



O.I.E.

Centre Observation, Impacts, Energie

Offre de stage (*Training period opportunity*)

Titre court : (Short title)	Variabilité spatio-temporelle de la production PV (Titre court = nom du fichier, en anglais)
Sujet : (Subject)	Analyse de la variabilité spatio-temporelle de la production photovoltaïque et de son estimation par Heliclim-3 (Analysis of the spatio-temporal variability of PV production and its estimate Heliclim -3)
Mots-clés : (Key-words)	(Variabilité, Production électrique, spatial-temporelle, photovoltaïque) (Mots-clés en anglais)
Catégorie d'emploi : (Type of contract)	Etudiant stagiaire (Internship)
Dates et durée : (Duration)	6 months
Niveau et pré-requis : (Degrees & Profile)	Bac + 5
Lieu de travail : (Location)	Laboratoire d'accueil : Centre « Observation, Impacts, Energie » (O.I.E.) MINES ParisTech – ARMINES Département Energétique et Procédés SOPHIA ANTIPOLIS (06 - France) http://www.oie.mines-paristech.fr/
Cadre de travail : (Entity overview)	<p>Le Centre Observation, Impacts, Energie (O.I.E.) est une équipe de recherche commune MINES ParisTech/ARMINES, dont l'objet scientifique traite de l'énergie. Sa caractéristique est d'aborder les aspects temporels et spatiaux (<i>i.e.</i> géographiques) des questions posées sur les ressources en énergie renouvelable et les impacts environnementaux de la production et des usages de l'énergie.</p> <p>MINES ParisTech forme depuis sa création en 1783 des ingénieurs et des scientifiques de très haut niveau. Chargée originellement de la formation des ingénieurs civils des Mines de Paris et des Corps techniques de l'Etat, l'Ecole a développé depuis les années soixante des activités de recherche et d'enseignement de troisième cycle (mastères spécialisés, doctorat), en liaison avec l'industrie et des académiques internationaux.</p> <p>MINES ParisTech est membre fondateur de ParisTech et du PRES Paris Sciences et Lettres (PSL Research University).</p> <p>ARMINES est la première association de recherche contractuelle en France, créée en 1967 à l'initiative de l'Ecole des mines de Paris. Elle a pour objet la recherche partenariale orientée vers l'industrie.</p> <p>MINES ParisTech et ARMINES portent le label Institut Carnot depuis 2006.</p>
Mission : (Missions)	Contexte (Context) : La production photovoltaïque (PV), par nature fluctuante, soulève des difficultés de gestion aux opérateurs des systèmes et de réseaux électriques. Cette situation devient critique lorsqu'un niveau de pénétration élevé est atteint. A court terme, ceci pourrait être le cas dans les réseaux îliens ou les réseaux de basse tension (micro réseaux). Pour répondre à ce problème de l'intégration dans le réseau de distribution d'électricité, la prévision du rayonnement solaire et/ou de la production de la centrale doit être faite à plusieurs échelles de temps comprenant le moyen terme (saisonnier), le court terme (de quelques jours à quelques heures) et le très court terme (de la demi-heure à quelques minutes). La prédiction de la production PV à un horizon de quelques minutes contribue à l'amélioration de la gestion des centrales PV et à leur intégration optimale dans le réseau électrique.

Objectifs - Travaux à mener (Objectives) :

La caractérisation des échelles et des corrélations spatio-temporelles de la variabilité spatio-temporelle de la production PV sont un préalable pour déterminer les algorithmes de prévision et en comprendre les performances et les limites.

La méthode Heliosat-2 à l'origine de la base de données HelioClim-3 (Blanc *et al.*, 2011) permet une estimation de l'irradiation solaire incidente au sol par analyse, toutes les 15 min, des images visibles à 3 km de résolution au *nadir* issues du capteur SEVIRI du satellite *Meteosat Second Generation* (MSG). L'objet de ce stage est d'analyser, notamment par l'utilisation de variogramme et d'interpolation par krigeage (Baillargeon, 2005 ; Cressie, 1990), la capacité de cette méthode Heliosat-2 à caractériser, malgré ses incertitudes et ses limitations en échelles spatiales et temporelles, les variabilités spatio-temporelles de la production PV.

Cette action de recherche comprendra tout d'abord une étude des données de production de plusieurs fermes PV pour une analyse deux à deux de la variabilité spatiale et temporelle. Ces analyses de la production permettront de quantifier le lien entre la variabilité spatio-temporelle observée de la production et celle issue de l'estimation de la ressource connue à des échelles spatiales et temporelles plus grandes obtenues par des méthodes d'estimation du rayonnement solaire par satellite comme la méthode Heliosat-2 à l'origine de la base de données HelioClim-3.

Plan de travail

La zone d'intérêt pour le stage sera la région de Vendée pour laquelle des données *in-situ* provenant de stations de mesure pyranométrique et de production de centrale PV seront fournis par EDF R&D. Les données issues de la base de données HelioClim-3 et de modélisation du rayonnement solaire par ciel clair issues de McClear (Lefèvre *et al.*, 2013 ; Qu, 2013) seront fournies par MINES ParisTech sur la zone d'intérêt.

La première phase du stage consistera en l'analyse des erreurs d'estimation de HelioClim-3 corrigé par McClear (noté HC3-MC). Cette analyse d'erreur se fera selon plusieurs axes :

- Estimation des erreurs intra-pixel de HC3-MC par analyse au voisinage de 0 du variogramme spatiale des estimations HC3-MC ;
- Analyse des erreurs de HC3-MC saisonnières par analyse de Fourier (densité spectrale de puissance) ;
- Analyse des erreurs désaisonnalisées de HC3-MC par caractérisation de leurs variogrammes spatio-temporels ;
- Analyse des erreurs d'estimation de variogrammes spatio-temporels expérimentaux et modélisés établis par HC3-MC comparées aux variogrammes spatio-temporels expérimentaux estimés sur la base d'analyse par couple de données *in-situ*.

Une fois mieux appréhendée la capacité de HC3-MC à caractériser la variabilité spatio-temporelle de la ressource solaire sur la région, la deuxième phase consistera à exploiter les variogrammes spatio-temporels expérimentaux estimés. On proposera ainsi une modélisation analytique de variogramme spatio-temporel sur laquelle s'appuieront des moyens d'interpolation par krigeage.

Ces modélisations par krigeage de la variabilité spatiale et temporelle permettront alors d'appréhender la prévisibilité de la ressource solaire dans l'espace et le temps.

Enfin, en fonction du degré d'avancement du stage, des méthodes de prévision seront testées et leurs performances comparées au niveau de prévisibilité établis. Ces méthodes seront par exemple de type persistance de l'indice de ciel clair, AR temporel ou même AR spatio-temporel (Dambreville *et al.*, 2014). Les capacités de prévision par krigeage comme ceux proposées par Yang *et al.* (2013) seront aussi analysées.

Références

Baillargeon, S. *Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitation*; 2005; p. 137.

Blanc, P.; Gschwind, B.; Lefèvre, M.; Wald, L. The HelioClim Project: Surface Solar Irradiance Data for Climate Applications. *Remote Sens.* 2011, 3, 343–361.

Cressie, N. The origins of kriging. *Math. Geol.* 1990, 22, 239–252.

Dambreville, R.; Blanc, P.; Chanussot, J.; Boldo, D. Very short term forecasting of the Global Horizontal Irradiance using a Spatio-temporal Autoregressive Model, Submitted to *Renew. Energy* 2014 (under review), 11 pp.

Lefèvre, M.; Oumbe, A.; Blanc, P.; Espinar, B.; Gschwind, B.; Qu, Z.; Wald, L.; Schroedter-Homscheidt, M.; Hoyer-Klick, C.; Arola, A.; *et al.* McClear: a new model estimating downwelling solar radiation at ground level in clear-sky conditions. *Atmos. Meas. Tech.* 2013, 6, 2403–2418.

Qu, Z. La nouvelle méthode Heliosat-4 pour l'évaluation du rayonnement solaire au sol, MINES ParisTech, 2013, p. 213.

Yang, D.; Gu, C.; Dong, Z.; Jirutitijaroen, P.; Chen, N.; Walsh, W. M. Solar irradiance forecasting using spatial-temporal covariance structures and time-forward kriging. *Renew. Energy* 2013, 60, 235–245.

Photovoltaic generation (PV) by fluctuating nature raises difficulties in managing operators of electrical systems and networks. This situation becomes critical when a high level of penetration is reached. In the short term, this could be the case in the islanders networks or networks of low voltage (microarray). To address this problem of integration in the electricity distribution network, forecasting of solar radiation and / or the production of the plant must be done several time scales including the medium-term (seasonal), short term (a few days to a few hours) and very short (half-hour to a few minutes). The prediction of PV production horizon a few minutes helps to improve the management of PV plants and their optimal integration into the grid.

Objectives

Characterization scales and spatio-temporal correlations of the spatio-temporal variability of PV production is a prerequisite for determining the prediction algorithms and understand the performance and limitations.

The method Heliosat-2 causing the database HelioClim-3 (White et al., 2011) provides an estimate of the incident solar radiation on the ground by analysis, every 15 min, visible images 3km resolution at nadir from the SEVIRI sensor satellite Meteosat Second Generation (MSG).

The purpose of this course is to analyze, including the use of variogram and kriging interpolation (Baillargeon, 2005; Cressie, 1990), the ability of this method to characterize Heliosat-2, despite its uncertainties and limitations in spatial and temporal scales, spatial and temporal variability of PV production.

This research will include first and foremost a study of production data from several farms PV for pairwise analysis of spatial and temporal variability. These analyzes production will quantify the relationship between spatial and temporal variability of output and outcome of estimating the known larger spatial and temporal scales obtained by methods of estimating solar radiation resource satellite method such as 2-Heliosat causing database HelioClim-3.

Work Plan

The area of interest for the course will be the Vendée region for which in-situ data from measuring stations pyranométrique and production of PV plant will be supplied by EDF R & D. Data from the database HelioClim-3 and modeling of solar radiation in clear sky from McClear (Lefèvre et al., 2013. Qu, 2013) will be provided by MINES ParisTech on the area of interest.

The first phase of the course will involve the analysis of estimation errors HelioClim-3 corrected by McClear (denoted MC - HC3). This error analysis will be done on several fronts:

§ Estimated intra-pixel analysis by MC - HC3 near 0 the spatial variogram estimates HC3 -MC errors ;

§ Analysis of errors HC3 -MC seasonal Fourier analysis (power spectral density) ;

§ Analysis of seasonally adjusted HC3 -MC by characterizing their spatio-temporal variograms errors ;

§ Analysis of estimation errors spatiotemporal experimental variograms and model established by HC3 -MC compared with spatiotemporal experimental variograms estimated on the basis of analysis by in-situ torque data.

Once better understood the ability of MC - HC3 to characterize the spatio-temporal variability of the solar resource in the region, the second phase will be to exploit the spatio-temporal experimental variograms estimated. We thus propose an analytical modeling of spatio-temporal variogram on which support means by kriging interpolation.

These models by kriging the spatial and temporal variability will be to understand the predictability of the solar resource in space and time.

Finally, depending on the stage of completion of the course, forecasting methods will be tested and compared their performance in terms of foreseeability. These methods will be such persistence index clear sky, time or even AR AR spatiotemporal (Dambreville et al., 2014) category. Forecasting capabilities by kriging as those proposed by Yang et al. (2013) will also be analyzed.

Partenaires et collaborations (Partners and collaborations) :

EDF R&D

Date limite :
(Deadline)

Date limite de dépôt des candidatures :

...

Pour postuler :
(How to apply)

Adresser lettre de motivation et curriculum vitae :

à l'attention de : [Pierre MASSIP](#), Ingénieur de recherche

Centre O.I.E. (Observation, Impacts, Energie)

MINES ParisTech - ARMINES

Rue Claude Daunesse – CS 10207 - F-06904 SOPHIA ANTIPOLIS CEDEX

Tél. : +33 (0)4.93.95.75.75

Contacts :
(Contacts)

Responsable du stage :

[Pierre MASSIP](#), Ingénieur de recherche

Renseignements administratifs :

[Thierry RANCHIN](#), Directeur du Centre O.I.E.

[Magali ROCCA](#), Assistante administrative