

Etude d'un système hybride de génération d'énergie pour l'usage autonome dans la région de Tetouan, Maroc

Auteurs : Abdelbari REDOUANE¹ *, Abdelmajid ELBOUARDI¹*, Taïb AJZOU¹ ; Hassan EZBAKHE¹

¹ Laboratoire d'Energétiques, faculté des Sciences de Tetouan, université Abdelmalek Essaadi, PB. 2121, ZIP93000, Tetouan, Maroc,

**abdelbari04@gmail.com, a_bouardi@yahoo.fr*

Résumé : cet article présente la configuration d'un petit système hybride de génération d'énergie basé sur des énergies renouvelables pour un usage autonome. Le système combine des cellules photovoltaïques, une petite éolienne et des batteries qui assurent le stockage. Le but de ce système est de satisfaire la demande de charge d'une maison prototype conçue par le Laboratoire d'Energétiques de la faculté des Sciences de Tetouan, Maroc. Plusieurs simulations ont été effectuées pour vérifier la performance du système hybride sous différents scénarios en utilisant de vraies données météorologiques.

Mots clés : Petit système hybride de génération d'énergie ; Energies Renouvelables ; Données météorologiques ; Maroc.

Introduction

Récemment, le monde a connu un grand et continu développement des applications d'énergies renouvelables à petite échelle, tels que les systèmes solaires thermiques, le photovoltaïque, les éoliennes, la micro hydraulique, les piles à combustible et les pompes à chaleur géothermiques. Cela a conduit à une intégration progressive de ses différentes sources d'énergie, non seulement renouvelables mais aussi non renouvelables, dans le secteur du bâtiment. Les premiers exemples des systèmes multi énergies ou systèmes hybrides de production d'énergie ont été les systèmes hybrides de production d'énergie isolés conçus comme une alternative à la construction de lignes de puissance dans les régions éloignées des réseaux ou dans le cas où la puissance fournie par le réseau n'est plus suffisante à cause de l'ajout d'une nouvelle charge. Depuis les années 1990, plusieurs systèmes d'énergie sont utilisés comme des centres de génération distribuée, en injectant leur production d'électricité dans le réseau général [1]. En règle générale, le terme système multi énergies ou système hybride fait référence à la combinaison de deux ou plusieurs convertisseurs d'énergie pour surmonter les limitations qui seraient inhérentes à l'utilisation d'une seule source d'énergie [3]. Ces systèmes, souvent appelés combinés ou hybrides sont utilisés ensemble pour satisfaire un ou plusieurs besoins énergétiques, et qui se distinguent des systèmes conventionnels qui sont généralement basés sur une seule source de combustible fossile. Souvent, mais pas nécessairement, au moins un des convertisseurs d'énergie est alimenté par une source d'énergie renouvelable. Le système multi énergies peut être isolé ou raccordé au réseau. Un grand intérêt a été récemment mis sur les systèmes hybrides qui sont reliés au réseau. En générale, le système hybride en particulier lorsqu'il intègre des énergies renouvelables nécessite une étude personnalisée des ressources renouvelables disponibles et de la demande locale d'énergie [2]. Une approche intégrée de simulation fait l'objet de ce travail afin de déterminer la combinaison optimale des sources.

1. Le système hybride d'énergie

Les systèmes hybrides d'énergie (SHE) [3] associent au moins deux technologies complémentaires: une ou plusieurs sources d'énergie classiques, généralement des générateurs diesels, et au moins une source d'énergie renouvelable. Les sources d'énergie renouvelable, comme l'éolienne et le photovoltaïque, qui sont les plus utilisés parmi les différents types des technologies des ressources renouvelables [4], ne délivrent pas une puissance constante. Leur association avec des sources classiques permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées [4] et [5].

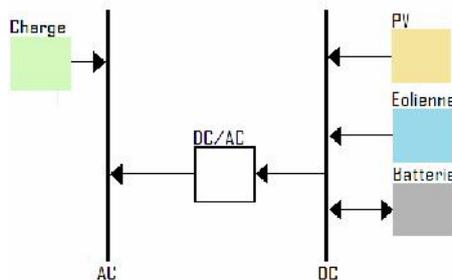


Figure 1: Schéma générale du système hybride que nous avons étudié.

Dans notre étude nous proposons un système hybride, dont les principaux éléments sont les suivants : Charge, champs PV, éoliennes, batteries, convertisseur DC/AC

2. Le logiciel de simulation Homer

HOMER est un logiciel pour la simulation et l'optimisation de systèmes de génération électrique distribuée développé par le National Renewable Energy Laboratory (NREL) [6]. Le modèle doit être renseigné des ressources disponibles, des options technologiques, des coûts et des contraintes à respecter par le système. Les composantes qui peuvent être modélisées sont des modules photovoltaïques, des éoliennes, des générateurs, des batteries, des convertisseurs AC/DC, des électrolyseurs, des réformateurs, des réservoirs d'hydrogène. Les éléments clés du modèle sont les deux AC et DC bus, auxquels chaque convertisseur doit être lié. Les charges peuvent être saisies en tant que profil de charge quotidien ou importées d'un fichier de données horaires. En tout cas, les valeurs horaires des charges doivent être définies pour chacune des 8760 heures d'une année.

Enfin, une analyse de contrainte peut également être effectuée au moyen d'un facteur de capacité annuelle limitée à une valeur maximale : si ce paramètre est fixé à 0%, alors le système doit satisfaire les charges tout le temps, alors que s'il est fixé à des valeurs de 1% à 5% des économies considérables en puissance de crête et des différences entre les scénarios optimisés sont obtenus [7].

HOMER est largement utilisé et accepté comme un outil de simulation distribué au niveau international. De nombreuses analyses de systèmes énergétiques hybrides ont été effectuées à l'aide de cet outil et ont été publiées sous forme d'articles, en particulier sur la revue Renewable Energy : voir par exemple les travaux de Iqbal [8] pour des applications dans les Newfoundland (au Canada), Shaahid et Elhadidy [9] pour les systèmes hybrides photovoltaïques-diesel-batteries, Beccali et al. [10] pour les systèmes SER à hydrogène.

3. L'optimisation et l'analyse de sensibilité

L'objectif de cette consiste à étudier la préfaisabilité de l'utilisation des systèmes hybrides de production d'énergie dans la région nord du Maroc (35N,5W). Tout en minimisant le coût du système et en répondant à la demande de la charge le système doit réduire l'émission du CO2. Différentes sources d'énergie renouvelables et de leurs applicabilités en termes de coût et de performance sont discutés. HOMER (version 2.81) est utilisé comme un outil de dimensionnement et d'optimisation. HOMER contient plusieurs modèles pour les composants des systèmes de production d'énergie tout en évaluant les options technologiques convenables basées sur le coût et la performance des ressources. L'analyse de sensibilité en utilisant les valeurs de vitesse du vent, de radiations solaires, du prix des batteries et des unités de production d'énergie renouvelable est possible et souhaitable pour prévoir la percusion d'un éventuel changement des quelques entrées de la simulation sur le choix finale. Plusieurs scénarios de charge et de la demande journalière ont été utilisés dans l'étude avec ses valeurs de pointe associées [93].

Nous avons défini 9 cas de sensibilité qui sont testés pour toutes les configurations du système hybride. En fait, nous avons dans la totalité 216 systèmes qui sont simulés à 576 cas au bout de 20 minutes. HOMER nécessite les informations portant sur les ressources énergétiques, les contraintes économiques et les méthodes de contrôle. Elle nécessite encore les entrées concernant les types des composants, leurs nombres, leurs coûts, leurs rendements, leurs longévités et d'autres paramètres.

Tableau 1: Les différentes configurations de la simulation.

	Champ PV (kW)	Eolienne XLR	Batteries S4KS25P	Convertisseur (kW)
1	0.000	0	0	0.00
2	0.700	1	3	12.00
3	1.400	2	6	

4	2.000		12	
5			15	
6			20	
7			30	
8			40	
9			45	

Nous avons simulé toutes les combinaisons possibles du système en respectant les tailles et les nombres déjà définis. Pour chaque combinaison, une série de simulations horaires pour les heures disponibles d'une année. Un système faisable est défini comme étant une configuration qui est capable de satisfaire la demande électrique et dans le cas contraire HOMER l'éliminera. L'analyse de sensibilité permet de simuler le système en agissant sur les différents paramètres technico-économique afin d'identifier le système optimal.

4. Les données météorologiques

Les données météorologiques ont été recueillies par une station météorologique du Laboratoire d'Energétique de la Faculté des Sciences de Tétouan, Royaume du Maroc. Les données recueillies concernent la période d'avril à décembre de l'année 2010. Le pas d'enregistrement est de 10 min.

4.1. Les données de l'irradiation globale journalière

Le tableau 14 récapitule les données de l'irradiation solaire globale journalière pour les différents mois de l'année.

Tableau 2: Tableau récapitulatif des données concernant l'irradiation solaire.

Mois	Indice de clarté	Irradiation solaire moyenne (<i>kWh/m²/day</i>)
Avril	0.276	2.750
Mai	0.377	4.180
Juin	0.387	4.470
Juillet	0.397	4.480
Août	0.353	3.650
Septembre	0.317	2.790
Octobre	0.310	2.150
Novembre	0.266	1.430
Décembre	0.210	0.980

4.2. Les données de la vitesse du vent

Le tableau 15 récapitule les données de la vitesse du vent moyenne pour les différents mois de l'année.

Tableau 3: Tableau récapitulatif des données concernant la vitesse du vent.

Mois	Vitesse moyenne du vent (<i>m/s</i>)
Avril	3.32
Mai	4.36
Juin	4.09
Juillet	3.78
Août	3.08
Septembre	3.31
Octobre	3.14
Novembre	3.73
Décembre	3.41

5. Résultats et discussion

Cette étude de préfaisabilité et de sensibilité nous a permis de simuler des centaines de combinaisons de configurations d'un système hybride à partir de plusieurs tailles et nombres de composants. Plusieurs scénarios de charge et de consommation électrique ont été traités. Nous allons dans cette partie présenter en détails un exemple de configuration optimale pour une consommation de 2Kwh/j. Puis nous allons présenter un récapitulatif pour les autres cas.

5.1. Cas d'une consommation journalière de 2Kwh/j

Dans ce cas, la consommation journalière est faible avec un pic de 380w, la simulation a proposé la configuration avec un champ PV de 2Kw et 9 batteries. Le tableau 16 récapitule les composantes de la configuration optimale.

Tableau 4: Configuration optimale pour une consommation de 2 Kwh/j .

PV Array	2 kW
Battery	9 Surrette 4KS25P
Inverter	12 kW
Rectifier	12 W

L'étude de sensibilité se base sur le capital et les coûts d'exploitations des unités de production ainsi que la production énergétique annuelle de ces unités. Vu que nous n'avons pas eu des prix officiels, nous avons estimé les prix des installations et les coûts associés à leurs exploitations. Le tableau 17 récapitule les prix des installations et les coûts associés à leurs exploitations.

Tableau 5: Les prix des installations et les coûts associés à leurs exploitations.

Total net present cost	7,209\$
Levelized cost of energy	0.772\$/kWh
Operating cost	343/\$yr

5.2. Récapitulatif de l'étude de sensibilité

Dans la figure 39 nous présentons les configurations optimales en fonction des prix et de l'énergie consommée. Nous remarquons que les prix d'achats des unités de production d'énergie favorisent les PV pour des petites consommations énergétiques, alors qu'à partir de 3Kwh/j l'éolienne devient plus favorable.

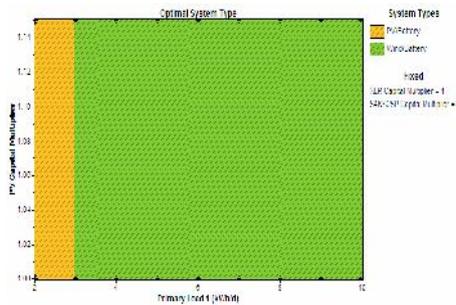


Figure 2: Les configurations optimales en fonction des prix des PV et de l'énergie consommée.

Dans la figure 40 nous remarquons que lorsque nous avons augmenté le prix d'achat des batteries de 15%, la configuration optimale devient véritablement hybride pour des consommations supérieures à 8,7 Kwh/d. Et par la suite, dans la figure 41 nous avons tracé le graphe des consommations optimales en fonction du prix d'achat des batteries et de l'énergie consommée.

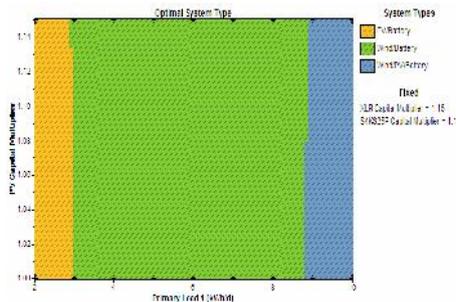


Figure 3: Les configurations optimales dans le cas d'une augmentation du prix d'achat des batteries de 15%.

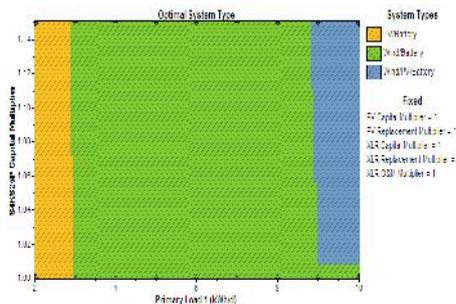


Figure 4: Les configurations optimales dans en fonction du prix d'achat des batteries et de l'énergie consommée.

Le tableau 18 présente un récapitulatif des configurations optimales pour les différentes consommations journalières moyennes. Nous remarquons que pour les différentes configurations le système permet une surproduction de l'énergie. Cela nous permet d'envisager un raccordement actif au réseau électrique, et dans ce cas une autre étude de sensibilité doit être faite mais en prenant en considérations les contraintes du raccordement au réseau électrique.

Tableau 6: Tableau récapitulatif des configurations optimales pour les différentes consommations journalières moyennes

Primary Load 1	<i>kWh/d</i>	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
PV	<i>kW</i>	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLR		0	2	2	2	2	2	2	2	2
Batteries 4KS25P		9	9	9	9	18	18	18	36	36
Converter	<i>kW</i>	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
PV Production	<i>kWh/yr</i>	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wind Production	<i>kWh/yr</i>	0,00	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52
Tot. Electrical Production	<i>kWh/yr</i>	1,72	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52
AC Primary Load Served	<i>kWh/yr</i>	730,00	1,10	1,46	1,83	2,19	2,56	2,92	3,29	3,65
Excess Electricity	<i>kWh/yr</i>	834,00	8,21	7,77	7,32	6,87	6,41	5,96	5,50	5,05
Battery Autonomy	<i>hr</i>	246,24	246,24	246,24	246,24	492,48	492,48	492,48	984,96	984,96
Battery Throughput	<i>kWh/yr</i>	461,00	394,00	572,00	765,00	971,00	1,19	1,42	1,65	1,90

Conclusion

Dans ce papier nous avons présenté une étude de pré faisabilité et de sensibilité pour un système hybride d'énergie. Nous avons configuré ce système pour produire de l'énergie en utilisant seulement des énergies renouvelables, à savoir l'énergie solaire et l'énergie éolienne. Pour faire cette étude nous avons utilisé les données météorologiques de la région de Tétouan au nord du Maroc. Les résultats ont permis de simuler plusieurs scénarios de prix d'achats des composants du système, et de la demande électrique journalière. Cette étude a montré que pour des faibles consommations les PV seuls sont la solution optimale, alors qu'à partir d'une demande électrique de 3Kwh/j les petites éoliennes deviennent plus favorables. Cette étude a montré aussi que le prix d'achat des batteries joue un rôle important dans la détermination de la solution optimale.

Références

- [1] MANWELL J.F. Hybrid energy systems. In: CLEVELAND C.J. (ed.) Encyclopedia of Energy, Volume 3. London: Elsevier, 2004, pp. 215- 229.
- [2] CLARKE J.A. Energy simulation in building design. 2nd Ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2001, 362 pp, ISBN 0 7506 5082 6.
- [3] Enrico FABRIZIO, Modélisation des systèmes multi énergies dans les bâtiments, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, thèse de doctorat, Numéro d'ordre 05ISAL, 2008.
- [4] Photovoltaic systems; a buyer's guide, Natural resources Canada, renewable and electrical energy Division, ISBN0-662- 31120-5.
- [5] Mann Mk, Economics of renewable hydrogen it's about more than production. Renewable hydrogen energy forum, Washington
- [6] NREL (National Renewable Energy Laboratory). Getting started guide for HOMER version 2.1, April 2005.
- [7] GIVLER T., LILIENTHAL P. Using HOMER® software, NREL's micro-power optimization model, to explore the role of gen-sets in small solar power systems. Technical Report NREL/TP-710-36744, May 2005.
- [8] IQBAL M.T., A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland, Renewable energy, 2004, vol. 29, n° 2, pp. 277-289. ISSN 0960-1481.
- [9] SHAAHID S.M., ELHADIDY M.A. Technical and economic assessment of grid-independent of hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for commercial loads in desert environments. Renewable and sustainable energy reviews, 2007, vol. 11, n° 8, pp. 1794-1810, ISSN 1364-0321.
- [10] BECCALI M., BRUNONE S., CELLURA M., FRANZITTA V. Energy, economic and environmental analysis on RET-hydrogen system in residential buildings, Renewable energy, 2008, vol. 33, n° 3, pp. 366-382, ISSN 0960-1481.
- [11] Maatallah Taher, Etude de la pré faisabilité des systèmes d'énergie hybride autonome dans la région de Tunis, Congrès International sur les Energies Renouvelables et l'Environnement 19-21 Mars, 2009, Tunisie.