

# Pilotage d'un système hybride d'énergie renouvelable : programme mathématique et algorithme génétique comparés

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

<sup>1</sup> CMA, Mines ParisTech, PSL Research University, BP 207, F-06902 Sophia Antipolis, France

{arnold.ngoran,sophie.demassey}@mines-paristech.fr

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

**Mots-clés** : *ordonnancement, système hybride d'énergie renouvelable, unit commitment, programmation linéaire en nombres entiers, algorithme génétique*

## 1 Introduction

En raison de leur caractère intermittent, les sources d'énergie renouvelables ne permettent généralement pas de couvrir en totalité une demande électrique même locale. Les *systèmes hybrides d'énergie renouvelable* intègrent ainsi, en plus de générateurs à partir de ces sources (panneaux solaires et turbines éoliennes), des éléments flexibles de production à partir de sources non-renouvelables (groupe électrogène, connexion à un réseau principal) et de stockage. Le pilotage d'un système hybride consiste à commander ces éléments de flexibilité afin de satisfaire la demande tout en minimisant les coûts de production et de maintenance. Il s'agit d'un problème d'optimisation complexe à modéliser et à résoudre : (1) le système doit être commandé en temps réel pour réagir aux changements soudains et imprévisibles des états de production et de demande, tout en étant programmé sur un horizon de temps plus long, typiquement une journée, dans le but d'implémenter une stratégie profitable de chargement/déchargement de batteries. (2) À l'échelle d'une journée, le système ne dispose que de prévisions plus ou moins fiables de production et de demande. Savoir tenir compte des incertitudes sur ces prévisions est une condition déterminante de l'optimisation réelle du système. (3) Le système peut opérer plusieurs flux énergétiques (électricité, chaleur), se composer de différents éléments technologiques (de production, stockage, conversion) et servir différentes demandes (résidentielle, industrielle, véhicules électriques) statiques, actives ou réactives (demand-response). La complexité physique du système influe directement sur la complexité algorithmique du problème de pilotage. (4) Plusieurs critères, économiques, environnementaux, sociaux ou de performance, parfois orthogonaux, doivent être optimisés simultanément : minimiser les coûts financiers d'opération (achat de diesel ou d'électricité) et de maintenance (vieillessement du matériel), maximiser la satisfaction de la charge ou les préférences de l'administrateur du système hybride.

De nombreux travaux dans la littérature sur ce problème [2] procèdent davantage de la simulation que de l'optimisation. Parmi les approches d'optimisation, on en distingue principalement de deux types : les approches déclaratives, potentiellement optimales, et les méthodes impératives, généralement heuristiques. Les approches déclaratives basées sur la programmation mathématique s'appuient sur des hypothèses de régularité (continuité et différentiabilité) portant sur les contraintes et la fonction coût afin de garantir l'optimalité globale des solutions. Dans le contexte des systèmes énergétiques, l'expression analytique des fonctions coût n'est souvent pas connue, ou elles ne répondent pas aux critères de continuité et de dérivabilité requis par ces méthodes. Leur emploi nécessite donc une modélisation approximative, plus ou moins réaliste de ces données [6]. Par opposition, des méthodes impératives « boîtes-noires », de type algorithmes génétiques pour la plupart, sont couplés à un simulateur pour l'évaluation d'un coût global agrégeant différents critères. Ne disposant pas du gradient de la fonction

coût, ces méthodes requièrent un nombre important de calculs et n'offrent pas de certificat d'optimalité [5].

L'objet de cette étude est de confronter ces deux approches dans un contexte déterministe de commande en-ligne sur des jeux de tests industriels variés. Nous comparons ainsi les résultats expérimentaux d'un modèle de programmation linéaire en nombres entiers standard (voir par exemple [3]) à un algorithme génétique implémenté au-dessus de la bibliothèque Python DEAP [1] et couplé à une simulation du système sous Matlab/Simulink, sous la contrainte d'un temps de réponse réduit compatible avec un usage en temps réel, typiquement inférieur à 15 minutes.

La qualité des solutions obtenues est analysée en fonction des différents critères qui ne sont pas nécessairement implémentés dans la fonction objectif des deux méthodes, tels, par exemple, différents modèles de vieillissement de batterie proposés dans la littérature (par comptage de cycles *rainflow* ou *simple range* [4]). Il s'agit ainsi d'évaluer empiriquement l'intérêt pratique d'intégrer partiellement ou totalement ces critères dans les modèles et la complexité de calcul engendrée.

Outre la qualité des solutions, l'objectif de cette expérimentation est d'évaluer la flexibilité et l'extensibilité des deux approches face à la variété des systèmes hybrides et des instances du problème de pilotage associées. On considère ainsi la facilité d'adapter un modèle générique à un cas d'étude particulier et les gains potentiels d'un modèle plus spécialisé.

## Références

- [1] F.-M. De Rainville, F.-A. Fortin, M.-A. Gardner, C. Gagné et M. Parizeau. DEAP : A Python Framework for Evolutionary Algorithms. *Companion Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 2012.
- [2] A. Mahesh, K. Sandhu. Hybrid wind/photovoltaic energy system developments : Critical review and findings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1135-1147, 2015.
- [3] H. Morais, P. Kádár, P. Faria, Z.A. Vale, H.M. Khodr. Optimal scheduling of a renewable micro-grid in an isolated load area using mixed-integer linear programming. *Renewable Energy*, 35 (1), 151-156, 2010.
- [4] D. Sauer, H. Wenzl. Comparison of different approaches for lifetime prediction of electrochemical systems - Using lead-acid batteries as example. *Journal of Power Sources*, 176(2), 534-546, 2008.
- [5] G. Seeling-Hochmuth. Optimisation of hybrid energy systems sizing and operation control. PhD thesis, University of Kassel, 1998.
- [6] S. Sichilalu, X. Xia. Optimal energy control of grid tied PV-diesel-battery hybrid system powering heat pump water heater. *Solar Energy*, 115, 243-254, 2015.