

Compréhension de la variabilité climatique régionale pour le développement de l'énergie solaire en Afrique de l'Ouest.

Mots clés – Processus climatiques régionaux - Transition énergétique – Afrique de l'Ouest

Encadrement : Sandrine Anquetin – Arona Diedhiou

Depuis l'Accord de Paris, les projets de développement de l'énergie solaire en Afrique rencontrent un intérêt croissant des états et des industriels pour ce nouveau marché. Pourtant, dans les régions sub-sahéliennes situées le long de la côte du Golfe de Guinée, le couvert nuageux et les poussières désertiques peuvent constituer de véritables freins au développement de l'énergie solaire et très peu d'études se sont intéressées à la variabilité de la couverture nuageuse de cette région tropicale dans cette perspective [1, 2, 3, 4].

En effet, contrairement au Sahel où près de 20 ans d'observation couronnés par le programme AMMA ont permis d'avoir une bonne connaissance de la convection dans ces régions, au Sud du Sahel, depuis l'expérience COPT en 1981 (en zone soudanienne à Korhogo, Nord Côte d'Ivoire), il n'y a pas eu de campagnes d'observations et très peu d'études se sont intéressées à la variabilité de la convection et des systèmes nuageux qui permettrait de caractériser la nébulosité dans ces régions et l'impact sur le rayonnement solaire en surface.

Les systèmes nuageux en dehors de la saison des pluies restent très peu étudiés en Afrique de l'Ouest. Pendant la saison des pluies, contrairement aux régions sahéliennes où il y a eu beaucoup d'études et où 80% de la pluie est expliquée par des systèmes convectifs de mésoéchelle qui se propagent d'Est en Ouest principalement de Mai à Octobre, dans les régions sub-sahélienne, la météorologie est plus complexe avec une alternance (i) de nuages de basses couches qui semblent être liés aux flux d'humidité provenant de l'Atlantique au-dessus du Golfe de Guinée, (ii) de systèmes nuageux profonds qui se propagent d'Est en Ouest et (iii) de convection locale connectée aux états de surfaces continentales.

La part de ces trois types de systèmes nuageux dans la variabilité de la nébulosité en région sub-sahélienne n'est toujours pas connue ainsi que leur évolution passée et future. Des classifications de nuages par satellite à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest existent [5], mais elles doivent être confrontées aux radiosondages et peu d'études ont abordé la climatologie de ces différents systèmes nuageux dans cette perspective. De même, les facteurs de l'atmosphère associés à leur occurrence et à leur cycle de vie sont encore mal connus ainsi que le rayonnement solaire en surface associé à chaque type de système nuageux [6,7].

Les modèles globaux ont encore des difficultés à bien représenter les systèmes nuageux dans ces régions et leur évolution et en particulier, ceux de basses couches [8]. Une hypothèse avancée est le rôle de la couche limite continentale et océanique mal représentées dans les GCMs mais aussi, l'influence des gradients de surface océan-continent sur le déclenchement et la variabilité de ces différents types de systèmes nuageux. D'où l'intérêt d'utiliser des modèles climatiques régionaux avec une meilleure caractérisation des états de surface comme envisagé dans le présent projet de thèse [9,10]. La prévisibilité de la variabilité de la nébulosité et de celle du rayonnement solaire en surface restent un défi pour le développement de l'énergie solaire, en saison sèche comme en saison des pluies [11, 12, 13].

Dans cette perspective, il s'agit de partir des classifications de nuages par satellites développées l'IPSL pour (i) documenter à partir des ré-analyses atmosphériques, l'environnement synoptique associé aux différents systèmes nuageux rencontrés en zone Sub-Sahélienne; (ii) ensuite, il s'agit d'exploiter les simulations haute résolution du modèle régional couplé WRF-NEMO pour évaluer la capacité du modèle à reproduire l'environnement de ces différents types de systèmes nuageux et émettre des hypothèses sur les facteurs de l'atmosphère et des conditions de surface associés à leur occurrence en zone Sub-Sahélienne et enfin, (iii) utiliser le modèle MAR de l'IGE pour tester ces hypothèses par des études de sensibilité aux conditions de surface et aux gradients océan-continent. A chaque étape, on s'intéressera aux variations du bilan radiatif et particulièrement, au rayonnement solaire en surface dans le modèle.

Profil et compétences recherchées

Le candidat devra être titulaire d'un Master 2 et présenter les qualités suivantes :

- Connaissances en hydrométéorologie et en physique de l'atmosphère ;
- Solides connaissances en statistiques ;
- Intérêt et aisance dans le calcul numérique et la manipulation de fichiers numériques ;
- Attrait pour l'Afrique de l'Ouest ;
- Curiosité et intérêt de travailler sur un sujet à l'interface climat-société et la vulnérabilité aux changements climatiques ;
- Maîtrise de l'anglais recommandée et qualité rédactionnelle pour la diffusion des résultats ;
- Autonomie et goût du travail en équipe.



Understanding of the regional climate variability in connection with solar energy resources in Subsahelian zone of West Africa.

Keys words – Regional climate processes – Energetic transition – West Africa

Supervision : Sandrine Anquetin – Arona Diedhiou

Since Paris agreement in 2015, projects dealing with solar energy and its implementation in Africa have shown great interest by the States and many industrials. Nevertheless, sub-Sahelian regions along the Guinea Gulf present some drawbacks associated with cloud cover and crustal dust, which strongly decrease the production of solar energy when present. Very few studies addressed this important issue, essential for any feasibility study of solar energy production system in this region [1, 2, 3, 4].

In contrast to the Sahel region, for which long term observations, crowned by the International program AMMA, helped to better understand the convection in this region, in the sub-Sahel, no more observations since COPT in 1981 (Northern part of Ivory Coast in Korhogo) have been dedicated to the variability of the convection and the cloud system understanding. Therefore, today, open key questions arise when dealing with the variability of nebulosity associated with cloud cover.

In general, cloud systems remain poorly studied in West Africa, instead during rainy seasons. During the wet season, in the sub-Sahel, the meteorology is more complex than in the Sahel, where 80% of the rain is explained by mesoscale convective systems advected from East to West. The sub-Sahel experiences alternatively i) low layers clouds associated with moisture flux coming from the Guinea Gulf, ii) deep convective systems advected from East to West and iii) local convection associated with the state of the continental surface.

Part of these three different cloud systems mainly drives the nebulosity variability and remains unknown in the sub-Sahel. Classifications of the cloud cover retrieved by satellite exist [5] but need now to be crosschecked with soundings in order to provide a full documented climatology. Moreover, atmospheric drivers associated with their life cycle and their occurrence need also to be better understood, as well as their associated surface solar radiation [6, 7].

Global Circulation Model (GCM) poorly reproduce cloud systems in this region, in particular, the low layer convective systems [8]. This miss-catch is usually explained by the difficulty to properly reproduce the processes of the atmospheric boundary layer above the ocean and the continental surface as well as the land-ocean flux gradients that drive the triggering and the variability of the cloud systems. Regional climate model may therefore be the solution since the surface-atmosphere interactions are better characterized [9, 10]. Predictability of the cloud cover variability as well as the surface solar radiation remain a main issue for any feasibility study concerning solar energy during either dry and wet seasons [11, 12, 13].

Within this context, and starting from the cloud classifications provided by IPSL, the proposed PhD work will aim at i) characterizing the synoptic environment associated with each of the cloud systems present in the sub-Sahel; the re-analyses will be used for this purpose; ii) analyzing the WRF-NEMO regional climate model outputs, provided by IPSL, to evaluate the capacity of the model to reproduce such cloud systems; if yes, the main atmospheric drivers and state of the surfaces associated with these cloud systems will be hypothesized; iii) using the MAR regional climate model of IGE to test these hypothesis and providing sensitive studies on the surface state conditions and the ocean-continent gradient. At each step, specific attention will be dedicated to the radiation budget and the surface solar radiation estimated by the model.

Profile

Candidate must have a Master degree and should present the following skills :

- Background in hydrometeorology and atmospheric physics;
- Strong skills in statistics;
- Interest for interdisciplinary research at the interface between climate and society and vulnerability face to climate change;
- Interest and good skills in numerical works and ease in the use of numerous numeric files;
- Interest for West Africa context;
- Good writing and oral skills in English;
- Interest for collaborative work and skills in self-organization.

Contexte

Cette thèse sera menée au sein de l'équipe Hydrométéorologie, Climat et Interactions avec les Sociétés (HMCIS) de l'Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) de Grenoble. Elle bénéficiera de l'expertise complémentaire des deux encadrants, Sandrine Anquetin, Hydroclimatologue, Physicienne de l'Atmosphère, et Arona Diedhiou, Climatologue, spécialiste du climat régional en Afrique de l'Ouest. Ce projet de thèse s'inscrit dans le cadre de deux initiatives portées par l'équipe.

La première concerne la coordination de la plateforme de modélisation dans le cadre du programme international CORDEX-2, Flagship Pilot Studies, où il s'agit de coordonner les simulations climatiques régionales conduites par les partenaires internationaux en interaction étroite avec les partenaires ivoiriens pour mener des études sur l'évolution de la ressource en eau en Afrique de l'Ouest. Ce travail est mené conjointement par Arona Diedhiou, actuellement en expatriation en Côte d'Ivoire et Sandrine Anquetin, qui bénéficiera d'une mission longue durée à Abidjan en 2017.

La deuxième concerne le projet ERACSES, projet Européen actuellement en cours d'évaluation et coordonnée par Arona Diedhiou. Ce projet vise à mettre en place différents services climatiques pour aider au développement des énergies renouvelables intermittentes en Afrique de l'Ouest (aspects prospectifs pour l'aide au dimensionnement des mixes énergétiques pour différentes configurations de systèmes électriques (grille, mini-grilles, systèmes autonomes hors grilles) ainsi qu'à leur intégration dans le système électrique actuel (aspects opérationnels de prévision et aide à la gestion des ressources hydroélectriques impactées par le développement à venir du solaire et de l'éolien).

En Côte d'Ivoire, cette thèse rentre dans les priorités du Centre d'Excellence « Changements Climatiques, Biodiversité et Agriculture Durable » de l'Université Félix Houphouët Boigny (UFHB) financé par la Banque Mondiale et où l'IGE et le LAPA-MF (Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de Mécanique des Fluides ; UFHB) envisagent dès cette année 2017 de monter une Jeune Equipe Associée à l'IRD sur le thème des services climatiques pour différents secteurs dont celui de l'énergie.

En France, cette thèse menée en étroite collaboration avec l'IPSL (pour les aspects classification des nuages) contribue aux objectifs stratégiques de l'IRD sur les Services Climatiques.

Références bibliographiques

- [1] Patt, A., Pfenninger, S., & Lilliestam, J. (2013). Vulnerability of solar energy infrastructure and output to climate change. *Climatic change*, 121(1), 93-102.
- [2] Ohunakin, O. S., Adaramola, M. S., Oyewola, O. M., Matthew, O. J., & Fagbenle, R. O. (2015). The effect of climate change on solar radiation in Nigeria. *Solar Energy*, 116, 272-286.
- [3] Wild, M., Folini, D., Henschel, F., Fischer, N., & Müller, B. (2015). Projections of long-term changes in solar radiation based on CMIP5 climate models and their influence on energy yields of photovoltaic systems. *Solar Energy*, 116, 12-24.
- [4] Dajuma, A., Yahaya, S., Touré, S., Diedhiou, A., Adamou, R., Konaré, A., ... & Golba, M. (2016). Sensitivity of Solar Photovoltaic Panel Efficiency to Weather and Dust over West Africa: Comparative Experimental Study between Niamey (Niger) and Abidjan (Côte d'Ivoire). *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 5(04), 123.
- [5] Hill, P. G., Allan, R. P., Chiu, J. C., & Stein, T. H. (2016). A multisatellite climatology of clouds, radiation, and precipitation in southern West Africa and comparison to climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(18).
- [6] Kasten, F., & Czeplak, G. (1980). Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud. *Solar energy*, 24(2), 177-189.
- [7] Dave, J. V., & Braslau, N. (1975). Effect of cloudiness on the transfer of solar energy through realistic model atmospheres. *Journal of Applied Meteorology*, 14(3), 388-395.
- [8] Hannak, L., Knippertz, P., Fink, A. H., Kniffka, A., & Pante, G. (2016). Why Do Global Climate Models Struggle to Represent Low-Level Clouds in the West African Summer Monsoon? *Journal of Climate*, (2016).
- [9] Klutse, N. A. B., Sylla, M. B., Diallo, I., Sarr, A., Dosio, A., Diedhiou, A., ... & Owusu, K. (2016). Daily characteristics of West African summer monsoon precipitation in CORDEX simulations. *Theoretical and Applied Climatology*, 123(1-2), 369-386.
- [10] Pohl, B., Ramarohetra, J., Sultan, B., Diedhiou, A., De Coëtlogon, G., Janicot, S., ... & Fontaine, B. (2013, January). Downscaling West African climate: uncertainties, sensitivity to the model physics and regional variability. In *Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère 2013: Modélisation des surfaces continentales & Variabilité et prévisibilité intrasaisonnières*.



- [11] Armstrong, S., & Hurley, W. G. (2010). A new methodology to optimise solar energy extraction under cloudy conditions. *Renewable Energy*, 35(4), 780-787.
- [12] Kosmopoulos, P. G., Kazadzis, S., Lagouvardos, K., Kotroni, V., & Bais, A. (2015). Solar energy prediction and verification using operational model forecasts and ground-based solar measurements. *Energy*, 93, 1918-1930.
- [13] Kazantzidis, A., Nikitidou, E., Salamalikis, V., Tzoumanikas, P., & Zagouras, A. (2017). New challenges in solar energy resource and forecasting in Greece. *International Journal of Sustainable Energy*, 1-8.

Conditions scientifiques matérielles

La thèse sera menée essentiellement à Grenoble au sein de l'Institut des Géosciences de l'Environnement. Des missions à Abidjan sont prévues et ne nécessitent pas de condition de sécurité spécifique.

Candidature / To apply

Envoyer CV + lettre de motivation / send CV + motivation letter to

Sandrine Anquetin : sandrine.anquetin@univ-grenoble-alpes.fr

Arona Diedhiou : aronadiedhiou@univ-grenoble-alpes.fr