

## ACTIVITE 3 : SiO<sub>2</sub> dans la technologie des cellules solaires

### Informations à propos des cellules solaires

Les cellules photovoltaïques ou les cellules solaires sont les éléments de base des **modules solaires** utilisés sur les toits (voir figure 3.1 ci-dessous). Ils ont une face bleue métallique ou noire, avec une surface de 100 cm<sup>2</sup>. Les fines lignes argentées visibles à la surface (voir figure 3.2 ci-dessous) représentent une **grille de contact**. La surface est recouverte d'une **couche anti-réflexion**. Une couche de verre est alors utilisée pour protéger les cellules.



Figure 3.1 : Module solaire du toit

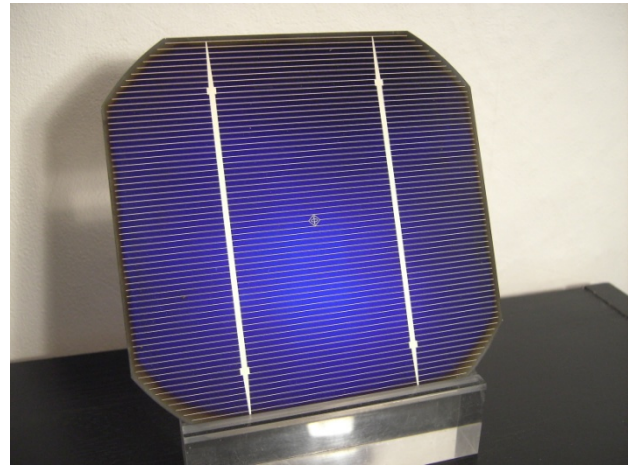


Figure 3.2: Cellule solaire avec grille de contact

**Quand elles sont éclairées, les cellules solaires convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique.**

Une cellule solaire est faite de deux couches de semi-conducteurs en silicium (Si) dopés de façon différente. Dans la figure 3.3 ci-dessous, la couche supérieure est un semi-conducteur de **type n** alors que la couche inférieure est composée d'une matière semi-conductrice de **type p**. Les deux types de semi-conducteurs contiennent de petites quantités d'atomes dopants.

Dans un semi-conducteur de **type n**, chaque atome dopant possède un électron de plus que nécessaire pour intégrer la structure cristalline du silicium. Cet excès d'électrons se comporte de la même façon que des électrons mobiles dans un métal ; ils peuvent aussi produire un courant électrique. En perdant des électrons, les atomes dopants deviennent des ions dopants chargés positivement.

Dans un semi-conducteur de **type p**, chaque atome dopant possède un électron de moins que nécessaire pour intégrer la structure cristalline du silicium. Cette vacance, appelée trou, peut être occupée par un électron d'un atome de silicium proche créant ainsi un trou dans cet atome de silicium, qui lui-même sera occupé par un électron d'un autre atome de silicium, etc. Par conséquent, les trous sont libres de bouger et de se comporter comme des charges positives et mobiles. Comme les électrons libres de la couche n, ils peuvent aussi produire un courant électrique. En recevant des électrons, les atomes dopants deviennent des ions dopants chargés négativement.

Lorsque la couche n et la couche p sont mises en contact, les électrons de la couche n près de la jonction p-n s'associent avec les trous de la couche p. Le résultat de ce processus est la formation d'une zone appelée : zone de déplétion (sans aucun porteur de charge mobile) avec une distribution de charges,

formée par les ions dopants comme illustré dans la figure 3.3. Cette distribution de charges crée une différence de potentiel électrique (tension électrique) dans la zone de déplétion.

Comme suggéré dans la figure 3.3, la couche supérieure (la couche n) de la cellule solaire est exposée à la lumière. C'est une couche très fine (0,5 à 1  $\mu\text{m}$ ) qui permet à un maximum de lumière d'atteindre la zone de déplétion. En général, la couche inférieure (couche p) a une épaisseur qui va de 300  $\mu\text{m}$  à 500  $\mu\text{m}$ .

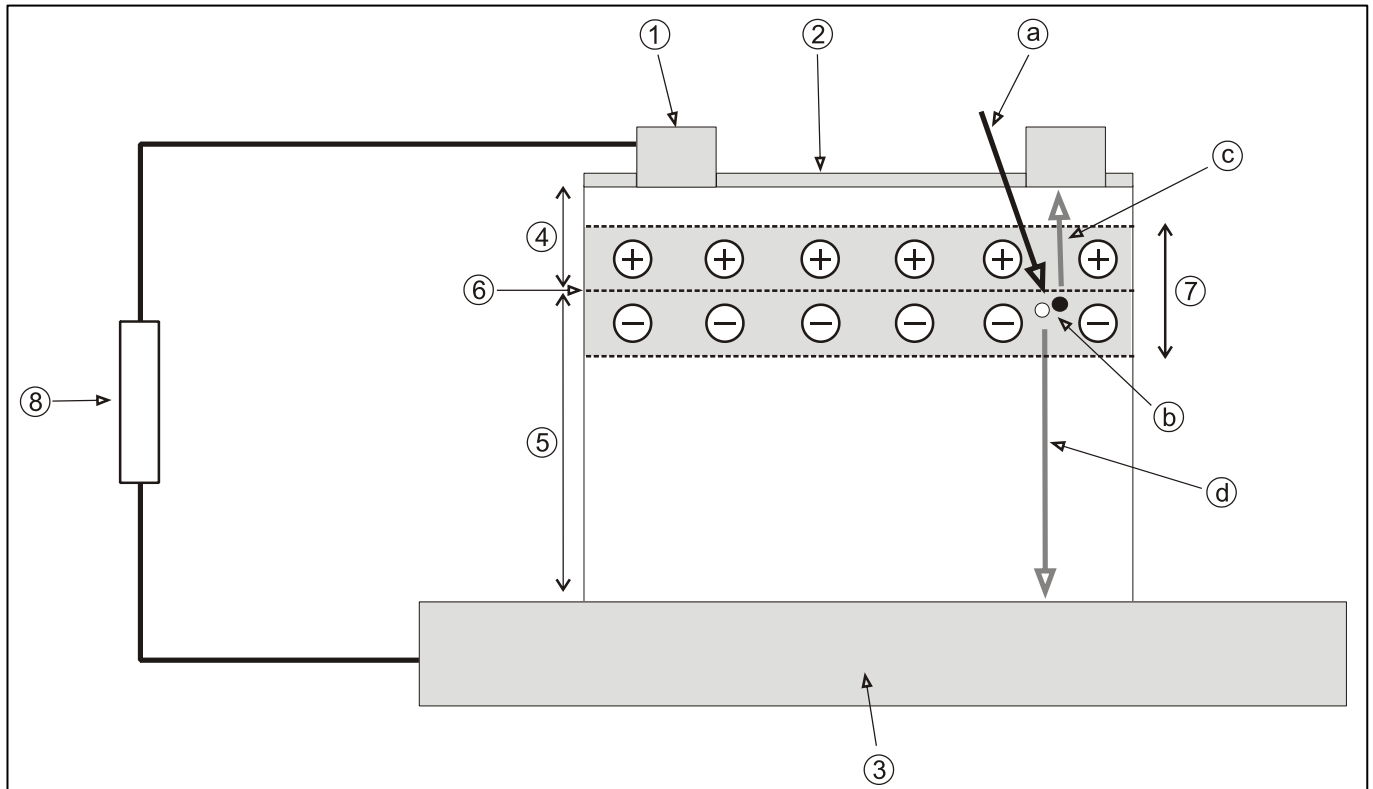


Figure 3.3 : structure d'une cellule solaire. (1) grille de contact ; (2) couverture anti-réflexion ; (3) base ; (4) semi-conducteur de type n ; (5) semi-conducteur de type p ; (6) jonction n-p ; (7) zone de déplétion ; (8) résistance extérieure

Fonctionnement d'une cellule solaire : (a) photon incident, (b) création d'une paire électron-trou induit par le photon, (c) sens du mouvement de l'électron, (d) sens du mouvement du trou.

La lumière incidente arrivant sur la cellule solaire (= flux de photons) passe à travers la très fine zone n pour être ensuite absorbée par la zone de déplétion. L'énergie d'un seul photon absorbé peut être utilisée pour créer une **paire électron-trou** dans la zone de déplétion et aussi pour chauffer la cellule solaire. Cet événement a lieu avec une certaine probabilité, décrit par un **rendement quantique**. Dans une cellule solaire, lorsque le rendement quantique est élevé, une grande partie des photons incidents crée des paires d'électron-trou

La tension aux bornes de la zone de déplétion fait passer l'électron vers la couche supérieure (où celui-ci est collecté par la grille de contact) et conduit le trou vers la base. Si une résistance extérieure de valeur R est reliée à la cellule comme illustré dans la figure 3.3, l'électron repasse à travers la résistance vers la base, où il s'associe à nouveau avec le trou : un courant électrique circule.

### **Question 3A**

Le **rendement**  $\eta$  du **module solaire** est défini par

$$\eta = \frac{\text{Puissance électrique générée}}{\text{Puissance de lumière incidente}}$$

(formule 1)

Si on éclaire le module solaire par un nombre important de photons par seconde (noté N), quels sont, parmi les facteurs suivants, ceux qui réduiront le rendement du module solaire ? (Les photons portant chacun suffisamment d'énergie pour créer une paire d'électron-trou.)

- La réduction de N
- L'augmentation de la surface de la grille de contact
- La réflexion d'une partie de la lumière incidente
- Le choix d'une cellule solaire avec un rendement quantique plus faible
- L'augmentation de l'énergie des photons (supposant un rendement quantique non variable)
- L'augmentation de la saleté sur la couche de verre
- Une couche de semi-conducteur de type n plus épaisse
- Une couche de semi-conducteur de type p plus épaisse
- Le choix d'une résistance élevée
- Le choix d'une résistance faible

☞ Notez vos réponses sur la feuille de réponses.

### **Description des activités**

Vous devez :

- mesurer la tension  $U_{OC}$  du circuit ouvert aux bornes de la cellule éclairée et l'intensité du courant  $I_{SC}$  qui traverse la cellule.
- étudier les caractéristiques courant – tension et puissance – tension de la cellule
- étudier le montage en série et en parallèle de deux cellules solaires,
- et finalement, suggérer comment assembler de nombreuses cellules pour construire un module solaire avec une tension et une puissance de sortie données.

### **Equipement et matériel**

- source de lumière (lampe halogène 120W/230V)
- 2 cellules solaires
- 2 multimètres
- 1 morceau de bois
- Un potentiomètre à résistances variables obtenues par combinaisons de 3 résistances (100  $\Omega$ , 10  $\Omega$  et 5  $\Omega$ ) pouvant aller de 0 à 115  $\Omega$ .

- 7 fils de connexion
- Une règle
- 2 feuilles de papier millimétré

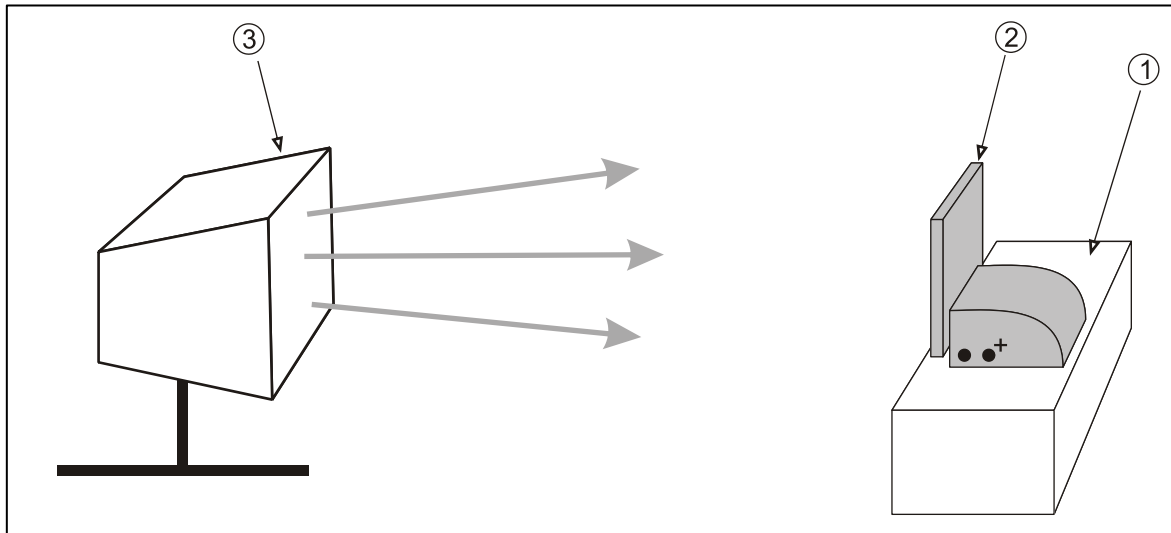


Figure 3.4 : Montage de l'expérience : (1) morceau de bois, (2) cellule solaire, (3) lampe

Réalisez le montage comme indiqué par la figure 3.4. La distance entre la lampe et la cellule doit être d'environ 35 cm pour l'activité 3.1 et de 50 cm pour l'activité 3.3. La cellule doit être éclairée de façon optimale.

**ATTENTION !!! Le boîtier noir de la lampe est très chaud**

### Activité 3.1 : tension $U_{OC}$ en circuit ouvert et intensité du courant $I_{SC}$ en court-circuit.

La distance entre la lampe et la cellule doit être d'environ **35 cm**.

Pour mesurer la tension d'un circuit ouvert aux bornes de la cellule éclairée, branchez un multimètre comme montré dans la figure 3.5.

- Notez le numéro de la source de lumière et le numéro de la cellule (située à l'arrière) sur votre feuille de réponse
- Tournez le bouton rotatif sur la position 2 V du multimètre (V=)
- Allumez la lampe et mesurez  $U_{OC}$ .
- Notez la valeur sur la feuille de réponse.
- Laissez la lumière allumée.

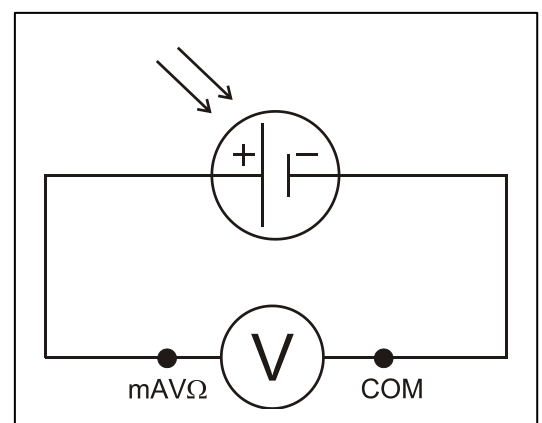


Figure 3.5: diagramme d'un circuit ouvert

Pour mesurer l'intensité du courant circulant dans la cellule éclairée, branchez le multimètre comme montré dans la figure 3.6.

- Tournez le bouton rotatif sur la position 200 mA du multimètre (A=)
- Mesurez  $I_{SC}$ .
- ☞ Notez la valeur sur la feuille de réponse.

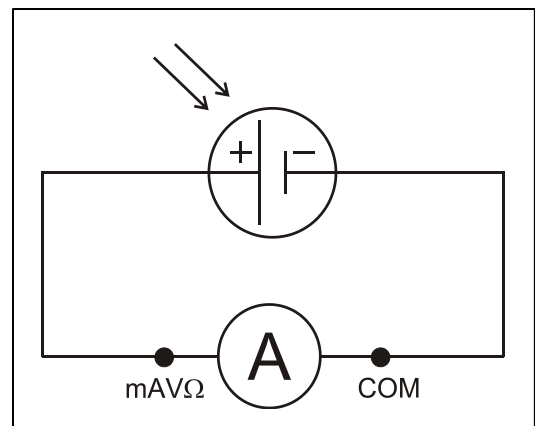


Figure 3.6: diagramme d'un court-circuit

### Activité 3.2 : Caractéristiques courant–tension et puissance–tension

- Laissez la cellule solaire en place (à environ 35 cm de la lampe) et montez le circuit comme indiqué dans la figure 3.7. Utilisez le potentiomètre à résistances variables.
- Faites varier la résistance du potentiomètre (en **tournant doucement les boutons**) pour changer l'intensité du courant circulant dans le circuit.
- Mesurez l'intensité du courant  $I$  et la tension  $U$  dans la cellule pour différentes résistances de charge.
- Notez les valeurs de  $I$  et de  $U$  dans le tableau sur votre feuille de réponses.
- Tracez le graphe représentant l'évolution de l'intensité du courant  $I$  en fonction de la tension  $U$  comme indiqué dans la figure 3.8.
- Calculez la puissance électrique  $P = UI$ , et notez les valeurs dans le tableau sur votre feuille de réponses.
- Tracez le graphe représentant l'évolution de la puissance  $P$  en fonction de la tension  $U$  comme indiqué dans la figure 3.8.

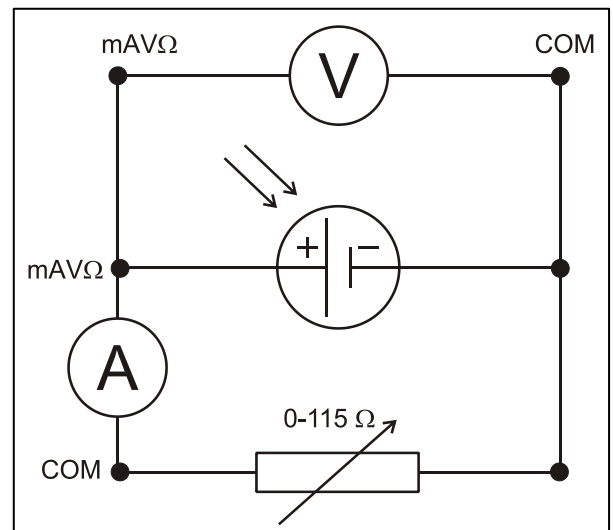


Figure 3.7: diagramme du circuit avec une résistance variable (potentiomètre) et multimètres

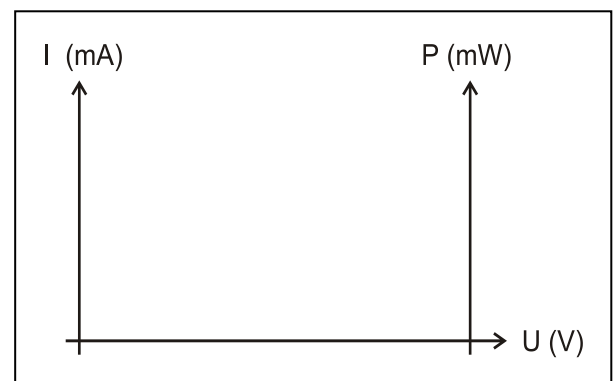


Figure 3.8 diagramme I/U/P

Quand la cellule solaire fonctionne avec une tension  $U_A$  et une intensité  $I_A$ , le point A correspondant sur le graphe I-U est appelé le point opératoire. (voir figure 3.9)

Le rectangle déterminé par  $U_A$  et  $I_A$  est appelé rectangle de puissance. La surface de ce rectangle associée au point opératoire A est égale à la puissance générée au point A.

Une cellule solaire devrait fonctionner à son point de puissance maximum avec les coordonnées  $(U_{max}, I_{max})$  sur le graphe I-U.

Identifiez le point de puissance maximum sur votre graphe et dessinez le rectangle de puissance correspondant.

Notez les valeurs de  $U_{max}$ ,  $I_{max}$  et  $P_{max}$  sur la feuille de réponse.

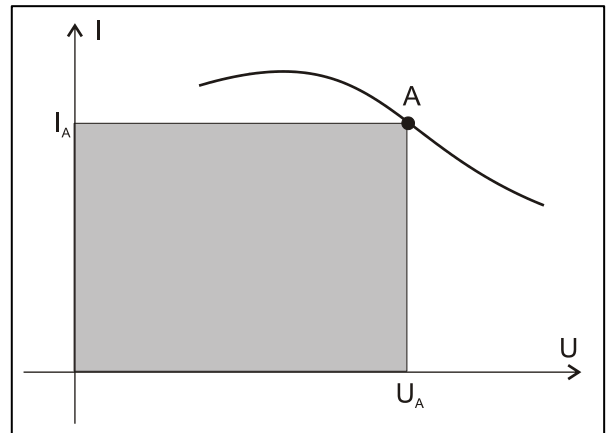


Figure 3.9 : rectangle de puissance pour le point opératoire A

### **Question 3B**

Le rendement de votre cellule solaire (voir formule 1) au point de puissance maximum est de l'ordre de 8%. Quelle est la puissance de la lumière incidente par unité de surface dans votre expérience. Notez vos résultats sur la feuille de réponses.

### **Activité 3.3 : Montages de cellules solaires**

En pratique, dans un module solaire, les cellules sont assemblées en série et en parallèle. Le circuit que vous allez utiliser est celui de la figure 3.7, que ce soit pour une cellule simple ou deux cellules combinées.

#### **Montage en série (voir figure 3.10)**

- Installez les deux cellules solaires devant la lampe à environ **50 cm** pour qu'elles soient éclairées de façon optimale.
- Mesurez la tension aux bornes de chaque cellule, séparément, pour une intensité de courant de 40 mA.
- Reliez les deux cellules en série et mesurez la tension aux bornes de l'ensemble des deux cellules pour la même intensité de courant de 40 mA.
- Notez les numéros des deux cellules et les valeurs trouvées dans le tableau de la feuille de réponses.

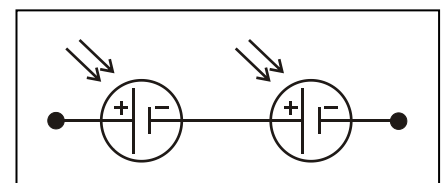


Figure 3.10 : branchement en série de cellules solaires

**Montage en parallèle (voir figure 3.11)**

- Laissez les deux cellules solaires devant la lampe à environ **50 cm.**
- Mesurez l'intensité du courant pour chaque cellule séparément.
- Pour une tension de 0,40 V, branchez les deux cellules en parallèle et mesurez l'intensité du courant aux bornes de l'ensemble des deux cellules pour la même tension de 0,40 V.
- Notez le numéro de la cellule et les valeurs trouvées dans le tableau de la feuille de réponses.

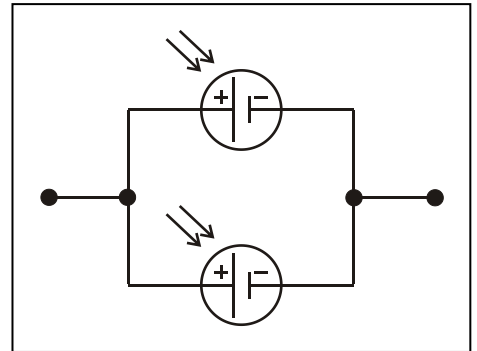


Figure 3.11 : branchement en parallèle de cellules solaires

**Question 3C**

Considérons une cellule solaire avec un point de puissance maximum  $U_{\max} = 0,4 \text{ V}$  et  $I_{\max} = 0,125 \text{ A}$ . En utilisant plusieurs cellules, construisez un module produisant (au point de puissance maximum) une puissance électrique de 15 W pour une tension de 12 V.

Pour cela, vous devez utiliser les montages en série et en parallèle.

- Combien de cellules faut-il brancher en série ?
- Combien de ces circuits en série faut-il brancher en parallèle ?

☞ Notez vos résultats sur la feuille de réponse