

Étude du contenu spectral du rayonnement solaire au sol en conditions réelles : mesures sol, développement d'un outil de simulation dédié, premiers résultats et perspectives.

C. Wulles¹, N. Ferlay¹, T. Elias², M. Compiègne²

¹ Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA), UMR 8518, Université de Lille, CNRS, 59000 Lille

² HYGEOS, Euratechnologies, 59000 Lille

Le photovoltaïque (PV) occupe une part croissante de la production d'électricité en France (Baromètre-2024). Dans ce contexte, une estimation précise et dynamique du productible des installations, en injection sur le réseau électrique ou couplées à des systèmes de stockage, est un enjeu majeur [1–3], reposant principalement sur une bonne connaissance de la ressource solaire et du rendement des systèmes photovoltaïques. Plusieurs modèles permettent de prévoir à divers horizons temporels à la fois le contenu de l'atmosphère et le rayonnement solaire associé [4]. Toutefois, l'information du contenu spectral du rayonnement solaire au sol est rarement disponible ni exploitée pour l'estimation du productible PV [1], ce qui peut introduire des erreurs non négligeables [5]. Il apparaît donc essentiel de disposer d'une connaissance fine de ce dernier afin de pouvoir prendre en compte l'impact des réponses spectrales non constantes des cellules PV, ainsi que de leurs variations avec la température ou encore le niveau d'injection optique [6].

Le travail mené à bien ici vise ainsi à développer, en collaboration avec l'entreprise HYGEOS, un outil de simulation du rayonnement solaire au sol adaptable à diverses applications PV (centrales solaires, agrivoltaïsme). En particulier, il aura pour fonctionnalité de coupler ces simulations à des modèles de réponses spectrales pour différentes technologies PV. Cet outil se base sur le code de résolution de l'équation du transfert radiatif ARTDECO (*Atmospheric Radiative Transfer Database for Earth Climate Observation*) développé par le LOA et HYGEOS [7] et appliqué au rayonnement solaire [8]. Il est capable d'intégrer en entrée des données atmosphériques issues de diverses sources (AERONET, CAMS, ERA5, MERRA2,...), rendant l'estimation possible pour une grande diversité de zones géographiques et d'instantanés. Ce travail de développement est couplé à des mesures réalisées sur la plateforme ATOLL (ATmospheric Observatory in LiLle), équipée notamment d'un spectromètre capable de mesurer le contenu spectral du rayonnement incident entre 300 nm et 1100 nm à une résolution d'environ 5 nm, et de celui de ses composantes directe et diffuse.

Les premiers résultats montrent une bonne capacité du code à reproduire le rayonnement au sol en conditions de ciel clair (*clear sky*), et donc à évaluer les effets radiatifs des aérosols et des couvertures nuageuses. Ce travail s'intéressera également en particulier au contenu spectral du rayonnement solaire en situations dites de « surbrillance », fréquemment rencontrées sous nos climats lorsque le soleil est dégagé et que le ciel est parsemé de nuages diffusant le rayonnement solaire. Il apparaît particulièrement intéressant de voir comment le productible PV se retrouve impacté par ces situations à diverses échelles de temps. Ce travail ouvre de nombreuses perspectives quant à l'estimation du productible PV en conditions réelles et offre une réflexion sur la possible adaptation des technologies PV à diverses climatologies (nuages, aérosols, gaz..).

Références :

- [1] K.H. Lam, T.M. Lai, W.C. Lo, W.M. To, *Energy* 46 (2012) 264–274.
- [2] R. Perez, E. Lorenz, S. Pelland, M. Beauharnois, G. Van Knowe, K. Hemker, D. Heinemann, J. Remund, S.C. Müller, W. Trauttmüller, G. Steinmayer, D. Pozo, J.A. Ruiz-Arias, V. Lara-Fanego, L. Ramirez-Santigosa, M. Gaston-Romero, L.M. Pomares, *Solar Energy* 94 (2013) 305–326.
- [3] D. Heinemann, E. Lorenz, M. Girodo, (2006).
- [4] S.E. Haupt, B. Kosovic, T. Jensen, J. Lee, P. Jimenez Munoz, J. Lazo, J. Cowie, T. McCandless, J. Pearson, G. Wiener, S. Alessandrini, L. Delle Monache, D. Yu, Z. Peng, D. Huang, J. Heiser, S. Yoo, P. Kalb, S. Miller, M. Rogers, L. Hinkelman, *The Sun4Cast® Solar Power Forecasting System: The Result of the Public-Private-Academic Partnership to Advance Solar Power Forecasting*, UCAR/NCAR, 2016.
- [5] N. Lindsay, Q. Libois, J. Badosa, A. Migan-Dubois, V. Bourdin, *Solar Energy* 197 (2020) 266–278.
- [6] J. Schmidt, *Applied Physics Letters* 82 (2003) 2178–2180.
- [7] L. Miladi, P. Dubuisson, M. Compiègne, L. Labonnote, (n.d.).
- [8] G. Chesnoiu, N. Ferlay, I. Chiapello, F. Auriol, D. Catalfamo, M. Compiègne, T. Elias, I. Jankowiak, *Atmos. Chem. Phys.* 24 (2024) 12375–12407.