

BACCALaurÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2015

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 12 pages numérotées de 1 à 12 y compris celle-ci.

La page d'annexe (page 12) 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 - LE SMARTPHONE, L'OUTIL MULTIMÉDIA (6 points)

De nos jours, le smartphone est devenu un outil multimédia de plus en plus apprécié. À lui seul, il combine toutes les fonctionnalités « high-tech » du moment : téléphone mobile, appareil photo, courriels, internet... Ses applications et sa compacité font de lui l'appareil multimédia le plus utilisé.

Le but de cet exercice est d'étudier le principe de fonctionnement du capteur de l'appareil photo intégré dans le smartphone, puis les caractéristiques de l'image numérique obtenue.

Données :

- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$;
- 1 octet = 8 bits.

1. Du capteur à l'image numérique

Du capteur à l'image en couleurs

Le capteur

La plupart des téléphones portables sont équipés d'un appareil photographique numérique doté d'un capteur de lumière. Ce capteur se présente sous forme d'un quadrillage de cellules photosensibles appelées photosites. Chaque photosite est constitué d'une photodiode à base de silicium, capable d'absorber les photons d'énergie supérieure à 1,14 eV.

Par effet photoélectrique, ces photons absorbés sont à l'origine d'un signal électrique proportionnel à la quantité de lumière reçue. Ce signal analogique est ensuite numérisé grâce à un convertisseur analogique numérique puis traité avant d'être stocké en mémoire.

L'image en noir et blanc

Si l'on utilisait directement les données fournies par le capteur, on obtiendrait une image en niveau de gris codé sur 8 bits qui s'étendrait du noir au blanc (le noir est associé à la valeur 0, tandis que le blanc est associé à la valeur 255 en décimal).

L'image en couleurs

Pour obtenir une image en couleurs, on place devant le capteur une matrice de Bayer (figure 1). Cette matrice est constituée d'une mosaïque de filtres colorés : rouge (R), vert (V), et bleu (B), les trois couleurs primaires de la synthèse additive. Avec cette matrice, chaque photosite est recouvert d'un filtre de couleur rouge, vert ou bleu selon la disposition donnée en figure 1. Ainsi pour chaque photosite, on code sur 8 bits l'intensité lumineuse associée à une seule des trois composantes RVB de la lumière, les deux autres étant ignorées (figure 2).

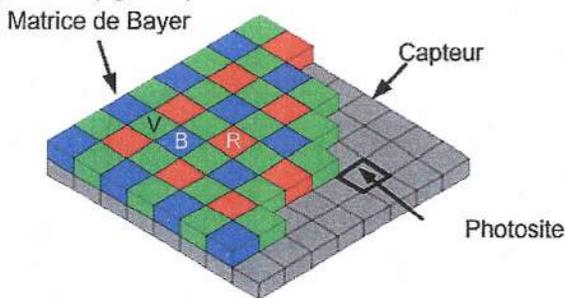


Figure 1. La matrice de Bayer

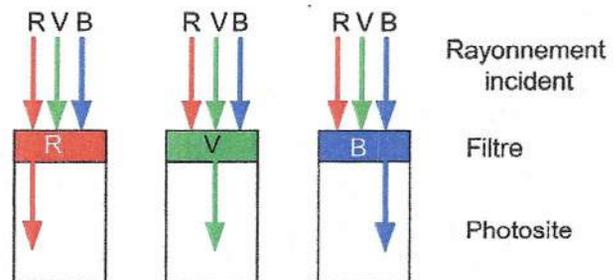


Figure 2. Caractéristiques des filtres R, V, B

Afin de reconstituer l'image en couleurs, on associe à chaque photosite un pixel auquel on attribue un codage RVB constitué de trois octets (un octet pour chaque composante de couleurs). Pour chaque pixel, on doit donc retrouver l'information sur les deux couleurs manquantes (par exemple, rouge et vert pour un pixel bleu) en faisant la moyenne des valeurs correspondant à chaque couleur manquante sur les pixels voisins (figure 3). Au final la couleur associée à un pixel sera le résultat de la synthèse additive des trois couleurs.

R 253	V 25	R 198
V 62	B 209	V 45
R 243	V 32	R 234

Exemple : pour le pixel central (bleu),

- la valeur de codage correspondant au rouge est obtenue par la moyenne des 4 pixels rouges voisins ;
- la valeur de codage correspondant au vert est obtenue par la moyenne des 4 pixels verts voisins ;
- la valeur de codage correspondant au bleu est donnée par la valeur du pixel central.

Figure 3. Principe de codage en RVB pour une matrice de 9 pixels

Photographie numérique d'une télécommande délivrant un rayonnement infrarouge

Lorsqu'on actionne une des touches d'une télécommande (pour la télévision par exemple), celle-ci délivre un signal lumineux de longueur d'onde proche de $1 \mu\text{m}$. Les images ci-dessous montrent les photographies d'une télécommande prises avec un smartphone.

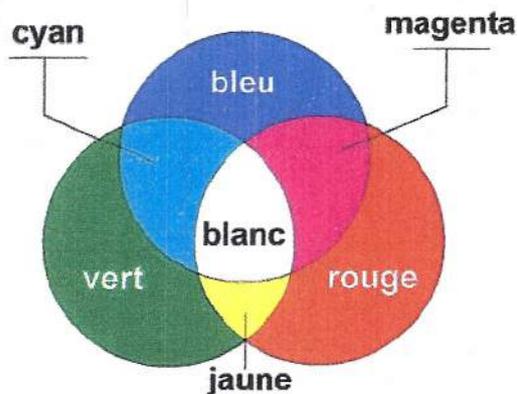


Aucune touche de la télécommande n'est actionnée



On actionne une touche de la télécommande

Principe de la synthèse additive

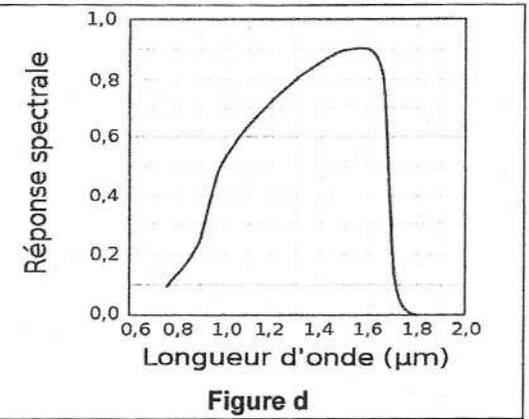
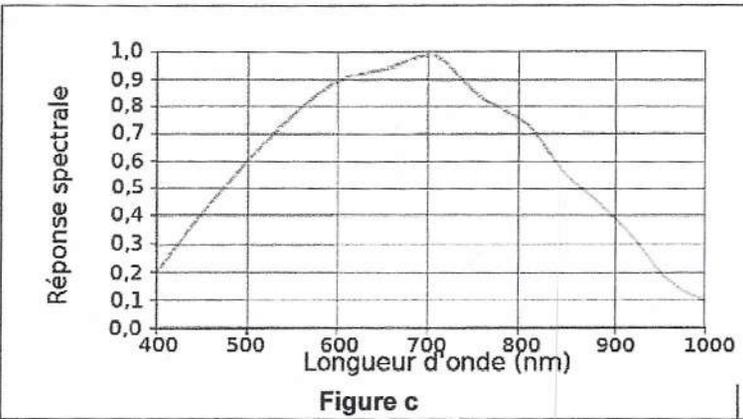
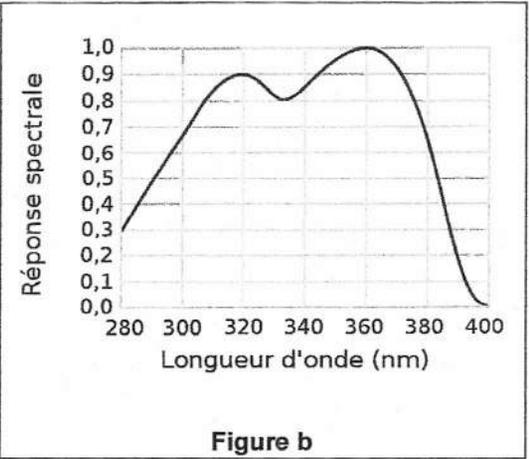
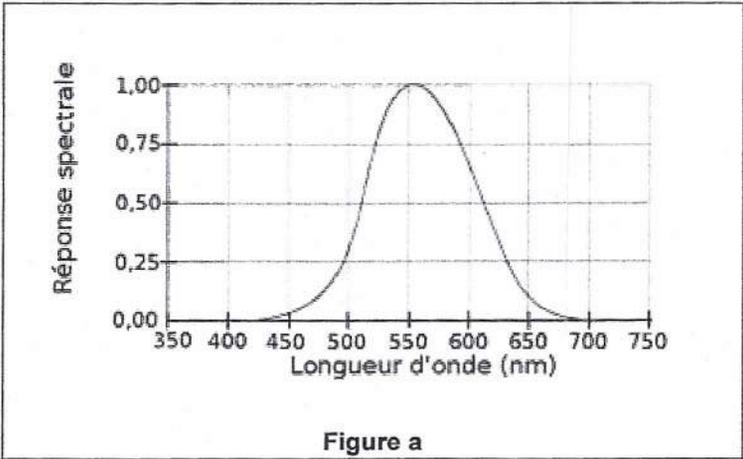


1.1. Le schéma en ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE représente la chaîne de conversion du rayonnement incident filtré en un signal numérique dans l'appareil photo numérique. Compléter ce schéma en choisissant les termes pertinents dans la liste de mots suivante :

Filtre – Matrice de Bayer – Signal analogique – Convertisseur analogique-numérique – Photosite – Photons.

1.2. Déterminer la valeur maximale de la longueur d'onde dans le vide de l'onde détectée par le capteur. À quel domaine spectral appartient cette radiation ?

1.3. Les courbes ci-dessous représentent la réponse spectrale de quatre photodétecteurs. Identifier celle associée au capteur de l'appareil photo d'un smartphone. Justifier votre réponse.



1.4. Déterminer la couleur affichée par le pixel central de la figure 3. Justifier votre réponse.

2. Résolution d'une image numérique

Caractéristiques d'une image numérique

Une image numérique se présente sous la forme d'un quadrillage dont chaque case est un pixel de forme carrée (figure 4). Une image numérique est caractérisée par :

- ses dimensions données par sa largeur ℓ et sa hauteur h ;
- sa définition, indiquant le nombre total de pixels qui composent l'image ;
- sa résolution, égale au nombre de pixels par unité de longueur.

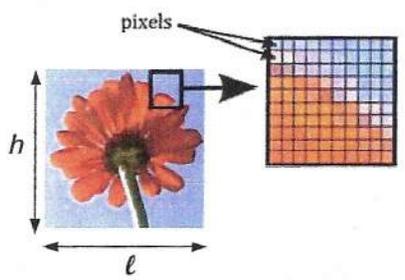


Figure 4. Une image numérique de dimensions $\ell \times h$

Une image est dite de « qualité photo » lorsque la taille des pixels est suffisamment petite pour que l'œil ne perçoive pas le damier de pixellisation.

Extrait d'un manuel d'utilisateur d'un smartphone

« Faites votre choix entre plusieurs définitions d'image avant de prendre une photo. Une photo avec une définition élevée nécessite plus de mémoire. »

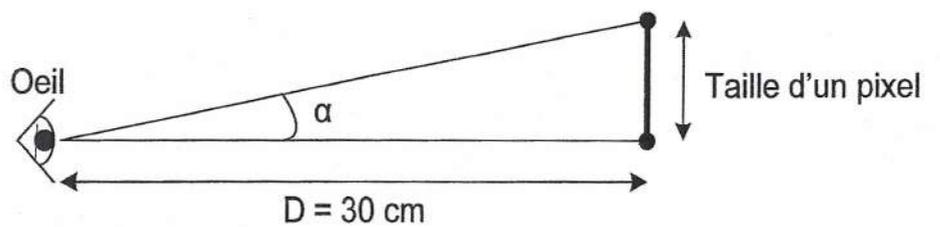
3264 × 2448 pixels (8 Mpixels)
2560 × 1920 pixels (5 Mpixels)
2048 × 1536 pixels (3 Mpixels)
1600 × 1200 pixels (2 Mpixels)
1280 × 960 pixels (1,2 Mpixels)
640 × 480 pixels (0,3 Mpixels)

Remarque : le premier nombre correspond au nombre de pixels en largeur, le deuxième nombre correspond au nombre de pixels en hauteur.

2.1. Une photo prise avec une définition de 8 Mpixels a un poids de 1,3 Mo. En déduire le nombre de photos de ce type que l'on peut stocker sur une carte mémoire de 16 Go.

On considère qu'un œil peut distinguer deux points séparés lorsque les rayons lumineux issus de ces deux points arrivent dans l'œil avec un angle supérieur à $3,0 \times 10^{-4}$ rad.

Dans le cas contraire, l'œil ne distinguera pas ces deux points qui paraîtront confondus.



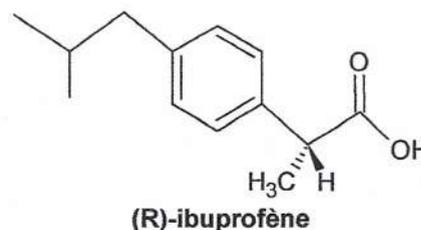
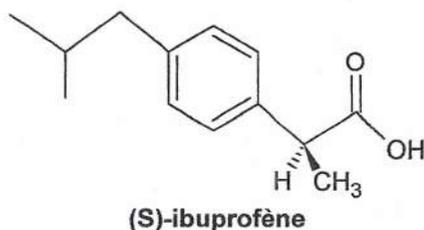
On souhaite prendre une photo destinée à être imprimée en « qualité photo » dont les dimensions en largeur et hauteur sont $15 \text{ cm} \times 11,5 \text{ cm}$. La photo est destinée à être observée à une distance de 30 cm.

2.2. Quelle définition choisir pour que l'image ait la « qualité photo » et qu'elle occupe le moins de place mémoire possible ?

EXERCICE II - SÉPARER LES ÉNANTIOMÈRES DE L'IBUPROFÈNE (9 points)

L'ibuprofène® est un anti-inflammatoire non stéroïdien. Il possède des propriétés antalgiques, antipyrétiques, anti-inflammatoires.

On vend sous l'appellation ibuprofène® un produit de synthèse, correspondant au mélange équimolaire de (S)-ibuprofène et de (R)-ibuprofène, ces deux molécules étant énantiomères ; ce mélange est donc qualifié de racémique. Or seul le (S)-ibuprofène est responsable de l'effet clinique (160 fois plus efficace que le (R)-ibuprofène in vitro). De plus, pris seul, le (S)-ibuprofène agit plus rapidement et diminue les effets secondaires par rapport à la prise du mélange racémique. Vendre dorénavant des médicaments énantiomériquement purs, plutôt que des mélanges racémiques, est une tendance forte de l'industrie pharmaceutique.



Le but de cet exercice est d'analyser une méthode permettant de réaliser la séparation du (S)-ibuprofène du (R)-ibuprofène. La qualité de cette séparation est évaluée à l'aide d'une grandeur appelée excès énantiomérique.

L'excès énantiomérique

Soit un mélange contenant 2 énantiomères notés R et S. L'excès énantiomérique du mélange, noté ee et exprimé en %, est donné par la relation :

$$ee = \frac{|n_R - n_S|}{n_R + n_S} \times 100$$

où n_R et n_S sont respectivement les quantités de matière des énantiomères R et S.

1. Mélange racémique présent dans l'ibuprofène®

1.1. Justifier que les molécules (S)-ibuprofène et (R)-ibuprofène sont des énantiomères.

1.2. Indiquer la valeur de l'excès énantiomérique ee de l'ibuprofène®.

1.3. Quelle devrait être la valeur de l'excès énantiomérique ee pour un médicament énantiomériquement pur ?

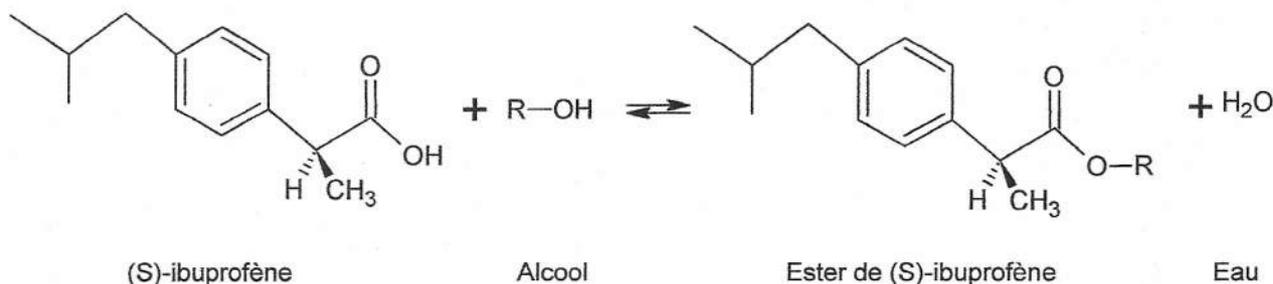
1.4. Citer deux techniques de séparation classiques en chimie. Indiquer pour quelles raisons ces techniques ne permettent pas de séparer le (S)-ibuprofène du (R)-ibuprofène d'un mélange.

2. Étude d'une stratégie de séparation du (S)-ibuprofène et du (R)-ibuprofène

Réaction d'estérification de l'ibuprofène

Les deux énantiomères de l'ibuprofène peuvent réagir avec un alcool R-OH pour donner un ester et de l'eau. Cette réaction chimique, appelée réaction d'estérification, est extrêmement lente et limitée à température ambiante.

La présence dans le mélange réactionnel d'une enzyme, la *Candida Rugosa Lipase*, notée CRL7, permet de diminuer la durée de la réaction d'estérification du (S)-ibuprofène seulement. L'équation de la réaction d'estérification est la suivante :



L'estérification du (R)-ibuprofène reste très lente, au point que l'on peut considérer qu'il ne se forme pas d'ester du (R)-ibuprofène, même au bout de 12 h.

Pour séparer les deux énantiomères, on met en œuvre le protocole décrit ci-après :

Protocole de séparation des énantiomères de l'ibuprofène

Étape 1 : on laisse réagir pendant 12 h et sous agitation un mélange réactionnel contenant :

- 5,0 mL de solvant ;
- 0,100 mmol d'ibuprofène® ;
- 1,00 mmol d'alcool ;
- 0,1 g de CRL7 introduit à l'instant $t = 0$.

Étape 2 : au bout de 12 h, on réalise une analyse du mélange réactionnel par une technique adaptée afin de déterminer la quantité de matière de (R)-ibuprofène et celle de (S)-ibuprofène restantes dans le mélange réactionnel.

Étape 3 : la quantité d'ester de (S)-ibuprofène produite après 12 h de réaction est extraite du mélange réactionnel par distillation.

Étape 4 : l'ester de (S)-ibuprofène récupéré est transformé intégralement en (S)-ibuprofène par hydrolyse, réaction inverse de l'estérification.

2.1. Recopier la formule du (S)-ibuprofène, entourer le(s) groupe(s) caractéristique(s) présent(s) et nommer la(es) famille(s) chimique(s) correspondante(s).

2.2. Y a-t-il lors de la réaction d'estérification précédente, modification de chaîne ou de groupe caractéristique ? Justifier.

2.3. Pourquoi l'enzyme CRL7 n'apparaît-elle pas dans l'équation de la réaction d'estérification ?

Le protocole de séparation est réalisé à une température $\theta = 50^\circ\text{C}$, en utilisant pour alcool le méthanol et pour solvant l'isooctane. L'analyse réalisée lors de l'étape 2 indique qu'au bout de 12 h, le mélange réactionnel contient le (R)-ibuprofène et 0,012 mmol de (S)-ibuprofène.

2.4. Dans ces conditions, calculer la valeur de l'excès énantiomérique ee du mélange réactionnel à l'instant $t = 12$ h.

2.5. Déterminer la quantité de matière de (S)-ibuprofène qu'on peut récupérer par hydrolyse de l'ester de (S)-ibuprofène extrait à l'étape 3 ?

2.6. Quelle serait la valeur de l'excès énantiomérique ee du mélange réactionnel si la réaction d'estérification était totale ?

3. Optimisation des conditions expérimentales de séparation des énantiomères de l'ibuprofène

Afin d'améliorer la séparation des énantiomères de l'ibuprofène, une équipe de chercheurs a étudié l'influence de différents paramètres sur la réaction d'estérification de l'ibuprofène du protocole de séparation. Ces résultats sont présentés ci-après.

Influence des conditions expérimentales de l'estérification sur l'excès énantiomérique *ee*

Pour chacune des expériences de l'équipe de chercheurs, la réaction d'estérification de l'ibuprofène a été réalisée à une température θ en utilisant 5,0 mL de solvant, 0,100 mmol d'un mélange racémique d'ibuprofène, une quantité de matière notée n d'alcool et 100 mg de CRL7.

L'excès énantiomérique *ee* est mesuré au bout de 12 h. Les résultats des différentes séries de mesures de l'excès énantiomérique *ee* réalisées sont donnés ci-après.

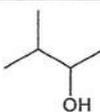
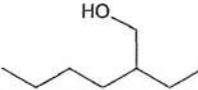
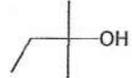
Série de mesures n°1

Mesures réalisées pour $\theta = 50^\circ\text{C}$ et $n = 1,00$ mmol de 2-éthylhexan-1-ol.

Solvants organiques utilisés	Formule brute	Formule topologique	<i>ee</i> (%)
Hexane	C ₆ H ₁₄		43
Octane	C ₈ H ₁₈		44
Isooctane (2,2,4-triméthylpentane)	C ₈ H ₁₈		94

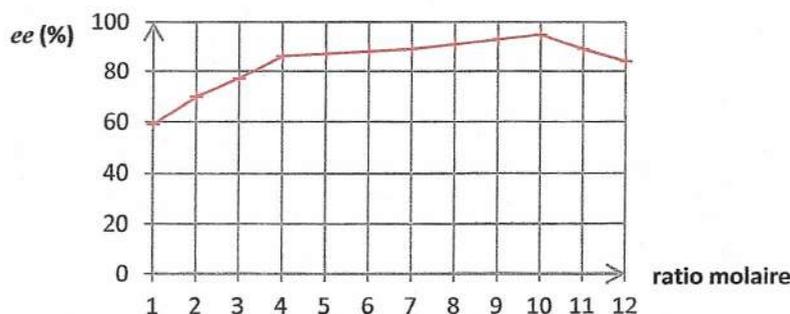
Série de mesures n°2

Mesures réalisées pour $\theta = 50^\circ\text{C}$, $n = 1,00$ mmol d'alcool et le solvant isooctane.

Alcool R – OH usuels	Formule brute	Masse volumique (en g.mL ⁻¹)	Formule topologique	<i>ee</i> (%)
Pentan-1-ol	C ₅ H ₁₂ O	0,814		65
Isoamylol	C ₅ H ₁₂ O	0,815		88
Isooctanol 2-éthylhexan-1-ol	C ₈ H ₁₈ O	0,832		94
Tert-amyl alcool 2-méthylbutan-2-ol	C ₅ H ₁₂ O	0,810		0

Série de mesures n°3

Mesures réalisées pour $\theta = 50^\circ\text{C}$ en utilisant le 2-éthylhexan-1-ol et le solvant isooctane.

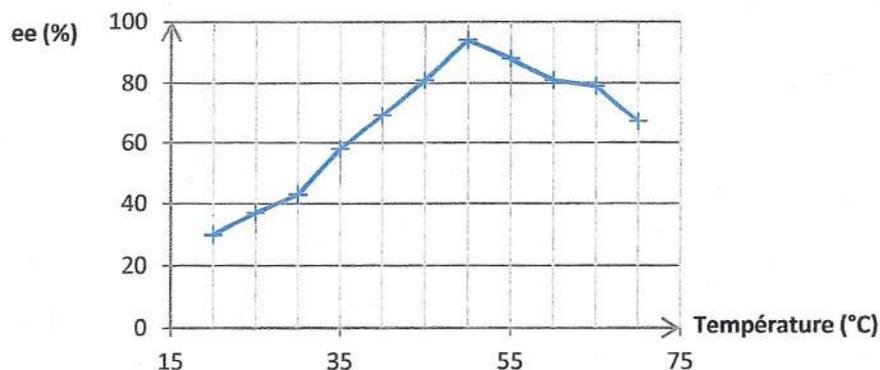


Excès énantiomérique *ee* en fonction du ratio molaire

Le ratio molaire est le rapport entre les quantités de matière initiales d'alcool et d'ibuprofène.

Série de mesures n°4

Mesures réalisées en utilisant $n = 1,00$ mmol de 2-éthylhexan-1-ol et le solvant isooctane.



Excès énantiomérique ee en fonction de la température

D'après The Scientific World Journal, volume 2013, article ID 364730

Données :

Un alcool R – OH est dit :

- alcool primaire si le carbone portant le groupement hydroxyle n'est lié qu'à un unique autre atome de carbone ;
- alcool secondaire si le carbone portant le groupement hydroxyle est lié à deux autres atomes de carbone ;
- alcool tertiaire si le carbone portant le groupement hydroxyle est lié à trois autres atomes de carbone.

Masses molaires atomiques en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: $M(\text{H}) = 1,0$; $M(\text{C}) = 12,0$; $M(\text{O}) = 16,0$.

3.1. Donner la formule topologique de l'isooctane et le nom de l'isoamylol en nomenclature officielle.

3.2. Pour chaque série de mesures, formuler une hypothèse que la série permet de tester.

3.3. Quelle classe d'alcool semble être à exclure pour réaliser la séparation des énantiomères de l'ibuprofène ? Comment pourrait-on conforter ce résultat ?

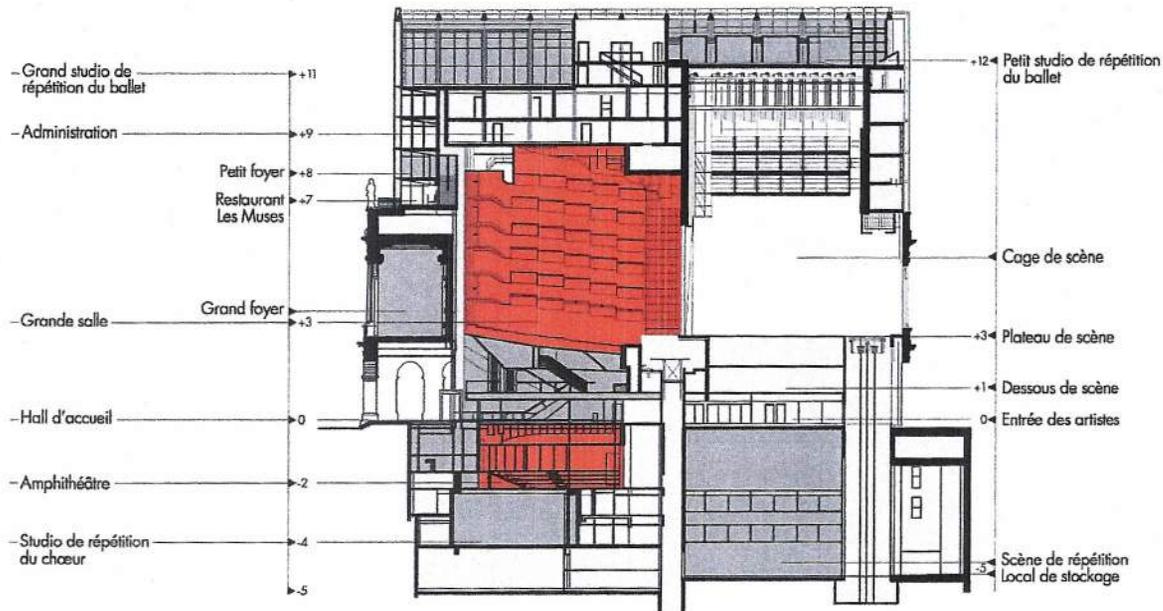
On admettra que l'ester de (S)-ibuprofène peut toujours être séparé du mélange réactionnel.

3.4. À partir des résultats de l'équipe de chercheurs, préciser quelles pourraient être les conditions expérimentales les plus favorables pour séparer les énantiomères de l'ibuprofène selon le protocole de séparation.

3.5. Quel volume de l'alcool choisi à la question 3.4. faut-il prélever pour réaliser la séparation des énantiomères de l'ibuprofène dans les conditions du protocole qui a été précisé ?

EXERCICE III - ACOUSTIQUE D'UNE SALLE DE REPETITION DE L'OPERA DE LYON (5 points)

Extrait de la plaquette de présentation de l'Opéra de Lyon



Studio de répétition du cœur

Hauteur : 5,30 m
Largeur moyenne : 10,60 m
Profondeur : 12,40 m

Studio de répétition du chœur

Situé au niveau -4, ce studio permet aux chanteurs du chœur de préparer musicalement les partitions d'opéra avant leur participation aux répétitions de mise en scène. Un traitement acoustique absorbant revêt les murs et le plafond, permettant aux chanteurs de chanter à pleine voix, comme s'ils étaient dans le même volume que celui de la grande salle.

Temps de réverbération et formule de Sabine

L'une des formules les plus utiles de l'acoustique date de 1898 et fut établie Wallace Clément Sabine (1868-1919) considéré comme le père fondateur de l'acoustique architecturale. À l'époque, il est professeur de physique à l'université de Harvard et il avait observé lors de ses recherches que le son dans une pièce fermée se prolongeait après arrêt de l'émission sonore et que cela pouvait nuire à la bonne intelligibilité du message à diffuser. Ce sont les multiples réflexions dans la pièce qui prolongent la persistance du son, phénomène plus généralement nommé réverbération.

La formule de Sabine donne le temps de réverbération TR qui correspond à la durée nécessaire en seconde, pour que l'intensité (suffisamment grande) d'un son émis dans une pièce décroisse de 60 dB après extinction de la source (cette valeur numérique équivaut à une impression de disparition du son) :

$$TR = \frac{k V}{A} \quad \text{avec} \quad k = 0,16 \text{ s.m}^{-1}$$

V : volume de la pièce en m^3
 A : aire d'absorption équivalente en m^2

L'aire d'absorption équivalente A d'une pièce est définie par :

$$A = \sum S_i \alpha_i \quad \text{avec} \quad S_i : \text{surface d'une paroi de la pièce considérée en } \text{m}^2$$

α_i : coefficient d'absorption de la paroi (sans unité)

Mesures de temps de réverbération dans la grande salle de l'Opéra de Lyon pour différentes fréquences :

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000
Temps de réverbération (s)	1,07	1,02	0,91	0,84	0,72

D'après : diagnostic de l'amphithéâtre de l'Opéra de Lyon

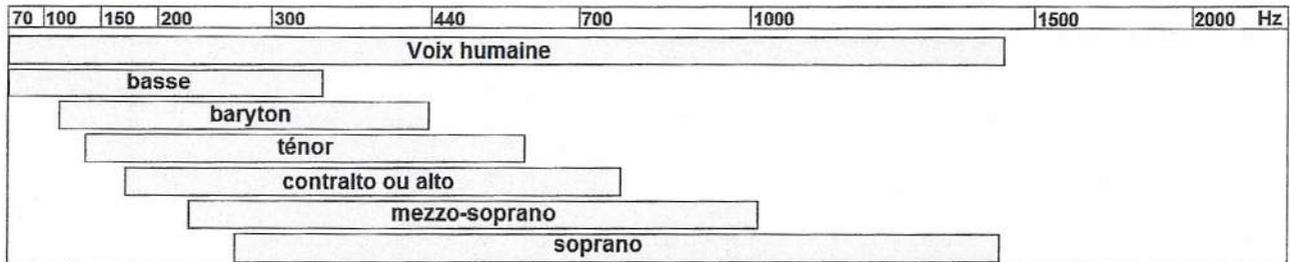
Coefficient d'absorption α_i de quelques matériaux pour différentes fréquences :

	α_i					usage
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	
Parquet lamé	0,02	0,03	0,08	0,12	0,11	Sol
Plâtre	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	Murs ou plafond
Aggloméré de liège	0,15	0,26	0,22	0,22	0,20	
Fibres de bois compressées 20 mm	0,15	0,44	0,44	0,44	0,53	
Tissu tendu sur molleton	0,10	0,38	0,42	0,85	0,82	
Contreplaqué 5 mm à 25 mm du mur	0,07	0,12	0,28	0,11	0,08	
Verre 3,5 mm	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	

D'après : www.acouphile.fr/materiaux.html

Tessiture de la voix humaine

La tessiture est l'ensemble des notes qui peuvent être émises par une voix de façon homogène (même qualité de timbre et d'harmoniques). Ces tessitures sont nommées « basse », « baryton », « ténor », etc. selon le domaine de fréquences couvert par le chanteur ou la chanteuse. On pourra se référer au schéma ci-dessous.



Problème

Le sol de la salle de répétition du chœur est en parquet lamé.

Quel(s) matériau(x) peut-on choisir, pour habiller les murs et le plafond, si l'on souhaite un temps de réverbération le plus proche possible de celui de la grande salle ? Le même matériau sera choisi pour recouvrir les murs et le plafond.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

ANNEXE DE L'EXERCICE I

1. Du capteur à l'image numérique

Question 1.1

