

Méthodologie de prévision du rayonnement solaire

Kamel Abdeladim *, Abdelhak Razagui, Smail Semaoui, Salim Bouchakour,
Amar Hadj Arab et Saliha Boulahchiche

Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 62, Route de l'observatoire, 16340 Bouzaréah, Alger, Algérie

(reçu le 25 Septembre 2017 - accepté le 30 Septembre 2017)

Résumé - L'objectif de cette étude est de présenter une méthodologie permettant la prévision de la radiation solaire. Cette donnée servira comme donnée d'entrée pour la prévision de la puissance électrique produite par un générateur photovoltaïque à courte échéance (72 heures dans notre cas). Le fait d'obtenir cette information, nous permettra de faciliter la gestion du réseau. Afin d'y parvenir, des modèles de prévision numériques du temps à courte échéance ont été utilisés afin de prévoir les profils verticaux de l'atmosphère en l'occurrence le model 'WRF' {Weather Research and Forecasting}. Ces données serviront également comme données d'entrée pour le modèle de transfert radiatif 'libRadtran', nécessaires pour déterminer les composantes de l'éclairement solaire par ciel quelconque (direct, diffuse et globale). Les valeurs de l'éclairement solaire seront obtenues sur des points de Grid (mailles).

Abstract - The main objective of this study is to present a methodology dedicated for solar radiation prediction, this data will serve as an input for the prediction of the power produced by a short-term photovoltaic generator (72 hours in our case). Obtaining this information will allow to facilitate controlling the network. In order to accomplish this task, short-term numerical weather prediction models have been used to predict the vertical profiles of the atmosphere in our case the 'WRF' {Weather Research and Forecasting} model will be considered. These data serve as input data for the radiative transfer model 'libRadtran', to determine the components of any sky solar radiation (direct, diffuse and global). The values of the irradiation will be obtained grid format.

Mots clés: Prévision - Modèle 'LibRadtran' - Modèle météorologique - éclairement solaire.

1. INTRODUCTION

Afin de mieux permettre aux gestionnaires d'énergie de procéder à une distribution qui répond à la demande des consommateurs, il est incontournable d'aller vers la prévision de la production d'énergie.

Ceci est aussi motivé par une politique d'aller dans le futur vers les réseaux intelligents. Ces derniers se basent sur la prévision de la production d'énergie, car elle leur sert comme un outil déterminant pour les opérateurs dans leur gestion de l'énergie.

Par ailleurs, la production d'énergie électrique par un système photovoltaïque est dépendante de nombreux facteurs, dont: l'éclairement solaire, l'inclinaison des panneaux, leur technologie, ainsi que la température qui influe sur la production.

Néanmoins, le rayonnement solaire reçu reste le facteur principal de variation. Aussi, la prévision de la puissance électrique développée par un générateur photovoltaïque permet d'évaluer la quantité d'électricité produite par cette installation. L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie dite intermittente, sa disponibilité varie fortement, l'autre défi est que cette énergie ne peut être stockée.

Afin d'y remédier, prédire cette énergie reste une solution attrayante, dans la mesure où elle permet de prévenir le problème de l'offre et la demande des différents

* k.abdeladim@cder.dz

consommateurs et donc faciliter la gestion du réseau. La prévision de l'irradiation solaire sous-entend le besoin futur d'une étape de conversion entre le rayonnement solaire reçu par les panneaux et la production en sortie en fonction des spécificités des panneaux installés.

Cette approche de l'irradiation solaire est un domaine de recherche très actif ces dernières années en particulier dans la thématique du solaire photovoltaïque. De ce fait, cette contribution a pour but de quantifier la radiation solaire sur différents plans d'inclinaison prévue sur une échéance allant jusqu'à 72 heures.

Afin d'y parvenir, des modèles de prévision numériques du temps à courte échéance ont été utilisés afin de prévoir les profils verticaux de l'atmosphère en l'occurrence le modèle 'WRF', {Weather Research and Forecasting}.

Ces données servent comme des données d'entrée pour le modèle de transfert radiatif, {libRadtran}. Ce dernier va nous permettre de déterminer les composantes de la radiation solaire par ciel quelconque (directe, diffuse et globale). Les valeurs de l'irradiation seront obtenues sur des points de Grid (mailles).

Les cartes de gisement et par suite des puissances électriques prévues serviront comme outil d'aide à la décision pour la gestion d'un réseau électrique.

2. METHODOLOGIE UTILISEE POUR LA PREVISION

2.1 Le modèle WRF

Le modèle 'WRF' {Weather research and forecasting}, est un modèle dédié à la recherche et l'exploitation opérationnelle [1]. Il est le fruit de collaboration entre plusieurs entités américaines à savoir, le NCAR, la NOAA, le NCEP et autres.

C'est donc un modèle à aire limitée non hydrostatique, ce qui lui permet de résoudre analytiquement grâce à une fine résolution horizontale jusqu'à un km, les équations associées à la convection profonde comme les orages.

Il est utilisé par une centaine de pays comme modèle de prévision opérationnel à travers le monde. Il est à noter que le 'WRF' est téléchargeable sur le site du NCEP [2]. Comme exemple, le paramètre de l'éclairement solaire direct prévu par le modèle est représenté sur la figure 1.

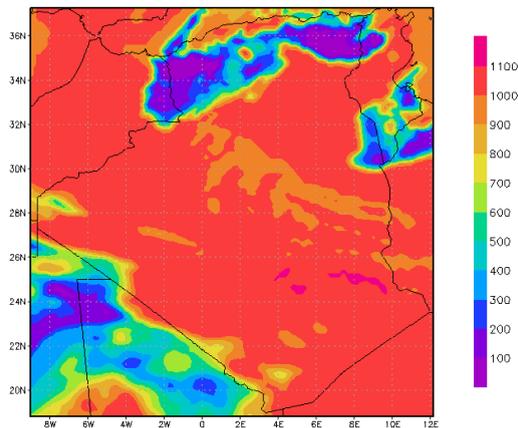


Fig. 1: Carte de l'éclairement solaire direct (W/m^2)
Prévision - (26/12/17 à 10h30 GMT)

2.2 Le modèle libRadtran

Le modèle 'libRadtran' est un modèle de transfert radiatif, développé principalement par Mayer *et al.* [2, 3]. Il est téléchargeable gratuitement. C'est un modèle spectral pour le calcul des différentes radiations solaire et permet aussi la simulation images visible et infrarouge des plusieurs types de satellite. Plusieurs auteurs ont déjà utilisé ce modèle [4, 5].

2.3 Modélisation

Pour l'exécution du modèle 'WRF', les conditions initiales et les conditions aux bords sont téléchargées chaque jour tôt le matin du site NCEP en format 'grib' grâce à une tâche planifiée (crontab).

La première étape (pre processing) consiste à préparer les conditions initiales et aux bords sur le domaine d'intégration défini au préalable.

Dans la seconde phase, on lance le modèle 'WRF' (version NMM) pour l'intégration dans le temps des conditions météorologiques. Les échéances de prévisions peuvent être définies, selon le besoin voulu comme par exemple (03 06 09 ... 72 h).

L'étape finale (post processing) consiste à sortir les champs obligatoires définis au préalable qui serviront comme input au modèle radiatif 'libRadtran'.

Ces paramètres utilisés en input jouent un rôle fondamental dans la diffusion, l'absorption et la réflexion de la radiation solaire dans une direction bien déterminée en parcourant les différents niveaux de l'atmosphère. Les paramètres obligatoires sont:

- Le profil vertical d'humidité (g/m^3)
- Le profil vertical de la température (K)
- Le profil vertical de l'eau liquide du nuage en g/m^3 (LCW)
- Le profil vertical de l'eau de glace de nuage g/m^3 (ICW)
- Le profil vertical de la couverture nuageuse (sans unité).

Des exemples de profil vertical sont présentés sur les figures ci-dessous pour le domaine algérien, les paramètres concernent le contenu en glace dans l'atmosphère à la 500 mb (figure 2), le contenu en eau dans l'atmosphère à la 850 mb (figure 3), la température à la surface (figure 4), ainsi que l'humidité à la 850 mb (figure 5).

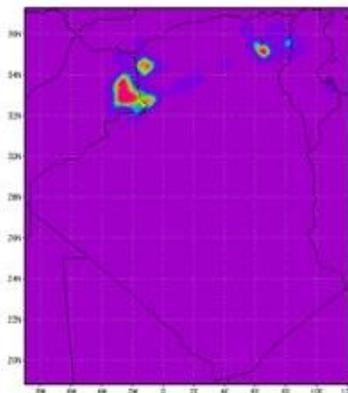


Fig. 2: Contenu en glace (kg/kg)
niveau 500 mb

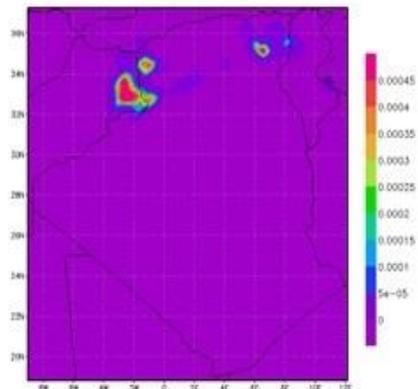


Fig. 3: Contenu en eau (kg/kg)
niveau 850 mb

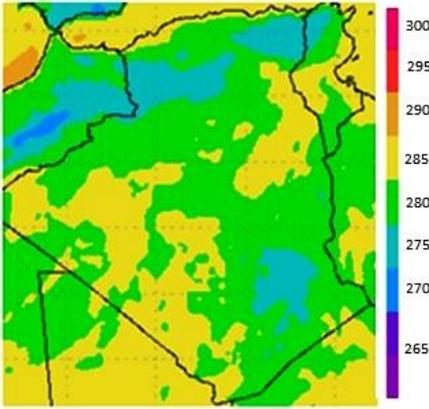


Fig. 4: Température à la surface (K)

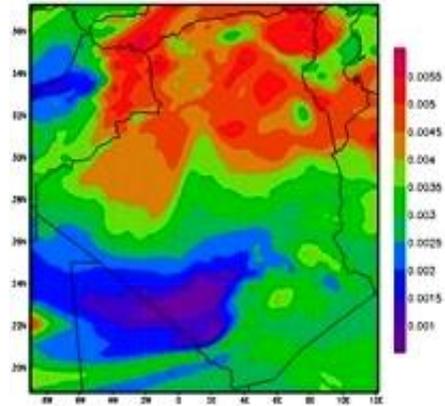


Fig. 5: Humidité (kg/kg), niveau 850 mb

Pour les autres constituants atmosphériques, on prend la climatologie.

D'autres algorithmes ont été développés pour le calcul des rayons effectifs des gouttelettes d'eau dans un nuage, ainsi que des cristaux de glaces. Les irradiances solaires ainsi prévues peuvent être calculées pour toutes les directions et tous les plans d'inclinaison.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

le modèle 'libRadtran' donne l'éclairement solaire global sur une surface horizontale, et les éclairements diffus et direct. Un autre programme développé permet de calculer l'éclairement solaire sur différents plans d'inclinaisons et différentes orientations. Sur les figures ci-dessous, sont données les cartes de l'éclairement global sur plan horizontal (figure 6) et sur plan incliné à la latitude du lieu à 10 h 30 GMT (figure 7).

Comme on peut le constater, il y a un déplacement des iso fortes irradiances solaires vers le Nord du pays à midi pour les plans inclinés à la latitude du lieu.

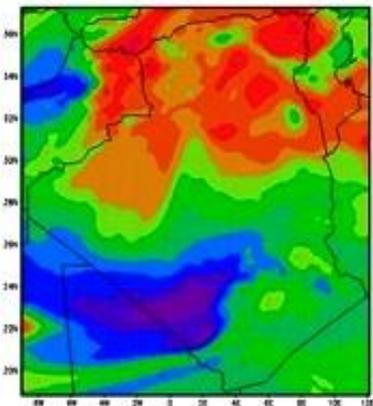


Fig. 6: Carte de l'éclairement global sur plan horizontal (W/m²)
Prévision - (25/12/17 à 10h30 GMT)

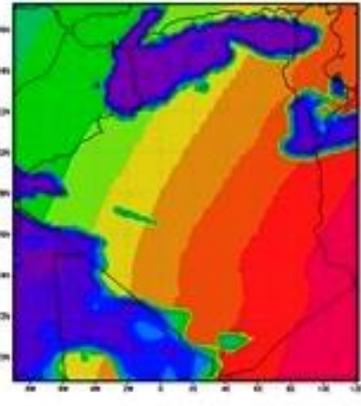


Fig. 7: Carte de l'éclairement global sur plan incliné, latitude du lieu (W/m²)
Prévision - (25/12/17 à 10h30 GMT)

Concernant les composantes du rayonnement direct et du rayonnement diffus, celles-ci sont montrées respectivement sur les figures 8 et 9. On remarque que les valeurs de l'éclairement direct augmentent en allant vers le Sud, et concernant le diffus, celles-ci sont moins importantes au Sud, ceci est due à l'état du ciel.

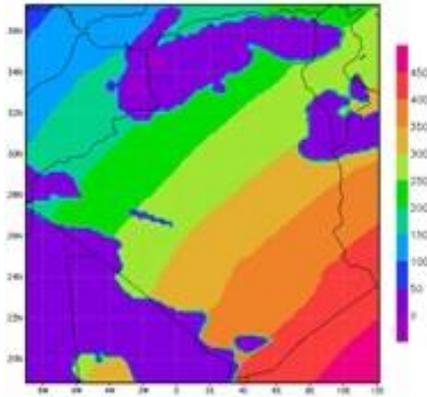


Fig. 8: Carte de l'éclairement direct (W/m^2)
Prévision - (25/12/17 à 10h30 GMT)

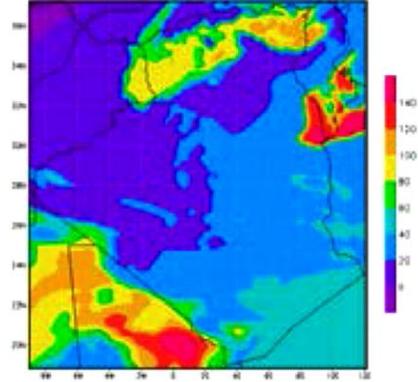


Fig. 9: Carte de l'éclairement diffus (W/m^2)
Prévision - (25/12/17 à 10h30 GMT)

4. CONCLUSION

Cette étude se veut être une contribution afin de déterminer la valeur du rayonnement prévue sur une courte échéance. Par ailleurs, les phases qui ont été accomplies jusqu'à présent sont les suivantes:

- Installation et compilation d'une chaîne de prévision numérique complète sous linux avec téléchargement quotidien des conditions initiales pre-processing, forecast et post-processing à l'aide du modèle 'WRF'.
- Installation et compilation sous linux du modèle de transfert radiatif 'libRadtran'.

Des cartes d'éclairement prévues à courte échéance, sur différents plans ont été produites également.

Néanmoins, il est incontournable de procéder à la confrontation de ces résultats expérimentaux sur des données réelles. Ce travail fera l'objet de la prochaine étape avec l'utilisation de ces irradiances pour prévoir la production électrique d'un générateur photovoltaïque.

REFERENCES

- [1] W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X-Y. Huang, W. Wang and J.G. Powers, 'A Description of the Advanced Research WRF, Version 3', NCAR/Technical note -475+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, 2008.
- [2] <http://www.ncep.noaa.gov>.
- [3] <http://www.libradtran.org>.

- [4] B. Mayer and A. Kylling, '*Technical Note: The LibRadtran Software Package for Radiative Transfer Calculations - Description and Examples of Use*', Atmospheric Chemistry and Physics, Vol. 5, N°5, pp. 1855 – 1877, 2005.
- [5] M.A. Obregón, A. Serrano, M.J. Costa and A.M. Silva, '*Validation of LibRadtran and SBDART Models under Different Aerosol Conditions*', IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 28, Conference 1, 2010.
- [6] A. Oumbe, Ph. Blanc, M. Schroedter-Homscheidt and L. Wald, '*Solar Surface Irradiance from New Meteorological Satellite Data*', In Proceedings of the 29th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories, Chania, Greece, 15-18 June 2009. I. Manakos and C. Kalaitzidis (Eds.), Published by IOS Press.
- [7] R.D. García, E. Cuevas, V.E. Cachorro, R. Ramos and Á.M. de Frutos, '*Comparison Between Measurements and Model Simulations of Solar Radiation at a High Altitude Site: Case Studies for the Izana BSRN Station*', AIP Conference Proceedings, Vol. 1531, N°1, pp. 864 - 867, 2013.
- [8] A. Razagui, 'Rapport Interne', CDER, 2017.
- [9] K. Abdeladim, 'Rapport Interne', CDER, 2017.