

Prénom :

Nom :

# FINAL ER54 AUTOMNE 2010 (25 POINTS)

B. Blunier, R. Roche

**AVANT TOUTE CHOSE** : Mettez votre nom sur **chaque** feuille et signez chaque feuille.

## QUESTIONS DE COURS (12 POINTS)

*Aucun document autorisé dans cette partie*

### QUESTIONS OUVERTES (6,5 POINTS)

1. **(0,5 pt)** Donnez l'équation générale reliant la puissance et l'énergie (-2 pt si faux ou non répondu).

2. **(1,5 pt)** Donner le schéma électrique équivalent le plus complet possible d'une cellule photovoltaïque

Signature :

Prénom :

Nom :

3. **(1,5 pt)** Expliquez brièvement pourquoi une cellule photovoltaïque à base de Silicium (par exemple) n'est pas capable de convertir toute l'énergie provenant du rayonnement solaire (photons).

4. **(1 pt)** Donnez le nom des différentes technologies de centrales solaires thermodynamiques

5. **(1 pt)** Définir, nommer et donner la valeur maximale théorique du coefficient de puissance ( $C_p$ ) d'une éolienne

Signature :

Prénom :

Nom :

6. **(1 pt)** Lister les trois formes d'énergie que l'on peut retrouver dans une centrale hydroélectrique et donner la relation par laquelle elles sont liées

### QCM (2,5 POINTS)

Pour les QCM, des points sont enlevés (la moitié des points de la question) si la réponse à la question est fausse.

1. **(0,5 pt)** Quand la vitesse du vent est multipliée par 2, la puissance du vent est multipliée par
  - a. 2
  - b. 4
  - c. 8
  - d. 12
2. **(0,5 pt)** Si le diamètre d'une éolienne est multiplié par 2, sa puissance sera multipliée par
  - a. 2
  - b. 4
  - c. 8
  - d. 10
3. **(0,5 pt)** Dans lequel des deux scénarios suivants, une éolienne produit-elle le plus d'énergie ?
  - a. un vent de 6 m/s pendant 100 h
  - b. un vent de 3 m/s pendant 50 h et 9 m/s pendant 50 h
4. **(0,5 pt)** Le prix de rachat du kWh d'origine photovoltaïque, pour de petites installations (<3 kWc), est en 2010 de
  - a. 52 cts €
  - b. 56 cts €
  - c. 58 cts €
  - d. 62 cts €
5. **(0,5 pt)** À 25°C, la chute de tension aux bornes d'une diode de type jonction p-n (avec un courant inverse de saturation de  $10^{-9}$  A) pour un courant de 1 A vaut
  - a. 0 V
  - b. 0,532 V
  - c. 0,592 V
  - d. 1,0 V

### VRAI OU FAUX. PAS DE JUSTIFICATION DEMANDÉE (3 POINTS)

1. **(0,5 pt)** \_\_\_\_\_ Il est préférable d'un point de vue économique d'avoir une seule éolienne d'une puissance  $P$  que  $n$  petites éoliennes de puissance  $P/n$

Signature :

Prénom :

Nom :

2. **(0,5 pt)** \_\_\_\_\_ Il est possible en théorie de construire une éolienne capable de récupérer toute l'énergie du vent.
3. **(0,5 pt)** \_\_\_\_\_ Si trop d'éoliennes sont connectées au réseau, elles peuvent générer des instabilités sur le réseau.
4. **(0,5 pt)** \_\_\_\_\_ La hauteur d'une éolienne offshore est généralement plus petite qu'une éolienne construite sur un terrain rugueux.
5. **(0,5 pt)** \_\_\_\_\_ L'énergie d'origine hydroélectrique est la forme d'énergie renouvelable la plus importante en France à l'heure actuelle.
6. **(0,5 pt)** \_\_\_\_\_ Si l'on double la surface des aubes d'une roue à aube, elle pourra en théorie développer une puissance 8 fois plus grande.

Signature :

Prénom :

Nom :

**AVANT TOUTE CHOSE** : Mettez votre nom sur **chaque** feuille et signez chaque feuille.

## ANALYSE D'UN CHAMP ÉOLIEN (13 POINTS)

Documents autorisés : une feuille A4 recto-verso manuscrite et calculatrice

### RAPPELS DU COURS

#### IMPACT DE LA RUGOSITÉ DU SOL SUR LA VITESSE DU VENT

L'expression « européenne » pour caractériser l'impact de la rugosité à la surface de la terre sur la vitesse du vent est la suivante :

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\ln(h/z)}{\ln(h_0/z)}$$

où  $z$  est la longueur de rugosité (voir **Tableau 1**),  $v$  est la vitesse à l'altitude  $h$  et  $v_0$  est la vitesse du vent à l'altitude  $h_0$ .

**Tableau 1 : Correspondance entre la classe de rugosité et la longueur de rugosité d'un terrain**

Classe de rugosité	Description	Longueur de rugosité $z$ (m)
0	Surface de l'eau	0,0002
1	Surfaces ouvertes avec peu de brise-vent	0,03
2	Campagne avec des brise-vent à plus de 1 km aux alentours	0,1
3	Ville ou campagne avec beaucoup de brise-vent	0,4
4	Ville dense ou forêt	1,6

#### DÉFINITION ET PROPRIÉTÉ DE LA DISTRIBUTION DE RAYLEIGH

On rappelle la fonction relative à la distribution de Rayleigh :

$$f_{\text{Rayleigh}}(v) = \frac{2v}{c^2} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right)$$

Il a été démontré que, pour une distribution de Rayleigh, la relation entre le facteur d'échelle  $c$  et la vitesse moyenne du vent  $v_{\text{moy}}$  est la suivante :

$$c = \frac{2}{\sqrt{\pi}} v_{\text{moy}}$$

De même, toujours dans le cas d'une distribution de Rayleigh, on peut démontrer la relation entre  $(v^3)_{\text{moy}}$  et  $(v_{\text{moy}})^3$  :

$$(v^3)_{\text{moy}} = \frac{6}{\pi} (v_{\text{moy}})^3$$

Signature :

Prénom :

Nom :

La fonction de répartition associée à la distribution de Rayleigh est la suivante :

$$F_{\text{Rayleigh}}(V) = p(v \leq V) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4}\left(\frac{V}{v_{\text{moy}}}\right)^2\right)$$

### ÉNONCÉ

On considère un champ éolien sur lequel sont implantées  $x$  (à déterminer dans la dernière question) éoliennes Nordex N90/2300 espacées chacune de  $7D$  (7 diamètres de rotor) entre les colonnes et de  $4D$  entre les lignes (voir Figure 1)

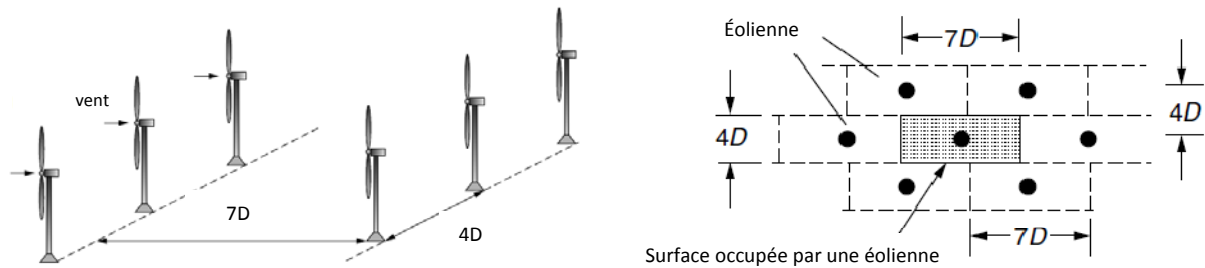


Figure 1 Implantation des éoliennes ( $D$ =diamètre du rotor)

Une éolienne Nordex N90/2300 a les caractéristiques suivantes :

- une génératrice d'une puissance électrique  $P_{\text{gene},e} = 2300 \text{ kW}$  ayant un rendement de  $\eta_{\text{gene}} = 90 \%$  ;
- un rotor d'un diamètre de  $D = 90 \text{ m}$  ;
- une tour de 100 mètres ;
- la courbe de fonctionnement de l'éolienne est illustrée par la Figure 2 ci-dessous.

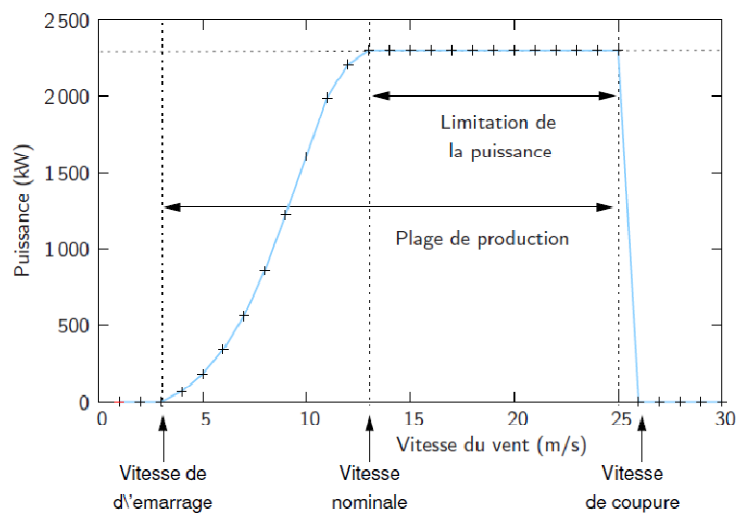


Figure 2 : Courbe de fonctionnement de l'éolienne Nordex N90 2300 kW. Vitesse de démarrage=4 m/s ; Vitesse nominale=13 m/s ; Vitesse de coupure=25 m/s

Signature :

Prénom :

Nom :

Une campagne de mesures de la vitesse du vent sur le site éolien, à une hauteur de 10 m, a permis de conclure que :

- la vitesse moyenne du vent sur le site est égale à 6 m/s ;
- la distribution des vitesses de vent répond à une loi de Rayleigh ;
- La classe de rugosité du terrain est de 1 ;
- la densité de l'air à la hauteur du rotor est de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ .

#### HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

*On supposera que les éoliennes ne produisent l'électricité que quand la puissance nominale est atteinte.*

#### QUESTIONS

1. **(4 pt)** *Sous les hypothèses de travail données, calculer l'énergie produite sur une année par une éolienne du parc. Détaillez les étapes de votre démarche/raisonnement.*

Signature :

Prénom :

Nom :

--

Signature :

--



Prénom :

Nom :

2. **(2 pt)** Calculez la puissance spécifique moyenne du vent ( $W/m^2$  de surface balayée) à la hauteur du rotor et l'énergie spécifique du vent ( $Wh/m^2$  de surface balayée) disponible sur une année.

Signature :

Prénom :

Nom :

3. **(2 pt)** On suppose que l'énergie produite annuellement par une éolienne du parc est d'environ 3 024,5 MWh. En vous aidant des résultats des deux questions précédentes, en déduire le rendement énergétique moyen d'une éolienne.

Signature :

Prénom :

Nom :

4. **(1 pt)** On souhaite produire une énergie d'au moins 25 GWh/an. Estimer le nombre d'éoliennes utiles et la surface de terrain unitaire (par éolienne) et totale (parc entier).

Signature :

Prénom :

Nom :

5. **(1 pt)** À partir des résultats précédents, calculez la puissance moyenne par unité de surface au sol ( $W/m^2$  au sol).

6. **(2 pt)** Comparez ce résultat à la densité de puissance moyenne d'une centrale nucléaire EPR qui produit en moyenne 1 400 MW sur une surface de 0,1 km<sup>2</sup>. Que diriez-vous à quelqu'un qui utiliserait cet argument pour défendre le nucléaire contre l'éolien ? Remarque : le diamètre au sol de la tour éolienne est d'environ de 20 m.

Signature :

Prénom :

Nom :

7. **(1 pt)** L'hypothèse de travail donnée a-t-elle pour conséquence de surdimensionner en puissance le parc ou au contraire de le sous-dimensionner ? Justifiez votre réponse.

Signature :