

Optimisation multi-objectifs de systèmes multi-énergies : modèle mathématique et étude de différentes méthodes de linéarisation

Antoine Mallégo¹, Arwa Khannoussi², Bruno Lacarrière³,
Patrick Meyer¹, Mehrdad Mohammadi¹

¹ IMT Atlantique, Lab-STICC, UMR CNRS 6285, Brest F-29238, France
{antoine.mallegol, patrick.meyer, mehrdad.mohammadi}@imt-atlantique.fr

² ERIC EA 3083, Université de Lyon, Université Lumière Lyon 2
arwa.khannoussi@univ-lyon2.fr

³ IMT Atlantique, GEPEA, UMR CNRS 6144, Nantes F-44307, France
bruno.lacarrière@imt-atlantique.fr

Mots-clés : *systèmes multi-énergies, optimisation multi-objectifs, approximation linéaire*

1 Introduction et état de l'art

Les consommateurs domestiques et les installations industrielles ont besoin de différents types d'énergie, comme la chaleur, l'électricité et le gaz naturel. Les différents vecteurs énergétiques ont traditionnellement été utilisés et planifiés séparément, mais leur combinaison peut apporter une valeur ajoutée en termes d'efficacité énergétique, de coût et d'impact environnemental. Les systèmes multi-énergie (MES), qui combinent par exemple les systèmes de chaleur et d'électricité, suscitent une attention croissante depuis plusieurs années [3]. L'optimisation de ces systèmes est donc devenue un sujet de recherche crucial, et devrait aider à répondre aux questions liées à l'intégration efficace des sources d'énergie renouvelables (EnR) ou à l'utilisation accrue des solutions de stockage d'énergie.

Il existe deux problèmes d'optimisation typiques dans les MES : l'optimisation du dimensionnement et l'optimisation du pilotage du système, qui peuvent être traités indépendamment ou simultanément. L'optimisation du pilotage vise à planifier l'utilisation des différentes unités de production et de stockage d'énergie afin de répondre à la demande en énergie. Étant donné un ensemble d'unités de production ou de stockage, le modèle détermine quelles unités sont activées et désactivées, et quelles sont les valeurs optimales de leur puissance de sortie à chaque instant.

L'optimisation du dimensionnement d'un système énergétique consiste à choisir les technologies de production à utiliser dans le système, leur configuration, leurs capacités installées optimales (puissance nominale, surface photovoltaïque, etc). Les travaux liés à l'optimisation du dimensionnement prennent aussi très souvent en compte le pilotage du système afin de dimensionner au mieux en tenant compte des demandes réelles en énergie.

Dans cette présentation nous proposons un modèle d'optimisation qui optimise simultanément le dimensionnement et le pilotage d'un MES. Dans la littérature, les travaux abordent ce problème d'optimisation en tant que problème mono- ou multi-objectif, utilisent des méthodes d'optimisation exactes ou approchées, et considèrent un horizon de temps restreint ou une résolution temporelle faible [2].

Nous modélisons donc ici un MES sous la forme d'un modèle de programmation mathématique non-linéaire multi-objectifs. Nous étudions ensuite différentes manières de linéariser les fonctions non-linéaires, tout en recherchant une solution optimale au problème. Nous résolvons ensuite le problème avec une résolution temporelle d'une heure, suffisante pour optimiser le

pilotage, et une longue période de temps (une année) pour permettre une bonne optimisation du dimensionnement. Nous faisons également une analyse comparative pour évaluer la performance de la méthode proposée.

2 Position du problème et modélisation

Nous considérons dans ce travail un MES avec trois vecteurs énergétiques : électricité, chaleur, et gaz. Nous disposons également de plusieurs unités de production énergétiques : un système de cogénération d'électricité et de chaleur (CHP), des chaudières à gaz et électriques, et des sources d'énergie renouvelable (panneaux photovoltaïques et panneaux solaires thermiques). Nous pouvons également interagir avec le réseau électrique pour acheter ou vendre de l'électricité.

La zone considérée est à l'échelle d'un quartier (district), et les demandes d'énergie sont sous la forme de demandes de chaleur et d'électricité, et sont considérées sur une année complète à une résolution d'une heure.

Le MES est modélisé sous la forme d'un programme mathématique non-linéaire à deux objectifs. L'un des objectifs consiste à maximiser le taux d'EnR dans le système, tandis que l'autre vise à minimiser les coûts opérationnels et les coûts d'investissement. Les non-linéarités du programme mathématique apparaissent dans la formulation du rendement du CHP, qui dépend de sa puissance électrique de sortie.

3 Résolution et expérimentation

Afin de résoudre le problème d'optimisation non-linéaire, nous comparons trois méthodes de linéarisation : la première qui suppose simplement le rendement non-linéaire comme une constante, la seconde, issue de la littérature, approxime les non-linéarités par une méthode de linéarisation par morceaux (dite des "triangles") [1], et une troisième méthode qui limite le nombre de triangles utilisés en vue de diminuer les temps de résolution du modèle. Les deux dernières approches génèrent des programmes linéaire mixtes en nombres entiers.

Nous testons la résolution du problème sur un cas réaliste situé à Nantes, dans une zone couvrant le Campus d'IMT Atlantique et 45 maisons individuelles. Nous testons la sensibilité du modèle aux différentes approximations (méthode de linéarisation et nombre de triangles), et nous étudions la convergence de la solution vers l'optimum afin de trouver un compromis entre précision du résultat et temps de calcul.

Références

- [1] Claudia D'Ambrosio, Andrea Lodi, and Silvano Martello. Piecewise linear approximation of functions of two variables in MILP models. *Operations Research Letters*, 38(1) :39–46, jan 2010.
- [2] Christian Klemm and Peter Vennemann. Modeling and optimization of multi-energy systems in mixed-use districts : A review of existing methods and approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135 :110206, jan 2021.
- [3] Pierluigi Mancarella. MES (multi-energy systems) : An overview of concepts and evaluation models. *Energy*, 65 :1–17, feb 2014.