CONCOURS INTERNE D'INGENIEUR SUBDIVISIONNAIRE
octobre 1999
PHYSIQUE APPLIQUEE

Durée : 3 heures

Barème :

RDM	8 points
Hydraulique	5 points
Electricité	4 points
Dynamique	3 points

Préambule

Dans la perspective d'utiliser des sources d'énergie renouvelable, l'installation d'éoliennes est en voie de développement en France, soit pour fournir de l'énergie à des centres isolés, soit pour alimenter le réseau électrique. L'éolienne étudiée est constituée (Figure 1) :
- d'un mât,
- d'une hélice à trois pales, à axe horizontal orienté dans la direction du vent, placée au sommet du mât,
- d'un générateur placé au sommet du mât et entraîné par l'hélice pour fournir de l'énergie électrique.

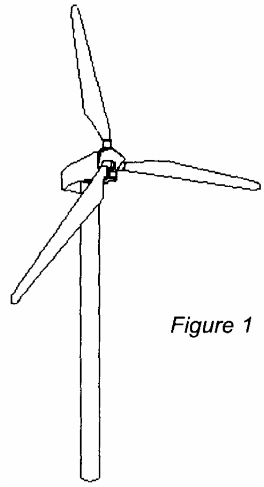


Figure 1

extrait de la PARTIE HYDRAULIQUE

6) Dans le cas où la puissance recueillie sur l'arbre (axe de rotation de l'hélice) est de *600 kW*, calculer le couple mécanique fourni par chacune des trois pales de l'hélice, la vitesse de rotation de celle-ci étant de *20 tours par minute*.

PARTIE ELECTRICITE

Un moteur électrique, par son fonctionnement réversible, peut constituer un générateur. Dans le cas de l'éolienne étudiée, un moteur asynchrone triphasé tétrapolaire est entraîné par le mouvement de rotation de l'hélice à travers une boîte de vitesse et fournit du courant électrique alternatif sinusoïdal.

1) Quel doit être le rapport de multiplication de la boite de vitesse, l'hélice tournant à la vitesse de *20 tours par minute*, pour que la fréquence de ce courant soit de *50 Hz* ?

2) On suppose que l'énergie électrique fournie par ce générateur est consacrée uniquement à l'éclairage d'une agglomération. La puissance apparente disponible totale est *480 kVA* et on ne prend pas en compte les pertes en ligne. Chaque lampadaire consomme une puissance active de *150 W* pour son fonctionnement propre et *10 W* pour ses accessoires, le facteur de puissance global de l'ensemble étant *0,75*.
   a) Combien de lampadaires pourront être alimentés sans surcharger le générateur ?
   b) Si chaque lampadaire est équipé d'un condensateur ramenant le facteur de puissance à l'unité, combien de lampadaires supplémentaires pourrait-on alimenter ? Quelle doit être la capacité de ce condensateur si le lampadaire fonctionne sous *220 V* ?

3) Pour une autre utilisation, ce générateur triphasé doit fournir à un réseau équilibré (facteur de puissance égal à *0,8*) connecté en étoile, une puissance apparente totale de *480 kVA* sous *400 V* (tension simple). Chacun des 3 fils de la ligne qui relie le générateur au réseau a une résistance de *0,06 ohm* et une réactance de *0,08 ohm*. Calculer :
   a) la tension simple (entre phase et neutre) que devrait fournir le générateur,
   b) la chute de tension aux bornes d'un fil de ligne,
   c) la surcharge du générateur en pourcentage de puissance apparente.

PARTIE DYNAMIQUE

On désire évaluer un périmètre de sécurité autour de l'éolienne au cas où une pale viendrait à se détacher du rotor en pleine vitesse. De façon à se placer dans l'hypothèse la plus défavorable, on considère que la rupture survient lorsque la pale fait un angle de *103°* par rapport à l'horizontale comme défini sur la figure 5. Dans ce problème, on considère la trajectoire du centre de gravité G (situé à *6 m* de l'axe de l'hélice) où se trouve concentrée la masse de la pale. Les effets dus au vent et aux frottements avec l'air ne sont pas pris en compte.

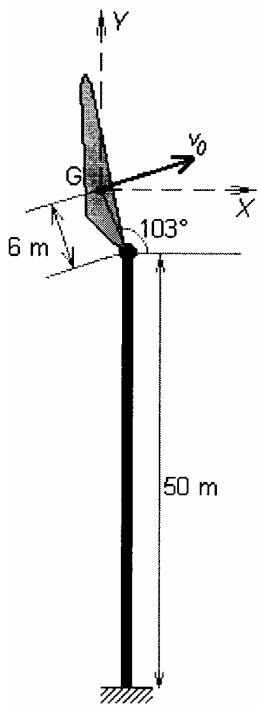


Figure 5

On prendra :

$g = 9{,}81 m.s^{-2}$ $h = 50\ m$ masse de la pale : 2500 kg

vitesse angulaire à l'instant de la rupture : 20 tours par minute.

1) Calculer la distance horizontale entre le point d'impact au sol et l'axe du mât. L'espace sera rapporté au repère GXY de la Figure 5.

2) Calculer l'énergie cinétique à l'instant de l'impact.

CORRECTION :

extrait de la PARTIE HYDRAULIQUE

6) $\mathcal{P} = 600 \text{ kW}$

$\omega = 20 \text{ tr.min}^{-1} = \frac{20}{60} \text{ tr.s}^{-1} = \frac{2\pi}{3} \text{ rad.s}^{-1}$

On a $\mathcal{P} = C\omega$, C étant le moment du couple

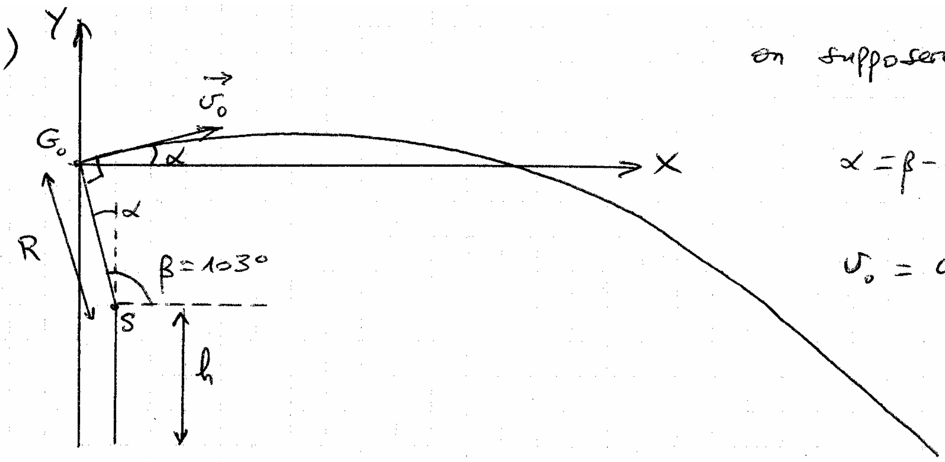
donc $C = \frac{\mathcal{P}}{\omega} = \frac{3 \times 600.10^3}{2\pi} = 286\,479$

$$\boxed{C = 286.10^3 \text{ N.m}}$$

PARTIE ELECTRICITE

A FAIRE !

PARTIE DYNAMIQUE

1) 

on supposera $\vec{SG_0} \perp \vec{v_0}$

$\alpha = \beta - \frac{\pi}{2} = 13°$

$v_0 = \omega R = 4\pi \ m.s^{-1}$

On étudie le mvt de G de masse m dans le réf terrestre, supposé galiléen. Bilan des forces $\vec{P} = m\vec{g}$

$\Sigma \vec{f} = m\vec{a}$ d'où $\vec{a} = \vec{g}$

$\begin{cases} \ddot{X} = 0 \\ \ddot{Y} = -g \end{cases}$ $\begin{cases} \dot{X} = v_0 \cos\alpha \\ \dot{Y} = -gt + v_0 \sin\alpha \end{cases}$ $\begin{cases} X = v_0 \cos\alpha \, t \\ Y = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin\alpha \, t \end{cases}$

$t = \frac{X}{v_0 \cos\alpha} \Rightarrow Y = -\frac{1}{2} g \frac{X^2}{v_0^2 \cos^2\alpha} + v_0 \sin\alpha \frac{X}{v_0 \cos\alpha}$

$$Y = -\frac{g}{2 v_0^2 \cos^2\alpha} X^2 + \tan\alpha . X$$

Soient X_0, Y_0 les coordonnées du pied du mât.

on a $\begin{cases} X_0 = R \sin\alpha = 1,34971 \approx 1,35 \text{ m} \\ Y_0 = -R\cos\alpha - h = -55,84622 \approx -55,85 \text{ m} \end{cases}$

La distance entre le mât et le point d'impact vaut $D = X_S - X_0$, X_S étant solution de $Y(X_S) = Y_0$

soit $-\frac{g}{2 v_0^2 \cos^2\alpha} X^2 + \tan\alpha \, X = -R\cos\alpha - h$

$$-\frac{g}{2 v_0^2 \cos^2\alpha} X^2 + \tan\alpha \, X + R\cos\alpha + h = 0$$

$$-3{,}271685.10^{-2}\,X^2 + 0{,}2308682\,X + 55{,}84622 = 0$$

$$\Rightarrow \quad X_1 = 44{,}99398 \;,\quad X_2 = -37{,}93743$$

$X_S > 0 \Rightarrow X_S = X_1$ donc $D = X_1 - X_0 = 43{,}64427$

$$\boxed{D \simeq 43{,}6\ m}$$

2) Soit $\mathcal{E}c_S$ l'énergie cinétique au sol, et $\mathcal{E}c_0$ l'énergie cin. initiale

$$\mathcal{E}c_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m R^2 \omega^2$$

1e méthode T.E.C.

$$\Delta\mathcal{E}c = \mathcal{E}c_S - \mathcal{E}c_0$$

$$\Sigma W(0 \to S) = -mg\,\Delta Y = -mg\,Y_0 = mg(R\cos\alpha + h)$$

$$\Delta\mathcal{E}c = \Sigma W \Rightarrow \mathcal{E}c_S = mg(R\cos\alpha + h) + \frac{1}{2} m v_0^2 = 1\,567\,020\ J$$

$$\boxed{\mathcal{E}c_S \simeq 1567\ kJ}$$

2e méthode

$\mathcal{E}c_S = \frac{1}{2} m v_S^2$ avec $v_S^2 = \dot{X}_S^2 + \dot{Y}_S^2$ $\quad \dot{X}_S = v_0 \cos\alpha$

et $\dot{Y}_S = -g t_S + v_0 \sin\alpha$ avec $t_S = \dfrac{X_S}{v_0 \cos\alpha}$

$$\dot{Y}_S = -\frac{g X_S}{v_0 \cos\alpha} + v_0 \sin\alpha$$

$$\mathcal{E}c_S = \frac{1}{2} m \left[(v_0 \cos\alpha)^2 + \left(-\frac{g X_S}{v_0 \cos\alpha} + v_0 \sin\alpha \right)^2 \right]$$

$$= 1567\ kJ$$