

# Engagement optimal de production d'une centrale solaire photovoltaïque

Arnold N'Goran<sup>1,2</sup>, Sophie Demassey<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CMA, Mines ParisTech, PSL Research University, F-06902 Sophia Antipolis, France  
{arnold.ngoran,sophie.demassey}@mines-paristech.fr

<sup>2</sup> Bertin Technologies, Tarnos, France

**Mots-clés** : *optimisation robuste, programmation mathématique, microgrid*

## 1 Centrales solaires et engagement de production

Dans le contexte international de la transition énergétique bas-carbone, émergent des systèmes de soutien au développement des énergies renouvelables. La Commission de Régulation de l'Énergie en France propose, par exemple, diverses incitations à la réalisation et à l'exploitation d'installations de conversion du rayonnement solaire en électricité. Notamment, des appels d'offre pour les *zones non interconnectées* [1], portent spécifiquement sur le raccordement de centrales photovoltaïques aux réseaux électriques des îles (Corse, Antilles, La Réunion,...), afin de les alimenter en complément, voire en remplacement, des énergies fossiles. Dans ce marché, le gestionnaire du réseau principal s'engage à acheter à un prix donné, majoré en période de pointe du soir, toute l'électricité que le producteur – le gestionnaire de l'installation – s'engage à fournir la veille pour le lendemain. Tout écart entre la production réelle et l'engagement, au-delà d'une certaine tolérance, est pénalisé financièrement. Pour maximiser leur utilité et afin de compenser la variabilité de l'énergie solaire et ses prévisions imparfaites, ces installations sont généralement équipées de solutions de stockage de l'électricité, telles que des batteries au lithium.

L'opération quotidienne d'une installation donnée se traduit alors par deux problèmes d'optimisation imbriqués : (1) déterminer un engagement de production pour le jour suivant de profit (vente d'électricité moins les pénalités) maximal, compte-tenu des prévisions d'ensoleillement et (2) planifier le jour même, en temps réel, les opérations de charge et décharge des batteries, d'écrtage du surplus d'énergie solaire, d'achat et de vente d'électricité sur le réseau, pour minimiser l'écart à l'engagement.

Dans [2], nous comparons des approches standard de résolution (programmation mathématique, algorithme génétique couplé à un simulateur numérique, système expert) de ces problèmes dans un contexte déterministe, i.e. en supposant le profil d'ensoleillement connu. L'expérimentation dans un environnement simulé d'un cas d'étude réel permet d'observer le bénéfice substantiel de l'approche de programmation mathématique basée sur un modèle (quadratique convexe en nombres entiers) relativement sommaire de la dynamique du système : les approximations du modèle (sur les rendements de conversion, l'état de santé des batteries,...) sont compensées par le recalcul chronique de la solution de production dans la boucle de contrôle, et elles garantissent des temps de calcul courts et une preuve d'optimalité.

## 2 Optimisation sous incertitudes

Dans cette présentation, nous nous attachons à évaluer l'impact des erreurs de prévision d'ensoleillement sur le calcul de l'engagement pour le jour suivant et à comparer deux approches d'optimisation en contexte incertain.

Déclaré la veille, l'engagement de production est calculé à partir d'une connaissance imparfaite du profil d'ensoleillement du lendemain : pour chaque pas de temps, typiquement 24 périodes de 1 heure, la prévision d'ensoleillement moyenne sur la période est donnée en déciles. De cette table de valeurs, nous générons deux modèles d'incertitudes couplés à deux approches d'optimisation : (1) des profils-scénarios pour un modèle stochastique et (2) des valeurs de déviation maximale et de budgets d'incertitudes pour l'optimisation robuste. L'approche robuste proposée ici est adaptée de la méthode de programmation linéaire bi-niveau avec recours continu basée sur la génération de coupes de Benders de Thiele et al. [3]. Les résultats expérimentaux sur le jeu de test de [2] montrent l'intérêt de tenir compte des incertitudes sur l'ensoleillement, les solutions stochastiques et robustes présentant des profits supérieurs aux solutions déterministes.

## Références

- [1] Commission de Régulation de l'Énergie (CRE - France), *Appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité à partir de techniques de conversion du rayonnement solaire d'une puissance supérieure à 100 kwc et situées dans les zones non interconnectées*, 2015, <https://www.cre.fr/>
- [2] A. N'Goran, B. Daugrois, M. Lotteau, S. Demassez (2019) *Optimal engagement and operation of a grid-connected PV/battery system*, in proceedings of the 9th IEEE International Conference on Innovative Smart Grid Technologies (IEEE ISGT Europe'19), Bucharest, Romania.
- [3] A. Thiele, T. Terry, M. Epelman (2009) *Robust linear optimization with recourse*. Technical report, Lehigh University, USA.