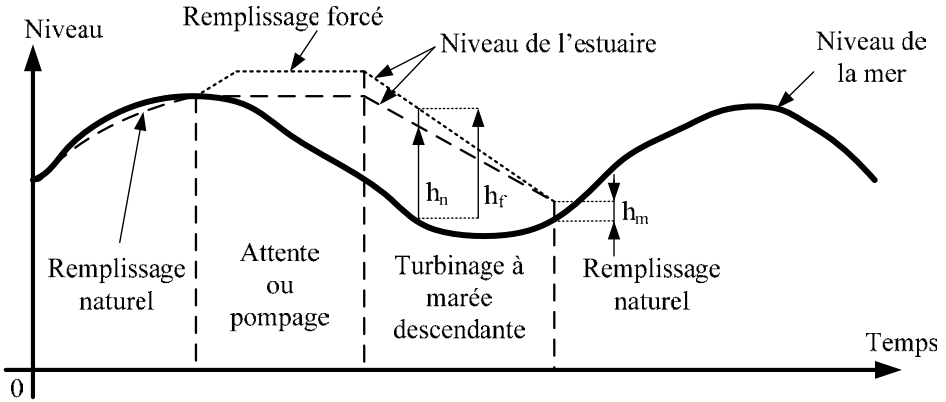


SOMMAIRE

Chapitre 1 – Généralités sur la production et la récupération d'énergie	5
I. Energie et puissance.....	5
II. Différentes formes d'énergie ; les besoins en énergie.....	13
III. Les ressources et les énergies renouvelables.....	18
Chapitre 2 – Production d'énergie électrique	22
I. Les besoins en énergie électrique en France.....	22
II. Production de masse.....	25
III. Production d'appoint.....	31
Chapitre 3 – Aérogénérateurs. Problèmes de baccalauréat	44
3.1. Dimensionnement d'une éolienne (<i>BEP Productique 2002</i>).....	44
3.2. Production d'énergie électrique sur site isolé (<i>Bac STI / GM, 2000</i>).....	45
3.3. Phare de l'île noire (<i>Bac S-SI, Polynésie 2005</i>).....	47
3.4. Aérogénérateur pour habitat isolé (<i>Bac STI / ET, 2000</i>).....	51
Solutions des exercices.....	55
Chapitre 4 – Aérogénérateurs. Problèmes de DUT, BTS et classes préparatoires	64
4.1. Eolienne à convertisseur asynchrone (<i>BTS ET, Métropole 2004</i>).....	64
4.2. Eolienne et génératrice asynchrone. Dispositif de démarrage (<i>BTS ET, Nouvelle-Calédonie 2004</i>).....	73
4.3. Aérogénérateur : génératrice synchrone, onduleur et refroidissement (<i>BTS MI, 2004</i>).....	78
4.4. Aérogénérateur. Machine synchrone. Régulation de l'excitation (<i>Concours ATS, 2003</i>).....	83
4.5. Principe de fonctionnement d'une éolienne. Alternateur diphasé (<i>Concours général, Terminale S, 2002</i>).....	91
Solutions des problèmes du chapitre 4.....	99
Chapitre 5 – Aérogénérateurs : problèmes de niveau L1, M1	131
5.1. Machine synchrone associée à un pont de diodes (<i>ENS Cachan, 2001</i>).....	131
5.2. Entraînement d'une machine asynchrone à rotor bobiné à vitesse variable – Cascade hyposynchrone (<i>ENS Cachan, 2002</i>).....	134
5.3. Sources renouvelables d'énergie (<i>CAPES Physique, 2009</i>).....	139
5.4. Etude d'une éolienne (<i>Agrégation interne GE, 2001</i>).....	145
Solutions des problèmes du chapitre 5.....	159
Chapitre 6 – Stockage et gestion d'énergie	198
6.1. Stockage d'énergie. Modélisation d'une batterie.....	198
6.2. Moteur Stirling et alternateur (<i>BTS Construction navale, 2005</i>).....	201
6.3. Moteur Stirling. Groupe électrogène (<i>BTS MI, 2007</i>).....	205
6.4. Gestion d'énergies renouvelables sur un voilier (<i>BTS Construction navale, 2009</i>).....	208
Solutions des exercices du chapitre 6.....	213

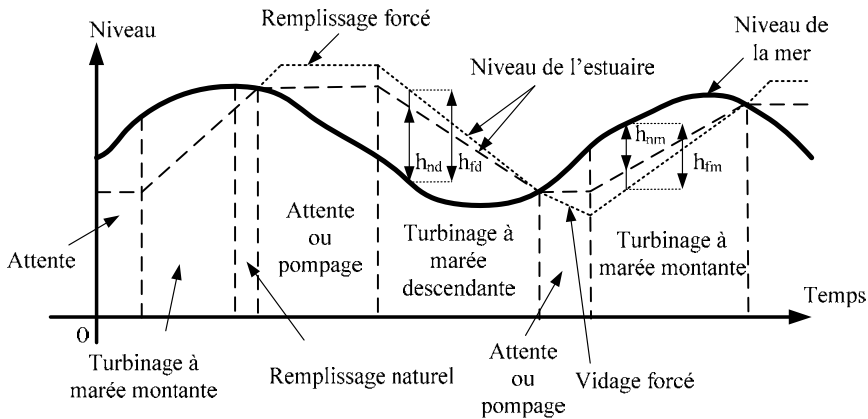
Production d'énergie électrique

marée descendante commence la nuit) puis turbiner avec une hauteur plus importante que lors d'un remplissage naturel $h_f > h_n$.



2.35. Mode de fonctionnement simple effet

Le mode double effet permet de turbiner aussi bien à marée montante que descendante ; la production est alors plus importante. La différence entre les deux niveaux peut aussi être artificiellement accentuée par pompage de la mer vers l'estuaire (*remplissage forcé*), ou de l'estuaire vers la mer (*vidage forcé*).



2.36. Mode de fonctionnement double effet

3.1.4. Station de transfert d'énergie par pompage :

On retrouve le principe d'accumulation par pompage dans les STEP (*Station de Transfert d'Énergie par Pompage*¹⁷).

17. Des exemples sont traités sous forme de problèmes dans le tome 6.

Chapitre 4 Aérogénérateurs Problèmes de DUT, BTS et classes préparatoires

4.1. Éolienne à convertisseur asynchrone (d'après BTS 2004 métropole)

Pour la session 2004 du brevet de technicien supérieur en électrotechnique, les sujets de la métropole et de Nouvelle-Calédonie étaient relatifs à une installation associant une éolienne à une génératrice asynchrone et un onduleur. L'étude, très intéressante, a donné lieu à des développements que nous donnons ci-après (problèmes 4.1. et 4.2.). Nous avons donné les deux énoncés car, par certains aspects, ils se complètent l'un l'autre : par exemple dans la première partie si l'un fait le bilan énergétique en moteur l'autre le fait dans un fonctionnement en génératrice etc.

Une éolienne de puissance nominale 300 kW alimente un site isolé (une île) en électricité. Son rotor, équipé de trois pales longues de 15 m, est situé à l'extrémité d'un mât haut de 40 m. Elle peut fournir sa puissance nominale quand la vitesse du vent est comprise entre 50 km/h et 80 km/h ce qui est souvent le cas sur ce site.

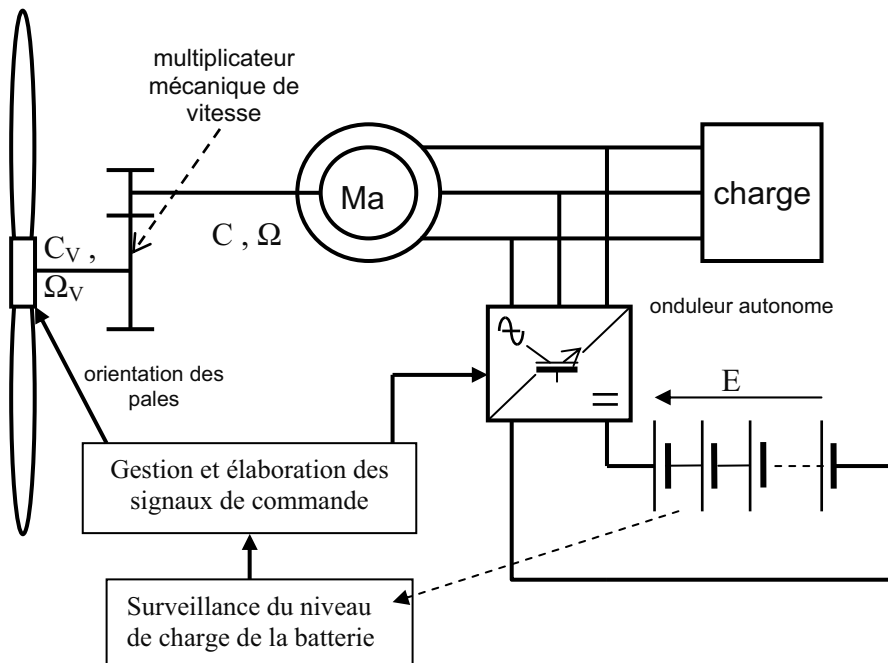


Figure 4.1.1. Synoptique de l'installation

Les pales de l'éolienne mises en mouvement par le vent entraînent le rotor d'une machine asynchrone par l'intermédiaire d'un multiplicateur de vitesse à engrenage. Les enroulements du stator de la machine asynchrone sont soumis à un système triphasé de tensions produit par un

onduleur autonome alimenté par une batterie (*Figure 4.1.1.*). L'onduleur impose donc la fréquence de synchronisme de la machine. L'énergie électrique absorbée par la charge est fournie par la machine asynchrone qui fonctionne en génératrice quand le couple exercé par le vent sur les pales du rotor suffit. La vitesse de rotation des pales Ω_v est imposée par la machine asynchrone au glissement près. Le couple C_v exercé par les pales sur l'axe du rotor dépend de la vitesse du vent. Un système de contrôle l'ajuste en fonction des besoins en puissance en agissant sur l'orientation des pales. Dans le cas où la vitesse du vent est insuffisante, la batterie prend le relais de la génératrice pour assurer la continuité de service. L'onduleur doit être réversible en courant pour que la batterie puisse être rechargée.

Première partie

Etude de la machine asynchrone fonctionnant en moteur

Il s'agit uniquement dans cette partie d'élaborer le schéma électrique équivalent d'une phase de la machine asynchrone *en fonctionnement moteur* à partir des informations délivrées par le constructeur.

Caractéristiques du moteur :

- 4 pôles ($p = 2$), rotor à cage; alimentation 230 V / 400 V - 50 Hz ;
- puissance utile nominale : $P_{un} = 300$ kW ; fréquence nominale de rotation : $N_n = 1\,485$ tr.min⁻¹ ; rendement nominal : $\eta = 96$ % ;
- les pertes mécaniques sont supposées constantes et égales à $p_m = 1,0$ kW ;
- les pertes fer rotoriques et les pertes Joule statoriques sont négligées.

1°) Questions préliminaires

1.1. Calculer la vitesse de synchronisme quand la machine est alimentée par le réseau 50 Hz. Exprimer cette grandeur en rad.s⁻¹ (notée Ω_s), puis en tr.min⁻¹, (notée N_s). En déduire la valeur nominale du glissement.

1.2. Compléter le diagramme des puissances de la figure 4.1.2. en faisant apparaître les puissances ci-dessous et calculer les valeurs numériques correspondantes :

- Puissance utile $P_u = C_u \cdot \Omega$
- Puissance transmise au rotor..... $P_t = C_e \cdot \Omega_s$
- Puissance mécanique..... $P_M = C_e \cdot \Omega$
- Puissance absorbée..... P_{abs}
- Pertes joule dans le rotor p_{jr}
- Pertes mécaniques p_m
- Pertes fer statoriques..... p_{fs}

On négligera et on ne calculera pas les pertes fer rotor.

2°) Calcul des couples nominaux

- 2.1. Calculer le moment du couple utile nominal C_{un} .
- 2.2. Calculer le moment du couple de pertes mécaniques C_m .
- 2.3. Calculer le moment du couple électromagnétique nominal C_{en} .

3°) Calcul des puissances nominales

3.1. Calculer la puissance nominale transmise au rotor P_t . En déduire les pertes par effet Joule au rotor p_{jr} .

Solutions des problèmes du chapitre 4

S.4.1. Eolienne à convertisseur asynchrone

1°) Questions préliminaires

1.1. $\Omega_s = \frac{2\pi N_s}{60}$, où N_s désigne la fréquence de rotation au synchronisme en tours par minute.

$N_s = \frac{60f}{p}$ en tr/min, donc $N_s = 1\,500$ tr/min et $\Omega_s = 157$ rad.s⁻¹. Le glissement nominal est donc

$g = \frac{N_s - N}{N_s} = 0,01$. Le glissement est de 1 %.

1.2. Si on néglige les pertes fer rotoriques (ce qui est légitime car la fréquence des courants rotoriques est faible) et les pertes Joule statoriques (ce qui l'est moins), le bilan énergétique est alors celui de la figure S.4.1.1.

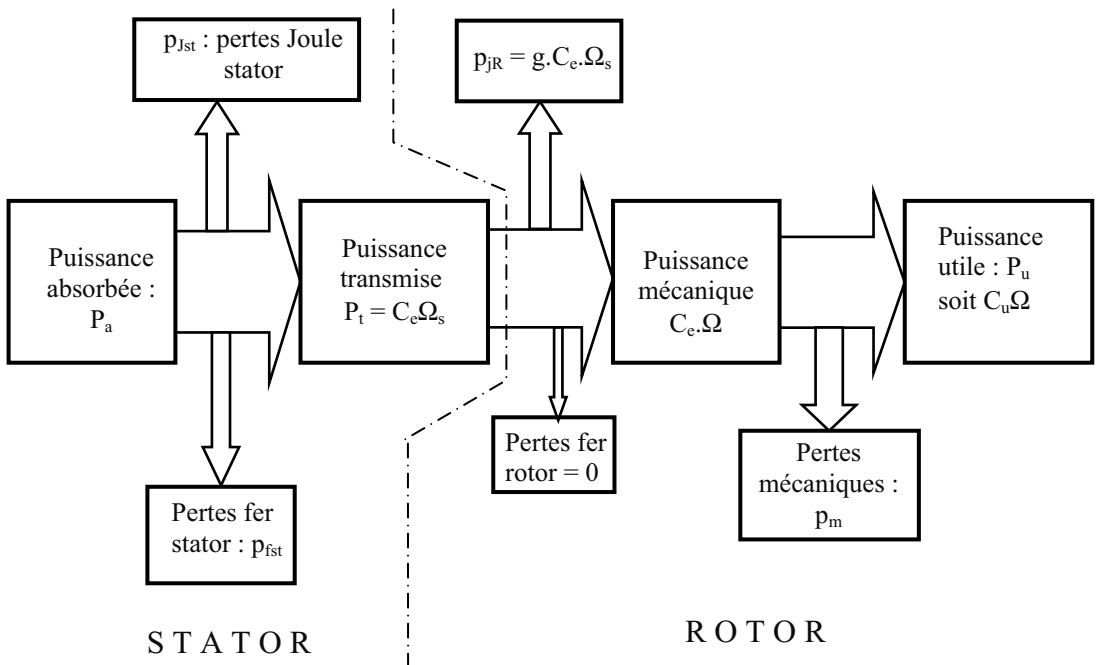


Figure S.4.1.1. Bilan énergétique de la machine asynchrone

La puissance mécanique : $C_e \Omega = P_u + p_m = 300 + 1 = 301$ kW. Puisque $p_{JR} = g P_t$ on en déduit :

$P_t = \frac{(P_u + p_m)}{1 - g} = 304$ kW. D'autre part P_a est calculable d'après le rendement :

$$P_a = \frac{P_u}{0,96} = 312,5 \text{ kW dont on déduit les pertes stator : } 8,5 \text{ kW.}$$