

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2017

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8

L'usage d'une calculatrice EST autorisé.

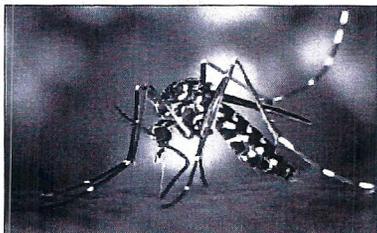
Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10 y compris celle-ci.

La page d'annexe (page 10) EST À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elle n'a pas été complétée.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I - LUTTE CONTRE LES MOUSTIQUES (9 points)



Le développement spectaculaire des transports permet à des millions de personnes de voyager partout dans le monde.

Ces déplacements induisent parfois des risques, en particulier la propagation de maladies transmises par les moustiques.

Une des solutions pour éviter les piqûres est de repousser les moustiques en utilisant des produits répulsifs cutanés.

Photo de James Gathany, CDC

L'EHD ou 2-éthylhexan-1,3-diol est un composé organique de synthèse découvert en 1935 et présentant une activité répulsive vis-à-vis des moustiques. L'objectif de cet exercice est d'étudier une voie de synthèse en trois étapes de l'EHD.

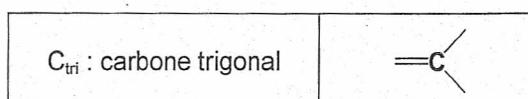
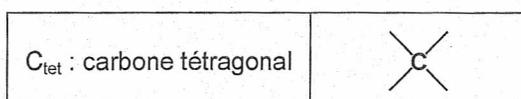
Données :

- Masses volumiques, masses molaires et températures d'ébullition :

| | Butan-1-ol $C_4H_{10}O$ | Butanal C_4H_8O | Acide butanoïque $C_4H_8O_2$ |
|--|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Température d'ébullition ($^{\circ}C$) | 117 | 75 | 162 |
| Masses volumiques ($g \cdot mL^{-1}$) | 0,81 | 0,80 | 0,96 |
| Masses molaires ($g \cdot mol^{-1}$) | 74,0 | 72,0 | 88,0 |

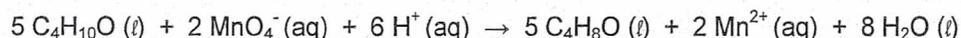
- Électronégativités χ comparées : $\chi(H) \approx \chi(C) < \chi(O)$
- Table de référence pour la spectroscopie infrarouge :

| Liaison | Nombre d'onde (en cm^{-1}) | Liaison | Nombre d'onde (en cm^{-1}) |
|--|----------------------------------|---|----------------------------------|
| O-H (<i>alcool lié</i>) | 3200 – 3600 | $C_{tri}=O$ (<i>aldéhyde / cétone</i>) | 1650 – 1730 |
| $C_{tri}-H$ (<i>alcène</i>) | 3030 – 3100 | $C_{tri}=C_{tri}$ (<i>alcène</i>) | 1620 – 1690 |
| $C_{tri}-H$ (<i>aldéhyde</i>) | 2700 - 2900 | $C_{tet}-H$ (<i>alcane</i>) | 1430 – 1480 |
| O-H (<i>acide carboxylique</i>) | 2500 – 3200 | $C_{tet}-O$ (<i>alcool</i>) | 1010 - 1200 |
| $C_{tri}=O$ (<i>acide carboxylique</i>) | 1700 – 1725 | | |



1. Étape 1 du schéma de synthèse de l'EHD

Cette première étape est l'oxydation du butan-1-ol par le permanganate de potassium pour obtenir le butanal selon la réaction d'équation :

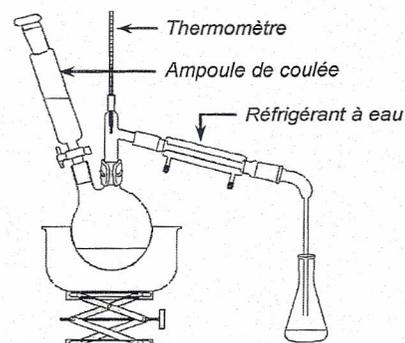


Pour produire le butanal, on utilise le montage ci-contre. Initialement, le ballon contient 2,0 mL de butan-1-ol. L'ampoule de coulée permet d'introduire dans le ballon une solution oxydante de permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq}) + \text{MnO}_4^-(\text{aq})$), de concentration molaire $C = 4,5 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.

Ce montage permet à la fois de synthétiser le butanal et de l'extraire du milieu réactionnel par distillation simple.

Si la solution de permanganate de potassium est introduite trop rapidement, le butanal formé peut être oxydé en acide butanoïque. On l'introduit donc goutte à goutte dans le milieu réactionnel.

La synthèse est réalisée en présence d'une solution aqueuse d'acide sulfurique ($2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$) et à une température de 75°C .



1.1. Donner la formule topologique du butan-1-ol.

1.2. Indiquer pourquoi l'utilisation du montage de distillation simple permet d'extraire le butanal du milieu réactionnel.

1.3. Dans l'hypothèse d'une oxydation de la totalité du butan-1-ol, vérifier que la masse maximale de butanal est égale à 1,6 g.

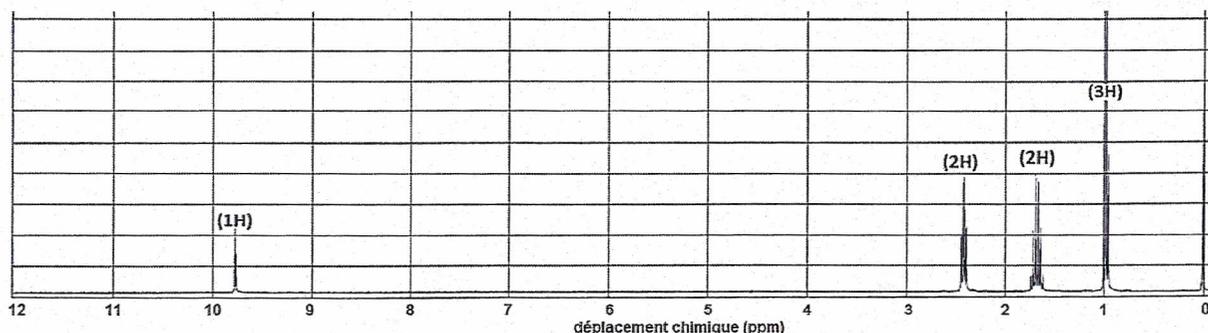
1.4. Déterminer le volume de solution de permanganate de potassium nécessaire à introduire dans l'ampoule de coulée pour oxyder tout le butan-1-ol initialement présent.

1.5. Le spectre RMN du produit obtenu dans le distillat est donné ci-dessous.

Les indications portées au-dessus de chaque signal correspondent au nombre d'atomes d'hydrogène présents dans le groupe de protons équivalent correspondant au signal ; la multiplicité n'est pas exploitable.

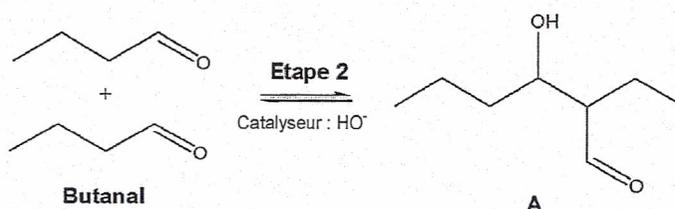
Vérifier que ce spectre est compatible avec la molécule de butanal.

Préciser, en la justifiant, la multiplicité du signal à 1 ppm.



2. Étape 2 du schéma de synthèse de l'EHD

L'étape 2 de la synthèse de l'EHD est réalisée en milieu basique et met en jeu deux molécules de butanal. Elles réagissent ensemble pour former une molécule polyfonctionnelle, notée **A**.



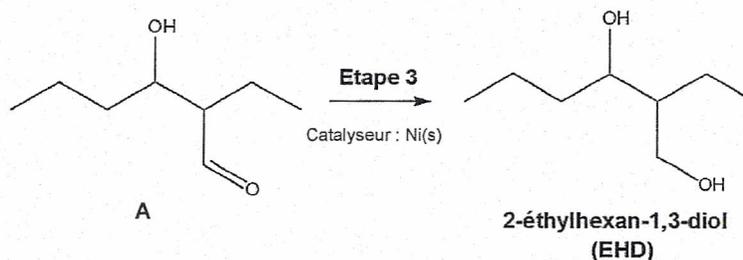
À l'échelle microscopique, il est possible d'expliquer la formation du produit **A** à l'aide du mécanisme réactionnel reproduit sur l'**ANNEXE à rendre avec la copie**.

2.1. Sur l'**ANNEXE à rendre avec la copie**, utiliser le formalisme des flèches courbes pour rendre compte de la deuxième étape du mécanisme réactionnel.

2.2. Pourquoi peut-on dire que l'ion hydroxyde joue le rôle de catalyseur dans la transformation du butanal en produit **A** ? On se référera à l'**ANNEXE à rendre avec la copie**.

3. Étape 3 du schéma de synthèse de l'EHD

L'étape 3 de la synthèse de l'EHD est une réaction d'hydrogénation de la double liaison $\text{C}=\text{O}$ catalysée par le nickel métallique. Cette réaction a lieu à la surface du catalyseur.



3.1. Proposer une explication au fait que l'on utilise pour cette réaction d'hydrogénation, une poudre fine de nickel plutôt qu'un bloc de nickel de même masse.

3.2. Une analyse par spectroscopie infrarouge du mélange final obtenu dans l'étape 3, décrite ci-dessus, permettrait-elle de détecter la présence de traces du composé **A** ? Justifier votre réponse.

3.3. Recopier la formule topologique de la molécule d'EHD. À partir de cette formule, justifier la terminaison « diol » dans le nom de la molécule. Identifier et numéroter la chaîne carbonée principale de la molécule d'EHD afin de justifier le nom donné à cette molécule.

3.4. La molécule d'EHD possède-t-elle des stéréoisomères de configuration ? Justifier la réponse.

EXERCICE II - Mesure de vitesses : du K.L. au laboratoire de physique (6 points)

Le kilomètre lancé (K.L.) ou ski de vitesse est une discipline dans laquelle l'objectif est d'atteindre la plus grande vitesse possible sur une piste. Il ne se passe pas une année sans qu'un nouveau record ne soit établi.

252,632 km/h : nouveau record de vitesse pour le skieur Simone Origone

« Impossible, 252,632 km/h ? Un homme ne peut pas se déplacer aussi vite, quelqu'un a dû appuyer sur « avance rapide ». Et pourtant. C'est bien la vitesse atteinte vendredi 3 avril par Simone Origone qui, pour y parvenir, s'est servi d'un instrument complexe : une paire de skis. Et d'un moteur surpuissant : la gravité. L'Italien de 35 ans a battu son propre record du monde de vitesse à ski (252,454 km/h), réussi le 31 mars 2014. »

D'après un article du site lemonde.fr du 3 avril 2015

Caractéristiques de la piste de Chabrières

Comme toutes les pistes de ski de vitesse, la piste de Chabrières comporte trois zones : une zone d'élan, une zone de chronométrage et une zone de freinage. Le départ est situé à une altitude $h_1 = 2715$ m. Le skieur accélère sur une distance de 450 m avant d'arriver dans la zone de chronométrage où l'on mesure le temps mis pour parcourir une distance $D = 100$ m. À la sortie de cette zone de chronométrage, le skieur décélère progressivement dans la zone de freinage.

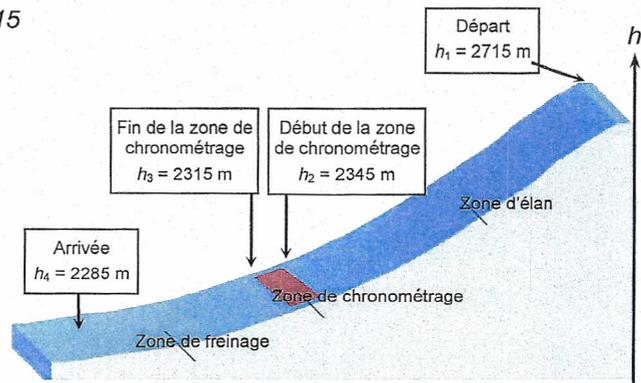


Figure 1. Profil de la piste de Chabrières et altitudes h de quelques points.

D'après <http://www.vars-chalet.com/>

Données :

- > intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$;
- > masse du skieur avec son équipement : $M = 110 \text{ kg}$.

Le système est composé du skieur et de son équipement ; l'étude est conduite dans le référentiel terrestre que l'on supposera galiléen.

1. Vitesse maximale

1.1. Dans l'article, il est dit que le skieur utilise « un moteur surpuissant : la gravité ». Justifier qu'au cours de la descente le travail du poids du skieur est « moteur », c'est-à-dire positif.

1.2. En considérant que la valeur de la vitesse du skieur au départ est nulle et que l'énergie mécanique du système se conserve, montrer que la valeur de la vitesse atteinte par le skieur au début de la zone de chronométrage est égale à 85 m.s^{-1} .

1.3. Comparer la valeur de cette vitesse à celle réellement atteinte par S.Origone en avril 2015. Proposer une explication de la différence observée.

2. Les frottements de l'air

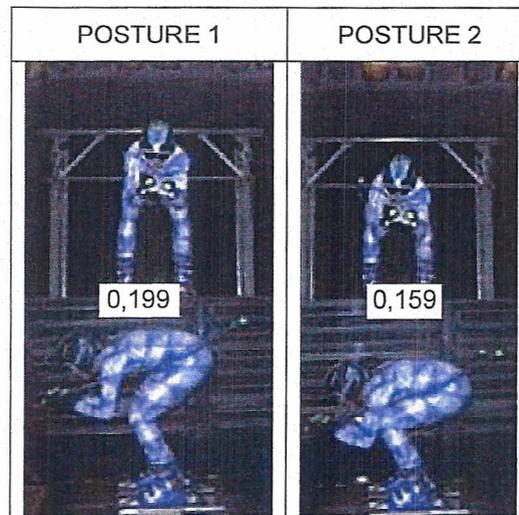
L'expression suivante permet de calculer la valeur F_{air} de la force de frottement de l'air s'exerçant sur un skieur en mouvement :

$$F_{\text{air}} = 0,5 \times \rho_{\text{air}} \times S \times k \times v^2$$

Avec :

- > ρ_{air} la masse volumique de l'air en kg.m^{-3} ;
- > v la vitesse du skieur en m.s^{-1} ;
- > S (en m^2) la surface occupée par le skieur dans un plan perpendiculaire à son déplacement ;
- > k le coefficient de trainée qui dépend de la posture du skieur et de son équipement.

Au cours de son mouvement dans la zone d'élan, le skieur peut adopter différentes postures. À chacune d'elles correspond une valeur du produit $S \times k$. Le document ci-dessous donne les valeurs du produit $S \times k$, en unité de base du système international, pour différentes postures d'un skieur.



D'après un document du département sportif et scientifique de la Fédération Française de Ski

- 2.1. Montrer que k est une grandeur sans unité. Quelle sera alors l'unité du produit $S \times k$?
 - 2.2. Si on considère que le coefficient de traînée k reste constant entre les deux positions, proposer une explication qualitative à la diminution du produit $S \times k$ observée pour les postures 1 et 2.
En vous basant sur le document ci-dessus, évaluer la valeur de la surface S pour la posture 2 et donner un ordre de grandeur de la valeur de k .
 - 2.3. Parmi les postures proposées, indiquer celle qui permettra au skieur d'atteindre la plus grande vitesse au début de la zone de chronométrage. Justifier.
 - 2.4. Pour une posture donnée, expliquer comment évolue la valeur de la force de frottement de l'air F_{air} lorsque la vitesse du skieur augmente. Justifier.
- 3. Mesure des records et métrologie**
- 3.1. Calculer la durée t_c du passage du skieur dans la zone de chronométrage de distance D .
 - 3.2. Donner deux sources d'erreurs possibles pour la mesure de vitesse d'un skieur de kilomètre lancé.
 - 3.3. Justifier à l'aide du texte d'introduction pourquoi il est nécessaire de faire des mesures précises pour distinguer les différents records de vitesse.
 - 3.4. Estimer la précision relative sur la mesure de la vitesse du skieur.

EXERCICE III - LES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES MULTIJONCTIONS (5 points)

La plupart des panneaux solaires présents dans notre environnement sont composés de cellules constituées d'un matériau semi-conducteur, généralement le silicium (80% du marché).

Cependant, d'autres filières de production se développent, parmi lesquelles la filière de cellules multi-jonctions utilisées en particulier dans le domaine aérospatial (alimentation électrique de satellites). Ces cellules sont constituées de couches successives de matériaux semi-conducteurs différents, principalement des alliages dérivés de l'arséniure de gallium (GaAs).

L'objectif de l'exercice est de comprendre l'intérêt des cellules multi-jonctions par rapport aux cellules au silicium en exploitant les documents fournis et vos connaissances.

Données :

- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J ;
- la valeur de la célérité de la lumière dans le vide est supposée connue par le candidat.

Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Pour convertir l'énergie des photons en énergie électrique, on utilise des cellules solaires constituées de semi-conducteurs. Ces matériaux sont caractérisés par une bande d'énergie interdite nommée « gap ». La valeur de ce gap dépend de la nature chimique et de la structure du matériau, sa valeur est de 1,1 eV pour le silicium monocristallin.

Un photon est absorbé par un semi-conducteur quand son énergie est supérieure au gap, sinon il le traverse ; ainsi, tous les photons d'énergie supérieure au gap peuvent être absorbés. Cependant, l'énergie en excès est vite perdue sous forme de chaleur et l'énergie électrique maximale que l'on peut espérer récupérer est égale à celle du gap.

D'après Pour la Science, juillet 2010, « Des électrons contre du Soleil » de J. M. Courty et E. Kierlik et Pour la Science, octobre 2010, « L'électricité, fille du Soleil » de D. Lincot et al

Rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement d'une cellule photovoltaïque est défini par la relation suivante :

$$r = \frac{\text{puissance électrique maximale délivrée par cellule}}{\text{puissance lumineuse reçue par cellule}}$$

Caractéristiques de la cellule solaire en silicium monocristallin commercialisée par Microsol

- surface $S = 2,43 \times 10^{-2}$ m² ;
- caractéristiques électriques réalisées sous des conditions de test standardisées, à 25 °C, avec un ensoleillement de 1000 W.m⁻² :

| Paramètre | Symbole | Valeur typique |
|--------------------------------|------------|----------------|
| Tension en circuit ouvert | V_{oc} | 0,614 V |
| Intensité de court-circuit | I_{sc} | 8,594 A |
| Tension à puissance maximale | V_{Pmax} | 0,521 V |
| Intensité à puissance maximale | I_{Pmax} | 8,090 A |
| Puissance maximale | P_{max} | 4,210 W |

D'après www.microsolinternational.com

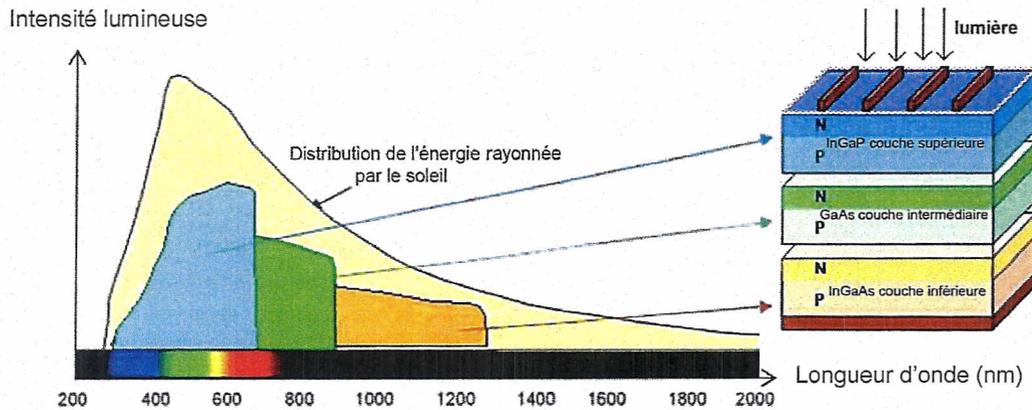
La cellule triple jonction mise au point par Sharp en novembre 2011

Le record mondial de rendement pour des cellules photovoltaïques sans concentrateur de lumière a été battu par Sharp, le premier fabricant japonais de cellules photovoltaïques.

Cette avancée a été rendue possible grâce à la structure en trois couches de la cellule photovoltaïque, constituée de trois semi-conducteurs de gaps différents : la couche supérieure en phosphore d'indium-gallium InGaP de gap 1,8 eV, une deuxième couche en arséniure de gallium GaAs de gap 1,4 eV, puis une couche inférieure en arséniure d'indium-gallium InGaAs de gap 1,0 eV.

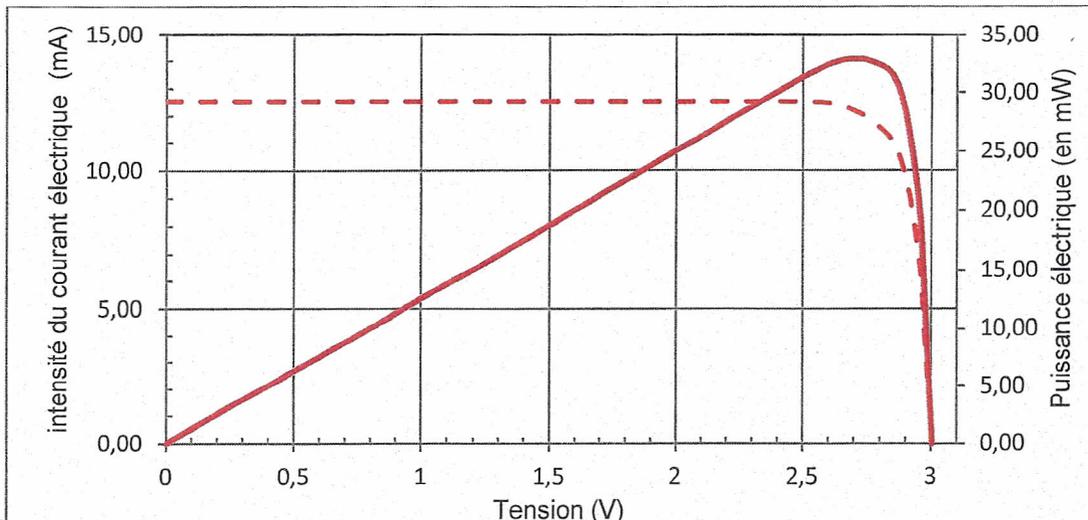
Cet empilement de jonctions selon des gaps décroissants permet d'atteindre une efficacité de conversion nettement plus importante que pour les cellules au silicium monocristallin.

Distribution en longueur d'onde de l'énergie rayonnée par le Soleil et sensibilité en longueur d'onde de la cellule triple jonction



D'après www.bulletins-electroniques.com et www.photovoltaique-couche-mince.com

Caractéristique intensité-tension de la cellule triple-jonction de Sharp de surface $S = 8,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ avec un ensoleillement de 1000 W.m^{-2}



Courbe en pointillés : évolution de l'intensité du courant électrique.

Courbe en trait épais : évolution de la puissance électrique délivrée.

(d'après l'article de M. A. Green et al. « Solar cell efficiency tables (version 39) », *Progress in Photovoltaics Research and Applications*, 2012; 20:12-20)

Questions

1. Calculer les rendements des cellules triple-jonction de Sharp et Microsol au Silicium.

Afin de comprendre pourquoi le rendement de la cellule triple jonction est meilleur que celui de la cellule Microsol au Silicium, on s'intéresse à deux photons de longueurs d'onde respectives $\lambda_1 = 1,0 \mu\text{m}$ et $\lambda_2 = 0,65 \mu\text{m}$.

2. Déterminer l'énergie de chacun des deux photons considérés.

Ces deux photons arrivent dans un premier cas sur un semi-conducteur en silicium monocristallin et dans un second cas sur une couche de semi-conducteur en phosphore d'indium gallium InGaP.

On considère pour simplifier, que chaque photon qui a l'énergie nécessaire pour être absorbé par un semi-conducteur l'est effectivement.

3. Les deux photons arrivent sur la cellule solaire en silicium monocristallin.

Déterminer l'énergie électrique maximale récupérée.

4. Ces deux photons arrivent maintenant sur la cellule triple-jonction de Sharp.

Indiquer par quelle couche de la cellule chaque photon sera absorbé et déterminer l'énergie maximale récupérée. Conclure.

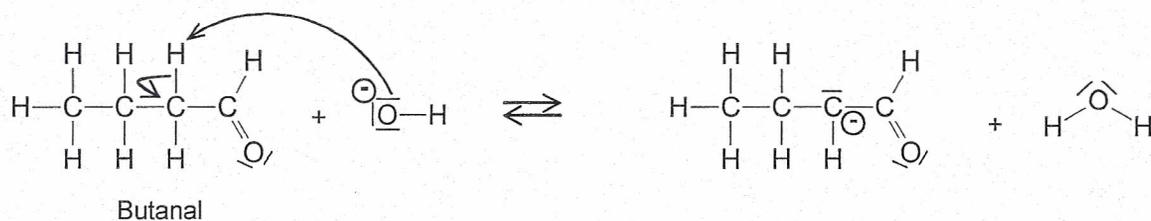
5. Expliquer en quoi la constitution et l'ordre des couches de la cellule Sharp triple-jonction lui confèrent une meilleure performance que la cellule au Silicium Microsol lorsqu'elles sont éclairées par la lumière du Soleil.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

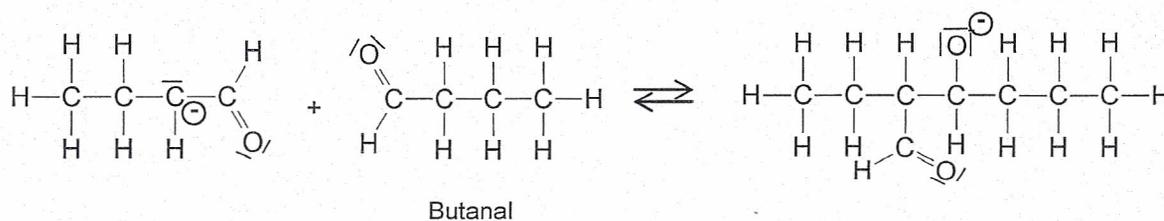
ANNEXE DE L'EXERCICE I

Questions 2.1. et 2.2.

Première étape du mécanisme réactionnel



Deuxième étape du mécanisme réactionnel



Troisième étape du mécanisme réactionnel

