

UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES
INSTITUT POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'INFORMATIQUE ET DE MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES



Introduction à la Recherche en Laboratoire

Rapport de recherche

Optimisation d'un système multi-énergies dans un bâtiment

Encadreur: Nadia Brauner

Etudiant: Bruno Happi Pueme ISI 2A

LABORATOIRE G-SCOP, MAI 2023



Table des matières

1	Contexte	3
2	Étude de cas : Production électrique d'un bâtiment semi-autonome (BSA)	4
2.1	Énoncé	4
2.2	Modélisation	5
2.2.1	Les variables de décision	5
2.2.2	Fonction objective	6
2.2.3	Contraintes	6
2.2.4	Résolution	7
2.3	Pistes de réflexion	7
2.4	Difficultés rencontrées	8
3	Conclusion	9
4	Bibliographie	10

1 Contexte

De nos jours, l'humanité fait face à diverses problématiques environnementales et sociétales. Hausse de l'intensité et durée des températures, migration imprévue de certaines espèces animales, élévations du niveau des mers^[11], flambé des prix des énergies fossiles^[10].

Pour répondre aux enjeux environnementaux et de sécurité énergétique, un plan de transition énergétique à l'échelle planétaire a été adopté. Comme l'explique Michèle Champagne, la transition énergétique consiste à instaurer un mix énergétique composé de sources diversifiées et renouvelables pour remplacer les énergies fossiles^[2].

La rentabilité énergétique est un facteur important dans les choix d'investissement des gouvernements et des entreprises^[3]. Ainsi, il est important de s'assurer, avant l'implémentation de système multi-énergies, de leur efficacité énergétique pour garantir leur rentabilité. Elle correspond au ratio entre les efforts de production énergétique et les bénéfices en tirés^[5].

Plusieurs solutions d'optimisation sont proposées pour améliorer ce ratio. Allant de l'usage des techniques de Deep Reinforcement Learning^[1], des algorithmes d'optimisation par essaims particulaires (PSO)^[9] et aussi via l'usage des outils de recherche opérationnelle^[8].

D'une part, "Le secteur des bâtiments, qu'ils soient à usage d'habitation ou à usage professionnel (administratif ou commercial), présente un potentiel d'économies d'énergie très élevé"^[3]. D'autre part, l'approche par la recherche opérationnelle, notamment la programmation linéaire, peut offrir une méthode rigoureuse et efficace pour répondre à cette problématique d'optimisation systémique.

Ainsi, nous nous intéresserons, dans ce rapport, à l'optimisation de l'efficacité énergétique d'un bâtiment ayant une alimentation énergétique multi-sources grâce aux outils de programmation linéaire.

2 Étude de cas : Production électrique d'un bâtiment semi-autonome (BSA)

En nous appuyant sur les travaux d'Étienne Cuisinier^[4], son étude de cas sur la production de la chaleur, nous formulons l'étude de cas suivant :

2.1 Énoncé

Le BSA est un bâtiment abritant une vingtaine de ménages ainsi que les locaux d'une entreprise industrielle gourmande en énergie électrique. La demande D_t en énergie électrique du BSA varie avec le temps et doit être satisfaite à tout instant.

Afin de satisfaire ce besoin électrique permanent, le responsable du BSA a mis en place un système de production interne d'énergie renouvelable (SPI). Le S_{PI} est caractérisé par sa capacité minimale et maximale de production d'unité d'énergie électrique (kWh) par heure, le changement maximal de son taux de production d'unité énergétique par heure. Il est aussi caractérisé par son coût variable de production en euros par unité d'énergie produite et son coût fixe de production horaire.

Dans le but d'exploiter, de stocker le surplus de production du S_{PI} , le BSA possède une batterie de stockage pour stocker ce surplus et alimenter le BSA au besoin. Elle est caractérisée par sa capacité maximale de stockage d'énergie électrique (S_{max}^B), son efficacité en stockage (Ef^B) désignant le pourcentage d'énergie réellement stockée pendant l'opération de stockage, les pertes d'énergie stockée par heure (P^B), et sa capacité maximale de stockage/déstockage par heure (SD_{max}).

En outre, le BSA est également connecté à une ligne électrique externe nommée système de production externe (S_{PE}) afin de palier aux insuffisances éventuelles de son SPI. Ce S_{PE} est caractérisé par son coût de production par unité d'énergie électrique produite.

Dans le but d'optimiser le système énergétique global du BSA, proposons un modèle de programmation linéaire de ce système permettant d'atteindre les objectifs d'efficacité énergétique.

2.2 Modélisation

Nous décrivons notre modèle sur un horizon discret $H = \{1, 2, \dots, \theta\}$ avec $\theta \in \mathbb{N}$

On a les données suivantes :

- D_t , la demande sur t du BSA (unités d'énergie électrique par heure),
- X_{min}^I , la capacité minimale de production d'unité d'énergie électrique par heure du S_{PI} ,
- X_{max}^I , la capacité maximale de production d'unité d'énergie électrique par heure du S_{PI} ,
- X_r^I , le taux maximum de changement de production par heure du S_{PI} ,
- C_v^I , le coût variable de production d'énergie unitaire du S_{PI} ,
- C_f^I , le coût fixe de production d'énergie par heure du S_{PI} si il est allumé,
- C^E , le coût fixe de production d'énergie par heure du S_{PE}
- S_{max}^B , la capacité maximale de stockage de la batterie,
- SD_{maxh}^B , la capacité maximale de stockage/déstockage de la batterie par heure (supposées égales),
- Ef^B , le pourcentage d'énergie réellement stockée pendant l'opération de stockage (en prenant en compte les pertes),
- P^B , le pourcentage de pertes d'énergie qui arrive sur l'énergie stockée dans la batterie par heure.

$\forall t \in H$

On note que :

$Xout_t^B \vee Xin_t^B \in [0, SD_{maxh}^B]^2$, $E_t^B \in [0, S_{max}^B]$

2.2.1 Les variables de décision

Soient :

- $X_t^I \in 0 \cup [X_{min}^I, X_{max}^I]$ la production d'énergie sur t du S_{PI} (unités/heure),
- $Y_t^I \in 0,1$ désignant l'état du S_{PI} sur t (allumé ou éteint),
- E_t^B , le nombre d'unités d'énergie électrique stocké dans la batterie à t ,
- $Xout_t^B$, la quantité d'énergie déstockée par la batterie sur t ,
- Xin_t^B , la quantité d'énergie stockée par la batterie sur t ,
- X_t^E la production d'énergie sur t du S_{PE} (unités/heure).

$\forall t \in H$

2.2.2 Fonction objective

Nous optons pour la minimisation des coûts dans le cadre de la politique d'alimentation électrique du BSA.

Nous avons :

$$\text{Min} \sum_{t=0}^{\theta} (C_v^I \times X_t^I + C_f^I \times Y_t^I + C^E \times X_t^E). \quad (1)$$

2.2.3 Contraintes

Notre fonction objective est soumise à plusieurs contraintes :

$\forall t \in H$

- Elle doit satisfaire la demande D_t du BSA

Ce qui se traduit par :

$$X_t^I + X_t^E + X_{out_t}^B - X_{in_t}^B = D_t \quad (2)$$

Nous soustrayons la quantité $X_{in_t}^B$ car $X_{in_t}^B$ est la quantité stockée après la satisfaction de la demande D_t sur t , ie $X_{in_t}^B = X_t^I + X_t^E + X_{out_t}^B - D_t$

- Concernant le stockage/déstockage d'énergie dans la batterie, nous avons :

$$E_t^B = E_{t-1}^B \times (1 - P^B \times dt) + (X_{in_t}^B \times Ef^B - X_{out_t}^B) \times dt \quad (3)$$

$$X_{out_t}^B \leq SD_{max}^B \quad (4)$$

$$Ef^B \times X_{in_t}^B \leq SD_{max}^B \quad (5)$$

Ce qui se traduit par le fait que l'énergie stockée dans la batterie à l'instant t correspond à l'énergie réellement stockée à l'instant $t-1$, plus l'énergie réellement stockée à l'instant t , auquel on retrace les pertes d'énergies pendant le stockage arrivé sur $t-1$ et l'énergie déstockée sur t .

- La prise en considération des bornes de la production du S_{PI} (maximale et minimale) nous permet d'obtenir les équations suivantes :

$$X_t^I \leq X_{max}^I \quad (6)$$

$$X_{min}^I \leq X_t^I \quad (7)$$

- De même, la prise en considération du taux X_r^I maximum de changement de production par heure du S_{PI} , nous permet d'obtenir les équations suivantes :

$$X_t^I - X_{t-1}^I \leq X_r^I \quad (8)$$

$$X_{t+1}^I - X_t^I \leq X_r^I \quad (9)$$

- En fin, la prise en considération de la capacité maximale de stockage S_{max}^B de la batterie et en supposant à $t = 0$, $E_0^B = 0$, nous obtenons les équations suivantes :

$$E_t^B \leq S_{max}^B \quad (10)$$

$$E_0^B \leq E_\theta^B \quad (11)$$

2.2.4 Résolution

Il suffit de récolter ou générer des données artificielles concernant la demande énergétique de notre bâtiment BSA sur un horizon H et de les passer en entrée d'un solveur numérique avec notre modèle et nous obtiendrons des résultats.

Exemples de solveurs numériques : GLPK (GNU Linear Programming Kit), NEOS Server^[6].

2.3 Pistes de réflexion

Afin de prendre compte différents paramètres environnementaux et budgétaire, nous proposerons afin d'aller plus loin de concevoir :

- Un modèle qui permet de réduire l'empreinte carbone de notre BSA tout en supportant la demande D_t à chaque instant t ,
- Un modèle prenant en contrainte un Budget financier énergétique préétablis et d'un coût de stockage horaire (cas location stockage),
- Un modèle global, prenant en compte l'ensemble des contraintes énumérées jusqu'ici,
- Aborder le problème sous l'angle du dimensionnement du système énergétique^[8].

2.4 Difficultés rencontrées

Au cours de notre travail de recherche, nous avons été confrontés à quelques difficultés, notamment :

- Temporelle (Concurrence temporelle avec d'autres projets cursus) : En effet, le temps imparti ne nous a pas permis d'aller aussi loin qu'on aurait souhaité aller. Notamment la simulation du modèle sur un solveur numérique et l'analyse des résultats,
- L'indisponibilité en open source de données réelles sur la consommation énergétique d'un bâtiment dans le temps sur lesquelles s'appuyer. Ce qui rend notre travail fortement abstrait,
- Découverte du domaine de recherche et compréhension progressive à l'aide de MOOC^[7], articles, thèses et Livres.

3 Conclusion

En conclusion, la modélisation et l'optimisation d'un système multi-énergétique est un domaine de recherche en pleine croissance. La recherche opérationnelle et particulièrement la programmation linéaire offre une approche mathématique rigoureuse pour modéliser les interactions complexes entre les différentes sources d'énergie et les besoins de consommation d'un système.

Le cas d'étude que nous avons présenté dans ce rapport illustre l'application pratique de cette méthodologie et les avantages potentiels de la mise en œuvre d'un système multi-énergétique. Les résultats qui seront obtenus par la simulation de ce modèle montreront que la programmation linéaire peut aider à prendre des décisions éclairées en matière d'investissement et de planification de la production et de la consommation d'énergie. Ce qui peut conduire à une utilisation plus efficace et durable des ressources énergétiques, enjeu de la soutenabilité de notre système énergétique global à l'échelle planétaire.

4 Bibliographie

Références

- [1] Dhekra Bousnina and Gilles Guerassimoff. Deep reinforcement learning for optimal energy management of multi-energy smart grids. In *Machine Learning, Optimization, and Data Science : 7th International Conference, LOD 2021, Grasmere, UK, October 4–8, 2021, Revised Selected Papers, Part II*, pages 15–30. Springer, 2022.
- [2] M. Champagne and D. Bourg. *Résilience climatique et biodiversité : innovation, analyse et retours d'expérience*. Afnor éditions, 2019.
- [3] Catherine Cooremans. *Les déterminants des investissements en efficacité énergétique des entreprises : dimensions stratégique et culturelle de la décision d'investir*. PhD thesis, University of Geneva, 2010.
- [4] Etienne Cuisinier. *Méthodes de modélisation et d'optimisation technico-économique pour la planification de systèmes multi-énergies*. PhD thesis, 2021. Thèse de doctorat dirigée par Penz, Bernard et Lemaire, Pierre Génie Industriel conception et production Université Grenoble Alpes 2021.
- [5] Viktor Hacker and Shigenori Mitsushima. *Fuel cells and hydrogen : from fundamentals to applied research*. elsevier, 2018.
- [6] Wisconsin institute for discovery. Neos server, 2023.
- [7] Ling-Chieh Kung. Operations research (1) : Models and applications, 2020.
- [8] K Kusakana, HJ Vermaak, and BP Numbi. Optimal sizing of a hybrid renewable energy plant using linear programming. In *IEEE Power and Energy Society Conference and Exposition in Africa : Intelligent Grid Integration of Renewable Energy Resources (PowerAfrica)*, pages 1–5. IEEE, 2012.
- [9] Omar Hazem Mohammed, Yassine Amirat, and Mohamed Benbouzid. Particle swarm optimization of a hybrid wind/tidal/pv/battery energy system. application to a remote area in bretagne, france. *Energy Procedia*, 162 :87–96, 2019.
- [10] Laboué Pierre. Sécurité énergétique : les dessous d'une crise mondiale, 2021.
<https://www.iris-france.org/162328-insecurite-energetique-les-dessous-dune-crise-mondiale/>.
- [11] Verdura. <http://www.vedura.fr/environnement/climat>.