

Optimisation d'un système hybride de production d'énergie pour site isolé: cas de la ville de Ngaoundéré

Aymar Kouam ^{1,2*} et Ghislain Tchuen ^{2†}

¹ GEEA, ENSAI Ngaoundéré, Université de Ngaoundéré, B.P. 455, Ngaoundéré-Cameroun

² LISIE, IUT-FV Bandjoun, Université de Dschang, B.P. 134, Bandjoun-Cameroun

(reçu le 10 Novembre 2015 – accepté le 30 Décembre 2015)

Résumé – Ce travail, présente l'optimisation d'un système éolien-photovoltaïque-micro-turbine à gaz avec batterie pour l'électrification des populations n'ayant pas accès au réseau électrique. Les résultats de simulation montrent que l'insertion de la micro-turbine à gaz permet de réduire les émissions de gaz polluants de manière significative par rapport au système à générateur diesel.

Abstract – This work presents the optimization of wind-photovoltaic-gas generator-battery hybrid system designed for a remote location for the national grid. Simulation results showing the insertion of the micro gas turbine reduces exhaust emissions significantly compared to diesel generator system.

Mots clés: Optimisation - Système d'énergie hybride (SEH) – Eolienne – Photovoltaïque - Micro-turbine à gaz.

1. INTRODUCTION

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenue dans les années 70, a conduit l'homme à se tourner vers les énergies renouvelables pour produire de l'électricité (AIE, 2009). Par ailleurs, l'augmentation de la population se traduit par une augmentation du besoin en énergie électrique.

Pour le cas du Cameroun, le pays dispose d'un potentiel non négligeable en énergie renouvelable. Classé sur le plan africain comme deuxième pays ayant le plus fort potentiel hydraulique, soit 294 TWh (Nfah *et al.*, 2008; Afungchui, 2014), l'électricité produite au Cameroun est à 73.3 % d'origine hydraulique (Observ'ER, 2013). La puissance totale installée est de 728 MW, répartie sur trois centrales: Song-Loulou (384 MW), Edéa (272 MW) et Lagdo (72 MW).

La ville de Ngaoundéré dispose d'un ensoleillement relativement bon et des vitesses de vent relativement faibles, mais exploitable pour la production de l'électricité (Kazet *et al.*, 2013). Ce qui a conduit le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), à initier le projet de centrale solaire dans 1000 localités du pays, dans le but de participer au processus d'électrification rurale.

Des recherches ont été menées sur le plan du dimensionnement des systèmes d'énergies hybrides de production. Grainger *et al.*, (1988), étudient la disponibilité, le besoin et l'utilisation de la ressource énergétique pour le dimensionnement de systèmes hybrides éolien-photovoltaïque.

Par la suite, Protogeropoulos *et al.*, (1997), réalisent le dimensionnement et l'étude technico-économique d'un hybride éolienne-photovoltaïque. Gary (2001), étudie le système hybride éolien-gaz.

* kouamaymar@gmail.com

† tchuengse@yahoo.com

Degobert *et al.*, (2006) étudient à leur tour la possibilité d'utiliser le système photovoltaïque et une micro-turbine à gaz de grande vitesse sous environnement Matlab. Al-khalil (2011) étudie dans sa thèse la supervision, l'économie et l'impact sur l'environnement d'un système d'énergie électrique associé à une centrale photovoltaïque.

Bao *et al.*, (2013) étudient la capacité optimale d'un système indépendant éolien-photovoltaïque-diesel-batteries basé sur l'algorithme génétique. Olatomiwa *et al.*, (2014) ont étudié l'optimisation d'un SEH pour une antenne de télécommunication en site isolé au Nigeria.

Chen *et al.*, (2015) étudient la configuration optimale d'un mini réseau de distribution en considérant le générateur diesel comme source principale. Ils réalisent une comparaison entre les résultats obtenus sous environnement HOMER et ceux obtenus en utilisant l'algorithme génétique, il ressort un avantage d'utiliser le générateur diesel comme source principale. Pour une alimentation autonome, les micro-turbines à gaz sont préférées par rapport aux générateurs diesel en raison de leurs meilleures performances dynamiques et leurs plus faibles émissions (Kanchev, 2014).

L'objectif général de ce travail est de contribuer au développement des populations en exploitant les ressources énergétiques locales pour l'approvisionnement en électricité des populations non raccordées au réseau de distribution électrique. La nécessité de remplacer le générateur diesel par la micro-turbine à gaz réside sur le fait que l'utilisation d'une micro turbine est plus rentable et moins coûteuse que la construction des centrales et de leurs lignes de distribution, surtout, en site isolé du réseau.

2. POTENTIEL SOLAIRE ET DU VENT DE LA VILLE DE NGAOUNDERE

Le but de notre étude est de faire une étude de faisabilité et de proposer un modèle optimal de production d'énergie dans la région de l'Adamaoua au Cameroun. Cette proposition pouvant être étendue partout dans le pays à condition de prendre en compte les paramètres climatique du lieu d'étude.

La ville de Ngaoundéré dans la région de l'Adamaoua choisie pour l'étude est située au Nord (zone septentrionale) du Cameroun de latitude 7°20 Nord et de longitude 13°34 Est.

Le Cameroun dispose d'un bon ensoleillement dans la zone septentrionale, plus aride et sèche et dont l'irradiation moyenne est de 5.8 kWh/m²/jour, soit 42% du rayonnement diffus et 4 kWh/m²/jour, soit 50% du rayonnement diffus dans la zone méridionale plus humide (Kengne, 2012; Afungchui, 2014). Ainsi, on observe une insolation moyenne de 4.9 kWh/j/m² pour l'ensemble du pays. Ce potentiel solaire est suffisant pour le développement d'usages énergétiques.

Tableau 1: Valeurs mensuelles de l'irradiation solaire journalière et de l'index de clarté de la ville de Ngaoundéré obtenu depuis le site de la NASA (National American Space Agency)

Mois	Indice clarté	Irradiation journalière	Mois	Indice clarté	Irradiation journalière
Janvier	0.703	6.484	Juillet	0.463	4.674
Février	0.687	6.741	Août	0.452	4.660
Mars	0.632	6.531	Septembre	0.470	4.849
Avril	0.557	5.828	Octobre	0.529	5.246
Mai	0.529	5.419	Novembre	0.661	6.161
Juin	0.500	5.019	Décembre	0.697	6.270

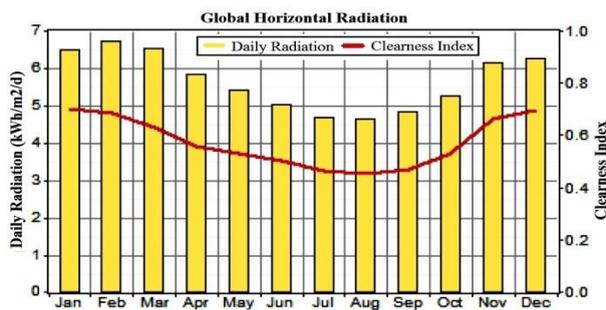


Fig. 1: Irradiation solaire et indice de clarté mensuelle de la ville de Ngaoundéré

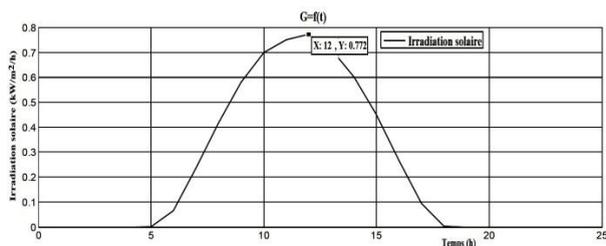


Fig. 2: Evolution de l'irradiation solaire journalière

L'exploitation de cet ensoleillement s'avère très utile pour la population. Le projet de centrale solaire dans 1000 localités du pays, participe au processus d'électrification rurale initié par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) (Observ'ER, 2013).

Il est à noter que plusieurs études sont menées en vue de l'étude du potentiel éolien du pays (Afungchui, 2014). Bien que relativement faible, d'une moyenne de 4.119 m/s pour la ville de Ngaoundéré, ce potentiel est bel et bien exploitable en fonction de l'altitude (Kazet *et al.*, 2013). Les valeurs ont été obtenues pour un anémomètre situé à une hauteur de 10 mètres au dessus du sol.

Tableau 2: Evolution de la vitesse du vent mensuelle de la ville de Ngaoundéré

Mois	Vitesse du vent	Mois	Vitesse du vent
Janvier	4.320	Juillet	3.670
Février	4.350	Août	3.560
Mars	4.720	Septembre	3.320
Avril	4.900	Octobre	3.580
Mai	4.590	Novembre	4.010
Juin	3.970	Décembre	4.450

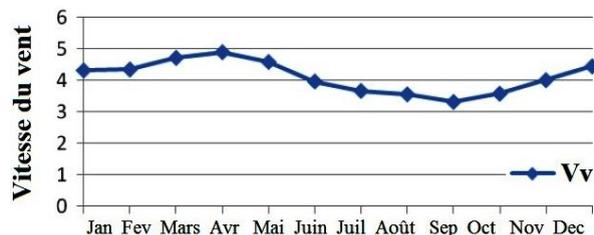


Fig. 3: Evolution mensuelle de la vitesse du vent de la ville de Ngaoundéré

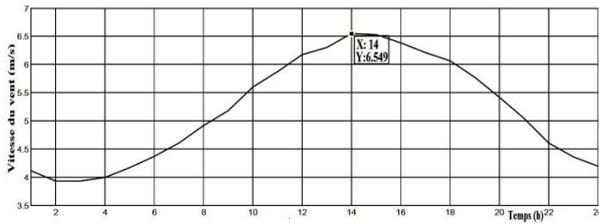


Fig. 4: Evolution de la vitesse du vent journalière à 25 mètres a.d.s.

3. PROFIL DE CHARGE DU SITE

La construction du profil de charge est basée sur 200 habitations rurales avec une moyenne de 05 personnes par habitation. En plus des maisons d'habitations, un centre commercial a été introduit pour les besoins quotidiens des populations, un centre hospitalier pour répondre aux besoins en soins de santé et une école pour la scolarisation des populations (Girma, 2013). Un pic de consommation est observé entre 18h et 22h. La puissance journalière du site est de 210.33 kWh/jour pour un pic de puissance de 37.26 kW. La figure 5 illustre le profil de charge journalier.

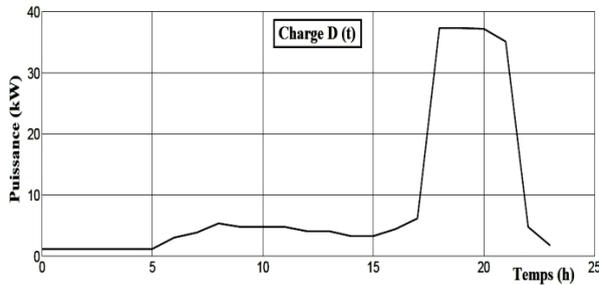


Fig. 5: Profil de charge journalier

4. SYSTEME D'ENERGIE HYBRIDE

La structure du SEH présentée à la figure 5 est une architecture qui repose sur la nature de la tension de sortie de chaque élément du système. Le système est constitué d'une éolienne, d'une micro-turbine à gaz délivrant une tension alternative. Les panneaux photovoltaïques et la batterie délivrent une tension continue. Pour produire la puissance nécessaire à la charge, la structure du SEH est composée de deux bus. Un bus continu pour les sources continues et un bus alternatif pour les sources alternatives. L'ensemble est connecté à la charge via un onduleur bidirectionnel.

La micro-turbine ici fonctionne comme source d'appoint. Lorsque les principales sources (photovoltaïque et éolienne) ne sont plus à même de produire l'énergie nécessaire et que la batterie a atteint son seuil de décharge maximale, la micro-turbine à gaz prend le relais pour couvrir la charge. La structure du SEH est présentée par la figure 6.

5. MATERIEL ET METHODES

5.1 Matériel

En guise de matériel pour notre analyse du système hybride de production d'énergie, nous avons: les feuilles de calcul en Excel de Microsoft Office, le logiciel Homer et le

logiciel Matlab. Homer permet tout d'abord de faire des simulations pour ensuite optimiser les systèmes et pour finalement terminer avec des analyses de sensibilité sur ces systèmes optimisés. La solution obtenue par Homer est la solution la moins coûteuse parmi différentes combinaisons de systèmes d'énergies renouvelables, d'énergies fossiles ou de systèmes hybrides comprenant deux sources d'énergie ou plus.

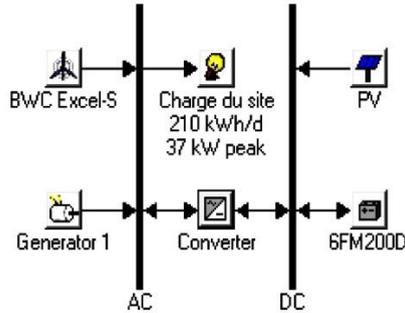


Fig. 6: Structure du SEH éolien-photovoltaïque-gaz avec accumulateur

5.2 Méthodes

La modélisation énergétique, la modélisation économique, l'algorithme d'optimisation et la technique d'optimisation du SEH sont présentés.

■ Turbine éolienne

Les valeurs obtenues des stations météorologiques sont prises à une hauteur normalisée. La hauteur normalisée utilisée pour l'anémomètre est de 10 mètres au dessus du sol (a.d.s.). On obtient dans ces conditions, le modèle mathématique approchée de la vitesse du vent dans le temps par l'équation suivante:

$$V_v(t) = u_1 \times t^5 + u_2 \times t^4 + u_3 \times t^3 + u_4 \times t^2 + u_5 \times t + u_6 \quad (1)$$

La méthode d'extrapolation permet d'évaluer la vitesse du vent en fonction de la hauteur par l'expression:

$$V_h = V_{10} \cdot (h/10)^\alpha \quad (2)$$

Où α , représente le coefficient de correction (Stoyanov, 2011); V_{10} , la vitesse de vent à 10 mètres a.d.s. et h , la nouvelle hauteur pour laquelle on souhaite avoir la vitesse du vent. Le comportement de la turbine éolienne est étroitement lié à la vitesse de démarrage, vitesse à laquelle la turbine éolienne commence à fonctionner; la vitesse nominale et la vitesse de coupure, vitesse au-delà de laquelle la turbine éolienne cesse de fonctionner.

Javadi *et al.*, (2011), Li *et al.*, (2012) proposent le modèle énergétique permettant de caractériser la puissance délivrée par une turbine éolienne en fonction de l'intervalle de variation de la vitesse du vent.

$$P_{wt} = \begin{cases} P_{wtn} \times \left(\frac{V_v(t) - V_d}{V_n - V_d} \right) & V_d < V_v(t) < V_n \\ P_{wtn} & V_n < V(t) < V_f \\ 0 & \text{si } V(t) \leq V_d \text{ , } V(t) \geq V_f \end{cases} \quad (3)$$

■ Panneau photovoltaïque

Chaque panneau solaire est composé de plusieurs cellules. Il existe plusieurs modèles permettant de matérialiser une cellule photovoltaïque, le modèle à une diode (le plus utilisé) et le modèle à deux diodes. Le modèle énergétique utilisé dans la présente étude s'inspire des travaux de Javadi *et al.*, (2011) et de Yamegueu *et al.*, (2012) comme suit:

$$P_{pv} = \frac{G(t)}{G_{ref}} \times F_p \times \eta_{conv} \times P_{pvn} \quad (4)$$

Dans les conditions standard de test (STC), soit $G_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_{c,ref} = 25^\circ\text{C}$, $G(t)$, Irradiation solaire à l'instant t de la journée, F_p , Facteur de pertes, η_{conv} , Rendement du convertisseur et P_{pvn} , Puissance nominale du panneau.

■ Micro-turbine à gaz

La production d'électricité à partir de micro-turbine utilisant le gaz naturel comme combustible est prisée partout dans le monde pour ses propriétés environnementales. C'est en effet l'hydrocarbure le plus propre. Il est important de souligner que la micro turbine n'est pas une technologie récente, mais qu'elle est développée depuis près d'un quart de siècle. La flexibilité dans le cas d'ajout de charges additionnelles, la faculté d'améliorer la disponibilité et la sûreté d'approvisionnement sont entre autres les avantages liés à l'utilisation de la micro-turbine à gaz.

Pour une alimentation autonome, les micro-turbines à gaz sont préférées par rapport aux générateurs diesel en raison de leurs meilleures performances dynamiques et leurs plus faibles émissions (Kanchev *et al.*, 2014). Le modèle linéaire approximatif du premier ordre d'une micro-turbine à gaz, permet de mieux la caractériser est donné par Kanchev *et al.*, (2014).

$$P_{mtg}(t) = \frac{1}{1 + 3600 \times \frac{\tau_{mtg}}{n} \times t} \times P_{mtgref} \quad (5)$$

Avec $P_{mtg}(t)$, Puissance produite par la micro turbine; P_{mtgref} , Référence de puissance; τ_{mtg} , Temps de réponse de la micro turbine et n , Nombre de micro turbine.

Le temps de réponse qui permet de donner le modèle linéaire de l'équation (5) est de 10 secondes.

■ Batterie

Le stockage d'énergie est une solution transverse et complémentaire pour répondre à la demande d'énergie en période de basse production. Il est difficile de stocker directement l'électricité (Multon *et al.*, 1996). Il faut dès lors la transformer en une autre forme d'énergie plus facilement stockable, ce qui entraîne bien évidemment des pertes.

Le stockage électrochimique par batterie d'accumulateurs offre une bonne réversibilité entre la décharge et la recharge. Les batteries au Plomb acide, offrent actuellement un des meilleurs compromis entre service rendu et coût d'exploitation (Multon *et al.*, 1996).

■ Modélisation économique

Le modèle de la fonction objectif est basé sur le coût du cycle de vie (CCV) ou Life cycle Cost (LCC). Ce modèle prend en compte toutes les dépenses liées au

fonctionnement du système d'énergie hybride pendant toute la durée de vie du projet. On peut citer les dépenses liées au coût: d'investissement, d'opération et de maintenance, de remplacement et la valeur résiduelle à la fin du projet.

Les équipements constituant notre Système d'Énergie Hybride sont: le photovoltaïque, la turbine éolienne, la micro-turbine à gaz, le convertisseur et la batterie. La description de la fonction objective à minimiser est basée sur le modèle décrit par Yamegueu *et al.*, (2012). Cette fonction est décrite par l'expression (6).

$$F = C_I + C_{M\&O} + C_{Rempl} + C_0 \quad (6)$$

Avec, C_I , Coût d'investissement; $C_{M\&O}$, Coût de maintenance et d'opération; C_{Rempl} , Coût de remplacement; C_0 , Coût total des charges fixes.

Afin de prendre en compte le moment où la dépense est réalisée, les différents coûts considérés sont des valeurs actualisées (Azoumah *et al.*, 2011). Deux types de dépenses sont appliqués aux différents composants, les dépenses courantes et les dépenses non courantes. On définit le facteur d'actualisation pour les dépenses courantes par l'équation (7) et le facteur d'actualisation des dépenses non courantes par l'équation (8) (Azoumah *et al.*, 2011).

$$PW_c(i, a, dp) = \frac{\left(\frac{1+i}{1+a}\right) \times \left[\left(\frac{1+i}{1+a}\right)^{dp} - 1\right]}{\left(\frac{1+i}{1+a}\right) - 1} \quad (7)$$

$$PW_{nc}(i, a, dp) = \frac{\left(\frac{1+i}{1+a'}\right) \times \left[\left(\frac{1+i}{1+a'}\right)^{dp} - 1\right]}{\left(\frac{1+i}{1+a'}\right) - 1} \quad (8)$$

Avec, i , Taux d'inflation; a , Taux d'actualisation; dp , Durée du projet; a' , Taux d'actualisation pour les dépenses non courantes.

$$a' = \frac{(1+a)^{dcj}}{(1+i)^{dcj-1}} - 1 \quad (9)$$

Et dcj , durée de vie du composant j .

■ Algorithme d'optimisation

Les algorithmes d'optimisation sont des méthodes les plus utilisées pour la résolution numérique. L'algorithme génétique (AG) est une technique de recherche et d'optimisation probabiliste basée sur la population, dont l'idée de base est tirée du mécanisme de la génétique naturelle et de la sélection naturelle.

Koutroulis *et al.*, 2006, Yang *et al.*, 2008, Javadi *et al.*, 2011, Yamegueu, 2012, Kanchev *et al.*, 2014 utilisent l'algorithme génétique pour l'optimisation de SEH. Ko *et al.*, 2015 utilisent l'AG pour l'optimisation multi-objective de SEH.

■ Optimisation du SEH

Le dimensionnement d'un système de production de l'énergie dépend essentiellement du profil de la consommation à satisfaire.

Connaissant le besoin journalier, on détermine le modèle optimal de chaque chaîne de production suivant la stratégie d'optimisation définie. Afin de satisfaire la demande énergétique journalière la fonction objective F est soumise à la contrainte suivante: l'énergie produite par le champ photovoltaïque, le parc éolien et la micro-turbine à gaz à tout instant t doit être égale à la puissance demandée par la charge. Cette contrainte se traduit par l'équation (10).

$$P_{pv}(t) \times N_{pv} + P_{wt}(t) \times N_{wt} + P_{batt}(t) \times N_{batt} + P_{mg}(t) = D(t) \quad (10)$$

Ce qui revient à résoudre la fonction $F(x)$ sous contrainte suivante:

$$\begin{cases} \text{Minimiser } F(x) \\ \text{avec} \\ P_{pv}(t) \times N_{pv} + P_{wt}(t) \times N_{wt} + P_{batt}(t) \times N_{batt} + P_{mg}(t) = D(t) \quad t = 1 : 24 \end{cases} \quad (11)$$

6. RESULTAT DE SIMULATION DU SYSTEME HYBRIDE

L'objectif principal de l'optimisation est la réduction du coût du système et du taux de CO_2 produit. La diminution du temps de fonctionnement de la ressource fossile permet de réduire le taux de CO_2 produit et la consommation en gaz. La configuration optimale du système et de chaque composant est la suivante:

- 36 Panneaux Photovoltaïques de 185 Wc;
- 10 Aérogénérateurs de 1 kW;
- 06 Batteries de 2.760 kWh;
- 01 Micro-Turbine à Gaz de 38 kW.

Le système satisfait la charge pendant toute la journée, heure après heure. Il n'existe pas de rupture de production d'électricité par le système bien évidemment, à l'exception d'un phénomène externe pouvant survenir et perturber le fonctionnement du système.

La production mensuelle de la ressource solaire et du vent est donnée par la figure 7.

Pour une production journalière, l'évolution des différentes sources mises en jeu est donnée par la figure 8. Cette figure traduit au mieux le mode d'optimisation du système présenté dans ce travail.

On note ici que l'utilisation de la ressource fossile (le gaz) se fait uniquement pour compenser les pics de charge.

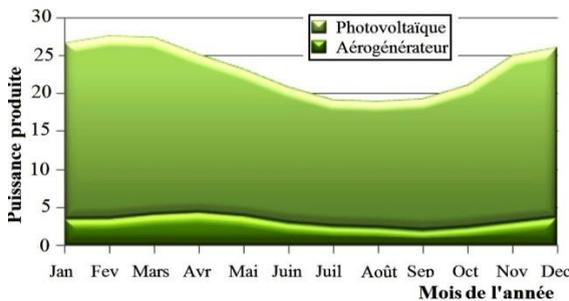


Fig. 7: Production Pv et Aérogénérateur

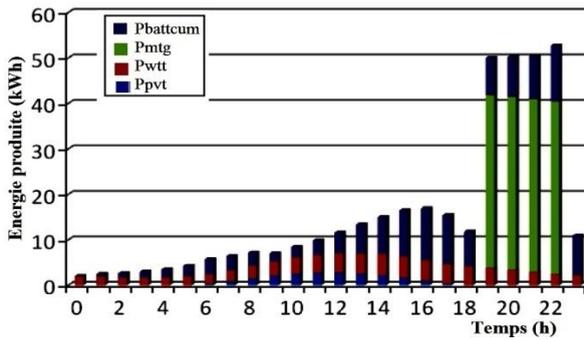


Fig. 8: Production journalière

La durée totale de fonctionnement de la micro-turbine à gaz est de 4h par jour, soit entre 19h et 22h pour le système optimale du SEH. Le taux de CO₂ produit par le système est fonction de la puissance produite par la micro-turbine à gaz.

Pour la production d'énergie à l'aide du gaz, ce taux est estimé à 0.204 kg CO₂/kWh selon l'ADEME en janvier 2015. Ce qui représente le deuxième plus faible taux de production de CO₂ après le bois énergie. Pour le SEH, la consommation de gaz de 56.96 m³ par jour pour 31 kg de CO₂ produit.

En comparant avec l'utilisation du gazole, la production de CO₂ passe de 31 kg à 106 kg de CO₂. Ce qui représente un gain considérable. Ce gain de CO₂ émis peut être revendu aux entreprises produisant assez de CO₂.

7. CONCLUSION

Nous avons pu montrer qu'un SEH éolienne photovoltaïque gaz avec batteries produit moins de CO₂ qu'un SEH éolienne photovoltaïque diesel très souvent utilisé. Ce qui répond à la problématique actuel sur le changement climatique.

L'intégration de ce système pour la production d'énergie permet de répondre efficacement à la demande, d'utiliser les ressources naturelles et de réduire le taux de CO₂ produit.

REFERENCES

- D. Afungchui, 'Rayleigh Distribution-Based Model for Prediction of Wind Energy Potential of Cameroon', Energy Review, Vol. 1, N° 2, pp. 26 – 43, 2014.
- F. Alkhalil, 'Supervision, Economie et Impact sur l'Environnement d'un Système d'Energie Electrique Associé à une Centrale Photovoltaïque', Thèse de Doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Génie Electrique, Lille, 2011.
- Y. Azoumah, D. Yamegueu, P. Ginies, Y. Coulibaly and P. Girard, 'Sustainable Electricity Generation for Rural and Peri-Urban Populations of Sub-Saharan Africa: The 'Flexy-Energy' Concept', Energy Policy, Vol. 39, N°1, pp. 131 – 141, 2011.
- Y. Bao, X. Chen, H. Wang and B. Wang, 'Genetic Algorithm Based Optimal Capacity Allocation for an Independent Wind/PV/Diesel/Battery Power Generation System', Journal of Information & Computational Science, Vol. 10, N°4, pp. 4581 – 4592, 2013.
- X. Chen, Y. Li, J. Xiao and X. Wei, 'Optimal Configuration for Distributed Generations in Micro-grid System Considering Diesel as the Main Control Source', Journal of Energy and Power Engineering, Vol. 9, pp 493 – 499, 2015.
- P. Degobert, S. Kreuawan and X. Guillaud, 'Micro-Grid Powered by Photovoltaic and Micro Turbine', International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'06), Palma de Mallorca, Spain, 5-7 April, 2006.

- G.D. Burch, 'Hybrid Renewable Energy Systems', U.S. DOE Natural Gas / Renewable Energy Workshops, Golden, Colorado, 21 August, 2001.
- Z. Girma, 'Hybrid Renewable Energy Design for Rural Electrification in Ethiopia', Journal of Energy Technologies and Policy, Vol. 3, N°13, PP. 38 – 53, 2013.
- W. Grainger and J. Rapson, 'The Routine Use of Wind and Solar Data in the Sizing of Small Wind Turbine and Photovoltaic Power Plants', Solar & Wind Technology, Vol. 5, N°6, pp. 667 - 669, 1988.
- M.R. Javadi, K. Mazlumi and A. Jalilvand, 'Application of GA, PSO and ABC in Optimal Design of a Stand-Alone Hybrid System for North-West of Iran', ELECO 2011, 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, pp. 204 – 211, 1-4 December, Bursa, Turkey.
- H. Kanchev, 'Gestion des Flux Énergétiques dans un Système Hybride de Sources d'Énergie Renouvelable: Optimisation de la Planification Opérationnelle et Ajustement d'un Micro Réseau Electrique Urbain', Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lille, Génie Electrique, 2014.
- H. Kanchev, F. Colas, V. Lazarov and B. Francois, 'Emission Reduction and Economical Optimization of an Urban Microgrid Operation Including Dispatched PV-Based Active Generators', IEEE Transactions On Sustainable Energy, Vol. 5, N°4, pp. 1397 - 1405, 2014.
- M. Kazet, R. Mouangue, A. Kuitche, J.M. Ndjaka et S. Takam, 'Modélisation et Simulation Numérique des Données du Vent en Vue d'une Prédiction de l'Énergie Electrique d'origine Eolienne: Cas d'un Site de la Ville de Ngaoundéré au Cameroun', Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°3 pp. 527 – 538, 2013.
- C.N. Kengne, 'Cadre de Gestion Environnementale et Sociale', Projet de développement du secteur de l'énergie, Ministère de l'Eau et de l'Énergie du Cameroun, 2012.
- E. Koutroulis, D. Kolokotsa, A. Potirakis and K. Kalaitzakis, 'Methodology for Optimal Sizing of Stand-Alone Photovoltaic/Wind-Generator Systems using Genetic Algorithms', Solar Energy, Vol. 80, N°9, pp. 1072 – 1088, 2006.
- M.J. Ko, Y.S. Kim, M.H. Chung and H.C. Jeon, 'Multi-Objective Optimization Design for a Hybrid Energy System Using the Genetic Algorithm', Energies 2015, Vol. 8, N°4, pp. 2924 – 2949, 2015.
- B. Multon et J.M. Peter, 'Stockage de l'Énergie Electrique, Moyens et Applications', Revue 3E.I N°6, pp. 59 – 64, Juin 1996.
- E.M. Nfah, J.M. Ngundam, M. Vandenberg and J. Schmid, 'Simulation of Off-Grid Generation Options for Remote Villages in Cameroon', Renewable Energy, Vol. 33, N°5, pp. 1064 – 1072, 2008.
- Observ'ER, 'La Production d'Electricité d'origine Renouvelable: Détails par Région et par Pays', Quinzième Inventaire, Edition 2013.
- L.G. Olatomiwa, S. Mekhilef and A.S.N. Huda, 'Optimal Sizing of Hybrid Energy System for a Remote Telecom Tower: A Case Study in Nigeria', IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON), pp. 243 - 247 , 13-14 Oct. 2014.
- C. Protogeropoulos, B.J. Brinkworth and R.H. Marshall, 'Sizing and Techno-Economical Optimization for Hybrid Solar Photovoltaic/Wind Power Systems with Battery Storage', International Journal of Energy Research, Vol. 21, N°6, pp. 465 – 479, 1997.
- L. Stoyanov, 'Étude de Différentes Structures de Systèmes Hybrides à Sources d'Énergie Renouvelables', Thèse de Doctorat, Université Technique de Sofia, Electrotechnique Electronique et Automatique, 2011
- D. Yamegueu Nguewo, 'Expérimentation et Optimisation d'un Prototype de Centrale Hybride Solaire PV/Diesel sans Batteries de Stockage: Validation du Concept 'Flexy Energy'', Thèse de Doctorat, Université de Perpignan et 2iE, Systèmes énergétiques, 2012.
- H. Yang, W. Zhou, L. Lu and Z. Fang, 'Optimal Sizing Method For Stand-Alone Hybrid Solar-Wind System With LPSP Technology By Using Genetic Algorithm', Solar Energy, Vol. 82, N° 40, pp. 354 – 367, 2008.