

Répartition Optimale des Energies Renouvelables Hybrides -Biogaz et Photovoltaïque-

Souad Belhour,^a Abdelouahab Zaatri^b

^a *Département de Physique, Faculté des Sciences,*

^b *Département de Mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur,*

Université de Constantine 1 2500 Constantine, Algérie

E-mail : souad_belhour1@yahoo.fr

E-mail : azaatri@yahoo.com

Résumé

Le problème étudié dans ce travail concerne la répartition optimale des ressources d'énergies renouvelables hybrides en tenant compte des contraintes sur l'énergie et sur les surfaces déployées. On considère des systèmes énergétiques renouvelables constitués d'un bioreacteur pour la production du méthane et de panneaux photovoltaïques. On établit les expressions mathématiques qui relient la puissance de chaque système énergétique par rapport à la surface qu'il occupe ainsi qu'à l'estimation de l'énergie annuelle produite. La méthode de programmation linéaire a été adoptée pour la résolution de ce problème. Un exemple typique est discuté permettant d'appliquer cette technique pour optimiser l'exploitation combinée des ressources considérées en tenant compte de l'énergie et des surfaces.

Mots clés : Énergies hybrides, Energie renouvelables, Photovoltaïque, Biomasse;

1. Introduction

Les systèmes hybrides des Energies renouvelables (SHER) 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 [1]. Au contraire, les SHER peuvent être considérées comme inépuisables à l'échelle humaine, puisqu'elles utilisent des flux énergétiques naturels issus du Soleil ou de la biomasse [2, 3].

La technologie hybride des Energies renouvelables permet de réduire l'installation du système de stockage de l'énergie à cause de la complémentarité des différentes ressources. Ceci conduit la réduction du coût du kWh.

De nombreuses études, applications et recherches sont effectuées concernant l'énergie hybride en vue d'optimiser la répartition des ressources disponibles en vue de satisfaire la demande exigée par les consommateurs. Plusieurs méthodes ont été utilisées à cet effet, comme la Programmation Linéaire, la Programmation Dynamique, les Algorithmes génétiques, etc. [4, 5, 6, 7]. Des programmes d'analyse et d'optimisation des systèmes

hybrides ont été développés, on citera en particulier HOMER, SOMES, RAPSIM, SOSIM, [8, 9, 10].

Nous avons modélisé le problème de l'utilisation des SHER en termes de programme linéaire. Bien que le modèle utilisé soit générique par rapport aux autres sources d'énergie, dans notre étude, nous considérons le cas d'une région donnée disposant des ressources énergétiques suivantes : solaire photovoltaïque et biomasse.

On considèrera les contraintes sur les capacités des ressources renouvelables ainsi que celles des surfaces déployées pour ces systèmes. L'aspect surface de déploiement de chaque système énergétique est souvent limitée en pratique, ce qui pose de nouvelles contraintes au problème. Néanmoins, dans la plupart des études, il est rarement pris en considération. Cette limite peut être aussi une limite sur l'énergie et dépend de l'endroit : espaces urbains ou ruraux.

2. Système des Energies renouvelables hybrides

Le but de cette étude est de satisfaire une demande énergétique dans un endroit donné en combinant de façon économique les énergies renouvelables disponibles en tenant compte des limites de chaque type d'énergie ainsi que de l'espace de déploiement qui peut lui être réservé.

Les sources d'énergies apparaissant en images sur la Fig.1 et Fig.2 sont des systèmes d'énergies renouvelables expérimentaux qui ont été développés au niveau de notre laboratoire LATA [11, 12].

2.1. Système bioréacteur anaérobie

Les digesteurs anaérobies réalisés sont constitués de cuves métalliques étanches dans lesquelles différents microorganismes cohabitent pour biodégrader les déchets organiques et produire du biogaz. Le type de bioréacteur que nous avons considéré est le mode batch. La nature du substrat est de la boue enrichie provenant de la station d'épuration biologique des eaux usées. La technologie du bioréacteur réalisé repose sur un dispositif constitué d'une cuve de capacité de 200 litres, contenant 130 litres (Fig. 1). La cuve dispose d'une entrée pour la boue activée; une sortie pour la récupération du biogaz équipé d'une vanne, ainsi que des entrées prévues pour l'instrumentation nécessaire aux mesures des grandeurs comme la température, le pH et l'outil d'agitation. La préparation est incubée à 30 °C et le gaz méthane est détecté de façon remarquable après 27 jours [11]



Fig.1. Système bioréacteur anaérobie expérimental

2.2. Système photovoltaïque

Dans cette étude, on s'intéresse à l'estimation de la puissance fournie par un générateur photovoltaïque [13, 14].

Conformément au constructeur des cellules que nous avons utilisé (Belgosolar), le module solaire (Fig. 2) est constitué de 36 cellules de silicium monocristallin de forme circulaire, de diamètre 10 cm. Les cellules sont disposées en série. Les éléments suivants sont donnés aux conditions standards [12]:

- *Puissance crête: $P_c = 33 \text{ Watts}$
- *Tension de circuit ouvert: $V_{co} = 21.0 \text{ Volts}$
- *Courant de court-circuit: $I_{cc} = 2.18 \text{ Ampères}$
- *Puissance maximale:

$$P_m (V_{MPP} = 16.5 \text{ Volts}, I_{MPP} = 2.0 \text{ Ampères})$$



Fig.2. Système photovoltaïque expérimental

2.3. Système hybride ER expérimental

La Fig.3 montre un prototype expérimental de maison qui utilise l'énergie hybride: biomasse, solaire photovoltaïque.

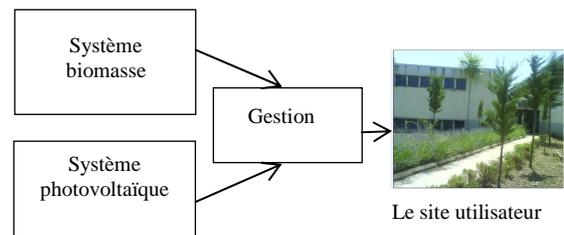


Fig. 3. Système hybride ER expérimental

3. Relations entre la Puissance et la Surface

Cette section détermine les relations entre la puissance et la surface de déploiement du système énergétique considéré. A titre d'exemple, on présentera ces relations pour le système biomasse et photovoltaïque.

3.1. l'expression de la puissance du système biomasse

L'énergie instantanée produite par un bio digesteur de type continue de surface S_{bio} et la hauteur h selon le modèle de Chen-Hashimoto [15] est:

$$p_{bio} = [h \cdot B \cdot (Mo/TRH)] \cdot S_{bio} \quad (1)$$

- h: Hauteur du digesteur (m).
- B: Rendement biologique.
- Mo: Matière oxydable.
- TRH: Temps de rétention hydraulique.
- S_{bio} : Surface du digesteur (m^2).

La Fig.4 représente la puissance de la biomasse en fonction de la surface pour différentes valeurs de h .

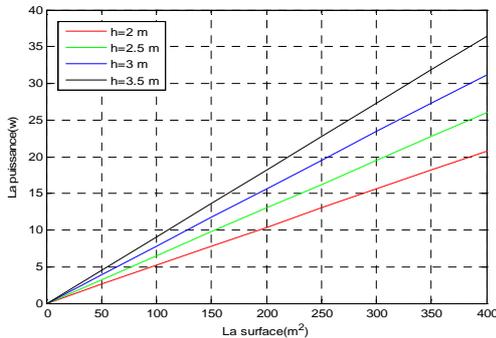


Fig.4. La puissance de la biomasse en fonction de la surface pour différentes valeurs de h

3.2. l'expression de la puissance du système photovoltaïque

La puissance du système photovoltaïque ($N=1$) de surface balayée S_{ph} et soumis à un éclairage G est [16]:

$$P_{ph} = \eta \cdot N \cdot G \cdot S_{ph} \quad (2)$$

S : Surface du module photovoltaïque;

G : Eclairage solaire sur plan incliné (W/m²);

N : Nombre de modules constituant le champ photovoltaïque.

η : Le rendement instantané est représenté par la relation suivante [16, 17]:

La Fig.5 représente la puissance photovoltaïque en fonction de la surface pour différentes valeurs de G .

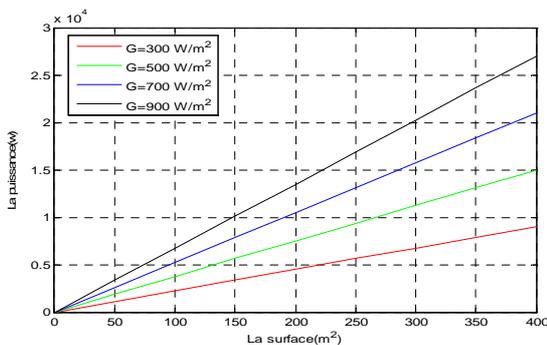


Fig.5. La puissance photovoltaïque en fonction de la surface pour différentes valeurs de G

4. Modélisation en termes de programmation linéaire

Les problèmes hybrides peuvent se ramener à des problèmes de distribution des ressources énergétiques avec la contrainte de satisfaire la demande en tenant compte des limitations des ressources et des espaces disponibles [18].

On considère les sources d'énergies renouvelables: solaire photovoltaïque X_{ph} avec la limite disponible L_{ph} , biomasse X_{bio} avec la limite disponible L_{bio} , les coûts unitaires de chaque ressource énergétique C_i et de la demande globale D .

Dans ce modèle, on tiendra compte de la puissance ainsi que de la surface de déploiement du système énergétique. La forme générale peut être celle d'un problème de Programmation Linéaire qui consiste à minimiser une fonction de coût Z_T sous les contraintes [4, 8]. Le problème peut s'exprimer comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Z_T = \sum C_i \cdot X_i \\ \sum X_i \geq D \\ X_i \leq L_i \\ X_i \geq 0 \end{array} \right\} \quad (i = ph, bio) \quad (3)$$

La résolution de ce type de problèmes peut s'effectuer par la méthode du simplexe. De nombreux programmes informatiques disponibles comme (LINDO [19], Linsolve [20], Z-PL [18],...) permettent de déterminer les quantités à utiliser pour chaque source d'énergie tout en satisfaisant la demande D . Nous avons utilisé le programme Linsolve pour déterminer la répartition optimale de ces ressources.

4.1. Les contraintes sur les énergies

Dans cette section, on illustrera notre étude par un exemple de répartition de ressources hybrides en optimisant l'énergie. La fonction de coût à minimiser est la somme des coûts des énergies utilisées. En tenant compte des coûts unitaires, elle peut se mettre sous la forme:

$$\begin{aligned} \min Z &= 0.3 E_{ph} + 0.1 E_{bio} \\ E_{ph} + E_{bio} &= 60 \text{ (KWh / an)} \quad \text{gion spécifiée, le} \\ E_{ph} &\leq 30 \text{ (kWh / an)} \\ E_{bio} &\leq 40 \text{ (kWh / an)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\min Z = C_{nh} E_{nh} + C_{bio} E_{bio} \quad (4)$$

programme de répartition des ressources s'exprime comme suit

4.2. Résultats et Commentaires

*L'analyse des résultats obtenus (Fig .6) montre une répartition qui favorise la ressource disponible à plus faible coût. Pour cette région, On obtient la répartition suivante ; la biomasse qui a la plus grande capacité au plus faible coût

est utilisée à 66.67 %. L'autre ressource a été utilisée à faible pourcentage : photovoltaïque 33.33%.

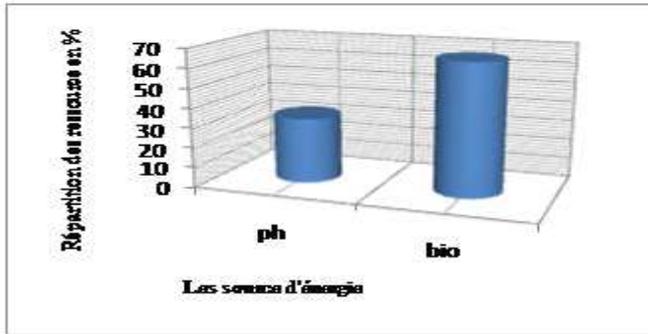


Fig. 6. Répartition obtenue des ressources pour cette région

*En plus de la répartition optimale fournie par le programme linéaire, il reste d'autres possibilités pour mieux répartir les ressources en cas de limitation de la surface en arrangeant la disposition, l'architecture, et la géométrie de l'installation énergétique. A titre d'exemple, on peut disposer la totalité ou une partie des panneaux photovoltaïques sur le toit du bio digesteur.

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 coût (Fig7).

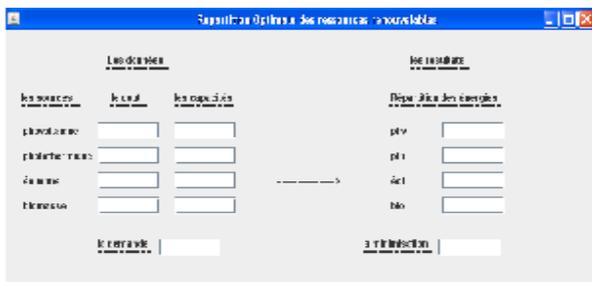


Fig. 7. Interface Graphique Utilisateur

5. Conclusion

Après avoir conçu et réalisé des systèmes expérimentaux d'énergies renouvelables (solaire photovoltaïque, et biomasse), nous avons envisagé dans ce travail la gestion des ressources combinés de façon optimale.

Nous avons établi les équations qui relient la puissance des systèmes photovoltaïque et biomasse par rapport à la surface qu'ils occupent ainsi qu'aux autres paramètres. Nous avons modélisé notre problème de répartition des ressources hybrides en termes de programmation linéaire

que nous avons résolu par la méthode du simplexe. Ce travail a été illustré par un exemple pratique.

L'analyse des résultats obtenus montre que la répartition optimale est celle qui favorise la ressource la plus disponible mais à plus faible coût. il reste d'autres possibilités pour mieux répartir les ressources en cas de limitation de la surface en arrangeant la disposition, l'architecture, et la géométrie de l'installation énergétique.

References

- [1] V. D. Lazarov, G. Notton, Z. Zarkov, I. Bochev, Hybrid power systems with renewable energy sources – types, structures, trends for research and development, Proceedings of International Conference ELMA2005, Sofia, Bulgaria, pp. 515-520, 2005.
- [2] A. Niez, Comparative Study on Rural Electrification Policies in Emerging Economies, Information paper of International Energy Agency, 2010.
- [3] L. Stoyanov, Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables, Thèse de doctorat, 2011
- [4] A.K. Akella, M.P. Sharma, R.P. Saini, Optimum utilization of renewable energy sources in a remote area, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11 (2007) 894–908.
- [5] D. Manolakos, 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.
- [6] M.K. Deshmukha, S.S. Deshmukhb, Modeling of hybrid renewable energy systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12 235–249, Elsevier, 2008.
- [7] J. LAGORSE, Systèmes électriques hybrides à énergie renouvelable Dimensionnement-modélisation et simulation, Journée Technique Energie Problématiques et méthodologies, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 28/05/2009.
- [8] 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 Department of Energy Technology, KTH, Stockholm, Sweden.
- [9] A. Felix, M. Farret, Godoy Simo~ Es A John Wiley & Sons, Integration of Alternative Sources Of Energy, Inc., Publication, 2006.
- [10] I. Vechiu, Modélisation et Analyse de L'intégration des Energies Renouvelables dans un Réseau Autonome, these de doctorat, Univ Havre, 2005.
- [11] A. Zaatri, N. Kacem Chaouche, M. Karaali, Etude de bioréacteurs anaérobies expérimentaux pour la production de méthane, Revue des Energies Renouvelables, Vol. 14 N°2 (2011) 291 – 300/291.
- [12] A. Zaatri, S. Belhour, Reconstitution de la caractéristique I – V et détermination de la puissance d'un système photovoltaïque, Revue des Energies Renouvelables, Vol. 12 N°4 (2009) 563 – 574 563.
- [13] A. Ortiz-Conde, F.J. Garcia Sanchez, J. Muci, New Method to Extract the Model Parameters of Solar Cells from the Explicit Analytic Solutions of Their Illuminated I–V Characteristics, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 90, N°3, pp. 352 – 361, 2006.
- [14] M. Wolf, H. Rauschenbach, Series Resistance Effects on Solar Cell Measurements, Advanced Energy Conversion, Vol. 3, N°2, pp. 455 – 479, 1963.
- [15] W. C. Hu, K. Thayanithy, C.F. Forster, A Kinetic Study of the Anaerobic Digestion of Ice-Cream Wastewater, ProcessBiochem. Vol. 37, pp. 965–971, (2002).
- [16] S. Diaf, D. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, A. Louche, A Methodology for Optimal Sizing of Autonomous Hybrid PV/Wind System, Energy Policy, Vol. 35, N°11, pp. 5708 – 5718, 2007.

- [17] L. Lin, H.X. Yang, A Study on Simulation of the Power Output and Practical Models for Building Integrated Photovoltaic Systems, *ASME Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 126, N°3, pp.1-7, 2004.
- [18] A. Zaatri, Les Techniques de la Recherche Opérationnelle : Algorithme du Simplexe, les mathématiques à l'université, Mars 2002.