



Prévision multi-horizon de la production photovoltaïque

1 Contexte : le projet « Smart Occitania »

Depuis des décennies, l'énergie électrique produite en France par les grandes centrales thermiques (nucléaires ou conventionnelles) et hydrauliques est transportée puis distribuée aux clients, là où elle est consommée. Le stockage de cette énergie étant difficile, il est indispensable d'équilibrer à chaque instant production et consommation. Du fait, d'une part, du développement d'une production décentralisée tirant partie des ressources énergétiques renouvelables (des installations de petite capacité raccordées au réseau à des niveaux de tension peu élevés) et, d'autre part, des nouveaux usages de l'énergie, la mutation du réseau électrique est aujourd'hui devenue nécessaire. Cette mutation doit notamment permettre de renforcer la stabilité du réseau et d'éviter les sous-tensions (nécessitant, notamment, de réduire la consommation) ou les surtensions (résultant d'une trop forte production). Évoluer vers plus d'intelligence dans la conduite locale du réseau électrique doit par ailleurs améliorer la qualité et la fiabilité de la fourniture d'énergie électrique et autoriser une meilleure gestion des pics de consommation (sans renforcement du réseau, ce qui impliquerait de nouvelles infrastructures très coûteuses).

Dans ce contexte, le projet « Smart Occitania », porté par Enedis (anciennement ERDF) et financé par l'ADEME, a pour objet le développement d'un démonstrateur de réseau électrique intelligent en région Occitanie. Ce projet devra améliorer l'observabilité du réseau électrique de distribution Basse Tension (BT), démontrer la faisabilité du concept de réseau intelligent en territoire rural et favoriser la pénétration de la production décentralisée d'énergie électrique.

Un doctorant et un post-doctorant seront recrutés par le laboratoire PROMES (UPR 8521) pour travailler sur le projet. Le doctorant développera des algorithmes « intelligents » pour la conduite prédictive et coordonnée d'un ensemble d'unités de production, de consommation et de stockage de l'énergie électrique. Ces algorithmes permettront une action en temps réel, à l'échelle de la maille BT, pour une planification infra-journalière optimisée des processus d'injection et de soutirage réseau. L'objectif est ici de réguler la tension du réseau BT, de maintenir l'équilibre local entre production et consommation d'énergie électrique et de limiter les phénomènes de refoulement vers le réseau HTA (Haute Tension A). Des modèles de prévision de la production photovoltaïque sont requis, anticiper cette production (vue comme une perturbation) jouant un rôle clé dans la conduite intelligente du réseau BT. Le développement de ces modèles sera confié au post-doctorant.

2 Travaux confiés au post-doctorant

Actuellement, Enedis prévoit la consommation à la maille du poste source HTB/HTA (Haute Tension A / Haute Tension B) grâce à des « mélanges de prédicteurs » et des modèles additifs généralisés (GAM, pour *Generalized Additive Model*). Cette approche, qui produisait des prévisions satisfaisantes, est aujourd'hui prise en défaut du fait de la production décentralisée (i.e. la production d'énergie électrique par des installations de faible capacité raccordées au réseau électrique de distribution à des niveaux de tension peu élevés). Il est en effet très difficile, à partir des données « agrégées » disponibles, de dissocier production et consommation d'énergie électrique. À terme, exploiter les informations fournies par le compteur Linky, dont le déploiement est en cours en région Occitanie, doit permettre de prévoir les consommations des clients. Ces dernières seront agrégées à la maille des postes de transformation HTA/BT, puis du poste source HTB/HTA. Au cours du projet Smart Occitania, PROMES développera des modèles de prévision de léclairement global horizontal (ou GHI, pour *Global Horizontal Irradiance*), à des fins de prévision de la production photovoltaïque locale (la zone « couverte » par un poste de transformation HTA/BT est d'environ 1 km²). Différents horizons de prévision seront considérés :

- de 0 à 15 min avec un pas de 5 min) ;
- de 15 min à 3 h, avec un pas de 30 min, qui sera, à terme, ramené à 10 min) ;
- de 3 h à 24 h, avec un pas de 30 min, qui sera, à terme, ramené à 10 min).

Compte tenu de la diversité des horizons de prévision, différentes approches pourront être envisagées et, si nécessaire, combinées : l'imagerie par caméra au sol, l'imagerie par satellite, la modélisation numérique et la prévision de séries temporelles.

- L'imagerie par caméra au sol est adaptée à la prévision à très court terme (infra-horaire) du GHI. Compte tenu de l'étendue de la zone à couvrir, utiliser une seule caméra à grand angle de champ (par poste de transformation HTA/BT) pourrait s'avérer suffisant. Il est important de rappeler qu'un tel système de vision, capable de générer des images du ciel à haute dynamique, a été mis au point par l'équipe « COmmande des SystèMes, Instrumentation, Caractérisation » (COSMIC) du laboratoire PROMES au cours du projet Eurogia 2020 CSPIMP (*Concentrated Solar Power plant efficiency IMProvement*). Des algorithmes pour la prévision infra-horaire de l'éclairement normal direct (ou DNI, pour *Direct Normal Irradiance*) ont été développés [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Par conséquent, le post-doctorant s'appuiera sur les résultats obtenus et proposera des algorithmes pour la prévision infra-horaire du GHI.
- L'imagerie par satellite est probablement le moyen le plus adapté à la prévision infra-journalière du GHI. En effet, cette approche offre une vision globalisée du mouvement des masses nuageuses. Par ailleurs, pour les horizons de temps les plus lointains, des modèles numériques (ou modèles NWP, pour *Numerical Weather Prediction*) pourront être développés avec l'aide de Météo France, partenaire du projet « Smart Occitania ». Si nécessaire, des modèles statistiques pour la prévision de séries temporelles pourront également être proposés (en ayant recours, notamment, aux outils du traitement du signal et de l'intelligence artificielle).

Enfin, des modèles paramétriques « génériques » liant GHI et production photovoltaïque devront être développés, sans qu'il soit nécessaire de disposer d'informations précises sur ces installations (comme l'orientation des panneaux, leur degré d'obsolescence, etc.). Ces modèles devront pouvoir être recalibrés automatiquement, et régulièrement, afin que soit prise en compte une possible évolution du parc d'installations photovoltaïques raccordées au réseau électrique

BT. Ainsi, avec ces modèles, il sera possible de prévoir la production photovoltaïque à partir du GHI.

3 Informations complémentaires

Laboratoire d'accueil

Le laboratoire « PROcédés, Matériaux et Energie Solaire » (PROMES) est une Unité Propre de Recherche (UPR 8521) du CNRS rattachée à l'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS) et conventionnée avec l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD). PROMES, qui anime le laboratoire d'excellence SOLSTICE (SOLAire : Sciences, Technologies, Innovations pour la Conversion d'Énergie), est tri-localisé : Perpignan (ZAE Tecnosud), Odeillo-Font Romeu (site du grand four solaire) et Targassonne (site de la centrale à tour Thémis). Le laboratoire, qui compte environ 160 personnes, est structuré en huit équipes de recherche (parmi lesquelles l'équipe COSMIC qui accueillera le post-doctorant). Les activités de PROMES traitent de la valorisation de l'énergie, en particulier solaire, et couvrent un large spectre, du nanomatériau jusqu'au réseau d'énergie (thermique/électrique). Elles sont structurées selon deux grands axes thématiques : « Matériaux et conditions extrêmes » et « Conversion, stockage et transport de l'énergie ».

L'équipe COSMIC aborde la prévision de la ressource pour la conduite optimisée des centrales solaires à concentration et photovoltaïques, la gestion intelligente de la production décentralisée, la performance énergétique des bâtiments (qu'ils soient résidentiels ou tertiaires) et la conduite des chaufferies collectives biomasse. Enfin, les activités de COSMIC traitent de la caractérisation de composants et de matériaux pour le développement d'appareils de mesure innovants, en particulier destinés aux environnements radiatifs, de l'optimisation de la structure de cellules solaires fonctionnant sous concentration et de l'étude du vieillissement des récepteurs solaires.

Compétences recherchées

Le candidat, titulaire d'un doctorat, devra avoir un bon niveau en anglais (lu, écrit et parlé) et des compétences avérées en :

- traitement du signal et de l'image ;
- modélisation et identification des systèmes ;
- intelligence artificielle ;
- programmation Matlab.

Encadrement

- Stéphane Grieu (grieu@univ-perp.fr), professeur des universités, 61^e section du CNU
- Stéphane Thil (stephane.thil@univ-perp.fr), maître de conférences, 61^e section du CNU
- Julien Eynard (julien.eynard@univ-perp.fr), maître de conférences, 61^e section du CNU

Début du post-doctorat : octobre 2017.

Références

- [1] J. NOU, R. CHAUVIN, A. TRAORÉ, S. THIL et S. GRIEU. "Atmospheric Turbidity Forecasting using Side-by-side ANFIS". Dans : *Energy Procedia* 49 (2014), p. 2387–2397.
- [2] R. CHAUVIN, J. NOU, S. THIL, A. TRAORÉ et S. GRIEU. "Cloud detection methodology based on a sky-imaging system". Dans : *Energy Procedia* 69 (2015), p. 1970–1980.
- [3] R. CHAUVIN, J. NOU, S. THIL et S. GRIEU. "Modelling the clear-sky intensity distribution using a sky imager". Dans : *Solar Energy* 119 (2015), p. 1–17.
- [4] R. CHAUVIN, J. NOU, S. THIL et S. GRIEU. "A new approach for assessing the clear-sky direct normal irradiance in real time". Dans : *16th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC 2016)*. Juin 2016.
- [5] J. NOU, R. CHAUVIN, S. THIL et S. GRIEU. "A new approach to the real-time assessment of the clear-sky direct normal irradiance". Dans : *Applied Mathematical Modelling* 40.15-16 (août 2016), p. 7245–7264.
- [6] J. NOU, R. CHAUVIN, J. EYNARD, S. THIL et S. GRIEU. "Towards the short-term forecasting of direct normal irradiance using a sky imager". Dans : *20th IFAC World Congress on Automatic Control (World IFAC 2017)*. Toulouse, France, juil. 2017.
- [7] R. CHAUVIN, J. NOU, S. THIL et S. GRIEU. "Generating high dynamic range images using a sky imager". Dans : *20th IFAC World Congress on Automatic Control (World IFAC 2017)*. Toulouse, France, juil. 2017.
- [8] A. ZAHER, J. NOU, A. TRAORÉ, S. THIL et S. GRIEU. "Comparative study of algorithms for cloud motion estimation using sky-imaging data". Dans : *20th IFAC World Congress on Automatic Control (World IFAC 2017)*. Toulouse, France, juil. 2017.