

Travaux dirigés EC « conversion électro- mécanique de l'énergie »

Alexandre Labergue

LEMTA

015 Jaune

alexandre.labergue@univ-lorraine.fr

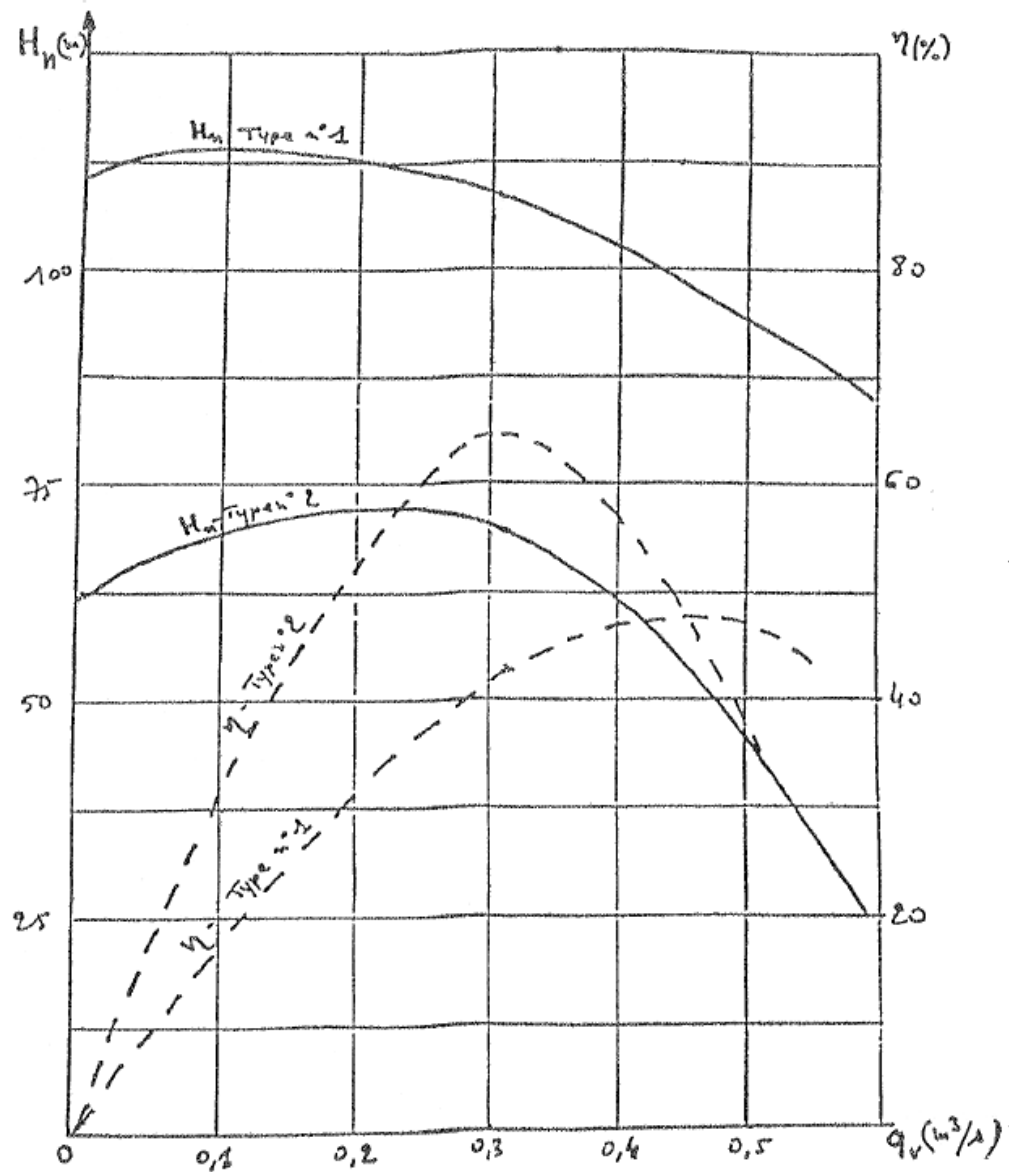
Exercice 1 – Station de pompage

Une conduite cylindrique horizontale de diamètre $d = 0.5$ m et de rugosité moyenne $e = 0.2$ mm, transporte une huile lourde de viscosité dynamique $\mu = 0.35$ Pa.s et de masse volumique $\rho = 920$ kg/m³. La circulation de l'huile dans l'oléoduc est assurée par des pompes placées tous les 14 km sur la conduite :



1. En supposant l'écoulement d'huile laminaire dans la conduite, donner l'expression de la perte de charge par unité de longueur $\Delta H/L$ en fonction du débit volumique q_v (dans cette expression, les autres paramètres auront été remplacés par leur valeur numérique).
2. On utilise des pompes du type n°1 (caractéristiques jointes). Déterminer le débit d'huile dans l'oléoduc et vérifier l'hypothèse faite en 1.
3. On remplace les pompes précédentes par des pompes de type n°2 (caractéristiques jointes) en conservant le même débit. Quelle devra être la nouvelle distance entre deux pompes successives ?
4. Sans tenir compte de l'investissement, quelle est la solution la plus économique en fonctionnement ?

Exercice 1 – Station de pompage



Exercice 2 – Etude d'une turbine Pelton

On veut dimensionner une installation hydra-électrique comportant une turbine Pelton avec un jet unique attaquant la roue de la turbine. La dénivellation entre la surface libre du réservoir amont alimentant la turbine et la section de sortie du jet conduit à une hauteur de chute ou hauteur génératrice $H_G = 1\,000\text{ m}$.

1 - On négligera les pertes de charge entre le réservoir amont et l'entrée de l'injecteur. Calculer la vitesse du jet V_{jet}

2 –Le débit volumique Q_v à turbiner est de $0,25\text{ m}^3/\text{s}$, calculer la puissance hydraulique P_h convertible par la turbine Pelton.

3 – On rappelle qu'une théorie simplifiée de la turbine Pelton nous permet d'estimer la puissance mécanique P_m suivant la relation suivante :

$$P_m = 2\rho Q_v (V_1 - U)U$$

- a. Quelle hypothèse se cache derrière le coefficient 2 ?
- b. Quelle sera alors la vitesse d'entraînement optimale U_{opt} de la turbine telle que P_m soit maximale
- c. Si on souhaite faire tourner la turbine à une vitesse de rotation nominale N_{opt} de 500 tr/min , quel doit-être le diamètre D de la roue ? Quelle sera alors la vitesse de rotation d'emballement N_{max} de la turbine ?

4 – On considère maintenant que les pertes de charge H_p dans la tuyauterie d'amenée sont de 10 m et que la charge résiduelle H_R est nulle. Si le rendement interne η_G de la turbine Pelton est de 90% , quelle est la puissance réellement disponible sur le rotor de la turbine P_m ? Le débit est toujours pris égal à $0,25\text{ m}^3/\text{s}$.

Exercice 3 – Turbine Pelton

Soit une turbine Pelton alimentée par un seul jet de diamètre $d = 3 \text{ cm}$ et de vitesse $v_{jet} = 45 \text{ m/s}$.

1. Calculer la hauteur génératrice H_G
2. Calculer le diamètre de la roue D .
3. Calculer la vitesse de rotation d'emballement N_{max} ainsi que la vitesse de rotation optimale N_{opt} .
4. Donner la taille des augets.
5. Puis calculer la puissance mécanique maximale $P_{m,max}$ que pourrait produire cette turbine.

Exercice 4 – Etude d'un barrage

Un barrage réalisé pour l'installation d'une centrale hydroélectrique dispose d'une hauteur $H_G = 133 \text{ m}$. Les conditions de régularisation de l'eau en fonction de la pluviométrie permet d'obtenir un débit nominal $Q_v = 115 \text{ m}^3/\text{s}$.

1. Quelle est la puissance hydraulique maximale $P_{h,max}$ qu'on peut espérer récupérer de ce site existant ?
2. Quel type de turbine doit-on installer ? Justifier rapidement ce choix technologique.

Afin de dimensionner cette turbine, on s'appuie sur des essais réalisés sur la petite turbine disponible à l'ENSEM. Ces essais, indicés 2, fournissent les données suivantes :

$H_{n2} = 12,36 \text{ m}$, $D_2 = 320 \text{ mm}$ (diamètre extérieur de la roue ou diamètre d'entrée)

$Q_{v2} = 0,250 \text{ m}^3/\text{s}$, $N_{2,opt} = 900 \text{ tr/min}$ et $P_{m2} = 25,8 \text{ kW}$ (puissance mécanique utile récupérée).

1. Calculer le rendement globale η_{G2} de la turbine à ce point de fonctionnement.
2. Déterminer par similitude le diamètre D en entrée de la roue de la turbine à installer sur le barrage pour rester à un rendement maximum identique à celui de la turbine ENSEM.
3. A quelle vitesse N devra alors tourner la turbine ?
4. Quelle puissance mécanique P_m sera alors récupérée ?

Exercice 5 - étude d'une centrale hydroélectrique

➤ Description topologique

- Central au fil de l'eau avec un barrage amont
- Température de l'eau 20°C et altitude du site 500 m

➤ Données

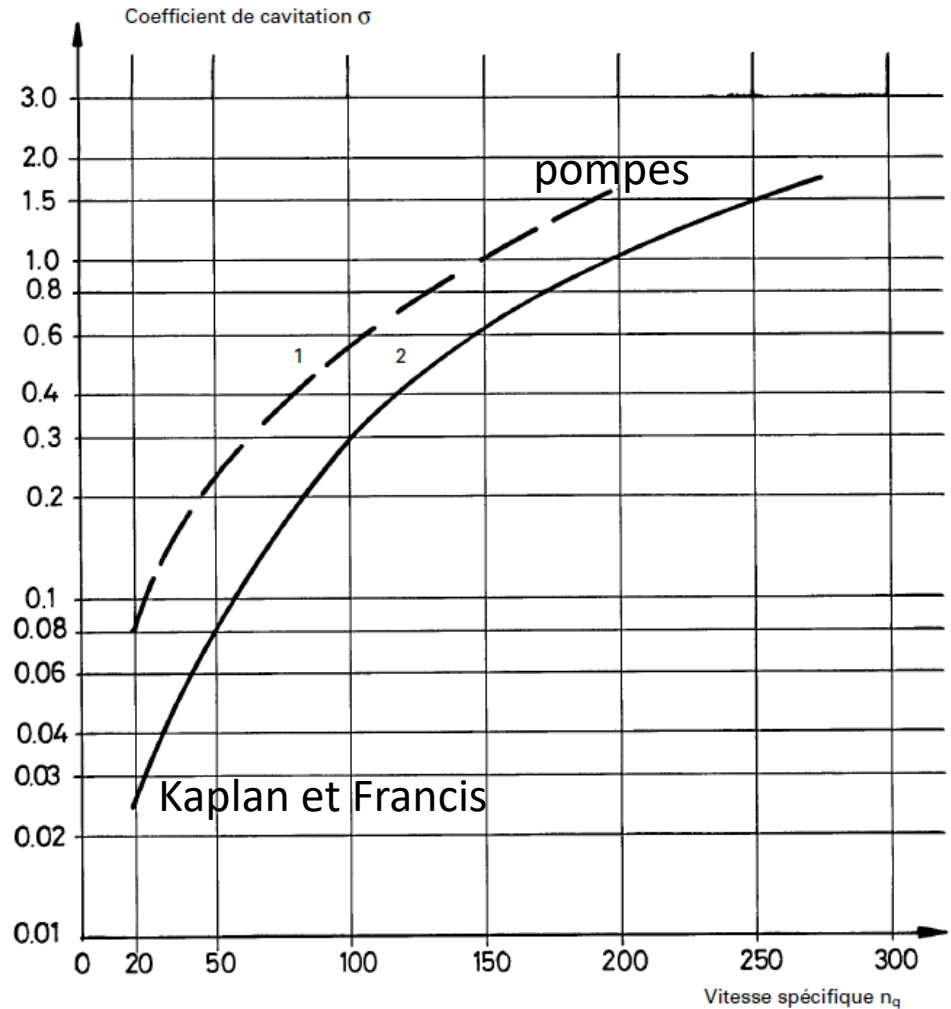
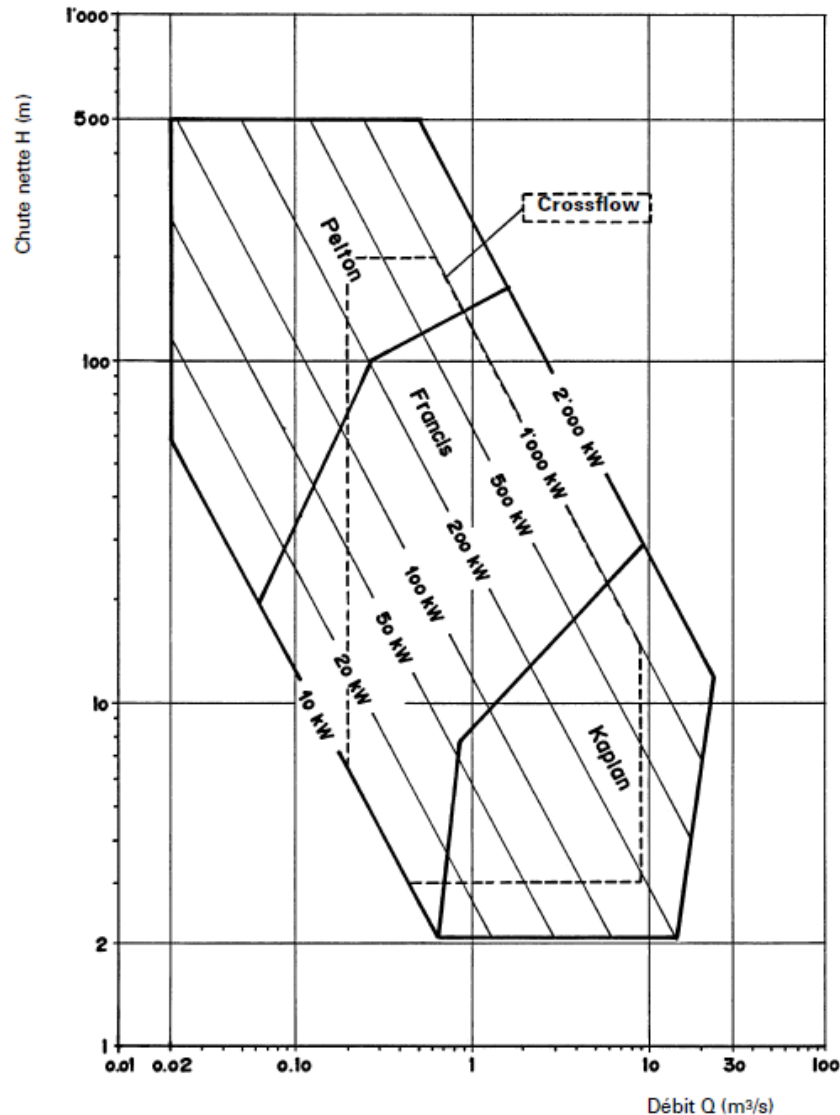
- A 20°C et 500 m d'altitude on a $H_v = 0.24$ m et $H_a = 9.5$ m
- Hauteur génératrice (supposée constante): $H_G = 20$ m
- Débit: $Q_v = 2000$ L/s
- Conduite forcée: $D = 1$ m et $L = 200$ m
- Implantation de la turbine: $z_t = 0.5$ m au dessus du niveau aval
- On donne la formule suivante (Strickler) pour les pertes de charges (paroi rugueuse):

$$H_p = \frac{L}{(D/4)^{4/3}} \frac{V^2}{K^2} \quad K = 75 m^{1/3} s$$

➤ Questions

1. Calculer la hauteur nette H_n
2. En déduire la puissance hydraulique P_h ainsi que le type de Turbine adaptée à ce site.
3. Calculer la vitesse de rotation limite N de la turbine pour éviter la cavitation en sortie de roue
4. En prenant un rendement global de la turbine η_G de 90% et un rendement de la génératrice électrique η_{elec} de 95%, estimer la production annuelle d'électricité.

Exercice 5 - étude d'une centrale hydroélectrique



Exercice 6 – Dimensionnement d'une éolienne

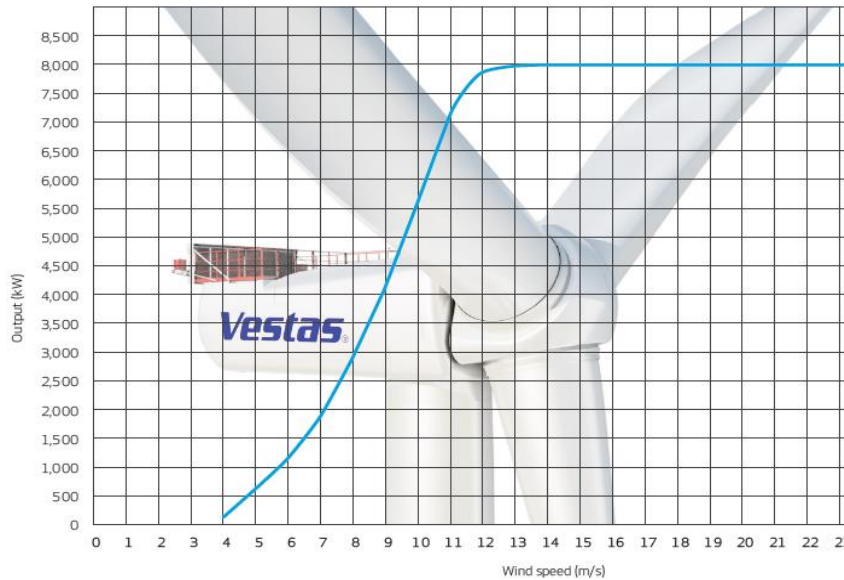
On souhaite dimensionner une éolienne développant une puissance mécanique de $P_m = 750 \text{ kW}$ dans une région où le vent souffle en moyenne à $V = 10 \text{ m/s}$. L'éolienne retenue a un coefficient de puissance mécanique max $C_{pm,max} = 0.49$.

Quel doit être alors le rayon R des pales ?

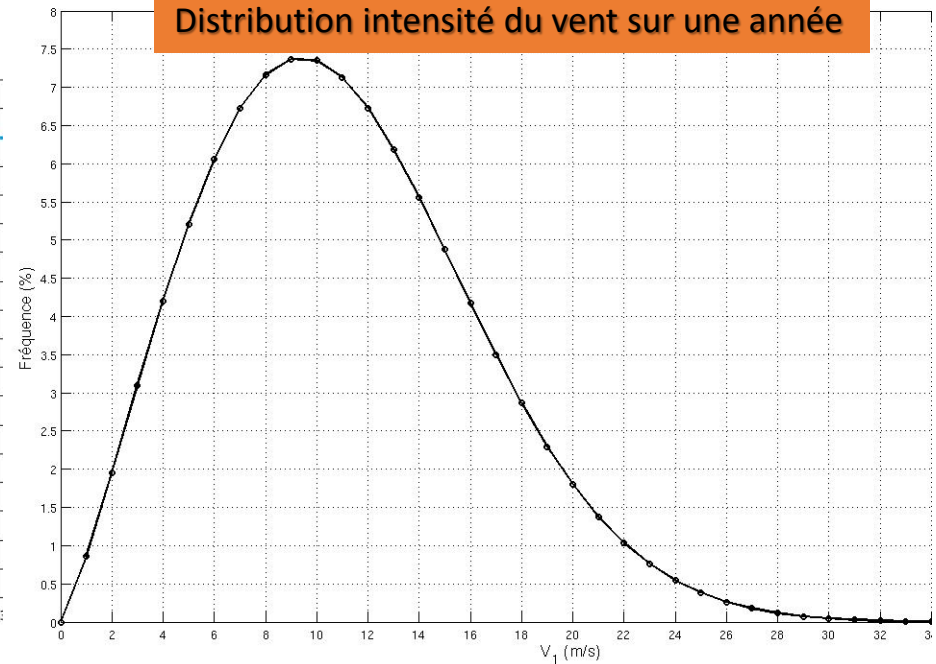
Exercice 7 – Etude d'une éolienne Vestas

On se propose d'étudier le fonctionnement d'une éolienne à axe horizontal comportant 3 pales. Les données fournies par le constructeur sont reportées sur les graphiques suivants.

Puissance électrique fonction vitesse du vent



Distribution intensité du vent sur une année



On donne: la vitesse de vent d'arrêt $V_T = 25$ m/s, la vitesse nominale de rotation du rotor $N_N = 12,1$ tr/min et le coefficient de puissance électrique au point nominal $C_{p\acute{e}lec,N} = 0,25$.

1. Déterminer la vitesse de vent nominale V_N
2. Calculer la puissance du flux d'air P_v disponible à la conversion pour obtenir la puissance électrique $P_{\acute{e}lec,N}$ nominale ?
3. Quel est alors le diamètre D de cette éolienne ?
4. Calculer le rapport spécifique de vitesse λ (tip speed ratio). S'agit-t-il d'une éolienne rapide ou lente ?
5. Connaissant la distribution du vent au cours de l'année (figure 2), calculer la production annuelle de cette éolienne.

Exercice 8 – Dimensionnement d'une éolienne 2

Soit une éolienne tripale à axe de rotation horizontal connectée sur le réseau électrique. La machine électrique est un générateur asynchrone pouvant accepter un glissement maximum de $\pm 30\%$ par rapport à sa vitesse de synchronisme $N_s = 1000$ tr/mn.

La puissance électrique nominale est $P_N = 800$ kW et est atteinte pour une vitesse de vent nominale $V_N = 12,6$ m/s. Le rendement de l'ensemble *multiplicateur-générateur asynchrone* est de 80%. Enfin, on donne le coefficient de puissance mécanique au point nominal $C_{pm,N} = 0,4$.

1. Déterminer le diamètre des pales
2. Détermine la vitesse de rotation sachant que la vitesse spécifique au point nominal est $\lambda_N = 7$
3. En déduire le rapport de multiplication k du multiplicateur