

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2020

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 h 30
Coefficient : 8

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.*

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

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

EXERCICE 1 : UN ESTER UTILISÉ EN PARFUMERIE (4 points)

Le valérate d'éthyle est présent dans le miel et de nombreux fruits. Cet ester à odeur fruitée est utilisé comme arôme dans l'industrie alimentaire et en parfumerie. Cet ester peut être synthétisé au laboratoire ou dans l'industrie.

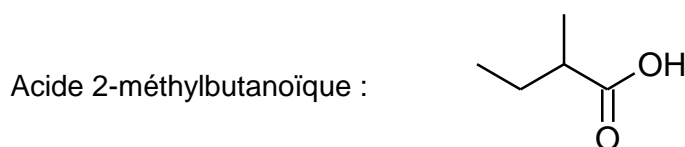
La synthèse du valérate d'éthyle au laboratoire nécessite de l'acide valérique et de l'éthanol.

L'objectif de cet exercice est, d'une part, l'identification du flacon d'acide valérique et l'étude de quelques propriétés de ce composé et, d'autre part, l'étude du protocole de sa synthèse.

1. Identification et propriétés des acides contenus dans deux flacons

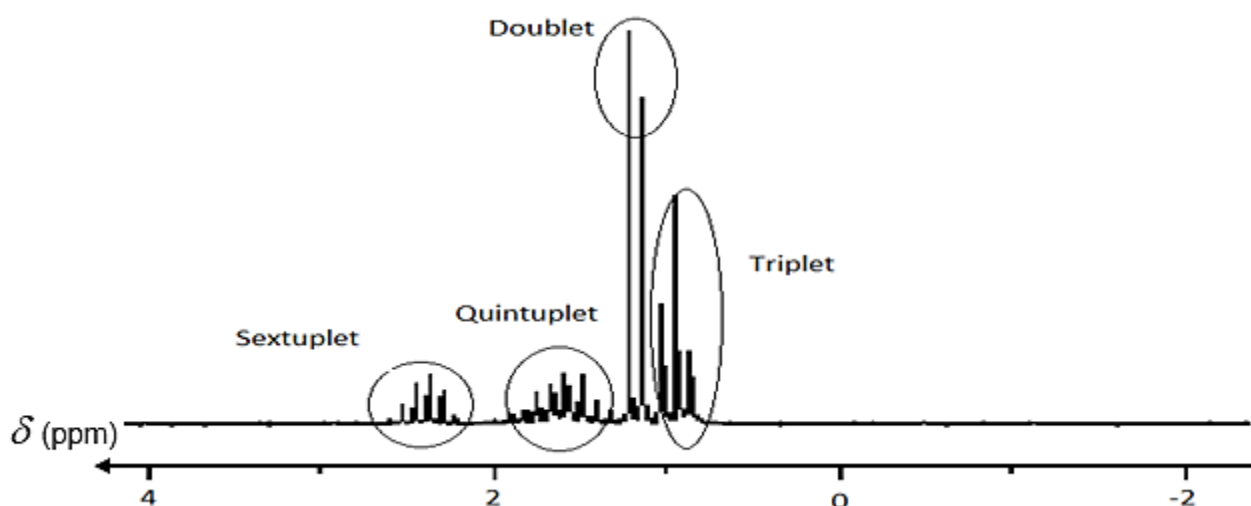
Au laboratoire de chimie, on trouve deux flacons A et B dont les étiquettes ont été partiellement effacées et contenant chacun un acide dont les noms et les formules topologiques sont donnés ci-après.

Il s'agit de retrouver le nom de l'acide contenu dans chaque flacon.



Pour cela, on réalise les spectres de RMN du proton des solutions contenues dans les flacons A et B. Ils sont reproduits ci-après.

Le signal du proton du groupe $-COOH$ a un déplacement chimique voisin de 12 ppm et n'est pas représenté sur les spectres.



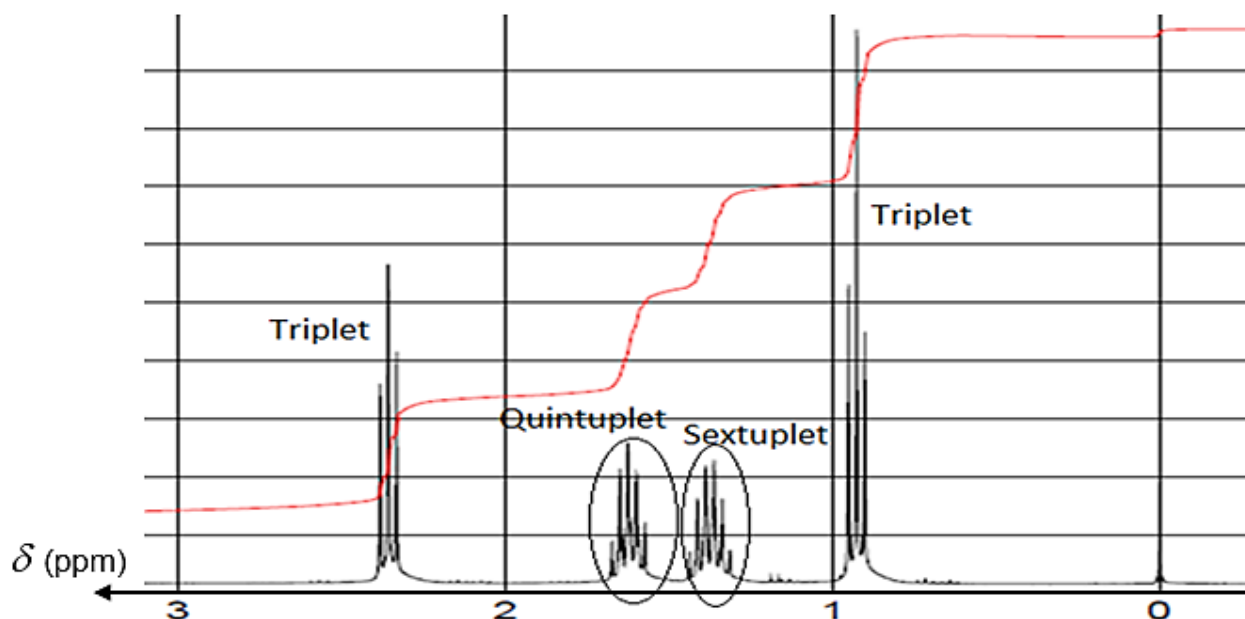


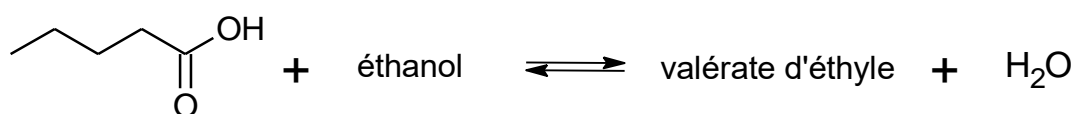
Figure 2 : spectre RMN – flacon B.

- 1.1. Écrire les formules semi-développées de l'acide valérique et de l'acide 2-méthylbutanoïque. Donner le nom de l'acide valérique en nomenclature systématique.
- 1.2. Ces acides possèdent-ils des carbones asymétriques ? Justifier votre réponse. Dans le cas où ils existent, dessiner en représentation de Cram les deux énantiomères de ces acides.
- 1.3. Indiquer dans quel flacon se trouve l'acide valérique. Justifier précisément votre réponse.

2. Synthèse du valérate d'éthyle

La synthèse du valérate d'éthyle a été réalisée. Un compte rendu a été rédigé dans le cahier de laboratoire dont un extrait figure ci-après :

Équation chimique de la synthèse :



Protocole de la synthèse de l'ester à odeur fruitée :

- dans un ballon, introduire un mélange équimolaire d'acide valérique et d'éthanol. Ajouter 15 gouttes d'acide sulfurique concentré ;
- chauffer à reflux ce mélange pendant 30 minutes ;
- laisser refroidir, puis introduire le contenu du ballon dans une ampoule à décanter contenant 200 mL d'eau salée froide ;
- agiter et laisser décanter quelques heures ;
- récupérer la phase organique contenant l'ester dans une éprouvette graduée.

Résultats expérimentaux :

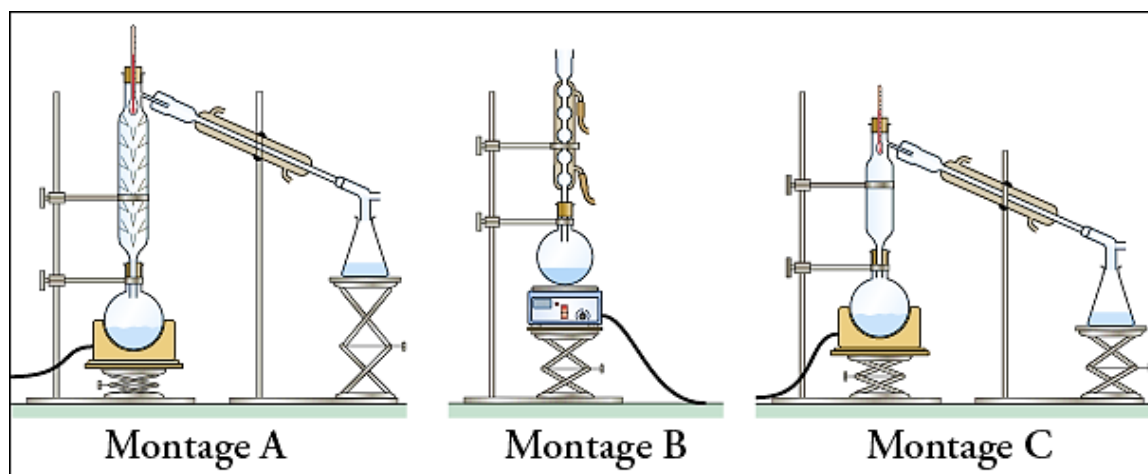
- volume d'ester obtenu expérimentalement : $V_{ester} = 22 \text{ mL}$;
- masse d'ester obtenu expérimentalement : $m_{ester,exp} = 19,36 \text{ g}$;
- rendement : $R = 87 \%$.

Données physico-chimiques des espèces mises en jeu :

- Masse volumique de l'eau salée utilisée : $1,1 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

	Acide valérique	Éthanol	Valérate d'éthyle
État physique à 20 °C	Liquide	Liquide	Liquide
Masse molaire en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	102	46	130
Masse volumique en $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	0,934	0,789	0,877
Solubilité dans l'eau salée	Grande	Grande	Faible

- 2.1. Compléter l'équation chimique de la synthèse, avec les formules topologiques manquantes.
- 2.2. Expliquer les rôles du chauffage à reflux puis identifier parmi les montages suivants celui utilisé pour réaliser la synthèse.



- 2.3. Schématiser et légenter l'ampoule à décanter à la fin de la phase de décantation. Identifier, en justifiant, les positions relatives des deux phases.
- 2.4. À partir de la valeur du rendement R , déterminer la quantité de matière d'ester qui aurait dû se former, si la synthèse avait été totale.
- 2.5. Montrer que le volume d'éthanol nécessaire à la synthèse est $V_{ethanol} = 10 \text{ mL}$ et déterminer la masse d'acide valérique m_{acide} utilisée pour cette synthèse.
- 2.6. Comment peut-on vérifier que le produit obtenu à l'issue de la synthèse est bien le valérate d'éthyle ?

EXERCICE 2 : LA PHYSIQUE AU SERVICE DE LA MÉDECINE (11 points)

Échographie, radiographie, scanner ou IRM sont devenus des outils d'investigation médicale incontournables, grâce à de nombreux dispositifs de haute technologie qui reposent sur des principes de physique.

1. L'échographie

L'échographie, technique d'imagerie employant des ultrasons, est utilisée de façon courante en médecine humaine pour détecter, entre autres, la présence de calculs rénaux ou biliaires. Les calculs biliaires sont des dépôts solides (essentiellement des cristaux de cholestérol) qui se forment dans la vésicule (organe mou).

Les sondes utilisées pour l'échographie fonctionnent en émission et en réception d'ondes ultrasonores de fréquences comprises entre 1 et 15 MHz.

Lorsque les ondes ultrasonores émises rencontrent un calcul biliaire, elles sont en partie absorbées par les éléments qui composent le calcul biliaire et en partie réfléchies vers la sonde. L'écho qui en résulte est enregistré et donne des informations sur la position et la masse volumique des tissus rencontrés.

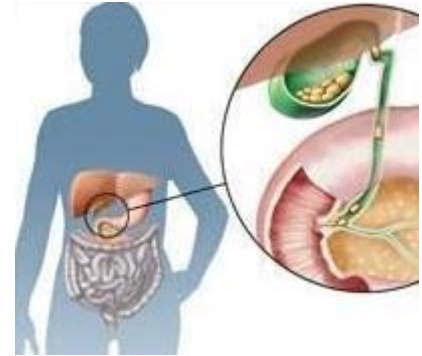


Figure 1 : calculs biliaires.
D'après *passportsante.net*

Données :

- Célérités des ultrasons dans différents milieux :

Milieu	Air	Eau	Tissu	Vésicule	Calcul biliaire
Célérité des ultrasons en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ à 25 °C	$3,46 \times 10^2$	$1,48 \times 10^3$	$1,40 \times 10^3$	$1,50 \times 10^3$	$1,54 \times 10^3$

- Intensité sonore de référence $I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

1.1. Donner une caractéristique d'une onde ultrasonore.

1.2. Comparer les valeurs de la célérité des ultrasons dans le calcul biliaire et dans l'air. Proposer une explication de cette différence.

1.3. Lors d'un examen médical, on réalise l'échographie de la vésicule d'un patient ; celle-ci, schématisée ci-dessous, fait apparaître un calcul biliaire (figure 2). Lors de cette échographie, une salve ultrasonore est émise par l'émetteur de la sonde à la date $t = 0 \mu\text{s}$ au point O.

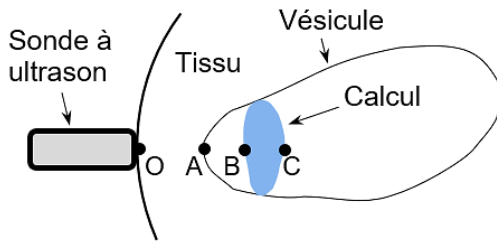


Figure 2 : schéma de l'échographie de la vésicule.

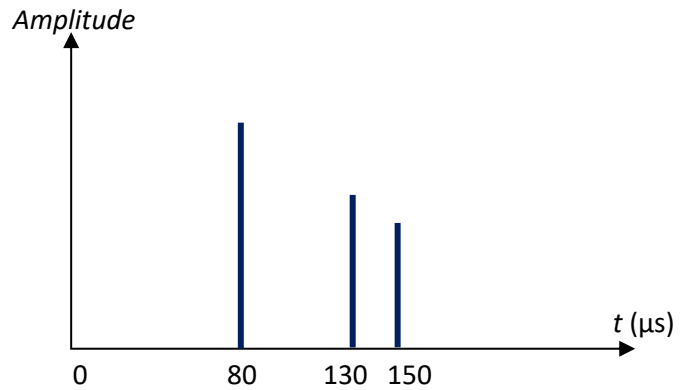


Figure 3 : enregistrement des signaux reçus par la sonde à ultrasons lors de l'échographie de la vésicule.

1.3.1. Expliquer l'origine des trois signaux présents sur cet enregistrement.

1.3.2. Déterminer une des dimensions du calcul biliaire accessible par cet examen.

1.4. L'onde émise par la sonde possède une intensité sonore $I = 1 \times 10^{-2} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

L'atténuation α de l'onde reçue par la sonde dépend de la distance totale qu'elle parcourt dans le milieu et de sa fréquence. On considère dans ce cas que $\alpha = 1 \text{ dB}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{MHz}^{-1}$.

1.4.1. Montrer que la valeur du niveau d'intensité sonore L de l'onde ultrasonore émise par la sonde est égale à 100 dB.

1.4.2. La vésicule étudiée se trouve à environ 5 cm sous la peau. Montrer par un calcul pourquoi il est plus judicieux d'utiliser un émetteur à ultrasons de fréquence $f_1 = 5,0 \text{ MHz}$ plutôt que $f_2 = 10 \text{ MHz}$.

1.4.3. Calculer la valeur de la longueur d'onde λ_1 de l'onde ultrasonore dans la vésicule pour une fréquence utilisée $f_1 = 5,0 \text{ MHz}$.

1.4.4. La taille des détails qu'on souhaite visualiser, appelée « résolution spatiale », doit être du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de l'onde ultrasonore émise par la sonde. L'échographie de la thyroïde, organe beaucoup plus petit que la vésicule et placé à environ 2 cm sous la peau, se fait de préférence avec une sonde émettant un signal de 10 MHz plutôt que 5,0 MHz. Expliquer ce choix sachant que la résolution spatiale souhaitée est de 0,2 mm pour cet organe.

2. La radiographie aux rayons X

Le tube à rayon X est constitué d'une cathode et d'une anode entourées par des enveloppes de protection.

L'extrémité de la cathode est constituée d'un filament de tungstène qui libère des électrons lorsqu'il est traversé par un fort courant électrique.

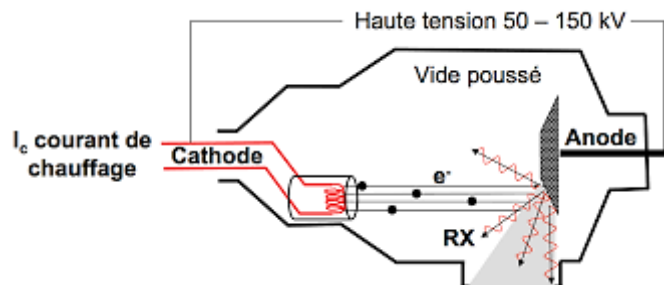


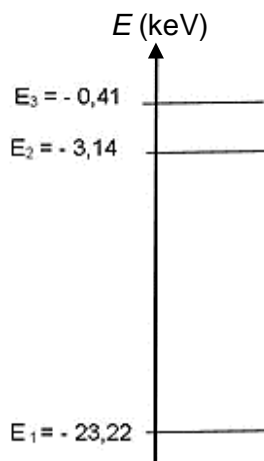
Figure 4 : schéma d'un tube à rayon X.

Ces électrons, accélérés par une forte tension électrique, se déplacent vers l'anode, plaque métallique en rhodium. Certains atomes de

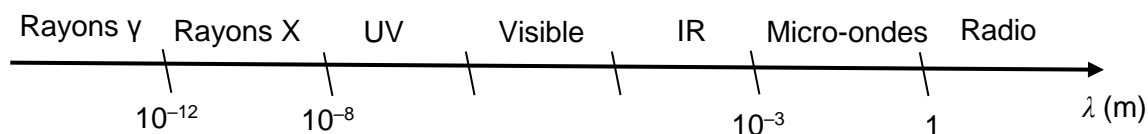
rhodium de cette plaque sont alors excités puis regagnent leur état fondamental tout en libérant un photon associé à un rayonnement X (noté RX, la figure 4 représentant le schéma de fonctionnement d'un tube à rayon X).

Données :

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s.
- La valeur de la vitesse de la lumière c dans le vide est supposée connue du candidat.
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J.
- $1 \text{ pm} = 10^{-12}$ m.
- Le noyau de l'atome de rhodium a pour symbole : ${}^{103}_{45}\text{Rh}$.
- Diagramme simplifié des niveaux d'énergie (en keV) du rhodium :



- Spectre des ondes électromagnétiques :



2.1. Transition énergétique de l'atome de rhodium et production de rayon X.

- 2.1.1. Donner la composition du noyau de l'atome de rhodium.
- 2.1.2. Reproduire sur votre copie le diagramme simplifié des niveaux d'énergie du rhodium et y représenter par des flèches toutes les transitions énergétiques au sein de l'atome pouvant s'accompagner de l'émission d'un photon associé à un rayonnement.
- 2.1.3. L'énergie d'un photon libéré lors d'une de ces transitions est $E_\beta = 3,65 \times 10^{-15}$ J. Identifier cette transition parmi celles proposées précédemment. Justifier.
- 2.1.4. Déterminer la valeur de la longueur d'onde du rayonnement associé à cette transition. Ce résultat est-il cohérent avec le domaine de fonctionnement de l'appareil ?

2.2. Absorption des rayons X.

Une radiographie aux rayons X fait apparaître des surfaces claires ou sombres en fonction de la nature des tissus traversés et de l'absorption du rayonnement.

L'absorption d'un milieu peut s'évaluer en comparant φ_0 la puissance surfacique entrant dans le milieu à φ la puissance surfacique sortant du milieu ; la puissance surfacique est la puissance par unité de surface, elle s'exprime en $W \cdot m^{-2}$.

La couche de demi-absorption (ou *CDA*) d'un tissu correspond à l'épaisseur (exprimée en cm) pour laquelle la moitié de la puissance surfacique incidente φ_0 des rayons X a été absorbée. Elle permet de définir le coefficient d'absorption μ d'un tissu, par la relation :

$$\mu = \frac{\ln 2}{CDA} \quad \text{avec } \mu \text{ en cm}^{-1} \text{ et } \ln 2 \text{ le logarithme népérien de } 2.$$

La **figure 5** ci-après montre l'évolution du coefficient d'absorption μ pour divers tissus de masses volumiques ρ différentes, en fonction de l'énergie E du photon associé au rayonnement X.

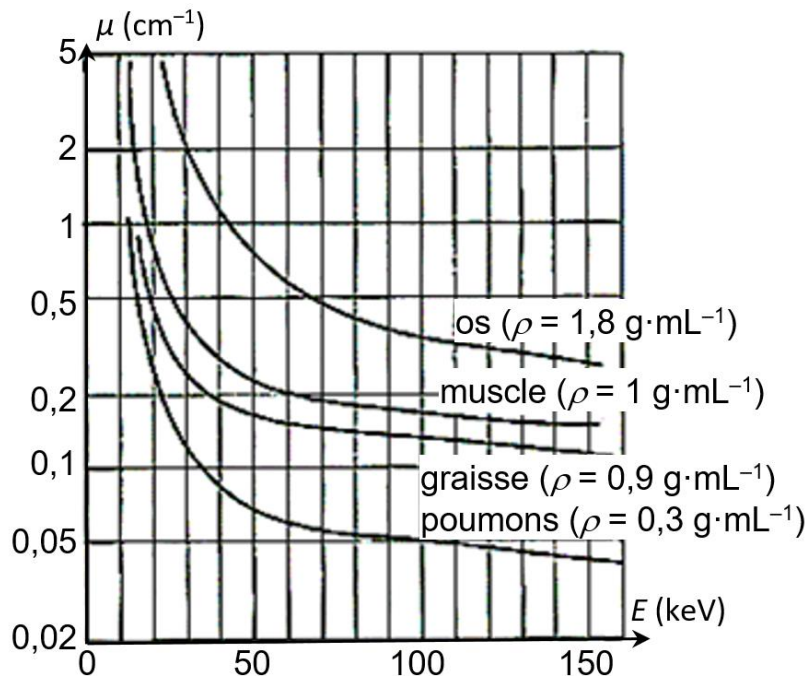


Figure 5 : évolution du coefficient d'absorption μ .

- 2.2.1. Analyser qualitativement l'influence de la masse volumique des tissus traversés et de l'énergie des photons sur la valeur du coefficient d'absorption μ .
- 2.2.2. Calculer, puis comparer la *CDA* d'un os à celle des poumons pour $E = 70$ keV. Comment peut-on interpréter ce résultat ?

3. La transmission des images

Depuis quelques années, le manque de médecins en secteurs ruraux a conduit les collectivités à développer la télémédecine, *une forme de pratique médicale à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication*.

En téléconsultation, les images issues d'examens médicaux divers effectués en un lieu peuvent être transmises et exploitées en direct, parfois à des centaines de kilomètres, par un spécialiste.

La qualité des images et celle de la transmission sont ainsi essentielles à un bon diagnostic.

Les images peuvent être issues de la numérisation d'images analogiques ou directement obtenues sous forme numérique. Chaque image est formée d'un quadrillage appelé matrice contenant un nombre variable de pixels, chaque pixel étant codé avec un nombre variable de bits.

Type d'examen	Type d'images	Codage utilisé (en bits par pixel)	Matrice utilisée (résolution en pixels)	Taille d'une image (en Mo)	Débit binaire de transmission utilisé (en Mbits·s ⁻¹)
Imagerie microscopique	Couleur RVB	24	UHD-8K 7680 × 4320	100	16 (VDSL)
					1000 (Gigabit Ethernet)

D'après France Telecom R&D, Novembre 2003 et oboqo.com

Donnée : 1 octet correspond à 8 bits.

3.1. Vérifier, par un calcul, la valeur donnée de la taille de l'image UHD-8K en imagerie microscopique décrite dans le tableau ci-dessus.

3.2. La durée de transmission d'une image microscopique de résolution UHD-8K via une transmission VDSL est de l'ordre d'une minute. Montrer que la durée de transmission en technologie Gigabit Ethernet est plus adaptée à la téléconsultation en imagerie microscopique de résolution UHD-8K.

La technologie Gigabit Ethernet n'est pas accessible partout. Il faut pourtant permettre une bonne téléconsultation dans les zones où la seule technologie disponible est la transmission VDSL.

Différents formats d'image :

Type de format d'image	Avantages	Inconvénients
JPEG standard	Petite taille. Taux de compression de 3 à 100.	Très mauvaise qualité si la compression est trop poussée. Pertes d'informations irréversibles.
JPEG-LS	Taille moyenne. Taux de compression de 2 à 8.	Qualité diminuée. Pertes d'informations réversibles.
PNG	Format sans perte.	Taille importante.

D'après oboqo.com

Un cabinet médical envoie des dossiers de taille moyenne 4 Go contenant des images au format PNG en utilisant la technologie VDSL.

3.3. Calculer la durée moyenne de transmission d'un ensemble de 10 dossiers médicaux. Commenter.

3.4. Proposer un format d'image adapté à la téléconsultation simultanée de 10 dossiers en précisant le taux de compression choisi ; c'est-à-dire le rapport de la taille de l'image d'origine sur la taille de l'image compressée.

EXERCICE 3 : DU CHLORE DANS LE RÉSEAU D'EAU POTABLE (5 points)

La chloration de l'eau potable est largement répandue dans le monde pour prévenir et limiter le risque infectieux qui pourrait être véhiculé par l'eau du robinet. Depuis 2003, les autorités françaises ont recommandé d'étendre son utilisation à l'ensemble des réseaux d'eau, quel que soit l'effectif de la population desservie.

Les mesures concernant la chloration imposent une teneur minimale en chlore libre de $0,3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ à la sortie des usines de traitement et de $0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en tout point des réseaux d'eau potable.

D'après la circulaire DGS/SD7A n° 2003-524/DE/19-03 du 7 novembre 2003.

D'après le journal officiel n° 31 du 06/02/2007.

L'objectif de cet exercice est de déterminer si l'eau rejetée à la sortie d'une usine de traitement est conforme aux normes imposées par la circulaire DGS/SD7A n° 2003-524.

Document 1 : La désinfection par chloration

En solution aqueuse, le chlore peut exister sous différentes formes : dichlore $\text{Cl}_2(\text{aq})$, acide hypochloreux $\text{HOCl}(\text{aq})$, ions hypochlorite $\text{ClO}^-(\text{aq})$ et chloramines.

La législation sur l'eau distingue :

- le chlore libre qui existe sous différentes formes selon le pH : dichlore, acide hypochloreux ou ions hypochlorite ;
- le chlore combiné qui est sous forme de chloramines par exemple ;
- le chlore total qui correspond à la somme du chlore libre et du chlore combiné.

L'espèce chimique chlorée désinfectante la plus efficace est l'acide hypochloreux.

Document 2 : Dosage par étalonnage du chlore libre

On envisage ici le dosage du chlore libre dans l'eau de distribution.

La concentration étant faible, il faut utiliser une méthode très sensible. On choisit la méthode colorimétrique à la N,N-diéthylphénylène-1,4-diamine (DPD).

Le chlore libre réagit avec la DPD pour former une espèce chimique colorée rose. La concentration de cette espèce chimique colorée est égale à la concentration en chlore libre avant réaction.

Étape 1 : Obtention d'une courbe d'étalonnage

On prépare une solution mère de concentration molaire $C_0 = 1,0 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en chlore libre.

On prépare cinq solutions filles en introduisant successivement dans une série de fioles jaugées de 10,0 mL :

- un volume V_0 de solution mère de chlore libre à la concentration molaire C_0 ;
- un volume de 1,0 mL de solution de DPD en excès par rapport au chlore libre, tamponnée à un pH égal à 6,5 ;
- un volume d'eau distillée nécessaire pour atteindre le trait de jauge de la fiole.

On réalise le blanc du spectrophotomètre avec une solution préparée dans une fiole jaugée de 10,0 mL à partir de 1,0 mL de la même solution DPD tamponnée et d'eau distillée pour atteindre le trait de jauge de la fiole.

On mesure l'absorbance A de chaque solution fille préparée à la longueur d'onde $\lambda = 510$ nm.

Les résultats obtenus pour les cinq solutions filles sont les suivants :

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
V ₀ (mL)	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
A	0,08	0,18	0,25	0,33	0,40

Étape 2 : Mesure sur l'échantillon à analyser

Lorsqu'on dispose d'un échantillon d'eau à analyser, on prépare une solution S dans une fiole jaugée de 10,0 mL en ajoutant 1,0 mL de la même solution de DPD tamponnée et cette eau à analyser, jusqu'au trait de jauge.

On mesure l'absorbance A à la longueur d'onde $\lambda = 510$ nm de la solution S réalisée.

Données :

- pK_a du couple HOCl (aq) / ClO⁻(aq) : $pK_a = 7,5$ à 25 °C.
- Le dichlore ne peut être présent en solution aqueuse que pour un pH inférieur à 2,2.
- Une solution tampon permet de maintenir le pH d'une solution aqueuse à une valeur déterminée.
- La teneur en chlore libre est définie par la masse en élément chlore par unité de volume.
- Masse molaire atomique du chlore : $M_{Cl} = 35,5$ g·mol⁻¹.

Questions préalables :

1. Lors du protocole de dosage par étalonnage du chlore libre, majoritairement, sous quelle forme se trouve le chlore libre dans les solutions aqueuses ? Justifier votre réponse.
2. Déterminer la valeur de concentration molaire en chlore libre dans la solution S₃ avant réaction avec la DPD.

Problème :

Afin de vérifier la teneur en chlore libre d'un échantillon d'eau prélevé à la sortie d'une usine de traitement, un laboratoire d'analyse mesure une absorbance égale à 0,15 à l'aide du protocole de dosage par étalonnage du chlore libre proposé.

La teneur en chlore libre de cette eau à la sortie de l'usine est-elle conforme à la réglementation ?

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