

Répartition Optimale de Différentes Ressources d'Énergies Renouvelables

Souad BELHOUR⁽¹⁾, Abdelouahab ZAATRI⁽²⁾

⁽¹⁾Département de Physique, Faculté des Sciences

⁽²⁾Département de Mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Laboratoire des Applications de Technologie Avancées (LATA), Constantine,
Université Mentouri, 2500 Constantine, Algérie

Email souad_belhour1@yahoo.fr
azaatri@yahoo.com

Résumé : Les systèmes hybrides d'énergies renouvelables sont basés sur l'intégration et la combinaison des différentes sources d'énergies renouvelables. Ils constituent une bonne solution pour l'installation de systèmes autonomes et présentent l'avantage de réduire les moyens de stockage et de respecter l'environnement. Pour la conception et l'exploitation des systèmes à énergies hybrides, il y'a généralement deux types de problèmes à considérer. Le premier problème consiste, étant données des capacités en ressources déjà installées, à déterminer le mode de gestion pour tirer le meilleur profit de l'installation. Le deuxième problème consiste, étant donnée une estimation des ressources potentielles du site, à déterminer la répartition optimale à installer pour chacune de ces ressources. Dans cette étude, on s'intéressera au deuxième problème. Les systèmes d'énergies renouvelables considérés sont de très faible puissance et concernent l'énergie solaire photovoltaïque et photo-thermique, l'énergie éolienne et l'énergie produite par la biomasse. Le travail vise à déterminer la meilleure combinaison de ces ressources pour satisfaire une demande énergétique pour une région spécifique. Le problème peut se ramener à un problème de répartition optimale de ressources limitées avec une demande à satisfaire. La méthode de programmation linéaire a été adoptée pour la résolution de ce problème. Des exemples typiques sont examinés permettant d'appliquer cette technique pour optimiser la répartition combinée des ressources considérées

Mots clés :

Energies hybrides, Energie renouvelables, répartition optimale de ressources, Energie solaire, Energie éolienne, Biomasse.

1. Introduction

Les systèmes d'énergie hybrides sont des systèmes énergétiques qui combinent deux ou plusieurs sources d'énergie. Lorsqu'ils sont intégrés, ils permettent de surmonter les limitations inhérentes à l'utilisation d'une seule ressource énergétique. La technique hybride appliquée aux énergies renouvelables permet de réduire les moyens de stockage à cause de la complémentarité des différentes ressources. Ceci conduit à une réduction du coût du kWh. Ces dernières années, de nombreuses études et applications ont été conduites concernant l'énergie hybride en vue d'optimiser l'intégration et la répartition des ressources disponibles en vue de satisfaire la demande exigée par la consommation. Dans ce contexte, il y'a généralement deux types de problèmes à considérer. Le premier problème consiste, étant données des capacités en ressources déjà installées, à déterminer le mode de gestion pour tirer le meilleur profit de l'installation. Le deuxième problème consiste, étant donnée une estimation des ressources potentielles, à déterminer la répartition optimale pour chacune de ces ressources. A cet effet, plusieurs méthodes ont été utilisées, comme la Programmation Linéaire, la Programmation Dynamique, les Algorithmes génétiques, etc. [1-4]. Des programmes de simulation et d'optimisation des systèmes hybrides ont été également développés, on citera en particulier HOMER, SOMES, RAPSIM, SOSIM, [5-8]. Dans cette étude, on s'intéressera au deuxième problème pour lequel peu de travaux ont été consacrés [1]. Comme la référence [1], nous avons modélisé le problème de répartition de ressources en termes de programme linéaire. Les ressources considérées peuvent être une combinaison des énergies suivantes selon les régions : solaire photovoltaïque, solaire photo-thermique, éolienne et biomasse. Une interface graphique a été développée

permettant aux utilisateurs d'introduire le coût unitaire et la capacité limite de chaque énergie de façon aisée pour obtenir la répartition qui minimise la fonction de coût.

2. Un Système hybride Expérimental

Le but de cette étude est de combiner de façon économique des énergies renouvelables pour satisfaire la demande énergétique d'une localité donnée (maison, ferme, agglomération,...). La **Fig.1** montre un prototype de maison qui utilise l'énergie hybride : éolienne, solaire, et biomasse. Les sources d'énergies apparaissant en images sur la Fig.1 sont des systèmes d'énergies renouvelables expérimentaux de très faible puissance qui ont été développés au niveau de notre laboratoire LATA, à l'université Mentouri, Constantine. -L'image (a) montre un panneau solaire du système photovoltaïque, l'image (b) présente un système photo-thermique avec concentrateur et poursuite du soleil, L'image (c) montre une éolienne de faible puissance, l'image (d) montre un bioréacteur expérimental pour la production du méthane à partir des eaux usées et des déchets biologiques. Le système de gestion permet d'adapter l'énergie disponible pour satisfaire la demande. Comme les énergies renouvelables considérées sont fluctuantes, il est d'usage de rajouter des batteries de stockage comme réserve. L'exemple de la Figure 1 correspond à une situation où le choix du système énergétique est déjà donné, le problème consiste à gérer ces ressources afin de satisfaire la demande.

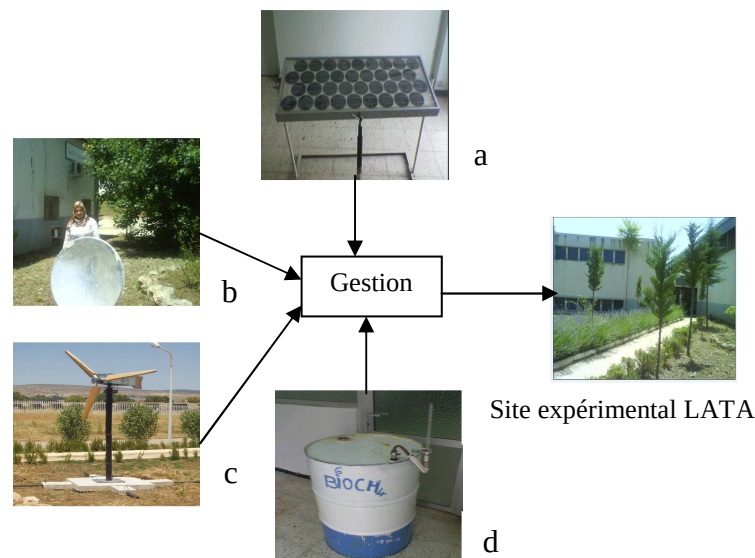


Figure 1 : Système hybride

3. Modélisation en termes de programme linéaire

Etant données les caractéristiques et une demande énergétique pour un site spécifique, le problème étudié consiste à déterminer les capacités des ressources renouvelables à installer en vue de satisfaire la demande en question. Une telle approche a été effectuée également par la référence [1] pour résoudre un problème d'électrification rurale basé sur l'intégration et de répartition des ressources renouvelables en Inde. Les problèmes hybrides peuvent se ramener à des problèmes de distribution optimale des ressources énergétiques avec la contrainte de satisfaire la demande en tenant compte des limitations des sources disponibles. On considère les sources d'énergies renouvelables: solaire photovoltaïque E_{ph} avec la limite disponible s_{ph} , solaire thermique E_{th} avec la limite disponible s_{th} , éolienne E_{eo} avec la limite disponible s_{eo} , biomasse E_{bi} avec la limite disponible L_{bi} , les coûts unitaires de chaque ressource énergétique c_i et la demande D . La forme générale peut être celle d'un problème de Programmation Linéaire qui consiste à minimiser une fonction de coût Z_T sous des contraintes données [1,9]. Le problème peut s'exprimer comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Z_T = \sum C_i . E_i \\ \sum E_i = D \\ E_i \leq L_i \\ E_i \geq 0 \end{array} \right\} \quad (i = ph, th, \acute{e}o, bi) \quad (1)$$

La résolution de ce type de problèmes peut s'effectuer par des techniques dérivées de la méthode du simplexe ou la méthode du point intérieur. De nombreux programmes informatiques sont disponibles comme (LINDO [9], Linsolve [10], Z-PL [11],...) et permettent de déterminer (si c'est possible) les quantités à utiliser pour chaque source d'énergie qui minimisent la fonction objective en respectant toutes les contraintes. Dans notre cas, nous avons utilisé le programme Linsolve pour déterminer la répartition optimale de nos ressources.

4. Applications

Dans cette section, on illustrera notre étude par deux exemples de répartition de ressources hybrides. La fonction de cout à minimiser est la somme des couts des énergies utilisées. En tenant compte des couts unitaires, elle peut se mettre sous la forme :

$$\min Z = C_{ph} E_{ph} + C_{th} E_{th} + C_{\acute{e}o} E_{\acute{e}o} + C_{Bi} E_{Bi} \quad (2)$$

4.1. Exemple pour la région (a)

Pour les données relatives à la région (a), le programme de répartition des ressources s'exprime comme suit :

$$\begin{aligned} \min Z &= 0.3 E_{ph} + 0.2 E_{th} + 0.08 E_{\acute{e}o} + 0.06 E_{Bi} \\ E_{ph} + E_{th} + E_{\acute{e}o} + E_{Bi} &= 80 \text{ (kWh / an)} \\ E_{ph} &\leq 20 \text{ (kWh / an)} \\ E_{th} &\leq 18 \text{ (kWh / an)} \\ E_{\acute{e}o} &\leq 10 \text{ (kWh / an)} \\ E_{Bi} &\leq 40 \text{ (kWh / an)} \end{aligned} \quad (3)$$

Les résultats sont présentés dans le tableau.1

Tableau 1 : Répartition des ressources obtenue pour la région (a)

Les données			Les résultats	
Les énergies	Les prix (kWh en €)	Les capacités (kWh /an)	Les résultats (kWh /an)	Les résultats (%)
E_{ph}	0.30	20	$E_{ph} = 12$	$E_{ph} = 15$
E_{th}	0.2	18	$E_{th} = 18$	$E_{th} = 22.5$
$E_{\acute{e}o}$	0.08	10	$E_{\acute{e}o} = 10$	$E_{\acute{e}o} = 12.5$
E_{Bi}	0.06	40	$E_{Bi} = 40$	$E_{Bi} = 50$
D=80			$\min Z = 10.40$	

4.2. Exemple pour la région (b)

Pour les données relatives à la région (b), le programme de répartition des ressources s'exprime comme suit :

$$\begin{aligned}
\min Z &= 0.6 E_{ph} + 0.5 E_{th} + 0.8 E_{éo} + 0.4 E_{Bi} \\
E_{ph} + E_{th} + E_{éo} + E_{bi} &= 120 \text{ (kWh / an)} \\
E_{ph} &\leq 45.35 \text{ (kWh / an)} \\
E_{th} &\leq 20.13 \text{ (kWh / an)} \\
E_{éo} &\leq 12.20 \text{ (kWh / an)} \\
E_{Bi} &\leq 80.18 \text{ (kWh / an)}
\end{aligned}
\tag{4}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau.2

Tableau 2 : Répartition des ressources obtenue pour la région (b)

Les données			Les résultats	
Les énergies	Les prix (kWh en €)	Les capacités (kWh /an)	Les résultats (kWh /an)	Les résultats (%)
E_{ph}	0.6	45.35	$E_{ph} = 19.69$	$E_{ph} = 16.40$
E_{th}	0.5	20.13	$E_{th} = 20.13$	$E_{th} = 16.78$
$E_{éo}$	0.8	12.20	$E_{éo} = 00$	$E_{éo} = 0.0$
E_{Bi}	0.4	80.18	$E_{Bi} = 80.18$	$E_{Bi} = 66.82$
D=120			min $Z = 53.95$	

Commentaires

***Pour la première région**, on obtient la répartition suivante ; la biomasse qui a la plus grande capacité au plus faible coût est utilisée à 50 %. Les autres ressources ont été utilisées à faible pourcentage : thermique 22,5%, photovoltaïque 15%, et l'éolien 12,5%

***Pour la deuxième région**, inversement, comme l'énergie éolienne est de faible capacité au cout le plus élevé par rapport aux autres ressources concurrentes, elle n'a pas été utilisée (0%). la biomasse qui a la plus grande capacité au plus faible coût est utilisée à 66.82 %. Les autres ressources ont été utilisées à faible pourcentage : thermique 16.78%, photovoltaïque 16.40%,

L'analyse des résultats obtenus montre une répartition qui favorise la ressource disponible à faible cout.

Nous avons examiné à l'aide de notre programme la répartition optimale des ressources selon les données de la référence [1], on a constaté des résultats semblables puisque la même approche a été adoptée.

4.3. Interface Graphique

Une interface graphique a été développée en langage Java permettant aux utilisateurs d'introduire les coûts unitaires, les capacités de chaque énergie ainsi que la demande. Le programme détermine la répartition optimale des ressources considérées et le minimum de la fonction de cout (Figure 2).

Figure 2 : Interface Graphique Utilisateur

Conclusion

Après avoir conçu et réalisé des systèmes expérimentaux d'énergies renouvelables de très faibles puissance (solaire photovoltaïque, solaire thermique, éolienne et biomasse.), nous envisageons la répartition des ressources combinés de façon optimale. Dans ce but, nous avons modélisé le problème en termes de programmation linéaire que nous avons résolu par la méthode du simplexe. Nous avons développé une interface graphique utilisateur en vue de faciliter la simulation et l'analyse du système hybride pour différentes situations. Cette technique a été illustrée par deux exemples pratiques.

Références

- [1] Akella, A.K., M.P. Sharma, and R.P. Saini, 2007, Optimum utilization of renewable energy sources in a remote area, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11: 894–908
- [2] D. Manolakis , G. Papadakis ,D. Papantonis , S. Kyritsis , ‘A simulation-optimisation programme for designing hybrid energy systems for supplying electricity and fresh water through desalination to remote areas’, *Journal Energy Elsevier* 26 (2001) 679–704
- [3] Deshmukha, M.K. and S.S. Deshmukhb, 2008, Modeling of hybrid renewable energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 12; 235–249,
- [4] Ramakumar.R, P.S.Shetty, and K. Ashenai, 1986, A Linear Programming Approach to the Design of Integrated Renewable Energy Systems for Developing Countries, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. EC-1, No. 4,
- [5] G. Bekele , B.Palm « Feasibility study for a standalone solar–wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia», *Applied Energy* 87 (2010) 487–495, elsevier
- [6] Farret.A, and M.G.Simoes, 2006, *Integration of Alternative Sources of Energy*; Felix A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- [7] Bernal-Agustin. J. L, and R. Dufo-Lopez; 2009, Simulation and optimization of stand-alone hybrid Renewable energy systems; *Renewable and Sustainable Energy Reviews Elsevier*, 2111–2118
- [8] Jose L. Bernal-Agustin and Rodolfo Dufo-Lopez, “Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 2111–2118, Elsevier
- [9] <http://www.lindo.com/>
- [10] <http://archives.math.utk.edu/software/msdos/discrete.math/tslin/.html>
- [11] A. Zaatri « Les Techniques de la Recherche Opérationnelle : Algorithme du Simplexe », les mathématiques à l'université, Constantine, Mars 2002