



**HAL**  
open science

# Etude et Conception de turbines d'éolienne recyclées pour accroître le taux d'électrification rural à Madagascar : Puissance et efficacité énergétique

Lalaniaina Rajoharisoa, Niri Randriatefison, Nour Murad

## ► To cite this version:

Lalaniaina Rajoharisoa, Niri Randriatefison, Nour Murad. Etude et Conception de turbines d'éolienne recyclées pour accroître le taux d'électrification rural à Madagascar : Puissance et efficacité énergétique. CNR IUT, Jun 2023, Saint-Pierre, La Réunion. hal-04088619

**HAL Id: hal-04088619**

<https://hal.univ-reunion.fr/hal-04088619v1>

Submitted on 4 May 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

## Etude et Conception de turbines d'éolienne recyclées pour accroître le taux d'électrification rural à Madagascar : Puissance et efficacité énergétique

---

L. A. Rajoharisoa <sup>1</sup>

N. Randriatefison <sup>1</sup>

N. M. Murad <sup>2</sup>

lalaniaina.physique@gmail.com

randriatefison@yahoo.fr

nour.murad@univ-reunion.fr

<sup>1</sup> Ecole Normale Supérieure, Université d'Antananarivo, Madagascar  
Laboratoire des Sciences Expérimentales et Mathématiques (LSEM)

<sup>2</sup> IUT, Département Réseaux et Télécoms, Université de La Réunion, France  
Laboratoire de Physique et Ingénierie Mathématique pour l'Energie,  
L'Environnement et le Bâtiment (PIMENT<sup>Lab</sup>)

**Thèmes** – Énergie – Eolienne – Mécanique – Matériaux recyclés

**Résumé** – *Le présent article étudie la conception d'une éolienne à partir des matériaux recyclés : turbine de ventilateur, moteur courant continu, bois, sèche-cheveux, pour un banc d'enseignement et de recherche sur l'énergie renouvelable. Après avoir cité les ressources naturelles et les besoins pour accroître le taux d'électrification rurale à Madagascar, nous avons réalisé le système éolien sur un banc d'expérimentation afin de mesurer et d'étudier l'efficacité de rendement de puissance pour plusieurs formes de turbine. Pour des conditions expérimentales données, nous avons étudié les puissances théoriques en fonction de leurs dimensions selon la loi de Betz, puis nous avons mesuré les puissances électriques pour 3 turbines recyclés. Avec une vitesse de vent fixée à 20m/s, les puissances électriques montrent que la turbine 3 est 26,6% plus efficace que la turbine 2 et 52,7% plus efficace par rapport à la turbine 1.*

**Mots-Clés** – Eolienne, Turbine, Aérodynamisme, Recyclage, Puissance électrique.

# 1 Introduction

Madagascar dispose de multiples ressources énergétiques renouvelables : le vent, le soleil, les rivières, les marées, la géothermie ou la biomasse. Le Programme « De l'électricité verte pour un million de ruraux à Madagascar », est la première initiative d'envergure nationale en matière de développement des énergies renouvelables locales pour : apporter l'électricité à plus d'1 million de ruraux dans les 9 régions du sud de l'île ; améliorer leurs conditions de vie ; promouvoir l'émergence des activités génératrices de revenus dans ces régions

Sachant qu'aujourd'hui ce taux d'électrification rurale est inférieur à 5 %, alors que 70 % de la population vit en milieu rural. Ainsi, il est nécessaire de contribuer au développement social et économique du pays en relevant le challenge de l'accroissement du taux d'électrification rural.

Notre stratégie est d'exploiter des sources d'énergie locales qui n'alourdissent pas la facture énergétique, tout en permettant à la population éloignée du réseau électrique des villes de bénéficier d'énergies modernes. Cette stratégie permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de protéger l'environnement malgache qui est déjà soumis à rude épreuve dans les agglomérations.

Madagascar dispose d'un potentiel d'énergies renouvelables très important et encore peu valorisé, qu'il soit solaire, éolien ou hydraulique. Le projet d'éolien pour 22 communes est en lancé [1]. L'installation se fera dans une région de Madagascar à fort vent où le vent est présent 40% de l'année et où le potentiel de vent reste élevé avec une moyenne journalière de vitesse supérieure à 5m/s. Le choix se porte sur la partie extrême Nord de Madagascar qui est très venteuse avec un maximum de 25,11 m/s et une moyenne de 9 m/s [2].

L'utilisation de l'énergie éolienne pour désenclaver des petits villages et apporter un peu de confort électrique aux habitants sera adopté grâce à la construction d'éolienne artisanale conçue à partir de matériels recyclés : turbine de ventilateur, moteur courant continu, bois, ....

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière [3, 4]. L'énergie cinétique du vent est captée par des pâles afin de la transformer en énergie mécanique. La transformation de cette dernière en énergie électrique est assurée par un générateur électrique [5, 6].

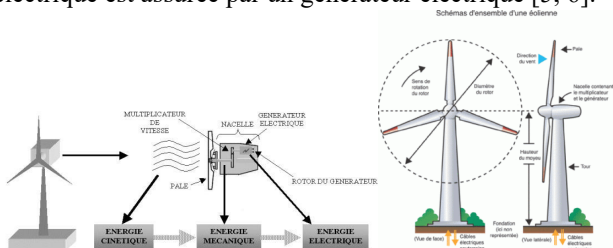


Figure 1 – (a) Principe de conversion de l'énergie dans une éolienne [4], (b) Schémas d'ensemble d'une éolienne [5]

Dans la technologie concernant les dispositifs de conversion d'énergie, il existe deux grandes catégories d'éoliennes, qui se réfèrent à la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice :

- les turbines éoliennes à axe horizontal ;
- les turbines éoliennes à axe vertical.

Dans notre cas, les turbines éoliennes à axe horizontal sont privilégiées. Une classification des turbines éoliennes selon leur puissance délivrée et le diamètre de leur hélice est donnée dans le tableau 1 [3]. Pour simplifier la fabrication artisanale en milieu rural, des hélices à petite échelle seront fabriquées et recyclées.

Table 1 – Classification des turbines éoliennes

Echelle	Diamètre de l'hélice	Puissance délivrée
Petite	Moins de 12 m	Moins de 40 kW
Moyenne	12 m à 45 m	De 40 kW à 999 kW
Grande	46 m et plus	1.0 MW et plus

Dans cet article, nous avons réalisé un dispositif pour mesurer de l'énergie électrique à partir d'une éolienne construite avec des matériels récupérés pour l'enseignement et la recherche sur l'énergie renouvelable. Ainsi, le modèle de Betz a été utilisé pour définir le seuil théorique de puissance électrique max pour une turbine donnée. Puis, nous avons construit un banc d'expérimentation avec des turbines recyclés. Enfin, l'efficacité mesurée des 3 turbines est confrontée selon la puissance électrique fournie pour un vent constant et une charge électrique donnée.

## 2 Modélisation aérodynamique

La limite de Betz selon l'équation (1) ne contient que la densité de l'air, la surface du rotor et la vitesse du vent. Selon la théorie de Betz, la puissance maximale ne peut être obtenue qu'avec un rotor idéal [6] et s'exprime de manière simplifier par

$$P_{w\max} = 0,37.S.v^3 \quad (1)$$

Avec, v, la vitesse du vent avant le rotor en m/s et S, la surface (m<sup>2</sup>) balayé par la longueur aérodynamiquement utile des pâles. Le moyeu d'un rotor horizontal, au quelle sont fixées les pâles, ne fournit pas de puissance. Toutefois, en tenant compte que son diamètre est petit par rapport au diamètre du rotor D (m), nous introduisons la surface balayée S par

$$S = \frac{\pi.D^2}{4} \quad (2)$$

Alors, on a

$$P_{w\max} = 0,29.D^2.v^3 \quad (3)$$

Nous fixons la vitesse de l'air à v = 20m/s et donnons la puissance max théorique pour les 3 turbines de la figure 3 dans le tableau 2.

Table 2 – Puissance max théorique (vent à 20m/s) par les turbines

	Turbine 1	Turbine 2	Turbine 3
D (10 <sup>-2</sup> m)	7,4	8,6	11
P <sub>wmax</sub> (W)	12,70	17,16	28,07

### 3 Conception du banc d'expérimentation et des turbines éolienne

Des hélices de type Savonius compatible pour le vent, ont été recyclées (figure 3). Un trou au centre de l'hélice a été fait pour insérer l'axe du rotor et devant ce dernier, nous avons fixé un cône avec une colle bougie.



Figure 3 - Turbine n°3, n°2 et n°1 de gauche à droite.

Le dispositif de soufflerie est composé d'un sèche-cheveux et de l'éolienne à la figure 4(a). La turbine démarre et tourne avec le vent produit par la soufflerie. La vitesse du vent est maîtrisée grâce à un variateur de vitesse du moteur dans le sèche-cheveux. On fixe la vitesse à 20 m/s, car la majorité des ventilateurs de sèche-cheveux sont équipés d'un moteur à grande vitesse courant continu de 20 000 tr/min [7]. La turbine est fixée sur l'arbre du moteur à courant continu. L'éolienne est modélisée par un circuit électrique sur la figure 4(b). Le dispositif électrique permet de mesurer la tension U et le courant I aux bornes du moteur CC de l'éolienne pour chaque valeur de la résistance R du potentiomètre. Un potentiomètre de 10kΩ fait office de charge électrique qui modélise la demande en consommation d'un utilisateur.

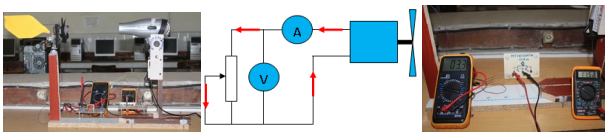


Figure 4 – (a) Dispositif expérimentale de l'éolienne, (b) Schéma électrique de l'expérimentation, (c) Mesures de la tension U et de l'intensité I

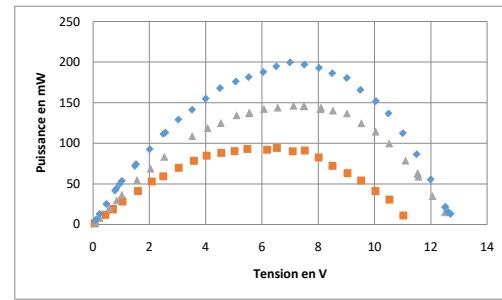
### 4 Mesures et analyses de performances

En faisant varier la charge R, on mesure le couple U et I (figure 4(c)). On déduit la puissance électrique fournie P. Le tableau 3 montre la puissance max mesurée pour chaque turbine avec une source de vent d'une vitesse  $v=20$  m/s. La distance entre la source de vent et la turbine de l'éolienne est de 25cm.

Table 3 – Puissance électrique mesurée suivant les turbines

Paramètres	Turbine 1	Turbine 2	Turbine 3
S ( $10^{-4}m^2$ )	43,00	58,08	95,03
Poids ( $10^{-3} kg$ )	20,70	28,36	36,90
U (V)	6,53	7,11	7,00
I (mA)	14,4	20,60	38,9
Pmax (mW)	94,29	146,47	199,5

Chaque courbe de puissance P des turbines, en sortie du moteur électrique, présente un maximum à  $U=7V$  (figure 5).



■ Turbine 3, ▲ Turbine 2, ■ Turbine 1

Figure 5 – Puissances électriques générées par les 3 turbines

On définit l'efficacité par  $(P_{max_j} - P_{max_i}) / P_{max_j}$ , avec i et j l'indice de turbine. Ainsi, la turbine 3 est 26,6% plus efficace que la turbine 2 et 52,7% plus efficace que la turbine 1. De plus, la turbine 2 est 35,6% efficace par rapport à la turbine 1.

### 5 Conclusions

Madagascar possède un gisement éolien important, surtout dans les parties nord de l'île. Ces ressources peuvent contribuer au développement socio-économique durable pour désenclaver des petits villages ruraux et apporter un peu de confort aux habitants qui n'ont pas de réseau électrique. Cela nécessite une certaine maîtrise des technologies de l'éolienne, qui joue un rôle essentiel pour la formation des élèves par la recherche et aussi à consolider leur engagement personnel pour l'environnement. La conception de l'éolienne à partir des matériels recyclés nous a permis d'étudier et de mesurer l'efficacité des trois turbines suivant leurs dimensions. De plus, sachant que la puissance théorique maximale récupérable par un capteur éolien est proportionnel à la surface de la turbine, nos mesures expérimentales sont validées bien que la perte de conversion mécanique/électrique reste importante. Ainsi, la turbine 3 est choisie pour fournir la meilleure puissance électrique pour une électrification en milieu rural avec 3 Leds en série à 7V.

### Références

- [1] Fondation Énergies pour le Monde, Ministère de l'Énergie et des Mines, *De l'électricité verte pour un million de ruraux à Madagascar*, www.fondem.org, 60 pages, Mars 2021
- [2] Tamo Andy, Randrianantenaina Eugène J., Soanaoly Juliette, Razafindrazaka Tsilavo M., Ratiarison Adolphe A, *Regionalisation Et Etude Du Vent A 950 Hpa Au Nord De Madagascar (Regionalization And Wind Study At 950 Hpa North Of Madagascar)*, Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, p. 244, 245, 2020
- [3] Bernard Multon, Olivier Gergaud, Hamid Ben Ahmed, Xavier Roboam, Stéphane Astier, Brayima Dakyo, Cristian Nichit, *Etat de l'Art dans les Aérogénérateurs Electriques*, Ed. NOVELECT - ECRIN, ISBN 2-912154-8-1, pp.97-154, 2002. HAL Open Science
- [4] Redouane Marouane, *Chapitre I Etat de l'Art sur l'Energie Eolienne*, University of Oxford, Electrical engineering, Academia.edu, Electrical engineering, Academia 2023
- [5] UPVD, *Les Energies Renouvelables : Etat des Lieux et Perspectives*, Université de Perpignan - Via Domitia, UVED-2013
- [6] Manuel Franquesa Voneschen, *Introduction à la théorie des éoliennes*, LA VERITAT, 2010
- [7] Frédéric Pimpaud, *Le catalogue 2021*, Socomix Hygiène, 35 pages, 2021