

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : Sciences et Technologies de Laboratoire

**Spécialité : Sciences Physiques et Chimiques en
Laboratoire**

SESSION 2019

**Sous-épreuve écrite de sciences physiques et
chimiques en laboratoire**

Coefficient de la sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de sciences physiques et chimiques en
laboratoire seront traités sur des copies séparées.**

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Ce sujet comporte **9** pages.

Les pages 8 et 9 sont à rendre avec la copie.

Cellules photovoltaïques à colorant

Une alternative aux sources d'énergie fossile est l'utilisation sources d'énergie renouvelables.

Parmi celles-ci, la technologie prometteuse des **cellules photovoltaïques à colorant** a toute sa place. Depuis leur découverte en 1991 par les professeurs Michael Grätzel et Brian O'Reagan, ces cellules photovoltaïques à colorant ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche et commencent à être commercialisées.

Malgré un rendement énergétique assez faible, les cellules photovoltaïques à colorant présentent plusieurs atouts par rapport aux cellules « traditionnelles » à base de silicium. En effet, leur procédé de fabrication est plus simple, beaucoup moins énergivore et ne nécessite que des matériaux peu coûteux. De plus, la flexibilité, la légèreté et la semi-transparence des cellules à colorant leur ouvrent un vaste champ d'applications.



D'après un site commercial

Le sujet comporte trois parties indépendantes que le candidat peut traiter dans l'ordre de son choix.

PARTIE 1 : fabrication et fonctionnement d'une cellule photovoltaïque à colorant (10 points)

- A. Principe de fonctionnement d'une cellule à colorant
- B. Étude de l'électrolyte

PARTIE 2 : performances d'une cellule photovoltaïque à colorant (5 points)

- A. Étude de l'oxyde de titane
- B. Rendement de la cellule à colorant

PARTIE 3 : stockage de l'énergie électrique produite par des cellules à colorant dans des supercondensateurs (5 points)

- A. Alimentation électrique d'une liseuse électronique
- B. Le régulateur de charge

Les documents (pages 6 et 7) et les documents réponse (pages 8 et 9) sont réunis à la fin de l'énoncé.

PARTIE 1 : fabrication et fonctionnement d'une cellule photovoltaïque à colorant (10 points)

A. Principe de fonctionnement d'une cellule à colorant

Le principe de fonctionnement d'une cellule à colorant est décrit dans le **document 1** (page 6).

1.1. En vous aidant du **document 1**, indiquer sur le **document réponse A** (page 8) le sens de parcours des électrons ainsi que le sens conventionnel du courant électrique, à l'extérieur de la cellule.

1.2. Indiquer le type de réaction se produisant à l'électrode 1 et à l'électrode 2. Identifier alors la cathode et l'anode.

1.3. Écrire la demi-équation d'oxydoréduction à l'électrode 2.

1.4. En vous aidant du **document 1**, donner l'équation de la réaction d'oxydoréduction entre les ions iodures I^- et le colorant ionisé Y^+ . Expliquer alors pourquoi on peut dire que le colorant est régénéré.

*Le colorant chargé d'absorber la lumière est généralement un complexe de ruthénium (II). Ce complexe est représenté sur le **document réponse B** (page 8).*

1.5. Sur le **document réponse B**, entourer l'entité centrale de ce complexe de ruthénium (II).

1.6. Sur le **document réponse B**, entourer les ligands du complexe de ruthénium (II) en les nommant L_1, L_2, L_3, \dots . Compléter le tableau du **document réponse B** en choisissant et en justifiant le qualificatif approprié pour chacun d'eux : monodentate, bidentate, hexadentate.

1.7. Donner, sans explication, la représentation de Lewis de l'ion thiocyanate SCN^- et justifier son rôle de ligand.

Données : numéros atomiques des éléments suivants $Z_S = 16$; $Z_C = 6$; $Z_N = 7$

B. Étude de l'électrolyte

L'électrolyte de la cellule photovoltaïque est préparé à partir de 8,0 g d'iodure de potassium KI, 50,0 mL d'eau et de deux petites billes de diiode (I_2 de masse totale 0,0150 g).

L'électrolyte est constitué d'espèces appartenant au couple d'oxydoréduction I_3^- / I^- en solution dans un solvant. Le choix du solvant est fondamental car il influence le rendement de photoconversion de la cellule. Il est possible d'utiliser l'acétonitrile comme solvant.

1.8. En utilisant le **document 2** (page 6), expliquer pourquoi il peut être préférable d'utiliser l'eau comme solvant, bien que le rendement de photoconversion soit plus faible qu'avec l'acétonitrile.

1.9. Écrire l'équation de dissolution de l'iodure de potassium KI dans l'eau.

1.10. À l'aide du **document 3** (page 7), justifier la dissolution complète des 8,0 g d'iodure de potassium solide dans les 50,0 mL d'eau.

1.11. À l'aide du **document 3**, expliquer pourquoi l'électrolyte est constitué d'espèces appartenant au couple d'oxydoréduction I_3^- / I^- et non au couple d'oxydoréduction I_2 / I^- .

PARTIE 2 : performances d'une cellule photovoltaïque à colorant (5 points)

A. Étude de l'oxyde de Titane TiO₂

L'oxyde de titane TiO₂ déposé sur l'une des électrodes est un matériau peu cher, abondant et non toxique dans les conditions d'utilisation de la cellule à colorant. Il absorbe les photons d'énergie supérieure à 3,4 eV. Il est donc insensible à la lumière visible.

2.1. À l'aide du **document 4** (page 7), expliquer pourquoi le TiO₂ est insensible à la lumière visible.

B. Rendement d'une cellule à colorant

Une cellule à colorant convertit de l'énergie lumineuse en énergie électrique. On parle de photoconversion.

Les performances d'une cellule sont évaluées à partir du calcul du rendement de photoconversion η . On considère une cellule à colorant de 1 cm² de surface. La puissance lumineuse incidente P_i a pour valeur $P_i = 100$ mW. Pour cette puissance lumineuse incidente et dans le cadre d'une utilisation optimale, on mesure la tension et l'intensité du courant circulant dans la cellule. On obtient les mesures suivantes, les incertitudes $U(U_e)$ et $U(I_e)$ étant données avec un intervalle de confiance de 95 % :

$$U_e = (0,73 \pm 0,02) \text{ V}$$

$$I_e = (8,20 \pm 0,41) \text{ mA}$$

2.2. Calculer la puissance électrique P_e fournie par la cellule à colorant.

2.3. En déduire le rendement de photoconversion de cette cellule noté η .

L'incertitude $U(P_e)$ sur la détermination de la puissance électrique fournie par la cellule, associée à un intervalle de confiance de 95 %, peut être calculée grâce à la relation suivante :

$$U(P_e) = P_e \times \sqrt{\left(\frac{U(U_e)}{U_e}\right)^2 + \left(\frac{U(I_e)}{I_e}\right)^2}$$

2.4. Calculer l'incertitude $U(P_e)$ et donner un encadrement de la puissance électrique P_e fournie par la cellule.

2.5. En tenant compte de l'incertitude $U(P_e)$, déterminer le nombre minimum de cellules N de ce type à utiliser, pour être certain du bon fonctionnement d'un baladeur mp3 de puissance $P_b = 0,30$ W.

PARTIE 3 : stockage de l'énergie électrique produite par des cellules à colorant dans des supercondensateurs (5 points)

A. Alimentation électrique d'une liseuse électronique

Une liseuse électronique est un appareil mobile permettant la lecture de livres au format numérique avec un confort de lecture proche du livre papier. Concernant ses besoins énergétiques, l'écran ne consomme que très peu d'énergie pour afficher une page mais génère des pics importants de puissance lorsqu'une page est mise à jour. Ceci permet d'envisager une liseuse approvisionnée en énergie par la lumière ambiante avec :

- *des cellules photovoltaïques pour assurer la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique ;*
- *des supercondensateurs pour stocker cette énergie et alimenter l'écran de la liseuse.*

3.1. Comparer les avantages des deux dispositifs d'alimentation électrique (supercondensateurs et batteries) en utilisant le **document 5** (page 7) et le texte introductif ci-dessus.

3.2. Expliquer alors pourquoi il est plus judicieux d'utiliser des supercondensateurs que des batteries dans une liseuse approvisionnée en énergie par la lumière ambiante.

B. Le régulateur de charge

*Pour protéger les supercondensateurs d'une surcharge, un régulateur série est utilisé entre les cellules photovoltaïques et les supercondensateurs, voir **document 6** (page 7). Afin de limiter la tension u_{sc} aux bornes de ces supercondensateurs, le régulateur se comporte comme un interrupteur :*

- *lorsque les supercondensateurs se chargent, la tension u_{sc} augmente. Au moment où la tension u_{sc} atteint un seuil haut, le régulateur se comporte comme un interrupteur ouvert et déconnecte ainsi la cellule photovoltaïque des supercondensateurs ;*
- *lorsque les supercondensateurs se déchargent la tension u_{sc} diminue. Au moment où la tension u_{sc} atteint un seuil bas, le régulateur se comporte comme un interrupteur fermé et la charge des supercondensateurs reprend.*

3.3. Préciser si un régulateur série est un régulateur continu ou un régulateur « Tout Ou Rien ». Justifier votre réponse.

3.4. Sur le **document réponse C1** (page 9), indiquer les phases de charge et celles de décharge des supercondensateurs lors de l'utilisation du régulateur A. Déterminer alors la durée t_d de la décharge.

On se propose à présent d'utiliser un autre régulateur B série dont les seuils bas et haut de la tension u_{sc} sont différents.

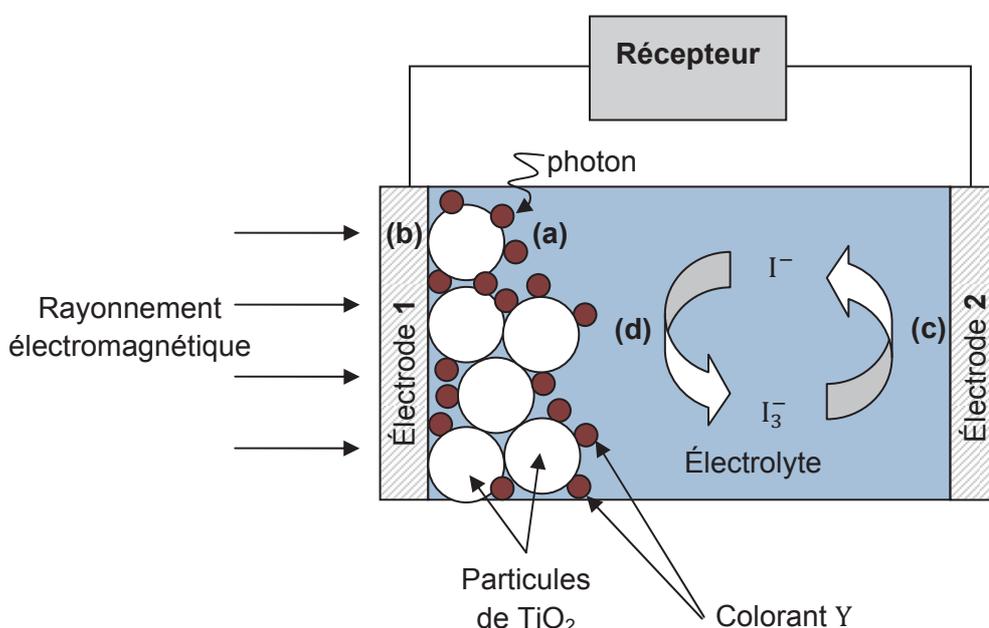
3.5. Sachant qu'une fréquence élevée de commutation peut entraîner une usure prématurée des composants, expliquer à l'aide des **documents réponse C1 ou C2** quelle peut être l'influence d'une diminution importante de l'écart entre les seuils haut et bas de la tension u_{sc} sur la durée de vie du système.

Document 1 : principe de fonctionnement d'une cellule à colorant

Comme le montre le schéma ci-dessous, une cellule à colorant est constituée d'un électrolyte, généralement une solution contenant des ions iodure I^- et triiodure I_3^- , placé entre deux électrodes transparentes. Sur l'une de ces électrodes (électrode **1**), des particules de dioxyde de titane TiO_2 ont été déposées et un colorant Y est fixé à la surface de ces particules.

Le colorant Y assure l'absorption du rayonnement électromagnétique. Lorsqu'un photon est absorbé par une molécule de colorant (voir indication **(a)** sur le schéma), celle-ci transite vers un état excité Y^* puis perd un électron et devient Y^+ ($Y \xrightarrow{\text{photon}} Y^* \longrightarrow Y^+ + e^-$).

Les électrons alors libérés traversent la fine couche de dioxyde de titane jusqu'à l'électrode **1**, puis ils sont injectés dans le circuit électrique externe (voir indication **(b)**) : il y a apparition d'un photocourant. Sur l'électrode **2**, les électrons sont récupérés et entraînent la réduction des ions triiodure en ions iodure (voir indication **(c)**). Enfin, les ions iodure réagissent avec le colorant ionisé Y^+ qui retourne à son état initial (voir indication **(d)**), ce qui clôt le « cycle redox » et fait revenir le système à son état initial. Au final, la lumière provoque l'apparition d'un courant électrique mais aucune espèce n'est consommée ou formée lors du fonctionnement de la cellule.



d'après Wikipedia.org

Document 2 : fiche toxicologique de l'acétonitrile



DANGER

- H 225 – Liquide et vapeurs très inflammables.
- H 332 – Nocif par inhalation.
- H 312 – Nocif par contact cutané.
- H 302 – Nocif en cas d'ingestion.
- H 319 – Provoque une sévère irritation des yeux.

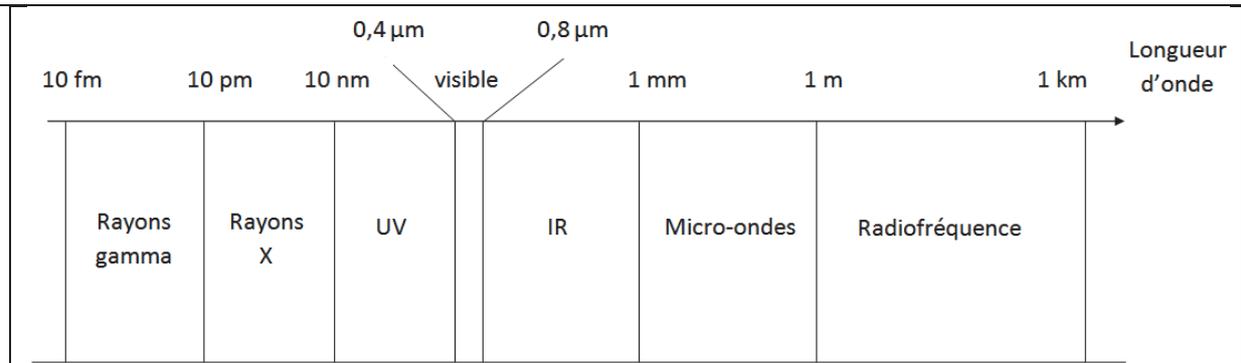
Document 3 : solubilités et masse molaire.

Solubilités :

- Dans une solution d'iodure de potassium, le diiode se trouve sous la forme I_3^- . La solubilité du diiode dans une solution d'iodure de potassium est alors plusieurs centaines de fois plus grande que dans l'eau.
- La solubilité de l'iodure de potassium dans l'eau est de $8,61 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Masse molaire de l'iodure de potassium : $166 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Document 4 : spectre électromagnétique et constantes



$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Constante de Planck : } h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$\text{Célérité de la lumière dans le vide : } c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

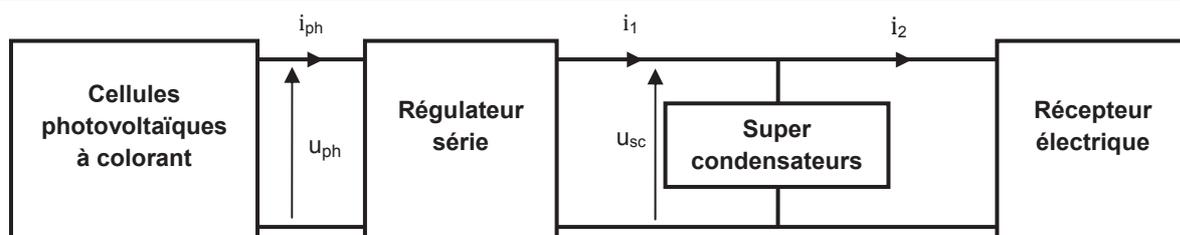
Document 5 : comparaison de deux dispositifs d'alimentation électrique

Les supercondensateurs sont des dispositifs permettant le stockage de l'énergie électrique. Ce sont des dipôles composés d'une solution électrolytique placée entre deux électrodes. Contrairement aux batteries, l'énergie n'est pas stockée sous forme d'énergie chimique mais par l'accumulation de charges électriques (électrons et ions) au niveau des électrodes.

Un supercondensateur stocke moins d'énergie qu'une batterie de même masse. Cependant, il est capable de délivrer cette énergie sur un temps beaucoup plus court. Il fournit ainsi une puissance plus élevée.

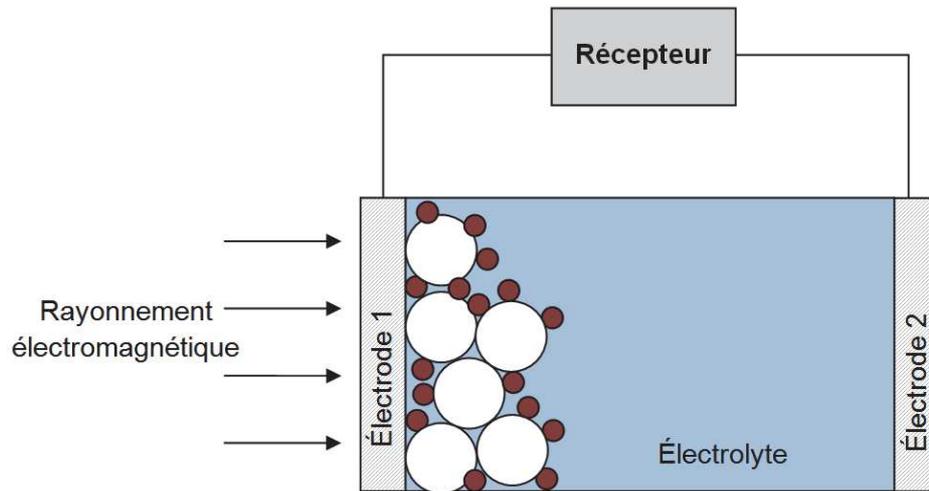
De plus, un supercondensateur a une longue durée de vie grâce à sa capacité à être chargé/déchargé une centaine de milliers de fois contre quelques milliers de fois seulement pour une batterie traditionnelle.

Document 6 : circuit électrique (régulation de la charge des supercondensateurs)

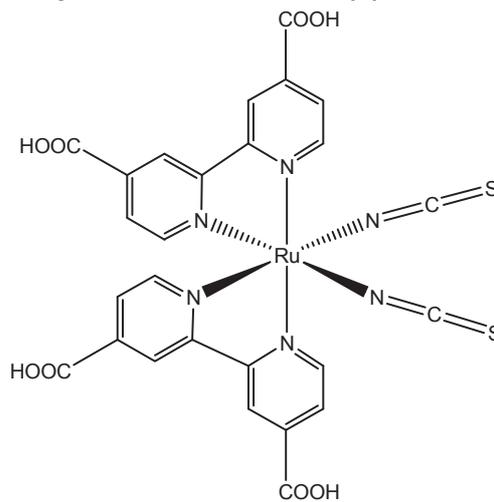


Document réponse, à rendre avec la copie

Document réponse A : schéma d'une cellule à colorant



Document réponse B : le complexe de Ruthénium (II)



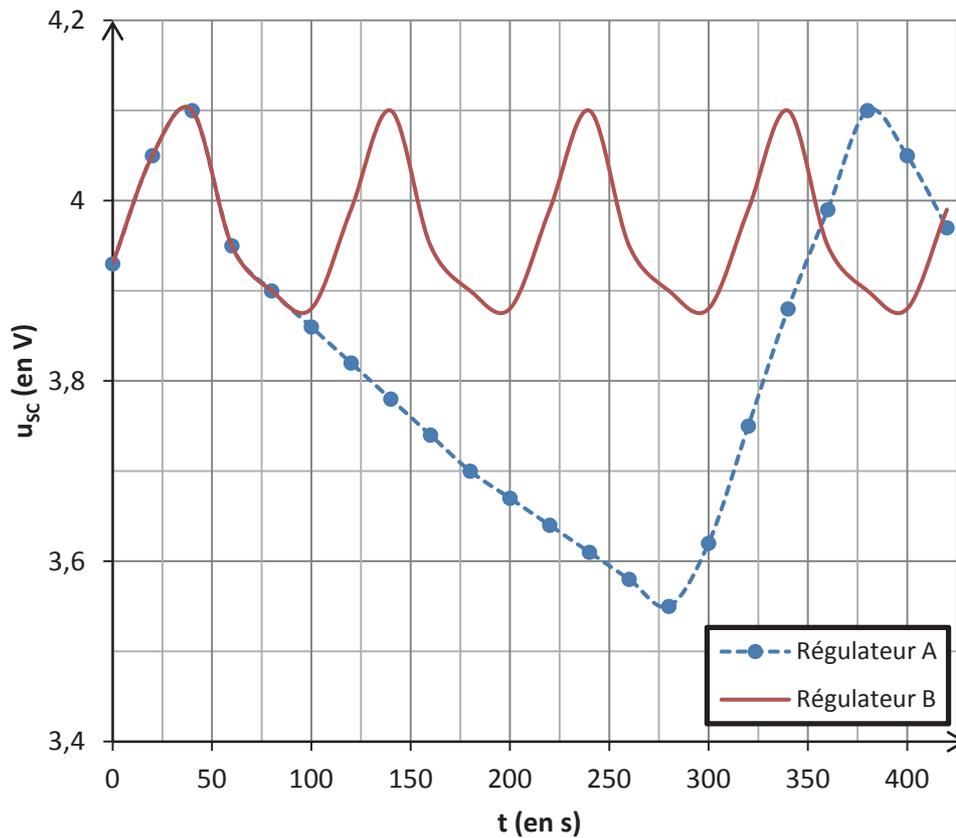
L_i	type de ligand	Justification
L_1		

Document réponse, à rendre avec la copie

Documents réponse C1 et C2 : évolution temporelle de la tension u_{sc} aux bornes des supercondensateurs et de l'intensité i_1 du courant de sortie des régulateurs A et B.

On supposera que l'éclairement de la cellule photovoltaïque et l'intensité du courant de décharge sont les mêmes que lors de l'essai avec le premier régulateur.

DOCUMENT C1



DOCUMENT C2

