

L'Energie Eolienne



Université d'Alger 1

Dr BOUCHEFRA ép.
BOUABDALLAH Yasmina

Email : *byasmina.
bouabdallah@gmail.com*

Université d'Alger 1 Ben
Youcef Ben Khedda

Faculté des Sciences

Département Sciences de la
matière

1.0

Mars 2024

Table des matières

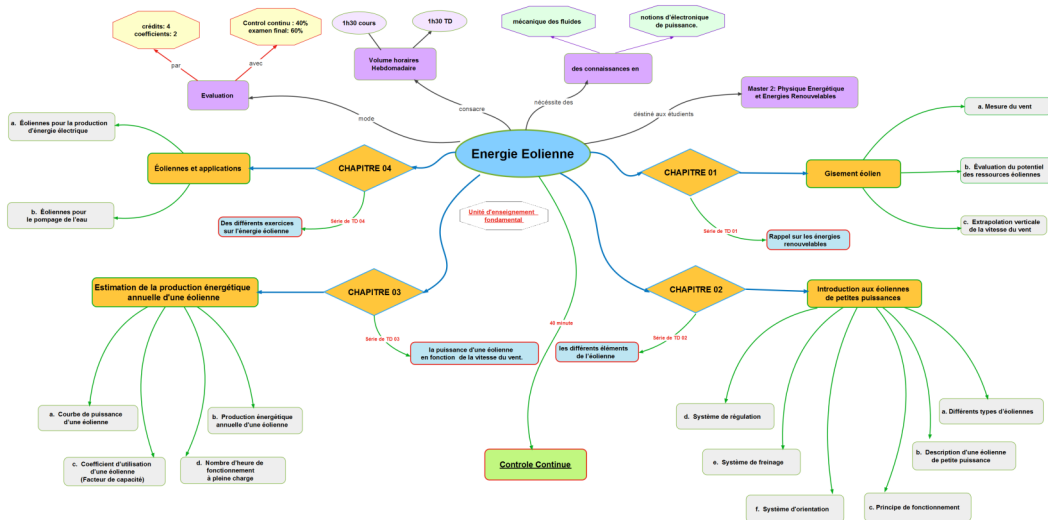
Objectifs	3
I - I.Qu'est-ce qu'une Éolienne?	4
1. I.2. Contexte historique	4
1.1. Objectif spécifique	5
1.2. Prés-requis	5
2. I.3. Définition de l'énergie éolienne	5
3. I.4. Composantes d'une éolienne	6
3.1. 1. Le mat ou la tour :	6
3.2. 2.La nacelle :	6
3.3. 3.Le rotor :	7
4. I.5. Classification des éoliennes	8
4.1. I.5.1. éoliennes à axe horizontal	8
4.2. I.5.2. Éoliennes à axe vertical	9
5. I.6. Avantages et inconvénients des éoliennes	11
5.1. I.6.1 Avantages et inconvénients des éoliennes à axe horizontal	11
5.2. I.6.2 Avantages et inconvénients des éoliennes à axe vertical	11
6. I.7. Le fonctionnement d'une éolienne	11
7. I.8 Taille des aérogénérateurs	12
8. I.9 Choix de type d'éoliennes	12
9. Test prés-requis	13
10. La Série de TD	13

Objectifs

Ce manuel fait l'objet d'un complément de cours & travaux dirigés pour le module « ***L'Energie Eolienne*** », et il est destiné aux étudiants de master énergétique et énergie renouvelable. Il est fourni aux étudiants les fondamentaux pour comprendre le fonctionnement de l'énergie éolienne, ainsi que des connaissances poussées sur les systèmes exploitant cette énergie.

I. Qu'est-ce qu'une Éolienne?

Ces dernières années, l'intérêt d'utilisation des énergies renouvelables ne cesse d'augmenter, car l'être humain est de plus en plus concerné par les problèmes environnement. Les sources d'énergies renouvelables présentent l'avantage d'être disponibles en quantité illimitée. Parmi ces énergies, on trouve l'énergie éolienne. L'énergie éolienne n'est pas un nouveau concept pour l'humanité. La puissance du vent a été utilisée depuis de nombreux siècles notamment pour faire avancer les bateaux, moudre le grain, et pour produire de l'électricité non polluante et économique. Cette énergie a suscité un très grand intérêt et a exigé aux constructeurs de trouver toujours de nouvelles idées et solutions robustes.



Carte mentale

1. I.2. Contexte historique

La conversion de l'énergie du vent en énergie mécanique est en effet relativement aisée, il faut « *seulement* » disposer d'un potentiel satisfaisant et résister aux caprices des vents excessifs. Parallèlement, les progrès technologiques, tant dans les domaines de l'électrotechnique, de l'électronique que dans celui des matériaux, font que l'on peut désormais disposer de machines aux performances étonnantes en terme de puissance produite, tout en limitant les impacts sur l'environnement[1].

Dans les sites isolés, la rentabilité étant plus facile à obtenir, des petites éoliennes dans la gamme de quelques 100 W à quelques 10 kW sont commercialisées depuis plus longtemps. La baisse des coûts des cellules photovoltaïques permet aujourd'hui de construire des systèmes hybrides éoliens et photovoltaïques qui profitent de la fréquente complémentarité vent-soleil (réduction des coûts des batteries de stockage nécessaires en site isolé)[2].

Ainsi l'histoire de l'énergie éolienne a pour une grande partie été influencée par des facteurs extérieurs, tels l'apparition de la machine à vapeur, la distribution généralisée d'électricité.

1.1. Objectif spécifique

Chaque composant d'une éolienne a un objectif spécifique qui contribue au bon fonctionnement de l'ensemble et à la production d'électricité, et aussi :

- Créer des emplois et stimuler l'économie
- Alimenter les zones rurales et isolées qui n'ont pas accès au réseau électrique

1.2. Prés-requis

On peut dire qu'il peut être utile d'avoir une certaine expérience pratique ou une exposition à l'industrie éolienne. Cela pourrait inclure un travail dans le domaine de l'énergie renouvelable, une expérience de la maintenance ou de l'exploitation d'éoliennes, ou même un simple intérêt personnel pour l'énergie éolienne.

2. I.3. Définition de l'énergie éolienne

L'énergie du vent ou énergie éolienne est l'énergie cinétique des masses d'air en mouvement autour du globe. La racine étymologique du terme « **éolien** » provient du nom du personnage mythologique Éole, connu en Grèce antique comme le maître des vents. Le principe des éoliennes s'inspire de celui des moulins à vent et à eau autrefois utilisé pour moudre le grain ou pomper l'eau. Une éolienne est une machine permettant de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, elle-même convertie en électricité. Lorsque plusieurs éoliennes sont installées sur un même site, on parle de « **parc** » ou de « **ferme** » d'éoliennes.

Une éolienne terrestre, ou **onshore**, est par définition installée sur la terre ferme, des éoliennes **offshore** installées en mer.

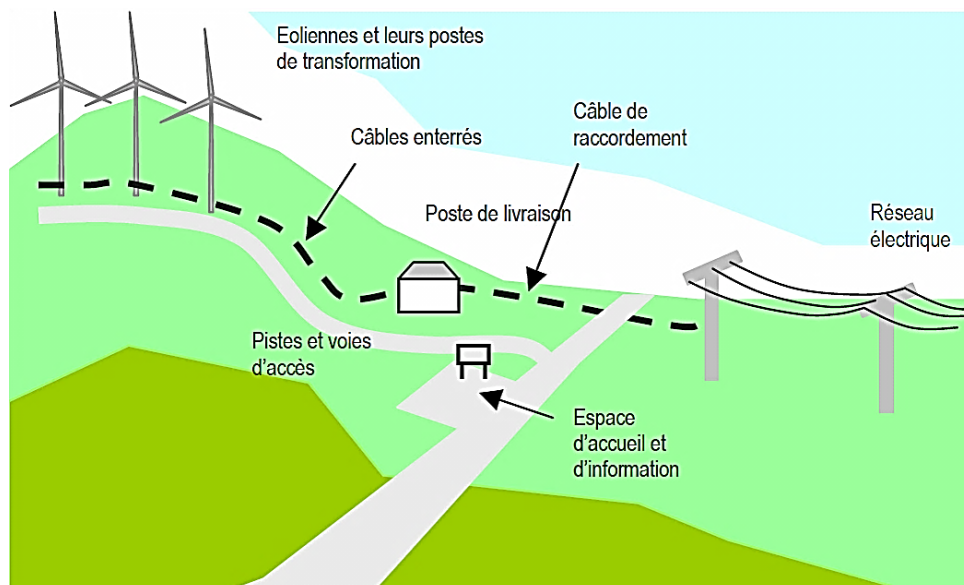


Figure I.1 Schéma descriptif d'un parc éolien

b

3. I.4. Composantes d'une éolienne

Il est composé d'une partie fixe, le stator et d'une partie mobile, le rotor. La force du vent sur les pales entraîne le mouvement du rotor. Ce mouvement, allié à l'immobilité du stator, génère un courant alternatif [3].

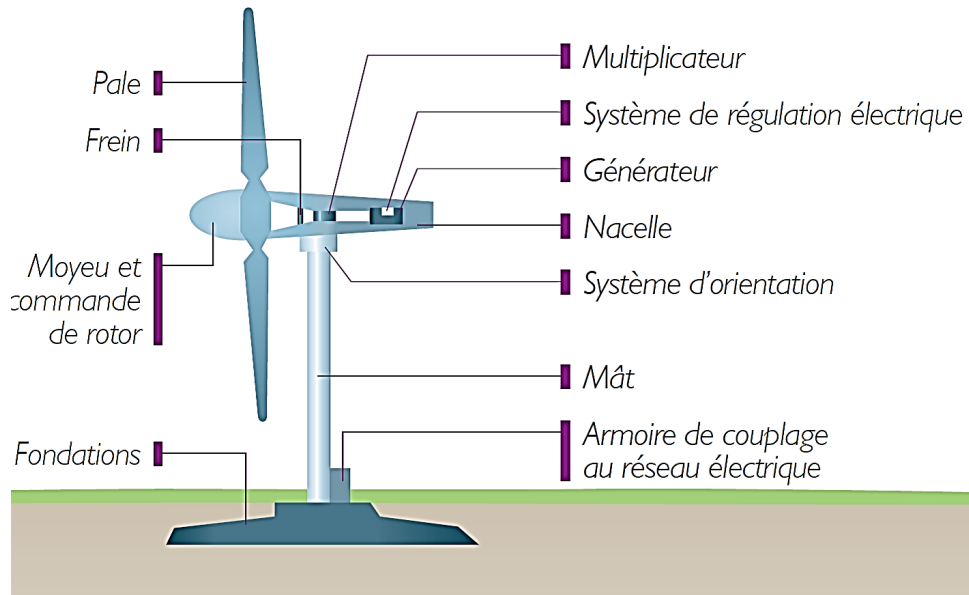


Figure I.2 : Composantes d'une éolienne

3.1. 1. Le mat ou la tour :

C'est un tube d'acier ou en béton massif plus de 80m de haut et un diamètre supérieur à 10m il doit être le plus haut possible pour bénéficier du maximum de l'énergie cinétique du vent et d'éviter les perturbations près du sol. Au sommet du mat se trouve la nacelle et le rotor.



Figure I.3 : Tour en cours de montage

3.2. 2. La nacelle :

Une nacelle montée au sommet du Mât abritant les composants mécaniques pneumatiques certains composants électriques et électroniques nécessaires en fonctionnement de la machine. la nacelle peut tourner pour orienter la machine dans la bonne direction.

1.Parle 2. Moyeu

1&2 Le rotor

3. arbre de transmission (lente)

4. multiplicateur

5. frein à disque

6. arbre rapide

7. génératrice

8. système de commande

9. système d'orientation

10. tour

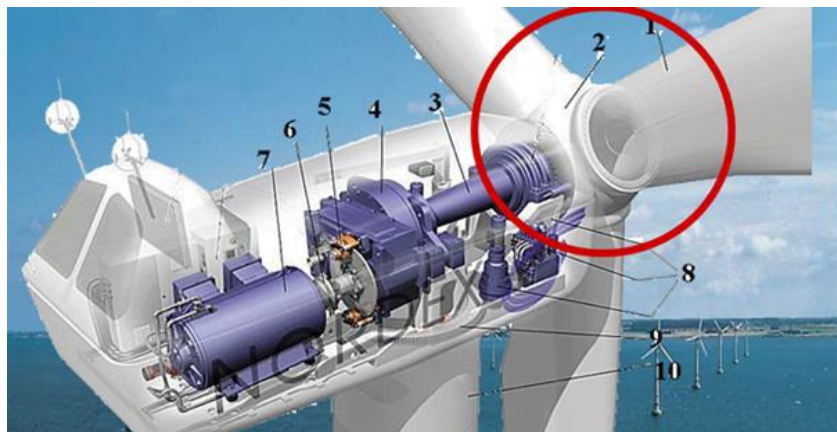


Figure 1.4 Schéma d'une nacelle

3.3. 3.Le rotor :

Il est composé de moyeu et de l'hélice. L'hélice est généralement composée de 3 pales qui sont placés au devant de la nacelle et reliés ainsi à elle. Les pales du rotor captent le vent et transfèrent sa puissance au moyeu. Chaque pale d'une éolienne de 1.5 MW mesure environ 30 à 35 m de long et sa conception ressemble beaucoup à celle des ailes d'un avion. Elles produisent une énergie mécanique qui est transformée en électricité par la nacelle qui est transportée par des câbles situés dans le mât jusqu'à une cabine de dispersion.



Figure I.5 le moyeu et les pales d'une éolienne

4. I.5. Classification des éoliennes

Généralement, on classe les éoliennes suivant l'orientation de leur axe de rotation par rapport à la direction du vent. On distingue ainsi deux grandes familles :

- Les aérogénérateurs à axe horizontal
- Les aérogénérateurs à axe vertical

4.1. I.5.1. éoliennes à axe horizontal

Elles sont actuellement les plus utilisées et elles sont basées sur le modèle des moulins à vent : l'hélice contient deux ou trois pales qui tournent de façon aérodynamique. Il existe également des éoliennes horizontales monopales mais celles-ci sont très rares. Les éoliennes à deux pales et les éoliennes à trois pales fonctionnent sur le même principe. Le rendement des éoliennes à axe horizontal est supérieur à celui des éoliennes à axe vertical, elles sont également plus solides et coûtent moins cher à la fabrication



Figure I.6 : éolienne à axe horizontal

- **Éoliennes à axe horizontal Amont:**

Le vent souffle sur le devant des pales en direction de la nacelle. Les pales sont rigides, et le rotor est orienté selon la direction du vent par un dispositif.

- **Éoliennes à axe horizontal Aval :**

Le vent souffle sur l'arrière des pales en partant de la nacelle. Le rotor est flexible, auto orientable.

- **Éoliennes rapides :**

Elles ont un nombre de pales assez réduit, qui varie en général entre 2 et 4 pales. Elles sont les plus utilisées dans la production d'électricité en raison de leur poids mais elles présentent l'inconvénient de démarrer difficilement.

- **Éoliennes lentes :**

Elles sont munies d'un grand nombre de pales entre (20 et 40), ils sont surtout adaptées aux vents de faible vitesse.

4.2. 1.5.2. Éoliennes à axe vertical

L'éolien à axe vertical est pourvu d'un rotor dont l'axe de rotation est globalement perpendiculaire au flux du fluide, et donc bien souvent vertical. La technologie existe depuis le début du XXème siècle et regroupe différentes technologies : Darrieus, Savonius, Cycloturbine... Les propriétés de ces éoliennes (silence, simplicité d'entretien, tolérance aux vents variables) les rendent particulièrement adaptées pour les éoliennes domestiques ou les éoliennes pour l'autoconsommation. Les éoliennes à axe vertical et les éoliennes à axe horizontal présentent de très nombreux points communs, tant aérodynamiques, mécaniques, de régulation et de conversion. On peut lister trois grandes familles d'éoliennes à axe vertical :

1.5.2.1. Les éoliennes de Darrieus

Equipées de pales profilées comme des ailes d'avion (NACA). L'aérodynamique des pales génère une portance, à l'identique d'une aile d'avion, ou d'une hélice. Le système permet d'orienter la portance de la pale dans la direction du mouvement mécanique de celle-ci, et donc de générer un travail mécanique. L'aérodynamique de la pale est efficace et requiert la maîtrise de l'aérodynamique moderne. <https://www.ecosources.org/eolienne-verticale-darrieus>

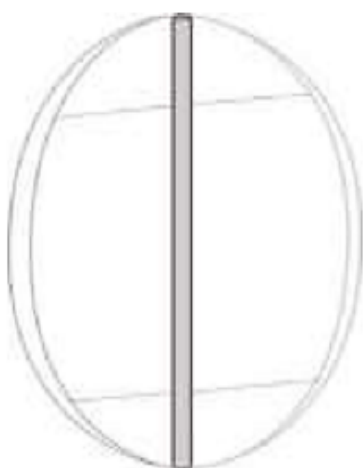


Figure 1.7 : Éolienne de Darrieus

1.5.2.2. Les éoliennes de Savonius

Équipées de deux coques arrondies et emboîtées. Les pales génèrent une traînée différente selon qu'elles descendent le vent ou le remonte. Cette variation de traînée génère le couple qui anime l'éolienne. Plus simple de conception, cette machine est moins performante, les rendements de ces machines restent très limités. https://www.researchgate.net/figure/Eolienne-a-axe-vertical-Le-tableau-ci-dessous-resume-les-avantages-et-les-inconvenients_fig1_338007588

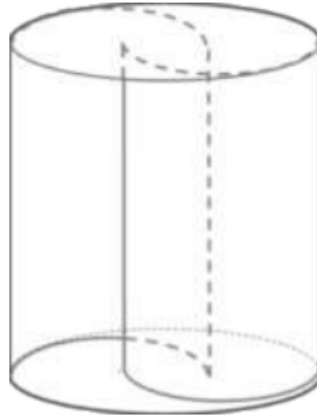


Figure I.8 : Éolienne de Savonius

I.5.2.3. Les éoliennes de cycloturbines

Equipées d'un rotor dont certaines pièces sont mobiles, permettent d'orienter les pales en fonction de l'azimut de la pale. A la différence des 2 technologies précédentes. https://www.researchgate.net/figure/Eolienne-a-axe-vertical-Le-tableau-ci-dessous-resume-les-avantages-et-les-inconvenients_fig1_338007588

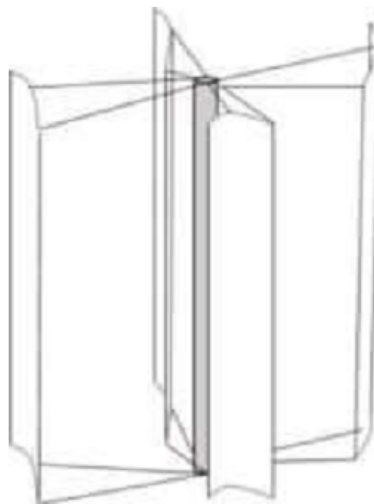


Figure I.9 Éolienne de cycloturbines

5. I.6. Avantages et inconvénients des éoliennes

5.1. I.6.1 Avantages et inconvénients des éoliennes à axe horizontal

Avantages :

- Une très faible emprise au sol par rapport aux éoliennes à axe vertical.
- Cette structure capte le vent en hauteur, donc plus fort et plus régulier qu'au voisinage du sol.
- Le générateur et les appareils de commande sont dans la nacelle au sommet de la tour. Ainsi, il n'est pas nécessaire de rajouter un local pour l'appareillage.

Inconvénients :

- Coût de construction très élevé.
- L'appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident.

5.2. I.6.2 Avantages et inconvénients des éoliennes à axe vertical

Avantages :

- La conception verticale offre l'avantage de mettre le multiplicateur, la génératrice et les appareils de commande directement au sol.
- La non nécessité d'un système d'orientation du rotor car le vent peut faire tourner la structure quelque soit sa direction.
- Sa conception est simple, robuste et nécessite peu d'entretien.
- Faible bruit

Inconvénients :

- Faible rendement et fluctuations importantes de puissance.
- Faible vitesse du vent à proximité du sol .
- L'éolienne ne démarre pas automatiquement (Elle démarre avec des vitesses de vent de l'ordre de 2 m/s)

6. I.7. Le fonctionnement d'une éolienne

- La transformation de l'énergie par les pales

la différence de pression entre les deux faces de la pale crée une force aérodynamique, mettant en mouvement le rotor par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

- L'accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur

Les pales tournent à une vitesse relativement lente, de l'ordre de 5 à 15 tours par minute, d'autant plus lente que l'éolienne est grande. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à très grande vitesse (de 1000 à 2000 tours par minute) pour produire de l'électricité.

- La production d'électricité par le générateur

L'énergie mécanique transmise par le multiplicateur est transformée en énergie électrique par le générateur. Le rotor du générateur tourne à grande vitesse et produit de l'électricité à une tension d'environ 690 volts[4].



Figure I.10: Conversion de l'énergie cinétique du vent

7. I.8 Taille des aérogénérateurs

Avant le développement récent et le besoin de fournir des puissances croissantes au réseau, Les chercheurs ont eu l'idée que pour exploiter le mieux possible de force du vent, il faut que l'hélice balaie la surface où le vent est maximum c'est-à-dire le plus haut possible du sol ce qui demande aux constructeurs des hélices haut perchées donc de grands diamètres.

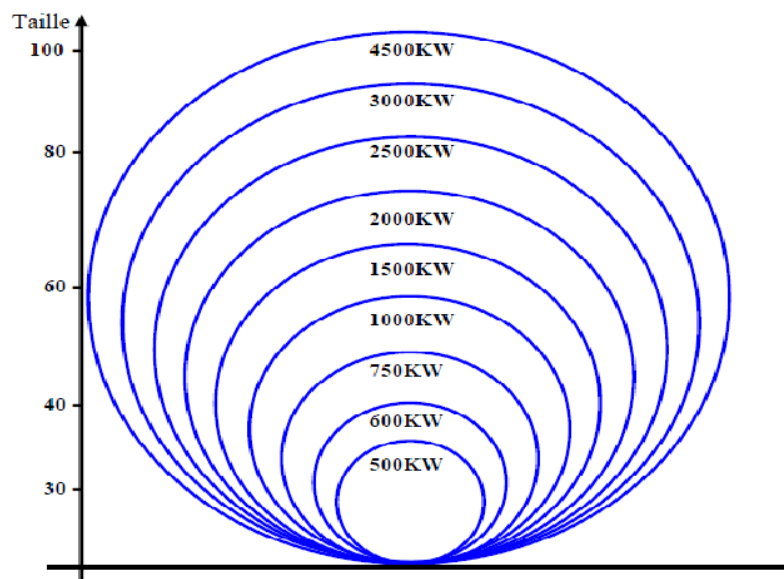


Figure I.11: Taille d'éolienne et la puissance.

8. I.9 Choix de type d'éoliennes

La plupart des éoliennes commerciales raccordées au réseau actuelles sont à axe horizontal, démarrent de façon autonome et présentent un faible encombrement au sol. Le nombre de pales varie de 1 à 3, le rotor tripale étant de loin le plus répandu, car il représente un bon compromis entre le cout, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit.

ECHELLE	DIMÈTRE DE L'HÉLICE	PUISSANCE DELIVRÉE
Petite	Moins de 12 m	Moins de 40 KW
Moyenne	12 m à 45 m	De 40 KW à 1 MW
Grande	Grande 46 m et plus	1 MW et plus

Tableau 1 : classification des turbines éoliennes.

9. Test prés-requis

Cocher la bonne réponse pour chaque question :

1. Quelle est la partie d'une éolienne qui capture l'énergie du vent ?

- a) Le rotor
- b) La nacelle
- c) La tour
- d) Le générateur

2. Quel est le principe physique qui explique comment les éoliennes produisent de l'électricité ?

- a) Induction électromagnétique
- b) Photosynthèse
- c) Fission nucléaire
- d) Réaction chimique

3. Quel est le facteur qui a le plus d'impact sur la production d'énergie d'une éolienne ?

- a) La vitesse du vent
- b) La hauteur du mât
- c) La longueur des pales
- d) La température ambiante

4. Quel est le type d'éolienne le plus communément utilisé ?

- a) Éolienne à axe horizontal (HAWT)
- b) Éolienne à axe vertical (VAWT)
- c) Éolienne à voile (d) Éolienne flottante

10. La Série de TD

Exercice 01 :

Répondez aux questions :

1. Quel est le rôle d'une éolienne ?
2. Quel est l'autre nom de l'éolienne ? citez ses 3 types.
3. Quels sont les principaux composants d'une éolienne ?
4. Quelle est la vitesse minimale d'une éolienne ?

Exercice 02 :

Dans cet exercice, on s'intéresse à la vitesse d'une éolienne en bout de pale.

Une pale mesure 40m, fait un tour en 3s.

Quelle est la vitesse du bout de la pale en Km/h ?