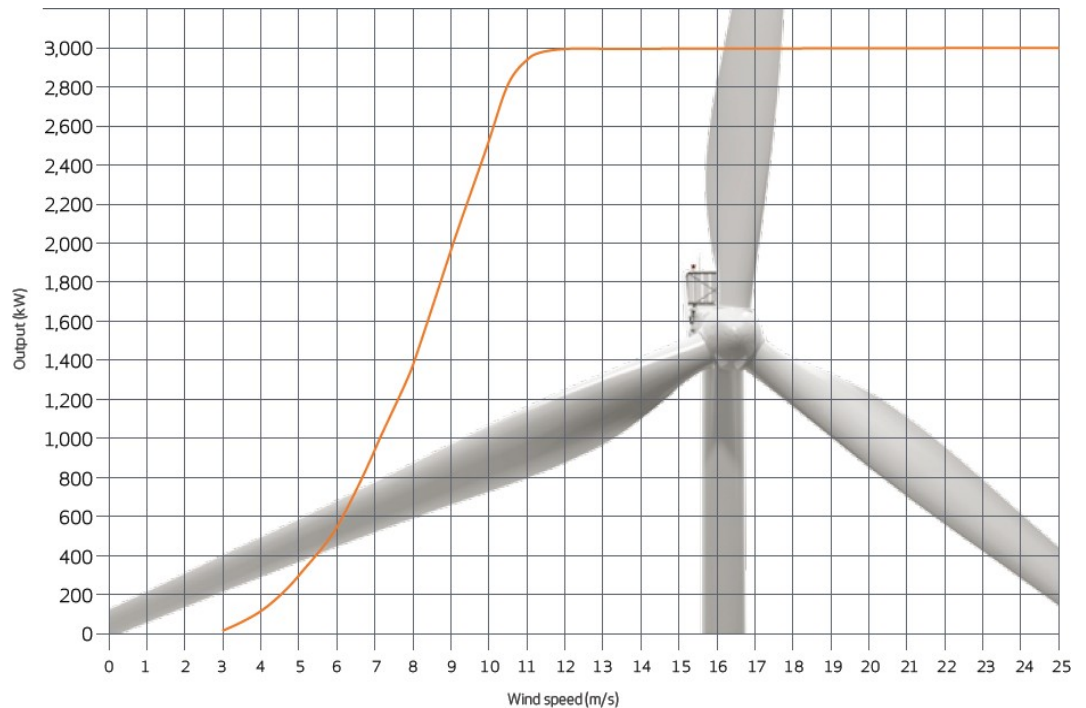


## Exercices sur l'énergie éolienne

### COURBE DE PUISSANCE

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



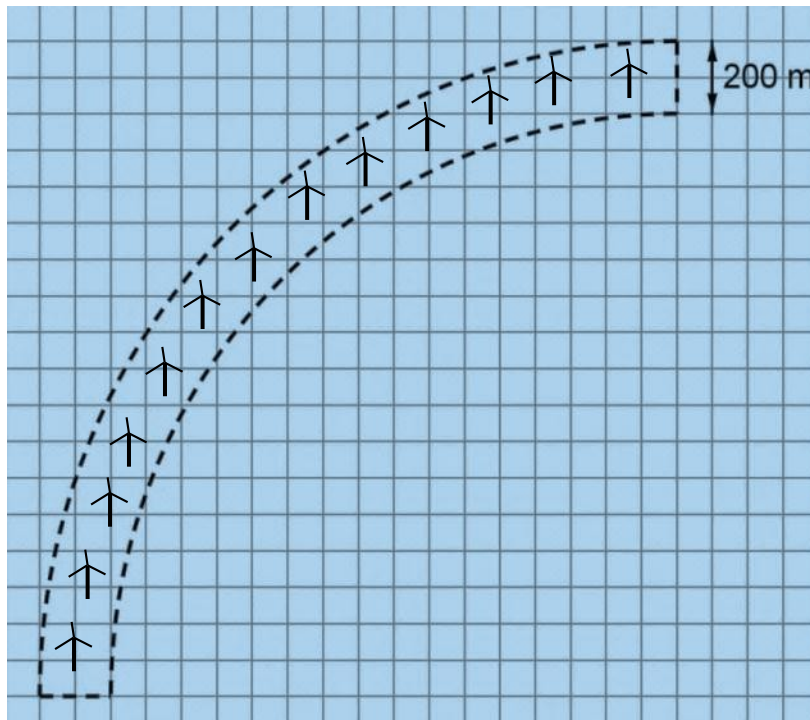
1. À partir de quelle vitesse du vent l'éolienne démarre-t-elle ?
2. Quelle est la puissance électrique atteinte par l'éolienne quand le vent souffle à 10 m/s ?
3. Quelle est la puissance maximale que peut fournir l'éolienne ?  
À partir de quelle vitesse du vent cette puissance maximale est-elle atteinte ?
4. Que signifie la partie horizontale de la courbe ?
5. La puissance électrique fournie est-elle proportionnelle à la vitesse du vent ? Justifier.
6. Comment expliquer que le graphique ne va pas au-delà d'une vitesse du vent de 25 m/s ?  
Que fait l'éolienne lorsque le vent atteint une telle vitesse ?
7. Quelle est environ la puissance électrique fournie quand le vent souffle à 25 km/h ?

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-dessus ? On choisira une unité appropriée.

*Bien expliquer chaque étape de la démarche, même si elle n'aboutit pas complètement. Rédiger une phrase après chaque calcul intermédiaire.*

## INSTALLATIONS URBAINES

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

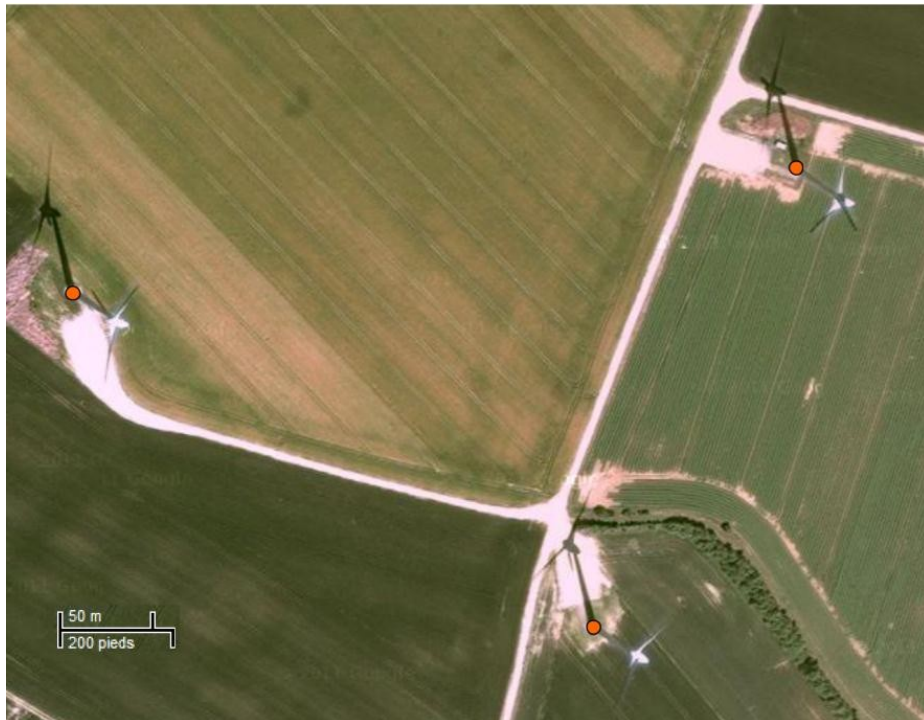
1. Recherche le nombre de ménages de la ville de Lille sur le site de l'INSEE\*.
2. Combien d'éoliennes de ce type faudrait-il installer sur les toits des immeubles pour fournir de l'électricité (hors chauffage) à l'ensemble des ménages de la ville de Lille ?
3. Qu'en penses-tu ?



## DISTANCES RÉGLEMENTAIRES 1

Dans un parc, les éoliennes sont regroupées par groupes mais doivent être espacées d'au moins 200 m afin d'éviter les perturbations.

Est-ce le cas sur la photo satellite ci-dessous ?



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

## DISTANCES RÉGLEMENTAIRES 2

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

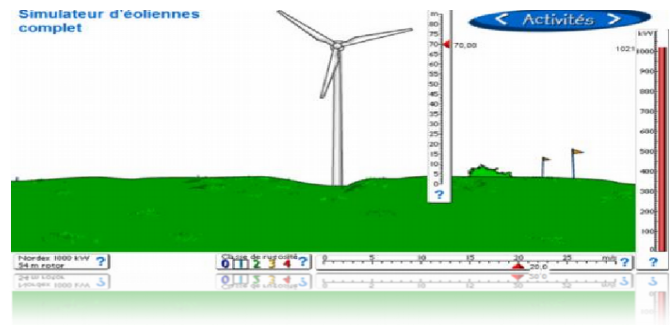
1. Sur la photo satellite ci-dessous, La distance réglementaire des éoliennes par rapport aux habitations est-elle respectée ?
2. Les habitants peuvent-ils craindre d'entendre les éoliennes fonctionner ?



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



Se rendre à l'adresse internet suivante (attention : 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 ? 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. Recopier et compléter le tableau suivant sans oublier d'indiquer un titre pour chaque ligne.

Titre ?	1 m/s	3 m/s	4 m/s	7 m/s		13 m/s		18 m/s	22 m/s	26 m/s
Titre ?					554 kW		846 kW			

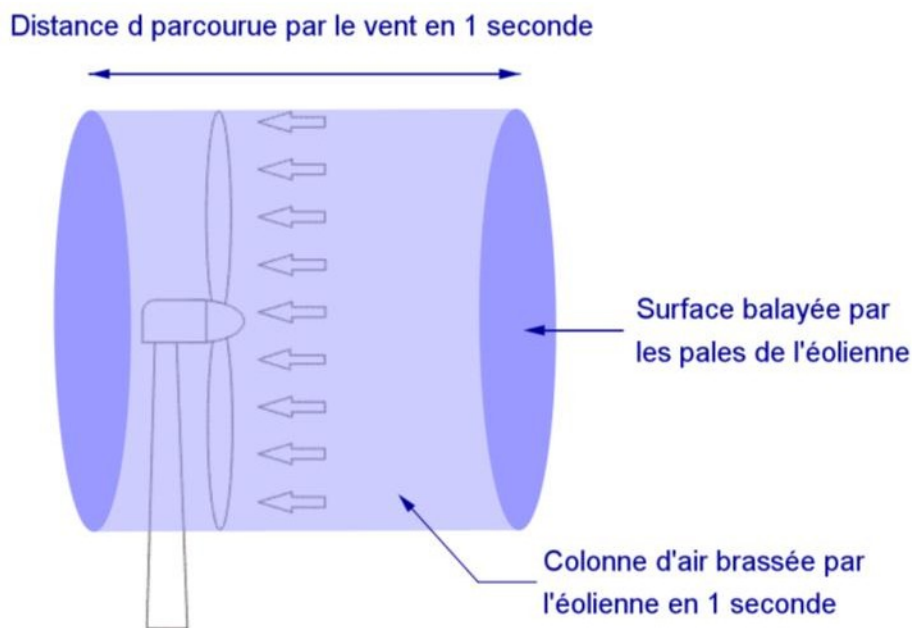
b. La puissance fournie est-elle proportionnelle à la vitesse du vent ? Justifier.

5. Choisir une autre éolienne, une autre hauteur et une autre rugosité de paysage que l'on précisera. Reprendre ensuite toute la question 2 puis enfin dresser un tableau comportant une dizaine de colonnes de données.

6. Soit en utilisant une feuille de papier millimétré, soit à l'aide d'un tableur, construire la représentation graphique montrant la variation de la puissance de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent.

## AIR BRASSÉ

Le schéma ci-dessous représente la colonne d'air brassée par une éolienne dans un temps donné (ici on a choisi pour l'exemple une seconde).



1. Calculer la distance  $d$  parcourue en une seconde par un vent faible dont la vitesse est de 18 km/h.
2. Calculer la surface balayée par une éolienne dont le rotor a un diamètre de 90 m.
3. Dédire des réponses précédentes le volume d'air brassé en une seconde par une éolienne dont le rotor a un diamètre de 90 m quand le vent souffle à la vitesse de 18 km/h.
4. a. La densité de l'air est de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ <sup>1</sup>. En déduire alors la masse d'air brassée en une seconde par une éolienne dont le rotor a un diamètre de 90 m quand le vent souffle à la vitesse de 18 km/h.
- b. En considérant que le poids d'un éléphant adulte est en moyenne de 6 tonnes, calculer le nombre d'éléphants brassés en une seconde (!) par

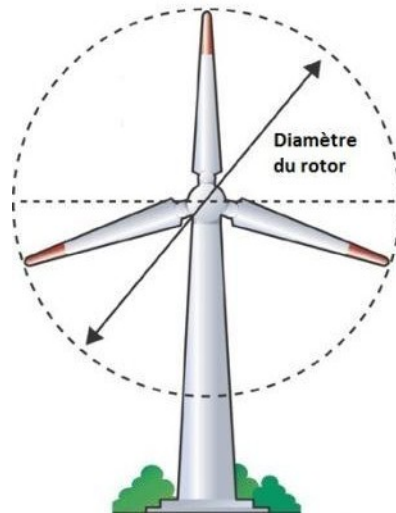


une éolienne dont le rotor a un diamètre de 90 m quand le vent souffle à la vitesse de 18 km/h.

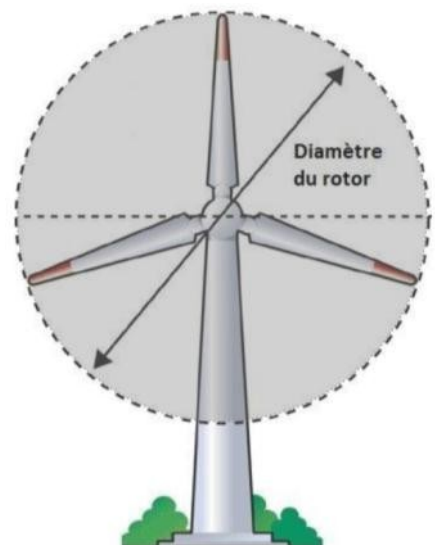
5. Reprendre les questions précédentes pour une éolienne géante dont le rotor a un diamètre de 164 m (éolienne offshore) avec un vent fort de 45 km/h.

### ÉTONNANTES ÉOLIENNES

1. Lorsqu'une éolienne atteint son plein régime, son rotor effectue 16 tours par minute. Si l'on considère une éolienne dont le rotor a un diamètre de 90 m, quelle est alors la vitesse en km/h à l'extrémité des pales ?



2. Quelle est en  $m^2$  la superficie de la surface balayée par une éolienne dont le rotor a un diamètre de 90 m ?
3. On remplace le rotor d'un diamètre de 90 m par un rotor de diamètre 112 m.
  - a. Par combien environ le diamètre est-il multiplié ?
  - b. Quel pourcentage d'augmentation du diamètre cela représente-t-il à peu près ?
  - c. Par combien alors la surface balayée par les pales est-elle multipliée ?
  - d. En déduire la surface balayée par une éolienne dont le rotor a un diamètre de 112 m. Comparer avec la surface d'un terrain de football de dimensions 125 m par 90 m.



e. Quel est environ le pourcentage d'augmentation de la surface balayée par les pales quand on passe d'un rotor de diamètre 90 m à un rotor de diamètre 112 m ?

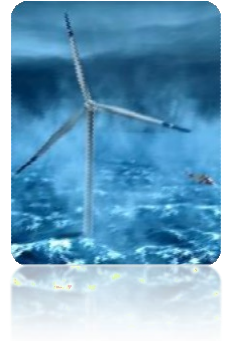
### FORMULE DE PUISSANCE

La puissance électrique récupérable par une éolienne est donnée par la formule

$$P = 0,14 \times D^2 \times V^3$$

Où :

- P désigne la puissance en W (Watts),
- D désigne le diamètre du rotor en m (mètres),
- V désigne la vitesse du vent en m/s (mètres par seconde).



1. Calculer en MW (mégawatts) la puissance récupérable par une éolienne offshore de diamètre 125 m quand le vent souffle à la vitesse de 12 m/s.
2. La première éolienne installée en France (à Port-la-Nouvelle dans l'Aude) en 1991 avait un diamètre de 25 m. Pour une même vitesse du vent, par combien la puissance est-elle multipliée en passant à un diamètre de 125 m ?
3. Pour un diamètre fixé, par combien la puissance récupérable est-elle multipliée quand on passe d'un vent de 6 m/s à un vent de 12 m/s ?
4. Sur feuille millimétrée, ou à l'aide d'un tableur, représenter la variation de la puissance en kW (kilowatts) en fonction de la vitesse du vent (de 4 à 13 m/s) pour une éolienne de diamètre 90 m.

$P_{absolue} = 1/2 \rho S V^3$  Avec S surface balayée par le rotor,  $\rho$  densité de l'air en  $\text{kg/m}^3$  \*, V vitesse du vent en m/s.

$P_{maximale} = \frac{16}{27} \times P_{absolue}$  C'est la limite de Betz.

$P_{récupérable} = P_{maximale} \times 50 \text{ à } 55 \%$  Perte due à la distribution sur le réseau en plusieurs étapes de conversion.



\* L'industrie éolienne utilise comme standard la densité de l'air sec à la pression atmosphérique au niveau de la mer à la température de 15°C soit 1,225.

## FACTEUR DE CHARGE



1. Supposons que le vent souffle assez fort pour qu'une éolienne fournisse sa puissance maximale de 2 MW pendant 3 heures. Elle fournira alors une énergie électrique de 6 MW.h (mégawatts heures) car  $2 \text{ MW} \times 3 \text{ h} = 6 \text{ MW.h}$ 
  - a. Supposons que le vent souffle suffisamment fort pendant 6 jours pour que cette éolienne fournisse **toujours** sa puissance maximale de 2 MW. Quelle serait alors l'énergie électrique fournie par cette éolienne pendant ces 6 jours complets ?
  - b. En réalité, sur ces 6 jours, le vent a été variable si bien que l'éolienne a fourni :
    - sa puissance maximale de 2 MW pendant 1 jour,
    - une puissance de 1,5 MW pendant 2 jours,
    - une puissance de 0,5 MW pendant 3 jours.
Calculer l'énergie électrique fournie (en MW.h) par cette éolienne durant ces 6 jours. En déduire quelle a été, durant cette période, la puissance moyenne fournie (en MW) par cette éolienne.
  - c. La puissance moyenne fournie à la question b. (où l'éolienne ne fournit pas toujours sa puissance maximale) représente un certain pourcentage de la puissance maximale délivrable par l'éolienne. Calculer ce pourcentage. Ce pourcentage est appelé *facteur de charge* de l'éolienne.
2. En avril 2011, la puissance totale du parc éolien français était de près de 6 000 MW soit 6 GW.
  - a. En supposant que cette puissance maximale ait été fournie pendant tout le mois d'avril, calculer quelle aurait été alors l'énergie électrique fournie en GW.h durant ce mois.
  - b. En réalité, durant le mois d'avril 2011, le facteur de charge du parc éolien français n'a été que de 16 % environ. Calculer l'énergie électrique fournie (en GW.h) par l'ensemble du parc éolien français durant ce mois d'avril.