

Université Chouaib Doukkali

AU : 2019/2020

FSJ

SMP6EER

### TP Energie Eolienne

#### Manipulation 1 : Détermination de la puissance disponible sur un site éolien

Sur un site éolien, la mesure des vitesses du vent à 40m de hauteur et sur une période de 3 ans a donné la répartition suivante:

V (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Probabilité d'apparition en %	1	2	5	7	8	10	10	9	8	8	6	6	5	4	4	2	2	1	1	1

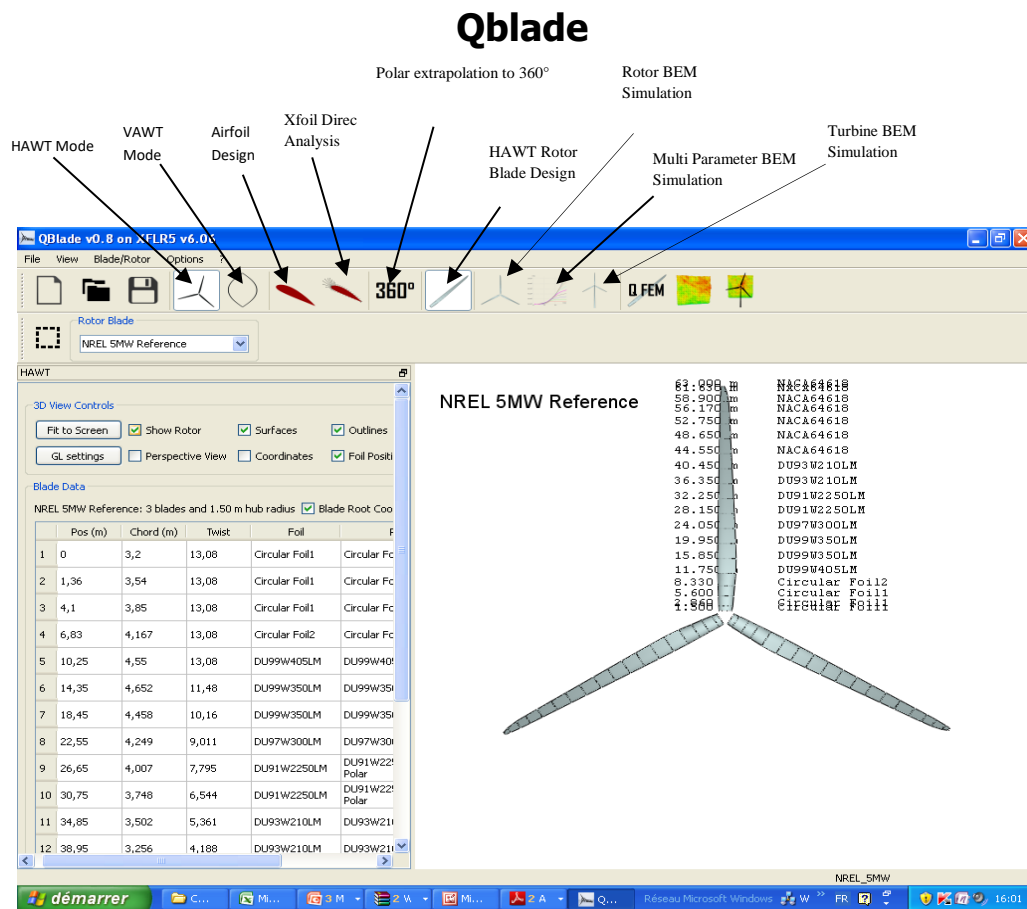
- 1) Déterminer les valeurs numériques des paramètres de Weibull C et K (Utiliser Excel )
- 2) Calculer la puissance disponible par unité de surface dans le site éolien à 40m de hauteur. La densité de l'air est de 1.225 Kg/m<sup>3</sup>.
- 3) Calculer la puissance disponible par unité de surface dans le site éolien à 120m de hauteur. On donne les lois d'extrapolation verticale suivantes :

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{1}{1 - 0.0881 \ln \frac{Z_2}{Z_1}}$$

$$\frac{C_2}{C_1} = \left( \frac{Z_2}{Z_1} \right)^m \quad \text{avec } m = \frac{1}{\ln \frac{\sqrt{Z_1 Z_2}}{Z_0}} - \frac{0.0881(1 - \ln C_1)}{1 - 0.0881 \ln \frac{Z_1}{10}}$$

Le sol du site est en herbes courtes de longueur de rugosité  $Z_0 = 10\text{cm}$

## Manipulation 2 : Dimensionnement d'une HAWT avec le logiciel



### Objectifs :

- Dimensionnement des pales d'une HAWT à profil NACA 63421.
- Calcul du coefficient de puissance  $C_p$  en fonction du TSR.
- Calcul de la puissance en fonction de la vitesse angulaire pour différentes vitesses du vent.
- Calcul de la production d'énergie électrique annuelle (AEP) dans un site éolien.

### Démarche

- 1) Choisir le type d'éoliennes HAWT en cliquant sur le bouton HAWT Mode (4<sup>ème</sup> bouton à partir de la gauche)
- 2) Cliquer sur le bouton **Airfoil Design** (1<sup>er</sup> bouton rouge) ensuite sur le bouton **foil** pour générer les profils circulaire et NACA 63421.
- 3) Cliquer sur le bouton **Airfoil Design** (1<sup>er</sup> bouton rouge) pour visualiser les profils choisis
- 4) Cliquer sur le bouton **Xfoil Direct Analysis** (2<sup>ème</sup> bouton rouge) pour déterminer  $C_L$ ,  $C_D$  et  $C_L / C_D$  en fonction de  $\alpha$ . Choisir un nombre de Reynolds égal  $10^5$  et un nombre de mach=0.03 (vitesse de l'air/vitesse du son)

- 5) En cliquant sur le bouton droit de la souris sur le graphe de  $\frac{C_L}{C_D}(\alpha)$  ; choisir **Current graph** puis **Export graph**. Sauver le fichier excel. Analyser ce fichier et déterminer le  $\alpha_{opt}$

**N.B** : Au risque de perdre vos données, après chaque étape de montage, sauver votre projet en utilisant le bouton **File** puis **Save Project as : nom du projet**

- 6) Utiliser le bouton **Polar extrapolation to 360°** pour extrapoler  $C_L$  et  $C_D$  en fonction de  $\alpha$  de  $0^\circ$  à  $360^\circ$ .
- 7) Utiliser le bouton **HAWT Rotor Blade Design** pour construire votre rotor tripale. Cliquer ensuite sur le bouton **New** en bas de la page pour démarrer la construction.
- Choisir le nombre pales égal à 3 et le rayon du moyeu (**Blade Hub Radius**) égal à 1.8m.
  - Placer 4 profils circulaires espacés de 1m à partir du Hub pour renforcer la pale.
  - Placer les profils NACA63421 de  $r=6m$  à  $r=R=30m$  à 1m d'intervalle.
  - Choisir un angle de calage (**Pitch Angle**) de  $0^\circ$  et **appuyer** sur le bouton **Pitch Blade**
  - Optimiser la corde et l'angle de vrillage en cliquant sur le bouton **optimise** et en choisissant un **TSR=7**,  $\alpha_{opt}$  et  $c_{opt}(r) = \frac{8\pi r}{BC_L}(1 - \cos \phi_{opt})$  selon la

**formule de Schmitz**

- 8) Utiliser le bouton **Rotor BEM Simulation** pour calculer le coefficient de puissance en fonction du TSR. Cliquer sur **Define simulation** et ensuite sur **Start Simulation**.
- Calculer  $C_p(\lambda)$  pour différents angles de calages :  $0^\circ, 4^\circ, 8^\circ, 12^\circ$
- Pour changer l'angle de calage, il faut revenir au menu : **HAWT Rotor Blade Design** et cliquer sur le bouton **Edit**
- Sauver les fichiers des résultats obtenus en cliquant à droite sur le graphe  $C_p(\lambda)$  puis choisir **Current graph** et **Export Graph**.
- Sauver le graph  $C_p(\lambda)$  pour les différents angles de calages sous forme d'image à imprimer en cliquant à droite sur le graphe et en choisissant **Save View to Image File**. Interpréter les résultats et conclure
- 9) Utiliser le Bouton **Multi Parameter BEM Simulation** pour effectuer une simulation sur une plage de vitesses de vent (wind speeds), de vitesses de rotation (rotational speeds) du rotor et d'angles de calage (pitch angles). Cliquer sur **define simulation** puis sur **Start Simulation**.
- Choisir un angle de calage fixe de  $0^\circ$ ,  $V$  variant de 1 à 25 par pas de 1m/s et  $\Omega$  variant de 10 à 100 par pas de 10 rpm (révolution per minute). Tracer  $P(\Omega)$  (**Power Vs Rotational Speed**) pour différentes valeurs de  $V$ .

10) Utiliser le bouton **Turbine BEM Simulation** pour le calcul et la régulation de la puissance par calage des pales. Ce menu permet également de calculer la production annuelle (**AEP**) d'un site éolien à partir de la connaissance de la distribution de Weibull du site (i.e connaissance des paramètres de Weibull  $K$  et  $C$  (Ici sur *Qblade* ce sont  $K$  et  $A$ )).

a) Régulation par Calage (Pitch Regulation) : avec  $\Omega$  constante

Cliquer sur **Pitch limited**. Choisir la capacité de la génératrice (**Generator Capacity**). Choisir la vitesse de démarrage (**Cut in speed**) : **4m/s**

Choisir la vitesse de coupure (**Cut off speed**) : **25m/s**. Choisir la vitesse de rotation (**Rotational Speed**)  $\Omega$  : 50rpm

Sauvegarder la configuration en cliquant sur **Save**

Cliquer sur **Define simulation** et ensuite sur **Start Simulation** pour le calcul de la puissance. Analyser, interpréter et sauvegarder les résultats obtenus. Calculer l'énergie annuelle produite par l'éolienne en choisissant les paramètres de Weibull  $K$  et  $A$ . Considérer le cas réel du site d'Essaouira ci-dessous pour calculer cette énergie à 75m de hauteur.

b) Régulation par Calage (Pitch Regulation) : avec  $\Omega$  variable

Cliquer sur **Pitch limited**. Choisir la capacité de la génératrice (**Generator Capacity**). Choisir la vitesse de démarrage (**Cut in speed**) : **4m/s**

Choisir la vitesse de coupure (**Cut off speed**) : **25m/s**. Choisir la vitesse de rotation (**Rotational Speed**)  $\Omega$  : entre 5 et 60 rpm. Choisir le TSR égal 7

Sauvegarder la configuration en cliquant sur **Save**. Cliquer sur **Define simulation** et ensuite sur **Start Simulation** pour le calcul de la puissance. Analyser, interpréter et sauvegarder les résultats obtenus.

Calculer l'énergie annuelle produite par l'éolienne en choisissant les paramètres de Weibull  $K$  et  $A$ . Considérer le cas réel du site d'Essaouira ci-dessous pour calculer cette énergie à 75m de hauteur.

Comparer a) et b) pour la même capacité de la génératrice. Conclure

**Exemple** : Le tableau ci-dessous présente une série de mesure des vitesses du vent de site d'Essaouira à une hauteur de 40m. La rugosité du sol est de 15cm

V(m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fréquence (%)	1	2	5	7	8	9	9	9	8	8	7	7	5	3	3	3	3	1	1	1

Paramètres de Weibull pour h=40m :  $K= 2.2724$  et  $A= 10.1514\text{m/s}$

Paramètres de Weibull pour h=75m :  $K= 2.4254$  et  $A= 11.1068\text{ m/s}$