

TD-Systèmes électriques des énergies Renouvelables

« Les systèmes éoliens »

Exercice 1 : Petite éolienne

Une éolienne de petite puissance de 600W entraînée directement par une turbine à axe vertical de rayon $R_v=0.5\text{m}$ et de hauteur $H_v=2\text{m}$. Le rapport de vitesse optimal est $\lambda_{opt}=0.78$ pour une vitesse de vent optimale égale à 16 m/s. Le coefficient de performance $C_p=f(\lambda)$ est donné par : $C_p(\lambda)=-0.2121\cdot\lambda^3+0.0856\cdot\lambda^2+0.2539\cdot\lambda$

1. Représenter l'allure de $C_p=f(\lambda)$ et déterminer le coefficient C_{pmax} , commenter cette allure et le résultat obtenu.
2. Rappeler les expressions de la puissance du vent P_{vent} et la puissance éolienne $P_{éol}$ captée par la turbine éolienne.
3. Représenter l'évolution de P_{vent} en fonction de la vitesse du vent.
4. Représenter la variation de la puissance mécanique en fonction de la vitesse du vent et décrire correctement la régulation de la puissance mécanique pour chaque zone de vitesse du vent.

Exercice 2 : Système éolien

Soit une éolienne de petite puissance utilisée pour charger une batterie de 48 V. La turbine éolienne est à axe horizontal dont l'expression analytique de C_p en fonction de λ de la turbine : $C_p=-0.002\cdot\lambda^3+0.021\cdot\lambda^2+0.013\cdot\lambda$

On désigne par R : rayon de la turbine, Ω : vitesse mécanique de la turbine, S : surface balayée par la turbine et v : vitesse du vent.

1. A partir de la puissance mécanique récupérable par la turbine éolienne $P_{éol}$, donner l'expression du couple éolien $C_{éol}$.
2. Donner l'expression du rapport de vitesse λ en fonction de Ω , v , et R .
3. Démontrer que le couple éolien en fonction de la vitesse de la machine peut être mis sous la forme quadratique suivante :

$$C_{\text{éol}} = a\Omega^2 + b\Omega + c$$

4. Déterminer les expressions des coefficients a , b et c . et de quoi dépendent ces coefficients.
5. Exprimer le courant dans la batterie en fonction de la puissance mécanique récupérable par la turbine.

Exercice 3 : Chargeur batterie éolien avec pont à diodes et hacheur

Un site Tunisien est caractérisé par une vitesse moyenne V_{moy} du vent, de masse volumique $\rho = 1.22 \text{ Kg/m}^3$. Dans ce site, la vitesse du vent optimale est de $V_{\text{opt}} = 15 \text{ m/s}$, on installe une turbine éolienne. Cet aérogénérateur est couplé sur une batterie de tension V_{bat} .

La turbine éolienne est à axe de rotation horizontale à trois pales, de rayon R , dont le coefficient de performances C_p en fonction du coefficient de rapport de vitesse λ est donné par la figure 1.

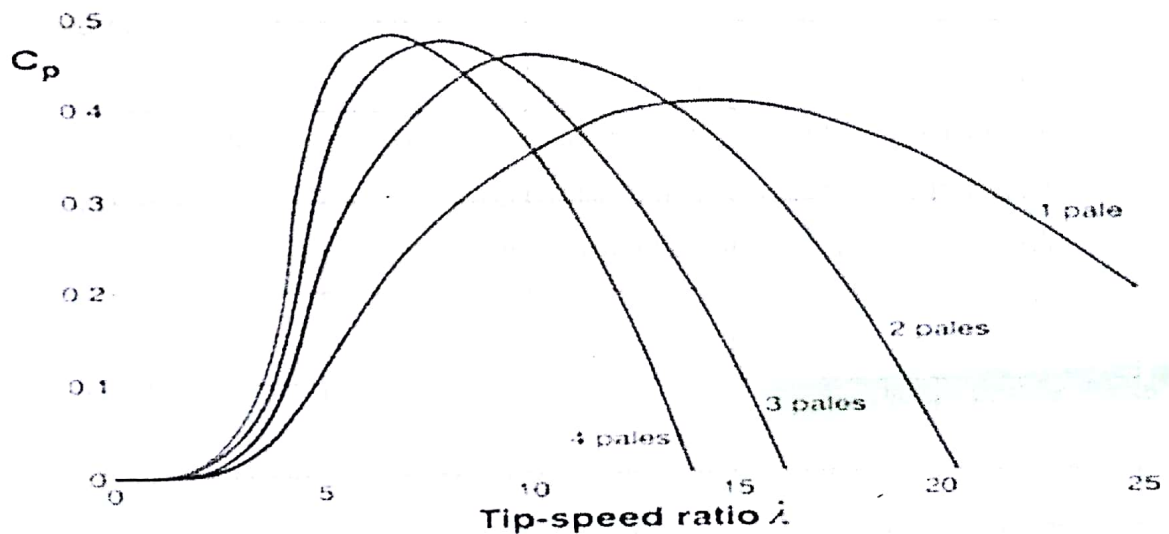


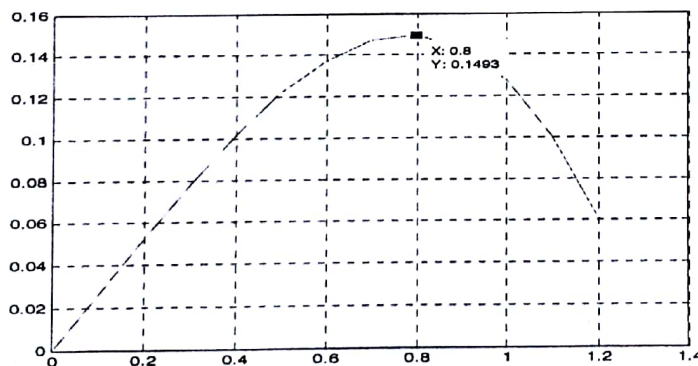
Figure 1 : Coefficient C_p en fonction de λ et le nombre de pales.

1. Rappeler l'expression de l'énergie cinétique du vent E_{cv} .
2. Démontrer la relation donnant la puissance du vent moyenne par unité de surface P_{vent}/S en fonction de la vitesse moyenne du vent V_{moy} .
3. Donner l'énergie moyenne annuelle par unité de surface E_a/S ($\text{kWh/m}^2/\text{an}$) pour une vitesse moyenne du vent de 10 m/s .
4. Déterminer le coefficient $C_{p\text{max}}$ et λ optimal, noté λ_{opt} de la turbine éolienne.
5. Donner l'expression du rapport de vitesse λ en fonction de Ω , v , et R .

6. Exprimer la puissance mécanique optimale, P_{m_opt} , en fonction de la vitesse de rotation Ω de la turbine éolienne.
7. Exprimer la puissance maximale injectée dans la batterie, P_{bat_max} , en fonction de la vitesse de rotation Ω de la turbine éolienne.
8. Exprimer le courant dans la batterie, I_{bat_opt} , en fonction de la vitesse de rotation Ω de la turbine éolienne.
- ✕ 9. Donner l'architecture de la chaine de conversion éolienne si on désire utiliser cette éolienne pour charger une batterie de 48V.

On fixe la tension de la batterie à 300V et on se propose de compléter la chaine de conversion de la question 9 par un générateur photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque est de tension optimale autour de 70V.

- ✕ 10. Donner le montage détaillé du circuit d'adaptation pour le couplage du générateur photovoltaïque à la batterie du système de la question 9.



forme en cloche
⇒ max pour λ

TD n°1 : Systèmes Éoliens

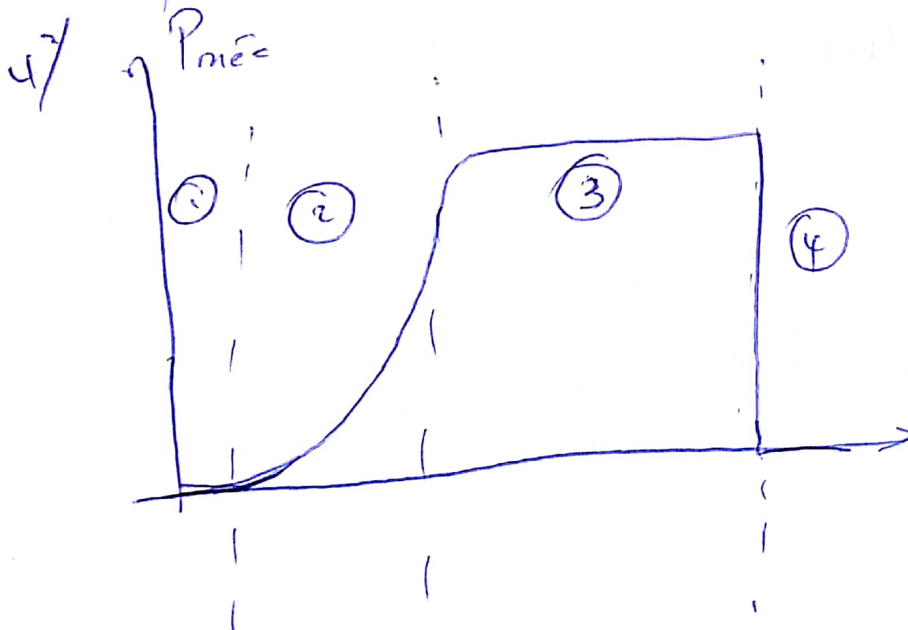
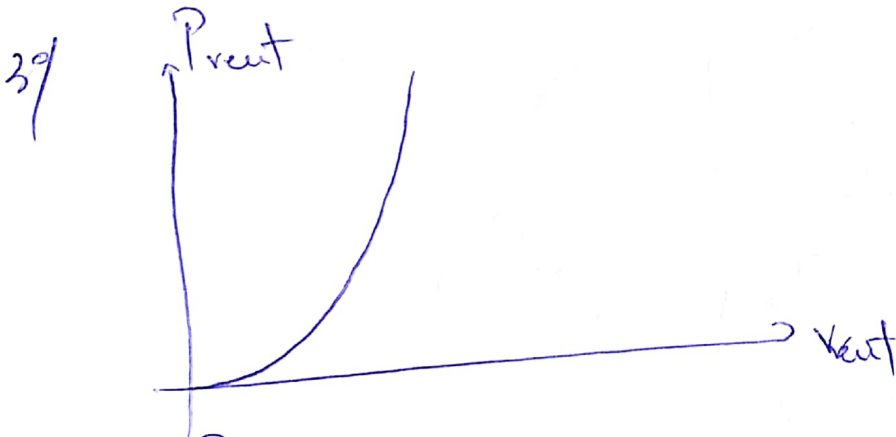
Ex n°1:

1°/ $C_p = f(\lambda)$

$$\begin{aligned} C_{p_{\max}} &= -0,2121 \lambda_{\text{opt}}^3 + 0,0856 \lambda_{\text{opt}}^2 + 0,2539 \lambda_{\text{opt}} \\ &= -0,2121 \cdot (0,78)^3 + 0,0856 \cdot (0,78)^2 + 0,2539 \cdot 0,78 \\ &= 0,149 \approx 0,15 \Rightarrow \text{Savonius.} \\ &\quad (\text{voir figure 3}). \end{aligned}$$

2°/ $P_{\text{vent}} = \frac{1}{2} \rho S V^3$

$$P_{\text{éol}} = \frac{1}{2} \rho S C_p V^3$$



①: $V < V_{\min}$

②: $V_{\min} < V < V_{\max}$

③: $V_m < V < V_{\max}$

④: $V > V_{\max}$

Ex n° 2:

10/ $P_{tur} = P_{mec} = C_{ed} \cdot \Omega = \frac{1}{2} \rho S G V^3.$

or $\lambda = \frac{R \Omega}{V} \rightarrow \Omega = \frac{\lambda \cdot V}{R} \Rightarrow V = \frac{R \Omega}{\lambda}.$

$$P_{tur} = \frac{1}{2} \rho S \frac{G}{V^3} \cdot R^3 \cdot \Omega^3.$$

$$C_{ed} = \frac{1}{2} \rho S \frac{G}{V^3} R^3 \Omega^2.$$

34/ $C_{ed} = \frac{1}{2} \rho S G \frac{V^3}{\Omega}$ or $\lambda = \frac{R \Omega}{V}$

$$C_p = -0,102 \frac{R^3 \Omega^3}{V^3} + 0,021 \frac{R^2 \Omega^2}{V^2} + 0,013 \frac{R \Omega}{V}.$$

$$C_{ed} = \underbrace{-0,001 \rho S R^3 \Omega^2}_a + \underbrace{\frac{0,021}{2} \rho S V \Omega}_b + \underbrace{\frac{0,013}{2} \rho S V^2}_c$$

50/ $P_{turb} = C_{ed} \cdot \Omega.$

$$P_{bat} = V_{bat} \cdot I_{bat} = \eta \cdot P_{turb}$$

$$\Rightarrow I_{bat} = \frac{\eta P_{turb}}{V_{bat}}$$

Ex n° 3: Chargeur batterie éolien avec pont à diodes et hacheur.

1°/ $\bar{c}_{cr} = \frac{1}{2} m V^2$.

2°/ $P_{vent} = \frac{1}{2} \rho S V^3$.

$\frac{P_{vent}}{S} = \frac{1}{2} \rho V^3$.

3°/ $E \text{ (kWh/m}^2\text{/an)} = \frac{1}{2} \rho \int V_{moy}^3 \cdot h$
 $= 0,5 \times 1,22 \cdot \omega^3 \times 2760$
 $= 5343,6 \text{ kWh/m}^2\text{/an}$

4°/ $C_{pmax} = 0,48$; $\lambda_{opt} = 7$.

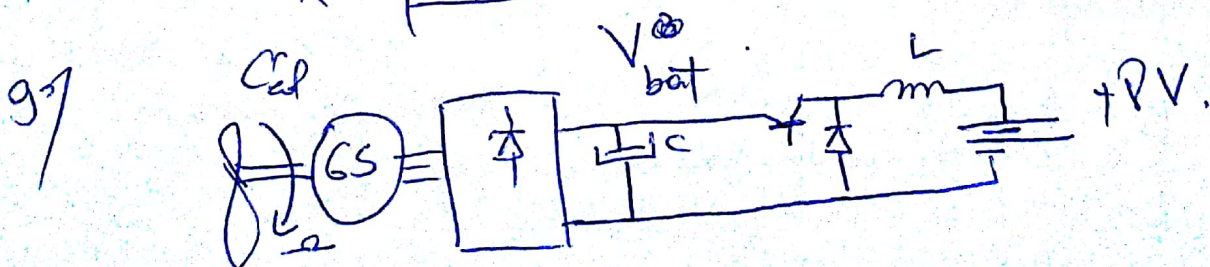
5°/ $\lambda = \frac{R\Omega}{V}$

6°/ $P_m = \frac{1}{2} \rho S C_p \frac{R^3}{\lambda^3} \Omega^3$.

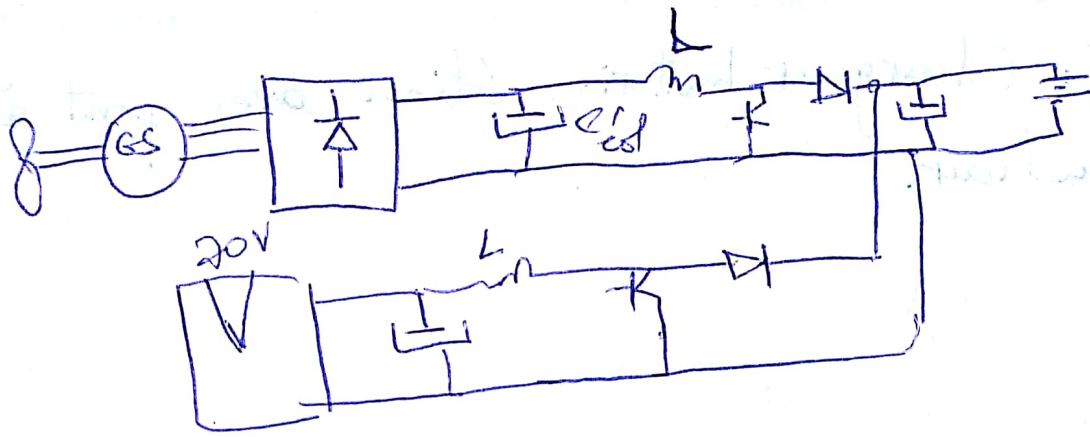
$P_{mopt} = \frac{1}{2} \rho S C_{pmax} \frac{R^3}{\lambda_{opt}^3} \cdot \Omega^3$
 $= k_{opt} \cdot \Omega^3$

7°/ $P_{bat,max} = \eta_{max} \cdot P_{mopt} = \eta_{max} \cdot k_{opt} \cdot \Omega^3$.

8°/ $I_{bat,max} = \frac{\eta_{max} \cdot k_{opt} \cdot \Omega^3}{V_{bat}}$

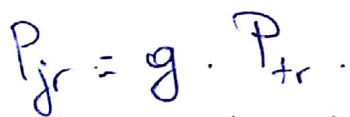


V₀₀



$$\lambda = \frac{\Omega R}{V_0}$$

machine universelle \rightarrow ^o altim
alternatif.



$$g = \frac{N_s - N}{N_s}$$

$$\begin{aligned} N > N_s &\rightarrow g < \omega \text{ hypersonic.} \\ N < N_s &\rightarrow g > \omega \text{ mode hypersonic} \\ N = N_s &\rightarrow g = \omega \text{ synchronous.} \end{aligned}$$

Sei $v/f \Rightarrow \phi_{s_m} = \frac{v_s}{f_s}$

$$\tau = k \phi \Sigma$$

$R \rightarrow \text{Aktif}$

$R \rightarrow \text{Actif}$
 $C, L \rightarrow \text{Reactif}$

exécute à vitesse fixe (cas isolé).

↳ Intégrer les capacités indispensable pour générer du réactif
⇒ fonctionner en mode génératrice

$$P = 750 \text{ W}$$

$$\eta = 0,8$$

$$U = 230 \text{ V} / 400 \text{ V}$$

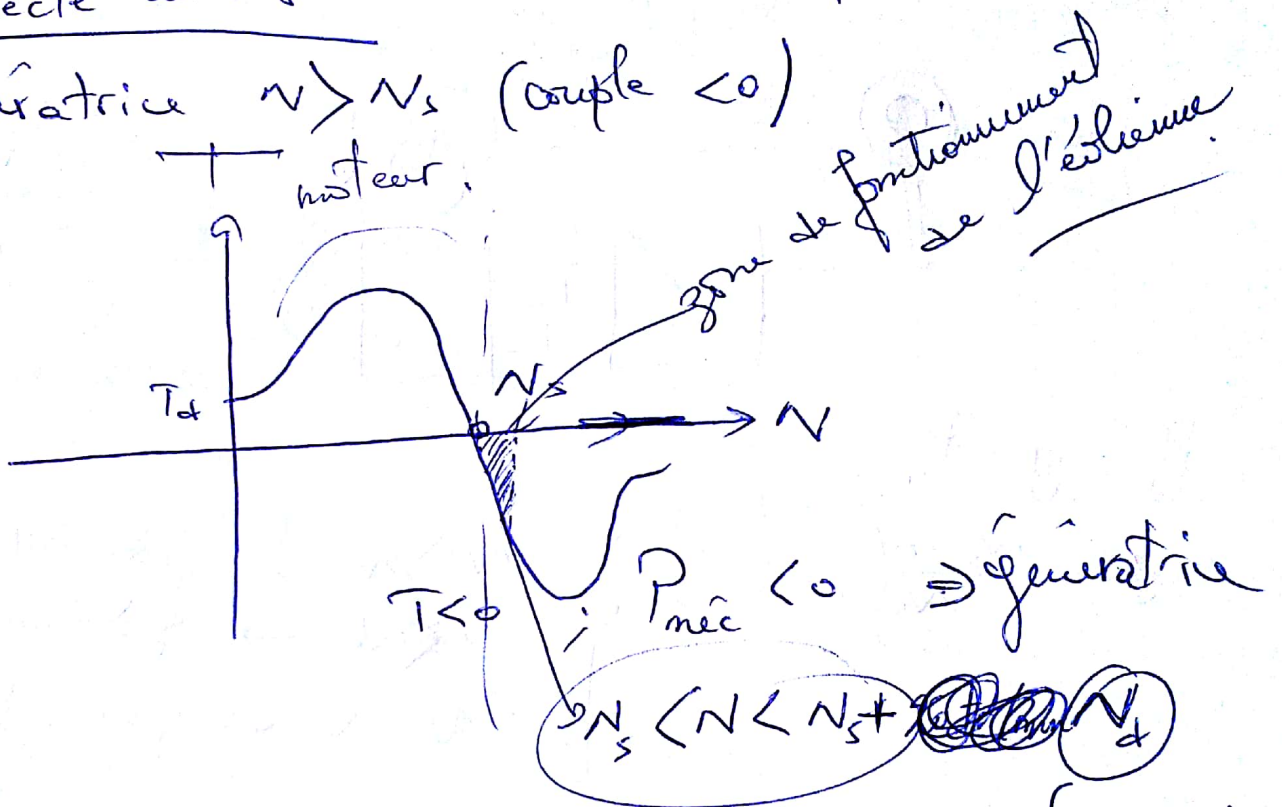
$$I = 5,3 / 2,3 \text{ A}$$

plaque signalétique

puissance mécanique

Connecté au réseau

génératrice $N > N_s$ (couple < 0)



différence entre N et N_s

différence entre N et N_s

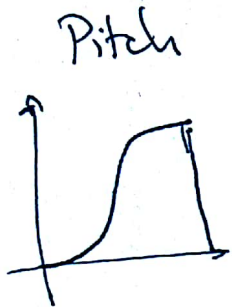
éolienne à vitesse fixe.

STEP: système de Turbinage et pompage.

↳ stocke des énergies fortes (une sorte de grosses batteries)

$$S = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

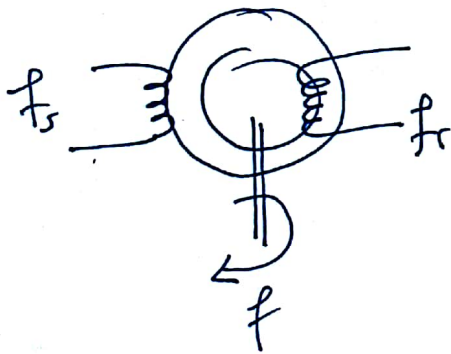
Pitch / Stall control \xrightarrow{MTP} décrochage aérodynamiques
Effet de peau.



pitch \rightarrow régulation
des pales.

le couple est l'image du cl.

Convertisseur \rightarrow rotor :



$$f_s = f + f_r$$

$$\omega_s = \omega + \omega_r$$

$$\Omega_s = \Omega + \Omega_r$$

$$\text{avec } \Omega_s = \frac{\omega_s}{p}$$

vitesse fixe \rightarrow stall.
vitesse variable \rightarrow pitch.

$$\varphi_{(U,I)R} = 0$$

$$\varphi_{(U,I)L} = \frac{\pi}{2}$$

$$\varphi_{(U,I)C} = -\frac{\pi}{2}$$

$$P_R = U \cdot I$$

$$Q_R = 0$$

$$S_R = P_R$$

$$P_L = 0$$

$$Q_L = U \cdot I$$

$$S_L = Q_L$$

$$P_C = 0 \text{ W.}$$

$$Q_C = -UI$$

$$S_C = |Q_C|$$