

Développement durable : l'énergie éolienne.



site éolien de Fauquembergues

SOMMAIRE

INTRODUCTION :

L'énergie éolienne pour un développement durable.....	page 3
---	--------

PREMIERE PARTIE : Installations des éoliennes et impacts sur l'environnement.

Distances réglementaires.....	page 4
Mesure du bruit.....	page 5
Installations urbaines.....	page 6
Objectifs 2020.....	page 6
Parc offshore.....	page 7
Emissions de CO ₂	page 8

DEUXIEME PARTIE : Puissance éolienne.

Courbe de puissance.....	page 9
Simulation.....	page 10
Nucléaire "indispensable".....	page 11
Puissance installée en France.....	page 12
Puissance installée dans le monde : le top 10 mondial.....	page 13
ANNEXE.....	page 14

L'énergie éolienne pour un développement durable

Christine Comeau

Yves Gagnon, Chaire K.-C.-Irving en développement durable

Université de Moncton

juin 2007

Le 21^e siècle reconnaît sans contredit l'urgence de développer davantage le domaine des énergies renouvelables et propres. En effet, les organismes environnementaux et les gouvernements du monde entier sont rendus à la constatation que les sources d'énergie traditionnelles ont les désavantages d'être épuisables ou encore d'être très polluantes et même, dans bien des cas, les deux à la fois.

Heureusement, la problématique est de plus en plus prise en considération et l'énergie éolienne est un excellent exemple d'innovation en matière d'approvisionnement en énergie pour de nombreux pays. (...)

En bref, l'énergie éolienne, c'est l'énergie cinétique puisée des vents et convertie en énergie électrique. Elle représente une énergie verte puisqu'elle est à la fois renouvelable et non polluante. (...)

L'énergie éolienne a énormément d'avantages. C'est un domaine qui est rentable et pour lequel les développements technologiques sont rapides. Les coûts de production sont très prévisibles et ceux-ci se stabilisent à long terme. En plus de produire de l'électricité, l'énergie éolienne offre des opportunités de développement économique en ce qui a trait à la fabrication des turbines, en plus de l'installation et de l'opération des parcs éoliens. (...)

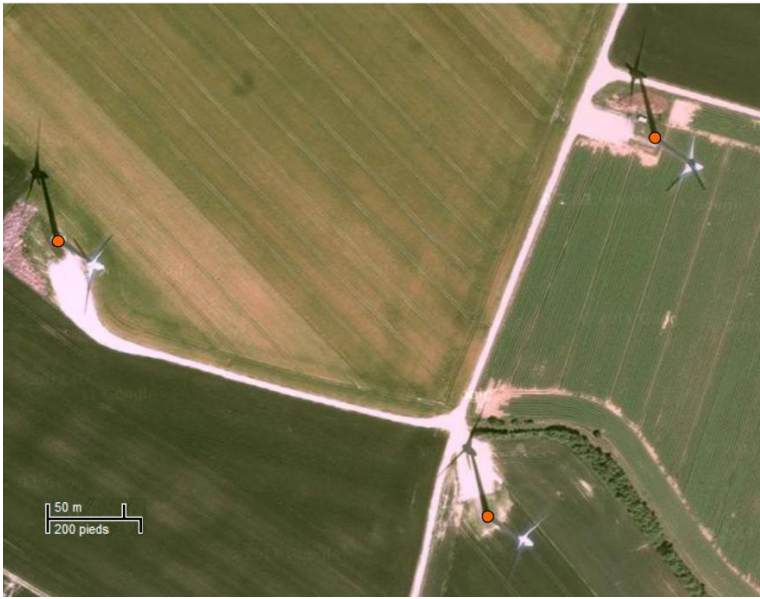
Face à l'environnement, l'énergie éolienne est exemplaire. Elle ne nécessite aucun carburant, n'émet aucun gaz à effet de serre, ne pollue ni l'air ni l'eau, ne détruit pratiquement aucun habitat et ne produit aucun déchet solide, toxique ou nucléaire. De plus, les turbines peuvent facilement être retirées d'un terrain si le besoin se présente et elles utilisent des matériaux recyclables.

Evidemment, il existe certains désavantages à l'énergie éolienne, mais ceux-ci sont nettement supplantés par les nombreux avantages que nous venons d'énumérer. Notons d'abord l'intermittence des vents, qui est toutefois contrôlable grâce aux prévisions météorologiques qui peuvent fournir des données assez précises des prédictions de vent 72 heures à l'avance. Par ailleurs, malgré les perceptions, une turbine éolienne tue moins d'oiseaux annuellement qu'une voiture, qu'un édifice avec beaucoup de fenêtres, ou même qu'un chat; en fait, les oiseaux contournent les turbines, tandis que les tours tubulaires n'offrent pas d'endroits où les oiseaux pourraient nicher. Comme toute infrastructure majeure, les parcs éoliens ne doivent toutefois pas être installés dans les corridors de vol des oiseaux migrateurs. Le bruit et l'esthétique font également partie des inquiétudes les plus souvent soulevées concernant l'énergie éolienne, mais il faut savoir que la technologie avancée en design de turbine tend à éliminer les bruits causés par celles-ci, et les parcs éoliens doivent être installés à des distances appropriées de toute habitation. Pour ce qui est de l'esthétique, les parcs éoliens doivent être installés en considération du paysage.

Propre, infiniment renouvelable, économiquement viable et techniquement fiable, l'énergie éolienne est certainement une énergie sur laquelle nous devons miser dans le temps présent et pour l'avenir de notre planète.

DISTANCES REGLEMENTAIRES

- 1) Dans un parc, les éoliennes sont regroupées par groupes mais doivent être espacées d'au moins 200m afin d'éviter les perturbations. Est-ce le cas sur la photo satellite ci-contre ?



Vue satellite de l'une des fermes du site éolien de Fruges via googlemaps

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- 2) Les éoliennes doivent être placées à au moins 300 m des habitations environnantes. À partir de 500m de distance, elles deviennent inaudibles pour les habitants (elles sont moins bruyantes que le vent).

- a) Sur la photo satellite ci-dessous, La distance réglementaire des éoliennes par rapport aux habitations est-elle respectée ?
- b) Les habitants peuvent-ils craindre d'entendre les éoliennes fonctionner ?



Vue satellite de l'une des fermes du site éolien de Fruges via googlemaps

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Lire en annexe le fonctionnement des éoliennes conventionnelles.

MESURE DU BRUIT

Les données techniques ci-dessous indiquent le niveau sonore enregistré sur une éolienne en fonction de la vitesse du vent.

INTENSITE DU SON

(mode 0 ; 10 m au dessus du sol ; hauteur du moyeu 80 m ; densité de l'air $1,225 \text{ kg/m}^3$)

4 m/s	97,9 dB
5 m/s	100,9 dB
6 m/s	104,2 dB
7 m/s	106,1 dB
8 m/s	107,0 dB
9 m/s	106,9 dB

Document technique de l'éolienne Vestas V90 – 3.0 MW
<http://www.vestas.com/fr/fr/actualités/brochures.aspx>



1. a. Quelle est l'unité utilisée pour mesurer le niveau sonore ?
- b. À quelle distance du sol les mesures sont-elles effectuées ?
- c. Quelle est la hauteur du mât de l'éolienne retenue pour effectuer ces mesures ?
2. Le niveau de bruit de l'éolienne est-il proportionnel à la vitesse du vent ? Justifier.
.....
.....
.....
3. Le niveau sonore double tous les 3 dB.
 - a. Citer deux vitesses de vents entre lesquelles l'éolienne est deux fois plus bruyante.
.....
 - b. Entre des vitesses du vent de 5 m/s et de 9 m/s, combien de fois l'éolienne est-elle plus bruyante ?
.....

Remarque : Au pied de l'éolienne, quand le vent souffle à 7 m/s, le niveau de bruit n'est plus que de 55dB ; et à 500 m de l'éolienne, il chute à 35 dB, soit le niveau d'une conversation à voix basse. En fait le vent dans les oreilles est plus bruyant que l'éolienne elle-même !

INSTALLATIONS URBAINES

Une éolienne à axe vertical pourrait fournir en ville de l'électricité pour 3 logements (chauffage électrique NON compris).

Le nombre de logements de Cambrai a été estimé à 16 458 en 2007.

Source : <http://www.cartesfrance.fr/Cambrai-59400/logement-Cambrai.html>

Combien d'éoliennes de ce type faudrait-il installer sur les toits des immeubles pour fournir de l'électricité (hors chauffage) à l'ensemble des logements de la ville de Cambrai ?

.....
.....
.....

Qu'en penses-tu ? Est-ce réaliste ? Est-ce réalisable ?

.....
.....
.....
.....

Lire en annexe le fonctionnement des éoliennes urbaines.



OBJECTIFS 2020

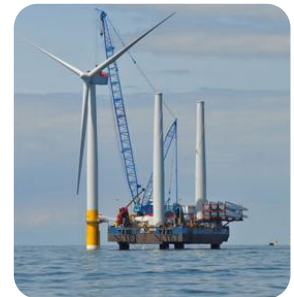
D'ici l'année 2020, 20 % de la production d'électricité en France devra provenir d'énergies renouvelables. L'énergie éolienne, comptant pour un quart de cet objectif, est donc indispensable. Elle devra fournir une puissance de 25 GW, dont 6 GW installée en mer (off-shore), soit environ 8000 éoliennes au total (source : SER-FEE).

Quel pourcentage de la production électrique française les éoliennes devront-elles fournir en 2020 ?

.....
.....

Le Grenelle de l'environnement a donc fixé pour l'éolien en mer un objectif de 6 GW en 2020, ce qui permettra une production de 18 TWh par an, soit l'équivalent de la consommation domestique de 8 millions de Français, chauffage compris (source : SER-FEE).

Lire en annexe le fonctionnement des éoliennes off-shore (en mer).

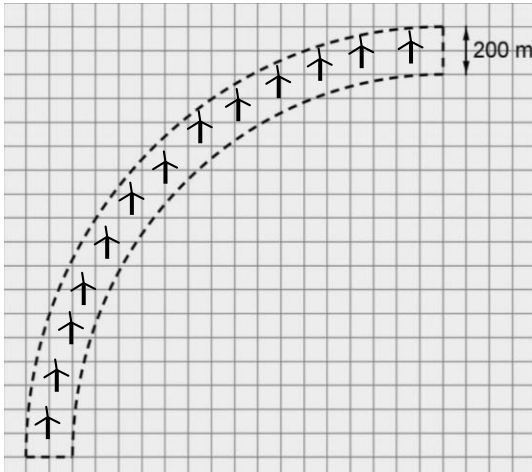


PARC OFF-SHORE



Pour éviter un effet de mur quand on les observe depuis la côte, les éoliennes off-shore (en mer) sont installées en arc de cercle.

Pour des raisons de sécurité, la zone délimitée en pointillés sur la carte ci-dessous est interdite à la navigation.



Quelle est la superficie de la zone interdite à la circulation sur le plan ci-contre ? On choisira une unité appropriée.

Cours : L'aire d'un disque de rayon R est donnée par la formule :

$$\pi \times R \times R \quad (\pi \text{ étant un nombre environ égal à } 3,14)$$

Exemple : L'aire d'un disque de rayon 3 cm est environ égale à : $3,14 \times 3 \times 3 = 28,26 \text{ cm}^2$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

L'hydrolienne, éolienne sous-marine.

La première hydrolienne d'EDF a été immergée en Bretagne le 22 octobre 2011. L'hydrolienne, baptisée «l'Arcouest» et d'un diamètre de 16 mètres pour 850 tonnes, a été immergée à une profondeur de 35 mètres. Elle sera testée avant la création d'un parc de quatre machines pouvant alimenter 2.000 à 3.000 foyers.

Les hydroliennes exploitent l'énergie des courants de marées. Une source d'énergie particulièrement intéressante car elle est régulière et inépuisable. Comme l'éolien utilise l'énergie cinétique de l'air, l'hydrolien utilise l'énergie cinétique de l'eau.

La production d'électricité est prévisible, puisque les marées peuvent être calculées à l'avance.

Les courants marins constituent une ressource énergétique intéressante car la densité de l'eau est importante, 1 000 fois supérieure à celle de l'air.

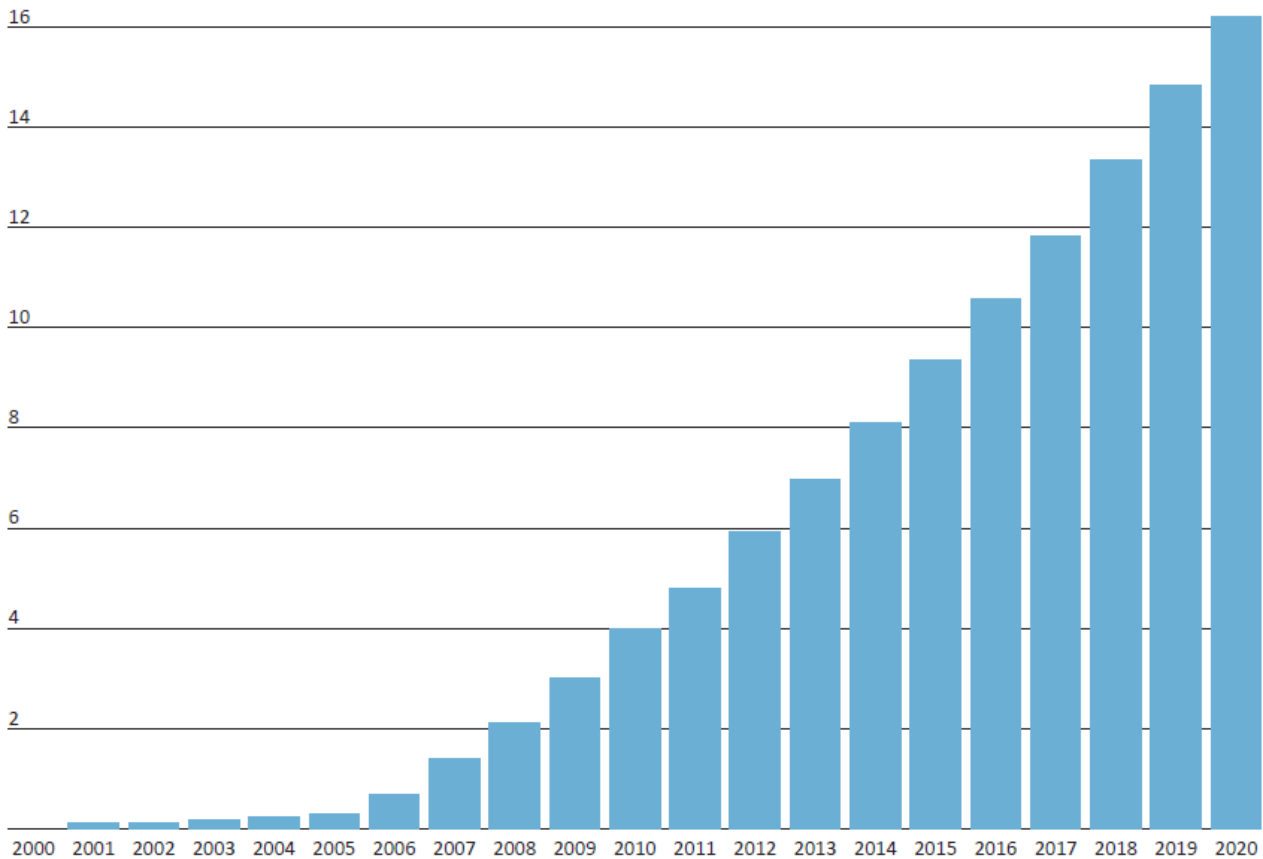


Source : http://www.ecosources.info/dossiers/Hydrolienne_eolienne_sous-marine

ÉMISSIONS DE CO₂

On considère le diagramme ci-dessous qui présente les émissions de CO₂ évitées (en millions de tonnes) en France grâce à l'énergie éolienne depuis 2000, avec une projection jusqu'à 2020.

Source : <http://www.enr.fr/>



Soit l'équivalent de :



1. En 2012, à combien estime-t-on la quantité de CO₂ rejeté dans l'atmosphère qui sera évitée grâce à l'énergie éolienne ?
2. À partir de quelle année évitera-t-on de rejeter environ 8 millions de tonnes de CO₂ ?
3. Entre 2009 et 2019, par combien environ la quantité de CO₂ évitée est-elle multipliée ?
4. Compléter le graphique inférieur (l'équivalent en voitures) pour l'année 2020 (en arrondissant à l'unité de millions).

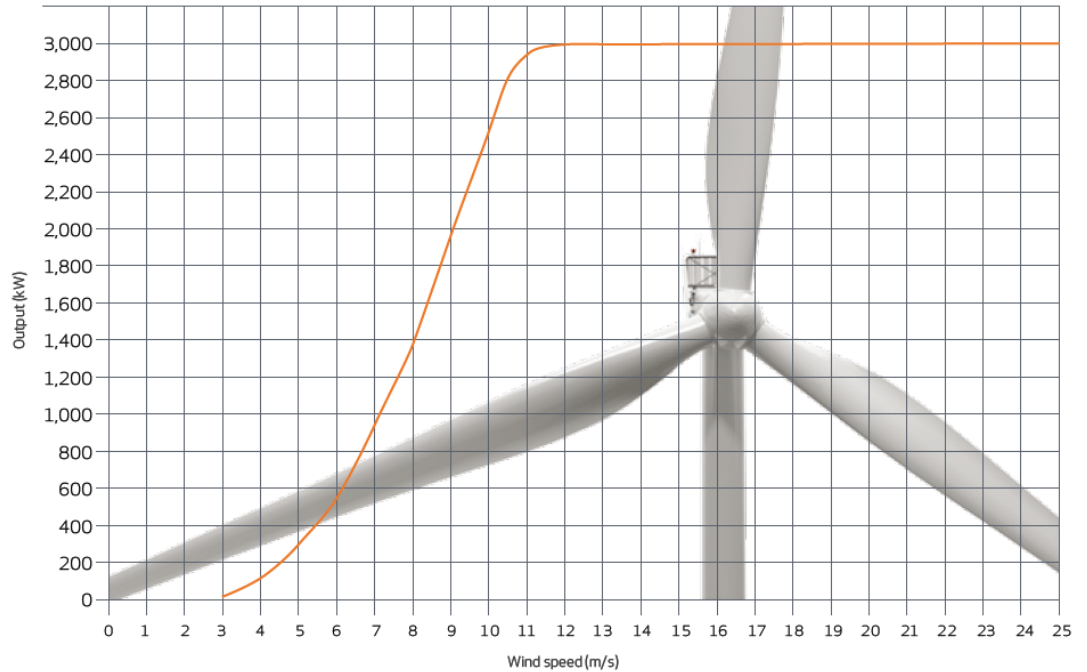
COURBE DE PUISSANCE



Le graphique ci-dessous représente la variation de la puissance d'une éolienne en fonction de la vitesse du vent.



*Notations
anglaises !*



Document technique de l'éolienne VESTAS V112 - 3.0 MW Offshore ; <http://www.vestas.com/en/media/brochures.aspx>

1. À partir de quelle vitesse du vent l'éolienne démarre-t-elle ?

Remarque : pour passer de m/s à km/h, il suffit de multiplier par 3,6.

2. Quelle est la puissance électrique atteinte par l'éolienne quand le vent souffle à 10 m/s ?

3. Quelle est la puissance maximale que peut fournir l'éolienne ?

À partir de quelle vitesse du vent cette puissance maximale est-elle atteinte ?

4. Que signifie la partie horizontale de la courbe ?

.....

5. La puissance électrique fournie est-elle proportionnelle à la vitesse du vent ? Justifier.

.....

.....

.....

6. Le graphique ne va pas au-delà d'une vitesse du vent de 25 m/s (90 km/h).

Que fait l'éolienne lorsque le vent atteint une telle vitesse ?

SIMULATION

En salle pupitre :

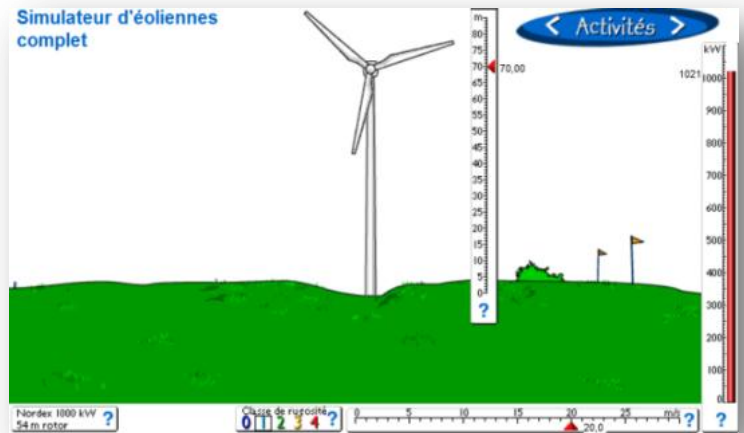
se rendre à l'adresse internet suivante :

<http://doctechno.free.fr/techno/4eme/moulinot/www.talentfactory.dk/fr/kids/assign/turbine.htm>

(site optimisé sous Internet Explorer)

Au cas où le lien ne serait plus valide :

- Rechercher « les aventures de Moulinot »
- Choisir l'activité « Simulateur d'éolienne complet »



1. Choisir l'éolienne Vestas 850 kW avec rotor de diamètre 52 m.
Choisir une rugosité de paysage de classe 3.
Choisir une hauteur pour le moyeu de 60 m.
2. a. À partir de quelle vitesse du vent l'éolienne commence-t-elle à fonctionner ?
Rappel : pour passer de m/s à km/h, il suffit de multiplier par 3,6.
Quelle est alors la puissance fournie ?
b. À partir de quelle vitesse du vent l'éolienne atteint-elle sa puissance maximale ?
c. À partir de quelle vitesse du vent l'éolienne s'arrête-t-elle ?
3. a. Quelle est la puissance fournie quand le vent souffle à 7 m/s ?
b. Quelle est la vitesse du vent si la puissance fournie est de 554 kW ?
c. Quelle peut-être la vitesse du vent si la puissance fournie est de 850 kW ?
4. a. Compléter le tableau suivant :

Vitesse du vent	1 m/s	3 m/s	4 m/s	7 m/s		13 m/s		18 m/s	22 m/s	26 m/s
Puissance fournie					554 kW		846 kW			

- b. La puissance fournie est-elle proportionnelle à la vitesse du vent ? Justifier.
.....
.....
.....
5. Cliquer sur "papier graphique" puis "résultat" pour faire apparaître une représentation graphique montrant la variation de la puissance de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent.

NUCLEAIRE "INDISPENSABLE"

Le tableau ci-dessous indique la répartition selon l'origine de la production d'électricité en France au cours du mois d'avril 2011.

(Source : <http://www.rte-france.com/fr/>)

Nucléaire	80,12 %
Thermique	7,06 %
Hydraulique	9,84 %
Éolien	1,65 %
Autres sources renouvelables	1,33 %



1. Dans ce tableau, citer deux productions d'électricité d'origine renouvelable :

.....

Dans ce tableau, citer deux productions d'électricité qui utilisent une source fossile :

.....

Quelles peuvent être les autres sources renouvelables ?

.....

2. Quelle est la part (en pourcentage) de la production fournie par l'éolien ?
Comparer avec celle fournie par le nucléaire.

3. Supposons qu'il n'y ait plus de nucléaire, ni de thermique et que la part de l'hydraulique reste inchangée.¹ Par combien faudrait-il multiplier l'énergie fournie par l'éolien et les autres sources renouvelables pour satisfaire la consommation intérieure ?

.....

Cela vous semble-t-il irréalisable ?

.....

4. Une énergie électrique de 1 MW.h produit par une éolienne permet d'éviter 3 g de déchets nucléaires de classe B ou C pour lesquels aucune solution de stockage à long terme n'a été trouvée. Sachant que l'éolien a fourni 675000 MW.h en avril 2011 en France, calculer la masse (en tonnes) de déchets nucléaires de classe B ou C ainsi évités par la filière éolienne en France au cours du mois d'avril.

.....

.....

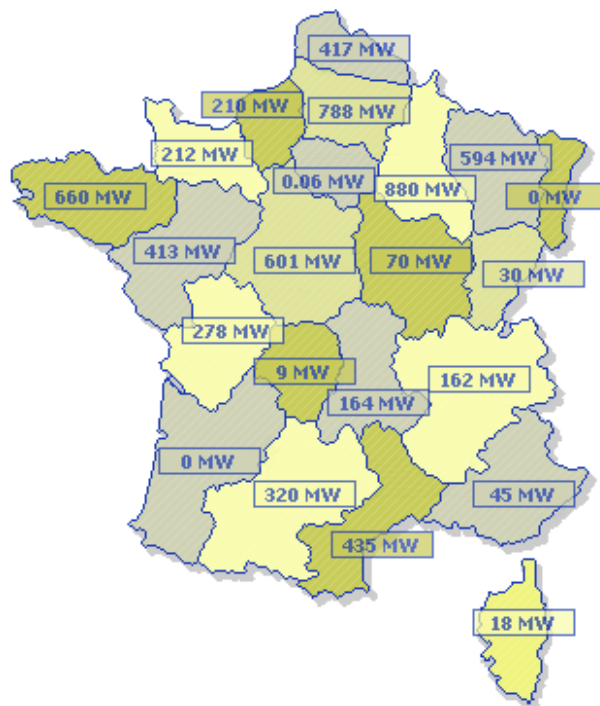
.....

¹ En France, l'hydraulique est presque arrivé à saturation du point de vue du nombre de barrages possibles mais pour chaque site, les technologies peuvent encore progresser afin d'améliorer le rendement (c'est-à-dire améliorer la puissance fournie pour un même débit).

PUISSANCE INSTALLEE EN FRANCE

La carte ci-contre indique la puissance disponible (en Mégawatt) par région sur le parc éolien de la France métropolitaine en octobre 2011.

Source : www.suivi-eolien.com



- Quelle est la puissance totale disponible ?
Comparer avec la puissance totale nucléaire disponible qui est de 62,6 GW (Gigawatt).

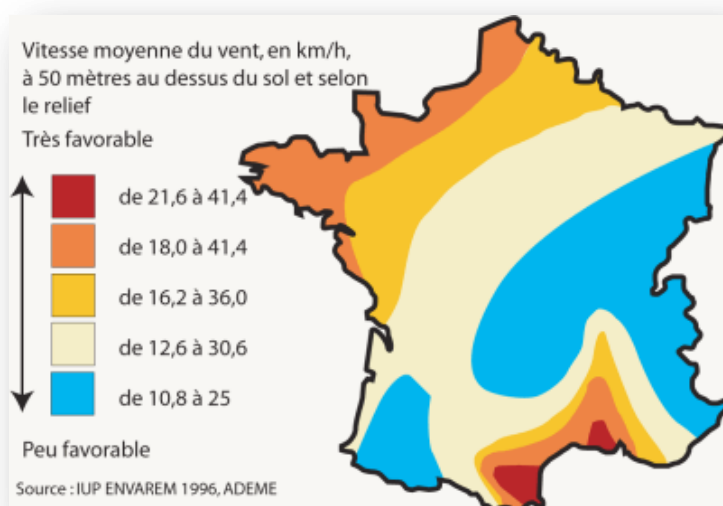
Remarque 1 : 1 MW = 1 000 000 W
1 GW = 1 000 000 000 W

Remarque 2 : Il faut tenir compte dans la comparaison du fait que les centrales nucléaires peuvent être utilisées sans contraintes météorologiques, ce qui n'est pas le cas des éoliennes.

- Quelles sont les régions qui ne disposent pas d'éoliennes ?
Quelle est la région qui dispose de la plus forte puissance ?

- D'après la carte ci-contre, faut-il donner tort ou raison aux régions n'ayant pas installé de parc éolien ? Justifier votre réponse.

.....
.....
.....
.....
.....
.....



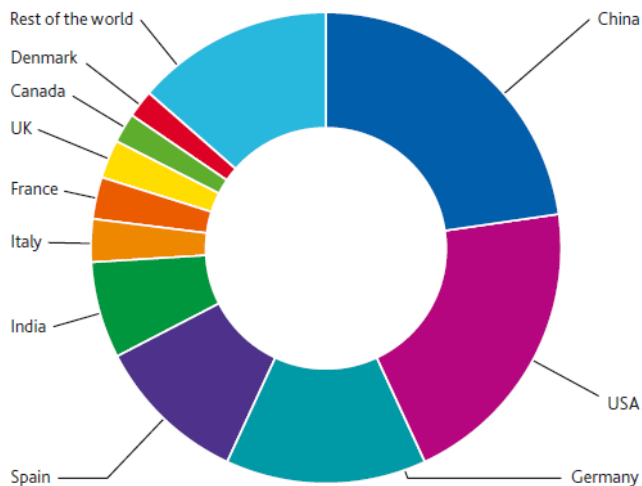
- Notre région Nord-Pas-de-Calais a-t-elle des conditions de vent favorables à l'installation d'éoliennes ?

PUISSANCE INSTALLEE DANS LE MONDE : LE TOP 10 MONDIAL

Le graphique suivant indique la puissance éolienne totale installée dans le monde au mois de décembre 2010 (source : GWEC).



TOP 10 CUMULATIVE CAPACITY DEC 2010



Notations
anglaises !

Country	MW
China	44,733
USA	40,180
Germany	27,214
Spain	20,676
India	13,065
Italy	5,797
France	5,660
UK	5,204
Canada	4,009
Denmark	3,752
Rest of the world	26,749

- En décembre 2010, quelle était la puissance totale installée en France par les parcs éoliens ?
.....
- Quel pays arrive en tête de position ?
De quelle puissance dispose-t-il ?
Par lecture du diagramme, indiquer environ quel pourcentage de la puissance mondiale installée cela représente-t-il ?
- Par lecture du diagramme, indiquer environ quel pourcentage de la puissance mondiale installée les pays du TOP 10 disposent-ils ?
- Par lecture du tableau, citer deux pays limitrophes dont l'un dispose d'une puissance en électricité éolienne environ cinq fois supérieure à celle de son voisin.
.....
- Dans quelle catégorie de ce diagramme le Japon fait-il partie ?
.....

ANNEXE

Eoliennes conventionnelles :

Pour des raisons de stabilité, la plupart des éoliennes modernes sont tripales. Ce type de fonctionnement et de forme s'est très vite imposé sur le marché mondial. Cette éolienne figure en grand nombre sur le territoire Français et constitue l'éolienne la plus courante que l'on rencontre. De conception industrielle, il en existe également pour les particuliers.



Principe de fonctionnement : Les systèmes éoliens captent l'énergie du vent en utilisant de grandes pales montées sur d'importants mât. Le vent fait tourner les pales qui à leur tour font tourner un générateur qui produit de l'électricité. Un moteur électrique commandé par une girouette permet d'orienter l'éolienne face au vent. Différents dispositifs de freinage permettent de stopper la machine en cas de dysfonctionnement ou de vent violent qui risquerait d'endommager l'éolienne.

- Avantages : Les éoliennes modernes sont silencieuses
Impact visuel positif (certains y voient un symbole d'espoir)
- Inconvénients : Fonctionnement par intermittence
Certains modèles anciens sont bruyants
Impact visuel négatif (certains y voient une dégradation du paysage)

Eoliennes urbaines :

Le secteur de l'éolien urbain est en plein essor. A la manière de l'énergie photovoltaïque, l'intégration des éoliennes au bâtiment permet de concentrer la production d'énergie à proximité des consommateurs.

Principe de fonctionnement : Une éolienne urbaine n'a pas de fonctionnement propre car elle est forcément de type Darrieus (photo page 4), Savonius (photo ci-contre) ou conventionnelles.



- Avantages : La structure du bâtiment fait office de support et remplace le mât.
La production d'électricité peut être utilisée sur place, pas de transport donc pas de pertes.
- Inconvénients : Une réalisation spécifique s'impose afin de réduire au maximum les vibrations et le bruit.

Remarque : De nouveaux types d'éoliennes urbaines, plus discrète et plus silencieuses, apparaissent ces dernières années (ci-contre l'Aerocube d'Aeolta, sous certification depuis juillet 2011).



Eoliennes off-shore :

Après les éoliennes sur « terre », il se pourrait bien que l'évolution de l'énergie éolienne s'exprime sur mer, avec l'arrivée des éoliennes maritimes. Le projet est sérieusement étudié et des engins existent déjà. Ce type d'éolienne présente un double avantage :

- Il comble les attentes des pays dont la densité de population élevée pose des problèmes pour la recherche de sites adaptés et d'infrastructures répondants aux contraintes de constructions. Ainsi, le problème de « place » est résolu.
- Malgré le coût de construction plus élevé que sur terre, ces éoliennes maritimes possèdent l'avantage d'avoir une production plus régulière et plus importante que les éoliennes terrestres.

Principe de fonctionnement : Le fonctionnement est le même que pour une éolienne dite "conventionnelle", mais les conditions maritimes impliquent la construction d'éoliennes plus solides : les mâts doivent être conçus pour résister à la force des vagues et celle du courant, la protection anticorrosion doit être renforcée, le raccordement électrique implique des câbles sous-marins.

- Avantages : Énergie propre
Pas ou peu d'impacts visuels
Présence de vent puissant et régulier au large des côtes
- Inconvénient : L'installation est plus onéreuse que pour les éoliennes terrestres



Source : <http://lewebpedagogique.com/p2sfeurs/category/docs-eoliennes/>