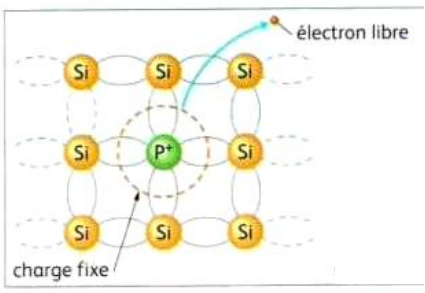
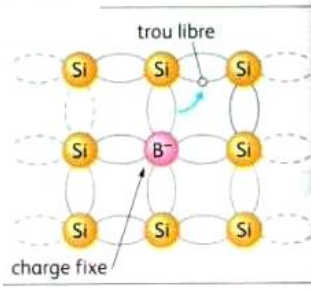
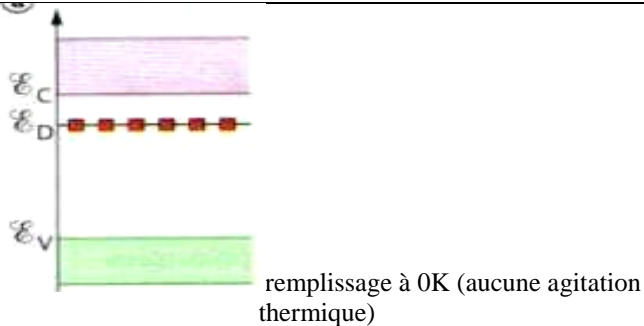
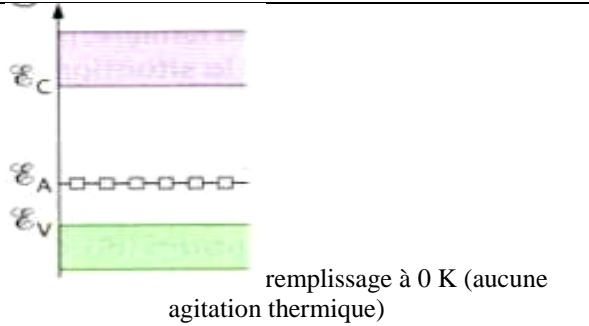
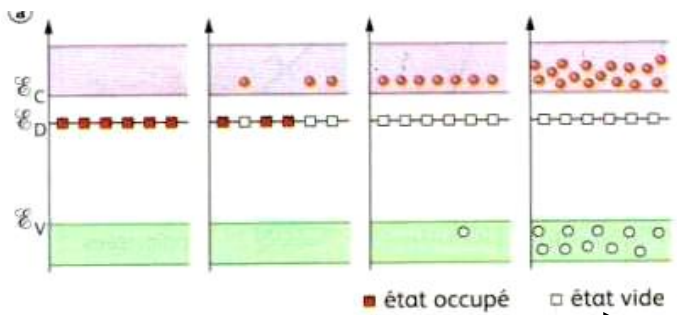
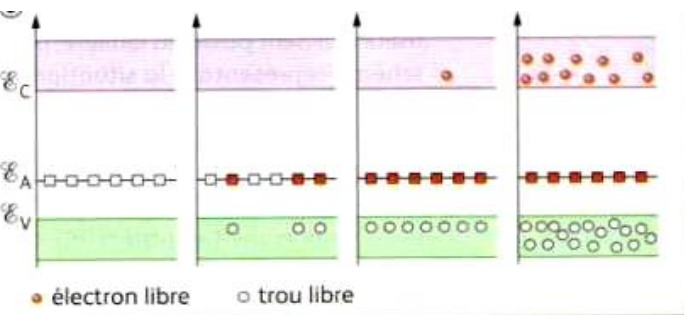


## Semi-conducteurs dopés et jonctions : diodes, diodes électroluminescentes et photodiodes

### I Les diodes

#### Document 1 : Comment rendre un semi-conducteur plus conducteur ? Semi-conducteurs dopés

Pour augmenter la conductivité des semi-conducteurs, on peut créer des défauts dans le cristal en changeant certains atomes. On dit qu'on dope le matériau.

Dopage n	Dopage p		
<p>Pour le silicium qui a 4 électrons de valence, on dit qu'on a un dopage n (négatif) si quelques atomes de silicium sont remplacés par des atomes comme le phosphore possédant 5 électrons de valence. Les électrons en plus dus aux atomes de phosphore quittent le phosphore mais n'ont pas de place dans la bande de valence. Ils se placent sur des nouveaux états d'énergie dégénérés (même valeur de l'énergie notée <math>E_D</math> car ce sont des niveaux donneurs d'électrons) juste en dessous de la bande de conduction à 0K.</p>	<p>Pour le silicium qui a 4 électrons de valence, on dit qu'on a un dopage p (positif) si quelques atomes de silicium sont remplacés par des atomes comme le bore ou l'aluminium possédant 3 électrons de valence. Il y a création artificielle d'un trou mais qui ne fait pas partie des trous habituels de la bande de valence. Les trous dus au bore se placent, à 0K, sur des niveaux d'énergie dégénérés (même valeur de l'énergie noté <math>E_A</math> car ce sont des niveaux accepteurs d'électrons) juste au dessus de la bande de valence.</p>		
			
 <p style="text-align: right;">remplissage à 0K (aucune agitation thermique)</p>	 <p style="text-align: right;">remplissage à 0 K (aucune agitation thermique)</p>		
<p>Lorsque la température augmente, les électrons du niveau <math>E_D</math> passent facilement dans la bande de conduction pour les semi-conducteurs dopés n</p>	<p>Lorsque la température augmente, les électrons de la bande de conduction ont deux « sauts » à effectuer plus petits qu'un grand afin d'atteindre la bande de conduction pour un semi-conducteur dopé p</p>		
 <p style="text-align: center;">■ état occupé   □ état vide   ● électron libre   ○ trou libre</p> <p style="text-align: center;">Augmentation de la température pour un dopage n</p>		 <p style="text-align: center;">Augmentation de la température pour un dopage p</p>	

Dans les deux cas de dopage, une augmentation de température augmente bien plus la conduction du courant pour un semi-conducteur dopé que pour le même semi-conducteur non dopé.

*D'après Manuel Nathan TaleS spécialité*

Le dopage est utilisé aujourd'hui dans les diodes, photodiodes, panneaux solaires, diodes électroluminescentes et transistors essentiellement.

## Document n°2 : caractéristiques des diodes

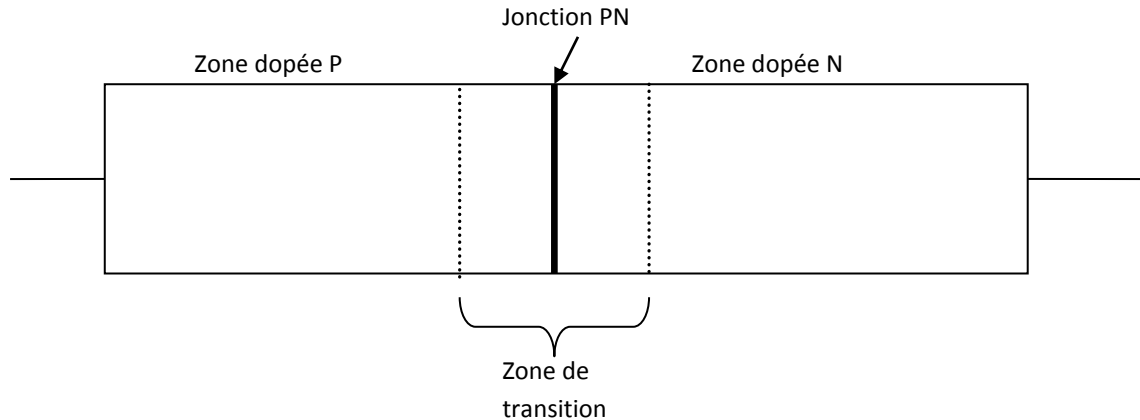


Une diode



symbole d'une diode

Une diode est formée par la mise en contact de deux semi-conducteurs (souvent du silicium), l'un dopé P, l'autre dopé N. La zone de contact est appelée jonction PN. Les électrons libres de la zone N diffusent dans la zone P. De même, les trous de la zone P diffusent dans la zone N. Ces porteurs de charges se neutralisent (disparaissent donc) dans une zone de transition qui s'étend de part et d'autre de la jonction PN.



Dans cette zone de transition, il n'y a plus que des ions fixes : positifs pour la zone N et négatifs pour la zone P. Ces ions créent un champ électrique  $E_D$  dirigé de N vers P (on rappelle en effet qu'un champ électrique est toujours dirigé vers les charges fixes de valeurs décroissantes).

Les électrons libres de la zone N ainsi que les trous de la zone P sont repoussés par ce champ. Ils ne peuvent alors franchir cette zone de transition que difficilement quand ils se mettent en mouvement.

### Etude de documents

Indiquer sur le schéma le lieu des trous, le lieu des électrons libres, le lieu où ils se rencontrent.

Indiquer, dans la diode, le(s) lieu(x) chargé(s) positivement, négativement et neutre(s) en justifiant. Attention à se représenter correctement le système.

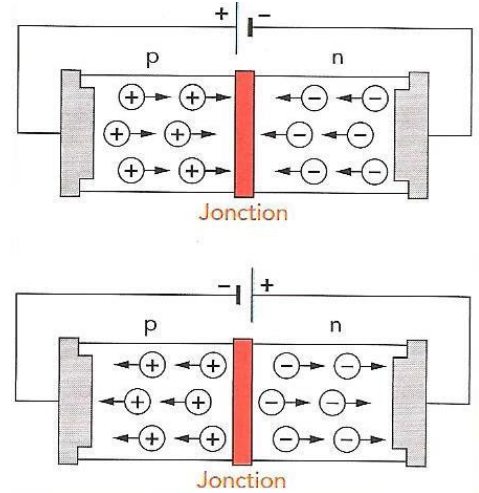
### Document 3 la diode dans un circuit électrique

Le semi-conducteur dopé N conduit le courant par « sauts d'électrons » (les charges négatives sont schématisées par -). Le semi-conducteur dopé P conduit le courant par « sauts de trous » (les trous sont assimilables à des charges positives schématisées par +).

Lorsqu'on applique une tension électrique  $U$  aux bornes de la diode, les électrons et les trous migrent en sens inverses (on rappelle que les charges positives sont attirées vers les potentiels faibles donc le pôle - du générateur, tandis que les charges négatives sont attirées par les potentiels élevés donc le pôle + du générateur). Selon la polarisation choisie, les porteurs de charge migrent vers la jonction ou s'en éloignent.

Dans le 1<sup>er</sup> cas (ci-contre en haut), les porteurs de charges (électrons libres ou trous) doivent franchir la « barrière de potentiel » pour traverser la zone de transition. Quelques uns ayant acquis par agitation thermique l'énergie nécessaire, créent un courant qui croît avec la tension appliquée car alors ils sont davantage attirés par les pôles du générateur. La tension minimale qui permet de franchir cette jonction et donc qui permet l'apparition d'un courant est appelée tension seuil de la diode et notée  $U_{seuil}$ .

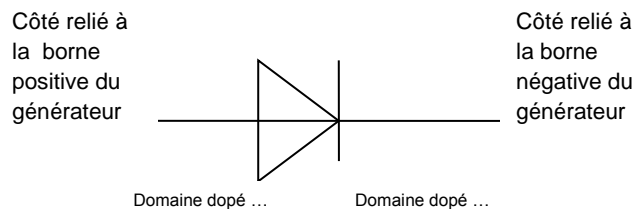
Dans le 2<sup>nd</sup> cas, la jonction est de plus en plus dépeuplée de porteurs de charges : les quelques électrons arrivant du circuit extérieur comblent les trous du côté dopé p près de la jonction tandis que de l'autre côté, quelques électrons quittent le côté dopé n ; la jonction présente un champ électrique accru qui empêche très rapidement toute circulation de charge pouvant la traverser.



### Etude de documents (suite)

Une diode peut être « passante » ou « bloquée ». Associer à chacun de ces 2 états de la diode, l'un des schémas précédents en justifiant.

Sur le schéma ci-dessous, on a indiqué les branchements à faire pour que la diode soit passante (il faut relier le côté symbolisé par un triangle à la borne positive du générateur). Indiquer alors le sens du courant électrique (c'est-à-dire le sens correspondant à celui des charges positives) pour que la diode soit passante et compléter les pointillées. Justifier.



## II Les diodes électroluminescentes

### Document n°4 : Les diodes électroluminescentes DEL

Les diodes électroluminescentes (DEL ou LED en anglais) sont de plus en plus présentes dans notre quotidien : pour l'éclairage, dans les écrans de téléviseurs et d'ordinateurs, dans les télécommandes (LED infrarouges), pour l'affichage alphabétique ou numérique des écrans d'appareils de mesure, de calculatrices, d'horloges...

Dans ce composant, l'énergie électrique est convertie directement en lumière au sein d'un matériau semi-conducteur.

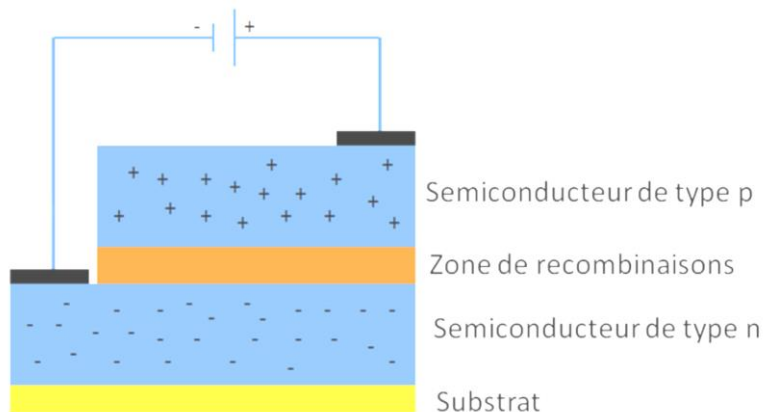


#### Émission de lumière par une DEL

Comme toute diode, une DEL ne laisse passer le courant que dans un sens.

En outre le passage du courant électrique dans la diode est associé à l'émission de lumière.

Une diode est constituée de deux zones, l'une possédant un excès d'électrons (zone dopée n), l'autre possédant un déficit d'électrons (zone dopée p) appelés trous. Le passage d'un électron de la zone n à la zone p ne se produit que si cet électron possède une énergie minimale ou énergie de seuil pour contrer le champ électrique présent dans la zone de recombinaison. Une fois la zone de recombinaison passée, l'électron perd l'énergie qui lui a permis de passer cette barrière, sous la forme d'émission d'un photon. La diode brille.



### Etude de documents

Quel type de conversion d'énergie la diode effectue-t-elle ? D'où l'énergie des photons émis provient-elle ? Rappeler l'expression de cette énergie  $E_{\text{photon}}$  en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  émise (aller revoir le cours de 1S et apprendre par cœur cette relation très importante nommée relation de Planck-Einstein).

L'énergie électrique d'un électron traversant la jonction est reliée à la tension  $U_{\text{seuil}}$  aux bornes de la diode quand elle devient passante. Cette énergie a pour expression  $E_{\text{électron}} = e \times U_{\text{seuil}}$ . En déduire proprement, en expliquant, la relation mathématique entre  $\lambda$  et  $U_{\text{seuil}}$ . Encadrer cette relation.

Cette émission de lumière se produit-elle quelle que soit la tension imposée par le générateur aux bornes de la diode ?

### Parties expérimentales

#### 1) Caractéristique et tension seuil de la DEL

La tension de seuil modélise la tension à partir de laquelle l'énergie des électrons est suffisante pour passer la jonction, c'est donc la tension minimale pour que le courant circule dans la DEL et qu'il y ait émission de lumière.

Afin de déterminer la tension de seuil d'une DEL, on peut tracer sa caractéristique intensité-tension  $I = f(U)$ .

Rappel : une caractéristique intensité-tension est un graphe permettant de savoir quelle sera la valeur de l'intensité dans le dipôle pour une tension donnée appliquée à ses bornes, et réciproquement.

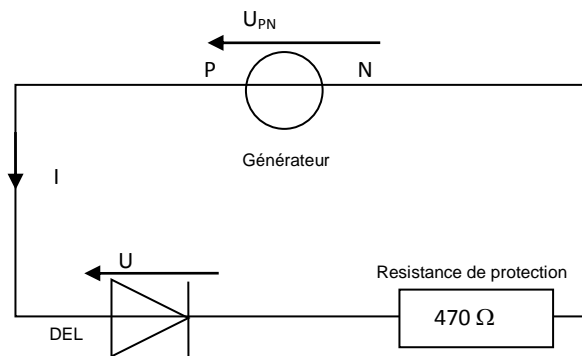
Pour la tracer, on doit mesurer simultanément la tension aux bornes du dipôle et l'intensité du courant qui le traverse. Et ceci pour plusieurs couples de valeur (U,I).

*Matériel* : régressi, générateur de tension continue réglable (faire varier la tension du générateur gris avec le bouton « offset » dans un sens ou dans l'autre), résistance de protection de 470 ohms, deux multimètres, une diode rouge, une diode verte ou une diode jaune suivant les groupes (chaque groupe ou élève n'étudie qu'une seule sorte de diode). Le « + » indiqué sur la DEL indique le côté relié au semi-conducteur dopé P.

Le schéma de base est donné ci-contre et est à compléter (sens diode passant).

Proposer un protocole complet permettant d'obtenir la caractéristique d'une des trois diodes et d'en déduire sa tension seuil. Faire valider par le professeur.

Un fois validé, mettre en place le montage EN LAISSANT LE GENERATEUR ETEINT. Une fois votre montage validé par le professeur, passer aux manipulations, obtenir la caractéristique sous régressi et déterminer la tension seuil de la diode.



## 2) Mesure de la longueur d'onde de la lumière émise par la DEL

Matériel : montage avec la DEL, spectrophotomètre numérique relié à un ordinateur avec logiciel permettant d'obtenir le spectre de la lumière émise (au bureau).

Fonctionnement du spectrophotomètre :

Attention ! Le spectrophotomètre n'est à utiliser qu'en présence du professeur. La fibre optique est extrêmement sensible et coûteuse. Il ne faut absolument pas la toucher.

La lumière à analyser est transmise au spectromètre par l'intermédiaire d'une fibre optique. Elle est alors décomposée par un réseau puis focalisée vers une barrette CCD, sur laquelle se forme le spectre. La barrette CCD fournit un signal électrique reproduisant l'intensité lumineuse perçue par ses pixels. Ce signal analogique est converti en signal numérique et transmis à l'ordinateur. Les données sont alors traitées par un logiciel qui affiche la courbe intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde  $I_{lumineuse} = f(\lambda)$

Obtenir le spectre d'émission de la DEL. Tracer l'allure de la courbe d'intensité spectrale obtenue pour les diodes. Expliquer comment on peut en déduire la longueur d'onde de la lumière émise. Et déduire cette longueur d'onde.

## 3) Détermination de la constante de Planck

Réunir dans le tableau suivant les valeurs des tensions seuil et des longueurs d'onde de la lumière des diodes (aller chercher chez deux autres groupes les données qui vous manquent pour les deux autres diodes) :

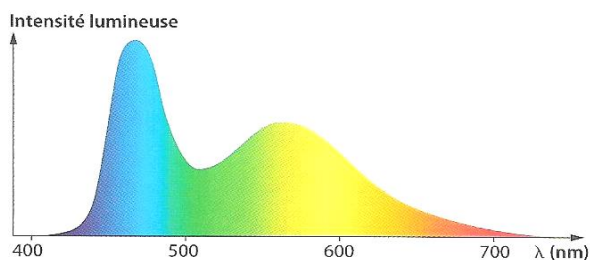
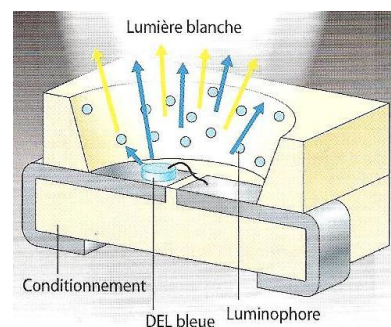
	DEL rouge	DEL jaune	DEL verte
Tension seuil (V)			
Longueur d'onde émise (nm)			

En utilisant régressi, proposer un protocole pour retrouver la constante de Planck. Faire valider votre protocole. Le mettre en œuvre.  $h$  vaut  $6,62606957 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ . Commenter votre résultat comme tout bon scientifique.

## Document n°5 : Les DEL blanches

La lumière blanche est produite par une DEL en mélangeant différentes lumières colorées. La DEL « multipuces » est constituée d'un assemblage de 3 DEL (une rouge, une verte et une bleue). La DEL « à conversion de couleur » consiste à recouvrir une DEL bleue par une couche de luminophores (ils absorbent une partie de la lumière bleue et la convertissent en une lumière qui paraît jaune, voir ci-contre).

Le spectre d'une DEL blanche « à conversion de couleur » réalisée à partir d'une DEL au nitride de gallium présente deux principaux domaines d'émission : l'un centré vers 470 nm et l'autre vers 570 nm.



Jusqu'en 1993, le carbure de silicium était l'un des semi-conducteurs constituant les seules DEL capables d'émettre dans le bleu. Mais la puissance lumineuse était faible et rendait ces dispositifs commercialement inexploitable. Le remplacement du carbure de silicium par du nitride de gallium, plus efficace, a permis à des chercheurs de compléter la palette de couleurs à la disposition des DEL.

## Etude de document

Pourquoi la diode multipuce permet-elle de fournir de la lumière blanche ?

Expliquer pourquoi les couleurs de la lumière émise par l'ensemble DEL au nitride de gallium et luminophores donnent une impression de blanc.



### III Photodiodes et panneaux solaires

#### Document n° 6 : cellule photovoltaïque

Les panneaux solaires sont constitués de cellules photovoltaïques. Celles-ci convertissent l'énergie lumineuse du Soleil en énergie électrique.

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique d'épaisseur comprise entre 0,2 et 0,3 mm et de 10 cm de côté environ. Elle est composée de cinq couches différentes :

Une couche antireflet (1)

Deux couches conductrices (une cathode en forme de grille et une anode compacte) (2 et 5)

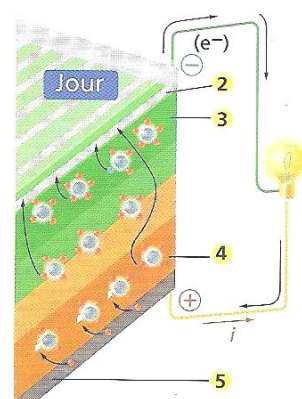
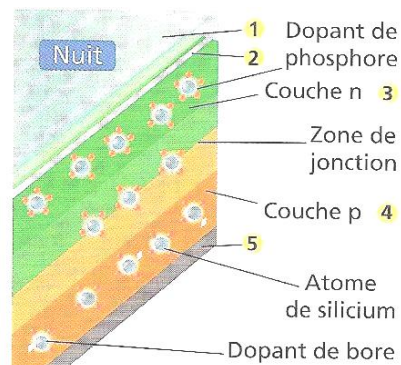
Deux couches de silicium dopé (3 et 4)

La couche de silicium supérieure est dopée N, la couche inférieure est dopée P.

Lorsque les deux couches sont mises en contact, les électrons en excès de la couche 3 diffusent dans la couche 4. Un champ électrique interne apparaît au niveau de la zone de jonction.

Les photons du soleil qui pénètrent dans la cellule photovoltaïque peuvent arracher des électrons aux atomes de silicium présents dans les couches 3 et 4. Le champ électrique interne à la cellule entraîne les électrons libérés vers la cathode 2 où ils empruntent un circuit extérieur, générant ainsi un courant électrique qui alimente, par exemple, une ampoule électrique. Les électrons rejoignent ensuite l'anode 5 où ils se recombinaient avec des trous.

Plus le nombre de photons absorbés est important, plus le nombre d'électrons libérés, et donc le courant généré, est important.



#### Document n°7 : le panneau solaire

Les cellules sont regroupées en modules formant des panneaux solaires.

Aujourd'hui, le rendement énergétique moyen d'un panneau solaire est de l'ordre de 15 %.



#### Etude de documents et mini problème

- \* Pourquoi la cathode 2 est-elle une grille et non une plaque comme l'anode ?
- \* Comment est orienté le champ électrique entre la zone dopée P et la zone dopée N ?

Soit  $h\nu$  l'énergie transportée par un photon et  $E_G$  le « gap » de la bande interdite du silicium.

- \* Quelle inégalité doit-il exister entre  $h\nu$  et  $E_G$  pour qu'un photon arrache un électron à un atome de silicium ?
- \* De quel(s) paramètre(s) peut dépendre l'intensité du courant électrique débité par la cellule photovoltaïque ?

La tension aux bornes d'une cellule photovoltaïque dépend peu de l'éclairement : elle vaut 0,56 V. L'intensité du courant débité pour une surface exposée perpendiculairement à la direction de la lumière solaire vaut environ 200 A/m<sup>2</sup>.

La puissance maximale du rayonnement solaire vaut  $P_S = 1000 \text{ W/m}^2$ .

- \* Calculer le rendement de la cellule et comparer à la valeur du texte.
- \* Commenter la valeur du rendement énergétique moyen des panneaux solaires actuels.