

SOLUTION DE L'EXAMEN DE RECUPERATION : Systèmes de conversion de l'énergie PV et éolienne

SOLUTION D'EXERCICE 1 (5 points) :

1. Énergie d'un photon

- **Photon $\lambda = 600$ nm:**

$$E(\text{eV}) = \frac{C}{\lambda(\text{nm})} = \frac{1240}{600} \approx 2,07 \text{ eV}$$

- **Photon $\lambda = 1000$ nm:**

$$E(\text{eV}) = \frac{C}{\lambda(\text{nm})} = \frac{1240}{1000} \approx 1,24 \text{ eV}$$

2. Conversion du photon de 600 nm (2,07 eV) par les matériaux

MATERIAU	GAP E_{GEG} (eV)	ÉNERGIE PHOTON (2,07 eV) > E_{GEG} ?	CONVERSION POSSIBLE ?
GAAS	1,42	Oui	Oui
SILICIUM	1,12	Oui	Oui
TiO₂	3,2	Non (2,07 < 3,2)	Non

Justification : Un photon ne peut créer une paire électron-trou que si son énergie est **supérieure ou égale** au gap du semi-conducteur. Ici, TiO₂ a un gap trop large.

3. Devenir d'un photon d'énergie inférieure à E_g :

Lorsqu'un photon d'énergie $E < E_g$ frappe une cellule solaire :

- Il n'est **pas absorbé** par le semi-conducteur (pas de création de pair électron-trou).
- Il traverse la cellule (transmission) ou est **diffusé** (perte par réflexion ou émission de chaleur).
- Aucune contribution au courant photogénéré.

SOLUTION D'EXERCICE 2 : Dimensionnement d'un système PV avec batteries (5 points)

Données :

- Consommation quotidienne : $E_{\text{cons}}=3 \text{ kWh/j}$
- Ensoleillement du mois le plus défavorable : $G=4 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$
- Coefficient de pertes global : $K=0,7$
- Nombre d'heures d'ensoleillement équivalent : $H=4 \text{ h/j}$

1. Énergie que doivent produire les panneaux chaque jour

Le coefficient K représente l'efficacité globale du système (pertes batteries, câbles, convertisseur, etc.).

L'énergie à produire en sortie des panneaux est :

$$E_{\text{prod}} = \frac{E_{\text{cons}}}{K} = \frac{3}{0.7} = 4,2857 \text{ kWh/j}$$

2. Puissance crête nécessaire P_c (en Wc)

La puissance crête se calcule par :

$$P_c = \frac{E_{\text{prod}}}{H} = \frac{4,2857}{4} = 1071,4 \text{ Wc}$$

3. Pourquoi utiliser le mois le plus défavorable ?

Pour garantir l'**autonomie du système toute l'année** :

- Si on dimensionnait sur la moyenne annuelle, le mois le plus défavorable (faible ensoleillement) entraînerait un **déficit énergétique**.
- Le dimensionnement sur le mois le plus défavorable assure une **fiabilité maximale** en période critique (ex : décembre sous nos latitudes).
- C'est le principe de la **méthode du mois le plus mauvais** (worst month method) utilisée pour les systèmes autonomes.

SOLUTION D'EXERCICE 3 (5 points) :

Donnée :

- Masse volumique de l'air $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$
- Diamètre rotor $D=40 \text{ m}$
- Vitesse du vent $V=7 \text{ m/s}$
- Coefficient de performance $C_p=0,4$

1. Surface balayée A :

$$A=\pi R^2=\pi \times (20)^2 \approx 1256,64 \text{ m}^2$$

2. Puissance totale disponible dans le vent :

$$P_{\text{vent}} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 = 0,5 \times 1,225 \times 1256,64 \times 7^3 = \mathbf{258616 \text{ W} = 258,6 \text{ kW}}$$

$$P_{\text{vent}} = \mathbf{258,6 \text{ kW}}$$

3. Puissance mécanique extraite ($C_p=0,4$)

$$P_{\text{mecanique}} = C_p \times P_{\text{vent}} = 0,4 \times 258,6 = \mathbf{103,44 \text{ kW}}$$

4. Que représente C_p ? Sa valeur maximale ?

C_p = **Coefficient de performance** ou **coefficient de puissance** de l'éolienne.

Il représente le **rendement aérodynamique** : rapport entre la puissance mécanique récupérée sur l'arbre et la puissance totale du vent incident.

Valeur limite théorique (limite de Betz) :

$$C_{p,\text{max}}=16/27\approx 0,5926 \text{ (soit environ 59\%)}$$

En pratique, les éoliennes modernes ont un C_p entre 0,35 et 0,5.

SOLUTION D'EXERCICE 4 (5 points) : Questions de cours

1. Deux raisons pour lesquelles une cellule PV ne convertit pas toute l'énergie solaire reçue
 - **Effet du gap** : les photons d'énergie $< E_g$ sont pas absorbés ; l'excédent d'énergie des photons $> E_g$ est perdu par thermalisation (chaleur).
 - **Pertes optiques et électriques** : réflexion sur la surface, ombrage par les grilles métalliques, recombinaisons volumiques et surfaciques des porteurs, résistances série.
2. Influence de l'augmentation de l'éclairement G sur I_{sc} et V_{oc}
 - I_{sc} : augmente **linéairement** avec G (proportionnel au nombre de photons incidents).
 - V_{oc} : augmente **logarithmiquement** avec G (faible augmentation).
3. Deux fonctions principales d'un régulateur MPPT dans un système PV autonome avec batterie
 - **Recherche du point de puissance maximale** (MPPT) : adapter l'impédance vue par le générateur PV pour extraire le maximum de puissance quelles que soient les conditions d'ensoleillement et de température.
 - **Régulation de charge/décharge de la batterie** : protéger la batterie contre la surcharge (limiter la tension) et la décharge profonde (coupure de la charge si tension trop basse).
4. Avantage principal de l'éolien offshore par rapport au terrestre (indépendamment de la vitesse du vent)
 - **Absence d'obstacles et de rugosité** : sur mer, le vent est plus **laminaire** et plus **régulier** (moins de turbulence et de cisaillement vertical).
 - Moins d'impact paysager et sonore, possibilité d'éoliennes de très grande taille (transport par bateau).
5. Pourquoi une petite augmentation de la vitesse du vent entraîne-t-elle une forte augmentation de la puissance récupérable ?

Parce que la puissance du vent est **proportionnelle au cube de la vitesse** : $P \propto V^3$