



## The 1<sup>st</sup> International Conference on Local Resource Exploitation

[www.lorexp.org](http://www.lorexp.org) / [info@lorexp.org](mailto:info@lorexp.org)  
REF: LOREXP\_2021\_A1176 Pages: 857-867



### Optimisation par la méthode essaim particulière d'un parc éolien autonome dans la ville de Ngaoundéré

#### *Optimization by the particle swarm method of an autonomous wind farm in the city of Ngaoundere*

Sadam Alphonse<sup>1,\*</sup>, Bikai Jacques<sup>2</sup>, Kitmo<sup>3</sup>, Kapseu César<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UFD PAI, GEEA, ENSAI, Université de Ngaoundéré, P.O. Box 455, Ngaoundéré, Cameroun

<sup>2</sup> Laboratoire d'Analyses, Simulation et Essais, Université de Ngaoundéré, P.O. Box 455, Ngaoundéré, Cameroun

<sup>3</sup> Département des énergies renouvelables, École nationale supérieure Polytechnique de l'Université de Maroua, Cameroun

<sup>4</sup> Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie, ENSAI, Université de Ngaoundéré, P.O. Box 455, Ngaoundéré-Cameroun.

\* Auteur Correspondant : [ssadamalphonse@yahoo.fr](mailto:ssadamalphonse@yahoo.fr)

#### RÉSUMÉ :

Il est question dans ce papier de déterminer la hauteur et le nombre des aérogénérateurs pour une demande d'énergie dans une localité par une méthode d'optimisation. La localité choisie pour mener l'étude est le village Wouro Kessoum qui n'est pas connecté au réseau électrique. Les fonctions-objectifs et leurs contraintes ont été déterminées. Parmi plusieurs outils numériques de simulations, la PSO a été choisi grâce à sa précision et sa rapidité par rapport aux autres outils numériques de simulation. Les résultats montrent que la hauteur du moyeu pour une puissance qui répond à la demande d'énergie est de 56m. le prix du kilowattheure éolien est de \$ 0,347.

**Mots clés :** Optimisation, Fonctions Objectif, PSO, Demande d'Energie, Hauteur.

#### ABSTRACT:

This paper is about determining the height and number of wind turbines for an energy demand in a locality by an optimization method. The locality chosen to conduct the study is the village of Wouro Kessoum, which is not connected to the electricity grid. The objective functions and their constraints have been determined. Among several digital simulation tools, the PSO was chosen thanks to its precision and speed compared to other digital simulation tools. The results show that the hub height for power that meets the energy demand is 56m. the price of a wind kilowatt hour is \$ 0.347.

**Keywords:** Optimization, Objective Functions, PSO, Energy demand, Height.

## **1. INTRODUCTION**

Le manque d'énergie électrique au Cameroun demeure une problématique d'envergure. Pourtant, l'énergie éolienne reste inexploitée voir méconnue dans la ville de Ngaoundéré. Des études ont été menées dans ce sens dans cette ville. Kouam et Tchuen (2015), Alphonse et al. (2020) et Kazet et al. (2013) ont montré que l'énergie éolienne dans la ville de Ngaoundéré est exploitable. Le vent à une distance de 10m du sol est perturbé par plusieurs obstacles tels que la forêt, les maisons...Raison pour laquelle il faut extrapoler à des hauteurs variables (Alphonse et al., 2020). Pour une demande d'énergie dans une localité donnée, une étude d'optimisation est nécessaire. Kazet et al. (2013) ont utilisé un algorithme génétique permettant d'optimiser la disposition d'un parc éolien de 25 turbines en modifiant la position et la hauteur de chacune turbine entre deux hauteurs prédéfinies. Ils ont constaté que puissance a augmenté de 13,53 % et que le coût par unité d'énergie produite a diminué de 0,37 %. Chen et al. (2013) ont utilisé une méthode d'essaim de particules pour optimiser un parc éolien, dans lequel la hauteur des turbines et le rayon du rotor sont deux variables de conception. Dans un parc éolien de 10 turbines, ils ont constaté une réduction de 12,8 % du coût de l'électricité. Hazra et al. (2015) ont optimisé une ferme éolienne en utilisant l'algorithme intelligent. Ils ont minimisé le coût d'énergie et maximisé la puissance produite. Chowdhury et al. (2012) ont optimisé la position des turbines pour former une ferme éolienne. Ils ont utilisé l'algorithme génétique pour optimiser. Grady et al. (2005) ont optimisé la configuration des grands parcs éoliens à l'aide d'un algorithme génétique. Les algorithmes d'algorithme génétique et essaim particulaire sont les méthodes les plus utilisées pour optimiser (Liu et al., 2018 ; Sawle et al., 2017 ; Mittal, 2010). Cependant, la méthode algorithme génétique met du temps pour trouver la solution optimale (Sankari et Chandrasekar, 2011 ; Renner et Ekárt, 2003). Das et al. (2019) ont extrapolé la demande d'énergie dans une dans une localité afin d'installer une ferme éolienne. Cependant, une étude d'optimisation en fonction de cette extrapolation n'a pas été faite. Au regard de ce qui précède, l'optimisation tenant compte de la hauteur des turbines n'ont pas pris en compte la variation de la demande d'énergie.

L'objectif de ce travail est d'optimiser une ferme éolienne (maximiser la puissance éolienne en fonction de sa hauteur et minimiser le coût d'énergie éolienne et du dispositif) pour répondre à la demande d'énergie variable.

## **2. MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **2.1. Matériel**

La station météorologique de l'IUT de Ngaoundéré est utilisée pour avoir les données du vent à 10m de sol. Ces données seront traitées via le logiciel Matlab R2016a.



**Figure 1 :** Centre de réception de la station météorologique de l’IUT de Ngaoundéré

## 2.2. Méthodes

### 2.2.1. Potentiel énergétique éolien

La fonction de densité de probabilité de Weibull est utilisée pour estimer la vitesse du vent. Cette représentation a l’avantage de déterminer rapidement la production annuelle moyenne du vent connaissant la caractéristique de Weibull du site (Sankari et Chandrasekar, 2011). Les deux paramètres de la fonction de densité de probabilité de Weibull sont utilisés pour estimer la vitesse du vent variations à l’aide de l’équation suivante :

$$P(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right), \quad (k > 0, v > 0, c > 1) \quad (1)$$

Pour estimer les paramètres de Weibull, plusieurs méthodes sont proposées, parmi lesquelles on peut citation : méthode de l’écart type, méthode du facteur de forme énergétique, méthode graphique, la méthode du maximum de vraisemblance, la méthode de la densité de puissance et la méthode du moment. Dans cette étude, nous avons utilisé la méthode du facteur de forme énergétique.  $P(V)$  est la densité de probabilité de la vitesse ;  $K$  le facteur de forme de la courbe (sans dimension) et  $C$  le facteur d’échelle de la courbe en m/s.  $K$  désigne le facteur de forme déterminé par la relation

$$K = 1 + \frac{3.69}{(Epf)^2} \quad (2)$$

Avec  $Epf$  l’énergie de facteur obtenue en fonction de la vitesse instantanée par la relation 3.

$$Epf = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i\right)^3} \quad (3)$$

$$C = \frac{VmK^{2.6674}}{0.184 + 0.8116K^{2.73855}} \quad (4)$$

### 2.2.2. Extrapolation de la vitesse du vent

A 10m du sol, le vent est perturbé par plusieurs obstacles tels que la forêt, les maisons etc. Les éoliennes sont donc installées à des hauteurs bien supérieures à 10 mètres. Ce qui permet d'obtenir une puissance exploitable. L'équation (5) décrit cette extrapolation :

$$V(z_2) = V(z_1) \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^\alpha \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} - \left(\frac{0.0881}{1 - 0.00881 \times \ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}\right) \times \ln\left(\frac{V(z_1)}{6}\right), \quad z = \sqrt{z_1 \times z_2} \quad (6)$$

$V(z)$  est la vitesse de référence mesurée à  $z$  mètres du sol;  $z_1$  et  $z_2$  désignent respectivement la hauteur de référence et la valeur variable supérieure à la référence;  $z_0$  la rugosité du sol.

### 2.2.3. Extrapolation des paramètres de Weibull en fonction de la hauteur

Les paramètres  $K$  et  $C$  à une hauteur  $z$  sont extrapolé par les formules (7) et (8) :

$$Kz = \frac{K_{10}}{1 - 0.00881 \ln\left(\frac{z}{10}\right)} \quad (7)$$

$$C_z = C_{10} \times \left(\frac{z}{z_{10}}\right)^n \quad (8)$$

La vitesse du vent dans le village Wouro Kessoum a été extrapolée à des différentes hauteurs dans les travaux de (Alphonse et al., 2020).

### 2.2.4. Estimation de la puissance de sortie de la turbine

La puissance de sortie du vent peut être exprimée comme suit (Powell, 1981):

$$P_e = \begin{cases} 0 & \text{pour } V < V_d \\ P_n \frac{V - V_c}{V_r - V_c} & V_d \leq V \leq V_n \\ P_n V_n & V_n \leq V \leq V_m \\ 0 & V \geq V_m \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{With } P_n = C_p \eta \frac{1}{2} \rho A \frac{V_r^c - V_i^c}{V_d^{c-3} - V_i^c / V_d^3} \quad (10)$$

$$P_e = \begin{cases} 0 & \text{pour } V < V_d \\ aV^3 - bP_n & V_d \leq V \leq V_n \\ P_n V_n & V_n \leq V \leq V_m \\ 0 & V \geq V_m \end{cases} \quad a = \frac{P_n}{V_r^c - V_i^c} \text{ and } b = \frac{V_i^c}{V_r^c - V_i^c} \quad (11)$$

Prenant en compte la variation de la masse volumique de l'air (Das et al., 2019) :

$$\rho(P, T, H_r) = \frac{1}{287,06T} \cdot (P - 230,617 \cdot H_r \cdot \exp\left(\frac{17,5043 \cdot \theta}{\theta + 241,2}\right)) \quad (12)$$

Considérant le modèle cubique, l'expression (11) devient :

$$P_e = \begin{cases} 0 & \text{pour } V < V_d \\ \alpha V^3 - b C_p \eta \frac{1}{2} \frac{1}{287,06 T} \cdot (P - 230,617 \cdot H_r \cdot \exp\left(\frac{17,5043,0}{0+241,2}\right)) A \frac{V_r^3 - V_i^3}{V_i^3 / V_d^3} & V_d \leq V \leq V_n \\ C_p \eta \frac{1}{2} \frac{1}{287,06 T} \cdot (P - 230,617 \cdot H_r \cdot \exp\left(\frac{17,5043,0}{0+241,2}\right)) A \frac{V_r^3 - V_i^3}{V_i^3 / V_d^3} & V_n \leq V \leq V_m \\ 0 & V > V_m \end{cases} \quad (13)$$

La puissance à la sortie du générateur est évaluée sur une période d'une année.

$$P t_e = \sum_{t=1}^T P_e, T=8760 ; \quad (14)$$

### 2.2.5. Profil de charge du site

Soit  $P_d(t)$  la puissance journalière demandée pour un ménage en fonction du temps  $t$  et  $N$  le nombre de ménages. L'extrapolation de la demande d'énergie  $P_t(t)$  est (Alphone et al., 2020) :

$$P_t(t) = N * P_d(t) \quad (15)$$

### 2.2.6. Estimation du coût de l'énergie

Les principaux facteurs régissant l'économie d'énergie des turbines d'aile sont (Gökçek et Genç, 2009):

- Le coût d'exploitation, d'entretien et de réparation ( $C_{omr}$ ) a été considéré comme étant de 25 % du coût annuel de la turbine
- La durée de vie ( $n$ ) de la turbine est de 20 ans.
- Le taux d'intérêt ( $r$ ) est de 15 %.
- le taux d'inflation ( $i$ ) est de 20 %.

Le coût d'investissement ( $I$ ) comprend le prix de la turbine plus ses 20 % pour les travaux de la main d'œuvre.

### 2.2.7. Formulation du problème :

Objectif 1 : minimiser la fonction coût :

$$\text{Object 1} = \min f(N_{pv}, N_e, E_{ESS}) = N_e \cdot C_e + C_{ESS} \cdot E_{ESS} \quad (16)$$

Objectif 2: Maximiser la puissance totale  $P_T$  en fonction de la hauteur du mât de l'éolienne.

$$\text{Object 2} = \max (P_T) \text{ avec } P_T = P_e + P_{Bat} \quad (17)$$

Objectif 3: minimiser le coût de l'énergie

$$\text{Object 2} = \min (CE) \text{ (Olayink et al., 2012)} \quad (18)$$

Le coût de l'énergie  $CE$  est :

$$CE = \frac{VAC_{,tot}}{E_{servie}} \quad (19)$$

La valeur actualisée du coût VAC est:

$$VAC_{tot} = VAC_e + VAC_{Bat} \quad (20)$$

Avec,  $VAC_e = I_{WT} + c_{omr,e} \left(\frac{1+i}{r-i}\right) \left[ \left(1 - \left(\frac{1+i}{1+r}\right)^n\right) - S_e \left(\frac{1+i}{1+r}\right)^n \right]$  et

$$VAC_{Bat} = I_{Bat} + c_{omr,bat} \left(\frac{1+i}{r-i}\right) \left[ \left(1 - \left(\frac{1+i}{1+r}\right)^n\right) - S_{Bat} \left(\frac{1+i}{1+r}\right)^n \right]$$

Contraintes :

- Limites de la puissance éolienne:

$$P_{emin} \leq P_e(t) \leq P_{emax}; N_e \geq 0 \quad (21)$$

- Limites d'énergie et de puissance stockées dans la batterie:

$$E_{ESSmin} \leq E_{ESS}(t) \leq E_{ESSmax} \quad (22)$$

$$E_{ESSmin} = (1 - DOD) \cdot E_{ESSmax} \quad (23)$$

- Equilibre de puissance

$$P_e(t) \pm P_{ESS}(t) \geq P_{load}(t) \quad \text{avec } P_{load}^t = n \cdot Pd^t \quad (24)$$

### 2.2.8. Méthode d'algorithme essaim particulaire

L'optimisation des essaims de particules (PSO) s'inspire du comportement social et coopératif de diverses espèces pour répondre à leurs besoins dans l'espace de recherche. L'algorithme est guidé par l'expérience personnelle (Pbest), l'expérience globale (Gbest) et le mouvement actuel des particules pour décider de leurs prochaines positions dans l'espace de recherche. De plus, les expériences sont accélérées par deux facteurs c1 et c2, et deux nombres générés entre [0, 1] alors que le mouvement actuel est multiplié par un facteur d'inertie w variant entre [wmin ; wmax]. La population initiale (essaim) de taille N et de dimension D est désignée comme  $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iD}]^T$  où T désigne l'opérateur de transposition.

La PSO est appliquée à ce problème d'optimisation, les fonctions objectifs construites seront utilisé pour choisir la puissance produite en fonction de la hauteur et le coût de cette énergie. Les bonnes solutions de la PSO sont obtenues avec une forte probabilité d'être la meilleure par les étapes de mise à jour des positions des particules et des vitesses. L'organigramme de l'algorithme est illustré dans le diagramme suivant :

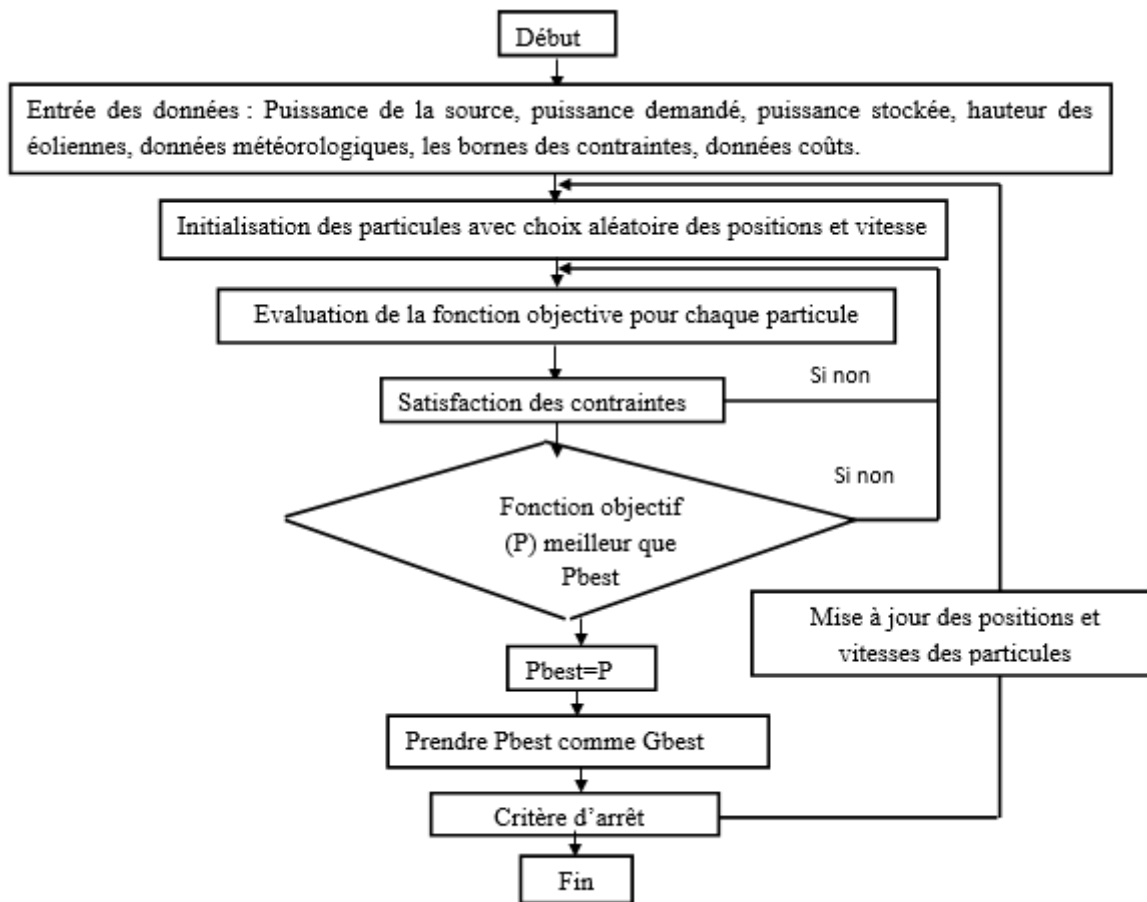


Figure 2 : Diagramme de PSO développé

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION :

L'algorithme est appliqué dans ce document pour le calcul de la production optimale d'énergie électrique et une charge dans une localité comme demande de charge électrique. La hauteur optimale de l'éolienne correspondante à une puissance maximale est de 56 m. Dans ce travail, on a appliqué la PSO dans MATLAB pour rechercher la disposition optimale d'un parc éolien donné. En tant qu'outil de recherche globale, la PSO peut éviter les solutions optimales locales en générant les meilleures solutions de manière aléatoire. L'algorithme génère le nombre d'éoliens en tenant compte des contraintes définies par les équations (20, 21, 22). La station de réception des données météorologiques de l'IUT de Ngaoundéré est présentée par la figure 3. Etant donné que la masse volumique de l'air est fonction de la pression atmosphérique, de l'humidité relative et de la température, et, les figures 4, 5, 6 présentent l'allure annuelle de ces derniers. Tenant compte de la demande d'énergie formulée par l'équation (16) et de la minimisation du coût du dispositif par l'équation 17, le tableau 2 ressort le nombre d'éoliennes et de batteries qu'il faut. L'équation (19) permet de calculer le le coût de l'énergie qui est le prix du kilowattheure. La figure 7 ressort le prix du kilowattheure mensuel. Il est relativement bas au mois de Mais (\$ 0,250). Ce ci s'explique par le fait qu'en ce mois le vent a une bonne vitesse dont la puissance

éolienne est importante. Ce coût devient important au mois de septembre (\$ 0,451). la moyenne du prix du kilowattheure de l'éolien est \$ 0,347 dans cette localité

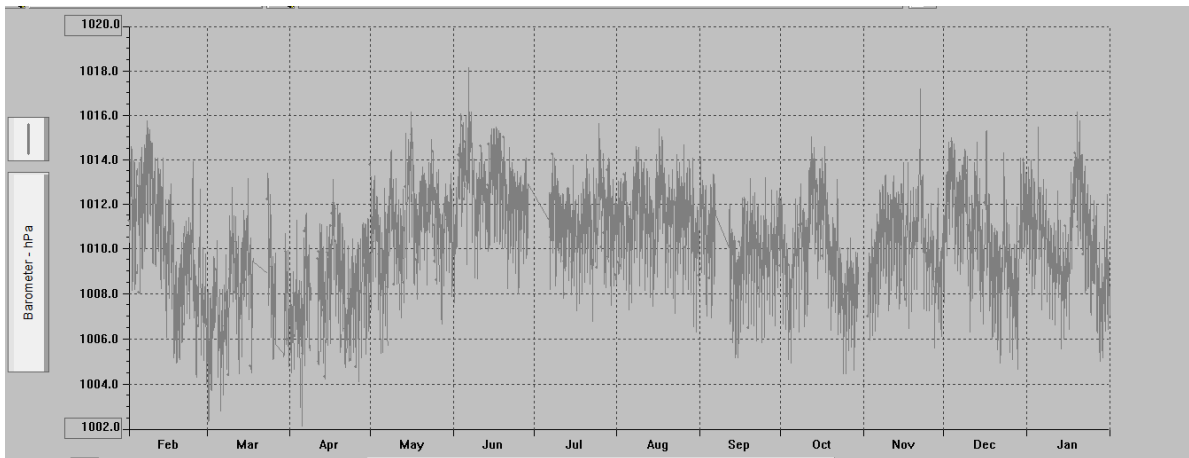


Figure 3: La pression atmosphérique par mois

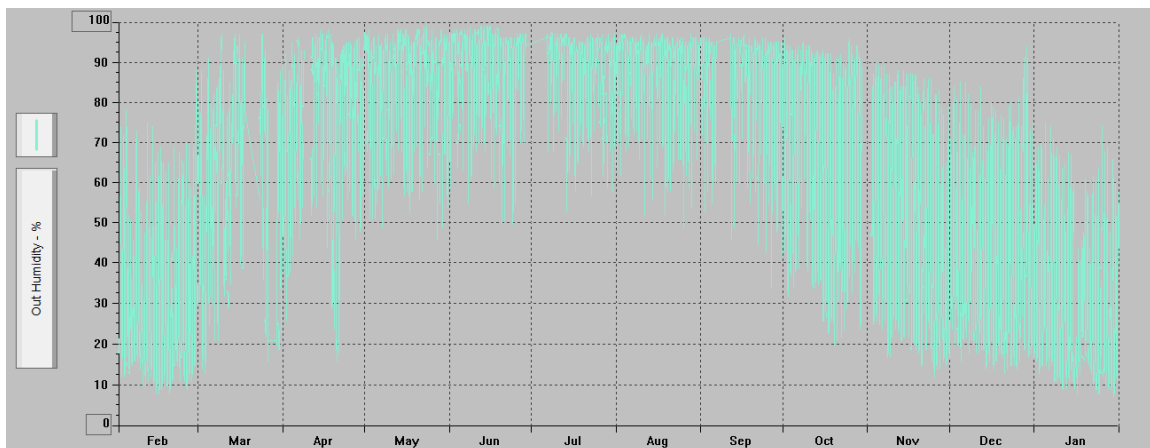


Figure 4 : Humidité relative par mois

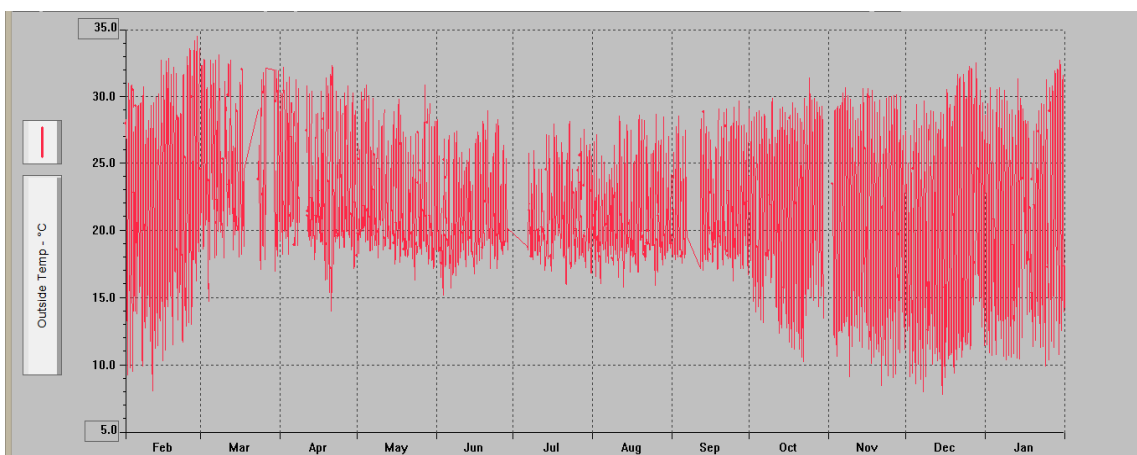


Figure 5 : La température ambiante par mois

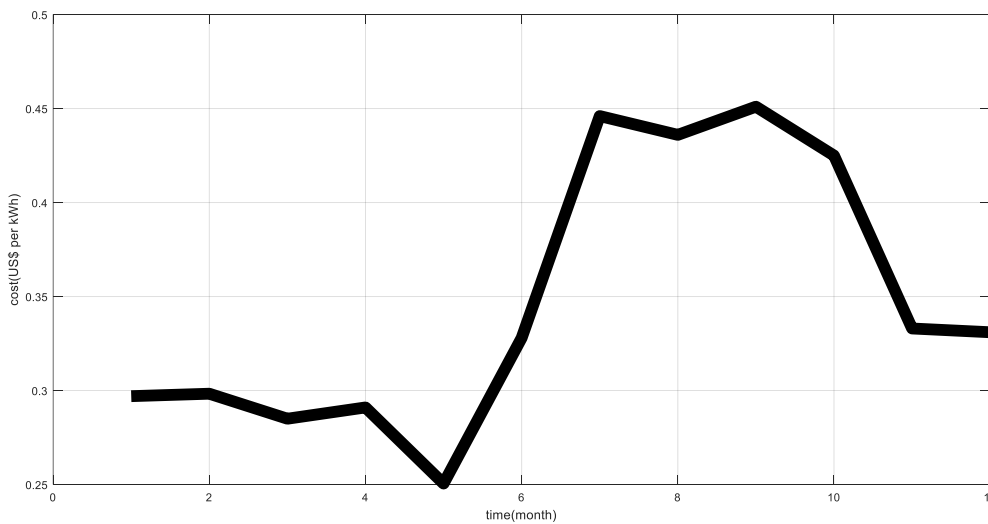


**Tableau 1 :** Caractéristiques des composants et leurs coûts correspondants

Wind turbine		Batteries bank	
Parameters	Values	Parameters	values
Cut-in,cut-out ; wind speed	2.5 m/; 17 m/s	Price	\$(42,250)
Rated Speed, V	12 m/s	Efficiency $\eta$	71 %
Hub height	60 m		
Rotor diameter	43	Rated energy	50 kWh
The maximum power	600 kW	Nominal voltage	100 v
Price	\$(50,00)		

**Tableau 2 :** combinaison optimale du système éolien/batterie

	n=50	n=100	n=150	n=195	n=250
<b>Nombre d'éolien</b>	4	7	9	10	11
<b>Nombre de batteries</b>	250	400	520	623	630



**Figure 6 :** Coût du kilowattheure durant une année.

#### 4. CONCLUSION

Il est question dans ce travail de déterminer la hauteur, le nombre des éoliennes et les batteries pour suffire à la demande d'énergie dans une localité donnée. Afin d'arriver au résultat le choix a été porté sur les modèles intégrant la variation de la masse volumique. Une extrapolation de la vitesse du vent a été faite pour convenir à la hauteur l'éolienne choisie. Grâce à sa précision et sa rapidité, l'algorithme d'essaim particulière a été choisi pour implémenter les fonctions objectives avec le langage Matlab. L'évaluation technico-économique montre que le prix du kilowattheure varie par mois et la moyenne est de \$ 0,347.

#### 5. CONFLICTS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt concernant la publication de cet article.

#### 6. RÉFÉRENCES

- Akpinar S. et Kavak Akpinar E., 2007. Wind energy analysis based on maximum entropy principle (MEP)-type distribution function. *Energy Conversion and Management*, **48**(4), 1140–1149. doi: 10.1016/j.enconman.2006.10.004.
- Alphonse S., Bikai J., Fokone A.T., et Cesar K., 2020. Potentiel énergétique éolien et profil de consommation d'énergie dans le village Wouro Kessoum Ngaoundéré Cameroun. *J. Ren. Energ.* **23**(1), 72–85.
- Chen Y., Jin H. Li,K., et Song Q., 2013. Wind farm layout optimization using genetic algorithm with different hub height wind turbines. *Energy Conversion and Management*, **70**, 56–65. doi: 10.1016/j.enconman.2013.02.007.
- Chowdhury S., Zhang J., Messac A., et Castillo L., 2012. Unrestricted wind farm layout optimization (UWFLO): Investigating key factors influencing the maximum power generation. *Renewable Energy* **38**(1) p.16-30. doi: 10.1016/j.renene.2011.06.033.
- Das M., Singh M.A.K., et Biswas A., 2019. Techno-economic optimization of an off-grid hybrid renewable energy system using metaheuristic optimization approaches – Case of a radio transmitter station in India. *Energy Conversion and Management*, **185**, 339–352. doi: 10.1016/j.enconman.2019.01.107.
- Gökçek M. et Genç M.S., 2009. Evaluation of electricity generation and energy cost of wind energy conversion systems (WECSs) in Central Turkey, *Applied Energy*, **86**(12), 2731–2739.
- Grady S.A., Hussaini M.Y., et Abdullah M. M., 2005. Placement of wind turbines using genetic algorithms. *Renewable Energy*, **30**(2) p.259-270. doi: 10.1016/j.renene.2004.05.007.

- Hazra J., Mitra S., Mathew S., et Zaini F., 2015. 3D Layout Optimization for Large Wind Farms. *ISGT*. p. 1–5.
- Kazet M., Mouangue R., Kuitche A., Ndjaka J., et Takam S., 2013. Modélisation et simulation numérique des données du vent en vue d'une prédiction de l'énergie électrique d'origine éolienne : cas d'un site de la ville de Ngaoundéré au Cameroun. *Revue des énergies renouvelables*, **16**(3), 527–538.
- Kouam A. et Tchuen, G, 2015. Optimisation d'un système hybride de production d'énergie pour site isolé : cas de la ville de Ngaoundéré. *Revue des Energies Renouvelables*, **18**(4), 529 – 538.
- Liu L., Sun Q., Wang Y., Liu Y., et Wennersten R., 2018. Research on Short-term Optimization for Integrated Hydro-PV Power System Based on Genetic Algorithm. *Energy Procedia*, **152**, p.1097-1102. doi: 10.1016/j.egypro.2018.09.132.
- Mittal A., 2010. Optimization of the Layout of Large Wind Farms using a Genetic Algorithm. Case Western Reserve University.
- Mohammed O.H., Amirat Y., et Benbouzid M., 2019. Particle Swarm Optimization of a Hybrid Wind/Tidal/PV/Battery Energy System. Application To a Remote Area in Bretagne, France. *Energy Procedia*, **162** p.87-96. doi: 10.1016/j.egypro.2019.04.010.
- Olayink S., Ohunakin, Joshua Ojolo S., Babatunde Ogunsina S., Rufus Dinrifo R., 2012. Analyse de l'estimation des coûts et l'évaluation de l'énergie éolienne au moyen de systèmes de conversion de l'énergie éolienne (WECS) de la production d'électricité dans six emplacements sélectionnés de haute altitude au Nigeria, **48**, 594–600.
- Powell W.R., 1981. An analytical expression for the average output power of a wind machine. *Solar Energy*, **26**(1) p.77-80. doi: 10.1016/0038-092X(81)90114-6.
- Renner G. et Ekárt A., 2003. Genetic algorithms in computer aided design. *Computer-Aided Design*, **35**(8) p.709-726. doi: 10.1016/S0010-4485(03)00003-4.
- Sankari L. et Chandrasekar C., 2011. Semi Supervised Image Segmentation by Optimal Color Seed Selection using Fast Genetic Algorithm. *International Journal of Computer Application*, **26**(10), 13–18.
- Sawle Y., Gupta S.C., et Bohre A. K., 2017. Optimal sizing of standalone PV/Wind/Biomass hybrid energy system using GA and PSO optimization technique. *Energy Procedia*, **117**, 690–698.