



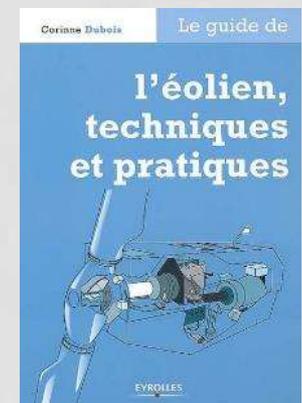
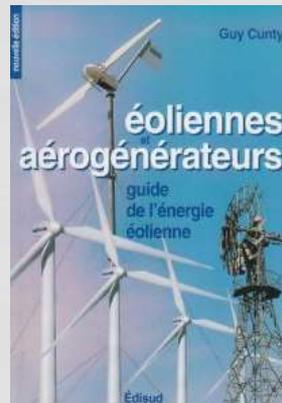
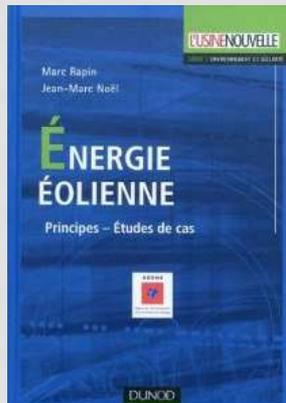
L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

PRÉSENTATION : SYLVAIN DELENCLOS
2016-2017

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE



- http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/fr/tour/wres/index.htm (cours complet sur l'énergie éolienne – windpower.org)
- <http://www.canwea.ca/> (association canadienne de l'énergie éolienne)
- <http://fee.asso.fr> (France Energie Eolienne)
- <http://sites-test.uclouvain.be/e-lee/FR/realisations/EnergiesRenouvelables/> (cours complet sur l'éolien et le solaire)
- <http://www.energies-renouvelables.org> (baromètre européen de la filière éolienne)
- Livres disponibles à la BULCO :



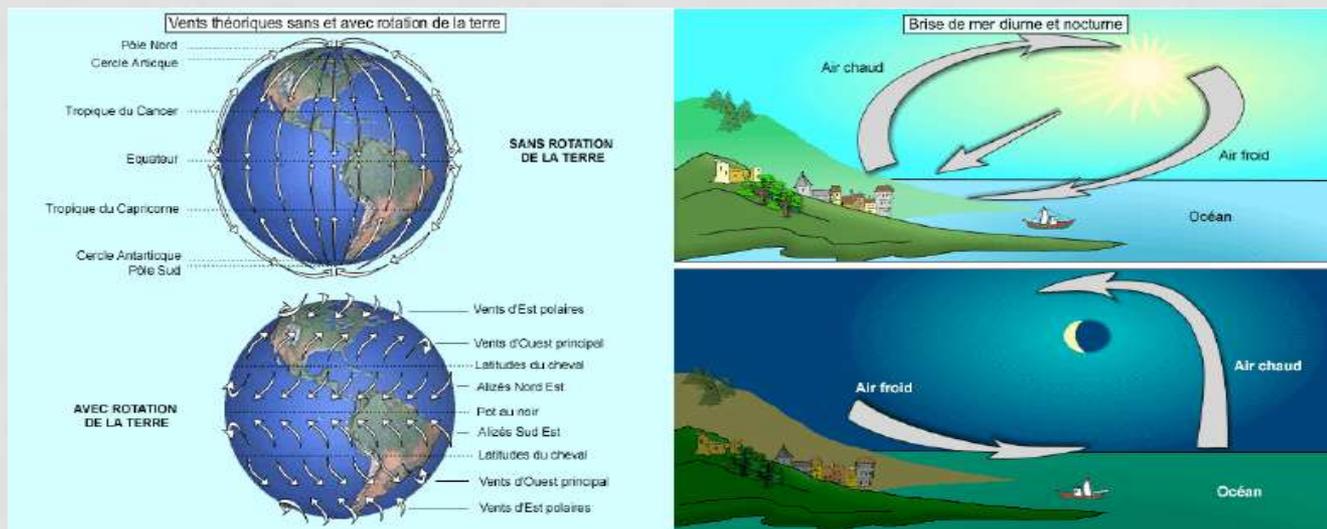
I. INTRODUCTION

I. INTRODUCTION

ORIGINES DU VENT



- Proviens de variations de température
 - Vents globaux (exemple SO pour latitude 30-60° N)
 - Vents de surface (exploités par l'éolienne)
 - Vents locaux (brise de terre ou de mer)
 - Vents de montagne (brise montante et descendante)



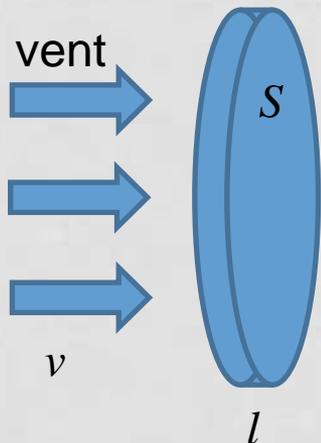
I. INTRODUCTION

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE



- Energie des vents = 25 à 30 fois la consommation d'énergie de l'humanité
- $E_c = \frac{1}{2} m_{air} v^2$ avec $m_{air} = \rho V$ (V étant le volume d'air)

Surface de section S traversée par un vent de vitesse v pendant un temps t



$$V = Sl \text{ et } l = vt \text{ d'où } E_c = \frac{1}{2} \rho V v^2 = \frac{1}{2} \rho S v^3 t$$

$$\text{Puissance du vent : } P = \frac{1}{2} \rho S v^3$$

I. INTRODUCTION

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE



$$\text{Puissance du vent : } P = \frac{1}{2} \rho S v^3$$

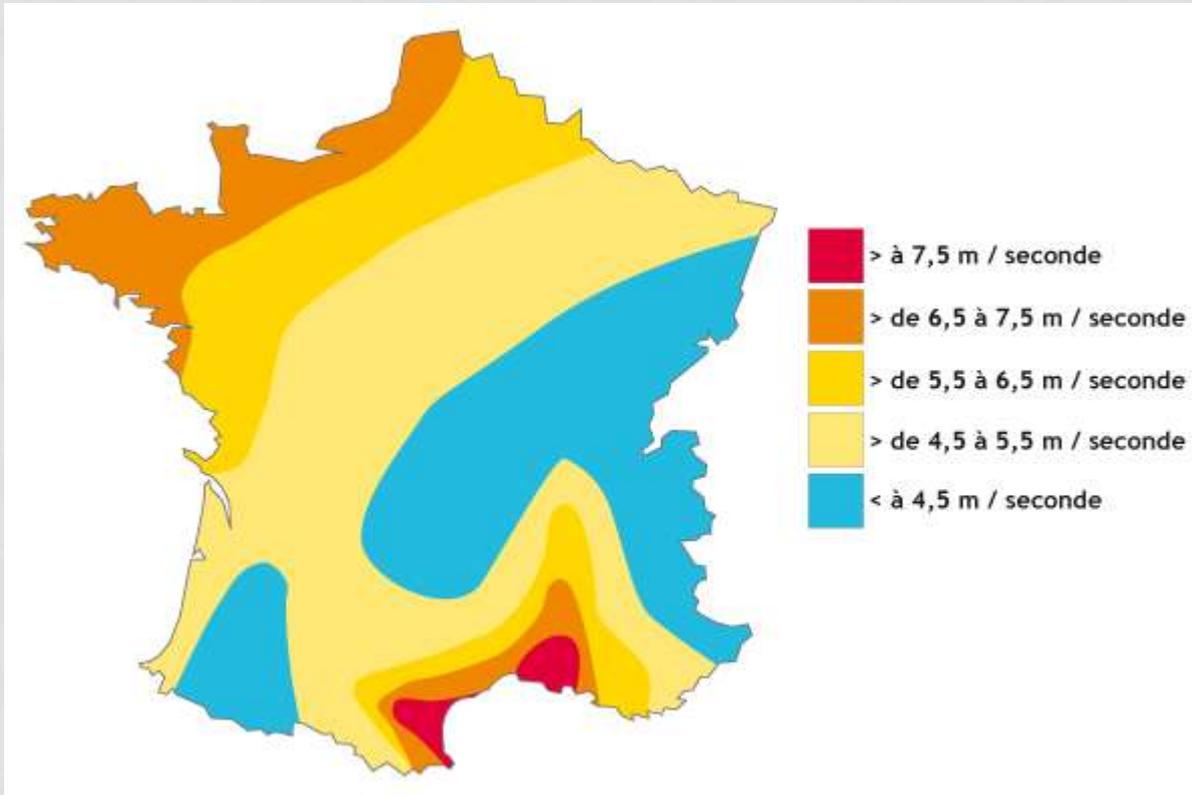
- La puissance est **proportionnelle à la densité de l'air** → à vitesse égale, la puissance du vent est plus faible en montagne qu'au niveau de la mer
- La puissance est **proportionnelle à la surface balayée** → construction de rotors de plus en plus grands (pales de 70 m)
- La puissance est **proportionnelle à la vitesse du vent au cube** → importance du choix du lieu d'implantation (études de vent)

I. INTRODUCTION

CARTE DES VENTS EN FRANCE



<http://solutions-energies.fr/>

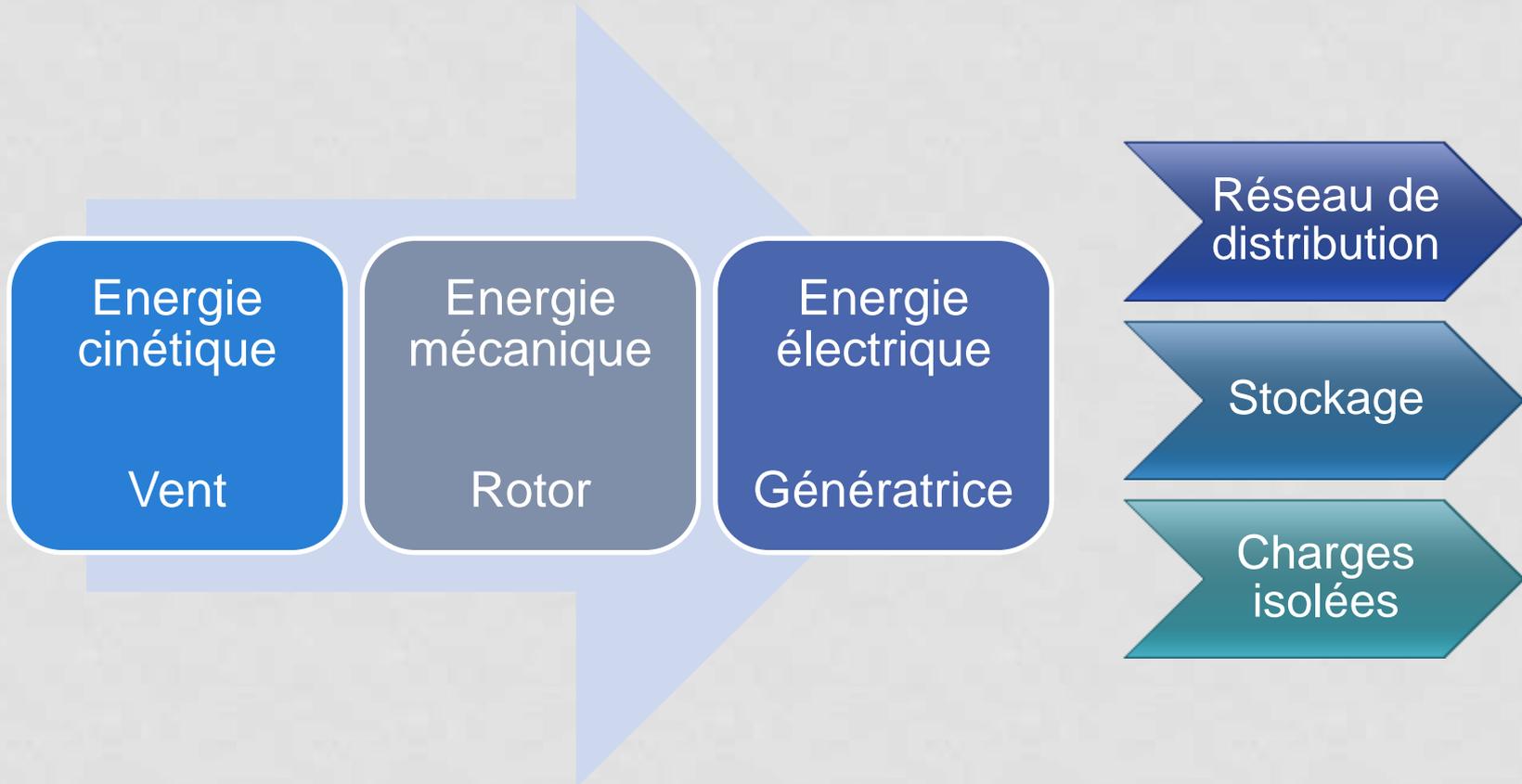


Carte donnant les tendances sur un territoire : ne permet pas de dire en un lieu précis si le vent est suffisant (étude des vents en local sur 6 mois à 1 an)



I. INTRODUCTION

LES TRANSFORMATIONS ÉNERGÉTIQUES



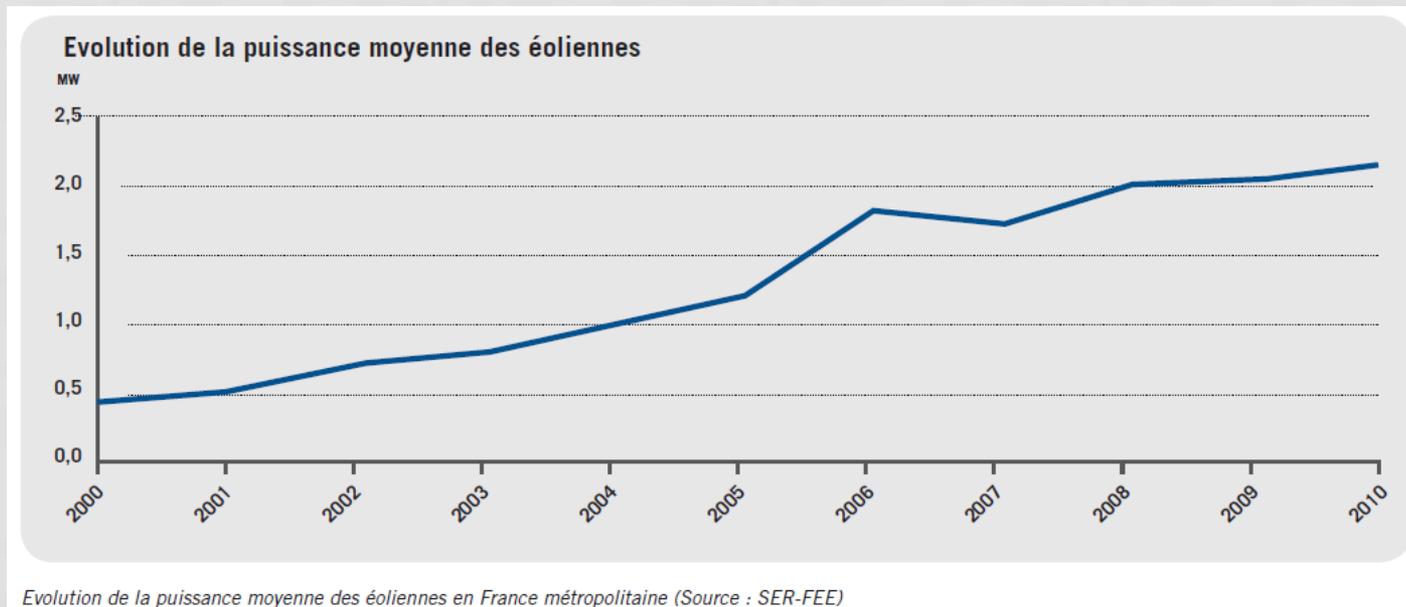
II. LE GRAND ÉOLIEN

II. LE GRAND ÉOLIEN

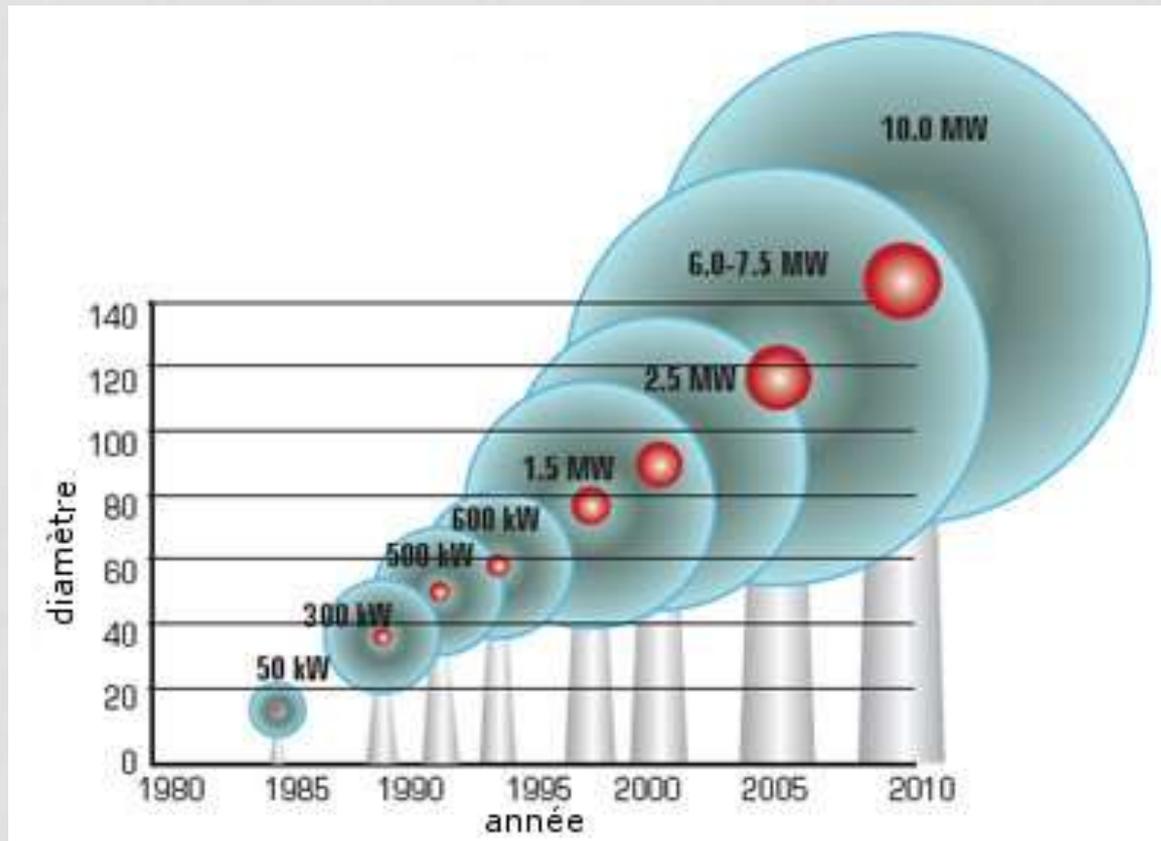
GÉNÉRALITÉS



- Les éoliennes actuelles ont une puissance comprise entre 1 et 5 MW (développement d'éoliennes de 10 MW en cours)



II. LE GRAND ÉOLIEN GÉNÉRALITÉS



A380 : 73 m

Evolution de la taille des éoliennes depuis 1980

II. LE GRAND ÉOLIEN

LA PLUS PUISSANTE DU MONDE : 8 MW



VESTAS V164 : 220 m de haut



Pale de 82 m, 35 t

Surface balayée :
21 124 m²

II. LE GRAND ÉOLIEN

LA PLUS GRANDE DU MONDE : 154 M



Quantum B75 de Siemens

- Longueur de la pale : 75 m
- Masse de la pale : 25 t
- Surface balayée : 18 600 m²
- Puissance : 6 MW



II. LE GRAND ÉOLIEN

BREF ÉTAT DES LIEUX



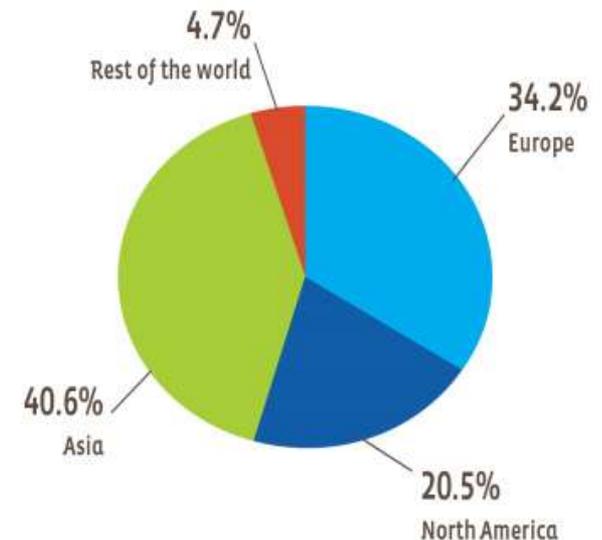
En France :

- Puissance installée (09/2015) : 10 GW
- Objectifs 2020 : 25 GW dont 6 GW offshore
- Production électrique en 2015 : 17,2 TWh*

Dans le monde :

- Puissance installée (fin 2015) :
433 GW

Capacités installées cumulées à fin 2015 :
433 GW



eurobserv'er 2016

II. LE GRAND ÉOLIEN

BREF ÉTAT DES LIEUX



Les plus grands constructeurs (2015)* :

Goldwind (Chine) : 7,8 GW

Vestas (Danemark) : 7,3 GW

General Electric (USA) : 5,9 GW

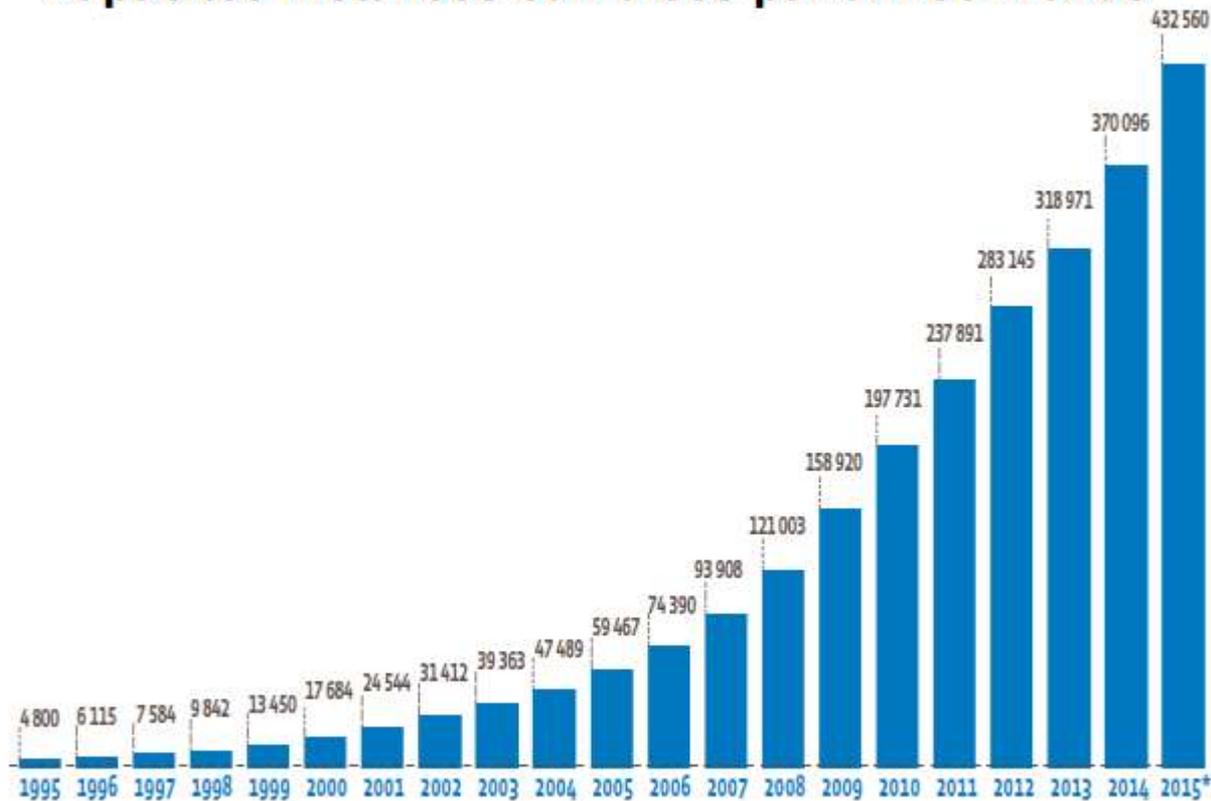
* : le journal de l'éolien n°18, p4, 2016

II. LE GRAND ÉOLIEN

BREF ÉTAT DES LIEUX (MONDE)



Capacités installées cumulées par année Monde

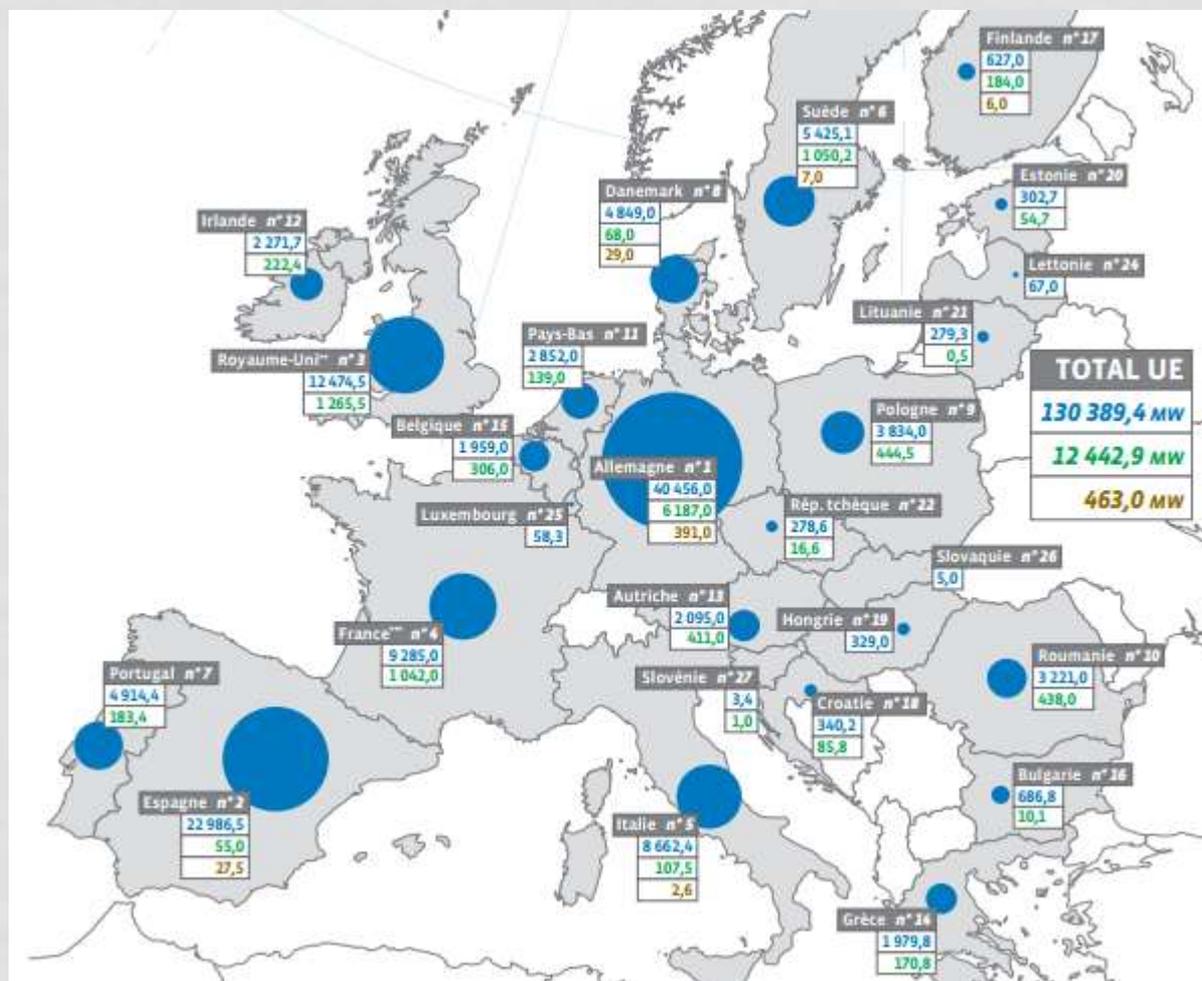


* Estimate. Source: EurObserv'ER 2016.

Source : EurObserv'er 2016

II. LE GRAND ÉOLIEN

BREF ÉTAT DES LIEUX (EUROPE)



142 GW cumulés (2015)

13 GW installés en 2015

11,4% de la
consommation électrique

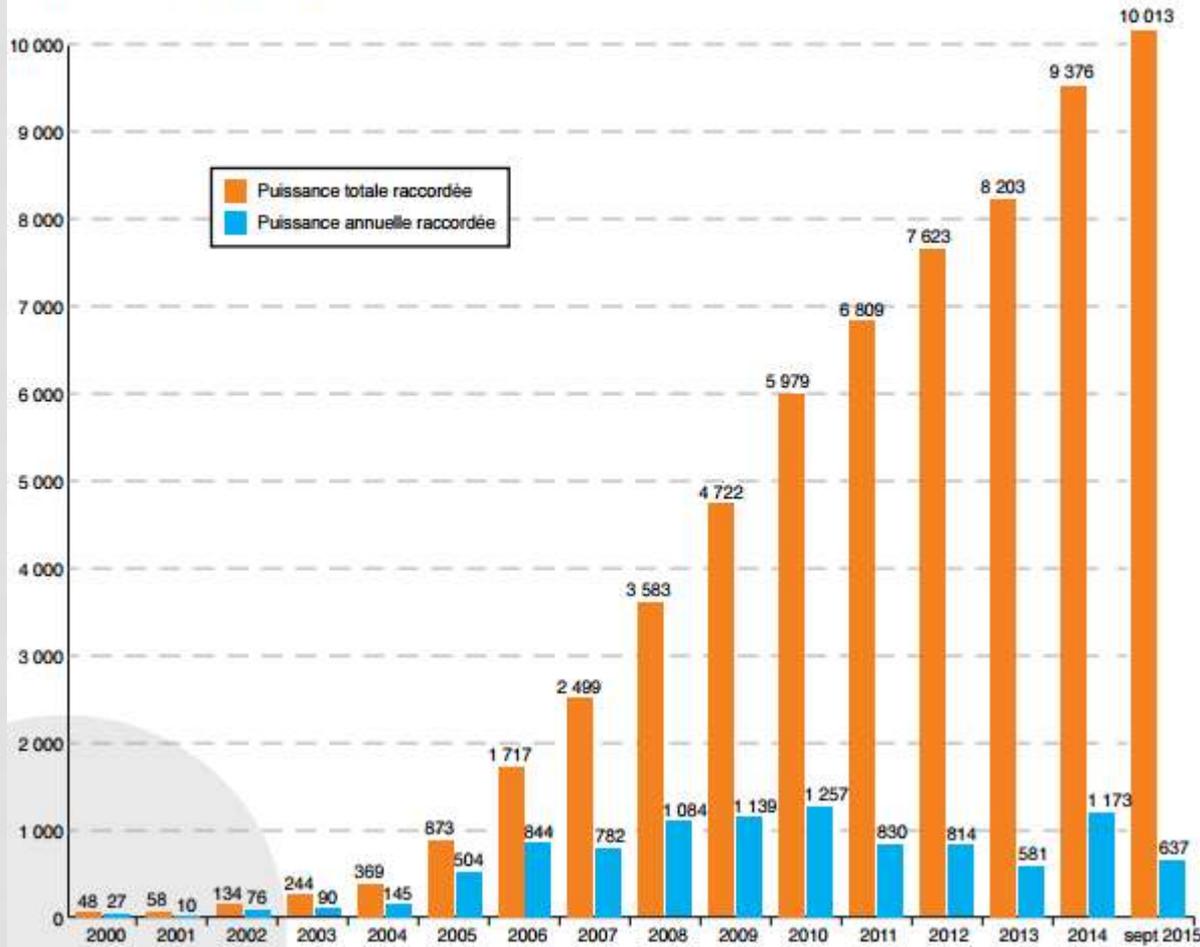
II. LE GRAND ÉOLIEN

BREF ÉTAT DES LIEUX (FRANCE)



Évolution de la puissance éolienne raccordée depuis 2000 en MW

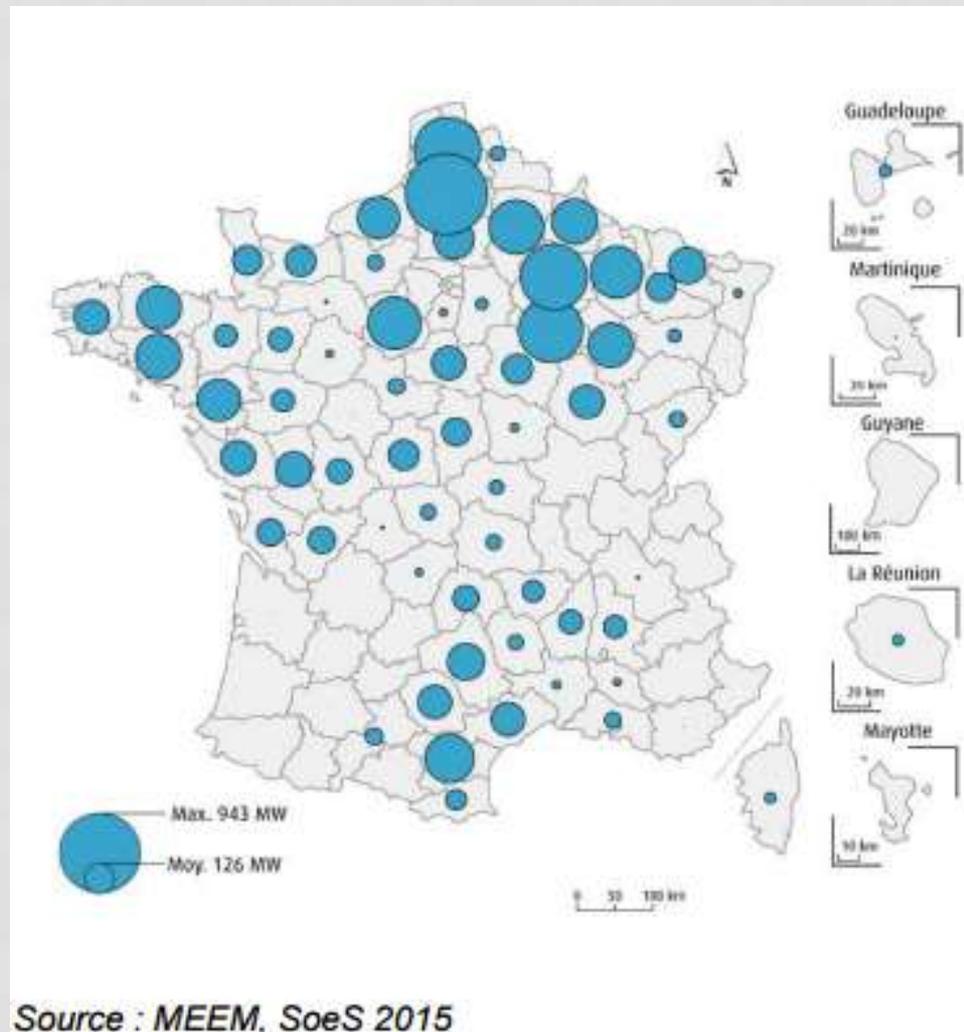
Source : Observ'ER d'après données SOeS



10 GW installés
Env. 5000 éoliennes
17 TWh produits en
2014 (3% de la
production française)

II. LE GRAND ÉOLIEN

BREF ÉTAT DES LIEUX (FRANCE)



II. LE GRAND ÉOLIEN

BREF ÉTAT DES LIEUX (FRANCE - NPDC)



Parcs installés dans le NPDC (<http://www.thewindpower.net/>)

II. LE GRAND ÉOLIEN ÉOLIENNES DU DUNKERQUOIS



Première éolienne de grande puissance en 1991
sur la digue de Malo les bains : 300 kW



http://wind.chez.com/html/wind_energy.html



Dunkerque : premier grand parc français
9 éoliennes de 300 kW (1996)



II. LE GRAND ÉOLIEN



ÉOLIENNES DU DUNKERQUOIS : MARDYCK (2003)

Cette centrale comprend cinq éoliennes de grande puissance :

2 éoliennes Vestas de 2 MW (80 m de diamètre),

2 éoliennes Nordex de 2,5 MW (80 m de diamètre)

1 éolienne General Electric Wind de 3 MW (104 m de diamètre).

Permet d'assurer la consommation électrique d'une ville de 10000 habitants (pour une conso. de 3000 kWh/foyer)



II. LE GRAND ÉOLIEN

ÉOLIENNES DU DUNKERQUOIS : MARDYCK (2003)



Constructeur	GENERAL ELECTRIC	NORDEX	VESTAS
N° d'éolienne (voir implantation)	E2	E4 et E5	E1 et E3
Pays	Allemagne	Danemark	Danemark
Type	GE 3000	N80	V80
Puissance nominale	3 000 kW	2 500 kW	2 000 kW
Classe de certification	Classe 2	Classe 2	Classe 2
Axe du rotor	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Orientation du rotor	Face au vent	Face au vent	Face au vent
Hauteur du mât	95 m	80 m	80 m
Diamètre du rotor (tripale)	104 m	80 m	80 m
Vitesse de rotation du rotor (tr/mn)	Variable, 7,5 à 13,5	Variable, 10 à 19	Variable, 10 à 19
Vitesse de vent nominale	13 m/s	14 m/s	14 m/s
Vitesse de vent de démarrage	4 m/s	4 m/s	4 m/s
Vitesse de vent maximale*	25 m/s	25 m/s	25 m/s
Contrôle de puissance	Calage variable de pale	Calage variable de pale	Calage variable de pale

Production électrique :

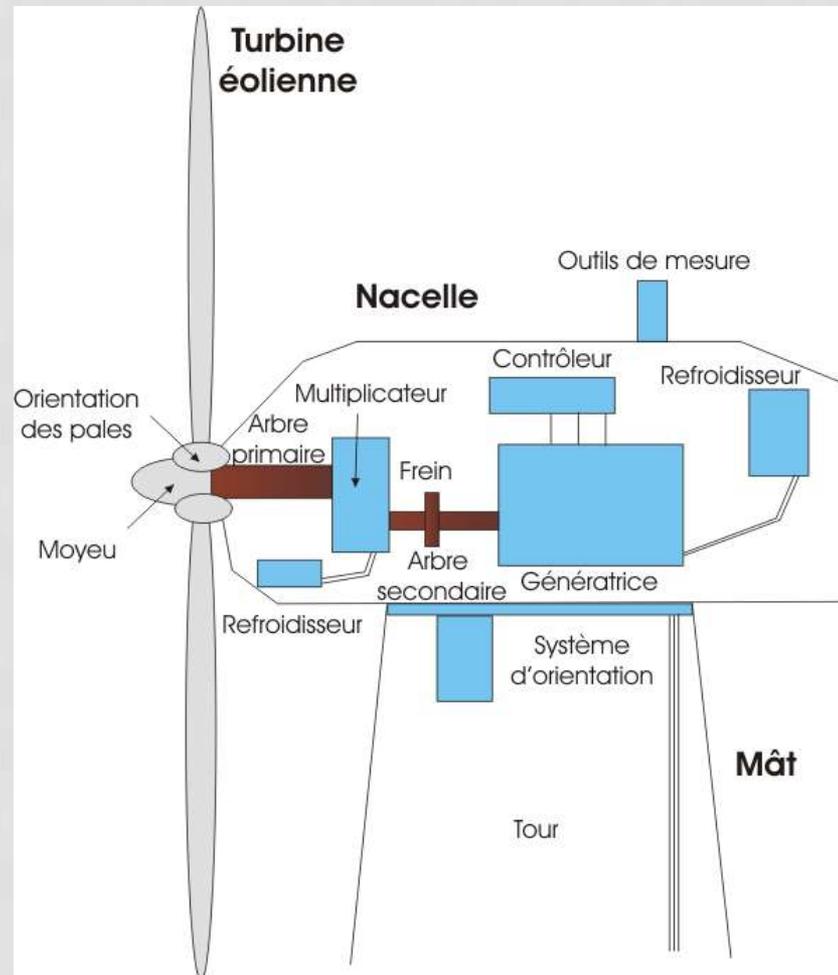
- 29,5 GWh d'électricité en 2008 (soit 2 500 h à P nominale)
- moyenne annuelle de 24,7 GWh de 2005 à 2007.

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE

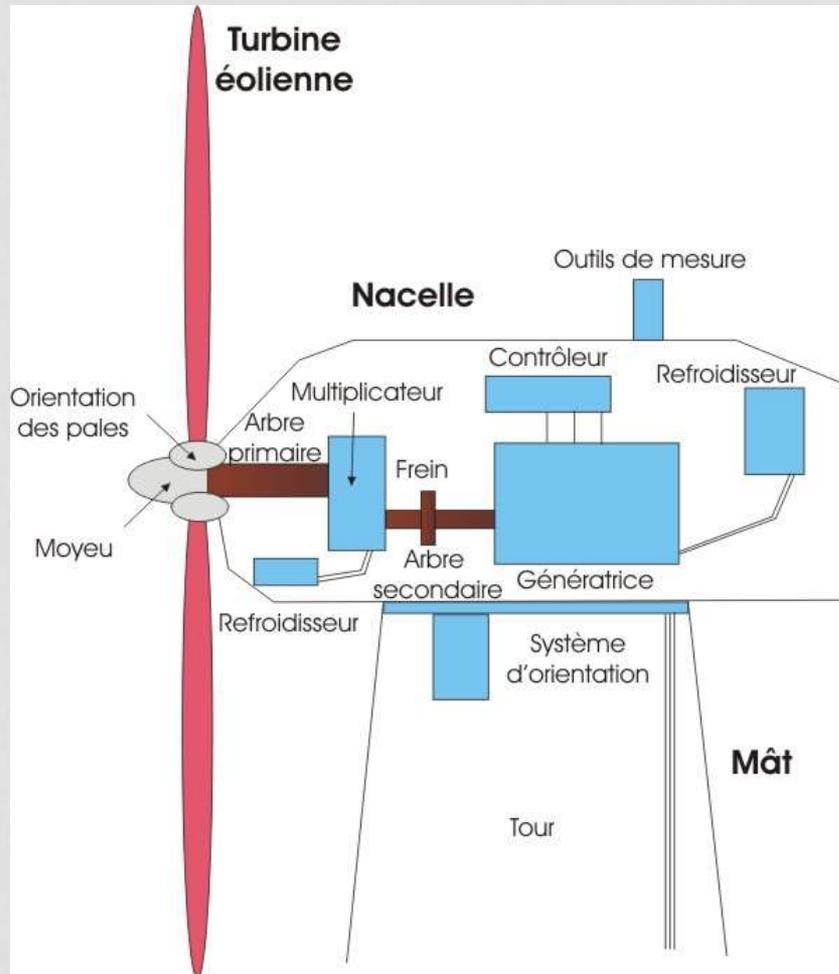
II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Pales : fibre de verre et carbone et matériaux composites

Longueur de 40 à 80 mètres

Masse de 6 à 25 tonnes

Le rotor est constitué de 3 pales montées sur un hub



<http://www.enerzine.com/>

Transport d'une pale par convoi exceptionnel

II. LE GRAND ÉOLIEN

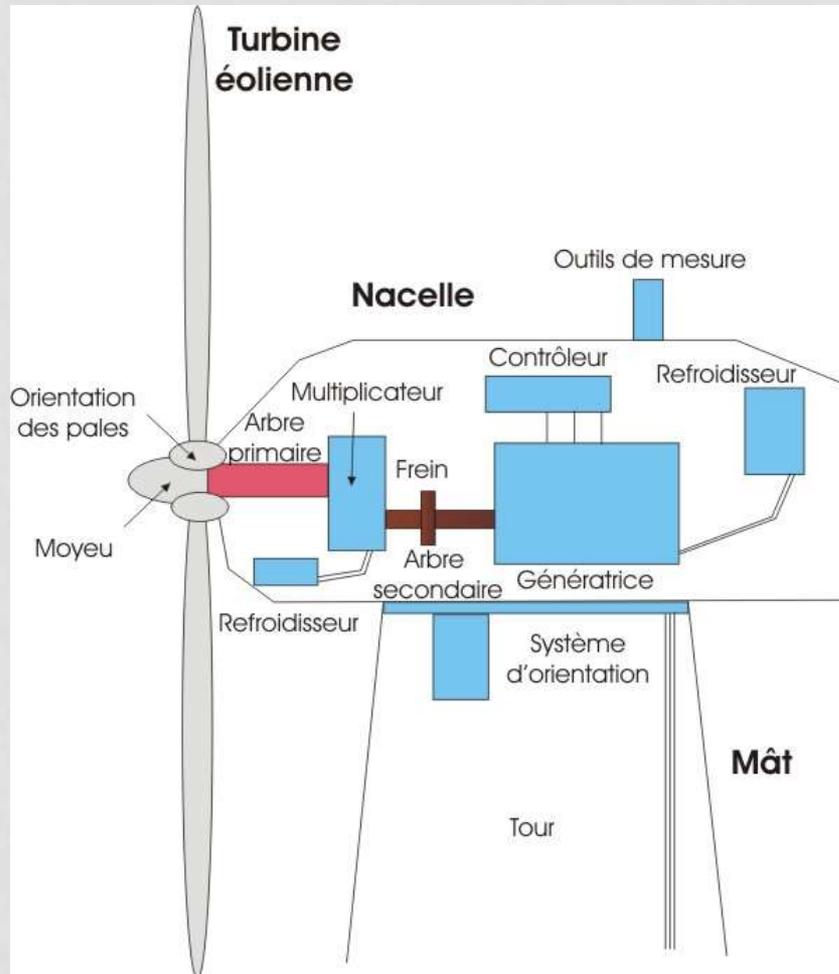
STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Moulage d'une pale d'éolienne Siemens

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Arbre primaire (arbre lent) :

Arbre du rotor de la turbine éolienne.
Vitesse de rotation : 10-25 tr/min

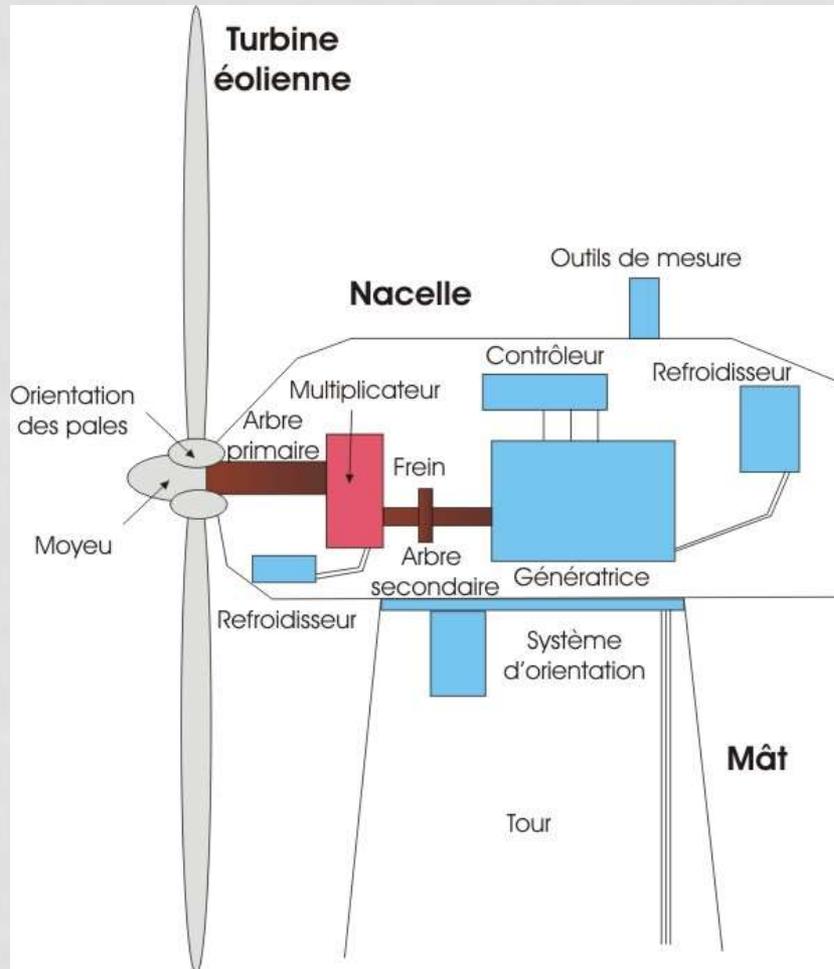
Relié à l'arbre secondaire par
l'intermédiaire du multiplicateur.



Photo : wiki-eolienne

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Le multiplicateur (boîte de vitesse):

Il permet de faire passer la fréquence rotation de 20-40 tr/min à 1500 tr/min à l'aide d'engrenages.



Photo : <http://eolienne.f4jr.org/multiplicateur>



II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE

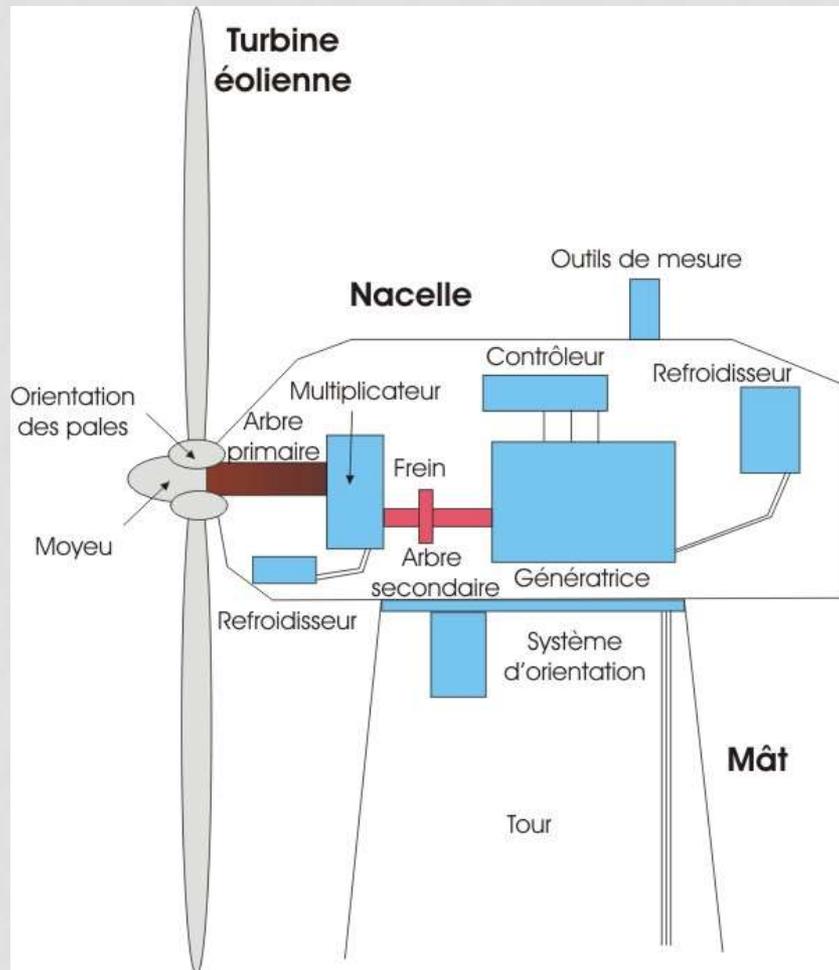


Remplacement de la boîte de vitesse



II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



L'arbre rapide :

Relie le multiplicateur à la génératrice

Equipé d'un frein à disque (arrête la rotation en cas de grand vent)

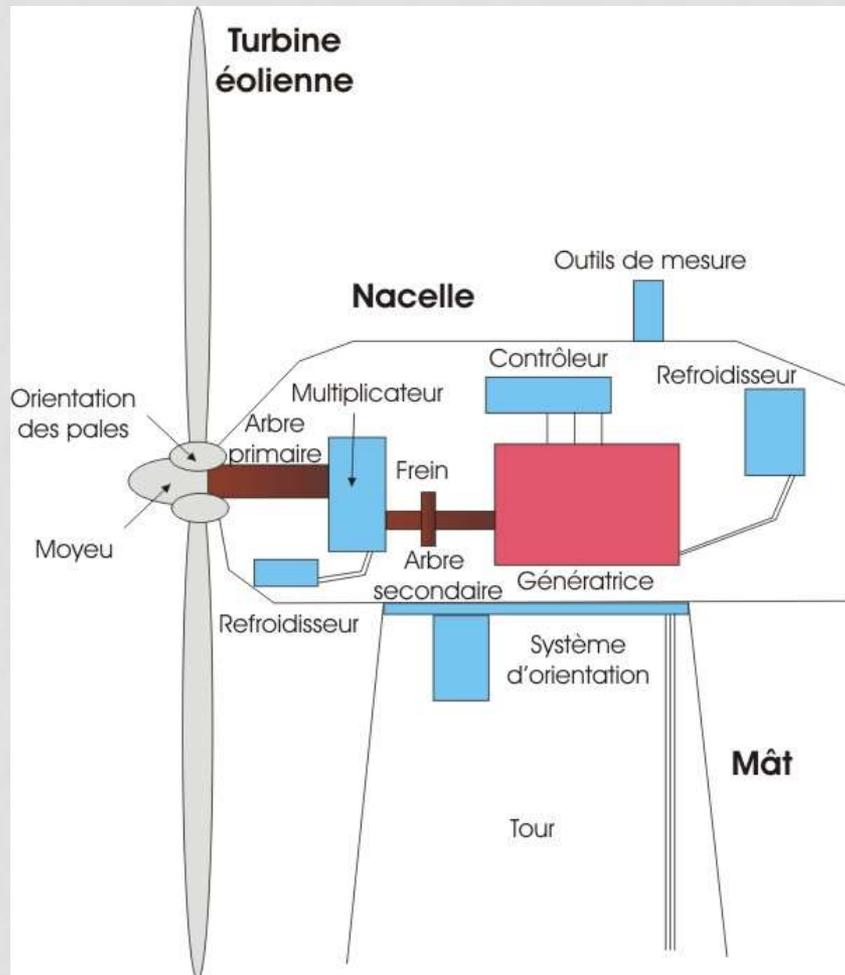


Photo : wiki-eolienne

Vérification du frein à disque
de l'arbre rapide

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



La génératrice : jusque 7,5 MW de puissance
Transforme l'énergie mécanique en énergie électrique

Machine asynchrone (multiplicateur)
Machine synchrone (génératrice annulaire sans multiplicateur : Enercon)



Montage d'une génératrice



Générateur annulaire (Enercon)

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE

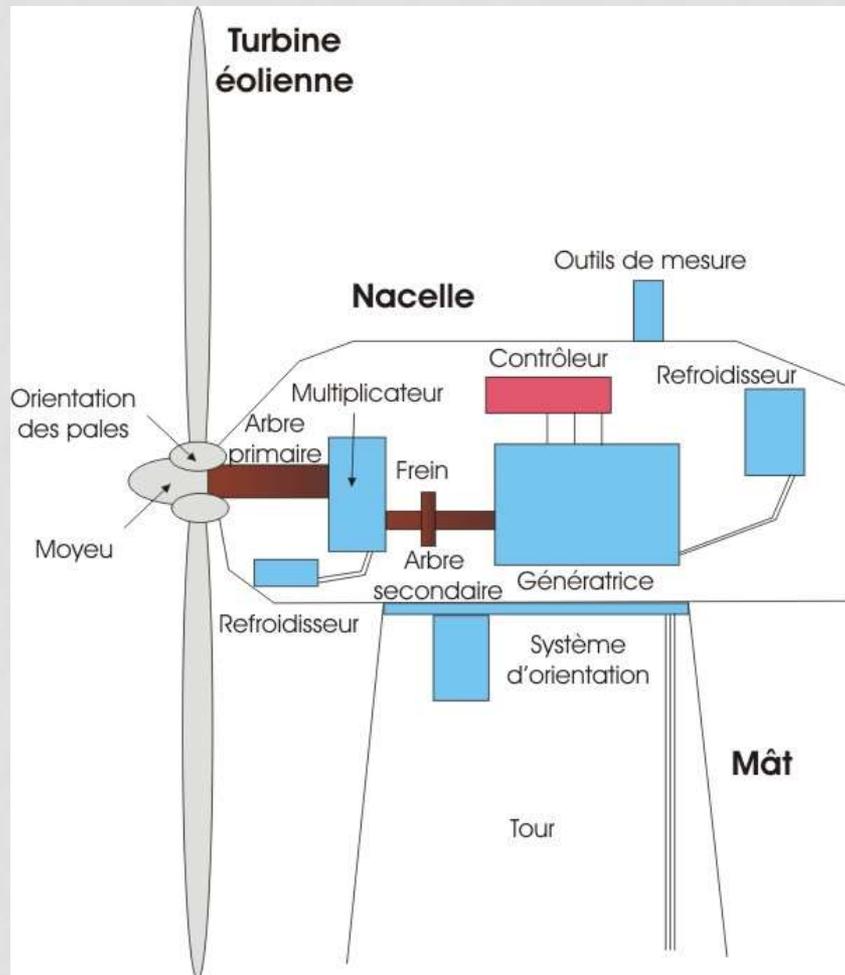


<http://www.windpowerengineering.com/>

Test d'une turbine de 5 MW

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Le contrôleur électronique : cerveau de l'éolienne

Contrôle le fonctionnement général de l'éolienne (100 à 500 paramètres) : démarrage, freinage, orientation des pales et de la nacelle, refroidissement du générateur ...

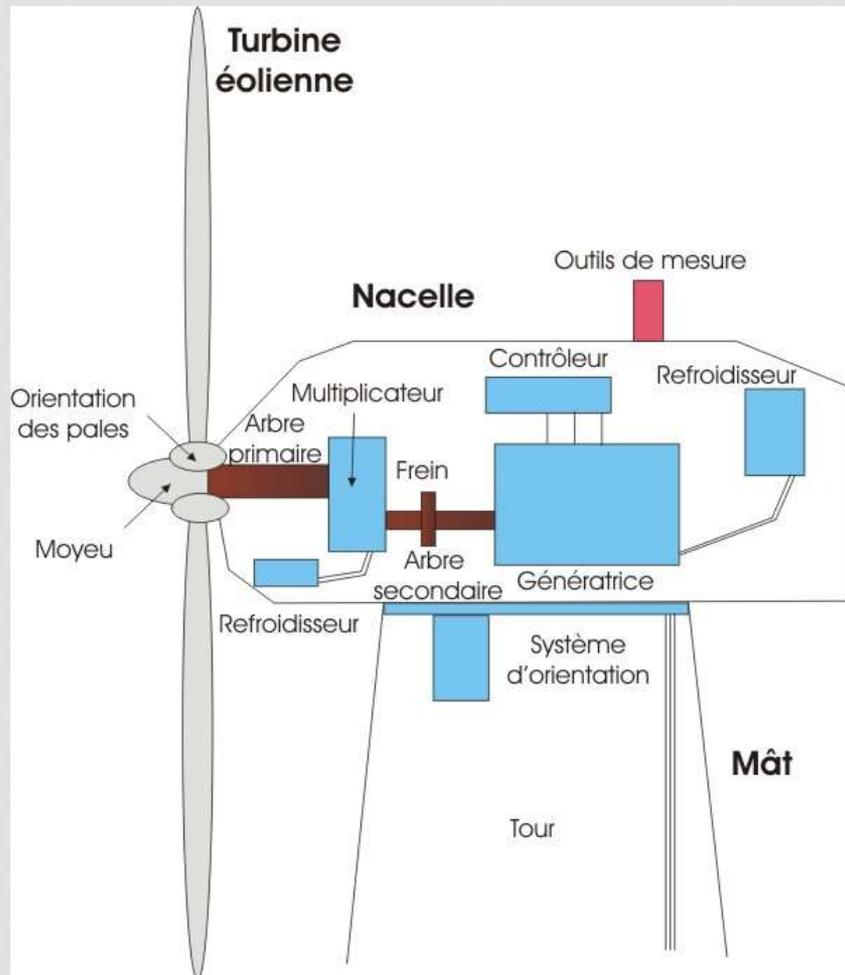
En lien permanent avec le système de mesure (anémomètre, girouette)



Contrôleur Enercon en pied de mât

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Les outils de mesure :

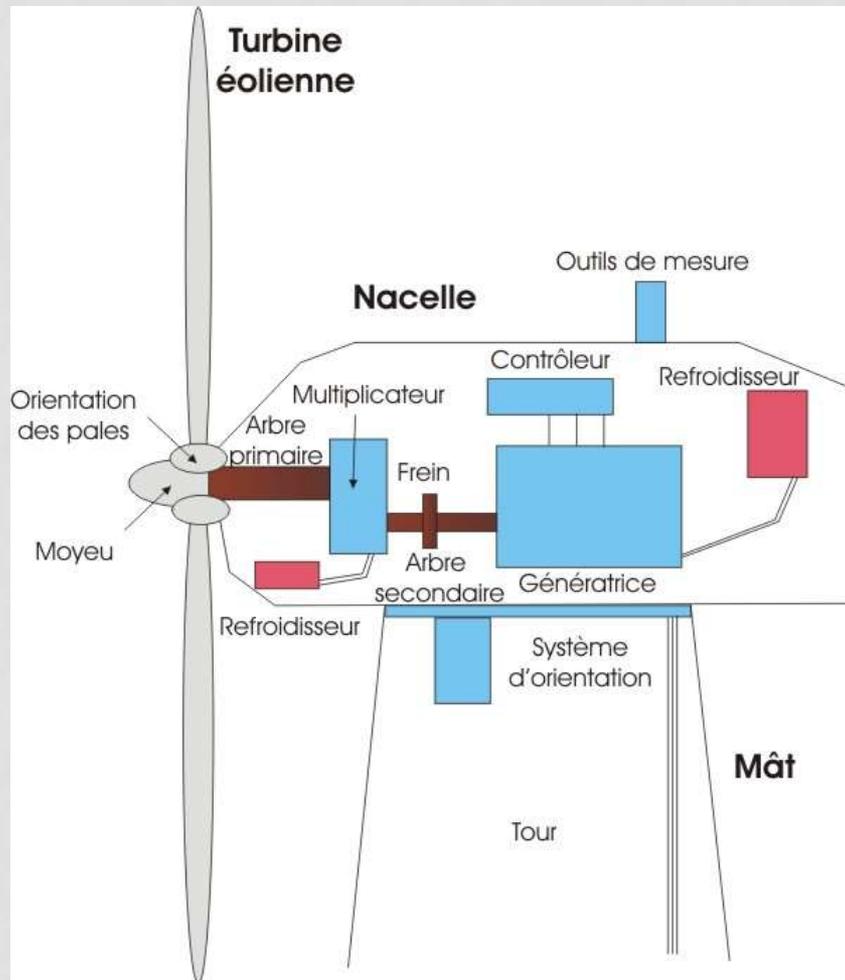
- Anémomètre (vitesse du vent)
- Girouette (direction du vent)

En lien permanent avec le système de contrôle commande



II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE

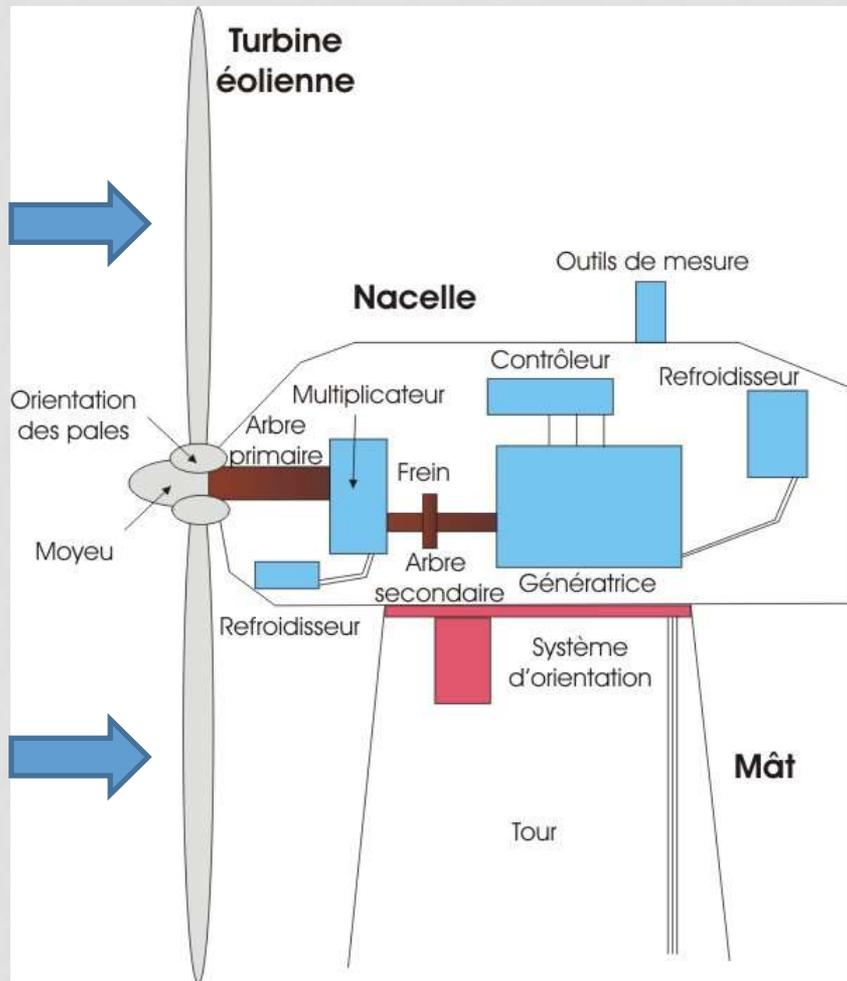


Refroidissement :

- Génératrice
- Multiplicateur
- Ventilateurs
- Radiateurs à eau et à huile

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Le système d'orientation :

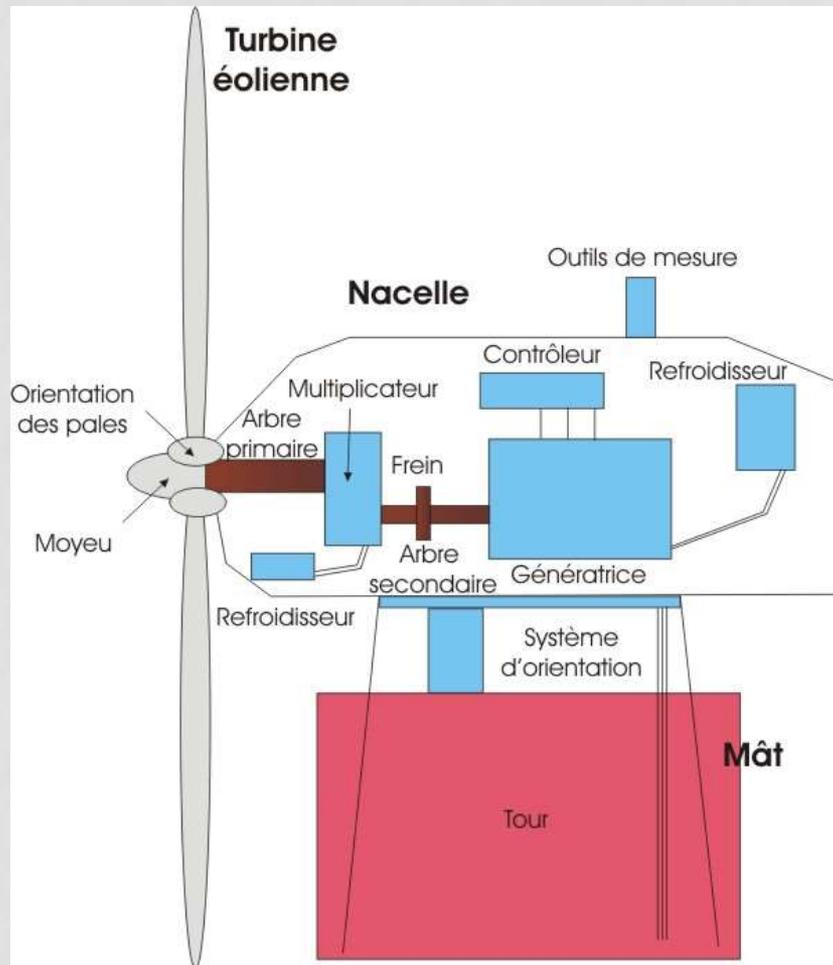
Des moteurs électriques font pivoter la nacelle (roue dentée ou crémaillère)

Le rotor est placé face au vent



II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Le mât (ou tour) : 40 à 100 m

Tubulaire en acier.

Permet l'accès à la nacelle (échelle ou ascenseur)



Ascenseur d'éolienne Vestas



II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Armoire de commande

Transformateur

<http://fee.asso.fr/>

Intérieur d'un mât d'éolienne

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Ordre de grandeur de la masse des différents éléments constitutifs

<http://www.fondasolutions.com/>



Fondation : 3000 tonnes
(Diam : 20 m, prof : 3,5 m)



Mât acier : 100 tonnes - Mât béton : 250 tonnes



Nacelle : 300 à 500 tonnes



Pale : 6 à 25 tonnes

II. LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



<http://olehembre.free.fr/>



Voyage au cœur d'une éolienne

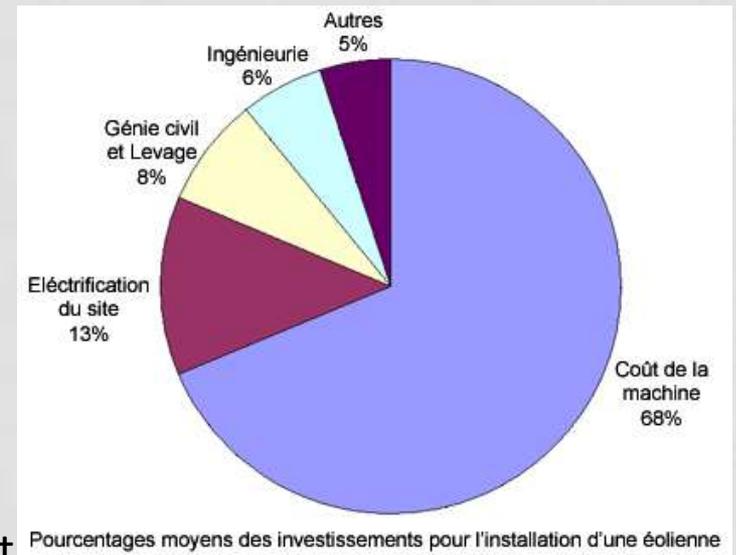
II. LE GRAND ÉOLIEN

COMBIEN ÇA COÛTE ?



Eoliennes (P > 600 kW)	760 à 920 € / kW
Génie civil + divers	70 à 110 € / kW
Raccordement	70 à 120 € / kW
Total	900 à 1 150 € / kW

Une ferme de 10 MW coûtera environ 13 M€ (3X plus en offshore). Elle produira 20 à 25 GWh/an soit la consommation électrique de 8 à 10 000 foyers (à 2500 kWh/an)



II. LE GRAND ÉOLIEN

BIEN CHOISIR LE SITE



Importance du vent : $P = \frac{1}{2} \rho S v^3$

- Mesures sur une période de 6 mois à 1 an
- Etude à 50 m du sol
- Vent moyen minimal requis : 6 m/s

Grandeur du terrain

- Circulation des convois exceptionnels
- Distance entre éoliennes importantes : 200 à 400 m

Importance des obstacles

- Bâtiments
- Arbres

Contraintes environnementales

- Passage d'oiseaux protégés
- Monuments historiques
- Acceptabilité de la population

II. LE GRAND ÉOLIEN

PUISSANCE DU VENT ET PUISSANCE D'UNE ÉOLIENNE

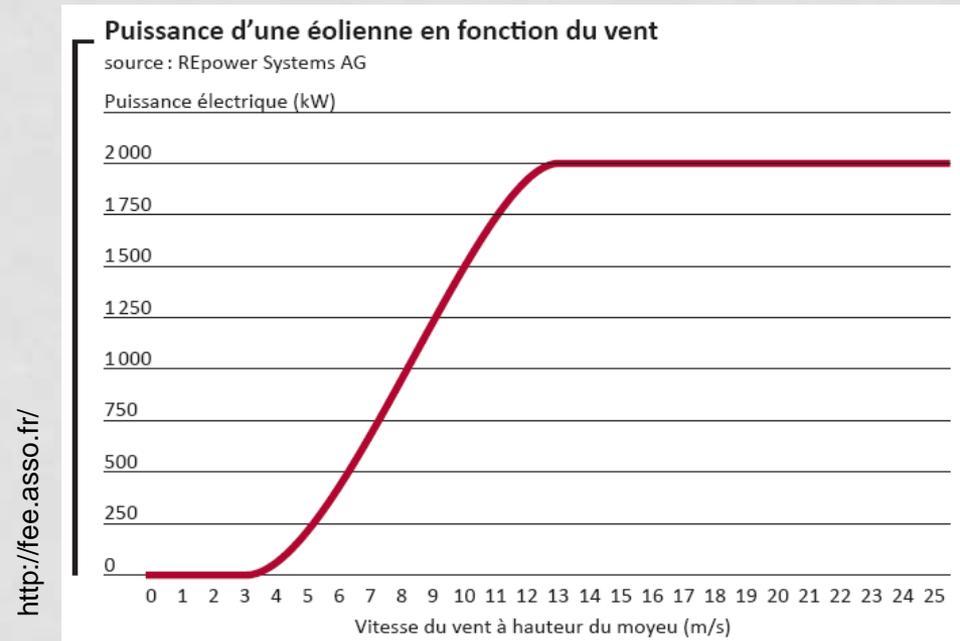


Pour rappel : $P_{vent} = \frac{1}{2} \rho S v^3$

La puissance en sortie de génératrice s'écrit :

$$P_{géné} = \frac{1}{2} \rho S v^3 C_p$$

où C_p est le coefficient de performance (0,4 pour les éoliennes actuelles)



La puissance dépend de la vitesse du vent au cube
Puissance nominale atteinte à 45 km/h (12 m/s) pour
l'exemple ci-dessus
Vitesse de démarrage : 4 m/s

II. LE GRAND ÉOLIEN

A PROPOS DU COEFFICIENT DE PUISSANCE C_p



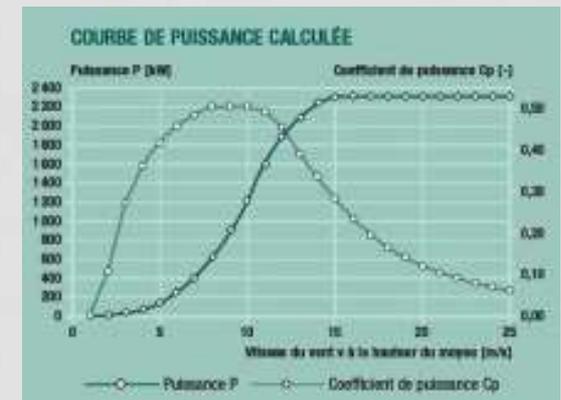
Limite de Betz : puissance maximale théorique récupérable

$$P_{max} = 16/27 P_{vent} = 0,59 P_{vent} = 0,59 (\frac{1}{2} \rho S v^3)$$

Pertes :

- Multiplicateur – réducteur
- Génératrice
- Transformateur
- Redresseur
- Batteries
- Lignes

$C_p = 0,4$ à $0,5$ maxi
(dépend de la
vitesse du vent)



Exemple d'une courbe de C_p en fonction de la vitesse du vent (Enercon E83)₄₅

II. LE GRAND ÉOLIEN

COMBIEN ÇA PRODUIT ?



- Une éolienne ne produit pas 24h/24 et 365 jours par an comme pourrait (presque) le faire une centrale classique (nucléaire ou thermique) mais uniquement lorsque le vent est suffisant.
- Généralement, la durée de fonctionnement est de 2 à 3000 heures à puissance nominale (on parle d'heures équivalent pleine puissance)
- Taux de charge $T_C = \frac{\text{Energie annuelle produite}}{8760 \times \text{puissance nominale}}$
- $T_C = 20 \%$ (onshore) à 30% (offshore)

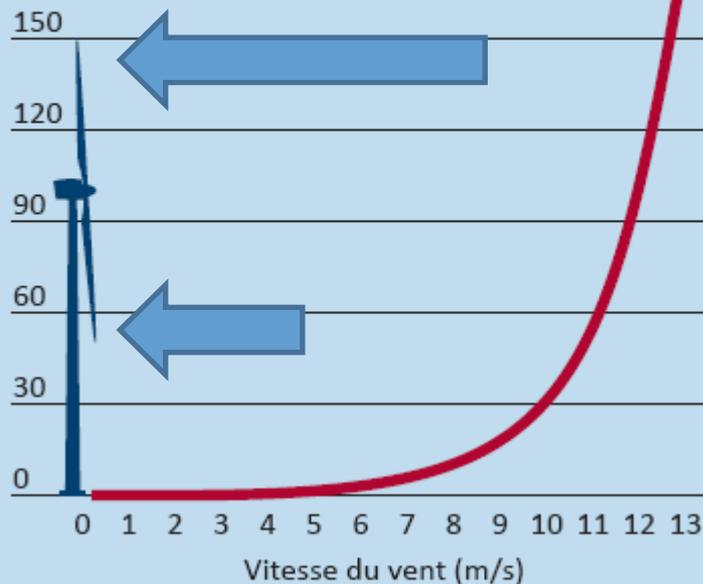
II. LE GRAND ÉOLIEN

POURQUOI TROIS PALES ?



Vitesse du vent en fonction de l'altitude
source : SER-FEE

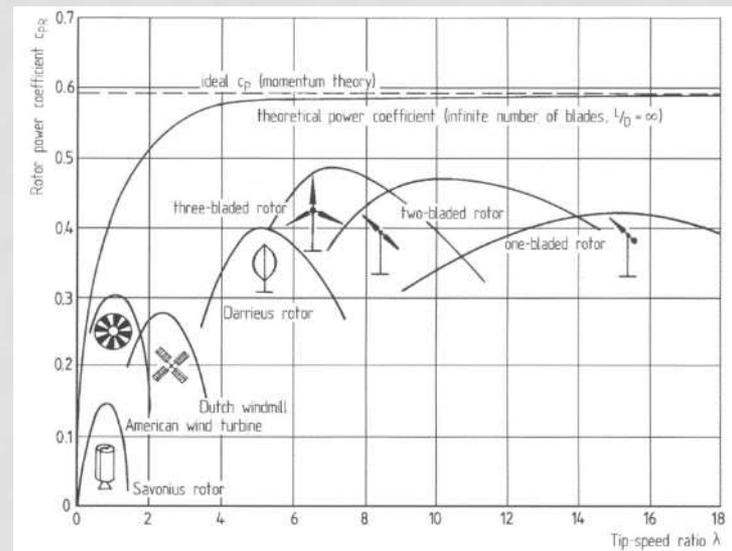
Hauteur (m)



<http://fee.asso.fr/>

Contraintes plus élevées en haut qu'en bas du rotor.

Meilleure répartition des contraintes avec trois pales que les mono ou bipales



II. LE GRAND ÉOLIEN

LES ÉOLIENNES « OFFSHORE »

II. LE GRAND ÉOLIEN

LES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE



Le plus grand parc offshore du monde actuellement :

- Parc de London Array (RU) : 175 éoliennes de 3,6 MW (Siemens)



Photo : dunkerque news avril mai juin 2010



2010 : Dunkerque est choisi par Vestas comme site d'assemblage d'éoliennes prémontées pour le plus grand parc offshore du monde : Thanet au RU



II. LE GRAND ÉOLIEN

LES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE

Leader mondial de l'éolien offshore : Royaume-Uni (4,5 GW en 2014 soit 51% de la puissance mondiale)*

Les trois premiers parcs offshore anglais :

- London Array : 630 MW (175 turbines Siemens de 3,6 MW)
- Greater Gabbard : 500 MW (140 turbines Siemens de 3,6 MW)
- Walnet : 367 MW (102 turbines Siemens de 3,6 MW)

Autres parcs européens :

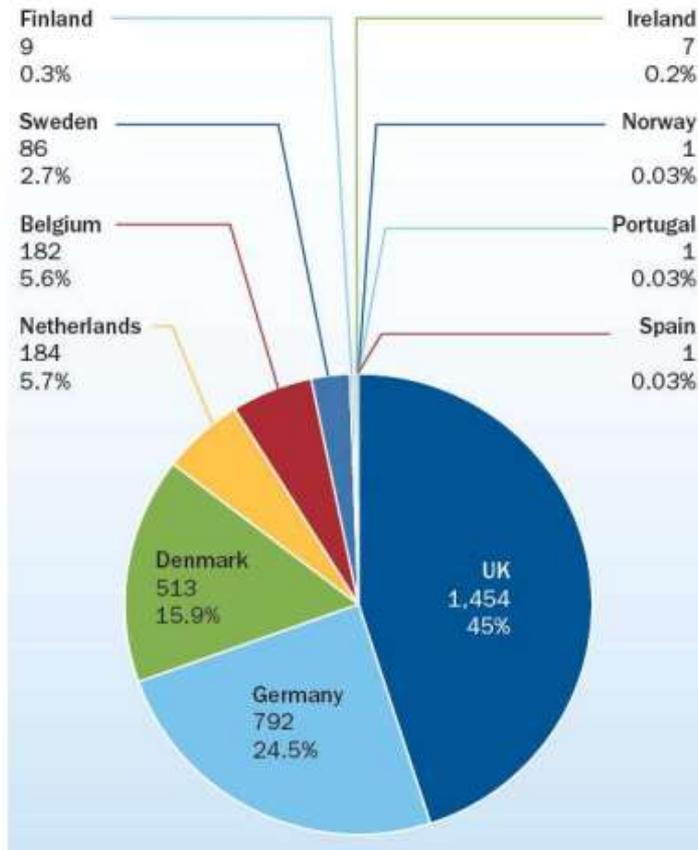
- Anholt(Danemark) : 400 MW (111 turbines Siemens 3,6 MW)
- Thornton bank 1+2 (Belgique) : 325 MW (6 Repower de 5 MW + 48 Repower de 6,15 MW)
- Princess Amalia (Pays-Bas) : 12008 MW (60 Vestas de 2 MW)
- MWLillgrund (Suède) : 110 MW (48 turbines Siemens de 2,3 MW)
- BARD 1 (Allemagne) : 400 MW (80 turbines BARD de 5 MW)

II. LE GRAND ÉOLIEN

LES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE



**Capacités mondiales installées cumulées
éoliennes en mer à fin 2015 : 11,03 GW**



Source : EWEA 2016

II. LE GRAND ÉOLIEN

LES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE



<http://www.sunwindenergy.com/>



London Array (630 MW)

<http://www.energy.siemens.com>



Horns Rev II : 209 MW



<http://www.eewspc.com>



Bligh Bank (Zeebrugge) : 165 MW

<http://www.publicservice.co.uk>



Egmond aan Zee : 108 MW

II. LE GRAND ÉOLIEN

LES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE



lavoixdunord.fr



Fondations tripiles
(acier : GTS Dunkerque)

<http://www.maxisciences.com>



Installation d'une fondation

<http://www.actu-environnement.com/>



Projets d'éoliennes flottantes

<http://www.enerzine.com>



Transport des mâts et turbines

II. LE GRAND ÉOLIEN

LES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE



<http://www.mer-veille.com/>



<http://www.mer-veille.com/>



<http://www.dongenergy.com/>



<http://www.enerzine.com/>



II. LE GRAND ÉOLIEN

LES PARCS ÉOLIENS OFFSHORE



Les projets pour la France

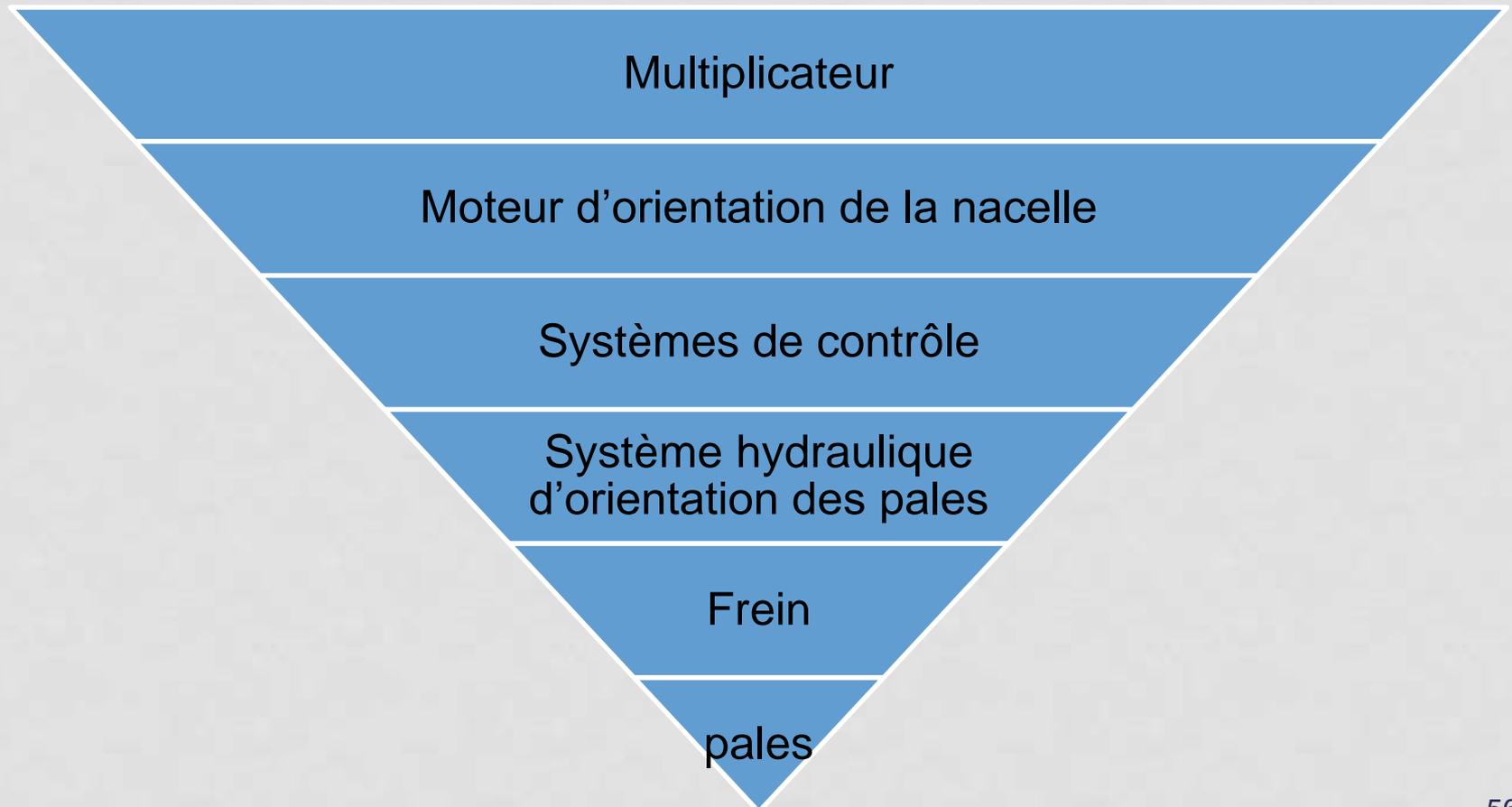


II. LE GRAND ÉOLIEN

EXPLOITATION ET MAINTENANCE



Les avaries

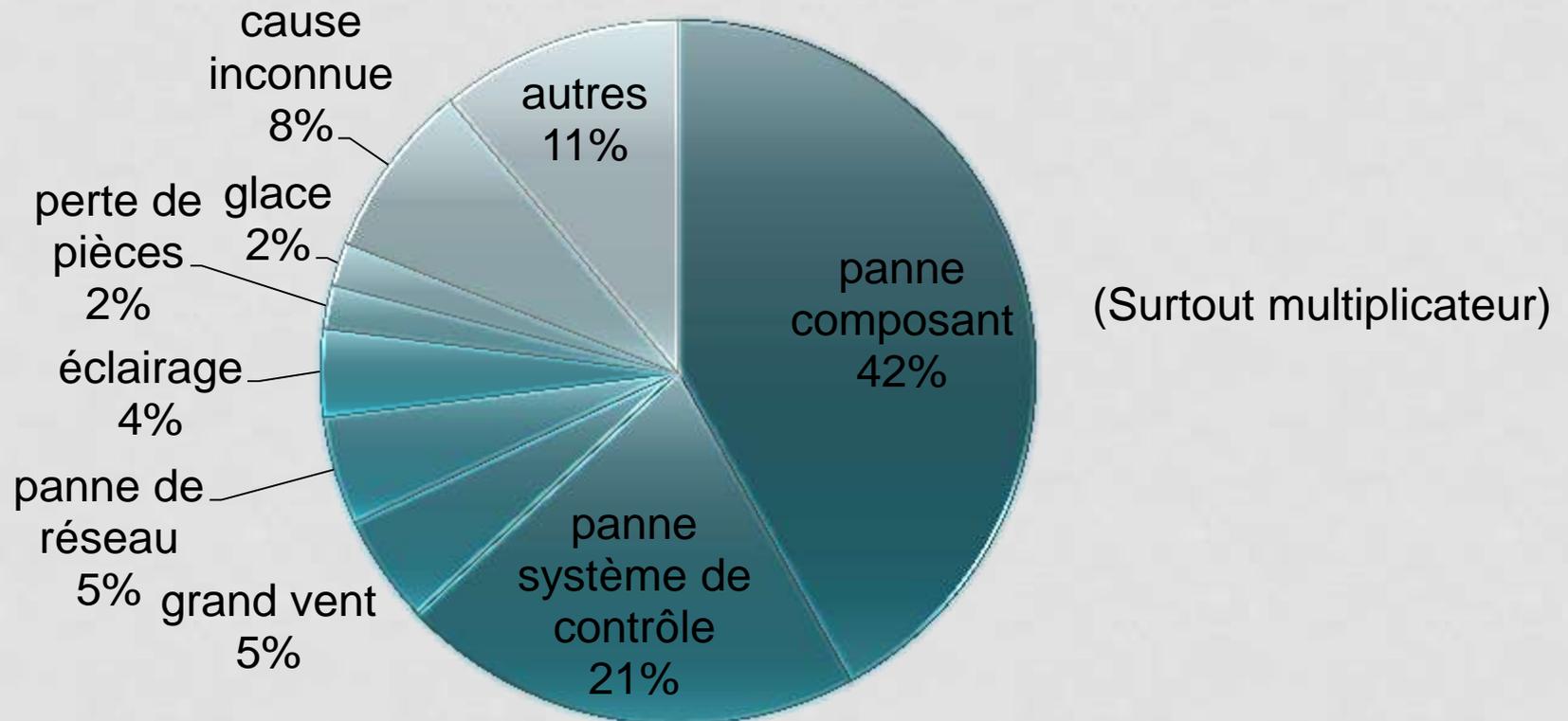


II. LE GRAND ÉOLIEN

EXPLOITATION ET MAINTENANCE



Origine des avaries



II. LE GRAND ÉOLIEN

EXPLOITATION ET MAINTENANCE*



Quelle maintenance ?

- Contrôle continu après mise en service
- Condition Monitoring System : (analyse vibratoire)
- Endoscopie : connaissance immédiate et mémorisable de l'état du matériel (GMAO)

Planification de la maintenance

- Changement d'huile
- Remplacement de pièces
- Révision
- Opérations de contrôle
- Nettoyage des pales

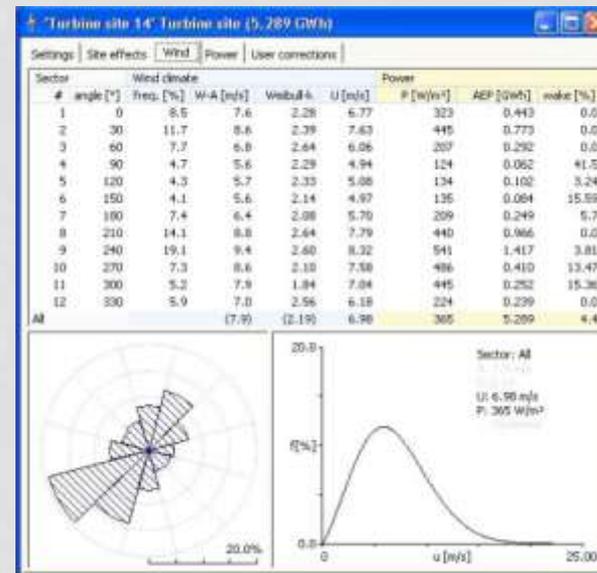
III. ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE D'UN SITE

III. ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE D'UN SITE CAMPAGNE DE MESURE

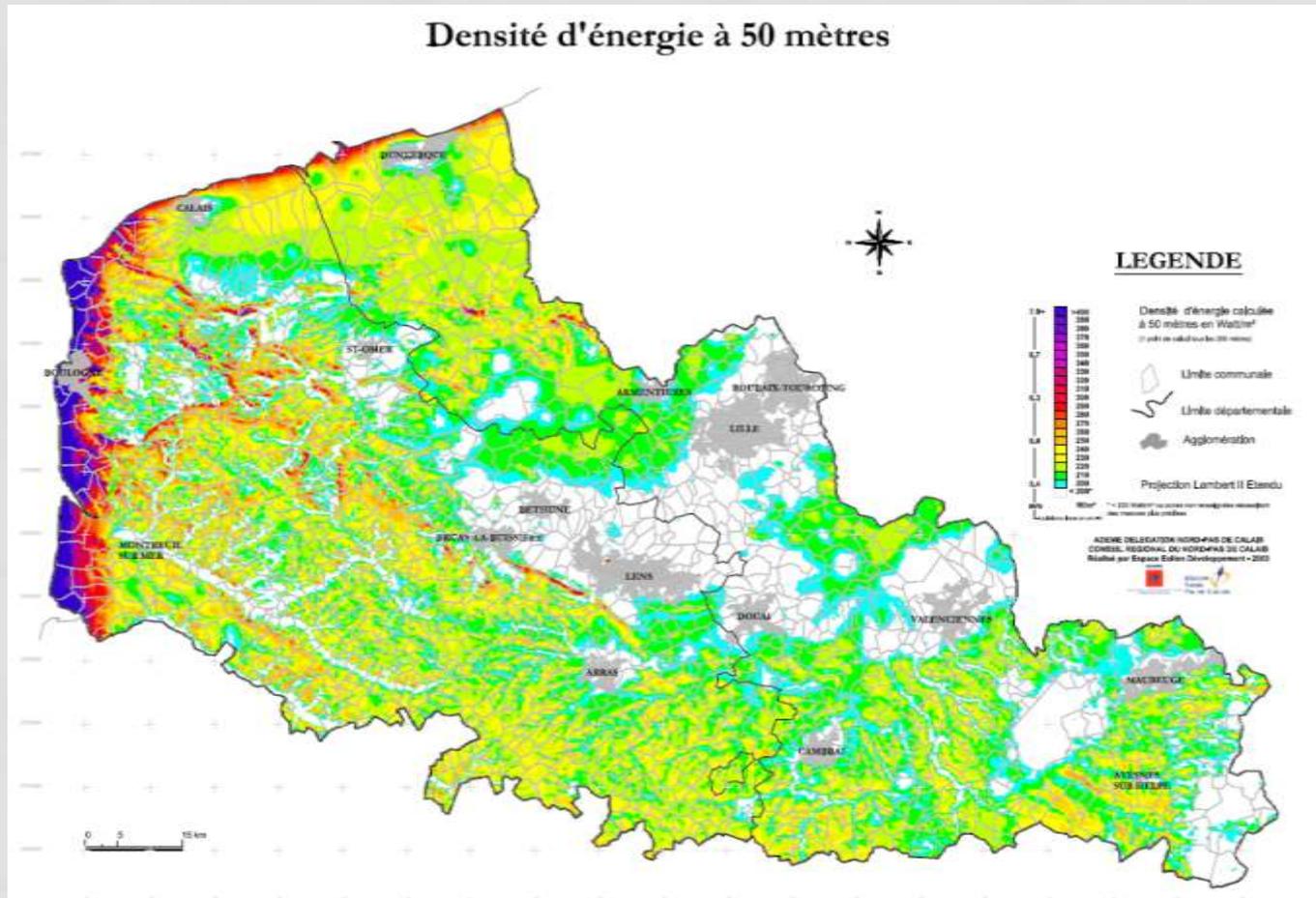


Campagne de mesure sur 6 mois à 1 an

- Vitesse moyenne des vents
- Rose des vents locale
- Évaluation des turbulences
- Distribution de Weibull



III. ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE D'UN SITE UTILISATION DES CARTES ET DONNÉES EXISTANTES



III. ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE D'UN SITE UTILISATION DES CARTES ET DONNÉES EXISTANTES



Station météorologique	Vm en m/s
Ambleteuse 10 mètres	5,30
Berck-sur-Mer 40 mètres	5,29
Boulogne-sur-Mer 10 mètres	5,77
Calais 10 mètres	5,05
Carnot 40 mètres	5,74
Coquelles 40 mètres	5,92
Cormont 40 mètres	6,78
Cormont 10 mètres	5,20
Coupelle-Vieille 10 mètres	4,82
Dunkerque 10 mètres	6,03
Eurotunnel 40 mètres	6,46
Fauquembergues 40 mètres	7,51
Fiennes 40 mètres	7,41
Ghyvelde 40 mètres	6,80
Gravelines 60 mètres	7,62
Le Touquet 10 mètres	4,62
Lesquin 10 mètres	4,37
Radinghem 10 mètres	4,32
Reclinghem 10 mètres	5,84
Reclinghem 40 mètres	6,89
Renty 10 mètres	5,18
Renty 40 mètres	6,50
Widehem 10 mètres	5,50

*Vitesse moyenne du vent pour différents sites du NPDC
Sources : Météo-France et Espace Eolien Développement*

III. ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE D'UN SITE

CALCUL DU VENT MOYEN À UNE HAUTEUR DONNÉE



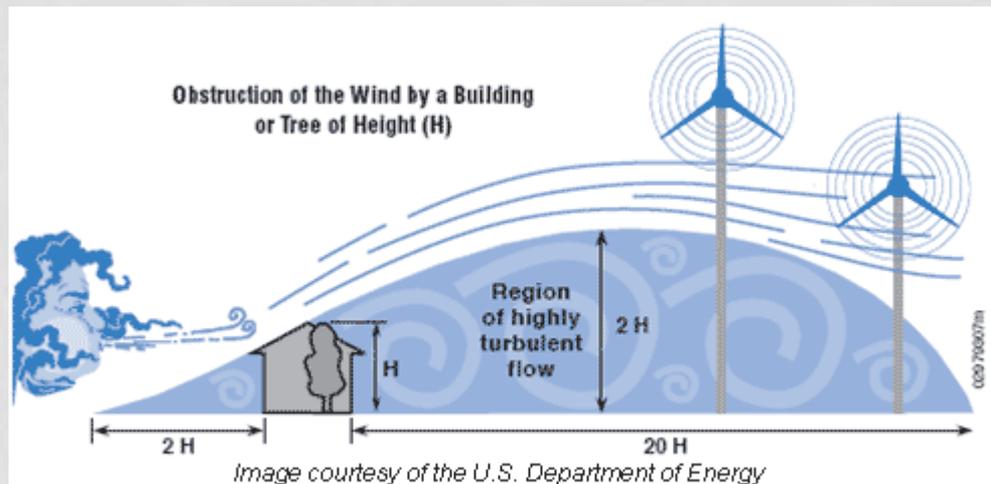
$$v = v_0 \left[\frac{H}{H_0} \right]^\alpha$$

V : vitesse du vent à la hauteur H à laquelle sera implantée l'éolienne

H_0 : Hauteur pour laquelle la vitesse du vent est connue

V_0 : vitesse du vent à la hauteur H_0

α : coefficient de gradient vertical de la vitesse du vent



III. ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE D'UN SITE

CALCUL DU VENT MOYEN À UNE HAUTEUR DONNÉE



Topographie du lieu	Coefficient α
Glace	0,07
Neige sur sol plat	0,09
Mer calme	0,09
Littoral avec brise de mer	0,11
Herbe coupée	0,14
Prairie à herbe courte	0,16
Cultures, prairie à herbe haute	0,19
Haies	0,21
Arbres et haies épars	0,24
Arbres, haies, quelques bâtiments	0,29
Banlieues	0,31
Bois	0,43

Exemple : Calais à 10 m
 $v_0 = 5,05$ m/s

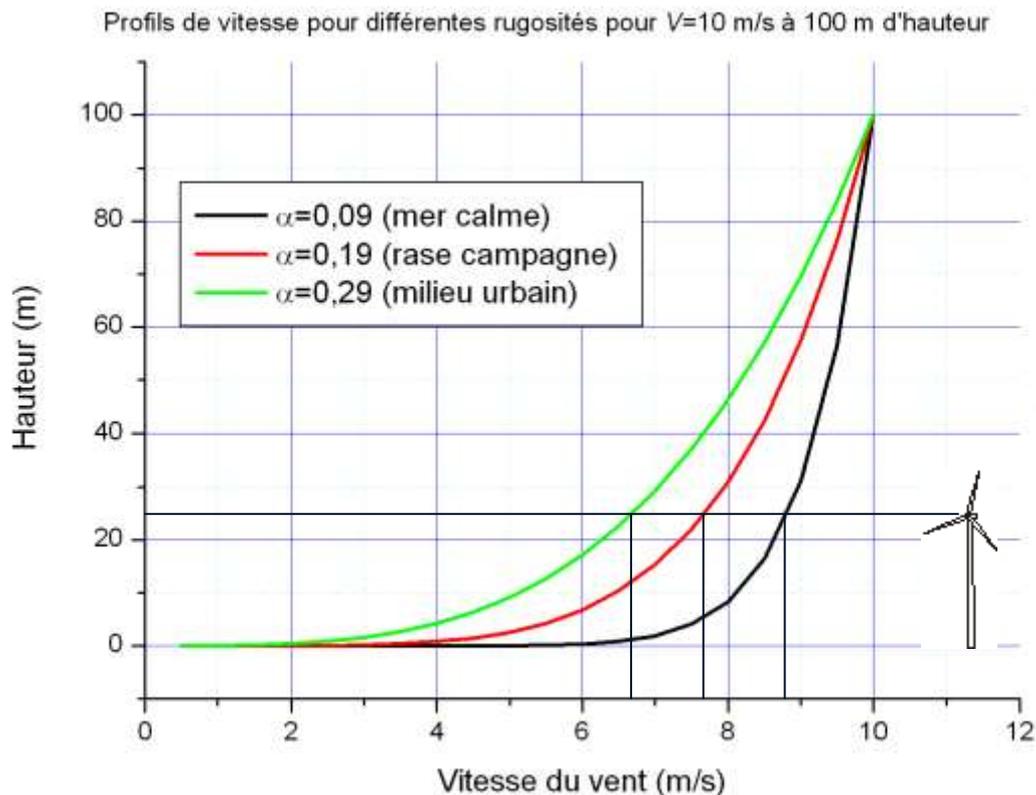
A 24 m d'hauteur avec des haies

$$v_{24m} = 5,05 \left[\frac{24}{10} \right]^{0,21} = 6,07 \text{ m/s}$$

Valeurs du coefficient de gradient vertical de la vitesse du vent en fonction de la topographie (source : wind power)

III. ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE D'UN SITE

CALCUL DU VENT MOYEN À UNE HAUTEUR DONNÉE



α	V (m/s)
0,09	8,8
0,19	7,8
0,29	6,7

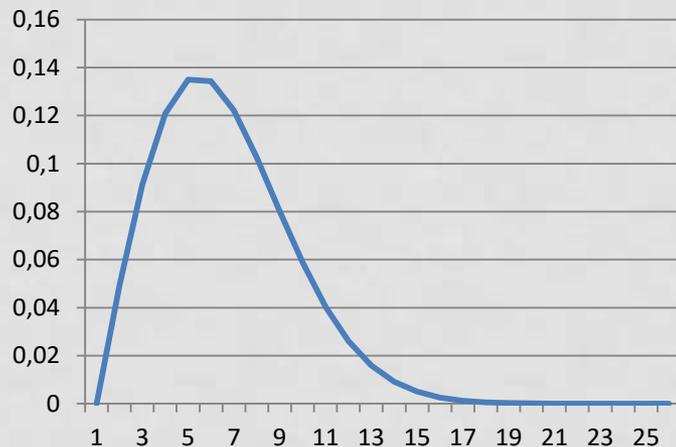
Vitesse du vent à 24 m

III. ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE D'UN SITE

DISTRIBUTION DES VENTS : COURBE DE WEIBULL



Distribution de Weibull : courbe de densité de probabilité d'occurrence d'une vitesse du vent



Exemple de distribution :
 $k=2$
 $A=6,29$ m/s

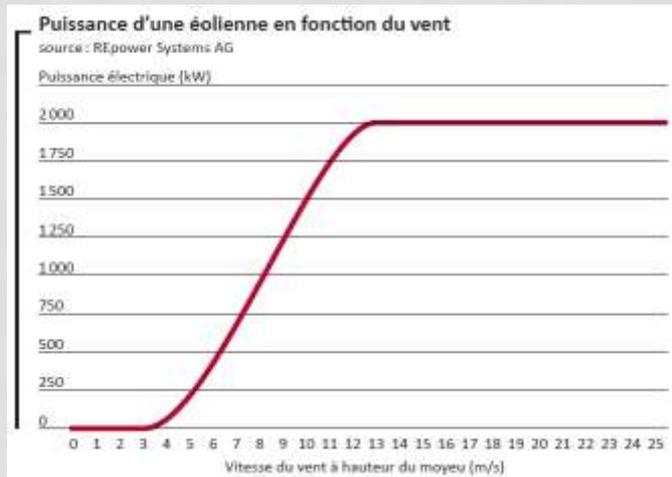
$$\frac{df(v)}{dv} = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{A}\right)^k\right]$$

A : Coefficient constant appelé facteur d'échelle (ce facteur est égal en première approximation à la vitesse moyenne du vent sur le site considéré)

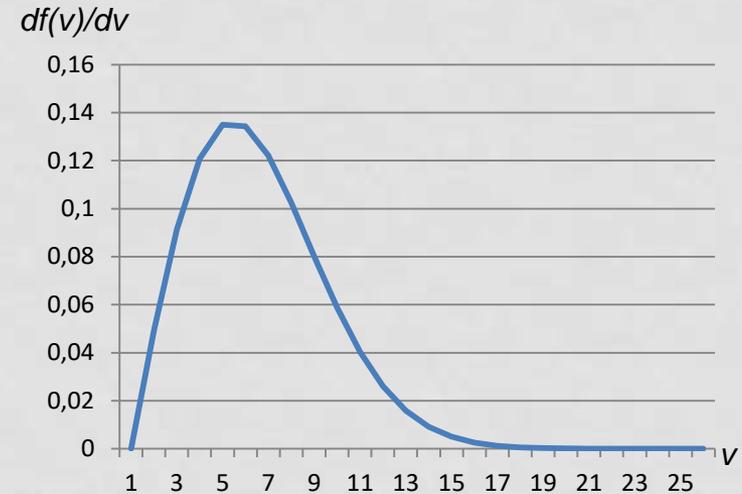
k : Coefficient constant appelé facteur de forme. On prend généralement, $k=2$ (norme CEI) : c'est la courbe de Rayleigh (voir ci-contre)
 v : vitesse du vent

III. ÉVALUATION DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE D'UN SITE

ESTIMATION DE L'ÉNERGIE PRODUITE



+



La combinaison de ces deux courbes permettra d'évaluer le potentiel énergétique W d'un site

$$W = 8760 \int_{\text{limite basse}}^{\text{limite haute}} \frac{df(v)}{dv} P(v) dv$$

IV. LE PETIT ÉOLIEN

IV. PETIT ÉOLIEN



Documents à lire :

<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-petit-eolien-201502.pdf>

<http://www.sepen.fr/>





IV. PETIT ÉOLIEN

QU'ENTEND T-ON PAR PETIT ÉOLIEN ?

Quelles éoliennes sont concernées ?

- Puissance < 36 kW (9 à 10 m de diamètre)

Quels usages ?

- Autoconsommation (sans stockage)
- Sites isolés (avec stockage)

Combien de petites éoliennes en France

- Environ 3000 d'après le SEPEN

Combien ça coûte ?

- Environ 10 k€/kW pour les petites machines ($P < 36$ kW)
- Environ 4 k€/kW pour les machines de 10 à 50 kW

IV. PETIT ÉOLIEN

LE COÛT



Le prix d'une installation éolienne dépend :

- De la taille de l'éolienne (5 à 30 000 € pour $P < 3$ kW*)
- De la taille du mât
- Des fondations
- De la longueur de tranchée (raccordement électrique)

* : prix pouvant aller jusqu'à 90 000 € pour les exploitants agricoles ou des petites entreprises. Éoliennes jusqu'à 36 kW



IV. PETIT ÉOLIEN

LA RÉGLEMENTATION ET LES SUBVENTIONS

Quelques aspects de la réglementation

- Interdiction en zone protégée, classée ou militaire ou selon PLU
- Permis de construire obligatoire si $h > 12$ m
- Déclaration de travaux si $h < 12$ m
- Enquête de voisinage pas obligatoire mais très conseillée

Subventions

- Crédit d'impôt de 30% en 2015 (sur matériel à hauteur de 8000 € par personne et pour logement > 2 ans)
- Possibilité de revendre le surplus de production hors ZDE à des fournisseurs d'électricité verte (Enercoop, Direct Energie (Weole)) ~ 8c€/kWh

IV. PETIT ÉOLIEN

L'ÉOLIENNE DE GTE



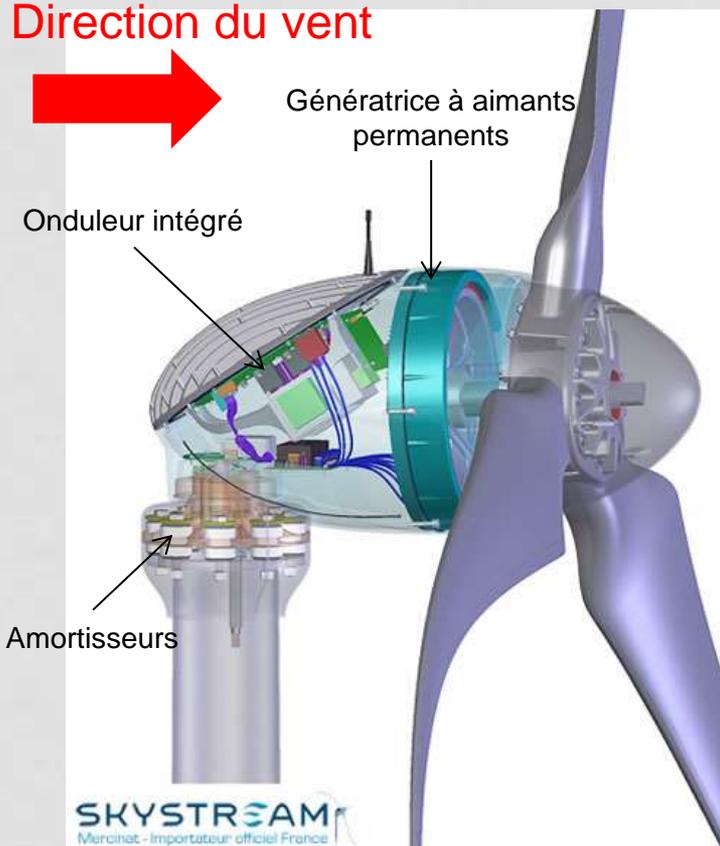
SKYSTREAM 3.7 installée le 10 janvier 2012 par la
société Capvent (Ambricourt 62)
Coût : 20 500 € TTC (dont 10 100 € TTC pour l'éolienne)

IV. PETIT ÉOLIEN

L'ÉOLIENNE DE GTE



Direction du vent



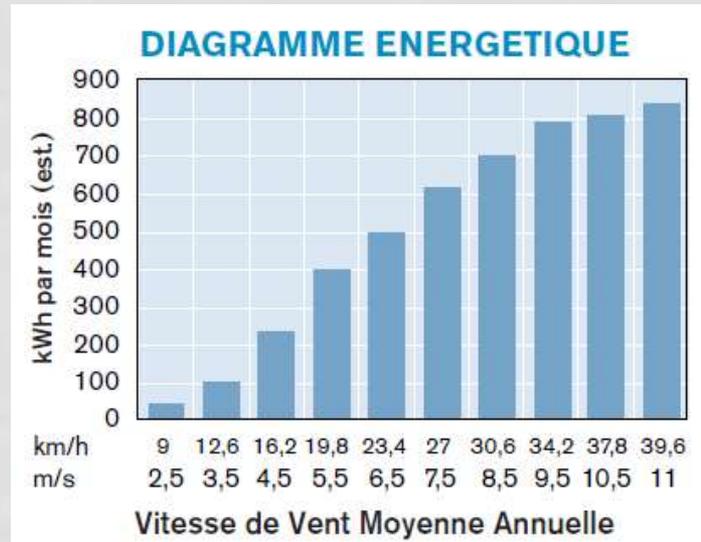
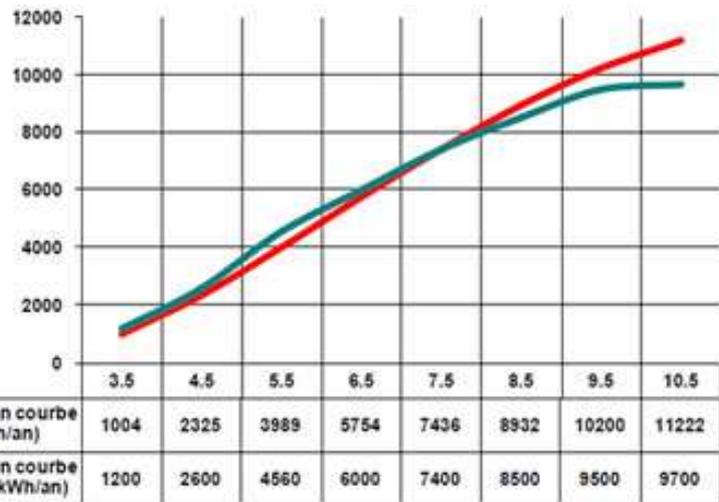
Données numériques de la Skystream

Capacité nominale	2400 Watts
Poids	77 kg
Diamètre du rotor	3,72 m
Surface balayée	10,87 m ²
Pales	3 pièces (fibre de verre renforcé)
Vitesse nominale	50 à 330 tours/min
Vitesse de mise à l'arrêt	370 tours/min
Vitesse périphérique	9,7 à 63 m/s
Alimentation du réseau	230 Volt, 50 Hz, 1 phase
Vitesse de vent minimale pour le démarrage	3,5 m/s
Vitesse de vent nominale	13 m/s
Vitesse du vent maximale	63 m/s
Niveau sonore	84,9 dBA à 28,8 km/h

Pas de safran : rotor à l'aval du mât

IV. PETIT ÉOLIEN

L'ÉOLIENNE DE GTE



A quelle production s'attendre ?

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



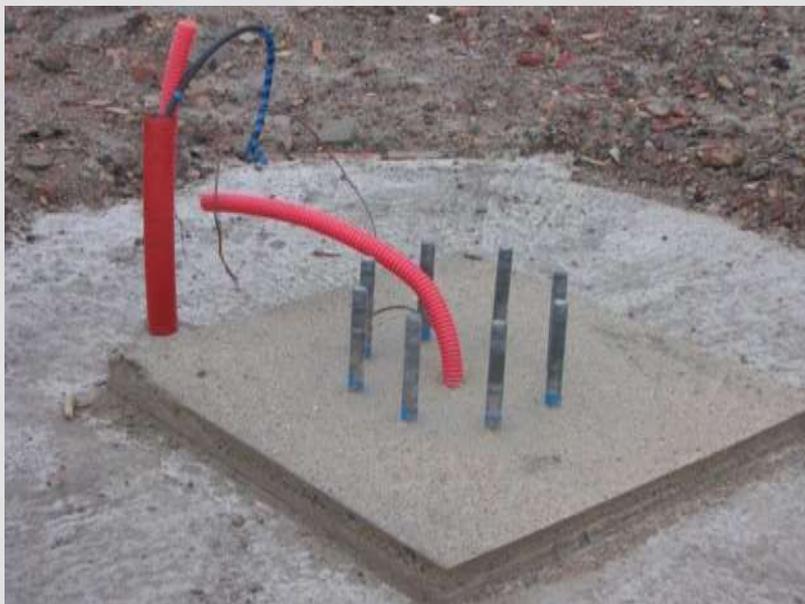
VUE GÉNÉRALE DU LIEU
D'IMPLANTATION DE L'ÉOLIENNE



AVANT COULAGE DU BÉTON
(1 M DE PROFONDEUR)

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



VUE DE LA DALLE OÙ SERA
FIXÉE L'ÉOLIENNE



LE MÂT DE 300 KG EST PIVOTÉ
AFIN DE LE METTRE DANS
L'ALIGNEMENT DU SOCLE

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



FIXATION DE LA BASE DU MÂT
SUR LE SUPPORT



PASSAGE DES CÂBLES DANS LE
MÂT

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



PASSAGE DES CÂBLES
ÉLECTRIQUES ET TÉLÉPHONIQUE
RELIANT L'ÉOLIENNE AU FUTUR
BOITIER ÉLECTRIQUE



LE MONTAGE EST EFFECTUÉ PAR
LA SOCIÉTÉ CAPVENT SITUÉE À
AMBRICOURT DANS LE PAS-DE-
CALAIS

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



MISE EN PLACE DU BOITIER
ÉLECTRIQUE



MISE À LA TERRE DE
L'ÉOLIENNE

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



CÂBLAGE DU COFFRET
ÉLECTRIQUE TERMINÉ (3X16 MM²)



LA NACELLE DE 70 KG EST AMENÉE
PRÈS DE LA TÊTE DU MÂT

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



LA GÉNÉRATRICE EST DÉBALLÉE



POSE DES SILENTBLOCS ET
FIXATION DU CÂBLE À LA
GÉNÉRATRICE

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



FIXATION DE LA GÉNÉRATRICE
AU MÂT



LA GÉNÉRATRICE EST FIXÉE AU
MÂT

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



L'ANTENNE DE TRANSMISSION DES DONNÉES DE L'ÉOLIENNE EST MISE EN PLACE SUR LA PARTIE HAUTE DE LA GÉNÉRATRICE



LES PALES SONT ASSEMBLÉES AU SOL

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



LES PALES SONT FIXÉES À LA
GÉNÉRATRICE



DERNIÈRE ÉTAPE : L'ÉLÉVATION
DE L'ÉOLIENNE

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE



LEVAGE DE L'ÉOLIENNE



LEVAGE TERMINÉ

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉTAPES DU MONTAGE

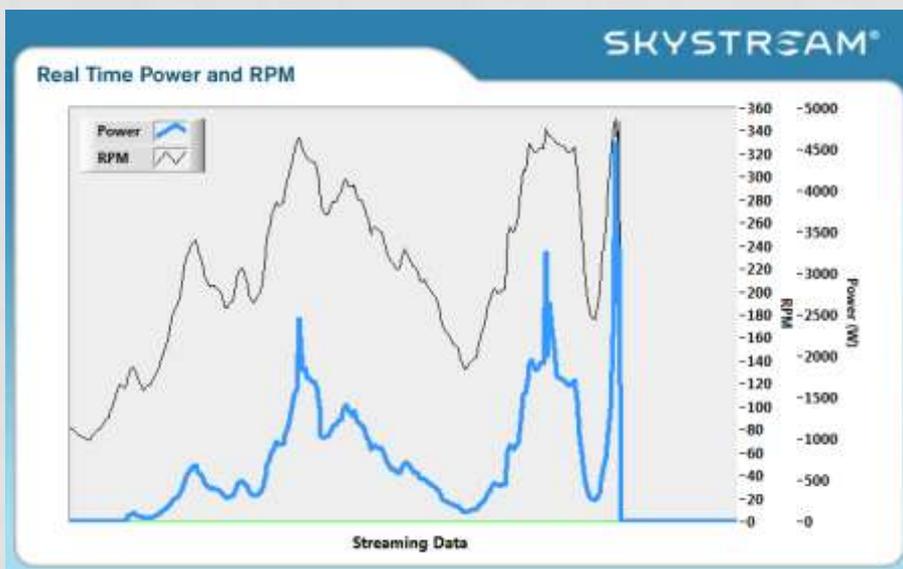


RÉGLAGE DE L'HORIZONTALITÉ DE L'ÉOLIENNE À
L'AIDE DU LOGICIEL SKYVIEW

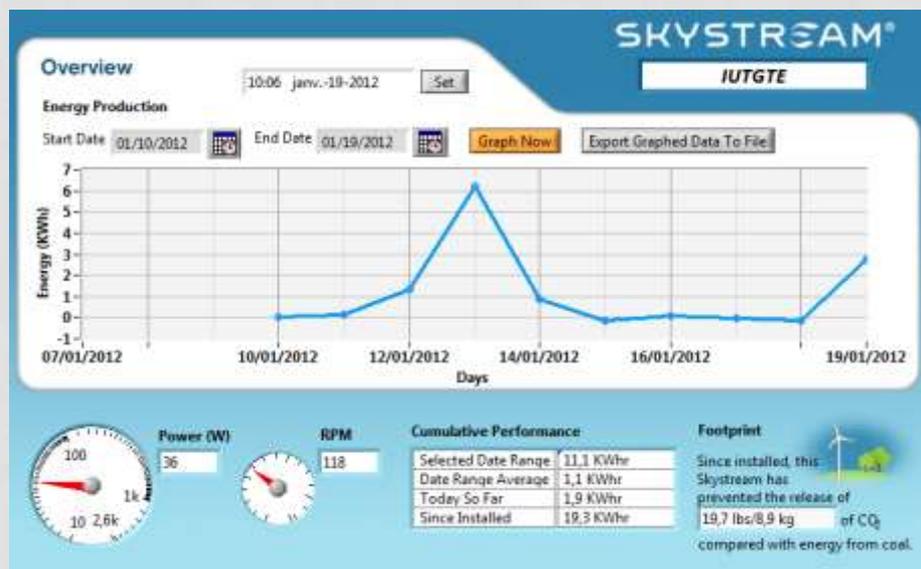


IV. PETIT ÉOLIEN

LA PRODUCTION DE L'ÉOLIENNE DE GTE



Visualisation en temps réel de la puissance et de la vitesse de rotation



Visualisation de la production de l'éolienne sur une période déterminée

Sur le premier mois, la skystream a produit une énergie de 110 kWh, ce qui correspond à un taux de charge de 6% (Après 12 mois : 1 000 kWh soit 420 h_{epp})

IV. PETIT ÉOLIEN

MISE EN GARDE



Tous les sites ne se prêtent pas à l'implantation d'une éolienne.

Plusieurs points importants nécessitent une attention particulière :

- Vraisemblance du gisement éolien
- Pertinence du matériel proposé (taille machine, puissance générateur, vitesse moyenne du site)
- Données de production annoncées
- Réputation de la machine proposée (tests SEPEN) et de l'installateur (références installations, discours et arguments)
- Promesses de crédit d'impôt et d'amortissement

IV. PETIT ÉOLIEN

LES ÉOLIENNES À AXE VERTICAL



Type Darrieus à rotor hélicoïdal



Type Darrieus (parc éole, Canada)



Type Savonius (intégrée en toiture)

Avantages

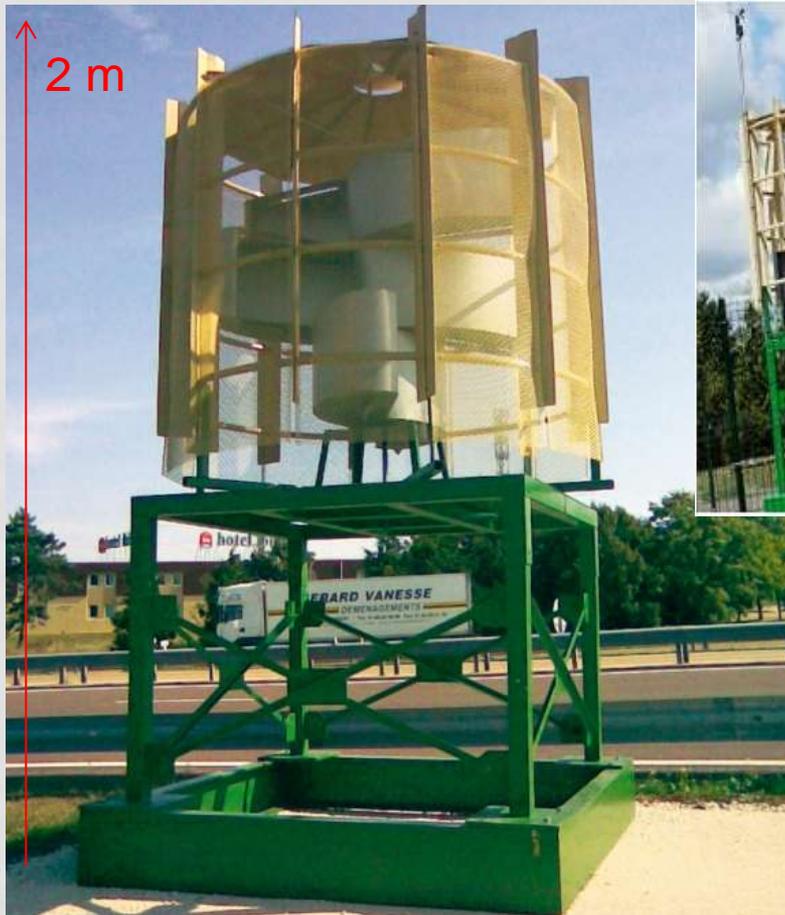
- Pas de contraintes sur la direction du vent
- Fonctionne en milieux turbulents (urbains)
- Esthétique

Inconvénients

- Production faible par rapport aux éoliennes à axe horizontal

IV. PETIT ÉOLIEN

CONCEPTIONS DIVERSES



<http://nouvellesenergies.secondes.info>

Micro-éolienne en bordure d'autoroute
A6 (2 kW, Cita)
Récupération du déplacement d'air
provoqué par les camions (7000/jour)

IV. PETIT ÉOLIEN

CONCEPTIONS DIVERSES



Éoliennes en toiture (l'aérocube de la société Aeolta) en test à Fort-Mardyck sur le toit de bâtiments administratifs

1 KW, production estimée à 500 à 1 000 kWh/an

IV. PETIT ÉOLIEN

CONCEPTIONS DIVERSES



Éoliennes dans le 20^{ème} à Paris (maison de l'air)

1,6 m de diamètre – Production estimée à
15000 kWh / an !!!!

IV. PETIT ÉOLIEN

CONCEPTIONS DIVERSES



L'arbre à vent de la société New Wind

Dimensions : 8m(h) x 5m(L)
Puissance : 2,5 kW (72 feuilles)

IV. PETIT ÉOLIEN

CONCEPTIONS DIVERSES



<http://uneole.fr/>

Eolienne verticale en fibre de lin
Hauts de France

IV. PETIT ÉOLIEN

CONCEPTIONS DIVERSES



ouille



Aïe

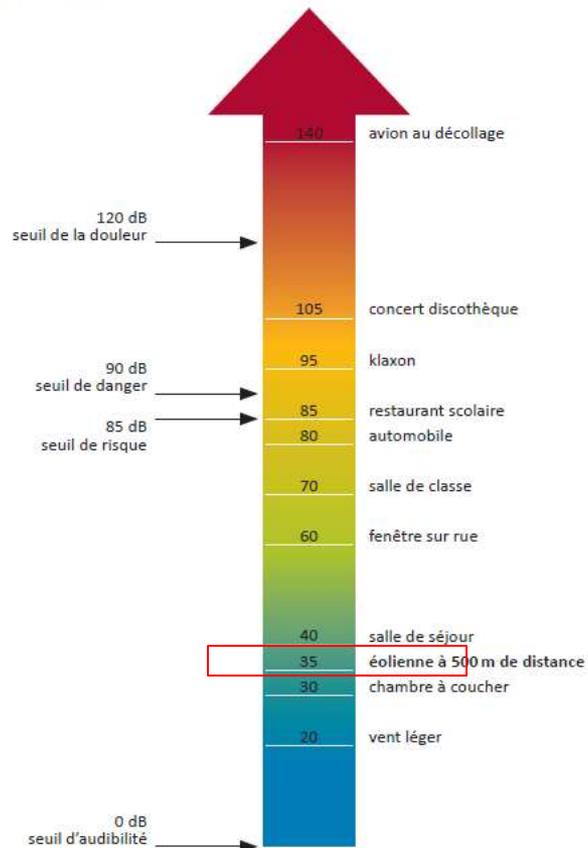
V. QUELQUES IDÉES REÇUES SUR L'ÉOLIEN

V. QUELQUES IDÉES REÇUES SUR L'ÉOLIEN C'EST BRUYANT ?



Échelle du bruit (dB)

source : ADEME



Au pied de l'éolienne : 55 dB

À 500 m : 35 dB (chuchotement)

V. QUELQUES IDÉES REÇUES SUR L'ÉOLIEN C'EST DANGEREUX ?



Les accidents sont rares par rapport au nombre d'installations



Chute d'éolienne sur le site de Dunkerque (2004)



Eolienne en feu en Ardèche (10/2009)



Chute d'éolienne sur le site de Boulogne-Sur-Mer (2004)



V. QUELQUES IDÉES REÇUES SUR L'ÉOLIEN C'EST DANGEREUX POUR LES OISEAUX?



Certainement moins que les véhicules (terrestres et aériens), vitres des bâtiments, lignes électriques, pesticides et autres marées noires !



VS



V. QUELQUES IDÉES REÇUES SUR L'ÉOLIEN C'EST PAS BEAU ?



Photo tirée du site jeconsomme.com



Cheminées d'usines | Novokuznetsk, Sibérie, Russie | © Peter Turnley/CORBIS

Tout est question de goût ...

FIN

QUESTIONS ?