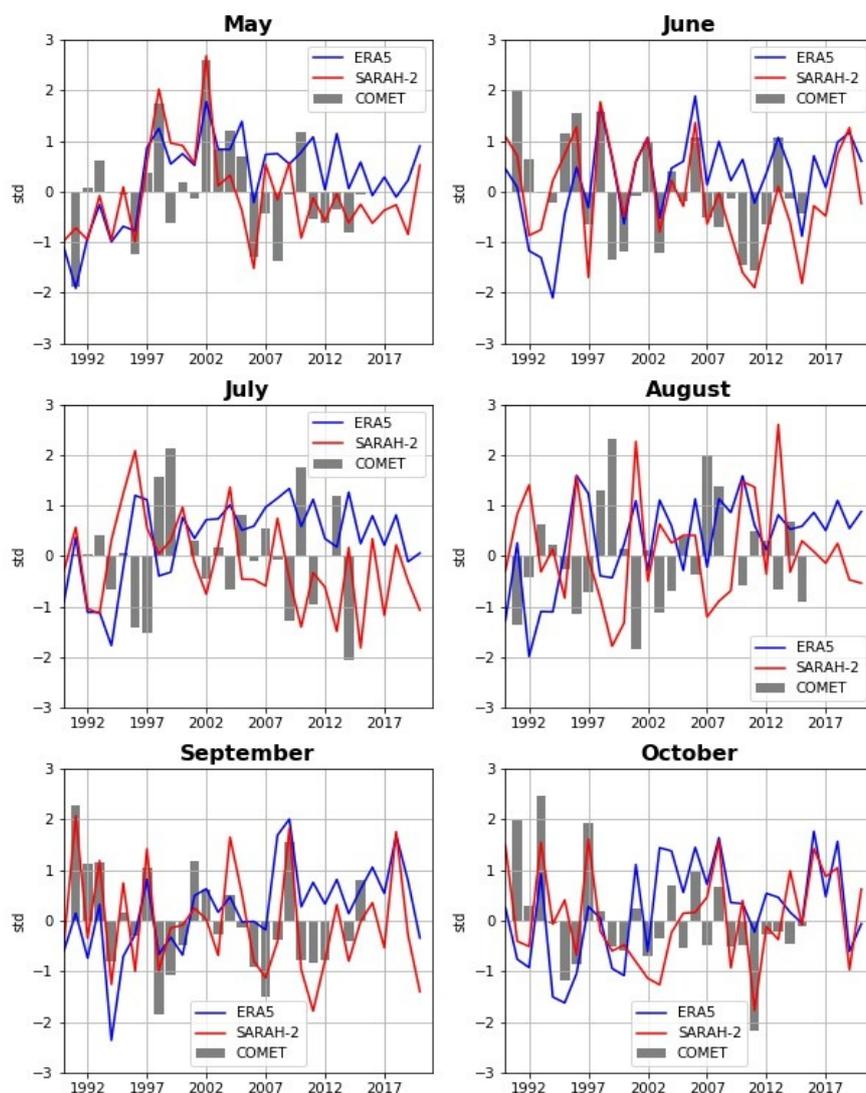


figure 3. 1^{ers} modes de variabilité de l'ACP (PC1) sur données standardisées pour les produits COMET (barres grises), SARAH-2 (courbe en rouge) et ERA5 (courbe en bleu) entre 1991 et 2015.

Tableau 1. Corrélations entre les 1^{ers} modes de l'ACP du produit COMET et ceux de SARAH-2 et ERA5.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
SARAH-2	0.63	0.71	-0.37	-0.72	0.8	0.57
ERA5	0.59	0.29	-0.4	-0.41	0.37	0.34

Les résultats montrent une augmentation du rayonnement solaire dans les produits ERA5 et SARAH-2 en mai 1998 et 2002. Une augmentation de la fraction nuageuse dans le produit COMET est également visible sur cette même période. Un scénario similaire est observé de juin 2009 à juin 2012, marqué cette fois-ci par une tendance à la baisse du rayonnement solaire dans SARAH-2 et de la fraction nuageuse dans COMET. L'évolution du rayonnement solaire au cours de ces périodes ne peut donc pas être expliquée par l'évolution de la fraction nuageuse.

En revanche, au mois d'août 1998-2002, les résultats montrent une opposition dans l'évolution de la fraction nuageuse dans COMET et du rayonnement solaire dans SARAH-2 et ERA5. Durant cette période, une tendance à la hausse du rayonnement solaire est associée à une tendance à la baisse de la fraction nuageuse et vice-versa. Cette opposition dans les tendances de rayonnement solaire et de fraction nuageuse est également illustrée dans le Tableau 1 avec des corrélations négatives entre les 1^{ers} modes de variabilité dans COMET et ceux de SARAH-2 et ERA5 en juillet (-0.37 et -0.4, respectivement) et en août (-0.72 et -0.41, respectivement). Cela explique le rôle important de la couverture nuageuse à filtrer le rayonnement solaire au cours de la période juillet-août, le cœur de la saison sèche nuageuse dans la région.

Conclusion

Cette étude a donné un premier aperçu de la variabilité interannuelle du rayonnement solaire en Afrique centrale. En raison du manque des mesures in situ sur le long terme dans la région, nous avons utilisé les réanalyses ERA5 et le produit satellitaire SARAH-2.

Les résultats montrent que l'évolution du rayonnement solaire dans ERA5 diffère de celle dans SARAH-2, avec une tendance à la hausse à partir des années 2000, alors que le rayonnement solaire dans SARAH-2 a tendance à diminuer à partir des années 2010. En outre, les modes de variabilité du rayonnement solaire issu de ces deux produits montrent une corrélation négative avec la fraction nuageuse donnée par le produit COMET en juillet et août, et une corrélation positive les autres mois. Ces résultats confirment que l'évolution d'autres paramètres (tels que les aérosols, la température de surface de la mer et d'autres paramètres que la fraction nuageuse décrivant les nuages) doit être analysée pour comprendre les tendances du rayonnement solaire, d'où la nécessité de les introduire dans les études futures.

Bibliographie

- Dommo, A., Philippon, N., Vondou, D. A., Sèze, G., & Eastman, R. (2018). The June-September low cloud cover in Western Central Africa: Mean spatial distribution and diurnal evolution, and associated atmospheric dynamics. *Journal of Climate*, **31**(23), 9585–9603. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0082.1>
- Hartmann, D. L., Ramanathan, V., Berroir, A., & Hunt, G. E. (1986). Earth radiation budget data and climate research. *Reviews of Geophysics*, **24**(2), 1944–9208. <https://doi.org/10.1029/RG024i002p00439>
- Jiang, H., Yang, Y., Bai, Y., & Wang, H. (2020). Evaluation of the Total, Direct, and Diffuse Solar Radiations from the ERA5 803 Reanalysis Data in China. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **17**(1), 47–51. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2916410>