

Dimensionnement optimisé d'un système de génération d'énergie électrique et d'eau potable à partir de ressources renouvelables - Modélisation par plan d'expériences

Malek Zaibi^{1,2}, Gérard Champenois¹, Xavier Roboam³, Bruno Sareni³, Jamel Belhadj²

¹ Université de Poitiers, LIAS-ENSIP, ² Université de Tunis El Manar, LSE-ENIT, ³ Université de Toulouse, LAPLACE-ENSEEIH

RESUME – Cet article présente une méta-modélisation globale d'un système complexe de production d'énergie électrique et d'eau potable pour un site isolé à partir de sources renouvelables (PV et éolienne) en vue de l'utiliser dans un processus d'optimisation de dimensionnement. Ce méta-modèle est élaboré avec la méthode des plans d'expériences. L'originalité de ce travail est d'avoir combiné ces approches pour une application aussi complexe (possédant 3 éléments de stockage). C'est pour cela qu'un travail important a été fourni pour définir la forme des équations, les indicateurs de performance et aussi de faire intervenir dans ces équations tous les paramètres intervenant dans le dimensionnement. Des résultats sont donnés en fin d'article qui optimise l'énergie grise sur cycle de vie du système complet.

Mots-clés – Méta-modélisation, plan d'expériences, optimisation, dimensionnement, énergie renouvelable, système autonome, stocks batterie et hydraulique.

1. INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, de nombreuses équipes cherchent à dimensionner des systèmes à base d'énergies renouvelables pour diminuer le coût financier et/ou le coût en énergie grise sur leurs cycles de vie [1],[2]. Pour cela, à partir de base de données météorologiques, il faut développer des modélisations énergétiques couplées à des modèles de coût d'énergie grise et ensuite utiliser des algorithmes d'optimisation. Pour des dimensionnement sur cycle de vie, il est nécessaire de prendre en compte les conditions météorologiques réparties au moins sur une année. Cela mène à un volume de base de données de grande taille. Ainsi, la mise en œuvre des algorithmes d'optimisation nécessite un temps de convergence très long (plusieurs jours). Par ailleurs, depuis de nombreuses années, beaucoup de méta-modèles à base de plan d'expériences ont été développés dans de nombreux domaines [3]. Récemment cette approche de modélisation à base de modèle de substitution a été appliquée avec succès à un système de production d'énergie électrique à base de sources renouvelables et un groupe électrogène [4], et aussi sur un système couplé à une production d'eau potable avec un stockage hydraulique [5].

Ce papier présente l'utilisation de méta-modèles pour l'optimisation du dimensionnement du système complet sur cycle de vie pour minimiser l'énergie grise. Cette méthodologie est appliquée sur un système complexe sur un site isolé de production d'eau potable avec un traitement de l'eau par osmoseur et un double stockage d'eau saumâtre et d'eau pure. L'énergie de l'alimentation des pompes se fait à partir de panneaux solaires et d'éoliennes avec un stockage sur batterie. Une partie de l'énergie électrique est aussi utilisée pour alimenter des charges électriques. La section suivante présente rapidement ce système.

2. DESCRIPTION DU SYSTÈME COMPLET

2.1. Architecture de l'application

Le synoptique de l'architecture du système est donné par la Fig.1. Ce système se compose d'une source hybride éolienne-photovoltaïque, des convertisseurs de puissance (AC/DC), (DC/AC) et (DC/DC), des éléments de stockage : batterie et deux réservoirs, et des charges électrique et hydraulique. Le système hydraulique possède, en plus des réservoirs, deux moto-pompes et une membrane de dessalement d'eau par la technique d'osmose Inverse (OI). L'énergie électrique est mise en commun par un bus à tension continue (DC).

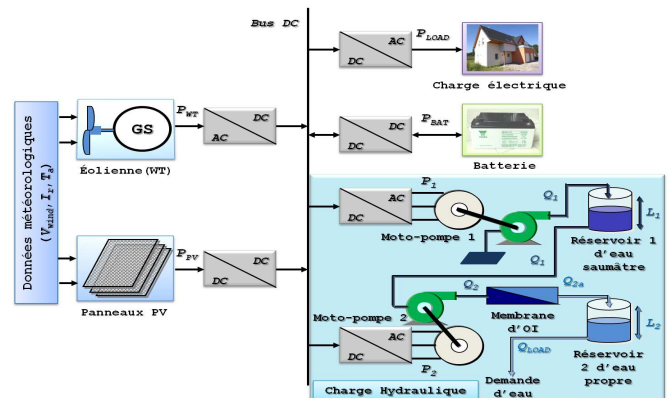


Fig. 1. Architecture du système étudié

2.2. Modélisation énergétique

La modélisation énergétique de la source hybride éolienne-photovoltaïque se fait en considérant une stratégie de gestion qui consiste à récupérer en permanence l'énergie maximum du vent et du soleil. La charge électrique est définie sur une journée, et répétée avec une modulation au cours de l'année. La charge hydraulique est définie sur une journée et reste identique pour tous les jours de l'année. La modélisation de tous les éléments sera détaillée dans l'article complet.

2.3. Modélisation sur cycle de vie

Chaque élément du système possède un modèle d'énergie grise ($\dot{E}E$) sur cycle de vie en fonction de ses paramètres de dimensionnement. L'article complet définira toutes ces équations.

3. MÉTA-MODÉLISATION DU SYSTÈME

Le processus de méta-modélisation est résumé dans la Fig.2. La première étape consiste, en échantillonnant l'espace de conception, à créer une base de données. Pour ce genre d'application, cette base de données ne peut se faire que par simulation.

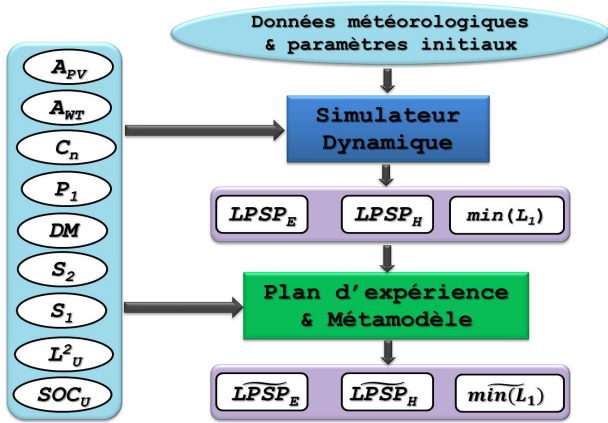


Fig. 2. Processus de développement d'un méta-modèle pour le système étudié

Ainsi, basé sur les modèles énergétiques de chaque élément du système, un simulateur dynamique calcule, pour des données météorologiques sur une année (vitesse du vent, irradiation, température), chaque indicateur de performances pour chaque point de dimensionnement différents sur toute la plage de dimensionnement.

3.1. Paramètres de dimensionnement et indicateurs de performance

Pour ce système relativement complexe, sept paramètres de dimensionnement (surface éolienne (A_{WT}), surface panneaux solaire (A_{PV}), capacité batterie (C_n), puissance pompe de puisage (P_1), surface membrane osmoiseur (DM), taille réservoir eau saumâtre (S_1) et taille réservoir eau pure (S_2) ont été retenus ainsi que deux de contrôle (seuils intermédiaires de niveau : batterie (SOC_u) et de S_2 (L_u^2)). Évidemment, l'algorithme d'optimisation devra déterminer ces 9 paramètres.

Trois indicateurs de performance sont utilisés par l'algorithme d'optimisation. Deux sont naturels, qui sont les deux LPSP (The Loss Power Supply Probability) : le manque de fourniture à la charge électrique ($LPSP_E$) et le manque de fourniture d'eau ($LPSP_H$). Le troisième, le minimum de de la taille du réservoir d'eau saumâtre ($min(L_1)$) permet d'améliorer la convergence des solutions et d'écarter les solutions qui mèneraient à un niveau du réservoir d'eau saumâtre non réaliste, car la convergence se fait avec un réservoir relativement petit.

3.2. Plan d'expériences et développement des méta-modèles

Un espace de conception du plan d'expériences approprié doit être établi et des simulations avec le simulateur dynamique doivent être exécutées. Par conséquent, une base de données résultante de l'entrée (valeurs de variables) et de sortie (valeurs des indicateurs) peut être utilisée afin de construire les méta-modèles.

Pour cette application, vu le nombre élevé de variables : neuf variables ($k = 9$), l'espace de conception $S(n, k)$ est fixé avec $n=5000$ niveaux de variable, soit n simulations sont exécutées afin d'obtenir les vecteurs résultants $Y_1 = LPSP_E = [y_{1,i}]$, $Y_2 = LPSP_H = [y_{2,i}]$ et $Y_3 = min(L_1) = [y_{3,i}]$ et $i = 1..n$.

Enfin, trois méta-modèles $\tilde{y}_1 = \widetilde{LPSP_E}$, $\tilde{y}_2 = \widetilde{LPSP_H}$ et $\tilde{y}_3 = \widetilde{min(L_1)}$ sont développés en utilisant la technique hybride de Spline de la toolbox "Model-Based Calibration" sous l'environnement de MATLAB.

4. ALGORITHME D'OPTIMISATION

Pour cette application, nous avons utilisé l'algorithme d'optimisation NSGA-II. Cet algorithme a été utilisé avec les méta-modèles décrits dans cet article et aussi directement avec le simulateur dynamique pour comparer les résultats. Le problème d'optimisation a trois objectifs : minimiser $LPSP_E$, $LPSP_H$

avec le minimum de EE sous 3 contraintes les $LPSP_E$ et $LPSP_H$ inférieurs à 5% et le niveau d'eau dans $L_1 > 0$.

5. RÉSULTATS DE DIMENSIONNEMENT

La Figure 3 montre en 3D l'évolution du taux d'insatisfaction de la demande électrique et hydraulique $LPSP_E$ et $LPSP_H$ en fonction de l'énergie grise totale EE sur cycle de vie de 20 ans. Elle présente le front optimal des solutions des variables de décision obtenu par la méta-modélisation décrite dans ce papier (X) et aussi celle obtenue en utilisant directement le simulateur dynamique (O) avec l'algorithme d'optimisation sous les mêmes contraintes. Pour rendre la figure lisible, il n'est représenté que quelques solutions réparties pour les $LPSP$ inférieur à 5% et ayant des valeurs proches pour les mêmes valeurs de EE . À partir de ce front optimal, la configuration des paramètres d'une solution qui possède une énergie grise de $8.4 \cdot 10^5$ MJ, un $LPSP_E = 1.75\%$ et $LPSP_H = 1.84\%$ a donnée les résultats suivants : $A_{PV} = 58.7m^2$, $A_{WT} = 127m^2$, $C_n = 673Ah$, $P_1 = 1944W$, $DM = 16.1m^3/j$, $S_1 = 4.7m^2$, $S_2 = 43.3m^2$, $L_u^2 = 1.65m$ et $SOC_u = 89\%$.

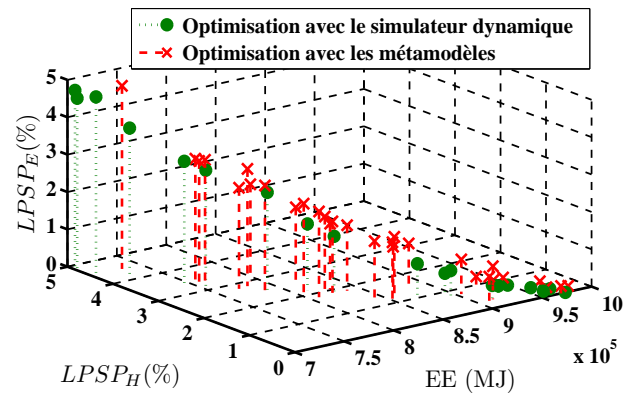


Fig. 3. Front optimal des solutions

6. CONCLUSIONS

Les résultats obtenus avec ces méta-modèles donnent des résultats équivalents à ceux obtenus avec le simulateur dynamique utilisé avec l'algorithme d'optimisation. La grande différence est le temps de convergence qui est obtenu en quelques minutes pour le premier et plus d'une journée pour le deuxième. La qualité des résultats montrent que cette méthodologie est efficace même sur un système relativement complexe. L'article complet donne les clés de la mise en équation qu'il faut suivre pour garantir la bonne convergence de l'algorithme d'optimisation.

7. RÉFÉRENCES

- [1] D. Feroldi and D. Zumoffen. Sizing methodology for hybrid systems based on multiple renewable power sources integrated to the energy management strategy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(2) :8609–8620, 2014.
- [2] G. Mereia, C. Bergera, and D. Uwe Sauer. Optimization of an off-grid hybrid-pv-wind diesel system with different battery technologies using genetic algorithm. *Solar Energy*, 97 :460–473, 2013.
- [3] R. H. Myers, D. C. Montgomery, and C. M. Andersson-Cook. *Response surface methodology : Process and product optimization using designed experiments*. Third ed. edition, 2009.
- [4] T. Layadi, G. Champenois, and M. Mostefai. Modeling and design optimization of an autonomous multisource system under a permanent power-supply constraint. *Sustainable Energy, IEEE Transactions on*, PP(99) :1–9, 2015.
- [5] M. Zaibi, T.M. Layadi, G. Champenois, X. Roboam, B. Sareni, and J. Belhadji. A hybrid spline metamodel for photovoltaic/wind/battery energy systems. In *Renewable Energy Congress (IREC), 2015 6th International*, pages 1–6, March 2015.