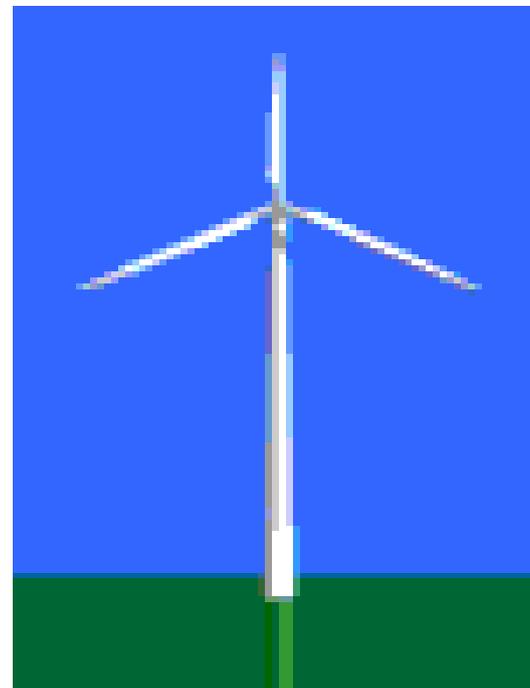




Rotary Club d'Ambérieu en Bugey

L'énergie éolienne





Rotary Club d'Ambérieu en Bugey

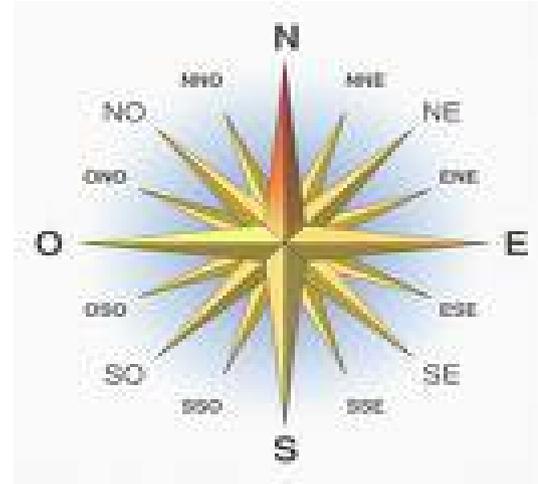
« l'énergie éolienne »

- Qu'est ce que l'énergie éolienne ?
- Les puissances et types d'éoliennes
- Description d'une éolienne
- Les raisons du développement éolien
- Le parc actuel en France et en Europe
- Part de l'éolien dans la production électrique
- La montée en puissance
- Les emplois de la filière
- Le prix de l'électricité
- Les coûts et rentabilité de l'éolien
- Le bruit
- Une réflexion: combien d'éoliennes ?
- Cas du Danemark
- Monter un projet
- Les nouveaux paysages

Qu'est ce que l'énergie éolienne ?

L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire puisque ce sont les différences de température et de pressions induites dans l'atmosphère par l'absorption du rayonnement solaire qui mettent les vents en mouvements.

Environ 1 à 2% de l'énergie émise par le soleil est convertie en énergie éolienne.



« Récolter » l'énergie du vent

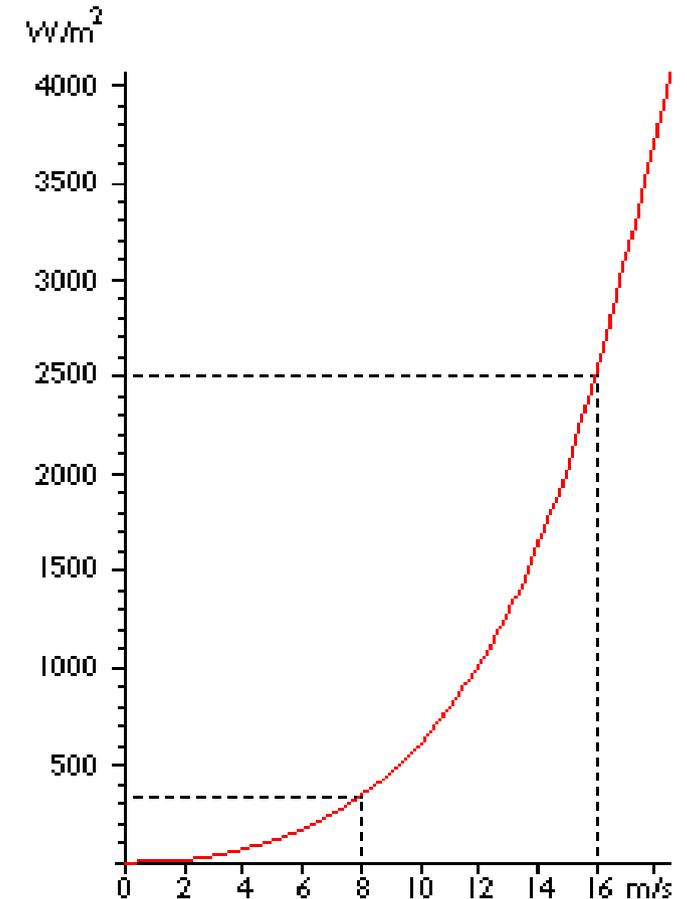
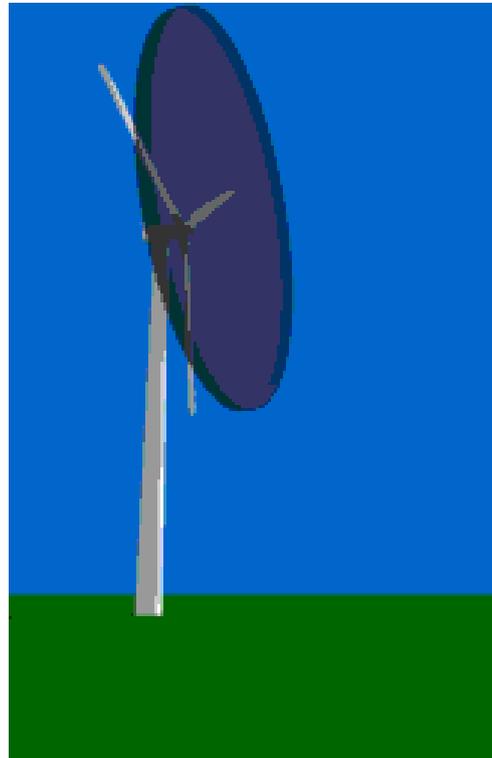
Une éolienne capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en couple qui entraîne les pales du rotor

3 facteurs déterminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor:

- **la densité de l'air:** à 15° celsius, l'air pèse environ 1,225kg / m³

- **la surface balayée par le rotor:** plus la surface de balayage est grande, plus le poids de l'air qui frappe les pales est important

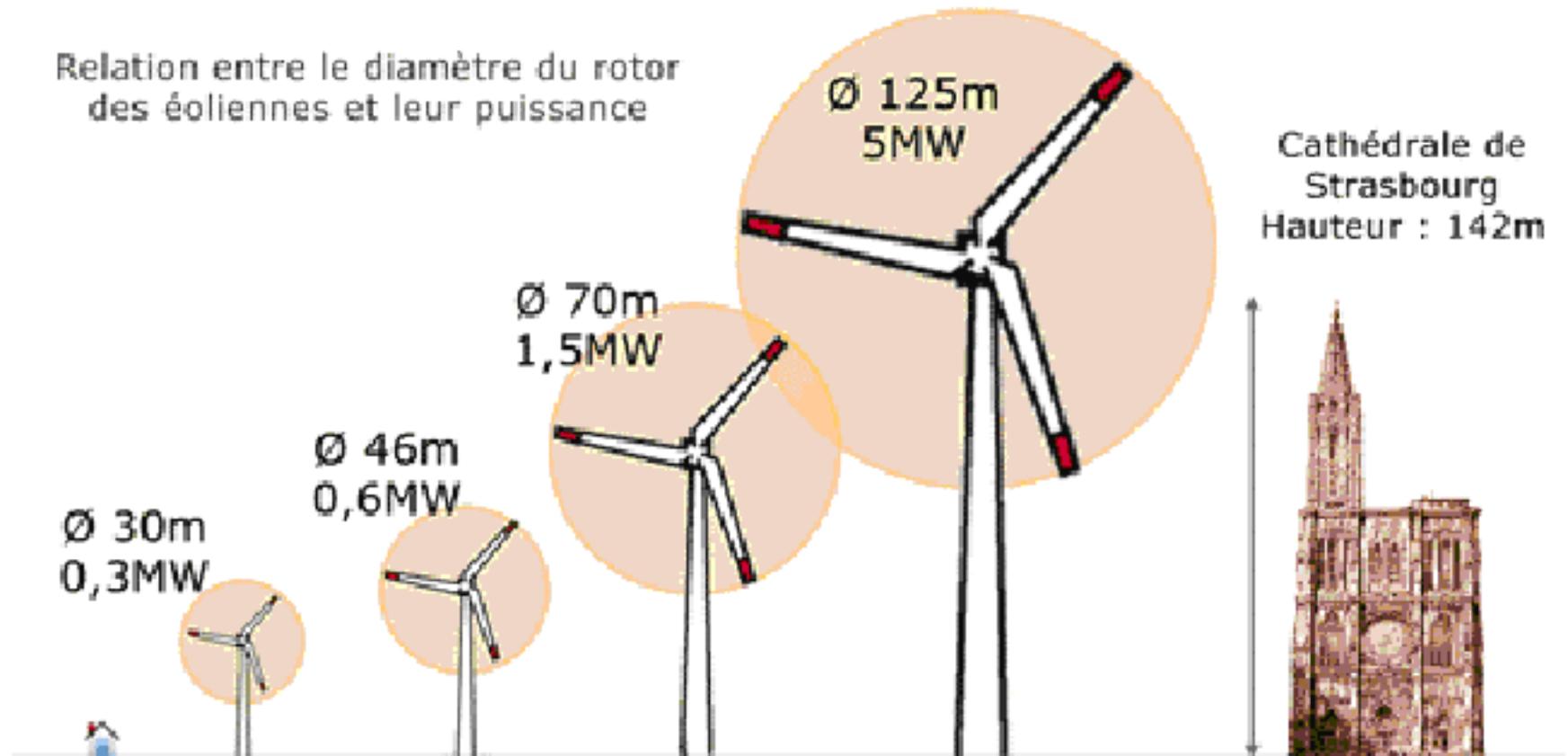
- **la vitesse du vent**



Si cette éolienne a un diamètre de rotor de 54 m (~1Mw) le disque d'air de 1 m d'épaisseur qui traverse sa surface de 2300 m² pèse 2,8 tonnes

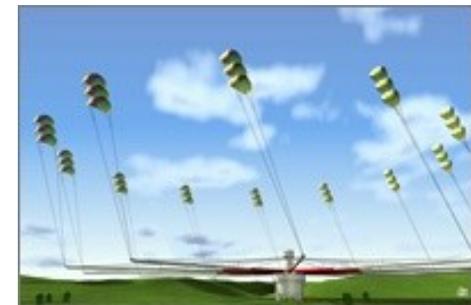
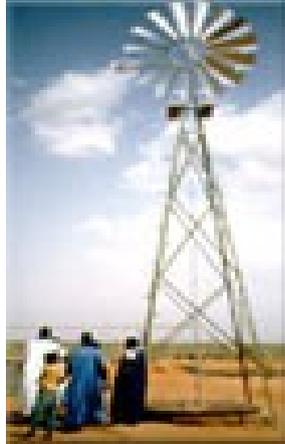
Qu'est ce que l'énergie éolienne

Les puissances éoliennes



Qu'est ce que l'énergie éolienne

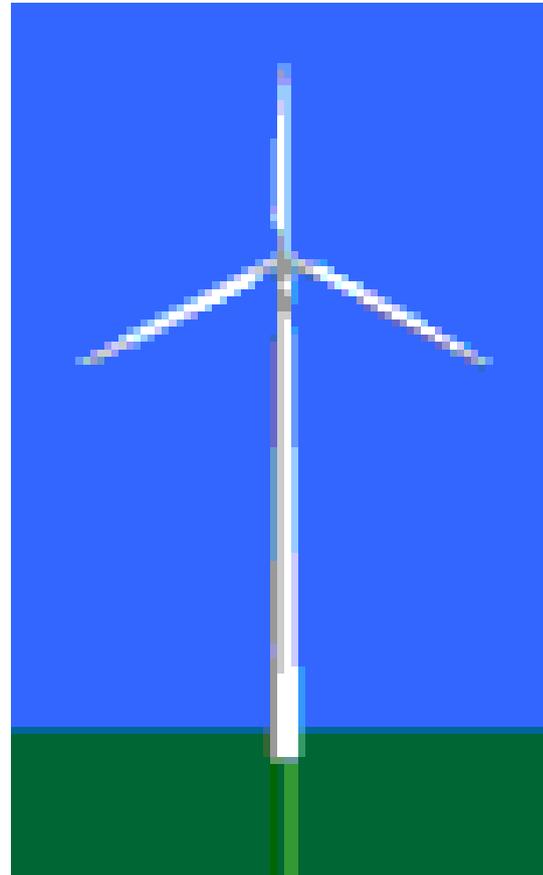
Les différents types d'éoliennes



La conception standard

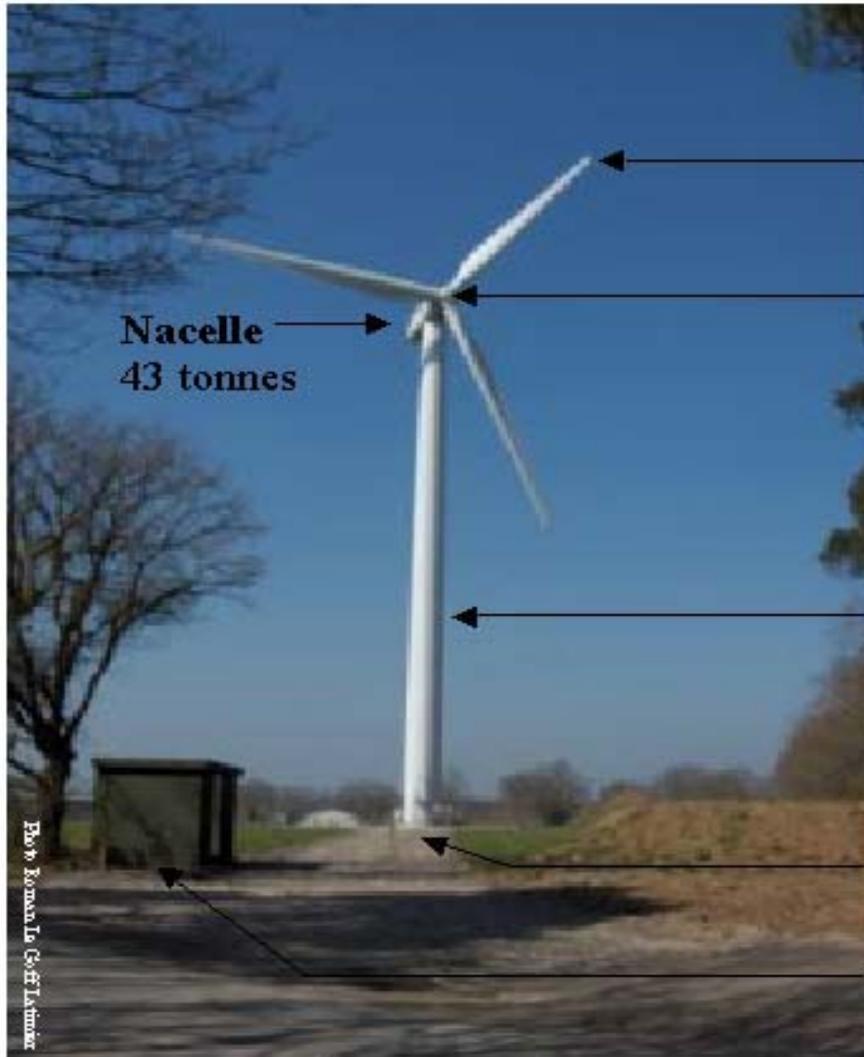
C'est la conception TRIPALE qui domine le marché, pour des raisons de stabilité, de coût et de rendement.

Le rotor est maintenu face au vent par un mécanisme d'orientation actionné par des moteurs électriques



Composantes d'une éolienne

Une éolienne de puissance 1,25 MW



Nacelle
43 tonnes

Pale Longueur : 31 mètres
Poids : 4 tonnes

Hub ou moyeu

Rotor,
ensemble
des trois
pales fixées
sur le hub.

Tour tubulaire en acier.
Poids : 84 tonnes
Hauteur : 68 mètres

Poids total: 160 tonnes

Fondations + 600 tonnes

Poste de livraison

Description d'une éolienne

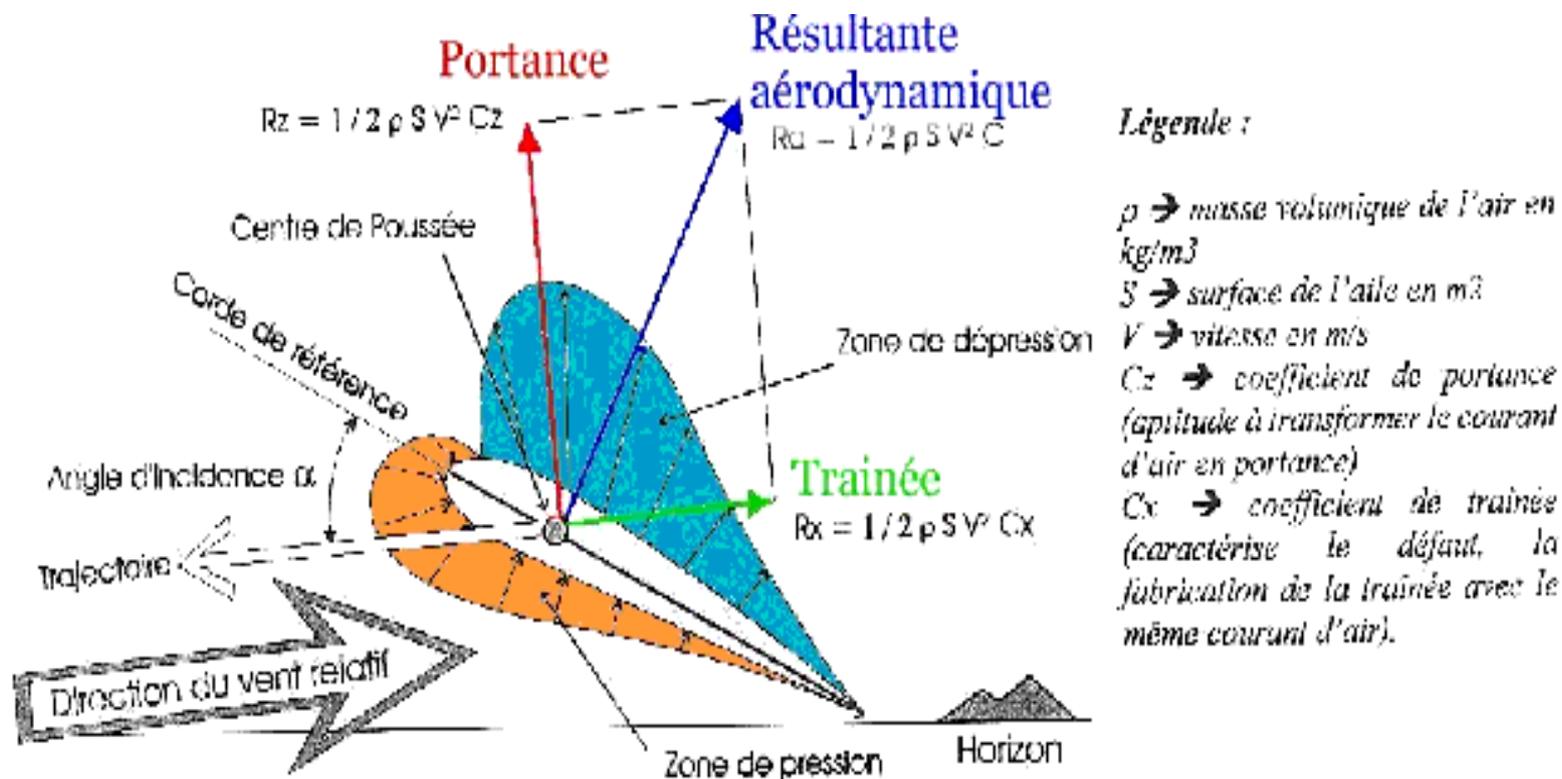
Les pales

Une pale fonctionne exactement comme une aile d'avion.

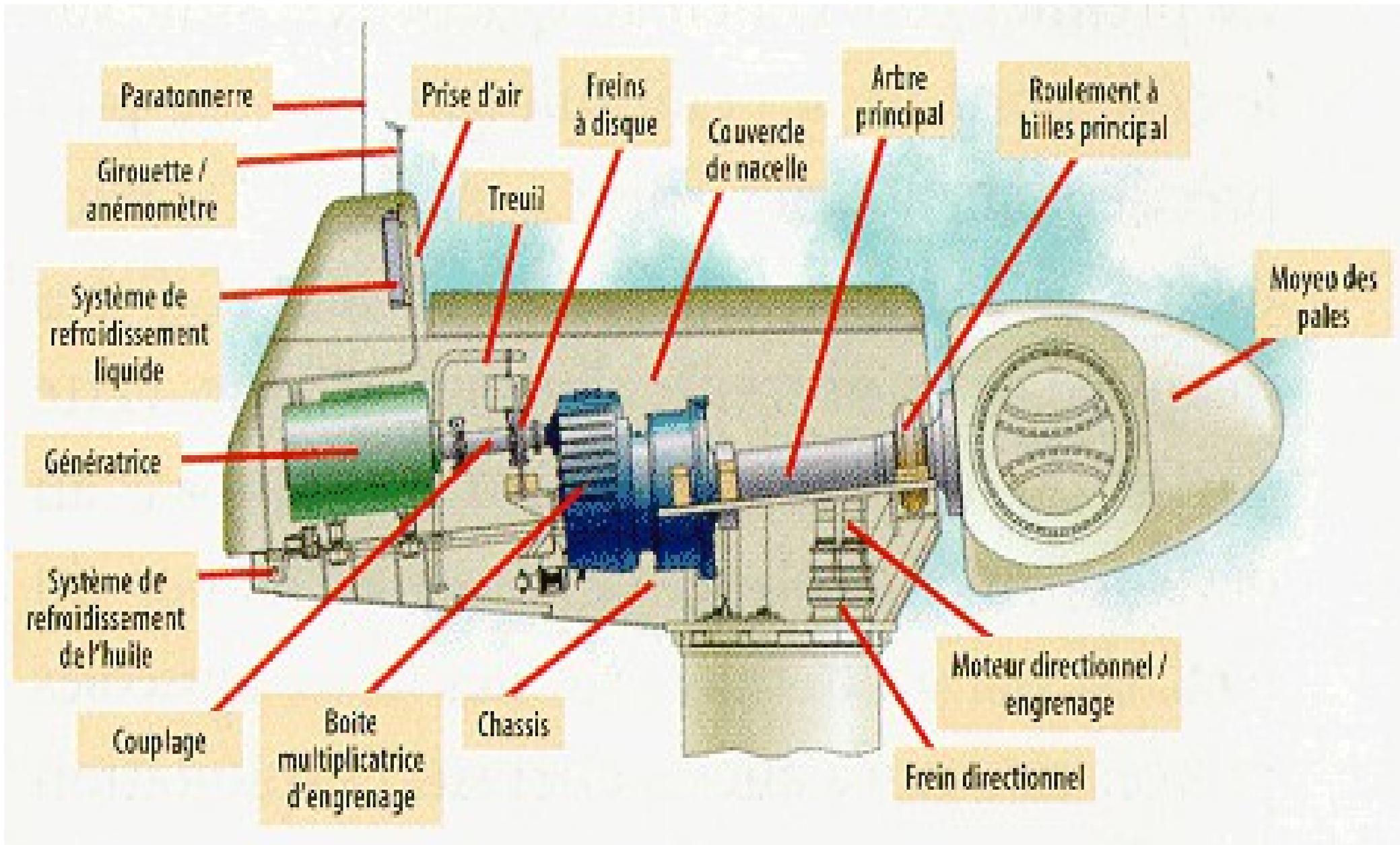
Grace à la forme du profil, l'air passant sur le dessus de l'aile (**l'extrados**) doit parcourir plus de chemin que celui passant au dessous (**l'intrados**). C'est ainsi que sur l'intrados, l'air provoque une surpression qui génère un effort vers le haut

Les 2 efforts réunis s'appellent la **portance**.

Le frottement de l'air s'oppose au mouvement, c'est la **trainée**



La nacelle



Description d'une éolienne

Les raisons du développement de l'éolien

- **Limiter la production de gaz à effet de serre** (Protocole de Kyoto (1997), Directive européenne 2001), grenelle de l'environnement, G8
 - **Objectif 2020 -> 20 %**
 - **Objectif 2050 -> 50 %**
- **Alternative à l'épuisement et au prix croissant des ressources fossiles (pétrole, uranium)**
- Ressource renouvelable de production élec. **la moins coûteuse** (hors hydroélectricité)

Le parc éolien actuel en France

Puissance installée :

3462 MW

dont **920 MW** en 2008

Nombre d'éoliennes :

2456

dont **486** en 2008

« Emissions de CO2 évitées »

**1,65 million de tonnes
en 2008**



(Rappel: parc nucléaire = 63363 MW)

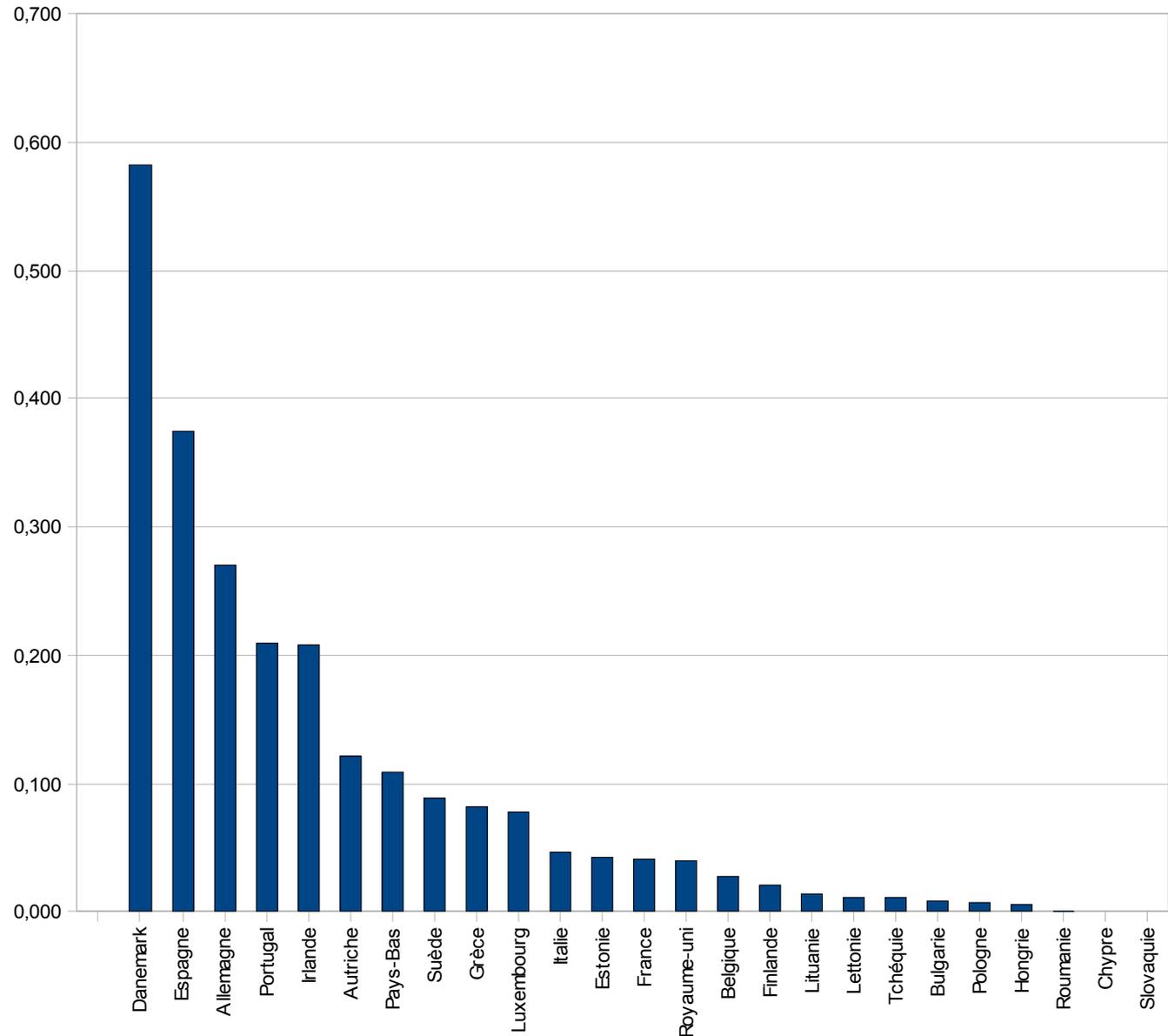
Puissance éolienne installée en Europe

**Puissance éolienne
installée fin 2007
en MW par millier
d'habitants
et par pays**

1er : DANEMARK
= 582 W / habitant

13ème : FRANCE
= 41 W / habitant

***L'UE a décidé de produire
20% de son électricité en
énergie renouvelable propre
et sure d'ici 2020.***



Part de l'éolien dans la production électrique en France

Production d'électricité en 2007 (544,8 TWh)

Nucléaire : 76,84 %

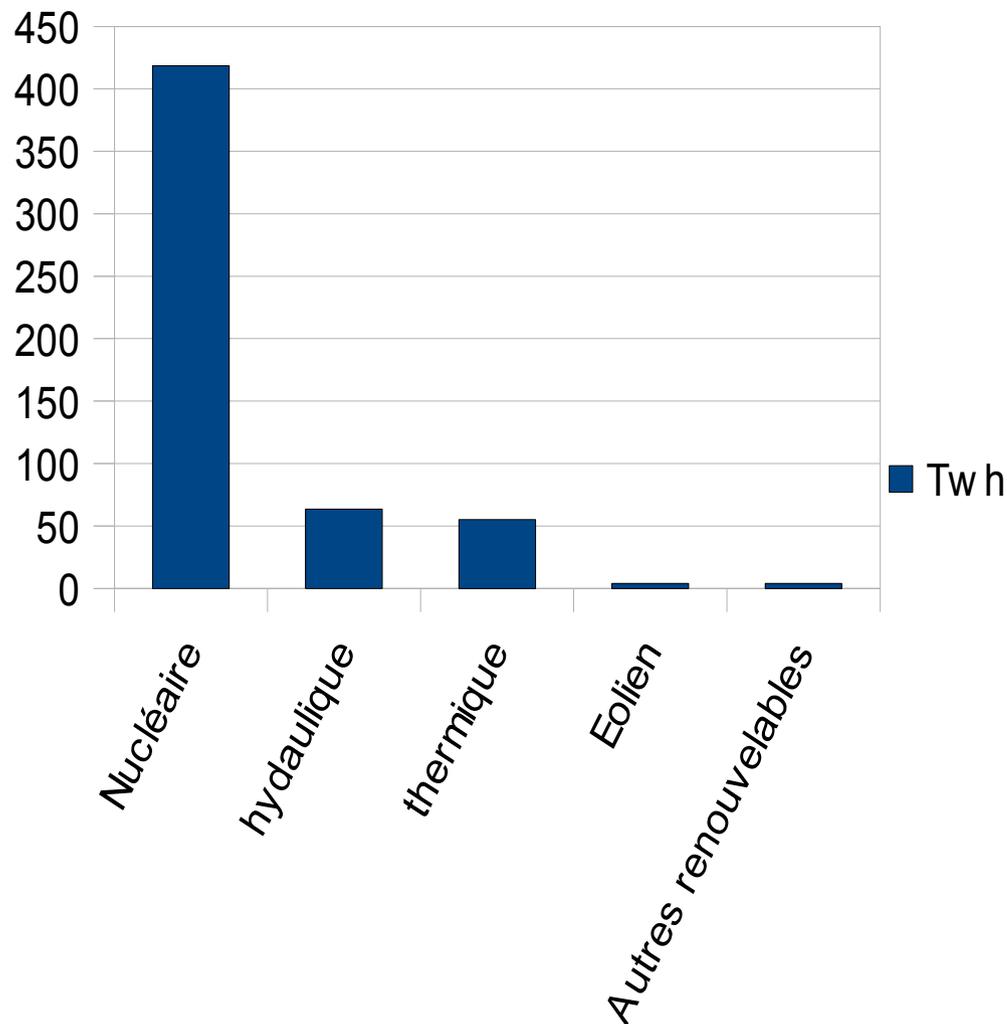
Hydraulique : 11,62 %

Thermique : 10,11 %

Eolien : 0,73 %

Autres renouvel.: 0,70 %

la production éolienne a augmenté de 80 % de 2006 à 2007



Fin 2008 on estime la part de l'éolien à 1,2 %

Part de l'éolien dans l'énergie renouvelable en France en %

Hydraulique 87,66

Eolien 6,01

Déchets urbains 2,46

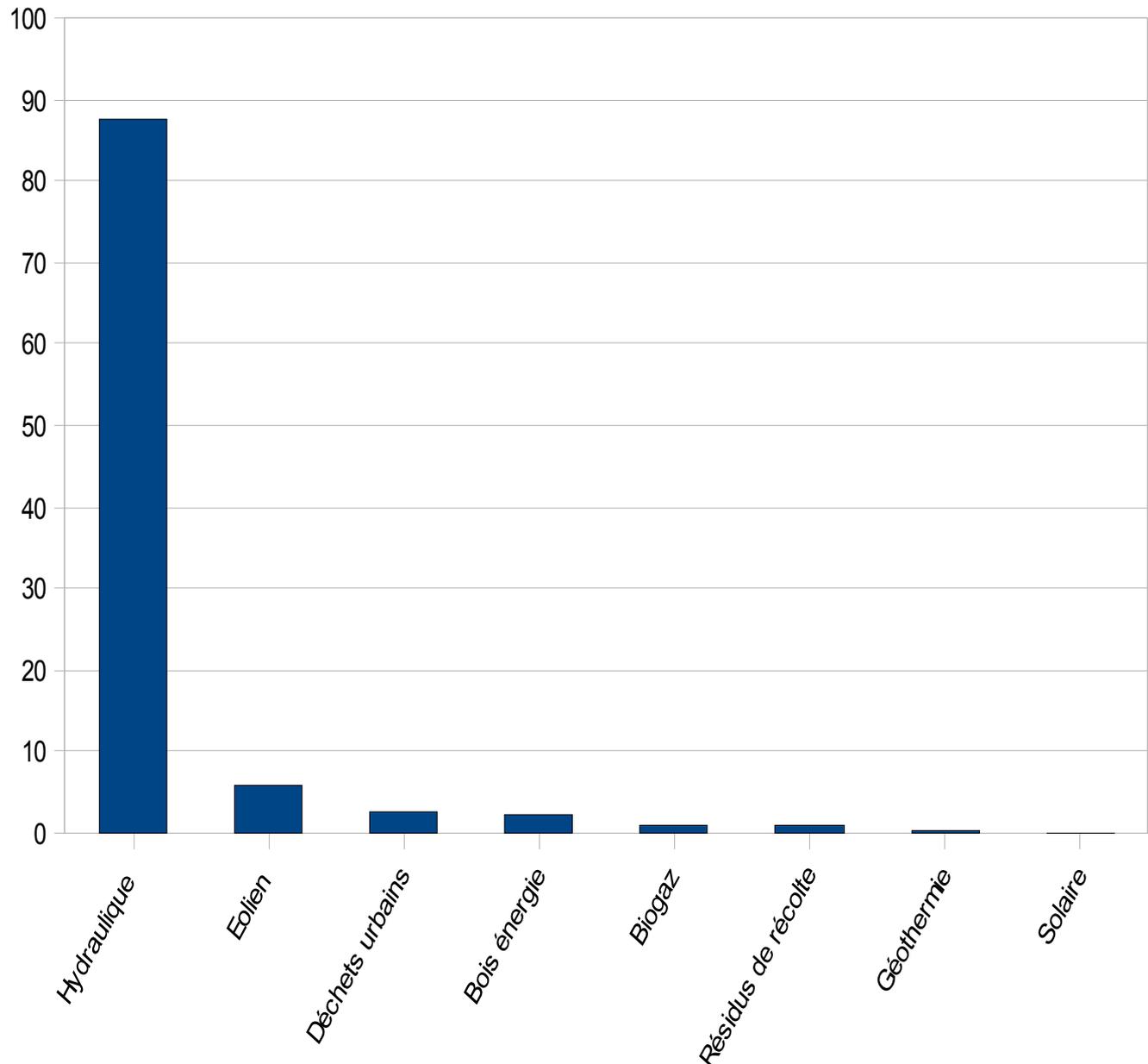
Bois énergie 2,09

Biogaz 0,79

Résidus récoltes 0,79

Géothermie 0,14

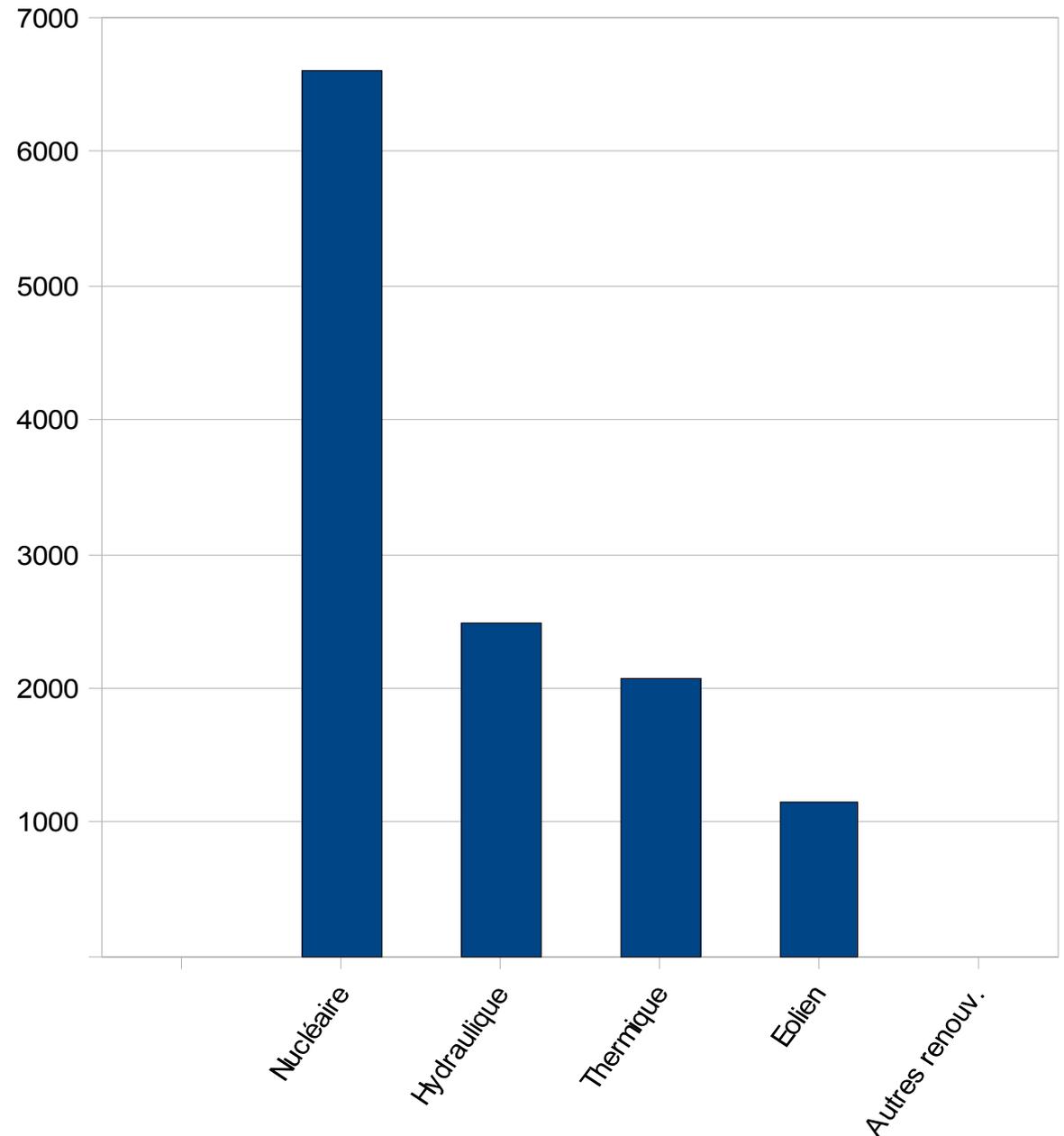
Solaire 0,06



Le total de l'énergie renouvelable représente 13,5% de la production totale annuelle

Rendement pour 1 GW de puissance installée

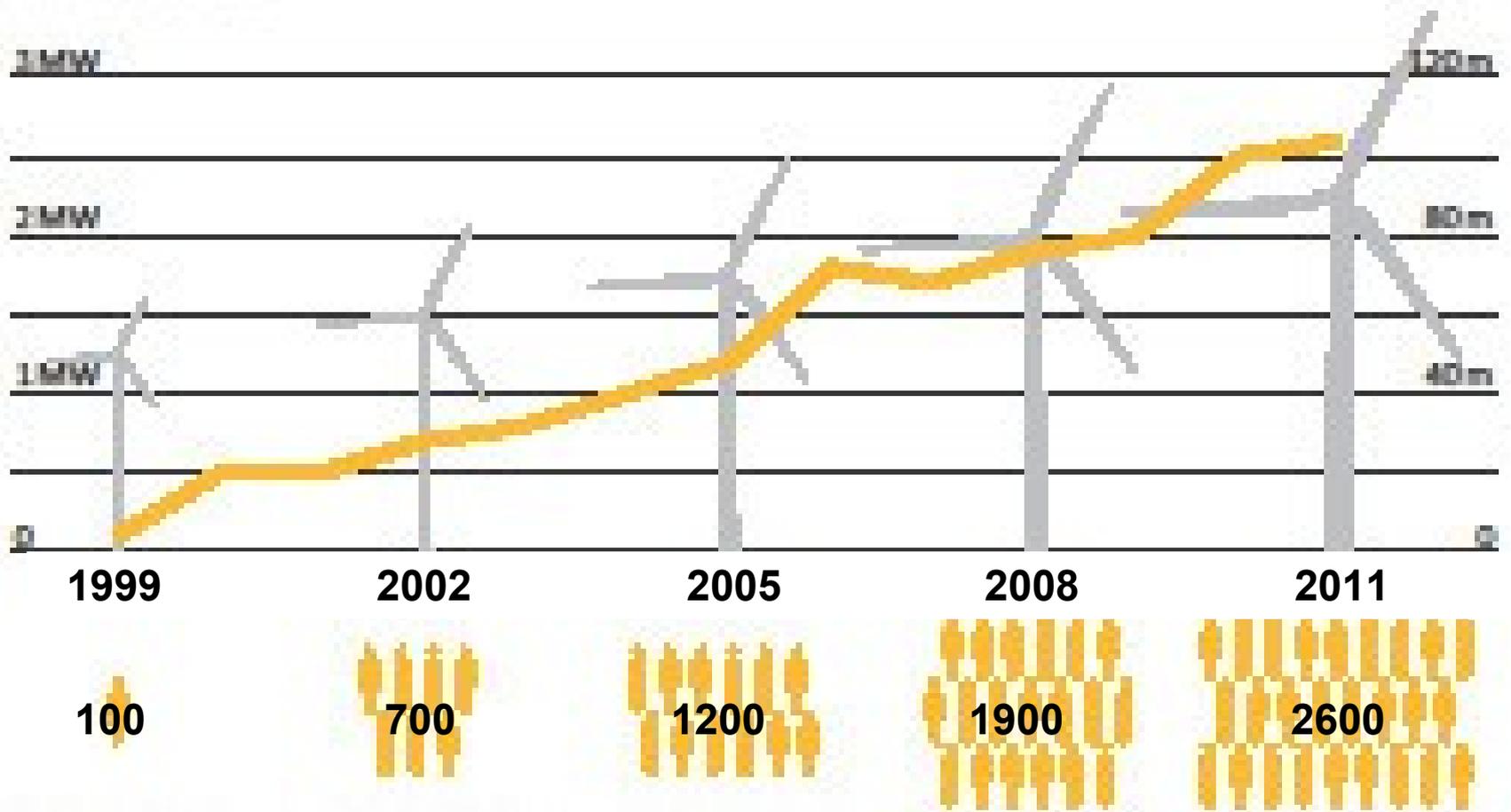
Nucléaire	6600 GWh
Hydraulique	2500
Thermique	2000
Eolien	1200
Autres renouv.	?



La montée en puissance

Puissance et taille moyennes des éoliennes installées
Population alimentée en électricité
(consommation domestique chauffage compris)

source : SER-FEE



La montée en puissance



La puissance d'une éolienne a été multipliée par 10 de 1997 à 2007

Un parc éolien de **12 MW⁷** (de 4 à 6 éoliennes couvre les besoins en consommation d'électricité de **12000 personnes** chauffage inclus et permet d'éviter l'émission de **8000 tonnes de CO₂**

La montée en puissance

Évolution de la puissance installée et cumulée depuis 2000 en France

source: SER-FEI (*prévisions pour 2008)

Année	Puissance annuelle installée (MW)	Puissance cumulée (MW)	Énergie produite (GWh)	Estimations de la population alimentée (consommation domestique y compris chauffage électrique)
2000	40	61	70	29 000
2001	31	92	131	34 000
2002	52	144	243	100 600
2003	100	244	363	150 000
2004	156	399	577	237 000
2005	367	775	963	393 000
2006	714	1 481	2 169	890 000
2007	908	2 377	4 100	1 690 000
2008 [*]	1 200	3 577	6 000	2 500 000

**En 2008, 4300MW de permis de construire ont été accordés
Actuellement, 400 éoliennes sont mises en service dans l'année en France.
C'est environ 1000 MW, l'équivalent de 1,5 centrale thermique classique
ou 1 réacteur nucléaire**

Création d'emplois

L'emploi en 2007: dans le monde : 350000, dont en Europe 150000
en Allemagne : 80000
en Espagne : 35000
au Danemark : 21600
en France : 7000

Selon une étude de l'ADEME de juillet 2008

(Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie),

**en France, en 2012 l'énergie éolienne devrait employer
16000 personnes** 7

sur un marché annuel de 4,2 milliards d'euros d'investissements

Prix de l'électricité

L'arrêté ministériel du 10/07/2006 impose à EDF un tarif de rachat de l'électricité éolienne de 0,082 euros / Kwh sur contrat de 15 ans, >15 ans, 0,055

Electricité d'origine nucléaire : 0,026 euros / Kwh

Electricité d'origine thermique : de 0,030
à 0,045 euros / Kwh

(Achat par le consommateur résidentiel, environ 0,08 euros / Kwh)

Rapport pour les collectivités locales⁷

- TP : pour 1 megawatt environ 6000 euros
- TF : selon taux en vigueur, s'applique sur le socle + le mat

Rapport pour le propriétaire du terrain

- loyer annuel d'environ 1000 euros par éolienne

Coûts et rentabilité

Cas d'un parc de 10 MW (5 éoliennes de 2MW)

Investissement : 13 millions d'euros

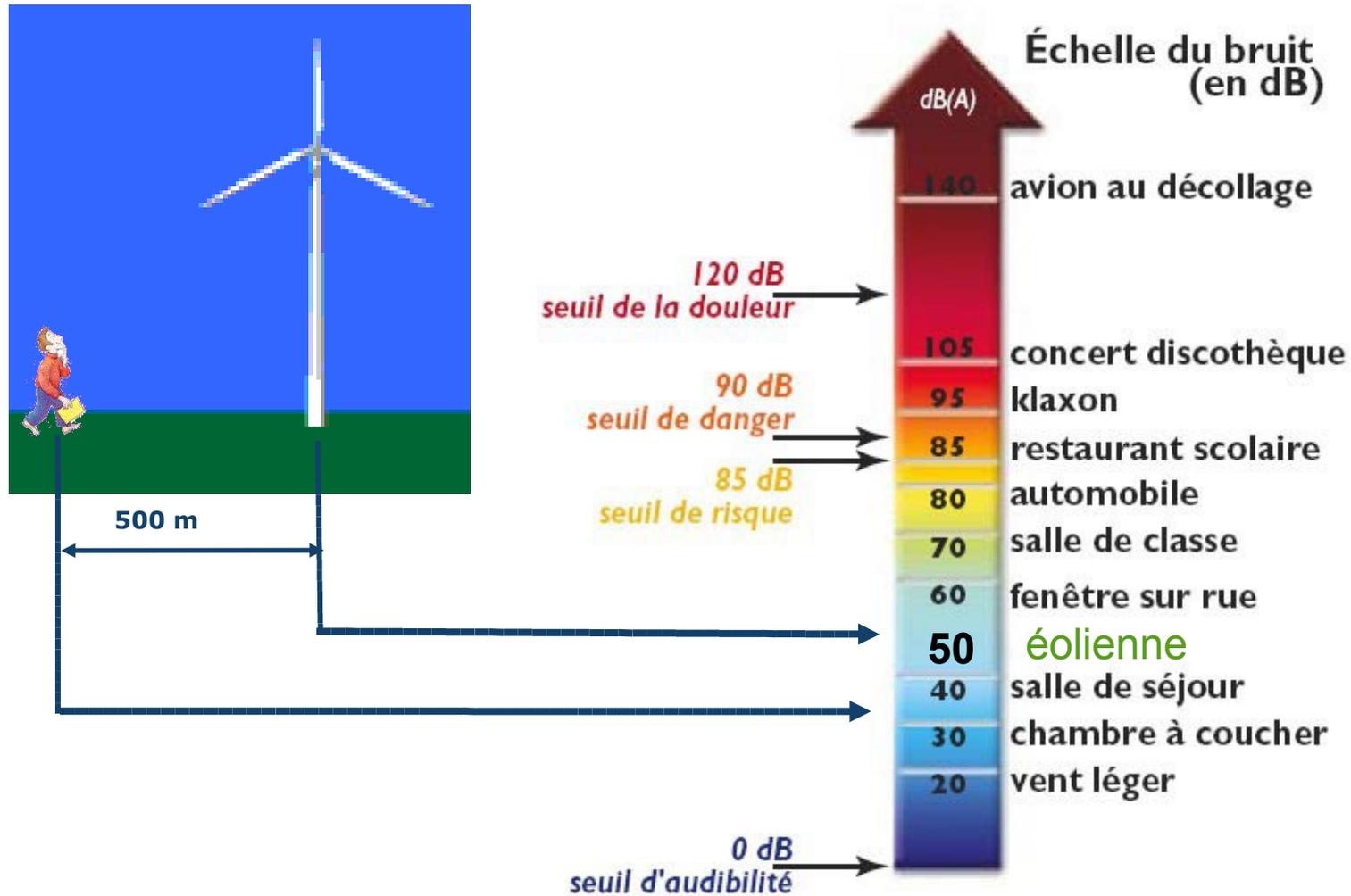
dont 11 financés par la dette (85%) sur 15 ans

Fonctionnement : taux d'activité moyen 23% (2000 heures / an)
(plage de vent: 14 à 90 KM / H)

Chiffre d'affaire annuel : 2,05 Millions d'euros

Rentabilité: de 10 à 15 % /an pendant 15 ans
>15 ans

Le bruit



Combien d'éoliennes, et quelle surface ?

En 2007, la production électrique a été de 544,4 TWh

Avec des éoliennes de 1 MW de puissance nominale,
fournissant 2 GWh / an

il faudrait « planter » 272000 éoliennes

Il faut environ 1 Km² pour produire 20 GWh
soit $544400 / 20 =$

~27000 KM² soit ~5% du territoire

(c'est environ ce qui est occupé par les villes, routes et parkings)

Mais le vent est intermittent et le besoin d'électricité est permanent !

Alors ?

si **toute** l'énergie électrique était éolienne, il faudrait **stocker**
pour faire face au manque de vent

Batteries: pour 1 semaine de consommation
il faudrait **7 tonnes de batterie plomb/acide par habitant !**

Produire de l'hydrogène par électrolyse et la stocker pour l'utiliser
dans des piles à combustible lors des jours sans vent
Le rendement global de la chaîne serait d'environ 25%
Si la moitié de l'électricité est consommée lorsqu'elle est produite
et que l'autre moitié est stockée avec un rendement final de 25%
il faudrait environ 660000 éoliennes !
12 % de la surface de la France !

**Pour atteindre les 6,5% qu'il manque en énergie renouvelable
pour atteindre l'objectif de 20% en 2020,
il faudrait 17693 éoliennes de plus !
soit 1474 éoliennes supplémentaires chaque année.
(2456 installées à ce jour)**

Cas du DANEMARK

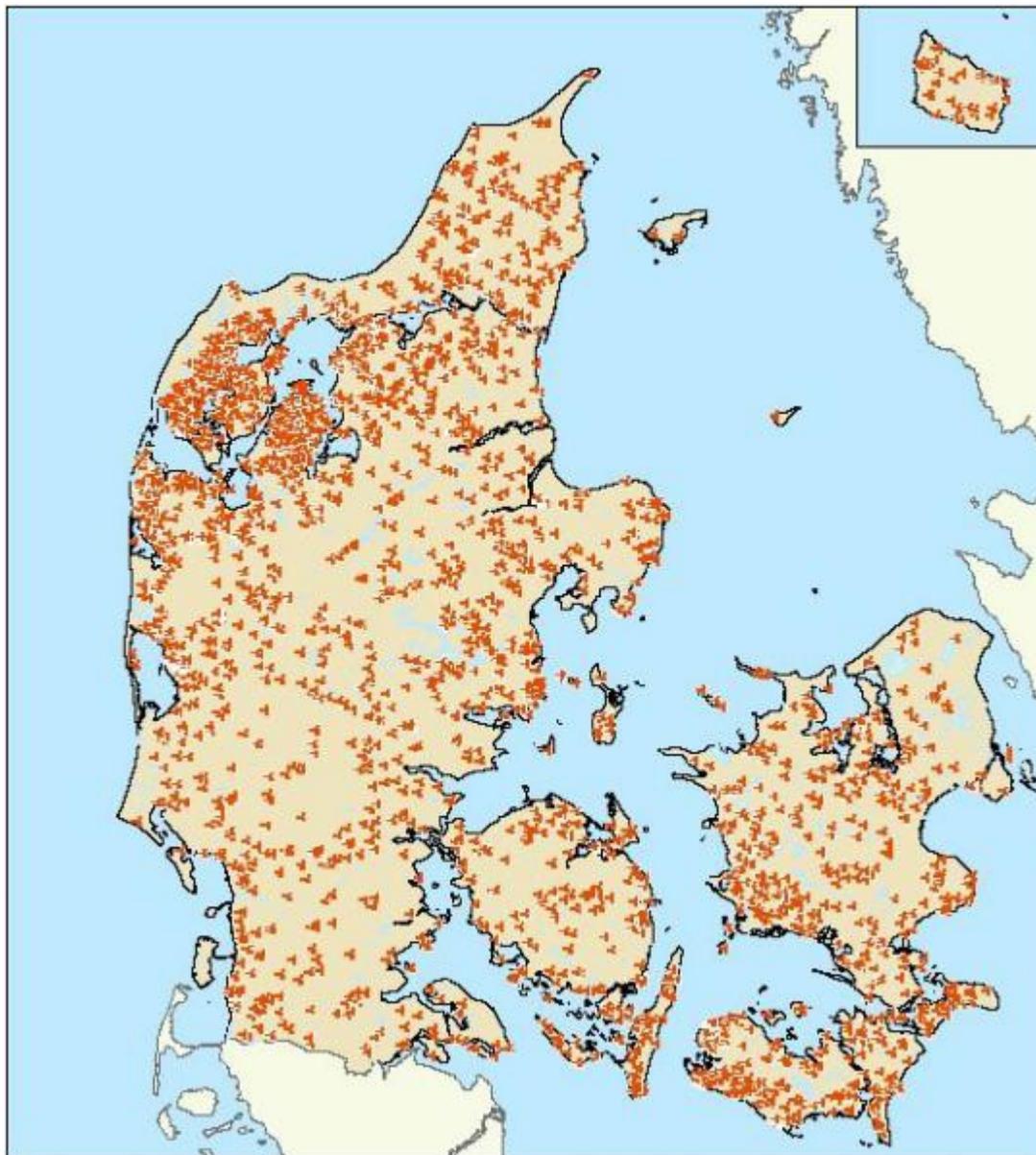
**20% de l'électricité est produit
par l'éolien
582 W / habitant sont installés**

Plus d'installations nouvelles sur
terre.

Le pays est au stade du
renouvellement des machines
terrestres et commence des
installations en mer.

Le plafond de 20% ne peut être
dépassé sans causer de
problèmes de stabilité du réseau.

Trop de variabilité imprévisible.



Monter un projet éolien

1. Phase développement => 18 à 24 mois
2. Phase construction => 2 à 3 ans
3. Phase exploitation => 15 à 25 ans



Le Permis de Construire si $H > 12$ m

Une procédure qui dure de 12 à 18 mois

Réalisation d'une étude d'impact si $P > 2,5$ MW

Faune (rapaces, chauves souris...)

Flore

Hydrogéologie

Acoustique

Paysage

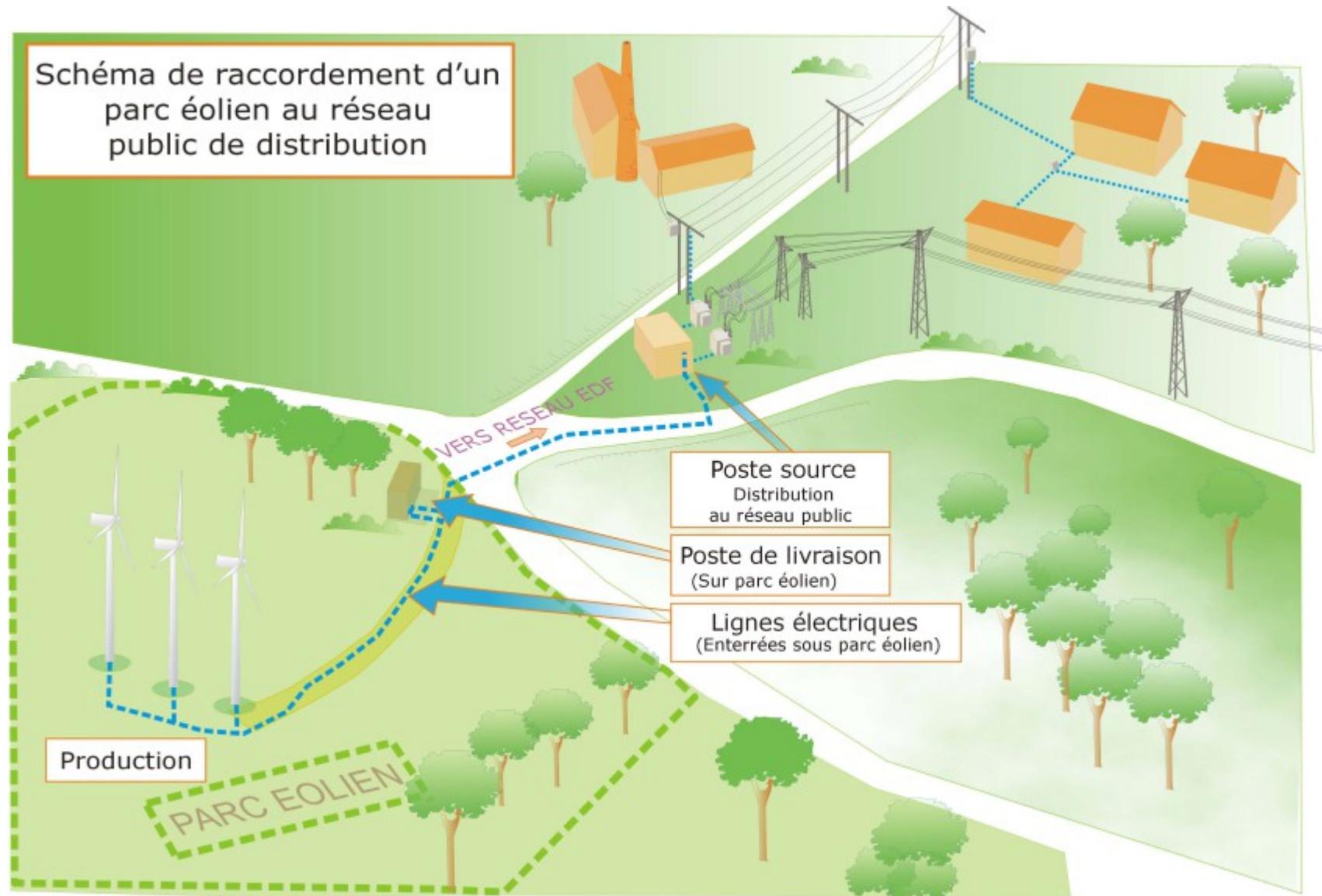
Un vingtaine d'administrations consultées

Passage possible devant la commission des sites
(choix du Préfet)

Enquête publique si $H > 50$ m

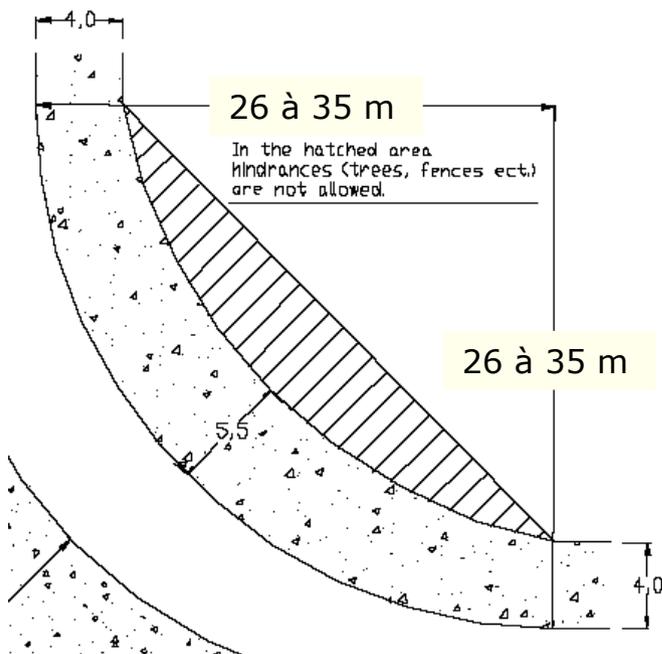
Obligation de demantèlement

Raccordement électrique



La construction

Les fondations



Plateformes

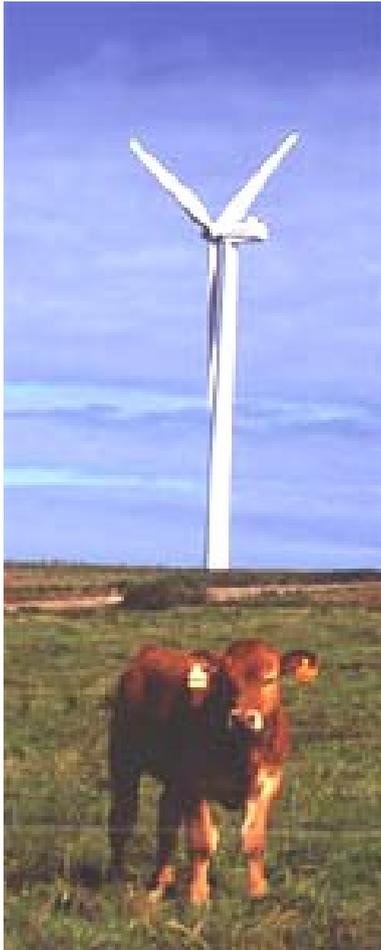


Section de mat : 30 à 50 t

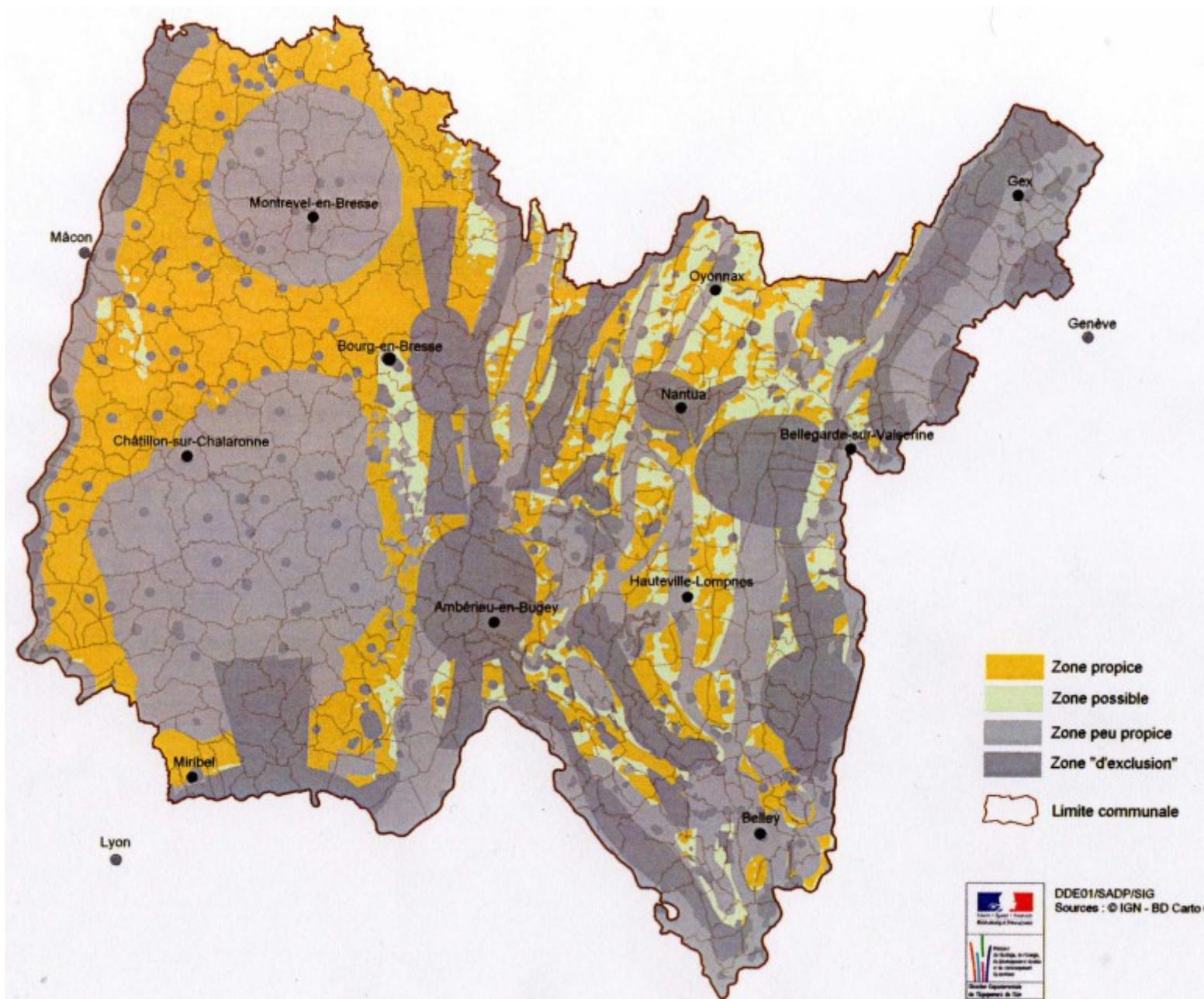
Pales : 25 à 40 m, 3 * 5t



De nouveaux paysages



Les opportunités de développement éolien dans l'Ain



Merci de votre écoute

