



# **Energie Renouvelable**

## **Eolienne**

# **L'Énergie Éolienne**

**L'énergie éolienne est une source d'électricité abordable, efficace et abondante. Elle est connue et exploitée depuis longtemps; elle fut l'une des premières sources exploitées par l'homme après l'énergie du bois.**

**Par exemple, elle est utilisée:**

**❖ sur le fleuve du Nil: pour avancer les bateaux à voile.**

❖ **En chine : pour le pompage d'eau, irrigation.**

❖ **En Iran et Afghanistan: dans le broyage de céréales.**

**Cependant, pendant plusieurs décennies, l'énergie éolienne a servi dans la production de l'énergie électrique.**

**Selon l'observatoire des énergies renouvelables, l'éolien est actuellement la filière énergétique la plus dynamique dans le monde.**

**Suite à la crise pétrolière mondiale en 1973, le développement et la commercialisation des turbines éoliennes ont été fortement encouragées.**

**Depuis ce temps, l'exploitation des ressources éoliennes est de plus en plus performante et l'industrie éolienne a connu un essor considérable lors de la dernière décennie, ce qui a rendu la turbine éolienne puissante et efficace (un rendement élevé) actuellement disponible.**

# L'Exploitation du Vent

Pour utiliser le vent comme source d'énergie électrique, il faut connaître le potentiel éolien d'une région ou d'un pays.

Mais pour déterminer ce potentiel, on doit passer par le traitement statistique des mesures de la vitesse du vent. Toutefois, une bonne connaissance des caractéristiques du vent en tout site est importante pour une exploitation rationnelle et efficace des ressources éoliennes.

**En Algérie, les ressources éoliennes varient beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est dû à une topographie et un climat très diversifiés.**

# L'Énergie Éolienne dans le Monde

## 1- Capacité Installée et Développement

La première application pour la génération de l'électricité de source éolienne a eu lieu en 1890 dans une zone rurale aux Etats Unis.

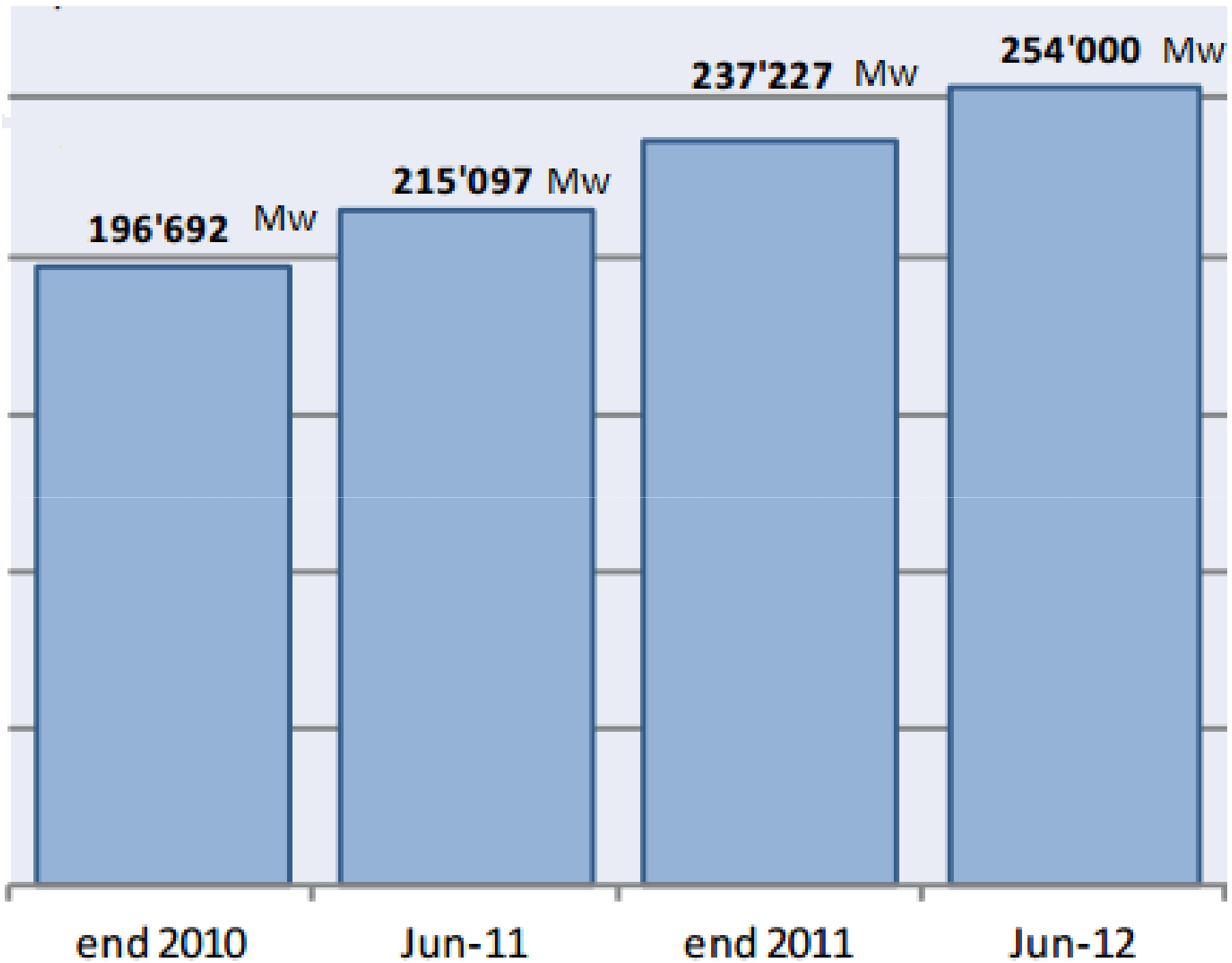
Jusqu'au 1990 la production moyenne d'une éolienne était de 300 KW, actuellement on retrouve divers machines permettant une production allant de 1KWh voire moins pour les applications domestique

et en sites isolés, et jusqu'à **10 MW** pour la production de masse dans les fermes éoliennes **Onshore** et **Offshore**. Le record de puissance est actuellement atteint avec la turbine **ST10** de **10 MW** récemment réalisé par SWAY TURBINE.

Selon l'Association mondiale de l'énergie éolienne, la capacité de l'énergie électrique de source éolienne installée au monde a atteint au mois de **Juin 2012** un cumul qui s'élève à **245 GW**.

Cette réalité est montrée dans la figure suivante



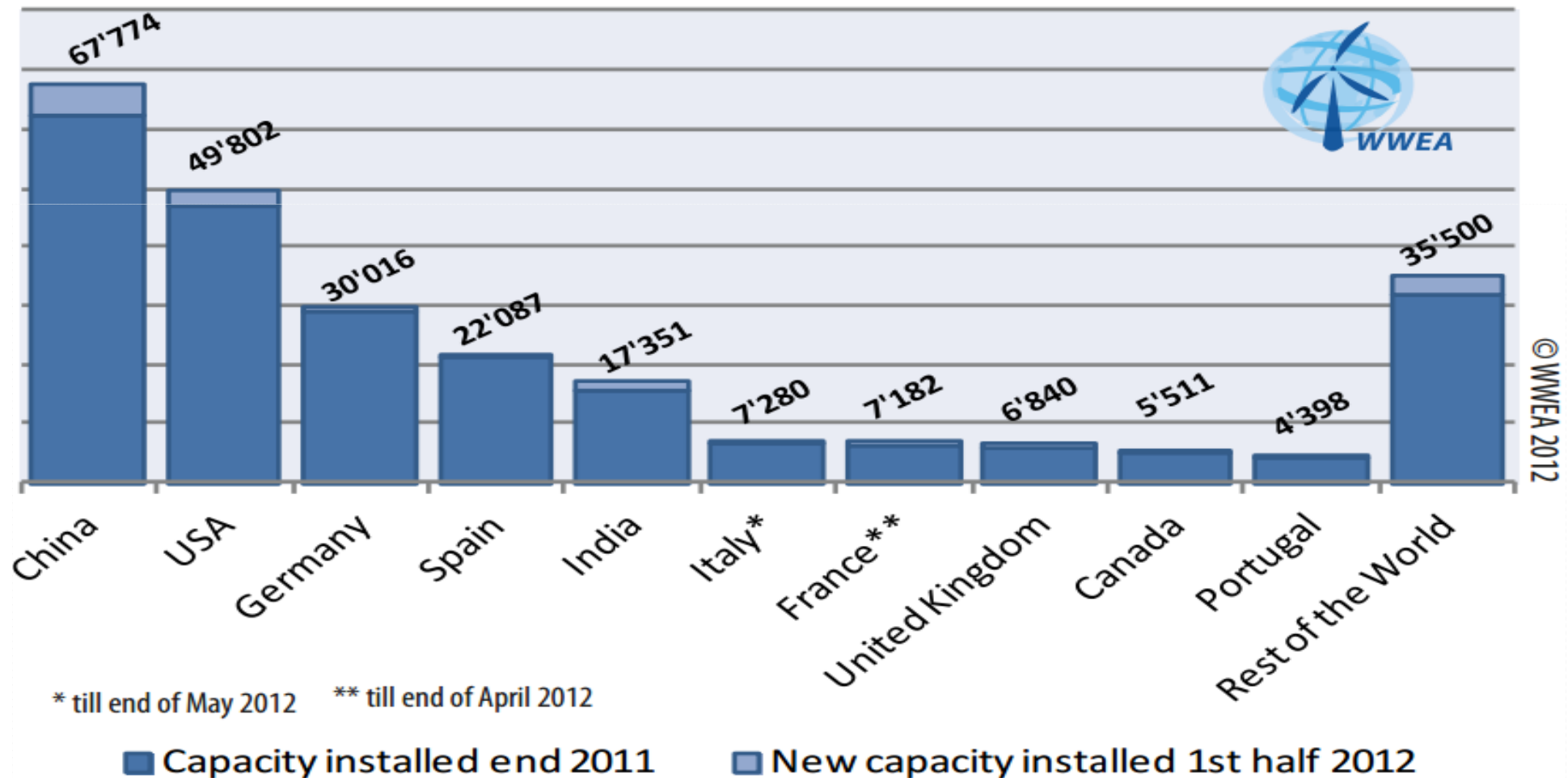


© WWEA 2012

**Le total de l'énergie éolienne installée pendant les premiers six mois de 2012 est de 16,5 GW contre 18,4 GW pour la même période de l'année précédente.**

**La Figure suivante montre la répartition de cette capacité installée dans le monde. **La chine** devance le classement mondial avec une capacité énergétique de source éolienne de **67 GW**, suivi des **Etats Unis de l'Amérique** avec **48,9 GW** de puissance installée.**

En troisième et quatrième place on trouve respectivement l'Allemagne et l'Espagne avec **30 GW** et **22 GW** de puissance installée.



## **2- les Petites Turbines Eoliennes PTE**

**Jusqu'à l'instant, il n'y a pas de définition globale et unifiée des petites éoliennes.**

**Originellement ils ont été définie, selon leurs caractéristiques afin qu'ils produisent de petites puissances suffisantes pour couvrir l'alimentation en électricité des différents équipements d'un ménage.**

**Toutefois cette définition ne peut aboutir à une même caractéristique technique car si une**

famille aux Etats-Unis a besoin d'une éolienne de **10 KW**, En Europe la demande électrique d'une famille est de **4 KW**, alors qu'en Chine la consommation d'une famille moyenne n'excèdera pas **1 KW**.

L'une des définitions techniques les plus importantes est celle présentée dans le standard **IEC 61400-2**, et qui définit les petites turbines éoliennes comme celles ayant un air balayé par le rotor ne dépassant pas **200 m<sup>2</sup>**, équivalant à une puissance nominale de **50 KW**, générée un

niveau de tension ne dépassant pas **1000V** alternative ou **1500V** continue [voir le Tableau].

	Department/ Association	Turbine Classification	Rated Cap.kW	Additional Remarks
International	International Electrotechnical Commission	Small Wind Turbines	≈50	IEC 61400-2 defines SWTs as having a rotor swept area of less than 200 m <sup>2</sup> , equating to a rated power of approximately 50 kW generating at a voltage below 1'000 V AC or 1'500 V DC
Canada	Natural Resources Canada (NRCan) Canadian Wind Energy Association (CanWEA)	Mini Wind Turbine	0,3 - 1	Adopted in the Survey of the Small Wind by Marbek Resource Consultants
		Small Wind Turbine	1 - 30	
China	Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership (REEEP)	Small Wind Turbine	< 100	Adopted in the recent National Policy, Strategy and Roadmap Study for China Small Wind Power Industry Development
Germany	Bundesverband WindEnergie (BWE)	Small Wind Turbine	< 75	Adopted in the recent BWE-Marktübersicht spezial – Kleinwindanlagen
United Kingdom	RenewableUK	Micro wind	0 - 1,5	0,5 - 5 m Height / Up to 1'000 kWh Annual Energy Production
		Small wind	1,5 - 15	2 - 50 m Height / Up to 50'000 kWh Annual Energy Production
		Small-medium wind	15 - 100	50 - 250 m Height / Up to 200'000 kWh Annual Production
	Microgeneration Certification Scheme (MCS)	Micro & Small Wind Turbine	< 50	Only turbines smaller than 50 kW qualify for the MCS feed-in tariff programme in UK
USA	American Wind Energy Association (AWEA)	Small Wind Turbine	< 100	Adopted in the most recent AWEA Small Wind Report 2010 and the AWEA Small Wind Turbine Global Market Study

En addition à cette définition, les cinq pays leaders en matière éolienne, divergent sur la définition de la puissance maximale des petites turbines éoliennes entre **15 KW** et **100 KW**.

Toutefois, le rôle dominant des marchés nord-américain et européen et de leurs modèles favorisent une tendance vers la définition de **100 KW** comme étant la puissance maximale des petites éoliennes, et c'est la puissance maximale prise en considération dans les rapports de l'association **AWEA** (**American Wind Energy Association**) et **WWEA** (**World Wind Energy Association**).

**Les éoliennes de petites puissances trouvent dans le marché de l'énergie électrique beaucoup d'applications, car:**

- **ils peuvent couvrir une part importante de la consommation des clients résidentiels,**
- **de réduire la facture électrique,**
- **et même se transformer en une source de revenue pour les **KWh** injectés au réseau électrique.**



**Il n'y a certainement pas que ce genre d'application, le marché des petites éoliennes présente plusieurs opportunités qu'on peut résumer dans les applications suivantes :**

- **résidentiel**
- **Commercial et industriel**
- **Pêche et bateaux de plaisance**
- **Les systèmes hybrides**
- **Les fermes et les villages éloignés.**

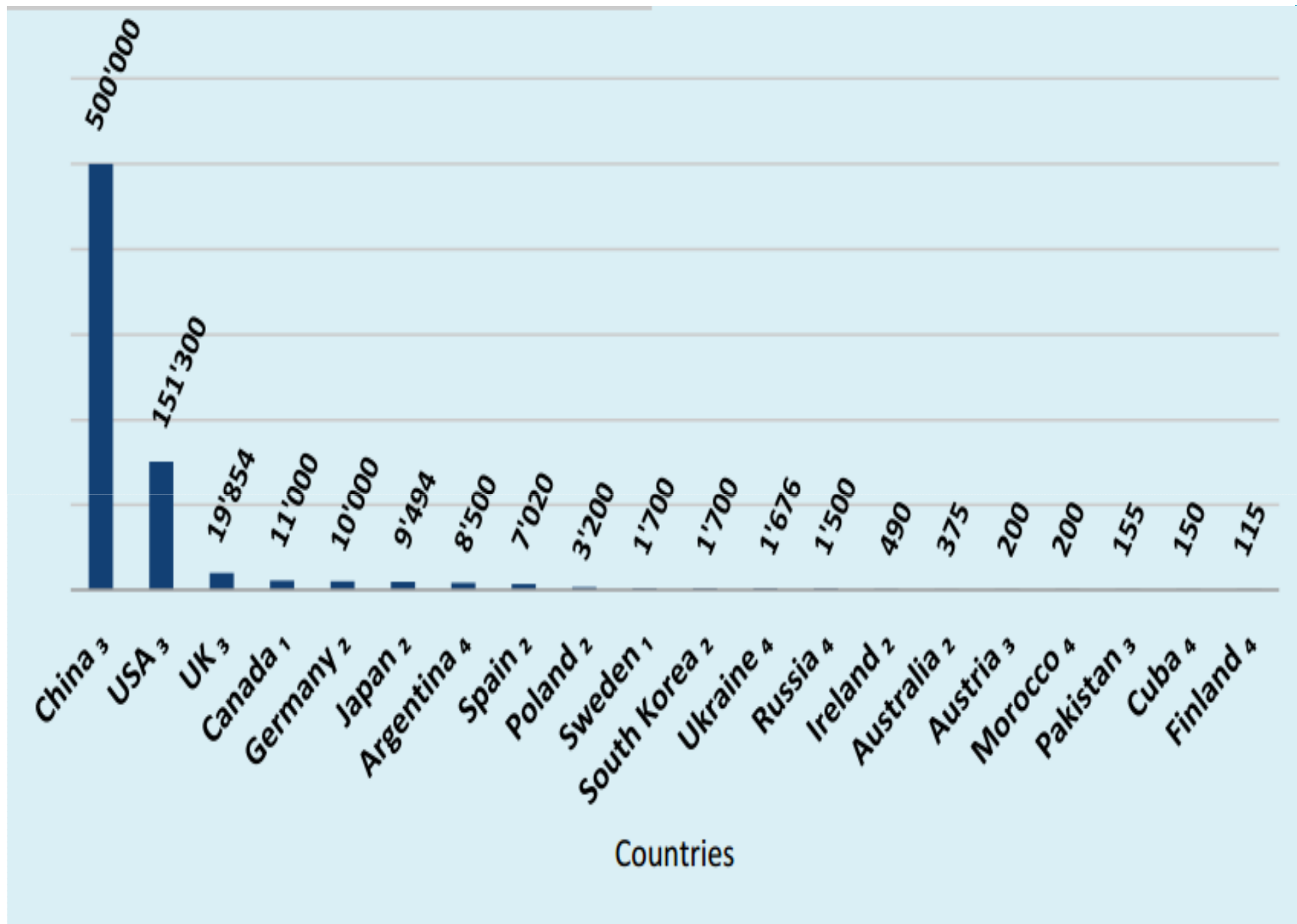
# ● **Systemes portable**

- **pompage**
- **Station de Dessalement et d'épuration**
- **surveillance à distance**
- **Recherche et éducation**
- **Stations de télécommunications**

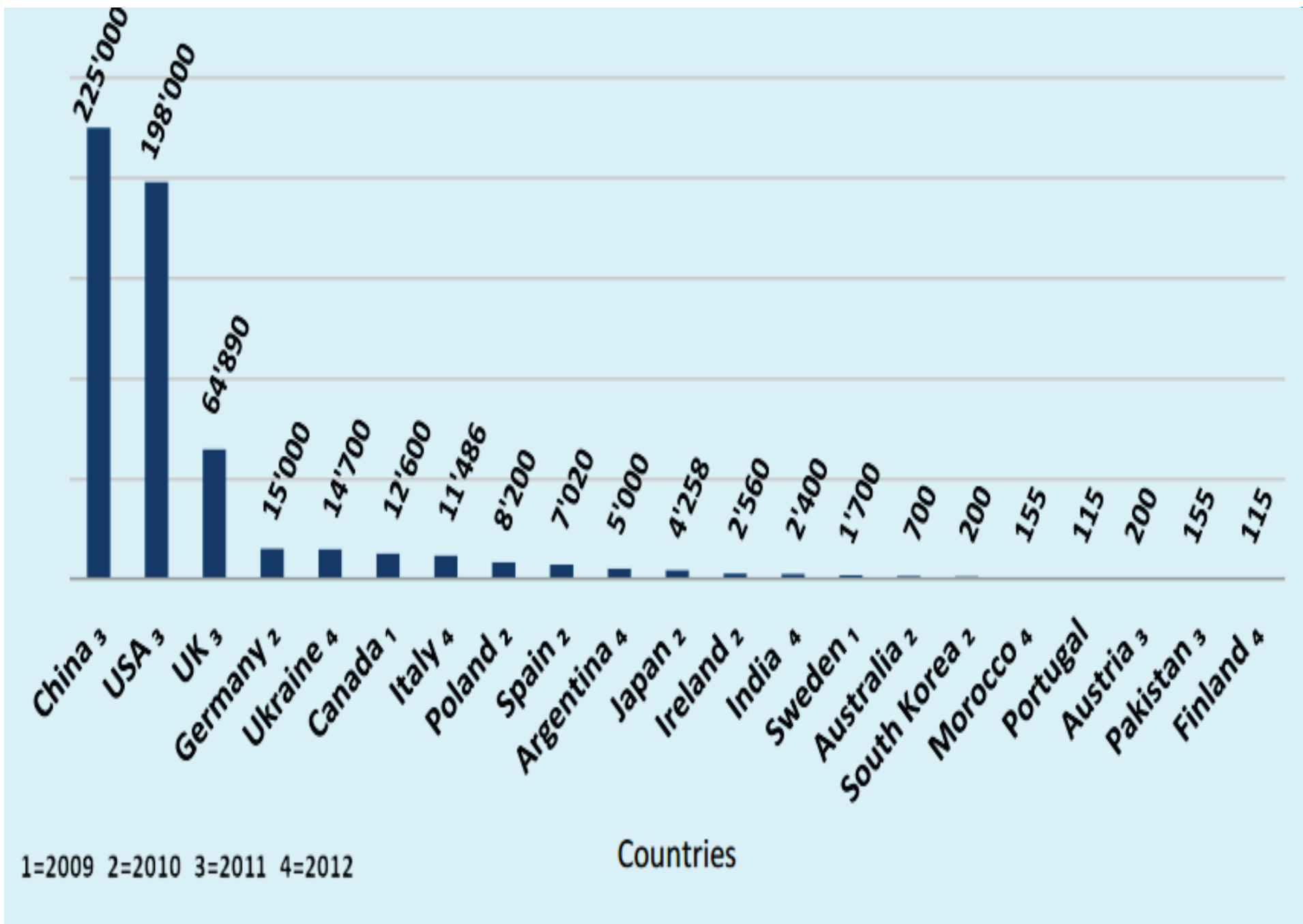
Selon le rapport annuel de l'Association mondiale de l'énergie éolienne autour des petites turbines éoliennes, la chine se trouve en tête de classement avec **500 000 unités** installées représentant une puissance totale cumulée de **225 MW**, suivi des Etats- Unis Américains avec **151 300 unités** représentant une puissance totale de

**198 MW**, puis le Royaume Uni avec 19 804 unités et 64 890 MW.

Selon le même rapport le **Maroc** est classé **17ème** mondialement et le premier parmi les pays arabes et Afriques en terme de petites éoliennes avec **200 unités** et une puissance cumulée de **151 KW**.



**FIG. 3 TOTALE DES UNITES DE PETITES EOLIENNES INSTALLEES AU MONDE**



**FIG. 4: PUISSANCE TOTALE INSTALLEE AU MONDE DES PETITES EOLIENNES**

### **3- Coût de l'Énergie Éolienne**

**Contrairement à l'énergie solaire photovoltaïque qui garde un coût d'installation relativement stable quoiqu'on change l'ampleur de la puissance installée.**

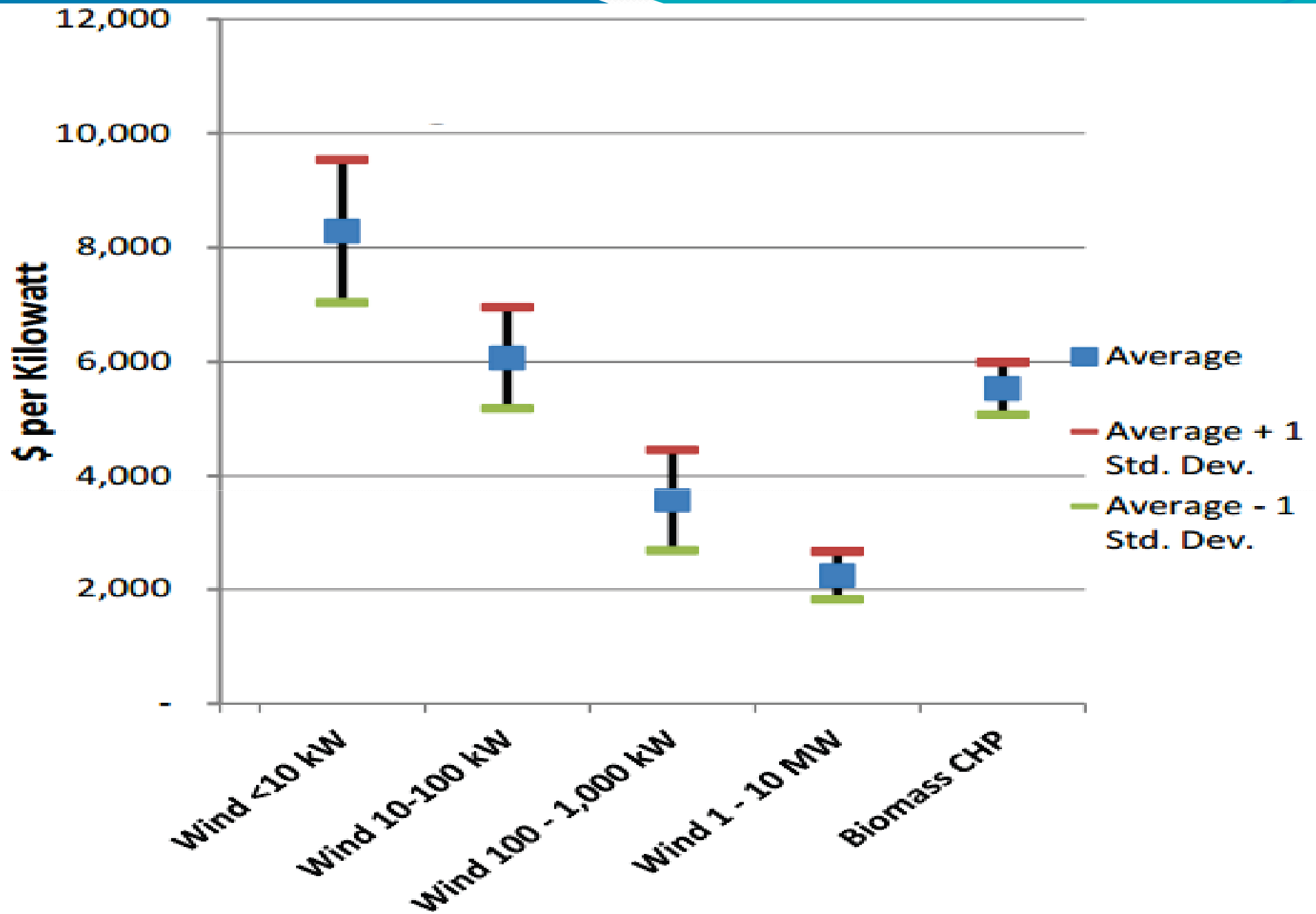
**Le coût d'installation d'un système de conversion d'énergie éolienne diminue de 75% lorsqu'on opte pour des turbines de grande puissance.**

Selon une étude menée par le Laboratoire National des énergies renouvelables (NREL) aux Etats-Unis en juillet 2012 le coût d'installation d'une éolienne de puissance supérieur à **1 MW** s'évalue à **2000\$/KW**, tandis que celui des petites éoliennes d'une puissance inférieure à **100KW** augmente entre **6000\$/KW** et **8000\$/KW** [Figure 1-5].



Ceci représente un facteur décourageant, et qui empêche une haute pénétration des énergies éoliennes de petite puissance.

De surcroît le **photovoltaïque** est disponible selon le même rapport à un prix d'installation inférieure à **5000\$/KW** pour les installations de puissance inférieur à **100 KW**.



**FIG 5: COUT D'INSTALLATION SYSTEMES DE CONVERSION D'ENERGIE EOLIENNE**

## 5- Gisement du vent au Maroc

Le Maroc dispose d'un potentiel considérable en énergie éolienne estimé par l'ADEREE (Agence National pour développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique) à **25.000 MW** avec des vitesses de vent moyennes annuelles variant de 9,5 à 11 mètres/seconde.

**Le Total de puissance éolienne installée actuellement au Maroc s'élève à 500MW, répartie entre les sites de Tatouan, Tanger, El Haouma, Essaouira, Akhfenir, Foum el oued et Tarfaya.**

**Cette puissance est toujours en cours d'expansion pour atteindre 2000MW éolienne à l'horizon de 2020, dans la Cadre du Programme Eolien Marocain de 2000MW.**

## **6- Gisement du vent en Algérie**

**L'Algérie à l'instar des autres pays arabes et africains essaye de percer dans le domaine des énergies renouvelables et en particulier l'énergie éolienne, et ce en donnant beaucoup d'importance aux études réalisées dans ce domaine notamment celles qui sont dédiées au énergie éolienne malgré la prédominance de l'énergie solaire.**

**Une étude préliminaire de l'évolution saisonnière et annuelle de la vitesse moyenne du vent a permis de faire une première identification des régions ventées en Algérie. Cette représentation de la vitesse sous forme de carte possède deux objectifs:**

- ✓ identifier les vastes régions avec de bonnes promesses d'exploitation de l'énergie éolienne.**
- ✓ mettre en évidence la variation relative de cette ressource renouvelable à travers le pays.**

**La carte du vent effectuée en Algérie montre que le sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement la région Sud-Ouest avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépasse la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar.**

**Concernant le Nord d'Algérie, d'une manière globale, la vitesse moyenne du vent est peu élevée dont l'existence de micro climats sur les sites**

**côtiers d'Oran, Béjaia et Annaba, sur les Hautes plateaux de Tiaret ainsi dans la région délimitée entre Béjaia et Beskara.**

**En général, la vitesse du vent dans les régions ventées en Algérie subit des variations en fonction des saisons qu'on ne doit pas négliger, surtout lorsqu'il s'agit d'installer des systèmes de conversion de l'énergie éolienne.**

**En outre, la réalisation d'une carte saisonnière a montré clairement que l'Automne et l'hiver sont**



**moins ventées en comparaison avec le reste de saisons et que le printemps est la plus ventée.**

**Néanmoins, il est important de noter que la région de Tiaret fait l'exception avec une vitesse de vent plus faible en été qu'en hiver. D'un autre côté, les régions de Biskra, Adrar et Annaba sont caractérisées par une vitesse de vent relativement constante tout au long de l'année.**

# Conclusion

**Nous avons vu dans ce chapitre l'évolution de l'énergie éolienne dans le monde, notamment celle de petite puissance.**

**Cette dernière présente un coût d'installation très élevé par rapport aux turbines de grandes puissances, ce qui empêche leurs hautes pénétrations dans le réseau électrique.**

**La conception d'une turbine éolienne de petite puissance avec un coût compétitif demeure un challenge pour augmenter la pénétration de cette source d'énergie dans les réseaux électriques.**

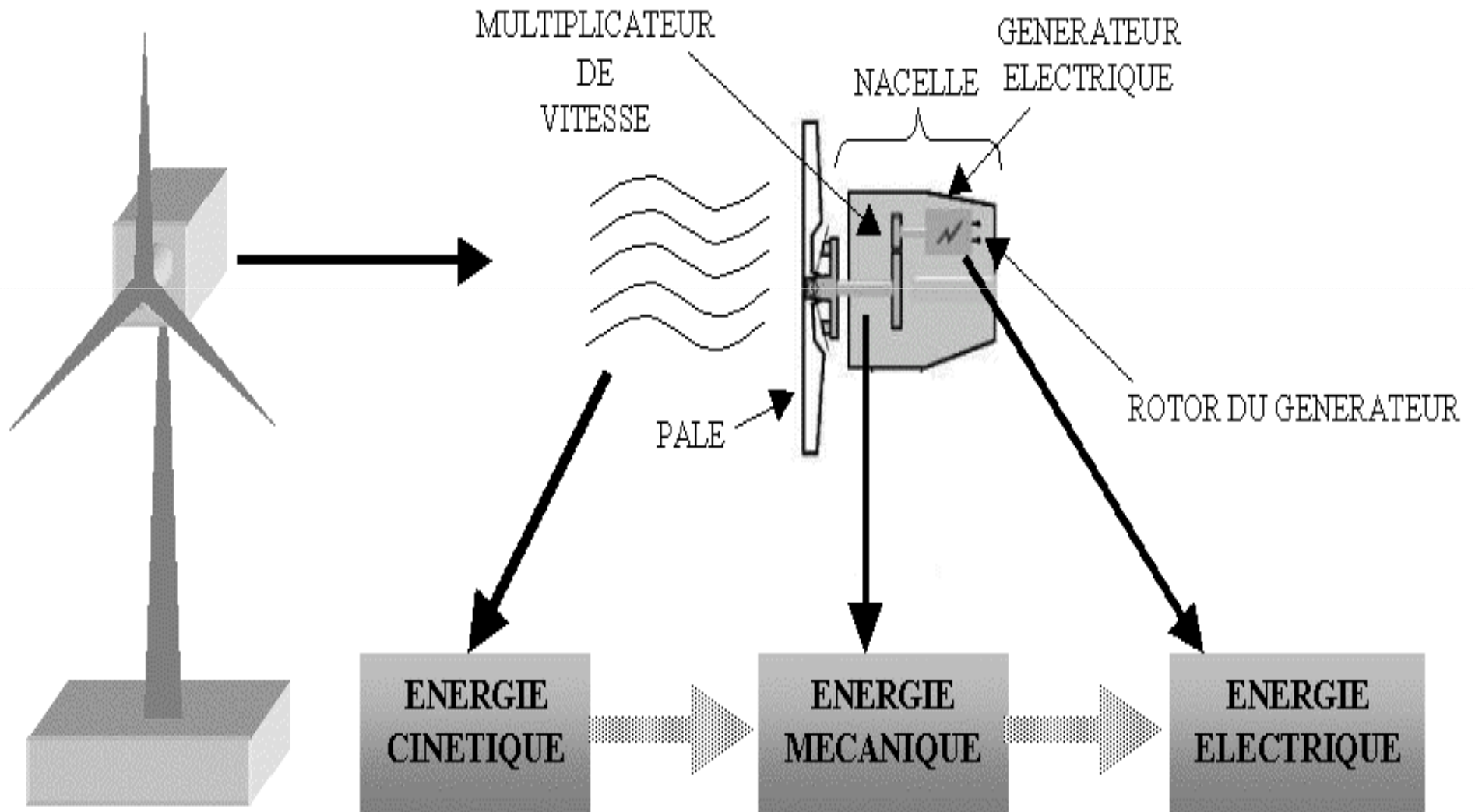
**En Algérie, la réalisation de la carte saisonnière a permis de cibler les zones et les régions les plus ventées pour installer des parcs éoliens en vue d'alimenter les régions isolées ou de permettre aux régions qui baignent dans le vent d'avoir une autonomie énergétique par rapport au réseau national déjà trop chargé.**

**Des projets de ce genre sont en phase d'étude et d'autre commencent à voir le jour tel que la réalisation de la première ferme éolienne à Adrar avec une puissance de 10 MW.**

# Descriptif et qualités de l'énergie éolienne

Un Aérogénérateur, plus communément appelé Eolienne, est un dispositif (un capteur) qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice (Alternateur).

# Par la figure suivante, il est illustré la chaîne de conversion cinétique-mécanique-électrique



**L'énergie éolienne est une énergie renouvelable non dégradée et non épuisée. De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif.**

**Cependant, elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions arrivant à 60 m pour les éoliennes de plusieurs MW dans les zones géographiquement dégagées pour éviter les**

## **phénomènes de turbulences.**

**Les installations éoliennes peuvent être réalisées sur terre (Onshore) mais également de plus en plus en mer (fermes éoliennes Offshore) où la présence du vent est plus régulière.**

**De plus, les éoliennes offshore sont ainsi moins visibles et occasionnent moins de nuisance sonore.**

**Même pour les éoliennes on-shore, leur impact sur l'environnement est très réduit qui apparaît**

## **Dans les faits suivants:**

- (1) Une éolienne ne couvre qu'un pourcentage très réduit de la surface totale du site sur laquelle elle est implantée, permettant à la plupart des sites de conserver leurs activités industrielles et agricoles.**
- (2) Leurs nuisances sonores sont de plus relativement faibles. En effet, il est trouvé que le niveau sonore d'une éolienne est de 50 dB à 150 m et devient imperceptible au-delà de 400 m. donc, dans la plupart des cas, le bruit du vent est supérieur à celui engendré par l'éolienne.**



# Principaux Composants d'une Éolienne

Il existe plusieurs configurations possibles d'aérogénérateurs (éolienne) qui peuvent avoir des différences importantes. Néanmoins, une éolienne est généralement constituée de trois éléments principaux:

**(1) Le mât:** généralement c'est tube d'acier ou un treillis métallique, qui doit être le plus haut possible pour éviter se trouvant près du sol.

**(2)**

**(2) la nacelle: elle regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique (arbres lent et rapide, roulements, multiplicateur, le frein à disque qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge, le générateur électrique qui est en effet une machine électrique synchrone ou asynchrone, les systèmes hydrauliques et électriques d'orientation des pales et de la nacelle pour garder la surface balayée par aérogénérateur perpendiculaire à la direction du vent).**

À cela viennent s'ajouter le système de refroidissement par air ou par eau, un anémomètre et le système électronique de gestion de l'éolienne.

(3) Le rotor: c'est un arbre tournant sur lequel est assemblées les pales.

Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité le nombre de pales varie classiquement de 1 à 3, dont le rotor tripale étant le plus répandu car il représente un bon compromis entre le coût, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit.

# Systemes de Conversion d'Energie Eolienne

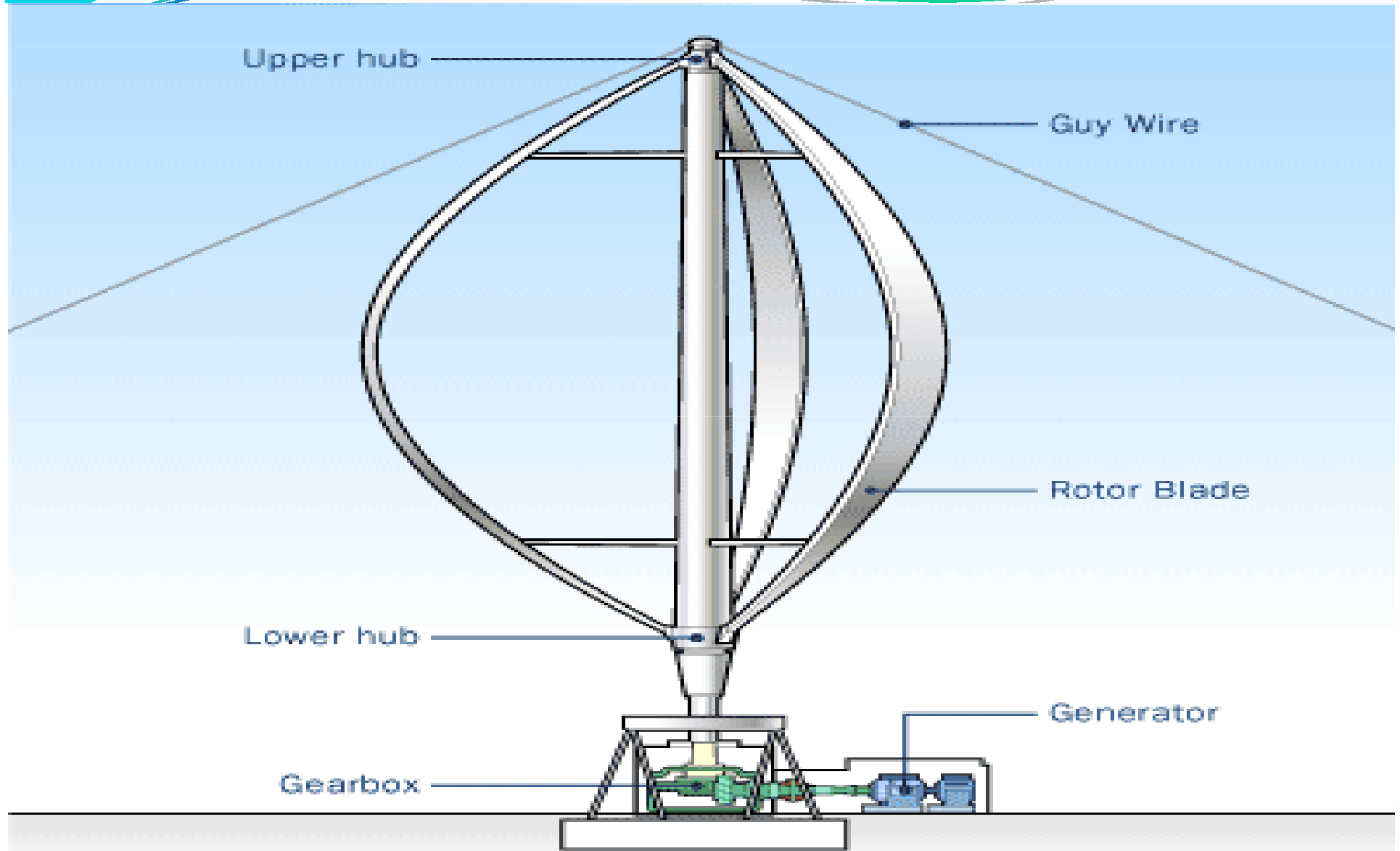
## Différents Types d'Aérogénérateurs

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles) sont:

- ✓ Eolienne à Axe Vertical,
- ✓ Eolienne à Axe Horizontal,
- 1) Eolienne à Axe Vertical

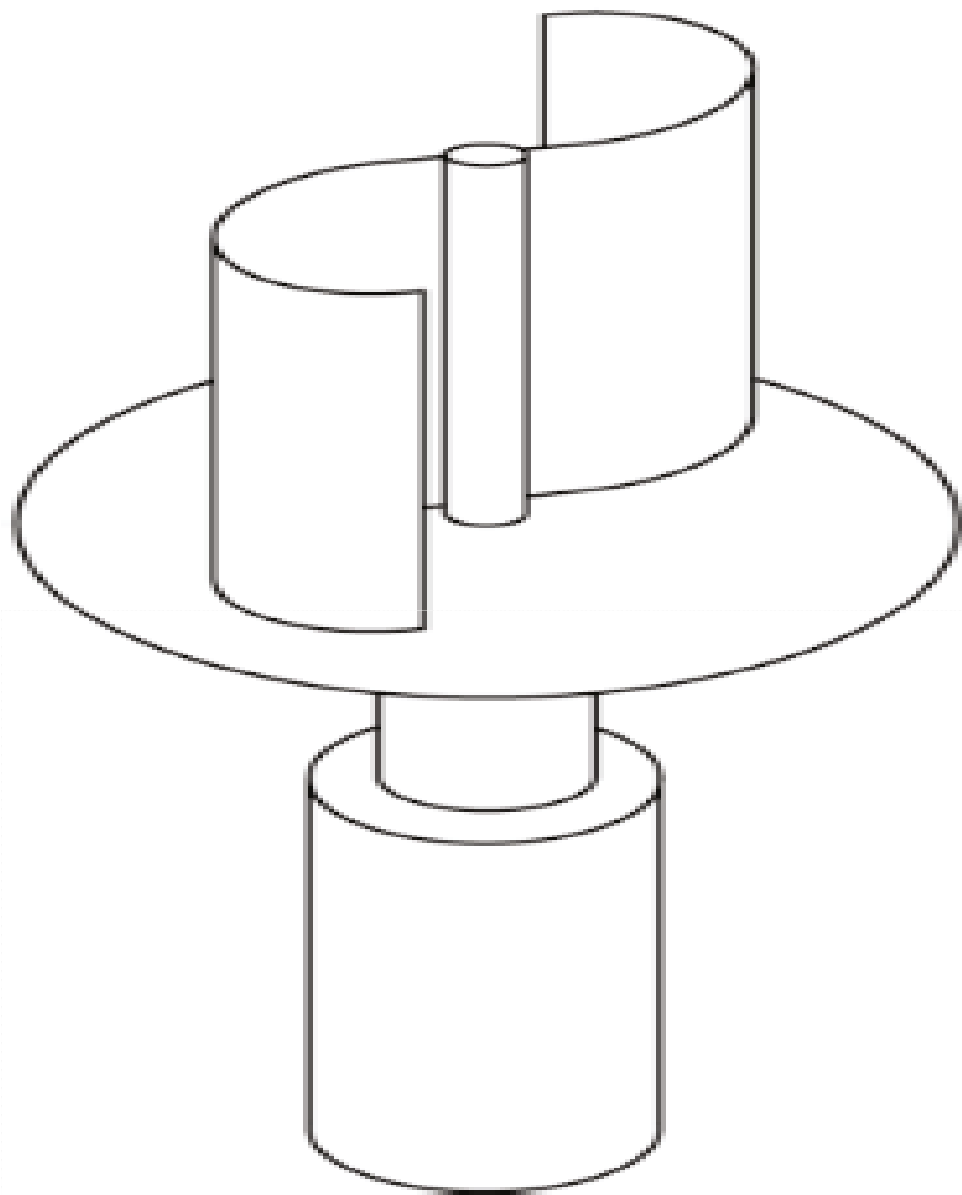
Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contraire avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal.

Elle est sous deux types: **Darrieus** et **Savonius**



**EOLIENNE TYPE DARRIEUS**

# Savonius-Rotor



**EOLIENNE TYPE SAVONIUS**

**Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles.**

**Cependant, Même si quelques grands projets industriels ont été réalisés, les éoliennes à axe vertical restent toutefois marginales et peu utilisées voire actuellement abandonnées.**

**En effet la présence du capteur d'énergie près du sol l'expose aux turbulences et au gradient de vent ce qui réduit son efficacité.**

**Elles sont de plus exposées à des problèmes d'aéroélasticité dus aux fortes contraintes qu'elles subissent. Enfin la surface qu'elles occupent au sol est très importante pour les puissances élevées.**

## **Eoliennes à axe horizontal**

**Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Ce sont les types de turbines les plus répandus et**

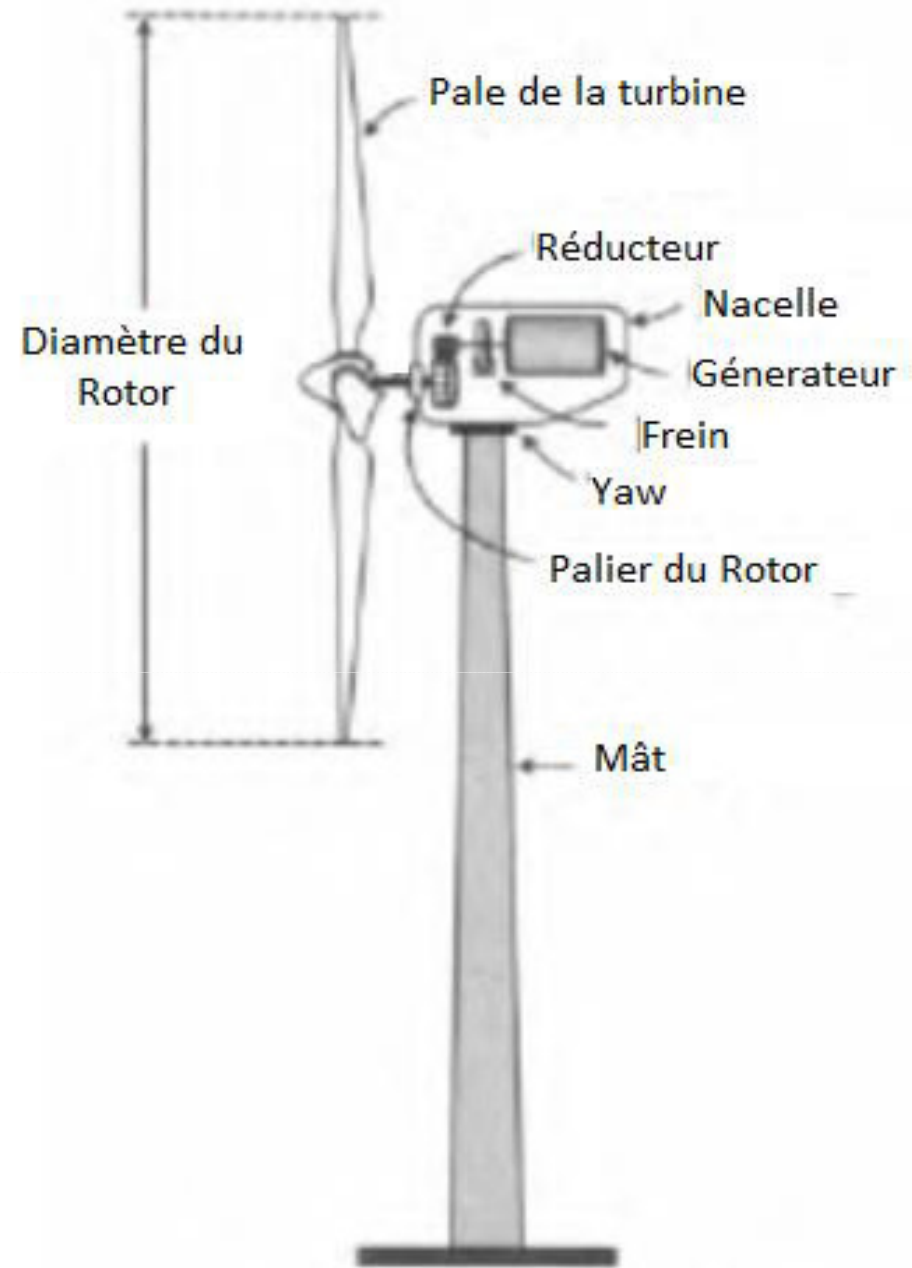


**les plus utilisés dans les fermes éoliennes à**

**grandes puissances. Elles sont constituées de plusieurs pales profilées aérodynamiquement à la manière des ailes d'avion pour générer un couple moteur entraînant la rotation.**

**Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien.**

**Ce type d'éolienne a pris le dessus sur celles à axe vertical car elles représentent un coût moins important, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et la position du récepteur à plusieurs dizaines de mètres du sol privilégie l'efficacité.**



## EOLIENNE A AXE HORIZONTAL

# Comparaison

Le Tableau suivant résume les points forts et faibles de chaque type de turbine précédemment décrite. Pour les applications à grande puissance les Eoliennes à axe horizontal (EAH) dominant le marché grâce à leur fort rendement et leur accès au vent fort. Par contre, les éoliennes à axe vertical (EAV) sont plus appropriées pour les applications domestique en toit d'immeubles, vu que cela leurs donnent automatiquement accès au vent fort et qu'elles sont facilement abordable pour la maintenance.

Type de Turbine	Avantages	Inconvénients
<p><b>Eolienne à Axe Horizontal (EAH)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fort rendement de conversion d'énergie.</li> <li>▪ Accès au vent plus fort.</li> <li>▪ Régulation de la puissance via le décrochage et calage en cas du vent dépassant les limites nominales (système de freinage).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coût d'installation élevé (mât très dur qui doit supporter le poids de la nacelle).</li> <li>▪ Des câbles plus long du haut de la tour jusqu'à la terre.</li> <li>▪ Système d'orientation requis</li> </ul>

Type de Turbine	Avantages	Inconvénients
<b>Eolienne à Axe Vertical (EAV)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coût d'installation moins important et maintenance plus facile vu qu'elle est proche de la surface.</li> <li>▪ Fonctionnement indépendant du sens du vent.</li> <li>▪ Adéquat pour les toits des immeubles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendement moins faible.</li> <li>▪ Fluctuation importante du couple et forte vibration mécanique.</li> <li>▪ Solutions limités pour la régulation de la puissance en cas de rafale de vent.</li> </ul>

# Eoliennes à Vitesse Fixe et Variable

Les turbines éoliennes peuvent également être classifiées à des turbines à vitesse fixe, et autres à vitesse variable.

## Eolienne à Vitesse Fixe

Comme leur nom l'indique les turbines à vitesse fixes tournent à une vitesse relativement constante. Cette vitesse est déterminée par le rapport du réducteur de vitesse, la fréquence du réseau électrique et le nombre de pôles de la génératrice.

**Ces turbines atteignent un rendement de conversion maximum uniquement pour une vitesse de vent donnée, et l'efficacité du système dégrade une fois la vitesse de vent change.**

**La turbine à vitesse fixe est protégée par un contrôle aérodynamique des éventuelles rafales de vent, elle génère une puissance électrique très fluctuante par rapport aux autres sources d'énergies qui offrent une énergie constante dans le temps et facilement réglable.**



**Les turbines à vitesse variable peuvent atteindre un rendement de conversion d'énergie sur une vaste plage de vitesse de vent.**

**La turbine change constamment sa vitesse de rotation dépendamment de la vitesse du vent pour maximiser la puissance.**

**Dans ce cas, la vitesse spécifique  $\lambda$  de la turbine, peut être maintenue dans ces valeurs optimales de manière à réaliser une extraction maximale de la puissance électrique.**

**Afin que la vitesse de la turbine soit ajustable, l'éolienne est connectée au réseau électrique via des convertisseurs de puissance.**

## **Comparaison**

**Comme le montre le tableau ci-dessous, les principales avantages des turbines à vitesse variable sont leurs rendements de conversion d'énergie élevé, une énergie électrique de bonne qualité et qui ne présente aucune nuisance pour**

**le réseau électrique, et finalement le stress mécanique réduit sur l'ensemble de la chaîne mécanique.**

**Leurs principaux inconvénients sont le coût de construction et les pertes énergétiques dues à l'utilisation des convertisseurs de puissance.**

**Toutefois, ce coût additionnel et les pertes sont compensés par la forte production d'énergie électrique.**

<b>Mode de fonctmt</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Vitesse Fixe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simple, Robuste et Fiable.</li> <li>▪ Faible coût de construction et Maintenance.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendement de conversion d'énergie faible.</li> <li>▪ Fort stress mécanique qui augmente le coût de la structure devant supporter ceci.</li> <li>▪ Fluctuation importante de la Puissance</li> </ul>

Mode de fonctmt	Avantages	Inconvénients
<b>Vitesse Variable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fort rendement de conversion d'énergie.</li> <li>▪ Puissance électrique de meilleur Qualité.</li> <li>▪ Stress mécanique réduit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coût de pertes supplémentaires dues à l'utilisation des convertisseurs à Electronique de Puissance.</li> <li>▪ Contrôle du système plus compliqué</li> </ul>

**COMPARAISON DES EOLIENNES A VITESSE FIXE ET A VITESSE VARIABLE**

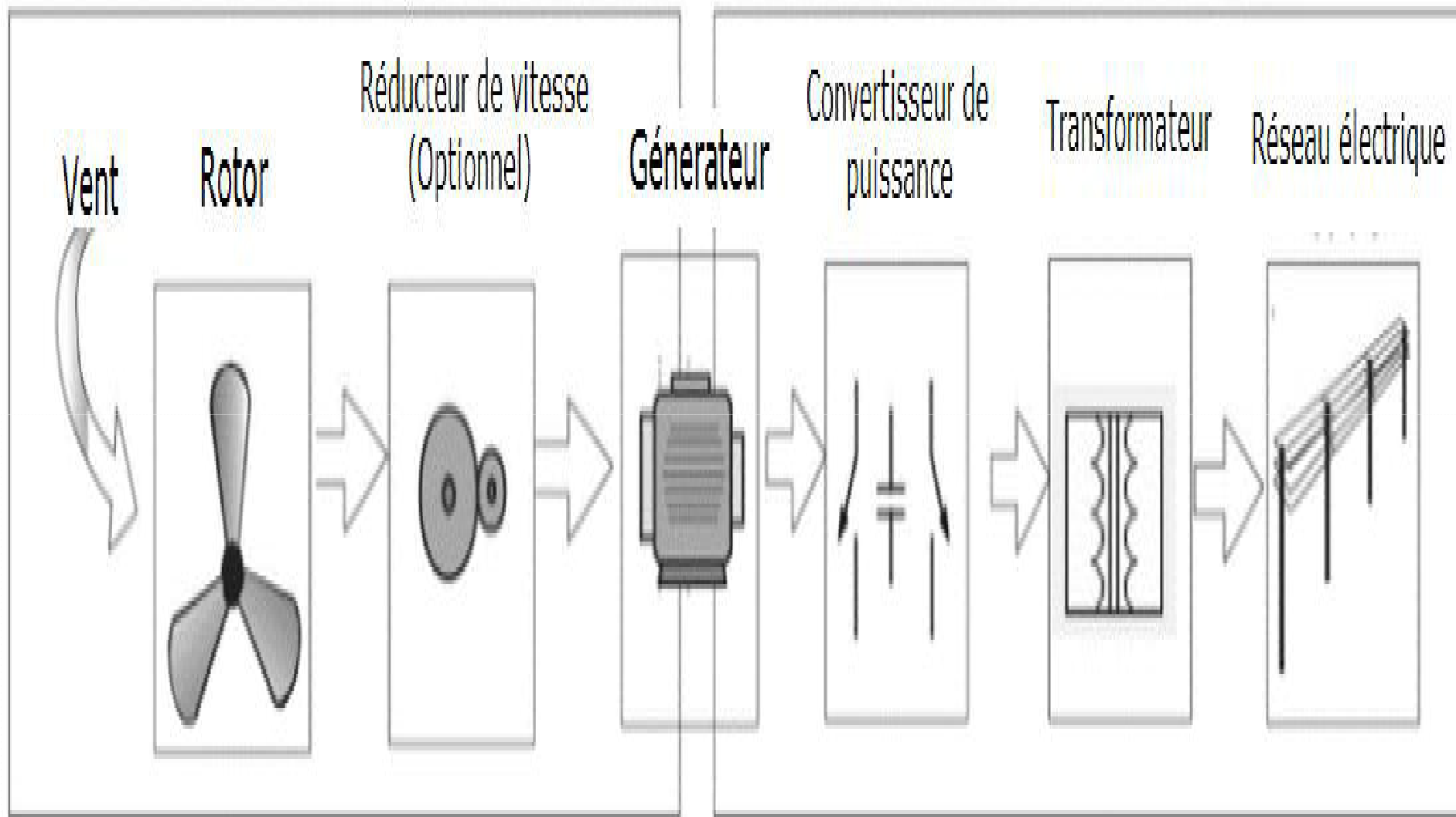


# **Les configurations des Systèmes de conversion d'énergie éolienne**

**La figure ci-dessous est un schéma représentant les différents étapes de la conversion d'énergie éolienne en énergie électrique exploitable par les réseaux électriques.**

Puissance mécanique

Puissance électrique



**CHAINE DE CONVERSION DE L'ENERGIE EOLIENNE EN ENERGIE ELECTRIQUE**

**Les générateurs électriques et les convertisseurs de puissances sont deux composants importants dans les systèmes de conversions d'énergie éolienne. Il existe donc différentes conceptions et combinaisons qui mènent à une multitude de configurations, et qui peuvent être classifiées selon trois grandes catégories.**

- 1) Les turbines à vitesse fixe sans interface d'électronique de puissance.**



**2) Les turbines à vitesse variable avec convertisseur de puissance à capacité réduite.**

**3) Les turbines à vitesse variable avec convertisseur de puissance à pleine capacité.**

## **1) Les turbines éoliennes à vitesse fixe**

**C'est un modèle danois des turbines éoliennes qui consiste à connecter le générateur directement au réseau via un transformateur était très répandu au début de l'industrie d'énergie éolienne.**

**Cette configuration se base sur l'utilisation d'un générateur asynchrone à cage d'écureuil, dont la vitesse de rotation est déterminée par la fréquence du réseau et le nombre de pôles du générateur. Pour un générateur à 4 pôles connecté à un réseau de 50Hz, sa fréquence de rotation est de 1500 tr/min.**

**Pour des vitesses de vent différentes de la vitesse de fonctionnement, la fréquence de rotation du générateur varie d'un ordre de 1%.**

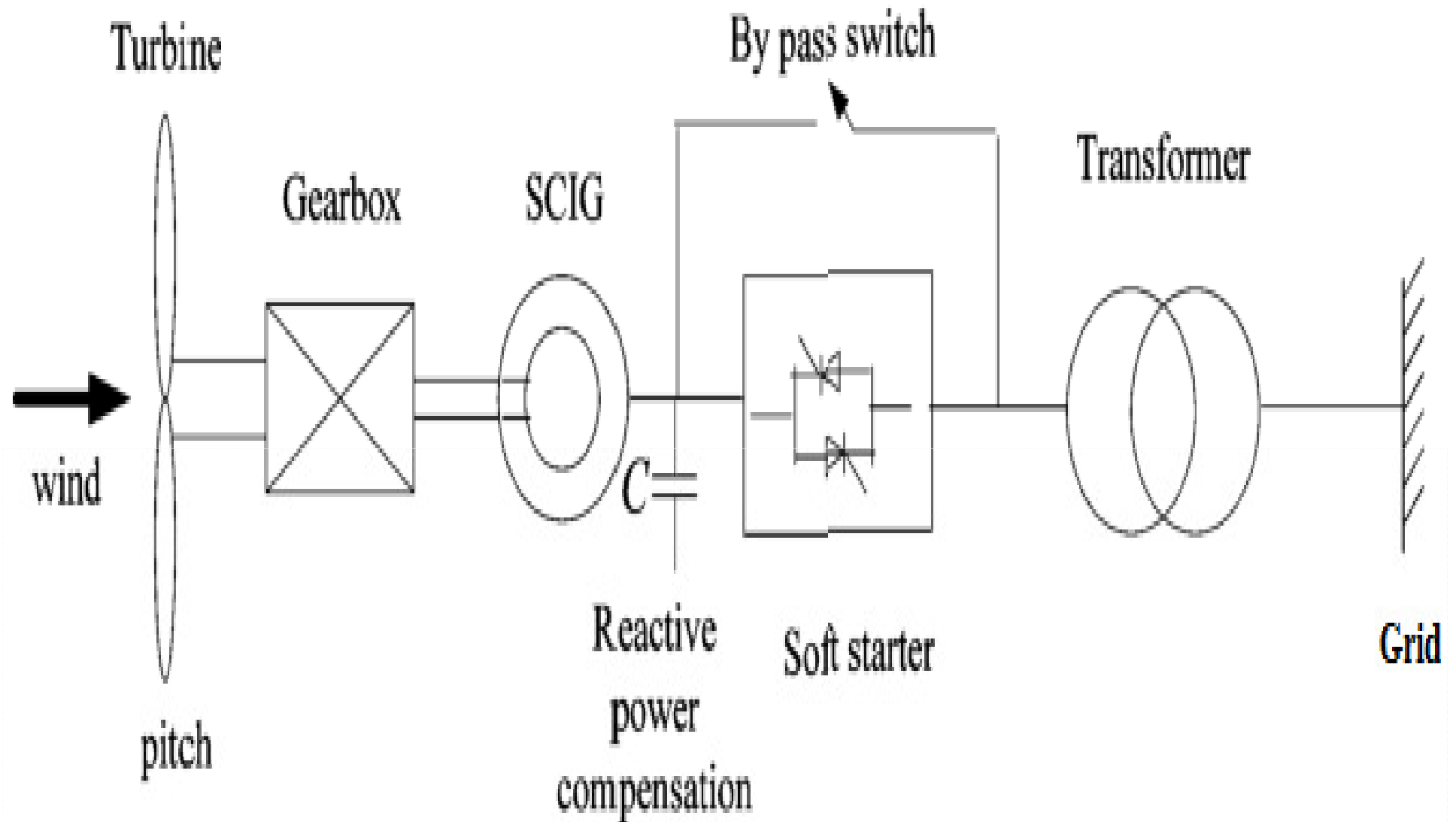
**La plage de vitesse du générateur est donc très limité c'est la raison pour laquelle ce type de système est reconnu comme turbines à vitesse fixe.**

**Pour ce genre de configuration un réducteur de vitesse (Gearbox) est requis afin d'adapter la vitesse de rotation de l'arbre principale connecté aux pales de la turbine à l'arbre secondaire connecté directement à la génératrice**

**Cette configuration requies également un démarreur (Soft-Starter) à base de thyristor qui a pour fonction de limiter le courant de démarrage, assurant ainsi un démarrage progressif.**

**Une fois cette phase de démarrage dépassée le Soft- Starter est court-circuité via un switch By-pass.**

**La configuration de ce système est représentée par la figure suivante:**



**ARCHITECTURE D'EOLIENNE A BASE DE GENERATRICE ASYNCHRONE A CAGE D'ECUREUIL**

# Inconvénients et Utilisation

En plus des inconvénients cités auparavant concernant les turbines à vitesse fixe, ce genre de configuration présente l'inconvénient de ne pas être capable de supporter les fluctuations de tension, il doit donc être raccordé à un réseau fort et avoir en aval de l'éolienne ou du parc éolien un compensateur synchrone pour garder dynamiquement une bonne tenue de tension.

**Cette configuration est principalement utilisée pour les parcs éoliens de grande puissance de l'ordre d'un à quelque MW pour chaque turbine. Mais elle est de plus en plus abandonnée.**

## **2) Les éoliennes à vitesse variables avec convertisseurs de puissance à capacité réduites**

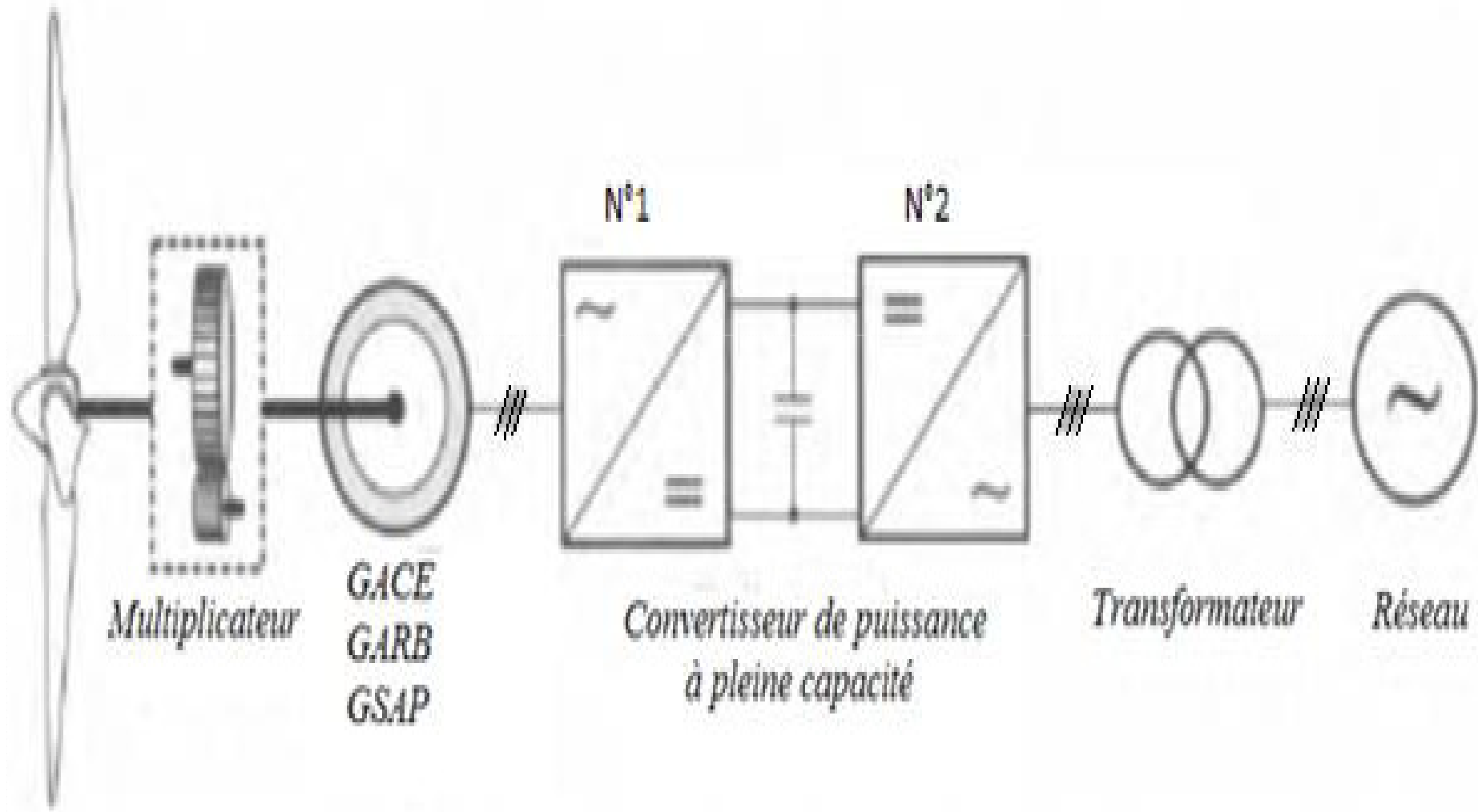
**Le Fonctionnement à vitesse variable présente une série d'avantages.**

- ❑ **Il augmente l'efficacité de conversion d'énergie,**
- ❑ **Réduit le stress mécanique causé par les rafales de vent.**

**Ce dernier avantage présente un impact positif sur la conception de la structure mécanique du système éolien ce qui permet la construction de turbine encore plus large et avoir accès au vent à des hauteurs plus forte. Il permet aussi de réduire l'usure du réducteur, ce qui prolonge la durée de vie de ce dernier.**



La configuration de ce système éolien est donnée par le schéma bloc suivant:



ARCHITECTURE A BASE DE CONVERTISSEUR DE PUISSANCE A PLEIN CAPACITE<sup>3</sup>

**Comme on voit sur le schéma, tous les types de la machine Alternative peuvent être utilisée comme génératrice (GACE, GARB, GSAP).**

### **Inconvénients:**

**Du point de vu coût d'installation, le principal inconvénient de ce système est la nécessité d'un convertisseur d'électronique de puissance pour le contrôle de la vitesse du générateur, ce qui augmente le coût et la complexité du système.**

**Nous avons vu que cette configuration permet l'utilisation de plusieurs types de génératrices.**

**La machine synchrone à aimants permanents reste une solution attractive qui présente une efficacité supérieure avec son haut rendement énergétique, une meilleure fiabilité, et un bon rapport poids-puissance comparé aux machines nécessitant une excitation.**

**Avec la GSAP, il est possible d'utiliser un redresseur à diode comme convertisseur AC/DC**

**permettant ainsi de réduire considérablement le coût de l'installation.**

**Outre ceci, les aimants permanents d'aujourd'hui produisent des forces magnétomotrices (FMM) très intenses. De sorte que, à FMM égales, les aimants sont souvent plus petits que les électro-aimants qu'ils remplacent.**

**Comme ils n'ont besoin d'aucune source d'énergie extérieure pour maintenir leur magnétisme.**

**Cet avantage permet de se débarrasser du circuit d'excitation présent sur d'autres types de génératrices et ainsi de réduire la complexité du système et son coût.**

**En prenant en considération la performance évoluée des GSAP et leurs baisses de prix, combiné à la baisse des prix des convertisseurs de puissance, la GSAP est devenu la machine la plus attractive pour les applications à vitesse variable (sans réducteur de vitesse, ou avec**

**réducteur à rapport fixe) surtout en Offshore. Car ils permettent de combiner entre, l'accès à des puissances supérieures aux puissances habituelles sous d'autres technologies, et la conception simplifiée du système.**

## **Conclusion**

**On termine ce chapitre sur l'énergie éolienne renouvelable par le tableau suivant dont on présente les spécifications techniques de quatre éoliennes les plus puissantes jusqu'au moment,**

**tel que la dernière innovation d'ALSTOM, l'éolienne Haliade 150 et l'éolienne SIEMENS SWT -6.0-154 d'une puissance de 6 MW, VESTAS avec 8 MW, et la Norvégienne SWAY TURBINE qui peut atteindre une puissance de 10 MW.**

**Ces éolienne sont tous dotées d'une GSAP directement entraînées par l'arbre du rotor de l'éolienne (Turbine) sans intermédiaire du réducteur.**





<b>Constructor</b>	<b>ALSTOM</b>	<b>SIEMENS</b>	<b>VESTAS</b>	<b>SWAY TURBINE</b>
<b>Name</b>	Haliade 150	SWT-6.0-154	V164-8.0 MW	ST 10
<b>Rated Power</b>	6 MW	6 MW	8 MW	10 MW
<b>Cut-in Wind Speed</b>	3 m/s	3-4 m/s	4 m/s	4 m/s
<b>Nominal Power at</b>		12-14 m/s		
<b>Cut-out Wind Speed</b>	25 m/s	25 m/s		28 m/s



	ALSTOM	SIEMENS	VESTAS	SWAY TURBINE
<b>Operational Rotor Speed</b>	<b>4-12 rpm</b>	<b>5-11 rpm</b>	<b>4.8-12.1 rpm</b>	
<b>Nominal Rotor Speed</b>			<b>10.5 rpm</b>	<b>12 rpm</b>
<b>Rotor <math>\Phi</math></b>	<b>150 m</b>	<b>154 m</b>	<b>164 m</b>	<b>164 m</b>
<b>Swept Area</b>	<b>17860 m<sup>2</sup></b>	<b>18600 m<sup>2</sup></b>	<b>21124 m<sup>2</sup></b>	<b>21124 m<sup>2</sup></b>
<b>Frequency</b>	<b>50/60 Hz</b>	<b>50 Hz</b>	<b>50 Hz</b>	<b>50 Hz</b>
<b>Converter Type</b>	<b>Full scale converter</b>	<b>Full scale converter</b>	<b>Full scale converter</b>	<b>Full 4Q converter</b>
<b>Generator Type</b>	<b>PMSG</b>	<b>PMSG</b>	<b>PMSG</b>	<b>PMSG</b>
<b>Nominal Voltage</b>	<b>900 V</b>	<b>690 V</b>	<b>33-35 and 66 kV</b>	<b>3.5 kV</b>

# Installation d'un Projet d'Énergie Éolienne

## 1) Planification et Développement du Projet

**Élaboration du projet, étapes de planification  
& de mise en œuvre du projet**



## 2) Evaluation des Ressources

Évaluation de la quantité d'énergie électrique qui devrait être générée à partir du parc éolien

**Évaluation des ressources**





# 3) La Mise en Œuvre

## Choix de site et octroi du permis: répondre au questionnaire environnemental

**Emplacement et autorisations : introduction  
aux questions environnementales**



# 4) Travaux d'Installation

## (1) Transport et Construction

**Transports et construction (travaux d'installation)**





# Construction des routes

baa.



J.lersch; KeyWindEnergy, 2009.

Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations.

Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations.



# Construction des plateformes de base pour petites éoliennes



Source : Bergey Windpower Co. « Petits systèmes éoliens » ; Photos courtoisie des Produits de Pine Ridge, Great Falls, MT.



# Transport des grands aérogénérateurs



Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations.

Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations. Ligne alternative, s'il n'y a pas assez d'espace au bas.



# Transport de tour et de pales de rotor



Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations. Ligne alternative, s'il n'y a pas assez d'espace au bas.

# Le travail des grues



Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations. Ligne alternative, s'il n'y a pas assez d'espace au bas.

Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations.



# Le travail des grues, Enercon E66 (1,8 MW)



Photo : Steil Kranarbeiten, Stefan Dürr



Photo : Steil Kranarbeiten, Stefan Dürr

Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations. Ligne alternative, s'il n'y a pas assez d'espace au bas.

# Érection des tours et des turbines, travail des grues



Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations.



Source : Bergey Windpower Co. « Petits systèmes éoliens » ; Photo : courtoisie des Produits de Pine Ridge, Great Falls, MT



# Moyeu de rotor



Source : Ligne d'indication des sources ou autres informations. Ligne alternative, s'il n'y a pas assez d'espace au bas.