

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

## PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30

Coefficient : 8

L'usage de la calculatrice électronique est autorisé

Ce sujet comporte 3 exercices présentés sur 17 pages numérotées de 1 à 17, y compris celle-ci.

L'annexe (page 17) est à rendre avec la copie.

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

Exercice I – Protons énergétiques (5,5 points)

Exercice II – Molécule d'ibuprofène (9,5 points)

Exercice III – Clarinettiste voyageur (5 points)

### **Exercice I – Protons énergétiques (5,5 points)**

Des protons énergétiques sont des protons animés d'une grande vitesse.

Le but de cet exercice est d'exploiter des documents relatifs à deux exemples de l'action de protons énergétiques sur la matière : le rayonnement cosmique et la protonthérapie.

#### **Données :**

Charge électrique du proton :	$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
Masse du proton :	$m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .
Mégaélectron-volt :	$1 \text{ MeV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$ .
Vitesse de la lumière dans le vide :	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .
Constante de Planck :	$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ .

#### **1. Le proton**

##### **Document 1**

###### **Les interactions dans le noyau**

*Dans un noyau atomique, trois interactions fondamentales sont mises en jeu entre les nucléons (protons et neutrons) : l'interaction gravitationnelle, l'interaction électrique et l'interaction nucléaire forte.*

*L'interaction gravitationnelle est attractive ; dans un noyau, elle est nettement plus faible que l'interaction électrique répulsive entre protons. C'est l'interaction nucléaire forte qui assure la cohésion du noyau atomique.*

##### **Document 2**

###### **Les quarks constitutifs du proton**

*Le proton est composé de trois particules : deux quarks up et un quark down. Les quarks sont des particules élémentaires qui portent une fraction de la charge électrique du proton. La charge d'un quark down est  $-\frac{e}{3}$ .*

- 1.1. L'interaction forte est-elle attractive ou répulsive ? Est-elle plus ou moins intense que l'interaction électrique ? Justifier vos réponses à l'aide du document 1.
- 1.2. Déterminer la charge électrique d'un quark up en l'exprimant sous la forme d'une fraction de la charge  $e$  du proton.

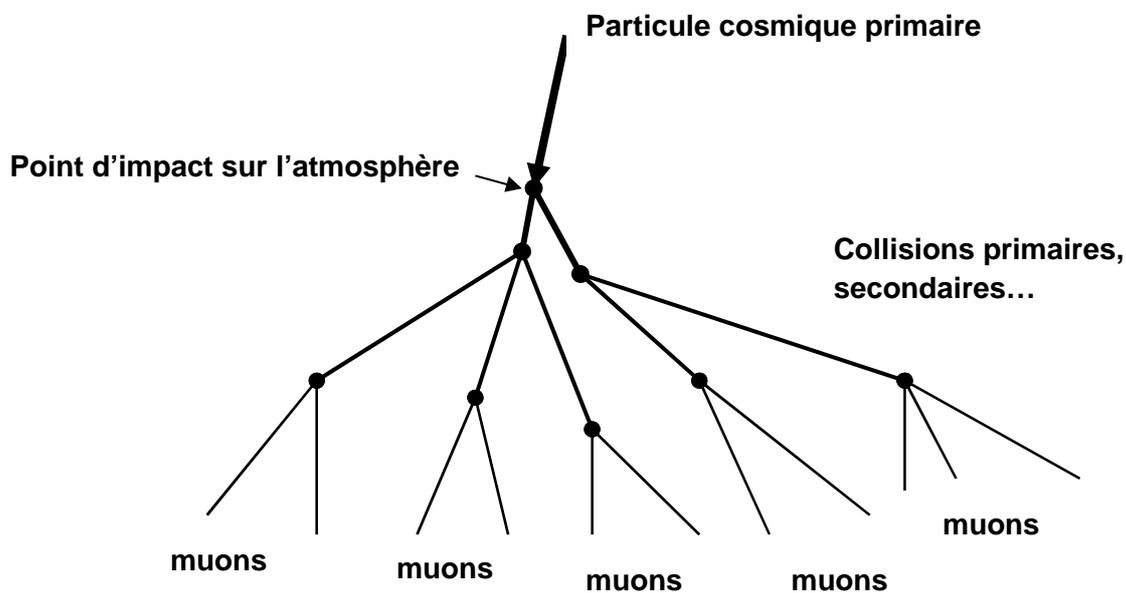
## 2. Les protons cosmiques

### Document 3

#### Rayonnement cosmique

La Terre est arrosée constamment par une pluie de particules, nommée rayonnement cosmique. Ce phénomène est le résultat de l'arrivée de particules énergétiques (provenant du Soleil, de la galaxie et plus globalement de tout l'Univers) dans la haute atmosphère terrestre. Ces particules, principalement des protons (87 %) entrent en collision avec les noyaux des molécules de l'atmosphère. Les produits de ces collisions primaires heurtent à leur tour d'autres noyaux produisant ainsi une gerbe de particules secondaires. Certaines parviennent jusqu'au sol, d'autres sont absorbées par l'atmosphère, et d'autres encore induisent de nouvelles réactions qui donneront naissance à des particules tertiaires, etc...

Une seule particule cosmique très énergétique peut générer une gerbe contenant plusieurs milliards de particules (voir **figure 1**). Plusieurs types de particules atteignent le sol. Parmi ces particules on trouve les muons.



**Figure 1 : Représentation simplifiée des gerbes issues de rayonnements cosmiques**

### Document 4

#### Rayons cosmiques relativistes

On peut appliquer avec une bonne approximation les lois de la mécanique classique, à toute particule animée d'une vitesse inférieure à 10 % de la célérité de la lumière dans le vide, et utiliser l'expression de l'énergie cinétique  $E_c = \frac{mv^2}{2}$ . Lorsqu'on est dans cette situation, la particule est dite « classique ». Dans le cas contraire, la particule est dite « relativiste ». Par exemple, les protons les plus énergétiques des rayons cosmiques sont relativistes. Ils sont d'origine extrasolaire et leur énergie cinétique est typiquement comprise en 100 MeV et 10 GeV.

- 2.1. Calculer, en joule puis en mégaélectron-volt, l'énergie cinétique d'un proton animé d'une vitesse égale à 10 % de la célérité  $c$  de la lumière dans le vide.
- 2.2. Justifier par un argument quantitatif la phrase du document 4 : « ...les protons les plus énergétiques des rayons cosmiques sont relativistes. »
- 2.3. D'après la théorie de la dualité onde-corpuscule, que l'on doit au scientifique Louis de Broglie, on associe une onde électromagnétique au proton.
  - 2.3.1. Calculer la valeur de la quantité de mouvement  $p$  d'un proton dont la vitesse vaut 10 % de  $c$ .
  - 2.3.2. En déduire la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  associée.

### 3. Les muons

#### Document 5

##### **La détection des muons au niveau du sol terrestre**

*Les muons sont des particules élémentaires voisines de l'électron mais beaucoup plus massives. Ceux qui sont observés au niveau du sol sont créés dans la haute atmosphère à 20 km d'altitude, lors de la collision de protons (appartenant au rayonnement cosmique) avec les noyaux des atomes de l'atmosphère (voir **figure 1**). Ils voyagent à une vitesse de valeur très élevée ( $v = 0,9997c$ ). Pour un observateur terrestre, 67  $\mu\text{s}$  sont nécessaires aux muons pour traverser l'atmosphère et atteindre le sol. Or, les muons sont très instables et diverses expériences ont montré que leur durée de vie propre n'est que  $\Delta t_0 = 2,2 \mu\text{s}$ . Cette durée de vie est donc a priori insuffisante pour leur permettre d'atteindre la surface de la Terre.*

*Pourtant des muons sont effectivement détectés au niveau du sol. Cette apparente contradiction s'explique par la dilatation des durées dans le cadre de la théorie de la relativité restreinte. En effet, la durée de vie des muons  $\Delta t$  mesurée sur Terre et la durée de vie propre des muons  $\Delta t_0$  qui se déplacent par rapport à la Terre ont des valeurs différentes. Ces deux durées sont liées par la relation de dilatation des durées  $\Delta t = \gamma \Delta t_0$  avec  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ .*

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \text{ avec } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

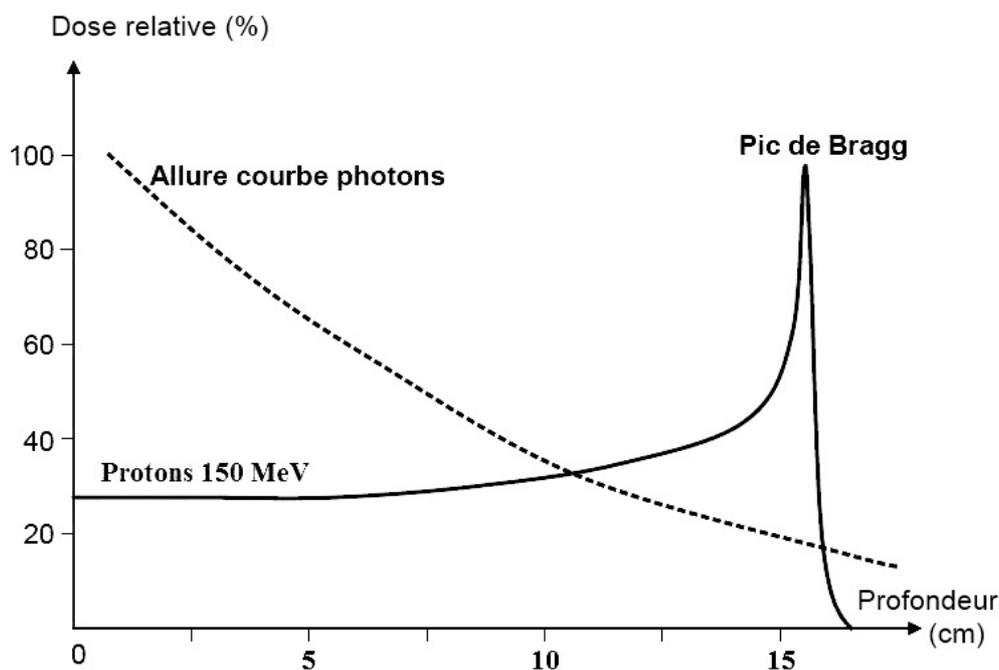
- 3.1. Expliquer pourquoi les muons sont des particules relativistes.
- 3.2. Expliquer par un raisonnement quantitatif pourquoi des muons issus des rayons cosmiques peuvent être observés au niveau du sol terrestre.

### Les différentes radiothérapies

La radiothérapie (thérapie par rayonnement) est un moyen de traitement du cancer dans lequel les cellules cancéreuses sont détruites par un rayonnement. Si ce rayonnement est électromagnétique (rayons X ou rayons gamma), on parle de photonthérapie. S'il s'agit d'un faisceau de protons, on parle de protonthérapie. Lorsqu'un rayonnement (photon X ou gamma, proton...) pénètre dans un tissu, il interagit avec celui-ci en lui cédant tout au long de son trajet une part de son énergie, on parle d'énergie déposée. Dans l'exemple du traitement d'une tumeur dans un organisme, le graphique de la **figure 2** représente la manière dont évolue l'énergie déposée en fonction de la profondeur de pénétration, d'une part pour un faisceau de photons X ou gamma, et d'autre part pour un faisceau de protons de 150 MeV.

Le faisceau de photons est fortement absorbé dès son entrée dans l'organisme et continue de céder progressivement son énergie tout au long de son parcours. Au contraire, les protons déposent relativement peu d'énergie au début de leur parcours dans l'organisme. L'énergie libérée augmente progressivement au fur et à mesure que leur vitesse diminue. C'est au moment de leur arrêt que l'énergie libérée est maximale. Il apparaît alors un pic de dose (le pic de Bragg), au-delà duquel la dose chute brutalement à zéro.

Tout l'art de la radiothérapie consiste à administrer une dose suffisante pour détruire sans exception toutes les cellules cancéreuses. En revanche cette dose doit endommager le moins possible les cellules saines.



**Figure 2 : Énergie déposée dans un tissu en fonction de la profondeur de pénétration du faisceau.**

La dose relative est l'énergie déposée par unité de masse de matière, exprimée en pourcentage par rapport au maximum d'énergie qui peut être déposée.

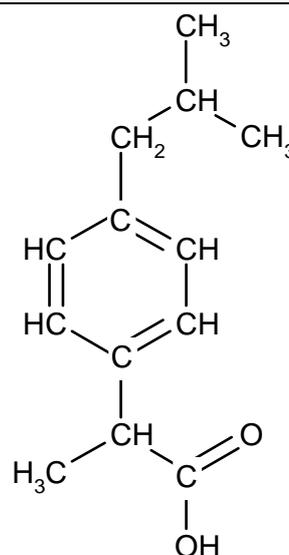
- 4.1. Pour l'exemple de la **figure 2**, déterminer à quelle profondeur doit se trouver la tumeur traitée pour que la protonthérapie soit la plus efficace. Justifier votre réponse.
- 4.2. Lequel des deux traitements respecte le mieux « l'art de la radiothérapie » ? Deux arguments sont attendus.

## Exercice II – Molécule d'ibuprofène (9,5 points)

L'ibuprofène est une molécule de formule brute  $C_{13}H_{18}O_2$ . Son nom en nomenclature officielle est acide 2-(4-isobutylphényl)propanoïque.

De par ses propriétés anti-inflammatoire, antalgique et antipyrétique, elle constitue le principe actif de divers médicaments.

Cet exercice comporte trois parties indépendantes conduisant à étudier la structure de la molécule d'ibuprofène, sa synthèse dans le cadre de la chimie verte et le dosage d'un médicament.

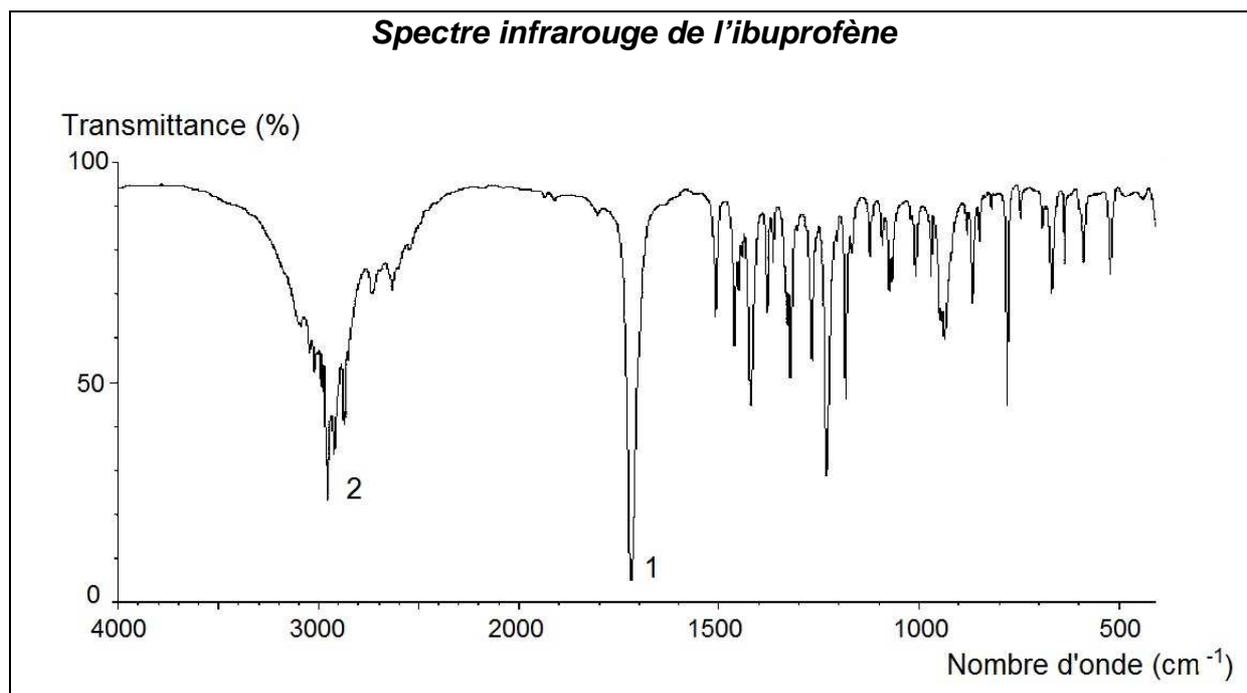


*Formule semi-développée de l'ibuprofène*

### Partie 1 : La molécule d'ibuprofène

- 1.1. Sur la formule semi-développée de l'ibuprofène de la **figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie**, entourer le groupe caractéristique associé à la fonction acide carboxylique.
- 1.2. La molécule d'ibuprofène est chirale.
  - 1.2.1. Expliquer la cause de cette chiralité en la nommant et en la repérant sur la **figure 2 de l'annexe**.
  - 1.2.2. Cette chiralité entraîne l'existence de deux énantiomères de l'ibuprofène. Comment reconnaître si des molécules sont énantiomères ? Aucun schéma n'est attendu.
  - 1.2.3. Sur la **figure 3 de l'annexe**, la représentation de Cram de l'un des deux énantiomères de l'ibuprofène est fournie, mais elle est inachevée. Compléter cette représentation et schématiser le deuxième énantiomère.
- 1.3. Diverses techniques d'analyse ont permis de connaître la structure de la molécule d'ibuprofène. Les spectroscopies IR (infrarouge) et RMN (résonance magnétique nucléaire) en sont deux exemples.

## Document 1



## Document 2

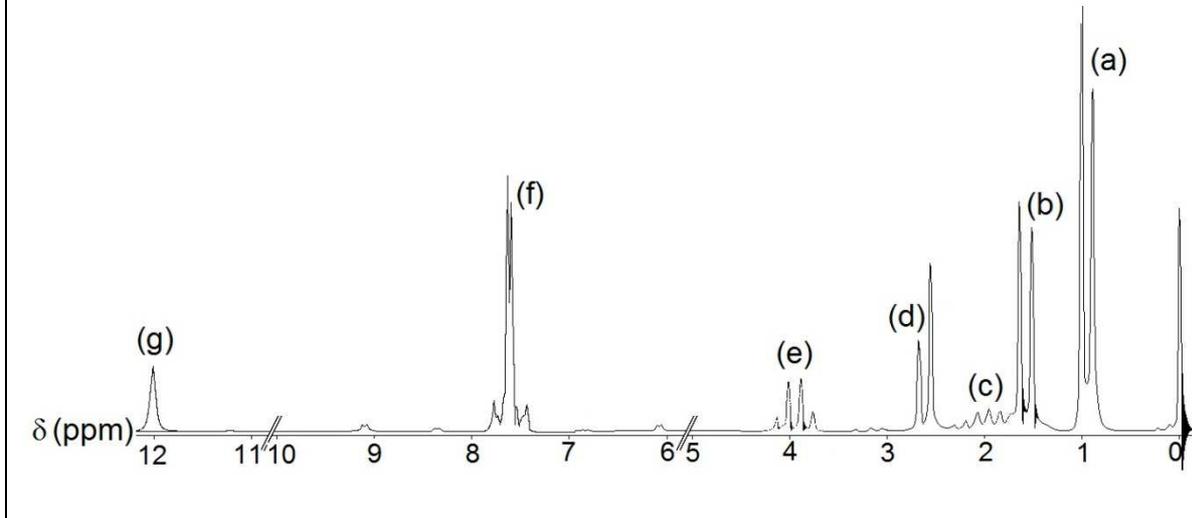
### *Bandes d'absorption IR de quelques types de liaisons chimiques*

Type de liaison	Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Largeur de la bande	Intensité d'absorption
O-H sans liaison hydrogène	3580 - 3650	fine	forte
O-H avec liaison hydrogène	3200 - 3300	large	forte
O-H d'un acide carboxylique	2500 - 3200	large	variable
C-H des groupes CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> , CH dans les alcanes, les alcènes et les cycles aromatiques	2900 - 3100	variable (bandes multiples)	variable
C=C dans un cycle aromatique	1500 - 1600	fine	moyenne
C=O d'un acide carboxylique	1700 - 1725	fine	forte

### Document 3

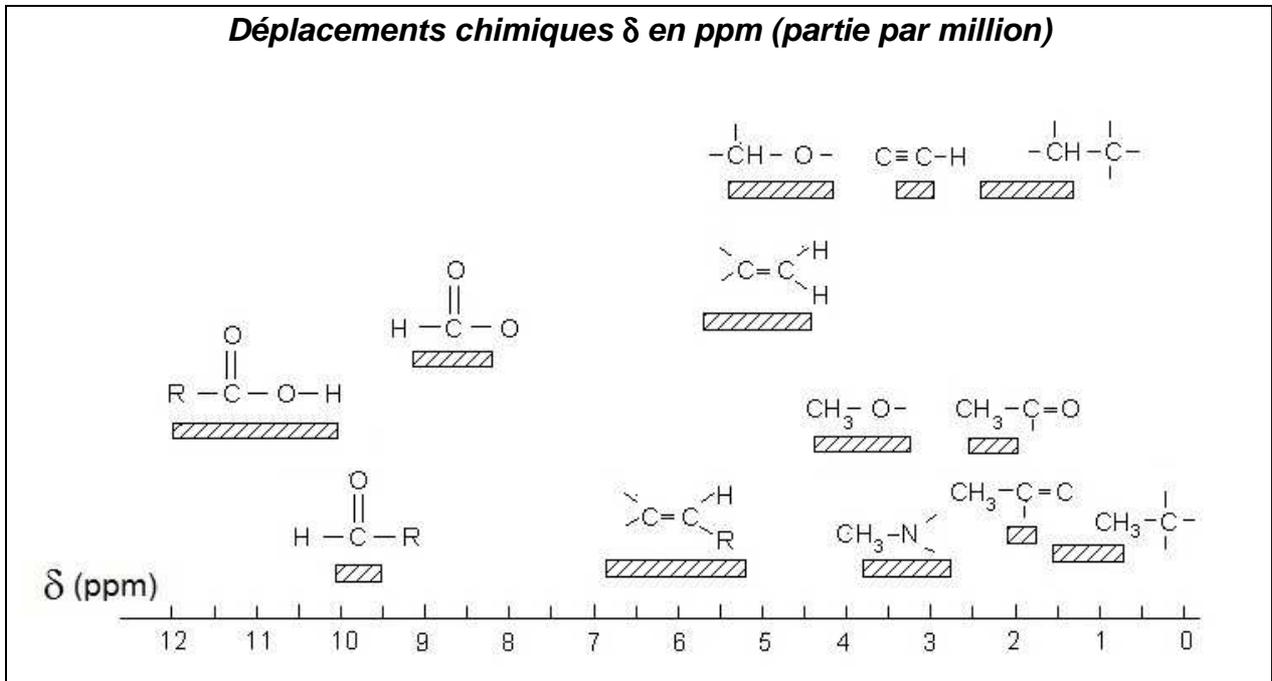
#### Spectre RMN de l'ibuprofène

L'aire du doublet (a) est environ six fois supérieure à celle du singulet (g), c'est-à-dire que le saut de la courbe d'intégration est six fois plus grand pour (a) que pour (g).



### Document 4

#### Déplacements chimiques $\delta$ en ppm (partie par million)



- 1.3.1. Donner l'origine des bandes d'absorption 1 et 2 du spectre infrarouge IR (document 1) en exploitant les données du document 2.
- 1.3.2. Sur la formule semi-développée de l'ibuprofène de la **figure 4 de l'annexe**, entourer la ou les atomes d'hydrogène associés au signal (g) du spectre RMN. Justifier votre réponse à l'aide du document 4.
- 1.3.3. Le signal (g) est un signal singulet. Expliquer pourquoi.
- 1.3.4. Sur la formule semi-développée de l'ibuprofène de la **figure 5 de l'annexe**, entourer la ou les atomes d'hydrogène associés au signal (a) du spectre RMN. Justifier votre réponse.
- 1.3.5. Le signal (a) est un doublet. Justifier cette multiplicité.

## **Partie 2 : Synthèse de l'ibuprofène**

Les procédés BHC et Boots sont deux méthodes de fabrication de l'ibuprofène. Le but de cette partie est de comparer ces deux techniques dans le cadre de la chimie verte.

### **Document 5**

#### **La chimie verte**

*La chimie verte s'inscrit dans une logique de développement durable et de recherche permanente de sécurité optimale. Pour cela les processus mis en jeu doivent éliminer ou au moins réduire l'utilisation de substances nocives pour l'homme et l'environnement. Les synthèses chimiques doivent privilégier des méthodes produisant le minimum de substances dérivées inutiles, surtout si elles sont polluantes.*

*Classiquement, pour évaluer l'efficacité d'une synthèse chimique, on détermine son rendement sans se préoccuper des quantités de sous-produits formés. Dans le cadre de la chimie verte, pour prendre en compte la minimisation des quantités de déchets, on définit un indicateur appelé « utilisation atomique » (UA). L'utilisation atomique UA est définie comme le rapport de la masse molaire du produit souhaité, sur la somme des masses molaires de tous les produits :*

$$UA = \frac{M(\text{produit souhaité})}{\sum_i M_i(\text{produit})}$$

*La conservation de la masse conduit à une deuxième expression de cet indicateur :*

$$UA = \frac{M(\text{produit souhaité})}{\sum_j M_j(\text{réactif})}$$

*Plus cet indicateur UA est proche de 1, plus le procédé est économe en termes d'utilisation des atomes et moins la synthèse génère de déchets.*

**Exemple :** on synthétise le produit *P* par réaction entre *R* et *S*. Au cours de la transformation, il se forme aussi les espèces *Y* et *Z* selon l'équation de la réaction :



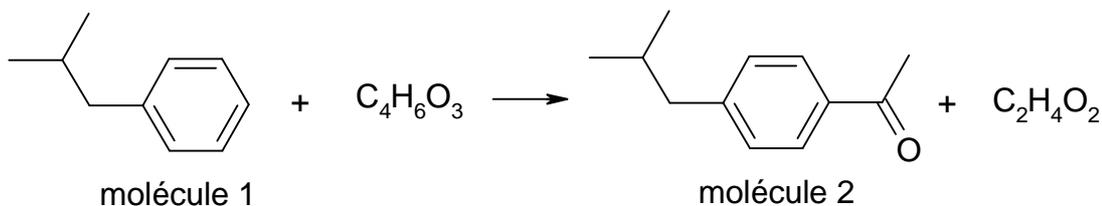
où *r*, *s*, *y* et *z* sont les nombres stœchiométriques.

L'utilisation atomique s'exprime par :

$$UA = \frac{M(P)}{M(P) + yM(Y) + zM(Z)} \quad \text{ou} \quad UA = \frac{M(P)}{rM(R) + sM(S)}$$

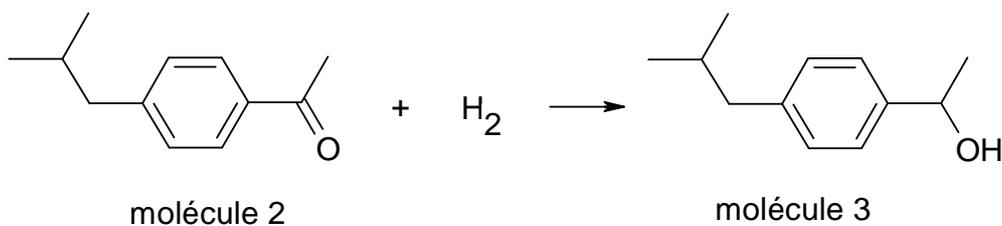
2.1. Le procédé BHC, dont l'utilisation atomique est de 77 %, met en jeu trois étapes faisant appel à des transformations catalysées :

### Étape 1

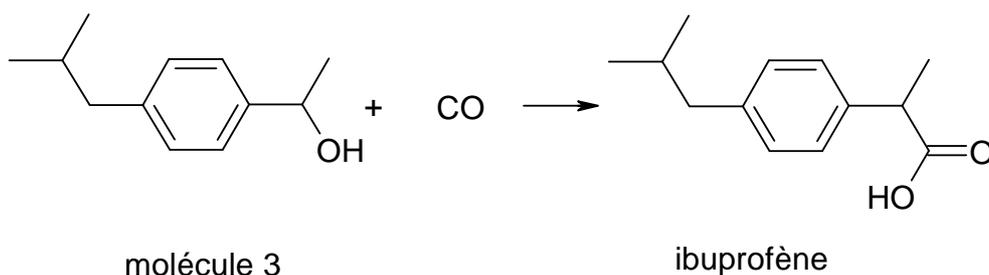


La formule brute de la molécule 2 est C<sub>12</sub>H<sub>16</sub>O.

### Étape 2



### Étape 3

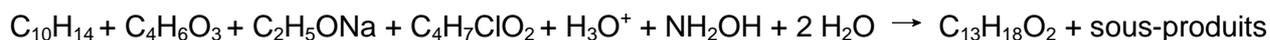


2.1.1. Déterminer la formule brute de la molécule 1.

2.1.2. La réaction de l'étape 2 est-elle une substitution, une addition ou une élimination ? Justifier votre réponse.

2.1.3. L'électronégativité du carbone est inférieure à celle de l'oxygène. Le carbone de la liaison C=O de la molécule 2 est-il un site donneur ou accepteur de doublet d'électrons ? Expliquer.

2.2. Calculer la valeur de l'utilisation atomique du procédé Boots mettant en jeu six étapes dont le bilan global est traduit par l'équation de réaction suivante :



**Données :** Masses molaires M

Espèce	H <sub>2</sub> O	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	NH <sub>2</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ONa
M(g.mol <sup>-1</sup> )	18,0	19,0	33,0	68,0

Espèce	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> ClO <sub>2</sub>	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>
M(g.mol <sup>-1</sup> )	102,0	122,5	134,0	206,0

2.3. Indiquer, en justifiant votre réponse, quel est le procédé de synthèse de l'ibuprofène répondant le mieux à la minimisation des déchets recherchée dans le cadre de la chimie verte.

### **Partie 3 : Dosage de l'ibuprofène dans un médicament**

L'étiquette d'un médicament classé dans la catégorie pharmaco-thérapeutique « anti-inflammatoire non stéroïdien » fournit les informations suivantes :

#### Composition

*Ibuprofène*.....400 mg

*Excipients : amidon de maïs, silice colloïdale anhydre, amidon pré-gélatinisé, acide stéarique.*

#### Forme pharmaceutique

*Comprimé enrobé (boîte de 30)*

Pour vérifier, la quantité d'ibuprofène contenu dans un comprimé, on procède à un titrage acido-basique selon le protocole suivant :

## Étape 1. Préparation de la solution aqueuse d'ibuprofène

On broie le comprimé contenant l'ibuprofène dans 20 mL d'éthanol. On filtre le mélange obtenu. Le filtrat, contenant l'ibuprofène, est ensuite dilué dans de l'eau afin d'obtenir  $V_S = 100$  mL de solution S. On admettra que cette solution S d'ibuprofène a le même comportement qu'une solution aqueuse.

## Étape 2. Titrage acido-basique

La totalité du volume  $V_S$  de solution S est dosé à l'aide d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+ + \text{HO}^-$ ) de concentration  $c_B = 1,50 \times 10^{-1}$  mol.L<sup>-1</sup>. L'indicateur coloré de fin de réaction est la phénolphtaléine.

L'équivalence est détectée pour 12,8 mL de solution d'hydroxyde de sodium.

### **Données :**

**Phénolphtaléine** : incolore pour  $\text{pH} < 8,2$  ; zone de virage pour  $\text{pH}$  compris entre 8,2 et 10 ; rose pour  $\text{pH} > 10$ .

<b>Substance</b>	<b>Solubilité dans l'eau</b>	<b>Solubilité dans l'éthanol</b>
ibuprofène noté RCOOH	très faible	importante
base conjuguée notée RCOO <sup>-</sup>	importante	
excipients	pratiquement nulle	pratiquement nulle
éthanol	forte	

**Écart relatif** entre une valeur expérimentale  $G_{\text{exp}}$  et une valeur attendue  $G_a$  d'une grandeur quelconque  $G$  : 
$$\left| \frac{G_{\text{exp}} - G_a}{G_a} \right|$$

- 3.1. Justifier l'usage de l'éthanol dans le protocole.
- 3.2. Écrire l'équation de la réaction support de dosage.
- 3.3. Comment repère-t-on expérimentalement l'équivalence lors du titrage ?
- 3.4. Déterminer la valeur de la masse d'ibuprofène dans un comprimé, déterminée par ce dosage.
- 3.5. Calculer l'écart relatif entre la masse mesurée et la masse annoncée par l'étiquette.

### Exercice III - Clarinettiste voyageur (5 points)

La clarinette est un instrument de musique à vent de la famille des bois. On peut légèrement modifier sa longueur en emboîtant plus au moins profondément les différents éléments la constituant.

#### Document 1

##### Description de la clarinette (source : wikipedia)



1 : bec et ligature ; 2 : anche et son étui ; 3 : barillet ;  
4 : corps du haut (main gauche) ; 5 : corps du bas (main droite) ; 6 : pavillon



#### Document 2

##### Fréquence d'accord

En France, les musiciens ont l'habitude de s'accorder sur la note « la » de fréquence 442 Hz. Aux États-Unis, l'accord se fait sur la note « la » de fréquence 440 Hz.

#### Document 3

##### Acoustique musicale

Un son pur est une vibration sonore sinusoïdale tandis qu'un son complexe est une vibration sonore périodique non sinusoïdale. Les instruments de musique produisent des ondes sonores complexes décomposables en une somme de sons sinusoïdaux. Un son complexe de fréquence  $f$  est la superposition d'un son sinusoïdal de même fréquence  $f$  (le fondamental) et de sons sinusoïdaux de fréquences multiples de  $f$  (les harmoniques).

## Document 4

### Modélisation d'une clarinette par un tuyau sonore

On peut modéliser une clarinette par une colonne d'air cylindrique, de longueur  $L$ , ouverte à une extrémité et fermée à l'autre. La vibration de l'anche engendre la vibration de l'air à l'intérieur de la clarinette selon les fréquences propres données par la relation :

$$f = (2n - 1) \frac{v}{4L}$$

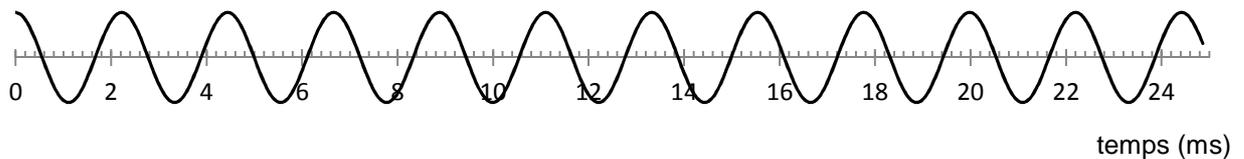
où  $L$  est la longueur en mètre de la colonne d'air,  $n$  un entier supérieur ou égal à 1 et  $v$  la célérité du son dans l'air :  $v = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  à  $20^\circ\text{C}$ .

La fréquence fondamentale correspond à  $n = 1$ .

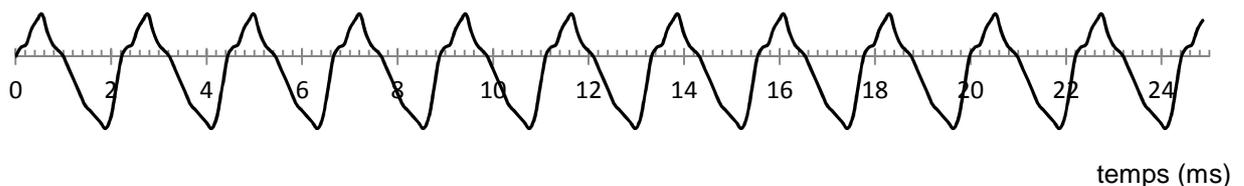
1. Florent est un clarinettiste qui souhaite savoir si son instrument est bien accordé. N'ayant pas d'accordeur à sa disposition, il décide de s'enregistrer et de traiter l'information avec un logiciel de traitement du son.

- 1.1. Parmi les deux **enregistrements a** et **b** ci-dessous, lequel correspond à celui de la clarinette de Florent. Justifier votre réponse.

Enregistrement a



Enregistrement b



- 1.2. La clarinette de Florent est-elle bien accordée pour jouer dans un orchestre français ?
2. Quelle est la longueur  $L$  de la colonne d'air mise en mouvement dans la clarinette lorsqu'elle est accordée pour la France ?
3. Florent se produit en concert aux États-Unis. Expliquer pourquoi et comment il doit modifier la géométrie de sa clarinette.
4. En attendant de prendre l'avion pour retourner en France, Florent lit un article sur « la physique de la clarinette ». Une phrase l'interpelle : « *La clarinette ne fournit que les harmoniques impairs* ».

Montrer que le modèle du tuyau sonore est en accord avec cette affirmation.

5. De retour en France, Florent emmène sa clarinette chez son luthier habituel pour effectuer un entretien. Dans la boutique, une nouvelle clarinette de fabrication française en matériau composite attire son attention. Le luthier lui explique les avantages de cette nouvelle technologie par rapport à une clarinette traditionnelle en ébène.

A l'aide des documents 5 à 9, faire une synthèse d'environ 15 lignes des différents arguments scientifiques (ou technologiques) et sociétaux que le luthier peut avancer.

#### **Document 5**

##### **Définition d'un matériau composite**

*Un matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles, mais ayant une forte capacité d'adhésion. Le nouveau matériau ainsi constitué possède des propriétés spécifiques que les éléments seuls ne possèdent pas. Cette technologie est le moyen d'améliorer sensiblement certaines caractéristiques (légèreté, rigidité à l'effort, etc) et par conséquent elle trouve de nombreuses applications dans différents secteurs industriels.*

#### **Document 6**

##### **Clarinette en matériau composite**

*Il existe des clarinettes réalisées en matériau composite d'ébène reconstitué, issu du bois recyclé de la production des clarinettes traditionnelles. Le matériau composite permet de conserver 100 % des propriétés acoustiques des instruments de musique traditionnels en ébène avec l'assurance d'une fiabilité et d'une longévité incontestable puisqu'il ne peut pas se fendre par choc climatique, véritable facteur d'angoisse chez les clarinettes.*

*Composition du matériau composite d'ébène reconstitué : 95 % de poudre d'ébène, 5 % de fibres de carbone et de résine époxy.*

#### **Document 7**

##### **L'ébène**

*L'ébène (nom féminin) est le nom donné au bois de cœur issu de plusieurs espèces d'arbres de la famille des Ebenaceae appartenant au genre Diospyros, appelés ébéniers, ainsi que certains arbres du genre Dalbergia. Ils se rencontrent dans les régions tropicales et sont connus depuis la plus haute Antiquité pour la couleur noire de leur bois.*

*Les caractéristiques principales de l'ébène sont sa couleur noire et sa densité élevée. C'est un bois travaillé en ébénisterie, sculpture, lutherie, marqueterie, coutellerie, et dans des jeux (échecs, dames...) sous forme de bois massif, en feuillets ou en placage scié.*

*L'ébène est également utilisée pour la conception d'instruments de musique tels la flûte à bec, la clarinette, le hautbois, la touche des instruments à cordes et certaines baguettes de tambour.*

## **Document 8**

### **Exploitation de l'ébène**

*Dans un lot de bois d'ébène, 50 % sont utilisés pour fabriquer les clarinettes professionnelles en ébène, 25 % pourront être utilisés pour fabriquer les clarinettes d'étude. Il y a approximativement 25 % de déchets.*

*L'exploitation de l'ébène africaine (Mozambique, Tanzanie....) devient de plus en plus problématique à cause de sa grande consommation. Aussi est-elle recherchée, vue sa rareté, dans des régions de plus en plus éloignées des centres, parfois difficilement accessibles et dont le terrain est quelquefois marécageux.*

*Notons qu'il est difficile de pourvoir au reboisement des forêts d'ébéniers (il ne s'agit pas de plantations) car l'arbre utilisé pour la fabrication des clarinettes doit avoir plus de cent ans d'âge. En 2005, 96% du bois exporté en provenance de la région du sud-est de la Tanzanie était abattu illégalement.*

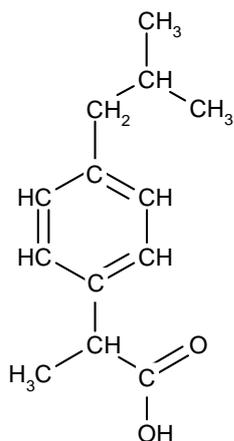
## **Document 9**

### **Dureté comparée**

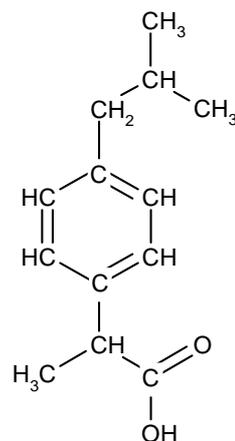
*La dureté Brinell est mesurée par la profondeur de l'empreinte laissée par une bille de 23 mm de diamètre, d'une masse de 1 kg, lâchée d'une hauteur de 50 cm. Ce test permet de mesurer la dureté du bois et sa résistance au poinçonnement. Plus l'indice est élevé, plus la dureté du bois est importante.*

*La dureté Brinell de l'ébène est 22,6 et celle du matériau composite d'ébène est 35,6.*

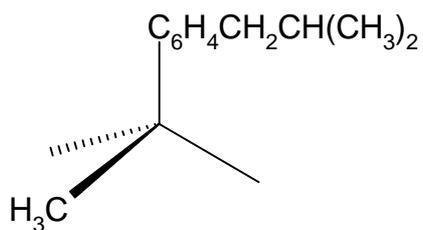
**Annexe de l'exercice II à rendre avec la copie**



**Figure 1** (question 1.1)



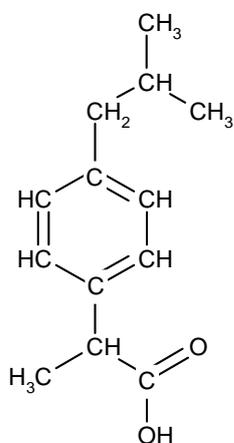
**Figure 2** (question 1.2.1)



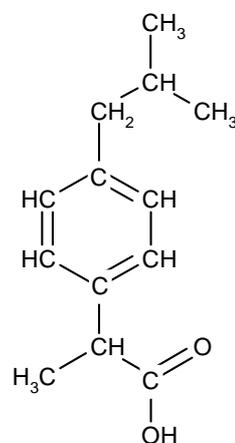
*Enantiomère 1*

*Enantiomère 2*

**Figure 3** (question 1.2.3)



**Figure 4** (question 1.3.2)



**Figure 5** (question 1.3.4)