



**LE RÉSEAU DE CRÉATION  
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Réseau Canopé  
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## Maintenance des Systèmes

### Physique-Chimie

SESSION 2018

#### U32 Physique-Chimie

## SUJET

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans le mode examen, est autorisé.

Le sujet comporte 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.  
Dès qu'il vous sera remis, assurez-vous qu'il soit complet

<b>CODE ÉPREUVE :</b> MY3PHYC	<b>EXAMEN :</b> BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		<b>SPÉCIALITÉ :</b> MAINTENANCE DES SYSTEMES
<b>SESSION 2018</b>	<b>SUJET</b>	<b>Épreuve U32 PHYSIQUE-CHIMIE</b>	<b>Calculatrice autorisée : oui</b>
<b>Durée : 2</b>	<b>Coefficient : 2</b>	<b>SUJET N°7VP17</b>	<b>Page 1 sur 8</b>

## L'ÉOLIENNE E101/3000®

Le constructeur allemand Enercon a commercialisé en 2010 une éolienne E101/3000® dont l'axe de rotation des pales entraîne directement le rotor de la machine synchrone associée. Ce rotor est constitué d'aimants permanents (généralant donc un champ d'intensité constante). Les alternateurs à aimants permanents produisent un courant et une tension de fréquence proportionnelle à la vitesse de rotation du rotor donc à la vitesse du vent.

*D'après : <http://eolienne.f4jr.org/>*

Le sujet est constitué de trois parties indépendantes.

La partie A a pour objet l'étude de quelques caractéristiques générales de l'éolienne pour une installation dans un site donné.

La partie B porte plus particulièrement sur la production d'énergie électrique alors que la partie C traite de la sécurité lors de la maintenance de l'éolienne.



*Source : [wind-energy-market.com](http://wind-energy-market.com)*

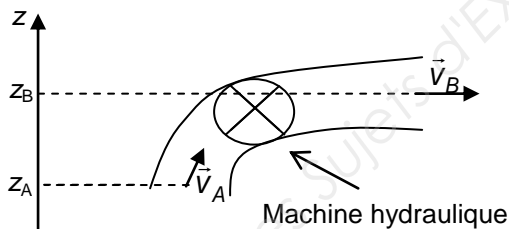
Session : 2018	BTS Maintenance des systèmes	Page 2 sur 8
Sujet n°07VP17	U32 PHYSIQUE-CHIMIE	

## Données relatives à l'éolienne de type E101/3000®.

- Données générales :
  - Constructeur : Enercon (Allemagne)
  - Puissance nominale : 3 000 kW
  - Diamètre de la surface balayée par les pales : 101 m
  - Nombre de pales : 3
  - Limitation de puissance : Pitch (inclinaison réglable des pales de l'éolienne)
  - Mise en service : 2010
- Conditions d'utilisation :
  - Vitesse du vent : 2 m/s à 25 m/s
  - Vitesse nominale du vent : 13 m/s
- Mât :
  - Hauteur minimale : 99 m
  - Hauteur maximale : 149 m
- Génératrice :
  - De type synchrone triphasée
  - Vitesse de rotation du rotor : 4 tr/min à 14,5 tr/min

## Théorème de Bernoulli :

Cas de l'écoulement permanent d'un fluide parfait entre deux sections A et B, échangeant de l'énergie avec une machine hydraulique :



- $z_A$  : ordonnée du point A (en m).
- $z_B$  : ordonnée du point B (en m).
- $p_A$  : pression en A (en Pa).
- $p_B$  : pression en B (en Pa).
- $v_A$  : vitesse du fluide en A (en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).
- $v_B$  : vitesse du fluide en B (en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).
- $Dv$  : débit volumique du fluide (en  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ).
- $P$  : puissance correspondant à l'énergie échangée avec la machine hydraulique (en W).
- $\rho$  : masse volumique du fluide (en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).
- $g$  : intensité de la pesanteur (en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ).

Ces grandeurs sont liées par : 
$$\frac{\rho v_B^2}{2} + p_B + \rho g z_B - \frac{\rho v_A^2}{2} - p_A - \rho g z_A = \frac{P}{Dv}$$

Données :

- intensité de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- masse volumique de l'air :  $\rho = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$

## Partie A : caractéristiques générales de l'éolienne (7 points).

Il est prévu d'installer cette éolienne dans un lieu où la valeur  $v_1$  de la vitesse du vent est régulièrement égale à 11 m/s, valeur choisie dans la suite de l'énoncé. Un anémomètre permet de mesurer la valeur  $v_2$  de la vitesse de l'air en aval de l'éolienne en m/s. L'appareil affiche 6,45.

### 1. Hauteur du mât de l'éolienne.

1.1. Donner le résultat de la mesure de  $v_2$  avec le nombre de chiffres significatifs adapté.

1.2. On note  $v_1$ ,  $v_2$  et  $v$  les valeurs de la vitesse de l'air respectivement sur les sections 1 et 2, et sur le plan de l'hélice. On peut établir que :  $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$ .

Montrer que le débit volumique  $D_v$  de l'écoulement dans le tube de courant est égal à  $7,0 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

1.3. On appelle tube de courant une surface tangente aux vecteurs vitesse de l'écoulement d'air en chacun de ses points. Le tube de courant s'appuyant sur la surface de section  $S$  balayée par les pales de l'éolienne est représenté sur le schéma de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. Compléter cette représentation et dessiner le tube de courant (de section  $S_2$ ) en aval de l'éolienne. Justifier.

1.4. Calculer la hauteur minimale du mât de l'éolienne pour un fonctionnement optimal. Vérifier la cohérence du résultat obtenu en comparant celui-ci avec les données constructeur de l'éolienne E101/3000®.

*Toute proposition de réponse, même partielle, sera prise en compte.*

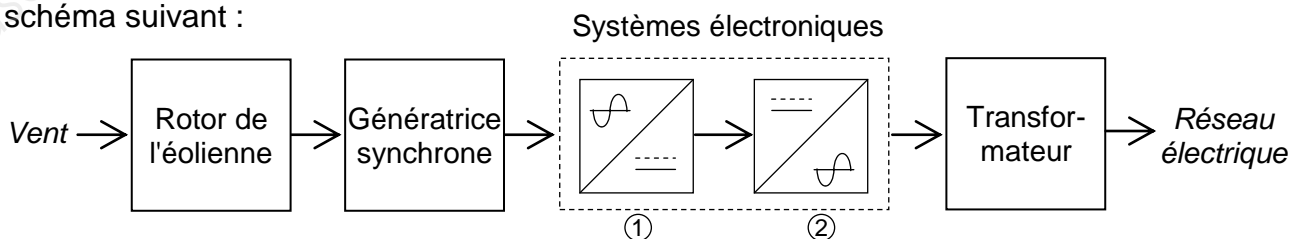
### 2. Aspect énergétique

2.1. En utilisant la relation de Bernoulli, montrer que la puissance  $P$  cédée par l'air à l'éolienne est de l'ordre de 3,3 MW.

2.2. Formuler deux hypothèses pour expliquer la différence observée avec la puissance mentionnée dans les données constructeur de l'éolienne E101/3000®.

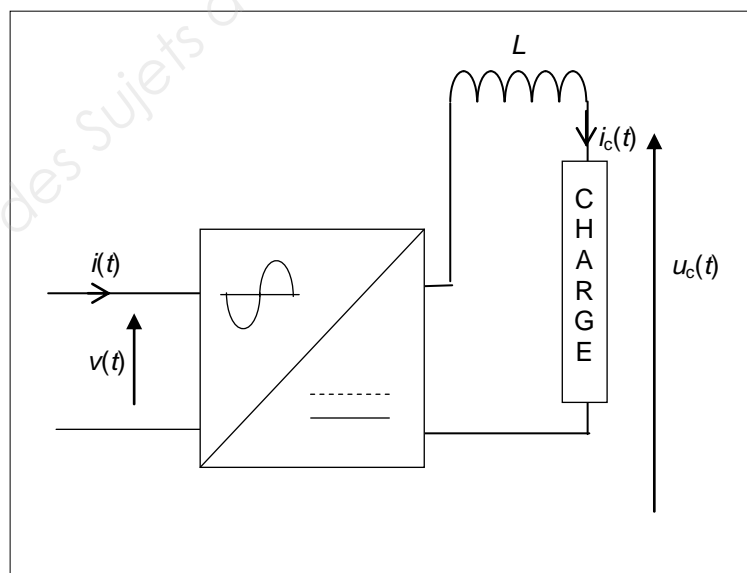
## Partie B : production d'énergie électrique (7 points).

La conversion de l'énergie dans l'éolienne l'E101/3000 peut être représentée par le schéma suivant :



L'énergie électrique est produite par une génératrice synchrone triphasée (alternateur) entraînée directement par le rotor de l'éolienne et tournant donc à la même vitesse.

1. Les enroulements de la génératrice synchrone triphasée sont couplés en étoile.
  - 1.1. Compléter, sur l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, le schéma électrique qui correspond à un branchement étoile.
  - 1.2. La valeur efficace de la tension  $V$  mesurée entre une phase et le neutre de la génératrice est égale à 400 V.  
Quelle est la valeur efficace de la tension  $U$  entre deux phases aux bornes de la génératrice synchrone triphasée ?
2. Il est précisé, dans le texte introductif au sujet, que la génératrice synchrone est excitée par un rotor à aimants permanents.
  - 2.1. Nommer et décrire le phénomène physique à l'origine de la tension électrique qui apparaît aux bornes de la génératrice.
  - 2.2. Expliquer qualitativement, en huit lignes maximum, pourquoi, dans le cas d'un rotor à aimants permanents, la valeur de « la tension délivrée par la machine n'est pas réglable pour une vitesse de rotation fixée », contrairement à celle délivrée par un rotor à électroaimant.
  - 2.3. Quels sont le nom et le rôle de chacun des systèmes électroniques 1 et 2 du schéma ci-dessus ? Quel est l'intérêt de cet ensemble ?
  - 2.4. Le schéma suivant représente le système électronique 1 en charge :



La tension  $v(t)$  est une tension sinusoïdale.

Quel est le rôle de l'inductance  $L$  en série avec la charge ?

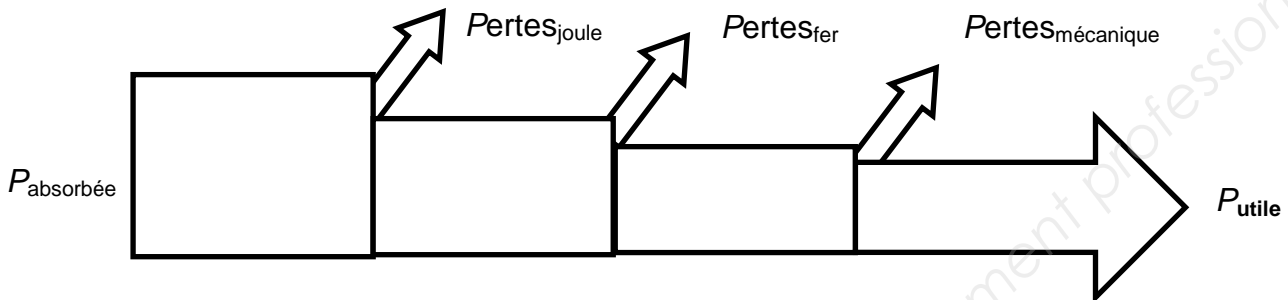
3. La puissance utile nominale fournie par la génératrice est donnée par :

$$P_{\text{utile}} = \sqrt{3} UI \cos \varphi$$

3.1. Montrer que la valeur efficace de l'intensité du courant électrique en ligne est de l'ordre de 3 kA.

On prendra  $\varphi = 34^\circ$ .

3.2. Le bilan de puissance de la génératrice est schématisé ci-après :



La résistance d'un enroulement du stator est égale à  $0,007 \Omega$ .

Les pertes magnétiques ("pertes fer") dans le stator de la machine sont estimées à 65 kW et les pertes mécaniques à 40 kW.

Montrer que le rendement de la génératrice est égal à 91 %.

### Partie C : protection contre les chutes lors de la maintenance de l'éolienne (6 points)

Travaillant en hauteur, le technicien de maintenance en éolien doit être assuré en cas de chute. Pour ce faire, il utilise un harnais de sécurité relié à un point fixe par une longe dont la longueur, lorsque la longe est complètement dépliée, est égale à deux mètres.

#### Données :

- masse du technicien et de son équipement (vêtements, outils, etc.) :  $m = 85 \text{ kg}$  ;
- accélération de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$  ;
- l'action de l'air sur le technicien et son équipement est supposée négligeable devant les autres actions.

1. On suppose dans cette question que le technicien et son équipement tombent en chute libre : la seule force qui intervient alors est le poids.

1.1. En utilisant le principe de la conservation de l'énergie mécanique :

$$E_{\text{mécanique}} = E_{\text{potentielle}} + E_{\text{cinétique}} = \text{constante},$$

calculer l'énergie cinétique  $E_{C1}$  du technicien et de son équipement après une chute libre de hauteur  $h = 2 \text{ m}$ , si on suppose que sa vitesse initiale est nulle.

1.2. Montrer que la vitesse  $v_1$  acquise par le technicien et son équipement après une chute de 2 m est égale à 6,3 m/s.

1.3. Comparer cette valeur à l'une des situations suivantes :

- a) record du 100 m détenu par Justin Gatlin (9,45 s) ;
- b) cycliste parcourant 10 km en une demi-heure ;
- c) piéton dont on estimera la vitesse.

Conclure quant à l'intérêt d'utiliser une longe dont la longueur, lorsque la longe est totalement dépliée, n'excède pas 2 m.

2. Pour atténuer en partie le choc, la longe qui relie le harnais au point fixe est munie d'un dispositif absorbeur d'énergie. Ce dispositif est constitué d'une autre longe, repliée sur elle-même et cousue assez solidement.



Absorbeur d'énergie - EN 355 Abisco

Lorsque la première longe est totalement dépliée (longueur égale à 2 m), sous l'effet du choc, les coutures de l'absorbeur d'énergie se déchirent et ce dernier se déplie. Il se présente alors comme une longe supplémentaire de 1,5 m de longueur. Avec ce dispositif, la hauteur totale de chute possible est donc de 3,5 m.

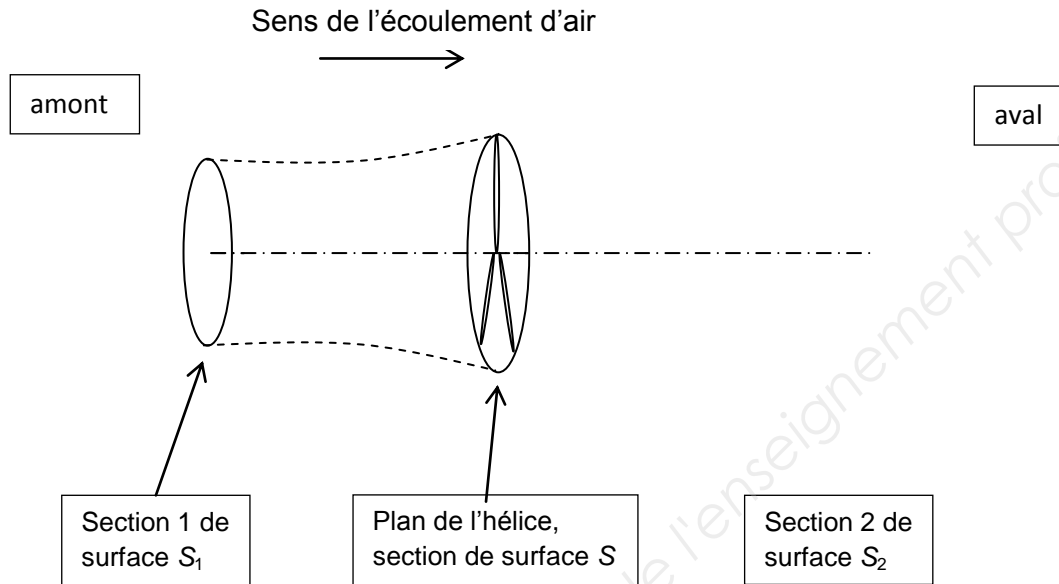
- 2.1. On souhaite que la vitesse maximale du technicien en fin de chute n'excède pas 2 m/s. Calculer la valeur  $E_{C2}$  de l'énergie cinétique du technicien et de son équipement pour cette vitesse.
- 2.2. Montrer que le dispositif de sécurité doit absorber une énergie  $E_{abs}$  égale à 2,8 kJ. *Toute proposition de réponse, même partielle, sera prise en compte.*
- 2.3. On dispose de deux types d'absorbeur. Le premier(A) peut absorber une énergie égale à 3 kJ pour freiner la chute avant de se rompre alors que le second (B) peut absorber une énergie égale à 2,5 kJ. Quel absorbeur doit-on choisir ? Justifier.



ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Partie A : caractéristiques générales de l'éolienne

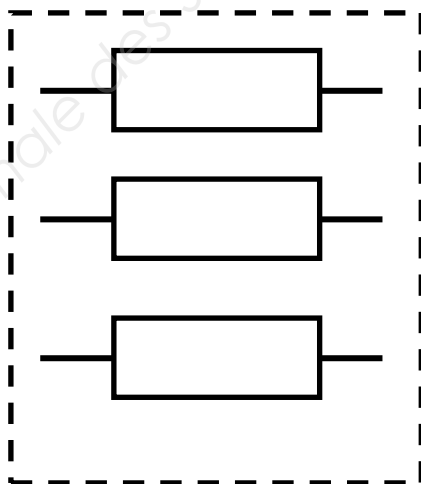
Question 1.2



Partie B : production d'énergie électrique

Question 1

Génératrice  
synchrone



Réseau électrique

