

Énergie transportée par la lumière

Dans notre monde moderne axé sur l'énergie, comprendre la manière dont des atomes interagissent avec la lumière est crucial. Au cœur de ces interactions se trouvent des électrons, répartis en couches distinctes, chacune associée à une énergie spécifique. Ces interactions énergétiques ont des implications profondes dans la conversion de l'énergie solaire en électricité et en énergie thermique. Comment les électrons interagissent avec la lumière, en particulier lors des processus d'émission et d'absorption de photons ?

Sommaire

I	Description corpusculaire de la lumière	2
1	Le photon	2
2	Interactions lumière - matière	2
II	Conversion énergétique	3
1	Processus photovoltaïque	3
1.1	Caractéristiques d'un panneau photovoltaïque	4
1.2	Point de fonctionnement	4
2	Processus photothermique	5

I

Description corpusculaire de la lumière

Le modèle corpusculaire de la lumière décrit les ondes électromagnétiques (OEM) par des photons.

1 Le photon

♥ Connaitre 1

Un **photon** est une particule sans masse transportant une quantité discrète d'énergie ΔE telle que :

$$\Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad \begin{cases} \Delta E \text{ en joules (J)} \\ h \text{ en joules.secondes (Js)} \\ f \text{ en hertz (Hz)} \\ c \text{ en m/s} \\ \lambda \text{ en mètres (m)} \end{cases}$$

avec :

- $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js : la constante de PLANCK ;
- $c = 3 \times 10^8$ m.s⁻¹ : la célérité de l'OEM ;
- f : fréquence de l'OEM émettrice ;
- λ : longueur d'onde de l'OEM.

💡 Remarque

On peut aussi exprimer l'énergie d'un photon en électronvolts : $1 \text{ eV} \simeq 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Cette unité est pratique pour exprimer les énergies des particules dans le domaine subatomique.

Exemple : l'énergie ΔE_0 d'un photon associé à une OEM de longueur d'onde $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$ vaut :

$$\Delta E_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{632,8 \times 10^{-9}} \simeq 3,14 \times 10^{-19} \text{ J} \simeq 1,96 \text{ eV}$$

2 Interactions lumière - matière

Les électrons d'un atome sont répartis sur des sous-couches : $1s$, $2s$, $2p$, etc. À chaque couche correspond un niveau d'énergie.

Les processus d'émission et d'absorption de photons par les électrons d'un atome impliquent des changements d'énergie entre les sous-couches électroniques :

- l'émission se produit lorsque un électron se trouve à un état excité d'énergie E_2 et se désexcite vers un état d'énergie E_1 . L'électron libère alors un photon dont l'énergie $\Delta E = E_2 - E_1$;
- l'absorption se produit lorsque un électron se trouve à un état d'énergie E_1 et passe à un état d'énergie supérieure E_2 . L'électron absorbe alors un photon dont l'énergie $\Delta E = E_2 - E_1$.

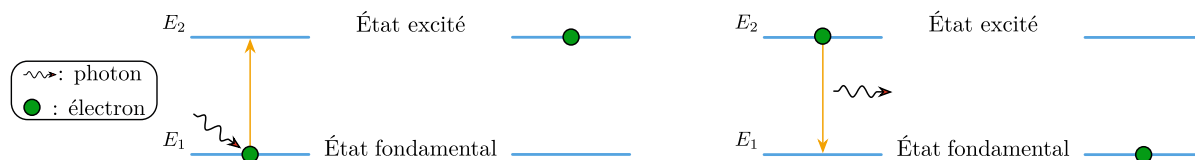


FIGURE 1 – Processus d'absorption et d'émission de photons par un électron

💡 Remarque

- L'émission d'un photon peut être spontanée. Le photon est alors généralement émis dans une direction aléatoire.
- L'émission peut être stimulée. Dans ce cas, un photon incident rencontre un électron déjà dans un état excité. La désexcitation produit deux photons avec la même direction. Ce principe est à la base du fonctionnement des lasers.

II Conversion énergétique

Les conversions **photovoltaïques** et **photothermiques** sont deux moyens d'exploiter l'énergie transportée par des photons émis par le Soleil.

1 Processus photovoltaïque

La conversion photovoltaïque repose sur l'utilisation de l'effet photoélectrique.

Remarque

L'effet photoélectrique regroupe l'ensemble des phénomènes électriques dans un matériau qui se produisent sous l'effet d'une lumière incidente.

La théorie des bandes modélise les valeurs d'énergie que prennent des électrons dans un matériaux.

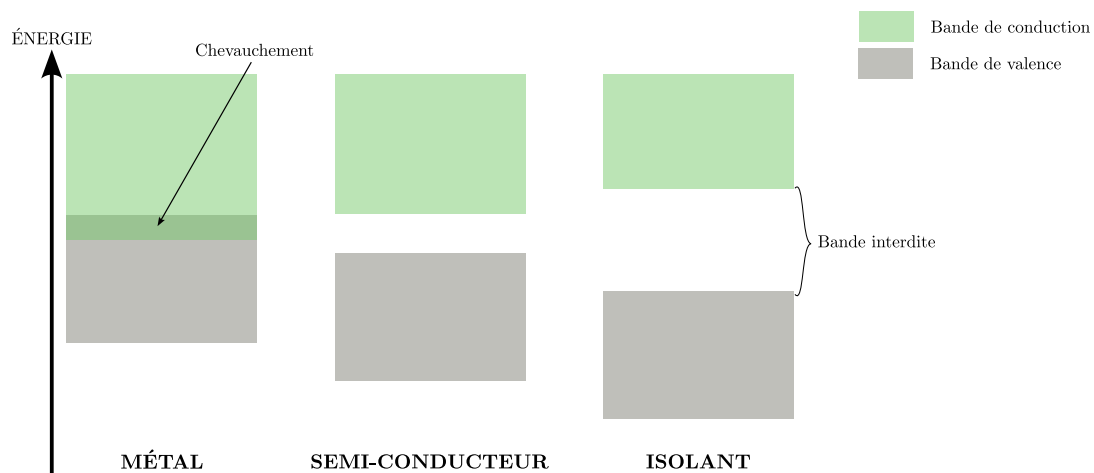


FIGURE 2 – Diagramme énergétique illustrant la théorie des bandes pour trois types de matériaux.

L'effet photovoltaïque se produit lorsqu'un électron reçoit de l'énergie par un photon. L'électron absorbe alors cette énergie. Si elle est suffisante, l'électron passe de la bande de valence à la bande de conduction permettant la manifestation d'un courant électrique.

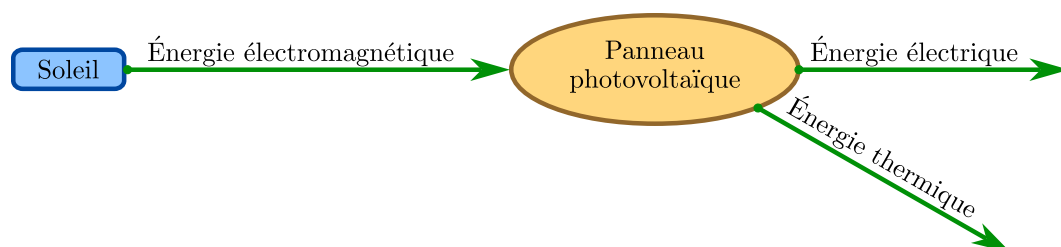


FIGURE 3 – Diagramme énergétique illustrant le processus de conversion photovoltaïque

Exercice d'application 1

On étudie une cellule photovoltaïque constituée de silicium, un semi-conducteur avec une largeur de la bande interdite de $E_g = 1,1 \text{ eV}$

- Exprimer E_g en joules.
Un électron peut franchir la bande interdite en absorbant un photon associé à une fréquence f_{MIN} .
- Calculer f_{MIN} . En déduire λ_{MAX} la longueur d'onde maximale pour un rayonnement incident permettant de générer un courant électrique.

1.1 Caractéristiques d'un panneau photovoltaïque

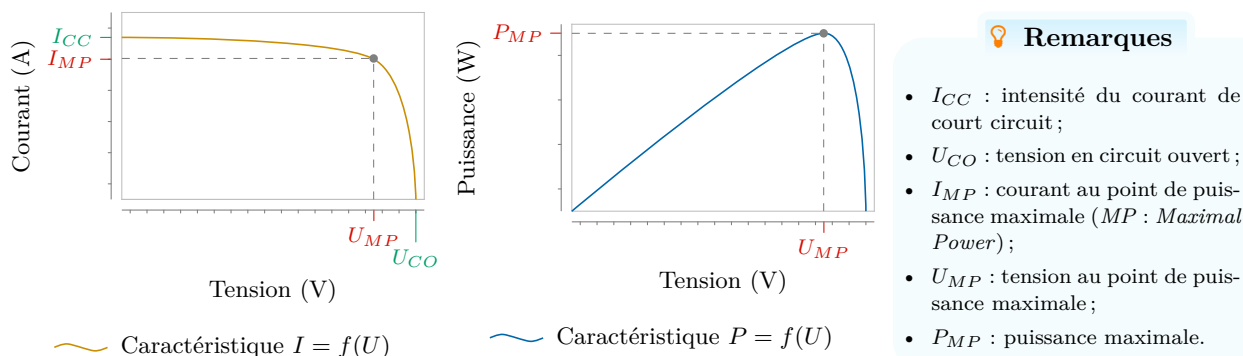


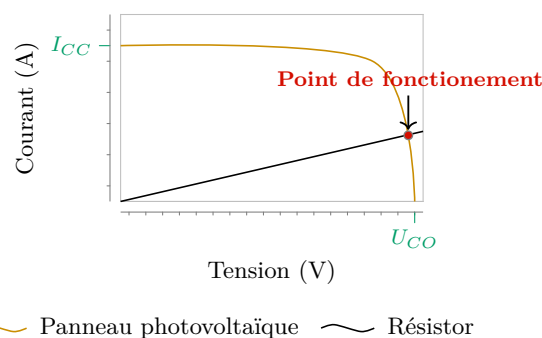
FIGURE 4 – Caractéristiques typiques d'un panneau photovoltaïque

1.2 Point de fonctionnement

♥ Connaitre 2

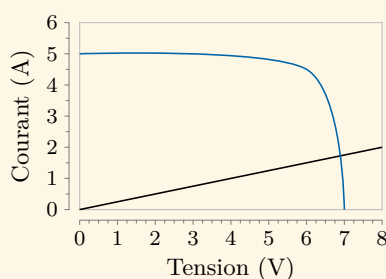
Le point de fonctionnement d'un circuit est l'intersection des caractéristiques $I = f(U)$ des dipôles du circuit.

On suppose qu'un panneau photovoltaïque est relié en série avec un récepteur de résistance R . Déterminer le point de fonctionnement de ce circuit en série revient à tracer $I = f(U)$ pour les deux dipôles et de trouver l'intersection entre ces deux caractéristiques.

FIGURE 5 – Caractéristiques $I = f(U)$ pour un resistor et un panneau photovoltaïque

Exercice d'application 2

On étudie une chaudière d'appoint de résistance R inconnue alimentée par un panneau photovoltaïque sous un éclairage de 1000 W m^{-2} .

FIGURE 6 – Caractéristiques $I = f(U)$ pour une chaudière d'appoint et un panneau photovoltaïque

- Relever les coordonnées du point de fonctionnement.
- En déduire les valeurs de I et de U dans le circuit.
- Déterminer la valeur de la résistance R .
- Le rendement du panneau photovoltaïque est de 0,78. En déduire sa surface.

Au point de fonctionnement à puissance maximale, l'intensité et la tension sont respectivement égales à $I_{PM} = 4,5 \text{ A}$ et $U_{PM} = 6,0 \text{ V}$.

- Calculer la puissance électrique maximale P_{MAX} que peut délivrer le module photovoltaïque.
- Quelle est la valeur optimale de la résistance de la chaudière ?
- Représenter les caractéristiques d'une installation avec un résistance optimale.

2 Processus photothermique

La conversion photothermique est une conversion de l'énergie lumineuse en énergie thermique. Dans ce processus, un fluide caloporteur absorbe des photons émis par le Soleil, ce qui élève l'agitation thermique des molécules du fluide.

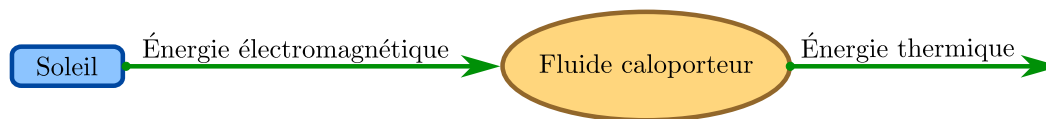


FIGURE 7 – Diagramme énergétique illustrant le processus de conversion photothermique

Lors du processus de conversion thermique, le transfert thermique Q reçue par le fluide caloporteur s'écrit :

$$Q = mc_F \Delta T = \rho_F V c_F \Delta T \quad \left\{ \begin{array}{l} Q \text{ en joules (J)} \\ m \text{ en kilogrammes (kg)} \\ c_F \text{ en J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \\ \Delta T \text{ en kelvins (K)} \\ \rho_F \text{ en kg m}^{-3} \\ V \text{ en m}^3 \end{array} \right.$$

avec :

- m : masse du fluide caloporteur ;
- c_F : capacité thermique massique du fluide caloporteur
- ΔT : variation d'énergie du fluide caloporteur ;
- ρ_F : masse volumique du fluide caloporteur ;
- V : volume du fluide caloporteur.

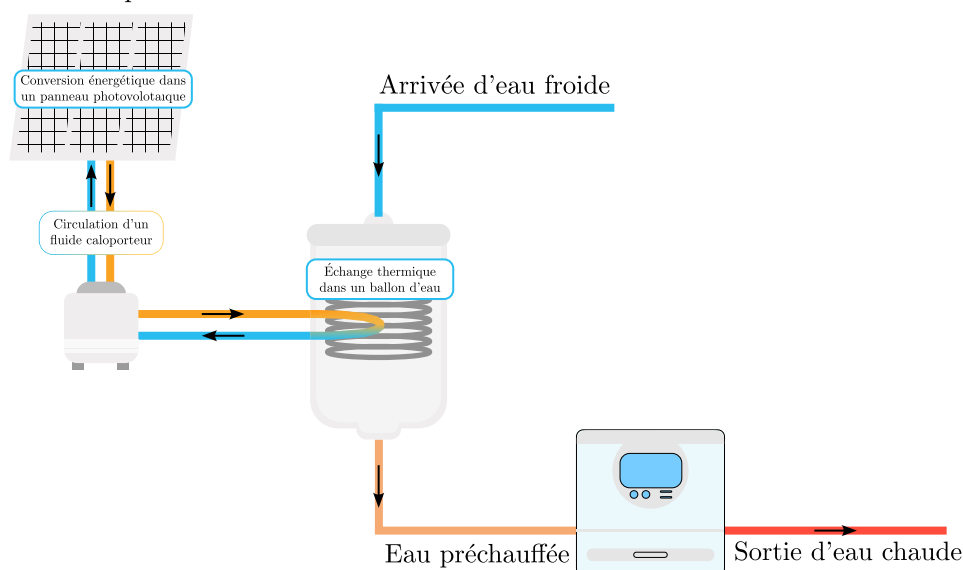


FIGURE 8 – Installation photothermique domestique avec chaudière d'appoint

Exercice d'application 3

Panneaux solaires thermiques sur un bateau

Des panneaux solaires thermiques d'une installation domestique fournissent par jour une énergie thermique surfacique de $9,0 \times 10^2 \text{ Wh m}^{-2}$ lorsqu'ils reçoivent une énergie lumineuse surfacique journalière de $3,5 \times 10^3 \text{ Wh m}^{-2}$. Ce système permet de chauffer quotidiennement l'eau contenue dans un ballon de 150 L en élevant sa température de 25 K.

- Exprimer littéralement puis calculer l'énergie thermique reçue par l'eau contenue dans le ballon.
- En déduire la surface de ces panneaux solaires thermiques.
- Calculer le rendement.

Données : $c_{EAU} = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$