

Thème : AGIR – Défis du XXI^{ème} siècle

(Sous-thème : Economiser les ressources et respecter l'environnement)

Type de ressources :

Pistes d'activités illustrant les notions du programme et permettant un approfondissement.
Références bibliographiques et sitographie.

Notions et contenus :

Enjeux énergétiques

Nouvelles chaînes énergétiques.

Compétence travaillée ou évaluée :

Extraire et exploiter des informations.

Nature de l'activité :

Activité documentaire.

Résumé (en 5 lignes au plus) :

L'activité se déroule en quatre parties :

- Le préambule permet de poser la problématique énergétique.
- La partie A permet d'estimer la puissance potentiellement récupérable par une éolienne.
- La partie B permet d'estimer la puissance récupérable.
- La partie C permet d'estimer la puissance récupérée et de conclure.

Mots clefs : énergie cinétique, énergies renouvelables, éolienne, puissance, rendement.

Académie où a été produite la ressource : Académie d'Orléans-Tours

<http://physique.ac-orleans-tours.fr/>

Les éoliennes

Conditions de mise en œuvre : activité de réinvestissement et de découverte, en classe entière, durée approximative : 1h.

Cette activité propose dans un premier temps de visionner une conférence sur les énergies renouvelables qui pose clairement la problématique énergétique actuelle, puis d'étudier une situation concrète (une éolienne).

Les élèves disposent alors de divers documents (communiqué de presse, fiche technique, extraits de Wikipédia, schémas, ...) dans lesquels ils pourront trouver des valeurs numériques, une formule ou un indice nécessaires pour répondre aux questions de l'activité.

L'activité se déroule en quatre parties :

- Le préambule permet de poser la problématique énergétique.
- La partie A permet d'estimer la puissance potentiellement récupérable par une éolienne.
- La partie B permet d'estimer la puissance récupérable.
- La partie C permet d'estimer la puissance récupérée et de conclure.

Le préambule est totalement indépendant des parties A, B et C qui représentent le cœur de l'activité.

Le préambule consiste à visionner une conférence et à répondre à quelques questions : il peut être traité comme un travail à faire à la maison à condition que tous les élèves aient accès à Internet (chez eux, au CDI ...).

Seules les parties A et B nécessitent une recherche en classe car les élèves peuvent avoir besoin de l'aide du professeur.

La partie C peut être recherchée à la maison en prolongement de l'activité.

On pourra utiliser l'espace numérique de travail (ENT) de l'établissement pour proposer une version numérisée des documents et éviter ainsi de faire de nombreuses photocopies. Le recours à l'ENT pourra permettre éventuellement une lecture en amont des documents.

Extrait du BO :

Notions et contenu	Compétences exigibles
Enjeux énergétiques Nouvelles chaînes énergétiques.	Extraire et exploiter des informations sur des réalisations ou des projets scientifiques répondant à des problématiques énergétiques contemporaines.

Compétences travaillées :

- **Compétences du préambule du cycle terminal :** rechercher ; extraire et organiser l'information utile ; mobiliser ses connaissances.
- **Compétences « extraire et exploiter » :** s'interroger de manière critique sur la valeur scientifique des informations ; modéliser (établir les équations du modèle, utiliser et confronter le modèle à des résultats expérimentaux) ; comparer des ordres de grandeur ; analyser de façon critique un résultat.

Pré-requis : - définition de l'énergie cinétique (1^{ère} S)
- distinguer puissance et énergie (1^{ère} S)

Préambule

Document à visionner : conférence proposée par l'UTLS
« Les énergies renouvelables » d'Antoine Moreau (47 minutes)

http://www.canal-u.tv/producteurs/universite_de_tous_les_savoirs_au_lycee/dossier_programmes/utls_au_lycee_2010/les_energies_renouvelables_antoine_moreau2

Pistes de questions :

1. Quelles sont les trois sources d'énergie sur Terre ?
2. Expliquer en quelques mots le défi énergétique auquel nous allons être confrontés dans les 50 prochaines années.
3. Faire la liste des énergies renouvelables (EnR, en abrégé). Préciser un avantage et un inconvénient pour chacune.
4. Quelle(s) solution(s) est(sont) envisagée(s) pour demain ?

LES EOLIENNES

Le XXI^{ème} siècle est confronté à un défi énergétique sans précédent. La demande mondiale croît de façon massive et inéluctable. Les ressources en pétrole et en gaz, matières premières non renouvelables, ne pourront y répondre indéfiniment ; mais il n'existe pas pour autant d'autres énergies susceptibles de les remplacer rapidement et massivement.

Un des grands enjeux actuels réside dans la recherche de solutions alternatives permettant d'offrir d'autres modes de production d'énergie.

L'étude qui suit, s'intéresse à une solution envisagée parmi d'autres : l'éolienne.

A l'aide des documents ci-dessous et de vos connaissances, vous allez estimer la puissance maximale que l'on peut espérer convertir en puissance électrique avec l'éolienne dont la fiche technique est donnée dans le document 2. On notera L la longueur de ses pâles.

A. Puissance potentiellement récupérable

Dans cette première partie, nous cherchons à estimer la puissance cinétique contenue dans l'air, c'est-à-dire la puissance du vent potentiellement récupérable avec une éolienne ou un autre dispositif.

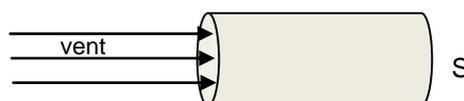


Figure 1

Considérons un vent régulier à la vitesse v . Imaginons un cylindre (fig.1) découpé dans l'air, de rayon L (longueur des pâles) et de longueur $d = v \times t$ (correspondant à la distance parcourue par un petit échantillon d'air pendant une durée t). Ce cylindre (de volume V) renferme tout l'air qui va traverser la section S pendant la durée t . En notant ρ la masse volumique de l'air, la masse d'air contenue dans ce cylindre est donnée par la relation : $m = \rho \times V = \rho \times d \times S = \rho \times v \times t \times \pi \times L^2$

1. Exprimer l'énergie cinétique E_c de la masse m d'air contenue dans ce cylindre (c'est-à-dire l'énergie cinétique du vent) en fonction de t , L , v et ρ .
2. En déduire l'expression de la puissance du vent potentiellement récupérable : $P_0 = \frac{E_c}{t}$. Vérifier que votre résultat est compatible avec celui proposé dans le document 5.
3. Faire l'application numérique pour les conditions de vent et les paramètres caractéristiques de l'éolienne décrite dans le document 2. Retrouve-t-on la puissance nominale donnée par la fiche technique ?

Cette puissance est une puissance théorique, il est bien sûr impossible qu'elle soit intégralement récupérée, cela reviendrait à arrêter le vent ! Poursuivons l'étude.

B. Puissance récupérable

En pratique, une éolienne freine le vent : la vitesse v_1 du vent en amont du rotor est toujours supérieure à la vitesse v_2 du vent en aval.

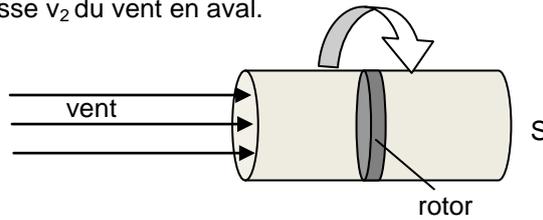


Figure 2

Pour une durée t , la masse d'air qui entre dans la surface balayée par le rotor est identique à celle qui en sort. Ainsi l'énergie E extraite du vent par l'éolienne correspond à la différence des énergies cinétiques : $E = E_{c1} - E_{c2} = \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{1}{2} m v_2^2$.

Si l'on remplace la vitesse v du vent régulier par la vitesse moyenne du vent entre amont et aval, soit $v = \frac{1}{2} (v_1 + v_2)$ dans l'expression de la masse donnée dans la partie A (cette hypothèse s'appelle l'hypothèse de Betz), on trouve que la puissance P extraite du vent par le rotor s'écrit :

$$P = \left(\frac{P_0}{2} \right) \times \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \times \left[1 + \frac{v_2}{v_1} \right]$$

Interprétation physique :

1. Que se passe-t-il si $v_1 = v_2$? Que se passe-t-il si $v_2 = 0$? Ces deux cas extrêmes sont-ils plausibles ? Justifier.
2. Recherche des conditions optimales :
 - 2.A. A quoi correspond le rapport P/P_0 ?
 - 2.B. Utiliser la formule ci-dessus pour compléter le tableau suivant :

v_2/v_1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
P/P_0											

- 2.C. Tracer P/P_0 en fonction du rapport v_2/v_1 .
- 2.D. A partir du graphique obtenu, déterminer la puissance maximale P_{\max} que l'on peut espérer convertir en électricité avec l'éolienne décrite dans le document 2.
- 2.E. Votre résultat est-il compatible avec la puissance nominale affichée par le constructeur ? Pourquoi ?

C. Puissance récupérée ...

1. Le calcul précédent ne prend pas en compte les pertes énergétiques occasionnées lors de la conversion de l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. En pratique, la puissance maximale P_{\max} calculée partie B, question 2.D est affectée d'un coefficient de performance, noté c , propre au type et au modèle d'éolienne. Ce coefficient est en général compris entre 0,20 et 0,70. Dans le cas de l'éolienne décrite dans le document 2, le coefficient a été estimé à 0,47.
 - 1.A. Déterminer la puissance que l'on peut effectivement récupérer avec cette éolienne.
 - 1.B. Votre résultat est-il compatible avec la puissance nominale affichée par le constructeur ? Justifier.
2. Le plus grand problème de l'énergie éolienne est son caractère intermittent : elle n'est pas produite à la demande, mais selon les conditions météorologiques. Une éolienne produit, en moyenne, l'équivalent de moins de 20 % du temps.
 - 2.A. Calculer un ordre de grandeur de la durée annuelle d'utilisation par an.
 - 2.B. Que devient alors la puissance moyenne annuelle ?
3. En vous aidant des documents 1 et 7, déterminer le nombre d'habitants qui pourra bénéficier de l'énergie électrique produite annuellement par cette éolienne. Conclure.

Document 1 : Communiqué de presse de EDF EN

COMMUNIQUE DE PRESSE

Paris, le 6 janvier 2011

EDF Energies Nouvelles met en service un parc éolien de 20,7 MW en France

EDF Energies Nouvelles annonce la mise en service, fin décembre 2010, du parc éolien de Corbières Méditerranée, d'une capacité installée de 20,7 MW.

Situé dans le département de l'Aude, le parc éolien de Corbières Méditerranée compte neuf éoliennes d'une puissance unitaire de 2,3 MW, fournies par le fabricant allemand Enercon.

« Le développement du parc éolien de Corbières Méditerranée est une très belle réussite qui démontre le dynamisme de nos équipes françaises », déclare Yvon André, Directeur Général Délégué d'EDF Energies Nouvelles, en charge des activités France. « La production de ce parc fournit l'équivalent de la consommation électrique annuelle de plus de 20 000 habitants. »

Cette nouvelle réalisation du Groupe illustre la poursuite des efforts de développement de projets éoliens menés en France. Au 31 décembre 2010, EDF Energies Nouvelles avait développé et construit 511,3 MW bruts sur le territoire national, dont 122,2 MW ont été cédés.

Document 2 : Extrait de la fiche technique d'une éolienne.

Caractéristiques opérationnelles :

- Puissance nominale : 2 300 kW
- vitesse de vent nominale : 15,0 m.s⁻¹

Rotor :

- Diamètre : 71m
- Surface balayée : 3 959 m²
- Nombre de pâles : 3
- Vitesse de rotation : 6 – 21,5 tr/min

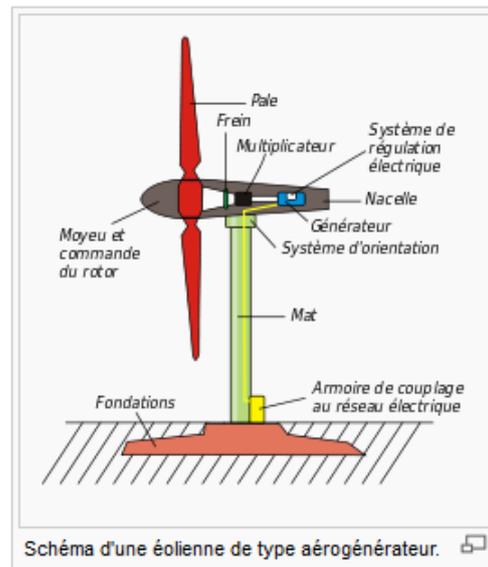
Mât :

- type : tubulaire en acier
- Hauteur du moyeu : 64 m / 85 m / 98 m

Fondation :

- fondation en béton armé

Document 3 : Extrait de Wikipédia



Document 4 : Parc d'éoliennes (crédit photo EDF)



Document 5 : Puissance théoriquement récupérable (Extrait de Wikipédia)

Puissance théoriquement récupérable

La puissance du vent contenue dans un cylindre de section S est :

$$P_{\text{cinétique}} = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^3$$

avec :

ρ : masse volumique de l'air (air atmosphérique sec, environ : 1,23 kg/m³ à 15 °C et à pression atmosphérique 1,0132 bar)

V : vitesse du vent en m/s.

Une éolienne ne permet de récupérer qu'une partie de cette puissance, car l'écoulement ne peut pas avoir une vitesse nulle après son passage à travers la turbine (dans le cas contraire, cela reviendrait à « arrêter le vent »).

Document 6 : L'éolien (sources : <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/espace-decouverte/les-cles-pour-comprendre/les-sources-d-energie/les-energies-renouvelables#3>)

L'éolien



L'énergie éolienne est produite grâce à la force exercée par le vent sur les pales d'une hélice. Cette hélice est montée sur un mât de 50 à 110 mètres de haut, et le diamètre du cercle balayé par les 3 pales varie de 40 à 120 mètres.

• **Le principe :**

Le vent fait tourner les pales, entre 10 et 25 tours par minute. L'énergie mécanique produite est transformée par un générateur en énergie électrique, dont la quantité dépend de la surface balayée.

Document 7 : Les chiffres de la Commission de Régulation de l'Energie (sources <http://www.fournisseurs-electricite.com>)

Pour la CRE, dans son dernier Observatoire des Marchés, les 30 millions de foyers français consomment chaque année 142 TWh. On retrouve ainsi une consommation d'électricité par foyer de l'ordre de 4700 kWh.