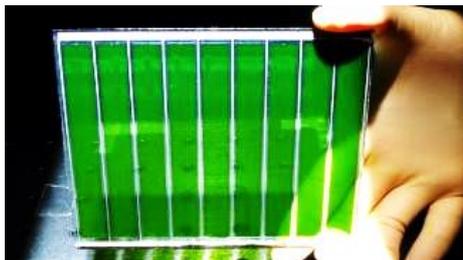


## EXERCICE 4 – B : la cellule de Graetzel ou « cellule solaire à colorant »

**Mots clefs :** transfert d'énergie ; puissance électrique ; éclairement énergétique ; interaction lumière / matière ; concentration en quantité de matière ; dosage par étalonnage.



Une cellule à colorant

D'après le site de l'école polytechnique fédérale de Lausanne : actu.epfl.ch

Un professeur de chimie à l'École polytechnique fédérale de Lausanne est, avec son équipe, l'inventeur des cellules solaires à pigment photosensible, couramment appelées « cellules solaires à colorant » ou encore « cellules de Graetzel ». Il s'agit de cellules conçues pour convertir l'énergie fournie par le Soleil en électricité et qui promettent d'être une alternative intéressante aux panneaux photovoltaïques classiques.

La cellule de Graetzel est constituée d'une électrode en dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) imprégné de colorant : lorsqu'elle est éclairée, cette électrode libère des électrons, appelés photoélectrons car émis suite à l'absorption de lumière. Ceci génère un courant électrique dans le circuit alimenté par la cellule. La conduction électrique dans la cellule est assurée par un électrolyte.

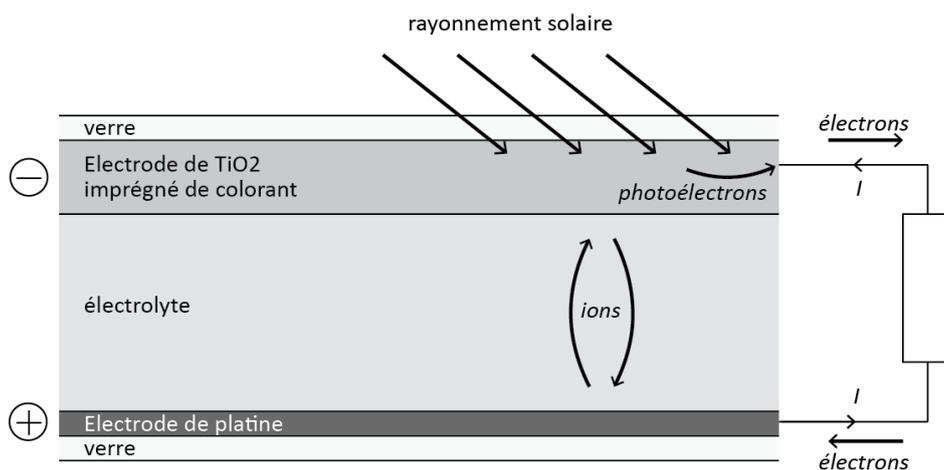


Schéma de principe simplifié d'une cellule de Graetzel

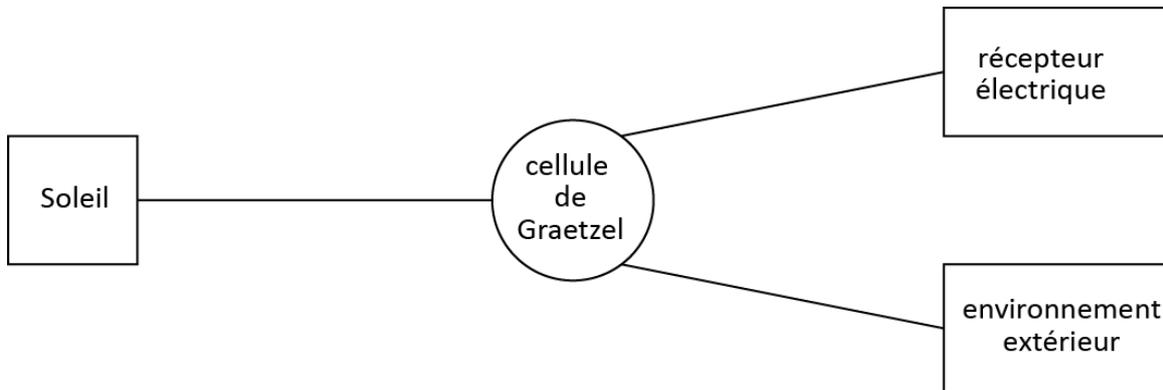
Cet exercice propose d'étudier quelques aspects du fonctionnement de la cellule de Graetzel.

- La partie 1 étudie le bilan énergétique d'une cellule de Graetzel.
- La partie 2 met en évidence la nécessité de fixer un colorant sur le dioxyde de titane.
- La partie 3 propose un test expérimental de l'électrolyte et de sa stabilité.

Les trois parties sont indépendantes.

### 1<sup>re</sup> partie : étude énergétique d'une cellule de Graetzel

Un diagramme représentant les transferts d'énergie effectués par une cellule de Graetzel éclairée par le Soleil et alimentant un récepteur électrique est donné ci-dessous. Chaque segment représente un transfert d'énergie.

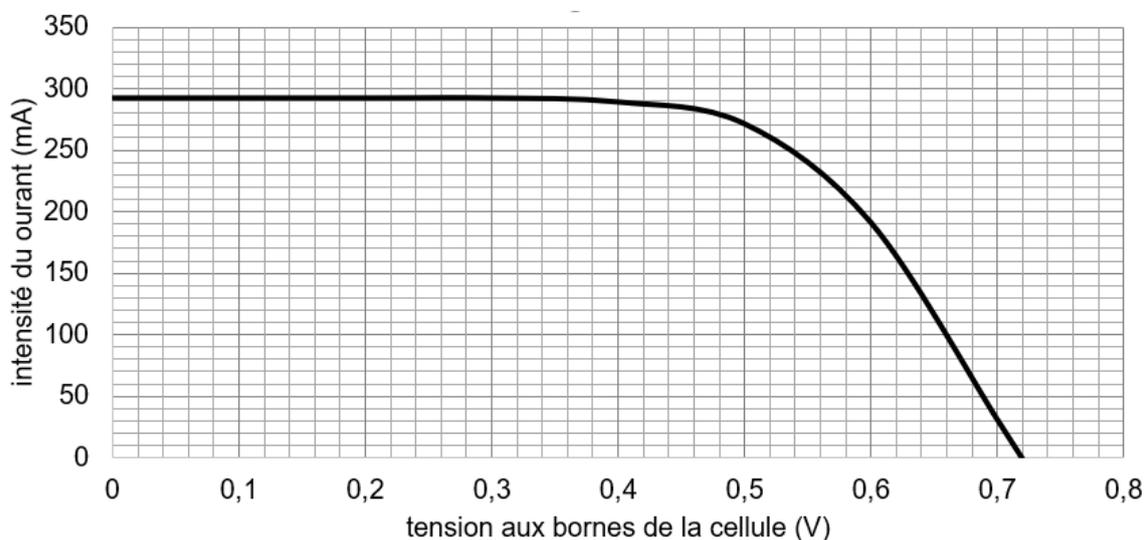


1. Reproduire ce diagramme sur votre copie, indiquer la nature des transferts d'énergie et, pour chacun d'eux, faire figurer son sens à l'aide d'une flèche.
2. Citer celui de ces trois transferts qui correspond à une dissipation d'énergie.
3. Exprimer le rendement de la cellule de Graetz en fonction des puissances des transferts énergétiques pertinents. Les notations utilisées seront explicitées.

Dans un article rendant compte de ses travaux, Michael Graetzl a publié la caractéristique intensité-tension d'une cellule de sa conception et l'évolution de la puissance électrique cédée par la cellule en fonction de la tension à ses bornes. Lorsqu'il a réalisé les mesures, Michael Graetzl a mesuré l'éclairement énergétique à l'endroit où se trouvait sa cellule et a obtenu :  $E = 96,4 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

La caractéristique intensité-tension d'une cellule de Graetzl est donnée ci-dessous.

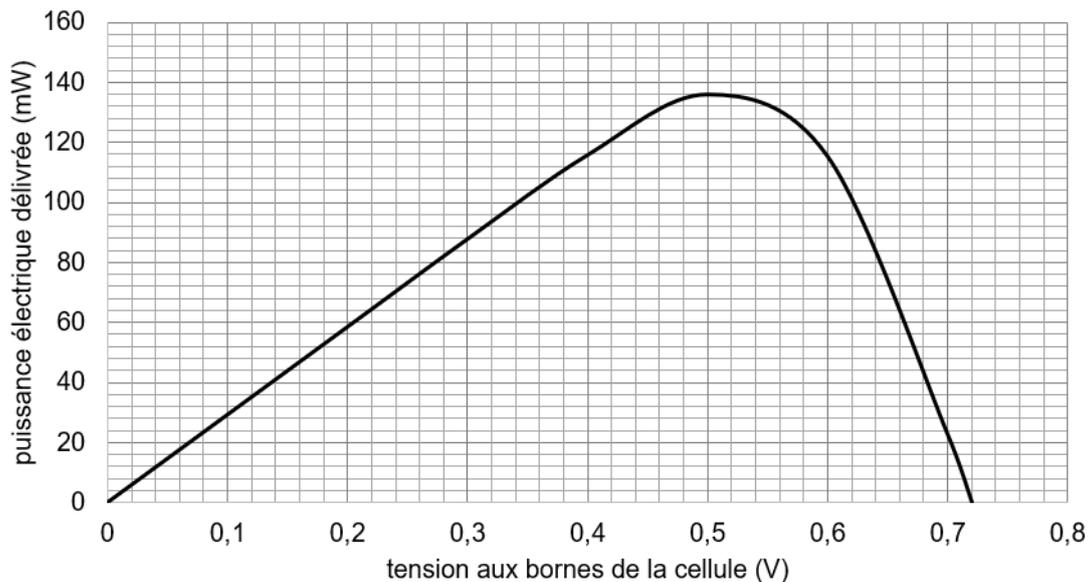
Tension (V)	0	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,72
Intensité (mA)	293	293	293	290	272	192	32	0



D'après Mickael Graetzl (1995), *Le Soleil pour un développement durable*.

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la puissance électrique  $P_{elec}$  cédée par la cellule de Graetzel en fonction de la tension à ses bornes, dans les mêmes conditions que lors du tracé de sa caractéristique.

La cellule testée a les dimensions suivantes : 4 cm × 4 cm.



4. Rédiger le protocole expérimental permettant d'obtenir la caractéristique intensité-tension d'une cellule photovoltaïque si l'on dispose du matériel suivant :
- la cellule de Graetzel ;
  - deux multimètres ;
  - un rhéostat (conducteur ohmique de résistance variable) ;
  - une lampe émettant un rayonnement de composition spectrale voisine de celle du Soleil ;
  - des fils de connexion.

Le protocole devra comporter le schéma du montage à réaliser, les fonctions des multimètres utilisées et les étapes à suivre pour la réalisation de la courbe.

5. Citer la relation permettant de déterminer  $P_{elec}$  à partir des valeurs présentes dans le tableau de la caractéristique intensité-tension d'une cellule de Graetzel et déterminer, à l'aide de cette relation, la puissance électrique cédée lorsque la tension vaut 0,4 V.
6. Dédire de cette étude expérimentale effectuée par Graetzel la valeur maximale du rendement de sa cellule. Commenter.

## 2<sup>e</sup> partie : pourquoi imprégner de colorant le dioxyde de titane ?

L'intérêt de la cellule à colorant est à la fois économique et écologique, puisque l'élément silicium, couramment utilisé dans les cellules photovoltaïques, est remplacé par le dioxyde de titane  $TiO_2$ , moins onéreux, plus abondant et nécessitant moins de traitements polluants. C'est un semi-conducteur qui, lorsqu'il est en contact avec un électrolyte bien choisi, absorbe la lumière et génère de l'électricité, par un mécanisme qui ne sera pas étudié.

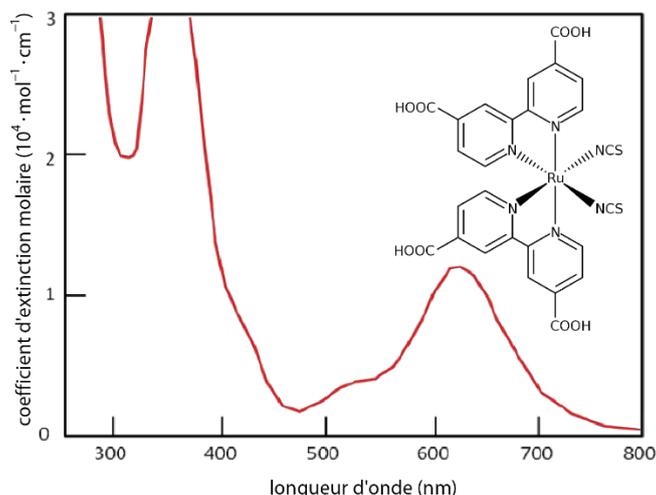
Le dioxyde de titane présente néanmoins un inconvénient : il ne peut absorber un photon que si celui-ci possède une énergie supérieure à 3,7 eV.

### Données utiles :

- constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$  ;
- célérité de la lumière dans le vide ou dans l'air :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

7. Citer la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence. Déterminer à quelle condition sur sa longueur d'onde les photons d'un rayonnement peuvent être absorbés par le dioxyde de titane. Conclure en comparant aux ordres de grandeur des longueurs d'onde limites du spectre visible.

Pour pallier cet inconvénient du dioxyde de titane, ce dernier a été imprégné d'un colorant, ce qui donne à sa cellule le nom de « cellule à colorant ». L'un d'eux est le N3-dye (composé du ruthénium) dont le spectre d'absorption est reproduit ci-dessous.



*Illustration d'après Nazeeruddin et al. (2001), adapté de Hara et al. (2003).*

8. Déterminer à quelle condition sur sa longueur d'onde les photons d'un rayonnement peuvent être absorbés par la « cellule à colorant » imprégné du N3-dye. Justifier l'intérêt de déposer un tel colorant sur le dioxyde de titane.

### 3<sup>e</sup> partie : à propos de l'électrolyte

Malgré leurs nombreux avantages, l'industrialisation des cellules à colorant est encore freinée par des problèmes de stabilité, notamment celle de l'électrolyte qu'elles contiennent. L'électrolyte permet le transfert des ions d'une électrode à l'autre et la régénération du colorant dans son état stable.

L'électrolyte le plus couramment employé est une solution de diiode et d'ions iodure, espèces chimiques appartenant au couple oxydant-réducteur  $I_2/I^-$ . Cette partie propose d'analyser une expérience de laboratoire dont le but est de tester la stabilité de l'électrolyte.

Un électrolyte est considéré comme stable au sein d'une cellule de Graetzel si sa concentration ne diminue pas de plus de 2 % par an.

Afin de tester la stabilité de la solution aqueuse de diiode et d'ions iodure au sein de la cellule, le protocole suivant est mis en œuvre.

#### Préparation de l'électrolyte :

- l'électrolyte est préparé par dissolution de 0,150 g de diiode solide ( $I_2$ ) dans une solution d'iodure de potassium, pour atteindre un volume de 500 mL de solution.

#### Utilisation au sein d'une cellule à colorant :

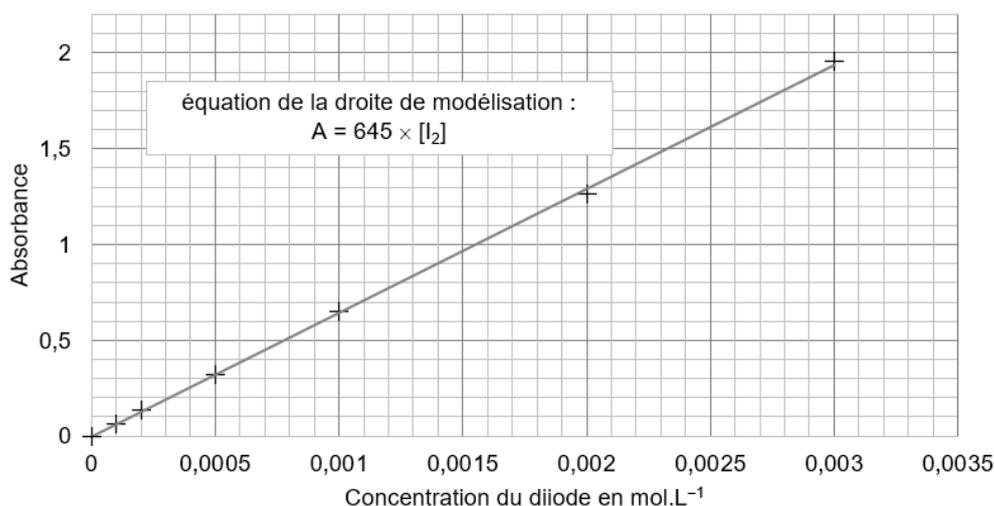
- cet électrolyte est alors utilisé dans une cellule de Graetzel ;
- cette cellule est mise en fonctionnement, soumise à de fortes températures et exposée à une lumière intense, conditions expérimentales reconstituant un an de fonctionnement normal de la cellule ;
- la cellule est alors démontée et un échantillon de l'électrolyte est prélevé.

### Dosage de l'électrolyte :

- les absorbances de 7 solutions étalons, de concentrations connues en diiode, sont mesurées à une longueur d'onde de 470 nm. Leurs valeurs sont indiquées dans le tableau suivant :

Concentration en diiode des solutions étalons ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0	$1,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-3}$
Absorbance mesurée	0	0,065	0,139	0,322	0,652	1,263	1,955

- l'évolution de l'absorbance des solutions étalons en fonction de leur concentration est représentée graphiquement et modélisée mathématiquement :



- l'absorbance de l'échantillon d'électrolyte prélevé dans la cellule, après sa mise en fonctionnement, est mesurée à la même longueur d'onde que les solutions étalons. La valeur mesurée vaut :  $A = 0,680$ .

**Donnée :** masse molaire du diiode :  $M = 253,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

9. Déterminer la valeur de la concentration initiale en quantité de matière  $C_0$  de diiode dissous dans l'électrolyte utilisé pour fabriquer la cellule.
10. L'électrolyte testé peut-il être considéré comme suffisamment stable pour être utilisé dans la cellule de Graetzl ?

*La démarche suivie sera explicitée. Toute prise d'initiative pertinente, même inaboutie, sera valorisée.*