

Chapitre 2 : Energie éolienne

Electronique des systèmes embarqués

01



Table des matières

Objectifs	3
I - L'histoire de l'énergie éolienne	4
II - Structure et principe de fonctionnement	5
III - Caractéristiques	7
IV - dimensionnement	8
V - Carte du gisement éolien en Algérie	9
VI - Parcs éoliens et puissance	10
VII - Normes	12
VIII - Avantages et inconvénients	13
IX - Exemple d'une installation éolienne	14

Objectifs

Historique, principe et structure, Caractéristiques et dimensionnement, Carte du gisement éolien en Algérie, Parcs éoliens et puissance, Normes, Avantages et inconvénients. Exemple d'une installation éolienne.

I L'histoire de l'énergie éolienne

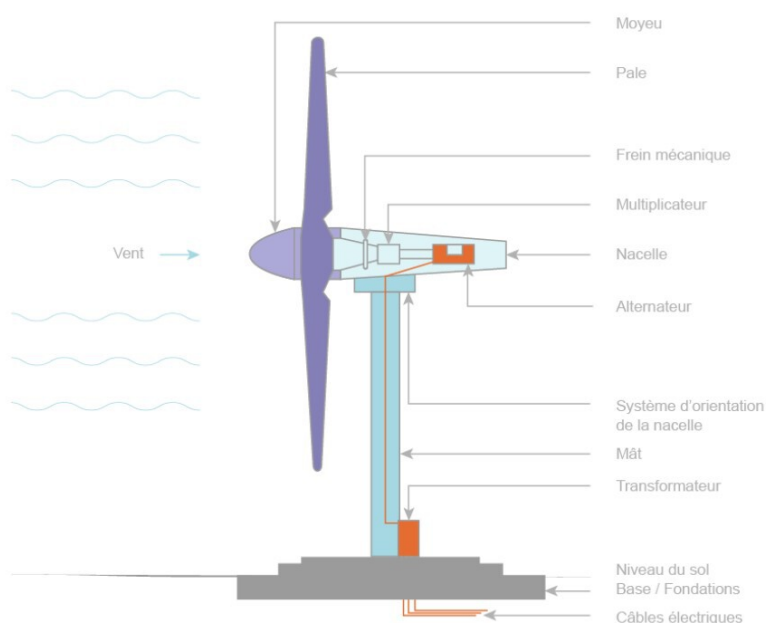
L'utilisation de la force du vent pour produire de l'énergie n'est pas nouvelle. L'énergie du vent est apparue pour la première fois sous l'image de voiles pour les bateaux leur permettant d'avancer. La première machine à avoir utilisé le vent en tant que source d'énergie fut le moulin à vent. Quant à l'énergie éolienne, elle fut pour la première fois exploitée par les perses dans une conception très simple pour l'irrigation de leurs cultures. Elles ont ensuite été utilisées pour pomper l'eau et couper le bois, puis en 1891 le premier aérogénérateur fut inventé par le danois Poul La Cour qui a pour but de produire de l'électricité. Puis, la première éolienne à axe vertical fut inventée bien que la puissance générée était assez faible jusqu'en 1957 où la puissance atteignit 200kw par le constructeur danois Gedser. Mais le marché de l'éolien ne prit de l'ampleur qu'après le premier choc pétrolier en 1973.

II Structure et principe de fonctionnement

les principale composants de la structure d'une éolienne

- **La nacelle** : c'est l'enveloppe qui protège les composants fondamentaux de l'éolienne,
- **Le rotor** : il permet de transformer l'énergie du vent en énergie mécanique. Il est composé du **moyeu**, des **pales** et d'un mécanisme permettant de modifier le pas des pales,
- **Les lames** : ce sont elles qui captent le vent et transmettent son énergie au concentrateur,
- **L'arbre à basse vitesse** : il est chargé de connecter le moyeu du rotor au multiplicateur correspondant,
- **L'arbre à grande vitesse** : il tourne à 1 500 tours par minute pour faire fonctionner le générateur,
- **Un générateur électrique,**
- **Le multiplicateur** : il augmente la vitesse de l'arbre à grande vitesse de sorte qu'il tourne jusqu'à 50 fois plus vite que l'arbre à faible vitesse,
- **Le contrôleur électronique** : il surveille et contrôle le mécanisme d'orientation,
- **Le mât** : il sert de soutien au rotor et à la nacelle,
- **Le panneau et l'anémomètre** : les signaux électroniques de l'anémomètre s'y connectent lorsqu'une vitesse de vent d'environ 5 m/s est produite,
- **L'unité de refroidissement** : son ventilateur est chargé de refroidir le générateur,
- **Le mécanisme d'orientation** : il contrôle la direction du vent avec le panneau.

Tous ces éléments réunis assurent le bon fonctionnement de l'éolienne et doivent être soumis à un entretien régulier.



Une éolienne transforme l'énergie du vent en énergie électrique. Cette transformation se fait en plusieurs étapes [29]:

la transformation de l'énergie par les pales

Les pales fonctionnent sur le principe d'une aile d'avion : 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. C'est pourquoi le mouvement lent du rotor est accéléré par un multiplicateur. Certains types d'éoliennes n'en sont pas équipés, leur générateur est alors beaucoup plus gros et beaucoup plus lourd.

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.

le traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur

Cette électricité ne peut pas être utilisée directement ; elle est traitée grâce à un convertisseur, puis sa tension est augmentée à 20000Volts par un transformateur. L'électricité est alors acheminée à travers un câble enterré jusqu'à un poste de transformation, pour être injectée sur le réseau électrique, puis distribuée aux consommateurs les plus proches

III Caractéristiques

On distingue

Les éoliennes terrestres

Les éoliennes terrestres tripales à axe horizontal sont les éoliennes les plus implantées sur le territoire.



Les éoliennes en mer posées

Fixes et destinées aux fonds de moins de 50m, ces éoliennes, actuellement les plus puissantes, peuvent exploiter les forts vents marins côtiers.



Les éoliennes en mer flottantes

Avec une fondation flottante, reliées au fond par des lignes d'ancrage, ces éoliennes peuvent être implantées plus au large, dès 30m de fond.



La puissance d'une éolienne (en kW, kilowatts) mesure sa capacité de production d'électricité. C'est une caractéristique technique qui ne dépend que de l'éolienne en elle-même, et non de l'endroit où elle est posée. Les éoliennes sur terre ou en mer sont en constante évolution, de plus en plus performantes et puissantes. L'apparition de turbines de plus de 4MW pour le terrestre permet d'augmenter l'énergie produite sans multiplier le nombre d'éoliennes. Avec le développement de l'éolien en mer, les éoliennes en mer posées dépassent désormais les 8MW et les solutions flottantes les 2MW.

IV dimensionnement

Il existe plusieurs certifications portant sur l'énergie éolienne en Europe. En France, il existe la norme EN 50 308 : "Aérogénérateur, Mesures de Protection Exigences pour la Conception, le Fonctionnement et la Maintenance".

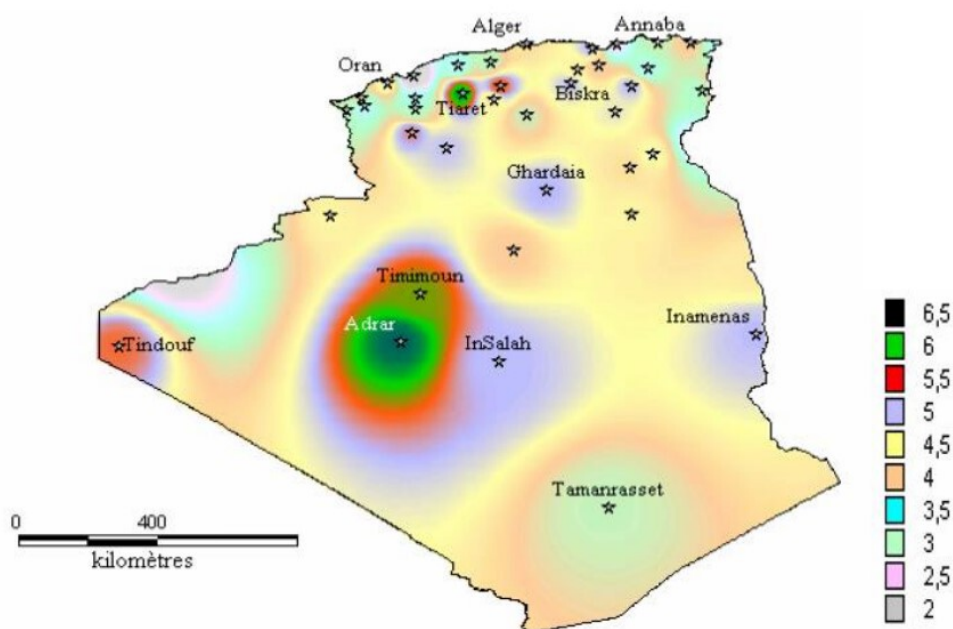
Elle fixe "les prescriptions pour les mesures de protection ayant trait à la santé et à la sécurité du personnel, applicables à la mise en service, au fonctionnement, et à la maintenance des éoliennes d'axe horizontal". Ses prescriptions tiennent compte des risques mécaniques (chutes, glissement, ...), thermiques (incendie, brûlures ...), électriques, engendrés par le bruit ou résultant de la non observation des principes d'ergonomie. Elle fait référence à près d'une trentaine d'autres normes, et notamment aux normes de la série EN 292 (sécurité des machines).

Cependant, si les industriels souhaitent volontairement faire certifier leurs installations éoliennes, il existe des organismes indépendants comme GL (Germanischer Lloyd).

V Carte du gisement éolien en Algérie

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. La vitesse annuelle des vents varie du 1.2 à 6.3 m/s à 10 m de hauteur. Les sites situés au sud de l'Algérie sont plus ventés, avec un maximum enregistré à Adrar à 6.3 m/s, suivi par Hassi R'mel avec 6.1 m/s . Le rendement électrique des éoliennes varie en fonction de la vitesse du vent, par exemple en passant d'une vitesse de 5m/s à 10 m/s, la quantité d'électricité produite se multiplie par 8 en non pas par deux, et pour les installations de grandes puissances, les vitesses du vent doivent être supérieures à 6 m/s, la hauteur de référence état 10 mètres. Aussi, la disponibilité (heures/an) joue un rôle important dans l'importance du gisement éolien.

La figure ci dessous montre la carte des vents de l'Algérie à 10 m du sol. .



VI Parcs éoliens et puissance

Un parc éolien, ou une ferme éolienne, est un site regroupant plusieurs éoliennes produisant de l'électricité. Il se trouve en général dans un lieu où le vent est fort et/ou régulier. Un parc éolien peut être on shore (à l'intérieur des terres) ou offshore (au large des côtes).

critères de choix de sites

Les critères de choix de l'implantation éolienne dépendent de la taille, puissance et du nombre d'unités. Ils incluent la présence d'un vent régulier et diverses conditions telles que : présence d'un réseau électrique pour recueillir le courant, absence de zones d'exclusion (dont périmètre de monuments historiques, sites classés..), terrain approprié, etc.

Un bon site éolien doit présenter les qualités suivantes :

- Site venté
- Peu de turbulences
- Une bonne facilité d'accès
- Proche du réseau électrique

Il faut de préférence avoir une vue aussi dégagée que possible dans la direction des vents dominants ainsi certains sites proches de grands obstacles (arbres, bâtiments, escarpements complexes, etc.) sont à proscrire car le vent y est trop turbulent. Il faut qu'il y ait aussi une rugosité aussi faible que possible dans cette direction. Il est nécessaire de procéder à une étude des obstacles environnants, plus particulièrement dans la direction des vents dominants. Les écrans peuvent être constitués par des obstacles naturels ou artificiels (arbres, broussailles, falaises, chaos rocheux, maison&) On se placera à une distance qui dépendra de la forme de l'obstacle :

- Tour ou pylône cylindrique: 10 fois le diamètre
- Mur ou maison: 10 fois la hauteur
- Arbres: 6 fois la hauteur

Dans le cas particulier de deux éoliennes dans le sillage l'une de l'autre :

- Minimum: 6 fois le diamètre de l'hélice
- Maximum: 12 fois le diamètre de l'hélice

Un autre critère tout aussi important que les obstacles sera celui des accidents de terrain au voisinage de l'aéromoteur. Les pentes supérieures à 45° ou les falaises sont à l'origine de perturbations susceptibles de provoquer la détérioration de la machine en provoquant des variations de vitesse et de direction du vent dans un espace restreint.

Les variations de vitesse provoquent des contraintes dissymétriques sur l'aéromoteur et les variations de direction entraînent des désorientations avec des accélérations variables qui imposent des contraintes sur toutes les parties de la machine (couples gyroscopiques).

Certains sites bien spécifiques augmentent la vitesse du vent et sont donc plus propices à une installation éolienne :

- L'effet tunnel ou Venturi
- Les collines, surtout si leur pente est douce et progressive permettant l'apparition d'effet de colline.

- La mer et les lacs sont aussi des emplacements de choix : il n'y a aucun obstacle au vent, et donc, même à basse altitude, les vents ont une vitesse plus importante et sont moins turbulents. La proximité d'une côte escarpée créera également des turbulences, usant prématurément certains composants mécaniques de l'éolienne.
- Les zones côtières, les hauts plateaux, les montagnes et Certaines plaines dégagées

Autres critères

D'autres critères sont pris en compte pour le choix du site [22].

- La nature du sol
- L'accessibilité du site
- La connexion au réseau électrique
- Les éoliennes

VII Normes

normes applicable aux systèmes de production d'Énergie

seuls trois pays européens ont des normes nationales pour les applications éoliennes ; le Danemark, l'Allemagne et les Pays-Bas. Ces trois pays sont les premiers à avoir développé l'énergie éolienne à grande échelle. L'installation des turbines éoliennes est généralement basée sur un type de certification prenant en compte l'évaluation de la conception, les essais sur prototype et la gestion de qualité

Norme ISO

la norme ISO 81400-4 2005 aérogénérateurs -partie 4 conception et spécification des boîtes de vitesse. Cette norme, établie la conception et les spécifications des boîtes de vitesse pour turbine éolienne de inférieure ou égales à 2MW.

cette norme peut être appliquée à des turbines éoliennes de puissances plus élevées à condition de modifier les grandeurs définies par la norme pour s'adapter aux caractéristiques des turbines éoliennes de puissances plus élevées

Norme IEC

les normes internationales de l'IEC pour l'énergie éolienne sont développées par les groupes de travail du comité technique -88(TC-88). la norme IEC 51400-21; traite de la qualité de l'énergie ' mesure et évaluation de la qualité de l'énergie des aérogénérateurs reliés au réseau '

VIII Avantages et inconvénients

Avantages

1- coût de production relativement faible

2- L'énergie éolienne est une énergie propre (pas d'émissions de gaz, pas de particules)

- L'énergie éolienne est renouvelable et « décarbonée » en phase d'exploitation.²
- Le terrain où les éoliennes sont installées reste toujours exploitable pour les activités industrielle et agricole. L'installation peut être démantelée relativement facilement.
- Leur développement offshore présente un potentiel non négligeable.
- Implantées localement, les éoliennes peuvent permettre de répondre à des besoins électriques de masse tout comme à des besoins domestiques limités, selon leur taille.

Inconvénients

1-Le vent est une source intermittente, la production d'énergie est donc variable

2-La pollution visuelle et sonore, et la perturbation des ondes électromagnétiques

Le développement de l'énergie éolienne s'est fortement accéléré de puis 1995 avec une progression moyenne de 20% par an dans le monde

Cette progression s'accompagne par une évolution de fiabilité de la taille des éoliennes et de leur rendement

L'énergie éolienne dépend de la puissance et de la régularité du vent.

C'est une source d'énergie intermittente.

Les zones de développement sont limitées.

Les éoliennes peuvent susciter des conflits d'usage d'ordre environnemental comme les nuisances visuelles et sonores.

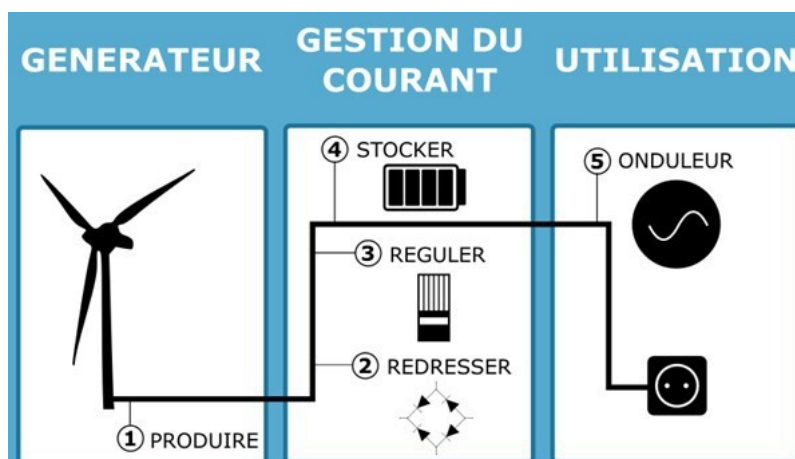
Il peut exister des conflits d'utilisation de l'espace terrestre ou marin avec les autres usagers (exemple : pêcheurs, plaisanciers).

IX Exemple d'une installation éolienne

La plus grande éolienne de pompage a été installée en 1953, à Adrar, par les services de la colonisation et de l'hydraulique. Montée sur un mat de 25 mètres de hauteur, cette machine à trois pales a fonctionné pendant près de 10 ans. Par ailleurs, deux autres éoliennes ont été installées à Mécherai, pour l'alimentation en eau potable de la ville et à Naama, pour le pompage de l'eau. Les deux machines étaient couplées à une génératrice à courant continu et entraînaient une pompe électrique à courant continu. Une autre éolienne du même type a été installée pour la protection cathodique des tubages du Chott Chergui. Le Haut-Commissariat au Développement de la Steppe a installé 77 éoliennes de pompage de l'eau sur les Hauts plateaux. Mais suite aux nombreux incidents mécaniques rencontrés avec les éoliennes de pompage mécanique, il est généralement admis que pour les forages de grandes profondeurs, l'option aérogénérateur couplé à une pompe électrique est plus fiable. Cependant, pour qu'une telle installation soit performante, la vitesse moyenne du vent doit être supérieure à 4 m/s.



L'installation électrique d'une éolienne peut-être schématisée simplement selon



1) Production du courant

La production du courant se fait via l'éolienne grâce au générateur. C'est un courant alternatif. En effet, bien que nos appareils électriques fonctionnent avec du courant alternatif, ceux-ci requièrent une fréquence et une tension stables au risque d'être dégradés instantanément... Et le courant directement produit par notre éolienne ne possède pas ces caractéristiques, on dit qu'il s'agit d'un courant « sale » car sa fréquence et sa tension sont très variables au cours du temps et en plus n'est produit que de façon intermittente car dépendante du vent. C'est pourquoi il faut passer par une série d'étapes permettant de rendre ce courant « propre » et utilisable par nos appareils.

2) Redresser le courant

On utilise un pont de diodes qui va permettre de passer du courant alternatif au courant continu.

3) Réguler le courant

Le régulateur ou contrôleur de charge a deux fonctions. D'une part il va lisser le signal du courant, c'est à dire qu'il va permettre d'obtenir un courant continu de tension plus stable, les pics de tensions venant compenser les creux. Et d'autre part il va dissiper le courant superflu pour fournir un courant de sortie ne dépassant pas une tension voulue.

Le courant continu est « propre ». En cas de ralentissement ou d'arrêt de l'éolienne, la tension chutera et nous n'aurons plus de courant.

4) Stockage

Quand l'éolienne produit du courant, le surplus est stocké dans des batteries d'accumulateurs et sera restitué lorsque l'éolienne ne produira pas suffisamment pour alimenter l'installation.

5) Onduleur

L'onduleur est l'appareil qui permet de passer du courant continu au courant .