

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

Niveaux: 2<sup>ème</sup> Année Master – Energies Renouvelables

Matière: Intégration des Energies Renouvelables aux Réseaux Electriques

---

## **Série de TD N°01**

### **Exercice N°1**

G1 et G2 deux groupes de production électriques en parallèle, leurs vitesses  $N1=N2$

G1 :  $P1n=100MW$  ;  $S1=6\%$

G2 :  $P2n=100MW$  ;  $S2=6\%$

Etat initial :  $P1=50MW$  ;  $P2=50MW$  ;  $f=50Hz$

On veut tester le comportement du groupe G1

1 / Si on augmente la puissance du G2 à  $P2=75MW$

- a) Calculer la nouvelle puissance du G1 pour maintenir la fréquence à 50Hz
- b) Calculer la fréquence avant la stabilisation de la situation.
- c) Tracer les courbes de fréquences

### **Exercice 2:**

G1 et G2 deux groupes de production électriques en parallèle, leurs vitesses  $N1=N2$

G1 :  $P1n=100MW$  ;  $S1=8\%$

G2 :  $P2n=100MW$  ;  $S2=4\%$

Etat initial :  $P1=50MW$  ;  $P2=50MW$  ;  $f=50Hz$

#### **Partie 1**

- Si on augmente la puissance du groupe G2 à  $P2=75MW$
- Calculer, la fréquence (f), la puissance (P1), et tracer les courbes de référence.

#### **Partie 2**

- Si on augmente la puissance du groupe G1 à  $P1=75MW$
- Calculer la fréquence (f), et la puissance (P2), et tracer les courbes de référence.

#### **Partie 3**

- Quelle sera la nouvelle répartition des charges des deux groupes lors d'une augmentation de la demande en charge sur le réseau électrique de  $\Delta P = 60 MW$  ?

## Série de TD N°02

### Exercice N°1

Une éolienne a les caractéristiques suivantes :

- Diamètre de rotor : **100 m** avec **3 pales**,
- Coefficient de puissance  **$C_p = 0,44$** .

1) Calculer la puissance captée par l'éolienne pour une vitesse de vent de **7 m/s** puis pour une vitesse de vent de **10 m/s**.

La masse volumique de l'air  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ .

2) Conclure :

Quels paramètres faut-il prendre en compte lors du choix et de l'installation d'une éolienne ?

### Exercice 2:

Nous souhaitons dimensionner les pales d'une éolienne à vitesse fixe pour obtenir une puissance mécanique de 750 kW pour une vitesse de vent de 13,8 m/s. On considère un coefficient de puissance  $C_p$  égal à 0,2. Quel sera la longueur de notre pale ou le rayon de la surface balayée par la turbine?

### Exercice3:

On donne quelques paramètres d'une éolienne de 300 kW:

Diamètre des pales : 28 m

Surface balayée par le rotor : 615 m<sup>2</sup>

Vitesse nominale du vent : 14 m/s

Vitesse nominale de rotation du rotor : 43 tr/min

Rapport du multiplicateur : 35

Vitesse nominale de la MAS : 1515 tr/min

Densité de l'air est de 1,225 Kg/m<sup>3</sup>

Quel pourcentage de l'énergie du vent récupère t-on au point de fonctionnement nominal ?

De quel type d'éolienne s'agit-il : éolienne lente ou éolienne rapide ?

Quelle est la vitesse de rotation du rotor de la génératrice ?

## Série de TD N°03

### Exercice N°1

Une machine à induction triphasé, 60 Hz, à quatre pôles, tourne à la vitesse 1710tr/mn.

- 1/ Quelle est la valeur du glissement ?
- 2/ déduire le type de cette machine, (Moteur - Générateur)
- 3/ Quelle est la fréquence des courants induits dans le rotor ?

### Exercice N°2

Un système éolien à vitesse fixe utilise une GAS à cage connectée au réseau de distribution.

Données :

Réseau :  $U=30\text{Kv}$  ,  $f=50\text{Hz}$

GAS :  $U_n=300\text{v}$  ,  $p=4$

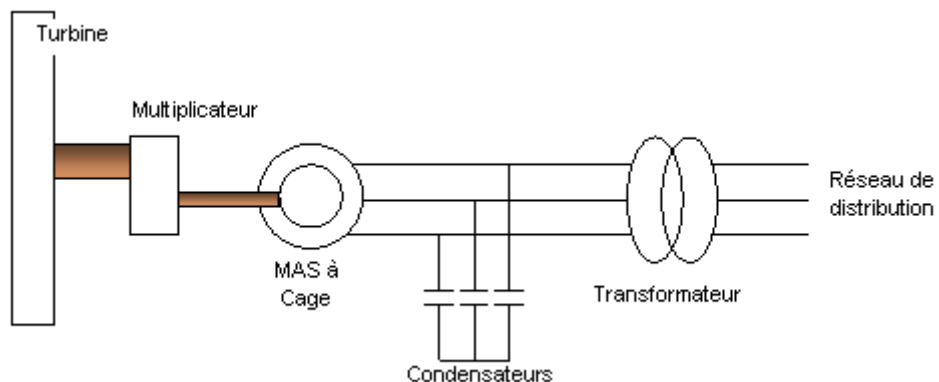
Multiplicateur de vitesse :  $G=1/20$

Questions : 1-Proposer une configuration de fonctionnement

2 – Pour un glissement  $g=-1\%$

- a) Calculer la vitesse de rotation de la GAS en [tr/mn]
- b) Calculer la vitesse de rotation de la turbine [tr/mn].

Exercice N°3: Soit l'installation éolienne suivante :



La turbine de l'éolienne entraîne une génératrice asynchrone (MAS) à cage qui débite sur un réseau de distribution.

Données:

Densité de l'air :  $\rho = 1,25\text{kg/m}^3$

Rayon des pales :  $R = 45\text{ m}$

Coefficient du multiplicateur :  $k = 70$

Nombre de paires de pôles de la MAS :  $p = 2$

Fréquence du réseau :  $f = 50 \text{ Hz}$

### Question 1

Calculer pour un glissement  $g$  de  $-1 \%$  :

- La vitesse du rotor de la génératrice asynchrone  $\Omega$  en rad/s, et  $N$  en tr/min.
- La vitesse de l'arbre primaire de l'éolienne  $\Omega_L$  en rd/s et  $N_L$  en tr/min.

### Question 2

On suppose que la vitesse du vent est constante et égale à  $10 \text{ m/s}$ . La valeur maximale du coefficient de puissance  $C_p$  réel est  $0,4$ . Calculez pour le même glissement qu'à la question 1 la vitesse spécifique et la puissance électrique maximum  $P_e$  fournie au réseau par l'éolienne. On prendra un rendement de multiplicateur à  $97 \%$  et de la génératrice de  $96 \%$ .

### Exercice N°4:

L'éolienne sert à transformer l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. Nous vous proposons d'étudier la génératrice asynchrone à cage d'une éolienne installée au sein d'une ferme éolienne de puissance totale de  $7,5 \text{ MW}$ . Les éoliennes fonctionnent à vitesse fixe, la génératrice est reliée au réseau. Nous allons déterminer la puissance, la vitesse de rotation de l'arbre de la génératrice, et le schéma équivalent de la génératrice. Les éoliennes comportent des multiplicateurs.

Le schéma est le suivant :

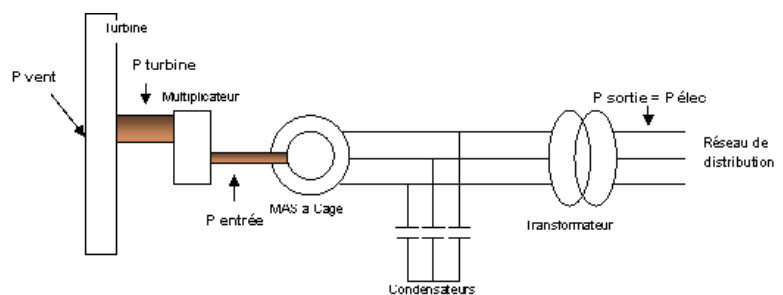
Les données sont :

Densité de l'air :  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

Rayon des pales :  $R = 21,7 \text{ m}$

$C_{p\max} = 0,27$

Vitesse de vent :  $15 \text{ m/s}$



### Questions

Calculez la puissance électrique en sortie de la génératrice  $P_{elec}$  et la vitesse de rotation de l'arbre de la génératrice sachant que le multiplicateur utilisé a un rapport de  $46,48$  et un rendement de  $96\%$  et que les éoliennes tournent à  $32,5 \text{ tr/min}$ . Les pertes dues à la génératrice sont supposées négligeables.

## Série de TD N°04

### Exercice N°1

Les caractéristiques d'un module photovoltaïque sont données dans le tableau ci-dessous lorsque le module reçoit une puissance rayonnante de **1000 W** sur **1 m<sup>2</sup>** de surface de module

T cellules	25° C	50° C
P max (W)	36	32.5
U à P max (V)	16.3	14.4
I à 10V (A)	2.29	2.28
I court-circuit * (A)	2.45	2.50
U circuit ouvert (V)	20.3	18.4

1) Donner l'allure de la caractéristique tension-intensité (tension en abscisse et intensité en ordonnée) de ce module photovoltaïque, à **50°C**, pour une puissance rayonnante reçue de 1000 W/m<sup>2</sup>. On placera :

- a) le point de fonctionnement A correspondant à l'intensité de court-circuit ;
- b) le point de fonctionnement B correspondant à un circuit ouvert ;
- c) le point de fonctionnement C correspondant à la puissance électrique maximale disponible.

2) Ce module reçoit, à **50°C**, une puissance rayonnante surfacique de 1000 W.m<sup>-2</sup>. La tension à ses bornes, lorsqu'il fonctionne est égale à **10V**.

- a) D'après les données, quelle est, alors, la valeur de l'intensité **I** du courant ?
- b) Quelle est la puissance électrique fournie ?
- c) La surface du module est égale à **0,185 m<sup>2</sup>**. Calculer le rendement énergétique du module.

3) Que peut-on conclure de l'influence d'une augmentation de la température sur les performances d'un panneau solaire photovoltaïque ? En est-il de même pour un panneau solaire thermique ?

4) Ce panneau est installé en site isolé dans un système autonome. Faites le schéma synoptique de l'installation.

5) Comment maintenir le panneau en fonctionnement optimal (maximum de puissance) ?

## Exercice N°2

Une centrale photovoltaïque constituée de : panneaux solaires, suiveur de puissance maximale MPPT, Hacheurs élévateur/Abaisseur de tension, onduleur triphasé, transformateur triphasé connecté en étoile-triangle (Y- $\Delta$ ) à une charge de puissance  $P_{ST}=5\text{Mw}$ .

NB : Une puissance de 5Mw peut alimenter 1800habitants.

- a- Dessiner un schéma de principe des composants mentionnés ci-dessus.
- b- Si le rendement de chaque constituant (Suiveur MPPT, Convertisseur CC/CC, onduleur, transformateur)  $\eta=90\%$ , quelle est la puissance maximale requise de la centrale ?
- c- Sachant que le rendement du panneau solaire est  $\eta_c=15\%$ ,
  - Calculer la puissance d'ensoleillement nécessaire  $P_{Qs\text{-max}}$
- d- La centrale photovoltaïque est constituée de 43000 panneaux solaires chacun ayant une surface de  $(0,8 \times 1,6)\text{m}^2$ .
  - Quelle est la surface totale de l'ensemble des panneaux et quelle est l'irradiation solaire maximale nécessaire ( $Q_s$  mesurée en  $\text{Kw/m}^2$ ) dans le lieu de cette installation photovoltaïque ?

## Exercice N°03

Une centrale photovoltaïque constituée de : panneau solaire, suiveur de puissance maximale MPPT, Hacheurs élévateur/Abaisseur de tension, onduleur triphasé, transformateur triphasé Y- $\Delta$  , un système d'alimentation absorbant la puissance sortante du transformateur  $P_{tr}=5\text{Mw}$ .

NB : Une puissance de 5Mw peut alimenter 1800habitants.

- ✚ Dessiner un diagramme des constituants susmentionnés.
- ✚ Si le rendement de chaque constituant (Suiveur MPPT, Convertisseur CC/CC, onduleur, transformateur)  $\eta=90\%$ , quelle est la puissance maximale requise de la centrale ?
- ✚ Sachant que le rendement du panneau solaire est  $\eta_c=15\%$ , Calculer la puissance d'ensoleillement nécessaire  $P_{e\text{max}}$