

Éolienne artisanale pour l'éducation sur l'énergie renouvelable

Artisanal Wind Turbine for Renewable Energy Education

L. A.Rajoharisoa¹, N. Randriatefison²

¹ Laboratoire des Sciences Expérimentales et Mathématiques (LSEM), Ecole Normale Supérieure, Antananarivo, Madagascar, lalaniaina.physique@gmail.com

² Laboratoire des Sciences Expérimentales et Mathématiques (LSEM), Ecole Normale Supérieure, Antananarivo, Madagascar, randriatefison@yahoo.fr

RÉSUMÉ. Dans le cadre de l'intégration du thème de la « Transition énergétique » dans le programme scolaire, nous avons conçu un dispositif artisanal d'éolienne, destiné à l'enseignement de « l'énergie renouvelable » auprès d'élèves de Première S du Lycée. Dans la première partie de cet article, nous présentons les éléments théoriques de l'éolienne, la seconde partie est consacrée aux réalisations des différents éléments et les caractéristiques du dispositif, nous exposons dans la dernière partie des résultats de notre étude, très applicables et satisfaisants pour les élèves pendant la réalisation des cours et exercices.

ABSTRACT. As part of the integration of the theme of "Energy Transition" into the school curriculum, we have designed an artisanal wind turbine device, intended for teaching "renewable energy" to pupils of Première S du High School. In the first part of this article, we present the theoretical elements of the wind turbine, the second part is consecrated to the achievements of the various elements and the characteristics of the device, we expose in the last part of the results of our study, very applicable and satisfactory for students during the course and exercises.

MOTS-CLÉS. Energie éolienne, éducation, recyclé, turbine, élèves.

KEYWORDS. Wind power, education, recycled, turbine, students.

1. Introduction

La transition énergétique s'inscrit dans la poursuite de l'objectif de développement durable (ODD - Madagascar) n°7 qui consiste à garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable. Elle conditionne également la réalisation de la majorité des 16 autres ODD car la problématique énergétique – et plus particulièrement électrique – se trouve au cœur du sous-développement, quel que soit l'aspect sous lequel on le considère [RAF 14].

De ce fait, le sujet de la « Transition énergétique » est intégré à la base même, en l'occurrence dans le programme scolaire, suivant l'arrêté émanant du Ministère de l'Education Nationale et de l'Enseignement Technique et Professionnel à Madagascar, fixant les programmes d'enseignement des classes de Premières S, appliqué à compter de l'année scolaire 2019-2020 [MIN 19].

Il s'agit ainsi de concevoir un programme portant sur le fonctionnement d'une centrale éolienne et d'expliquer la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique.

Les objectifs étant :

- De démontrer la contribution des énergies renouvelables au développement durable ;
- D'expliquer que l'énergie solaire est une source d'énergie qui mène au développement durable ;
- D'étudier quantitativement une centrale éolienne.

La qualité du matériel didactique est un élément primordial pour l'atteinte de ces objectifs [BAN 08]. En effet, compte tenu de la technicité du sujet, la compréhension et l'intégration des concepts par les élèves dépendent certes de la maîtrise du sujet par l'enseignant, mais surtout de la qualité et de l'attractivité des séances de travaux pratiques (TP) [JUL 12], plus l'engagement personnel de

l'enseignant semble fort, plus celui-ci semble faire des liens avec les activités proposées aux élèves[HUG 19].

C'est la raison qui nous amène à proposer un matériel didactique conçu à partir de matériaux de récupération, et donc de moindre coût, pour faciliter le transfert de connaissances aux élèves lors des Travaux Pratiques. L'étude présentée dans cet article concerne la réalisation d'une éolienne conçue à partir des matériaux recyclés pour assister les élèves et l'enseignant dans l'accomplissement de programme de l'énergie renouvelable en classe de première S. Nous présenterons dans un premier temps des éléments de la théorie de l'éolienne, puis les réalisations des différents éléments et à la fin, nous présentons quelques résultats.

1.1. Quelques éléments théoriques sur l'éolienne

Un aérogénérateur, est un dispositif qui permet de transformer une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice. L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière. De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif [RED 23]. La figure 1 montre Principe de la conversion de l'énergie dans une éolienne.

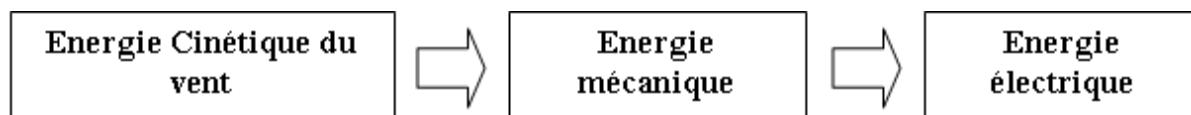


Figure 1. Principe de la conversion de l'énergie dans une éolienne [RED 23]

Nous allons montrer suivant la figure 2 les éléments essentiels qui constituent l'éolienne :

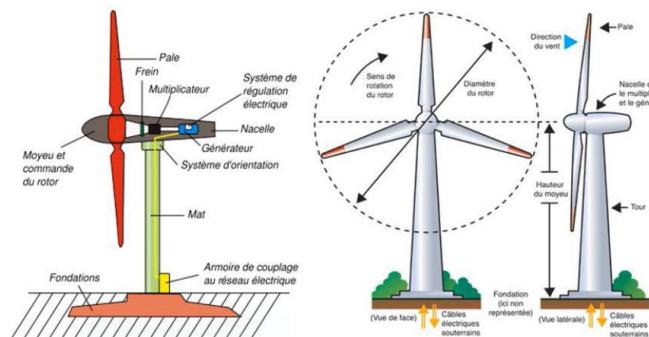


Figure 2. Composition d'une éolienne à axe horizontal [JAO 14]

La figure 3 montre la nacelle qui regroupe toutes les parties mécaniques permettant découpler le rotor éolien au générateur électrique : arbre lente et rapide, roulement, multiplicateur, le frein à disque, différents freins aérodynamiques, qui permettent d'arrêter le système en cas de surcharge [RED 23]

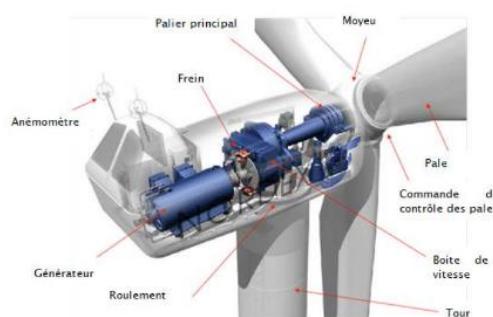


Figure 3. Chaîne électromécanique à multiplicateur de vitesse d'une éolienne Nordex N60 [BER 02]

1.2. Le turbine de ventilateur hélicoïdal

Considérons un rotor éolien idéal (sans pertes), qui fonctionne sur le principe de la poussée aérodynamique, propulsé par un vent de vitesse constante v (m/s). La surface balayée par les pales du rotor ("hélice") est S [m^2]. Le rotor, couplé à un générateur électrique ou une pompe à eau, tire son énergie du vent, ralentissant sa vitesse derrière le rotor (amont). La figure 4 montre schématiquement la relation des vitesses du vent avant, pendant son passage par le rotor et derrière celui-là [MAN 10] [MOH 11].

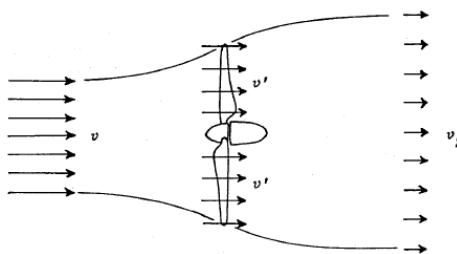


Figure 4. Comportement de la vitesse du vent dans un rotor éolien (conditions idéales) [MAN 10].

où v est la vitesse du vent avant le rotor ; v' est la vitesse du vent à l'hauteur du rotor ; v_2 est la vitesse du vent derrière le rotor ; et $v < v' < v_2$

Dans nos études, des ventilateurs de PC sont destinés à générer un fort débit pour refroidir l'unité centrale [MEC 21], des ventilateurs hélicoïdaux (ou axiaux). Les hélices sont fabriquées dans différentes sortes de matériaux, elles varient d'un fabricant à un autre, et certains sont spécifiques à certains types de ventilateurs. Elles peuvent être faites en plastique ou en polyamide, en acier, en inox, voire des matériaux beaucoup moins communs. Ces hélices correspondent à différentes sortes d'utilisation. À titre d'exemple, les lames en acier ne sont pas conseillées en milieu corrosif et celles en plastique ne supportent pas une trop haute température [MVI 23]. La figure suivante montre un ventilateur constitué de deux parties statiques, le distributeur et le diffuseur, plus une partie mobile l'hélice propulsée par le moteur. Le fluide arrive par le distributeur et l'hélice projette le fluide sur le diffuseur [KAD 21].



Figure 5. Un ventilateur axial pour le refroidissement des équipements électriques [KAD 21].

2. Matériels et méthodes

2.1. Quelques observations de contenu de programme

Quelques « Observations » sont tirés sur le contenu de programme [MIN 19] et à demander aux élèves d'effectuer :

- Faire remarquer que dans le cas d'une centrale éolienne, l'énergie cinétique du vent est transformée en énergie électrique ;
- Montrer que l'énergie cinétique du vent est proportionnelle à la surface S balayée par les pales et au cube de la vitesse v du vent ;
- Montrer que la puissance théorique de l'éolienne est proportionnelle à S et v^3
- Souligner que la puissance récupérable est 16/27 fois de la puissance théorique selon la loi de Betz

$$P_{récupérable} = \frac{16}{27} P_{théorique} \quad [1]$$

- Faire remarquer que l'éolienne ne produit pas de gaz à effet de serre ;
- Montrer que la puissance théorique de l'éolienne est proportionnelle à S et v^3 [AHL 17], [SYL 17]

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho S V^3 \quad [2]$$

ρ : Masse volumique de l'air (environ 1,225kg/m³ à 15°C)

V : Vitesse nominale du vent en (m/s)

S : surface d'air balayée par les pales (m²)

La figure 6 montre les courbes de puissance certifiées d'aérogénérateurs VESTAS qui dispose d'une puissance aérodynamique plus supérieure malgré la maigre vitesse du vent et qui lui donne un angle de pente en courbe très grand suivant la vitesse du vent [HOR 20]. L'objectif de notre système éolien est d'observer le résultat où la variation brusque et la présence du palier pour le maximum.

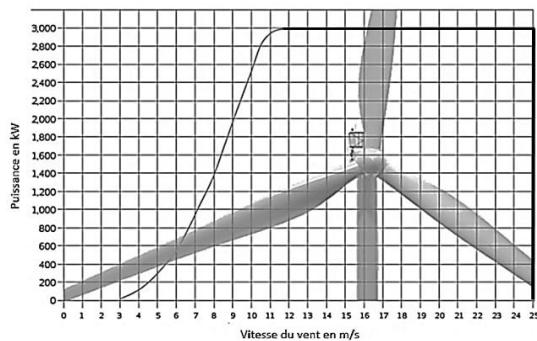


Figure 6. Courbes de puissance certifiées d'aérogénérateurs VESTAS [HOR 20]

2.2. Calcul la puissance électrique fournie par l'éolienne

Pour calculer la tension U (V) et le courant I (A) suivant la figure 8, une charge est fixée, soit un transformateur avec un diode, soit un potentiomètre de valeur 10 kOhm. Et le calcul de la puissance électrique par l'éolienne est donnée par la formule [3].

$$P = UI \quad [3]$$

2.3. Réalisation et étude expérimentale

A partir des éléments qui composent l'éolienne et les «Observations» de contenu de programme, le système de l'éolienne est conçu en détails et réalisé suivant des études expérimentales par les différentes figures successives :

Commençons par le système de l'éolienne en général, qui est fixé et pouvait glisser sur un banc d'essai suivant les figures 7, 8 :

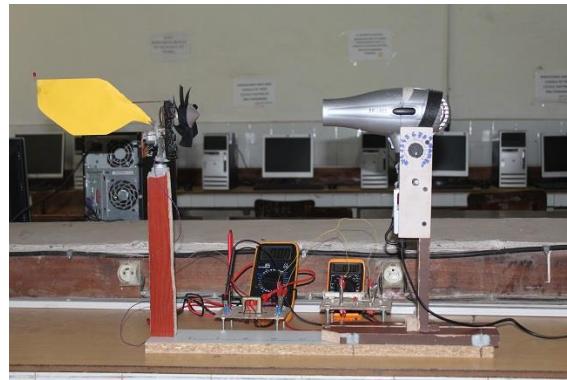


Figure 7. Dispositif expérimental de l'éolienne

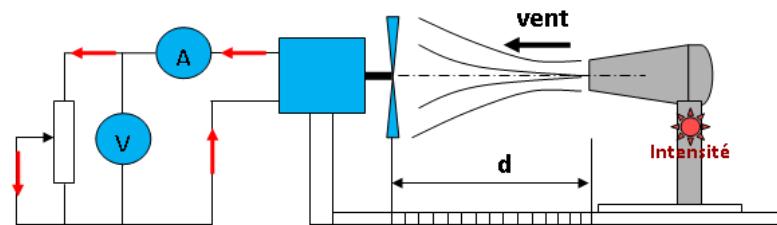


Figure 8. Schéma de réalisation expérimentale

Le moteur utilisé est un moteur à courant continu constitué par un rotor, (partie tournante), et constitué d'un noyau métallique avec un bobinage de cuivre, le stator comporte des aimants permanents qui engendrent un champ magnétique dont le flux traverse le rotor. L'espace étroit entre le rotor et le stator est nommé entrefer. Le rotor est donc constitué de fils électriques parcourus par un courant qui forment des spires, ces mêmes fils sont dans le flux magnétique des aimants. Ces conducteurs sont donc soumis à des forces de Laplace, un couple moteur est ainsi créé. Pour entretenir la rotation du moteur, le collecteur inverse le sens du courant dans les spires à chaque demi tour [ALA 13].

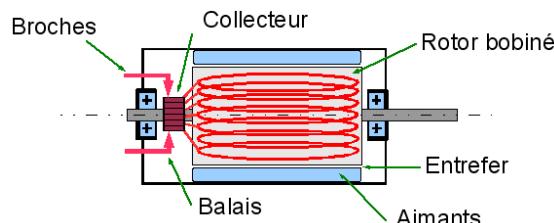


Figure 9. Schéma d'un moteur à courant continu [ALA 13]



Figure 10. Moteur à courant continu (6V, 4000rpm Générateur à Courant Continu)

Pour le source de vent comme soufflerie, un sèche-cheveux est utilisé et fixé sur le banc d'essai. La figure 11 montre le schéma et les éléments qui le composent [SOU 13].

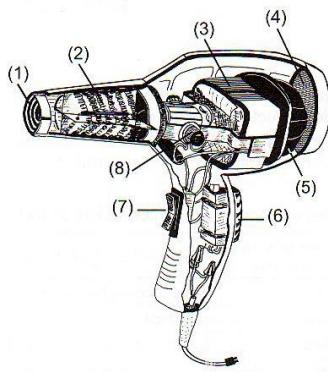


Figure 11. Schéma du sèche-cheveux et les différents organes de l'appareil [SOU 23].

Les différents organes sont : (7)Touche air froid, (8)Charbons , (3)Moteur , (1)Grille de protection avant , (5)Hélice Turbine , (6)Interrupteur, (2)Résistances ; (4)Grille de protection arrière

Le fonctionnement des résistances est disactivé alors la température de la source est égale à 0°C pour éviter l'impact sur le turbine et le système en général (déformation....)

Pour varier la vitesse du turbine, un variateur de vitesse est fixé et commandé par un courant i_g (courant gachette du Triac). Le schéma est affiché suivant la figure 12 (b)

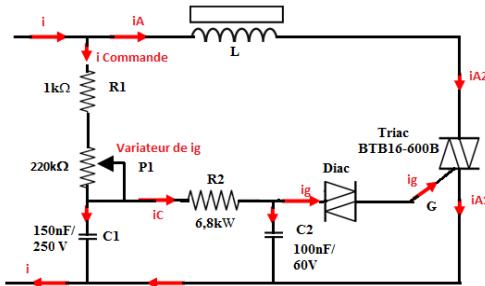


Figure 12. (a) Soufflerie fixé sur le banc d'essai ; (b) schéma de variateur de vitesse

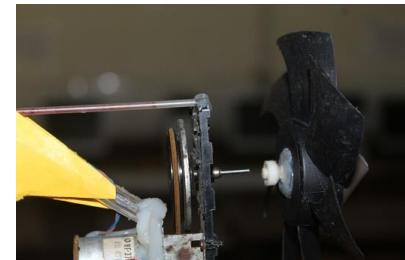
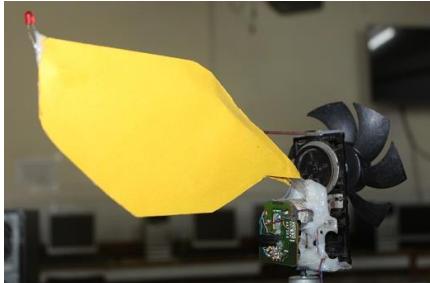


Figure 13. Montage des : gouvernail (a); poulies pour multiplicateur (b) ; axe principal (c)

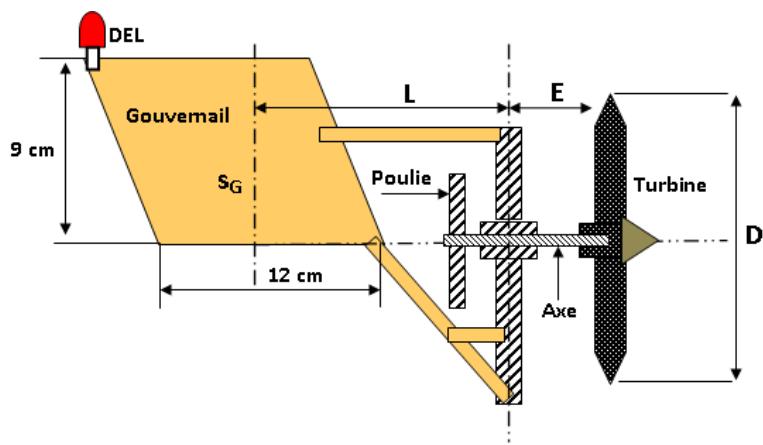


Figure 14. Schéma de montage de turbine, poulie et gouvernail sur l'axe principal

La grande poulie pour multiplicateur peut tourner sur l'axe et le turbine est fixe par contre pourrait remplacer par d'autre turbine

Pour le gouvernail, pour que le fonctionnement soit satisfaisant, certaines conditions doivent être observées. Si on donne à la distance axe d'orientation - centre de l'empennage, une valeur L égale à $4E$, E désignant la distance entre l'axe d'orientation et le plan de rotation de l'hélice, la surface s de l'empennage doit avoir une relation en fonction S (aire balayée par l'hélice). Pour une éolienne multipales $S_G = 0,16 S$ avec S : surface de la turbine et S_G : surface de la gouvernail [DIO 21]

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad [4]$$

$$S_G = 0,16 S \frac{E}{L} \quad [5]$$

$$E = 4 \text{ cm} ; L = 16 \text{ cm}$$

Entre la turbine et le gouvernail, il y a un multiplicateur mécanique à courroie constitué par deux poulies ($R_{\text{récepteur}}$, R_{moteur}). Si on admet que la transmission s'effectue sans glissement et que la courroie est inextensible, alors on peut définir le rapport de transmission (coefficient multiplicateur) par [THO 14], [DEL 09], [ALE 21]

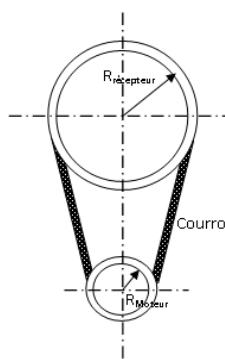


Figure 15. Multiplicateur de vitesse

$$k = \frac{R_{\text{récepteur}}}{R_{\text{moteur}}} \quad [6]$$

$$R_{\text{récepteur}} = 33 \text{ mm} ; R_{\text{moteur}} = 8 \text{ mm} ; \text{ alors le coefficient de multiplicateur } k = 4$$

	Turbine 1	Turbine 2	Turbine 3
Photo			
Dimension $D (10^{-2} \text{ m})$	7,4	8,6	11
Poids (10^{-3} kg)	20,70	28,36	36,90

Tableau 1. Caractéristiques des 3 turbines

- Charges appliquées :

On utilise deux charges différentes, l'un convertisseur et l'autre un potentiomètre logarithmique.

Pour obtenir une tension alternative 220V à partir de la tension continue 9V fournie par la génératrice de la petite éolinne, on utilise un simple convertisseur basé à un oscillateur des signaux carrés. Ces signaux carrés commandent alternativement les gachettes de deux transistors MOSFET (IRF 3205) afin de découper le courant continu entrant aux primaires du transformateur élévateur et de le transformer en courant alternatif 220V à vide. L'entrée du transformateur est du type symétrique ($U_e=9V/U_s=220V$ suivant la figure 15) pour avoir une double alternance à sa sortie.

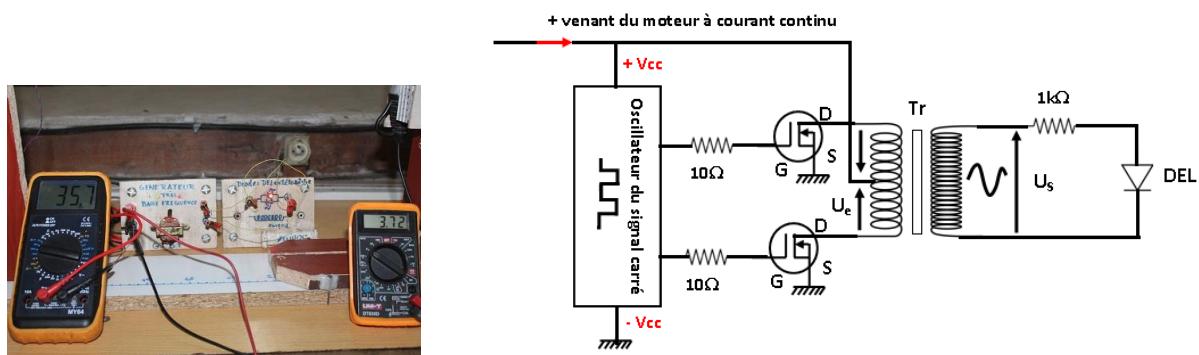


Figure 15. Mesure de la tension de sortie de la génératrice en utilisant un convertisseur comme charge.

Nous utilisons un potentiomètre $10k\Omega$ pour l'autre charge suivant la Figure 16, qui est exploité pendant la réalisation des expériences dans les résultats et discussion (3.).



Figure 16. Mesure de la tension de sortie de la génératrice en utilisant un potentiomètre $10k\Omega$ comme charge

2.4. Questionnaire de satisfaction pour l'utilisation de système

Pendant le cours, une questionnaire a été élaboré pour sonder les avis des 40 élèves de la classe du 1^{ère} S du Lycée d'Enseignement Général Jean Joseph RABEARIVELO et valider les aspects de l'accord ou non pour l'utilisation de matériel :

QUESTIONS :

– Le matériel mis à votre disposition est facile à utiliser (Q1)

Tout à fait d'accord Plutôt d'accord Plutôt pas d'accord Pas d'accord

– Le matériel mis à vos disposition a donné du plaisir (Q2)

Tout à fait d'accord Plutôt d'accord Plutôt pas d'accord Pas d'accord

– Matériel techniquement adapté à la comprehension de cours (Q3)

Tout à fait d'accord Plutôt d'accord Plutôt pas d'accord Pas d'accord

– Matériel techniquement adapté pour effectuer les exercices (Q4)

Tout à fait d'accord Plutôt d'accord Plutôt pas d'accord Pas d'accord

– Cohérence du contenu de cours et le matériel (Q5)

Tout à fait d'accord Plutôt d'accord Plutôt pas d'accord Pas d'accord

– Les composants nécessaires pour fabriquer une éolienne sont présents. (Q6)

Tout à fait d'accord Plutôt d'accord Plutôt pas d'accord Pas d'accord

– Le matériel favorise la collaboration, le débat et la confrontation d'idées. (Q7)

Tout à fait d'accord Plutôt d'accord Plutôt pas d'accord Pas d'accord

– Est ce que système est polluant dans l'air ? (Q8)

Oui Non

– Est –ce que vous êtes capable de réaliser ce système ? (Q9)

Oui Non

Les résultats statistiques sont effectués par le logiciel SPSS suivant le tableau 2

3. Résultats et discussions

– Courbes des puissances en mW (milliwatts) en fonction de vitesse (m/s) du vent

Pour une charge R=700 Ohm (potentiomètre 10 kOhm)

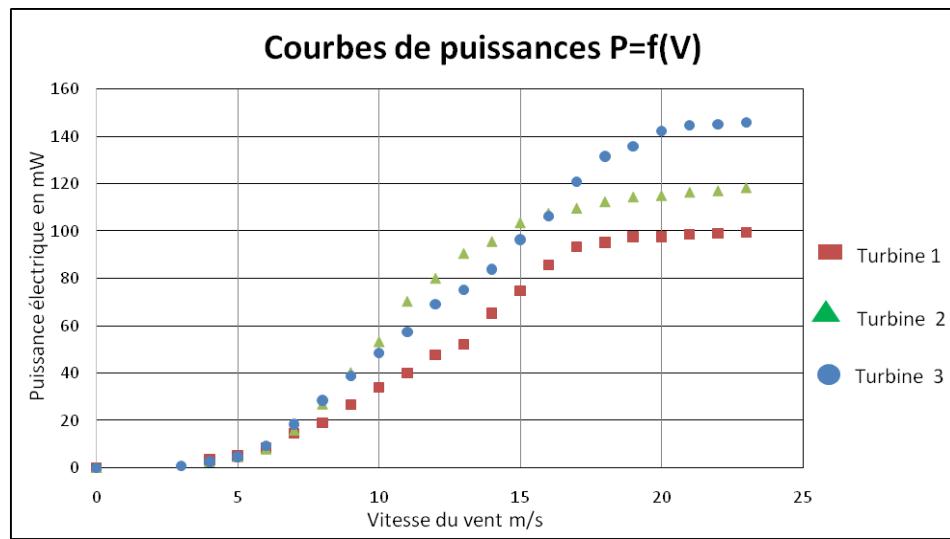


Figure 17. Courbe des puissances de l'éolienne en fonction de vitesse du vent

Pour des vitesses entre 0 et 5m/s, le vent n'a pas d'effet sur la turbine alors la puissance de sortie est presque nulle

Des vitesses entre 5m/s et 20m/s, l'éolienne affiche une montée en puissance plus rapide en fonction de la vitesse du vent ce qui montre qu'à cette intervalle, le mouvement de la turbine commence sa puissance aérodynamique compatible avec la fluidité de la source ce qui lui admet d'atteindre facilement la puissance maximale.

A partir de $v=20$ m/s, vitesse plus élevée pour le sèche-cheveux à un moteur à grande vitesse courant continu de 20 000 tr/min qui fournir une production optimale pour l'éolienne

Donc notre système éolien peut fournir des résultats acceptables suivant la figure 6

Avec la même source, on remarque que la turbine 3 présente un palier supérieur par rapport aux deux autres, ce qui montre la faisabilité des caractéristiques ainsi l'efficacité de l'aérodynamisme de la turbine 3 suivant le tableau 1 ; à une vitesse de vent donnés, une turbine plus grande en dimension devra avoir une vitesse de rotation supérieure qu'une turbine plus petite.

Les résultats des études tirés à partir de la figure 17 nous amènent étudier seulement la puissance électrique produite par la turbine 3 suivant la figure 18

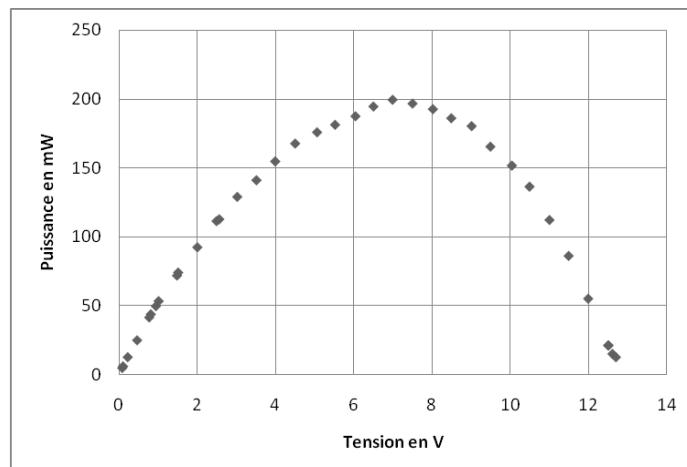


Figure 18. Puissance électrique produite par la turbine 3, $P=f(U)$

En traçant la courbe de puissance électrique en fonction de la tension, $P=f(U)$, les tensions entre 6-8V présentent des puissances maximales pour l'éolienne aux environs 200 mW, plus précisément, la

tension maximale correspondant au rendement des turbines est d'environ 7V, mais cette tension dépend des éléments du dispositif et la résistance de charge. La puissance maximale produite par les turbines est obtenue en changeant la charge potentiomètre que nous avons expérimenté ainsi la caractéristique courant-tension du générateur.

- Montrons la comparaison des résultats des notes des élèves (Figure 19) : du groupe test qui manipule l'appareil et du groupe témoin sans utilisation de matériel éolienne

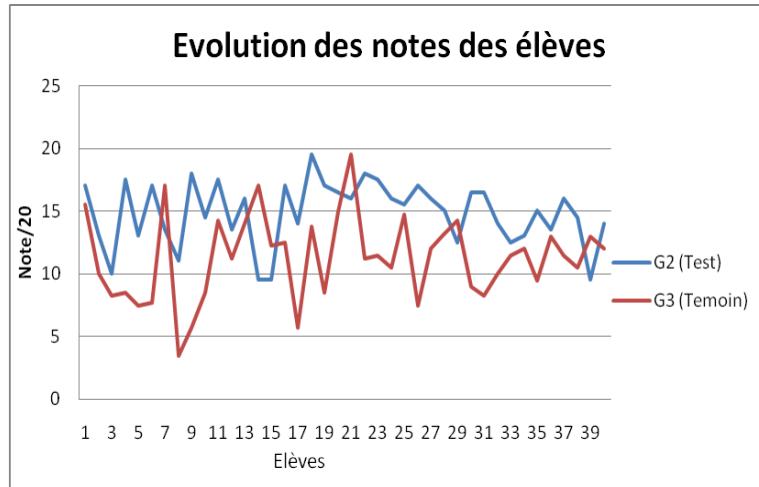


Figure 19. Notes des élèves du groupe test G2 et du groupe témoin G3

La figure 19 permet d'évaluer les notes des élèves : groupe test (G2) et témoin (G3), nous remarquons un écart supérieur du groupe test par rapport au groupe témoin

L'écart des notes démontre une meilleure compréhension par les élèves du Groupe Test qui ont eu l'opportunité de manipuler l'appareil. Ces résultats confortent le fait que le recours à l'appareil durant les TP facilite significativement le transfert de connaissances dans le processus d'apprentissage.

- satisfaction des élèves pour les matériaux

	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas d'accord
Q1	40%	57,5%	2,5%	0%
Q2	67,5%	32,5%	0%	0%
Q3	75%	17,5%	7,5%	0%
Q4	27,5%	57,5%	15,0%	0%
Q5	60%	30%	10%	0%
Q6	45%	32,5%	17,5%	5%
Q7	40%	60%	0%	0%
	Oui	Non		
Q8	10%	90%		
Q9	50%	50%		

Tableau 2. Résultats des analyses de satisfaction des élèves

En général, les pourcentages globaux de satisfaction sont acceptables, notamment pour les questions Q2 (67,5%), Q3 (75%), Q5 (60%) et nous remarquons aussi que si les élèves n'adopte pas le choix « Tout à fait d'accord », le rapport d'élèves qui se déclarent le choix « Plutôt d'accord » pour Q2 (57,5%), Q4 (57,5%) est aussi significatif

Alors, les pourcentages sont significativement élevés concernant les questions relatives à l'appréciation du matériel didactique par les élèves :

- Pratique et plaisant à utiliser,
- Facilitant la compréhension des cours et adapté pour les exercices,
- Source d'interactions entre les élèves durant les TP (Q7).

4. Conclusion

Cet article porte sur l'expérimentation de l'utilisation d'un dispositif artisanal d'énergie éolienne durant les TP d'une classe de 1^{ère} S, dans le cadre de l'intégration du thème de « L'énergie renouvelable » dans le programme scolaire.

L'évaluation effectuée auprès des élèves a démontré l'efficacité de l'approche ainsi que la satisfaction des apprenants.

La compréhension des technologies de l'éolienne, qui se porte garante pour l'avenir des élèves à la transition énergétique et leur reconnaissance individuelle pour l'environnement.

Il serait donc opportun de recourir à cette démarche et de se servir de ce dispositif comme ressource didactique. Toutefois, quelques éléments du matériel restent à améliorer pour des meilleures performances et des résultats plus objectifs.

Bibliographie

- [RAF 14] RAFITOSON K., La lente marche vers la transition Energétique a Madagascar : Etat des lieux et perspectives, FRIEDRICH EBERT STIFTUNG, 2014
- [MIN 19] Ministre de l'Education Nationale et de l'Enseignement Technique et Professionnel à Madagascar Programmes Scolaire Classe de Première, 2019
- [BAN 08] BANQUE MONDIALE, Le défi de l'expansion de l'enseignement secondaire et de la formation à Madagascar, Document de Travail de la BANQUE MONDIALE NO. 143, Washington, D.C. 20433, mai 2008
- [JUL 12] JULIA REBSTEIN M., ALESSANDRA R., De l'importance de la pratique expérimentale dans l'enseignement des sciences, Mémoire professionnel, Lausanne, p. 13, 2012
- [HUG 19] HUGON M., MAGUIN F., BOIS E., GLOMERON F., *Education à l'énergie : pratiques enseignantes et représentations des élèves*, ISTE Editions, Londres, 2019
- [RED 23] REDOUANE M., Chapitre I Etat de l'Art sur l'Energie Eolienne, University of Oxford, Electrical engineering, Academia 2023
- [JAO 14] JAOUAD S., BOUCHAIB R., ISMAÏL S. *Analyse de fiabilité d'une pale d'éolienne*, ISTE Editions, Londres, 2014
- [BER 02] BERNARD M., OLIVIER G., HAMID B. A., XAVIER R., STÉPHAN A., et al., Etat de l'art des aérogénérateurs. L'électronique de puissance vecteur d'optimisation pour les énergies renouvelables, Ed. NOVELECT - ECRIN, ISBN 2-912154-8-1, pp.97-154, 2002
- [MOH 11] MOHAMED B., JACQUES-ANDRE A., SEDDIK B., JEAN-FREDERIC C., MOHAMED M., et al., Concepts, Modélisation et Commandes des Hydroliennes. Energies Marines Renouvelables, Hermes Science Publications, pp.265-328, 2011. hal-01090515
- [MAN 10] MANUEL F. V., Introduction à la théorie des éoliennes, LA VERITAT, 2010
- [MEC 21] MECALFLUX Heliciel, Calcul et Modélisation Ventilateurs, ventilation climatisation, souffleries et ventilateur PC, France, 21/11/2021

[MVI 23] MVI, Hélices Pour Ventilateurs Hélicoïdes, Parc Industriel des 50 arpents 8 square, Louis Blanc 77 680 Roissy-en-Brie, France, 2023

[KAD 21] KADDOUR N., FADEL Y., Analyse de Fluide et Performance d'un Ventilateur Axial à l'aide de CFD, Faculté des Sciences et des Sciences Appliquée, Algérie, 2021

[AHL 17] AHL M. L., LABYAD Y., Calcul du rendement de l'éolienne Rutland 913 à l'aide du logiciel Mecaflux Héliciel, Ecole Supérieure de Technologie, Guelmim, 07/06/2017

[SYL 17] SYLVAIN DE L., L'énergie éolienne, Génie Thermique et Electrique, Dunkerque, 2017

[HOR 20] HORSIN M. H., MULTON B. Énergie électrique: génération éolienne, Ecole Normale Supérieure Paris Saclay, Culte Science de l'Ingénieur, 02/07/2020

[ALA 13] ALAIN C., Le moteur à courant continu à aimants permanents, Sciences de l'Ingénieur en S, Académie Caen, 2013

[SOU 23] SOUSA L., Technologie des matériaux, Sciences biologiques et sciences sociales appliquées, ACADEMIE D'AMIENS, France, 2023

[DIO 21] DIOP S., Reconception d'une éolienne de pompage pour la société SELMEG au Sénégal, 2021

[THO 14] THOMAS E., Transmission de puissance, Version 1.0, Lycée Jules Garnier, 1^{er} avril 2014

[DEL 09] DELORD J., ROGER E., Étude d'un aérogénérateur, Analyse fonctionnelle et comportementale, Lycée Maximilien Perret – Alfortville Académie de Créteil, 2009

[ALE 21] ALEXEI S., Energies Renouvelables et Environnement, Multiplicateur de vitesse, Bureau d'Etudes Industrielles, ENSEEIHT, France,