

E3 Sciences physiques et chimique 2025

Durée : 2 heures Coefficient 2

Matériel autorisé :

L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Tout autre matériel est interdit.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part dans l'appréciation des copies.

Indispensable à la santé, le sel alimentaire ou chlorure de sodium (NaCl) est pourtant néfaste lorsqu'il est consommé en excès. Une surconsommation de sel (supérieure à 12 grammes par jour) a des effets négatifs sur la santé en augmentant notamment la pression artérielle (hypertension) et en développant certaines maladies cardiovasculaires.

Ce sujet s'articule autour de l'élément sodium dans le corps humain. Il comporte deux exercices indépendants.

Données relatives à l'ensemble du sujet

- **Constantes fondamentales**

Constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

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

- **Masses molaires atomiques**

$M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

- **Numéros atomiques**

Élément chimique	H	C	N	O
Z	1	6	7	8

- **Correspondance entre unités**

1 eV = $1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

- **Enthalpies molaires standard de formation à 298 K**

Formule chimique	État	$\Delta_f H^\circ (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$
NaCl	Solide	- 411,2
Na ⁺	Aqueux	- 240,3
Cl ⁻	Aqueux	- 167,1

- **Énergie E** associée à un photon de longueur d'onde λ $E = \frac{h \times c}{\lambda}$

Exercice I - Dosage de l'élément sodium dans le sang (13 points)

Un « ionogramme sanguin » est un examen permettant de doser certains ions présents dans le sang, dont l'ion sodium (Na^+). La teneur en ion sodium dans le sang est nommée « natrémie ». Une natrémie normale se situe autour d'une valeur moyenne de 140 mmol.L^{-1} . On parle respectivement de « hypernatrémie » et « hyponatrémie » lorsque la concentration en sodium est trop élevée ($> 145 \text{ mmol.L}^{-1}$) ou trop faible ($< 135 \text{ mmol.L}^{-1}$).

Le dosage de l'élément sodium dans le sang se fait par photométrie d'émission de flamme (FEP ou *Flame Emission Photometry*). L'appareil utilisé est un photomètre à émission de flamme.

Partie A - Solubilité du chlorure de sodium et hypernatrémie

La figure 1, ci-dessous, montre l'influence de la température sur la solubilité dans l'eau du chlorure de sodium.

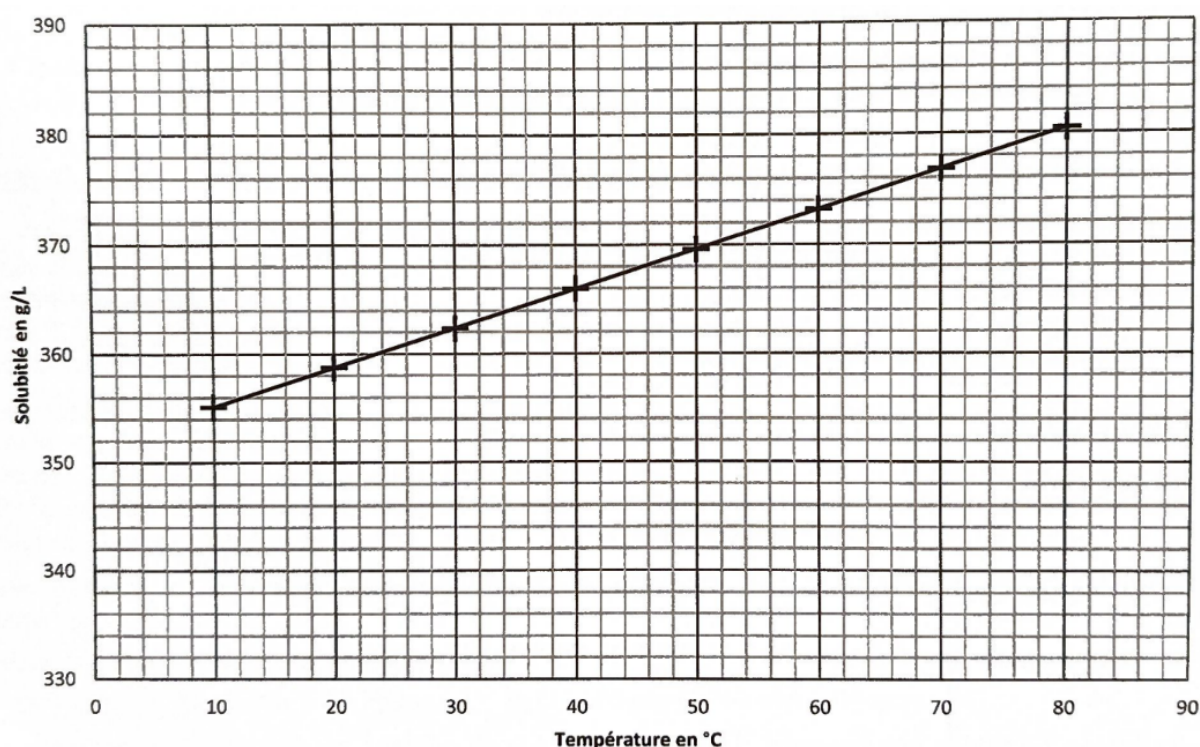


Figure 1

- Q1.** Le chlorure de sodium est un cristal ionique. Définir ce terme.
- Q2.1** Écrire l'équation de dissolution du chlorure de sodium solide dans l'eau.
- Q2.2** Calculer l'enthalpie standard de dissolution $\Delta_r H^\circ_{diss}$ du chlorure de sodium solide à 298 K et commenter son signe.
- Q2.3** D'après la courbe de la **figure 1** ci-dessus, décrire comment la solubilité du chlorure de sodium évolue avec la température.
- Q2.4** Justifier cette évolution à partir de la question **Q2.2.** et de vos connaissances.

On modélise élémentairement le plasma sanguin comme étant composé à 100 % d'eau. Les autres composants du plasma sont considérés comme inertes vis-à-vis du chlorure de sodium.

Q3.1 Relever, sur la **figure 1**, la valeur de la solubilité du chlorure de sodium dans l'eau à la température de 37 °C, puis exprimer cette valeur en mmol.L⁻¹.

Q3.2 On considère que la température du corps humain est de 37 °C. Montrer qu'en pourcentage, le rapport entre la quantité de matière de sodium dissous dans 1 L de plasma d'une personne ayant un taux de natrémie normale et la quantité de matière maximale que l'on pourrait dissoudre dans le même volume de plasma vaut moins de 3 %.

Q3.3 À partir des questions **Q3.1** et **Q3.2**, justifier qu'une alimentation trop riche en sel alimentaire peut conduire à une hypernatrémie (on précise que le sel est dissous lors de la digestion mais que les ions formés ne sont pas transformés lors de la digestion).

Partie B - Principe de la photométrie d'émission de flamme

Le schéma d'un photomètre d'émission de flamme est représenté dans la figure 2 ci-dessous.

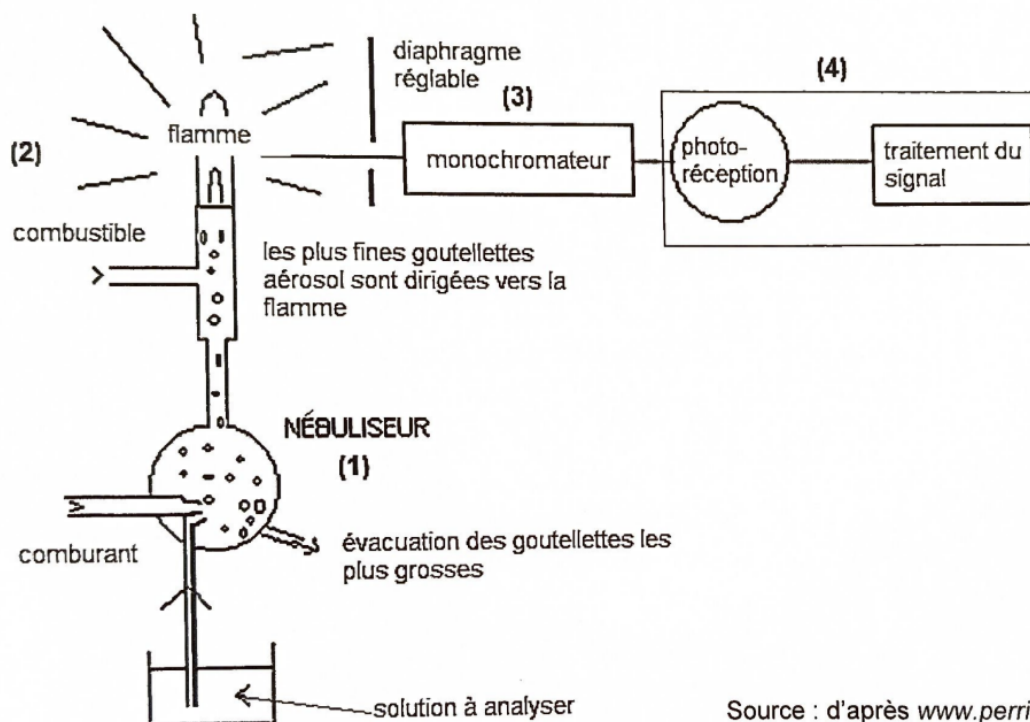


Figure 2

Il comporte quatre éléments principaux :

- le nébuliseur (1) qui disperse en fines gouttelettes la solution à analyser ;
- le brûleur/la flamme (2) qui atomise l'ion à doser présent dans les gouttelettes, puis qui excite l'atome formé ;

- le monochromateur (3) qui permet de sélectionner la longueur d'onde caractéristique du rayonnement produit par l'atome formé ;
- le dispositif de détection et de traitement (4) qui permet de détecter et d'amplifier le signal.

Dans le cas du sodium, la flamme utilisée a pour température 2000 K. Sous cette température élevée, les ions sodium contenus dans la solution à analyser sont d'abord atomisés (ils sont transformés en atomes de sodium), puis ces atomes sont excités ; seule une fraction du sodium atomique formé passe de l'état fondamental à un état excité. Le retour à l'état fondamental s'accompagne d'une émission d'un photon de longueur d'onde $\lambda = 589 \text{ nm}$ (il s'agit en réalité de deux radiations de longueurs d'onde très proches). La mesure de l'intensité lumineuse émise lors de cette désexcitation est à la base de la photométrie d'émission atomique.

Q4.1 Calculer en joules, puis en électronvolts, l'énergie E_{589} transportée par un photon de longueur d'onde $\lambda = 589 \text{ nm}$ émis lors du retour à l'état fondamental de l'atome de sodium excité.

Q4.2 Indiquer par une flèche, sur le diagramme simplifié des niveaux d'énergie en **annexe 1**, la transition correspondant à l'émission de ce photon ($\lambda = 589 \text{ nm}$).

D'après le schéma du photomètre de flamme (**figure 2**), un monochromateur est utilisé pour sélectionner les longueurs d'onde de travail.

Q5. Citer deux exemples de dispositifs optiques pouvant jouer le rôle de monochromateur.

Partie C - Dosage du sodium dans le sang par photométrie d'émission de flamme

La théorie permet de montrer qu'avec un débit et une température de flamme constants, l'intensité du rayonnement émis est proportionnelle à la concentration des ions dans la solution à analyser. Les dosages sont donc réalisés par comparaison des intensités du rayonnement émis lors de mesures faites sur la solution à analyser et une gamme de solutions de concentrations connues. Une courbe d'étalonnage permet ensuite de déterminer la concentration inconnue.

Les mesures peuvent être faussées par différents facteurs. Pour éviter cela et des manipulations préalables, les meilleurs appareils de FEP mettent en œuvre une méthode d'utilisation d'étalon interne. Cette méthode consiste à mesurer les intensités émises par deux éléments chimiques différents dont l'élément sur lequel porte l'analyse, ici l'élément sodium (Na). On utilise l'élément lithium (Li) en tant qu'étalon interne : sa longueur d'onde caractéristique est de 671 nm.

Une gamme de solutions de concentrations connues est fabriquée à partir de deux solutions ioniques :

- une solution de chlorure de sodium ($\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$) de concentration $10,0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$;
- une solution de chlorure de lithium ($\text{Li}^+ + \text{Cl}^-$) de concentration $5,00 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

On mélange, un volume V_i de solution de chlorure de sodium et un volume connu $V_{et} = 10,0 \text{ mL}$ de solution de chlorure de lithium selon les proportions indiquées dans le tableau ci-dessous. Chaque mélange est préparé dans une fiole jaugée de 100 mL, complétée à 100 mL avec de l'eau distillée.

$S_i = i^{\text{ème}}$ solution « étalon »	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
V_i (en mL)	0	1,00	2,00	5,00	7,00	10,0
V_{et} (en mL)	0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Concentration C_i en ion Na^+ (en $10^{-1} \text{ mmol.L}^{-1}$)	0	1,00	2,00	5,00	7,00	10,0
Concentration C_{et} en ion Li^+ (en $10^{-1} \text{ mmol.L}^{-1}$)	0	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
$\frac{C_i}{C_{et}}$	0	0, 200	0, 400	1, 00	1, 40	2, 00

On mesure ensuite l'intensité émise par le sodium (I_i) et le lithium (I_{et}) pour les cinq solutions « étalon ». Les valeurs du rapport $\frac{I_i}{I_{et}}$ sont indiquées ci-dessous.

	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
$\frac{I_i}{I_{et}}$	0	0, 232	0, 470	1, 32	1, 83	2, 79

Q6. Décrire brièvement le protocole à mettre en œuvre lors de la préparation de la solution S_3 (choix du matériel, étapes).

Q7. Représenter en **annexe 2 (à rendre avec la copie)**, la courbe donnant les variations de $\frac{I_i}{I_{et}}$ en fonction de $\frac{C_i}{C_{et}}$.

On prépare ensuite la solution S à analyser contenant l'échantillon sanguin à doser. Pour cela, on dilue d'abord d'un facteur 400 l'échantillon sanguin à doser. On prélève 90 mL de cet échantillon sanguin dilué au 400^{ème} et on les verse dans une fiole jaugée de 100 mL. On ajoute 10,0 mL d'une solution de chlorure de lithium de concentration $5,00 \text{ mmol.L}^{-1}$.

La mesure conduit alors au rapport $\frac{I_i}{I_{et}} = 0,951$.

Q8. Montrer, par le calcul, que la concentration molaire en ions Li^+ dans la solution S analysée vaut $C_{et} = 5,00 \times 10^{-1} \text{ mmol.L}^{-1}$.

Q9. À l'aide des questions **Q7** et **Q8**, déterminer la concentration en ions sodium dans l'échantillon à doser en détaillant la démarche. En déduire si l'on diagnostique alors une natrémie normale, une hyponatrémie ou une hypernatrémie.

Exercice II – L'acébutolol contre l'hypertension artérielle (7 points)

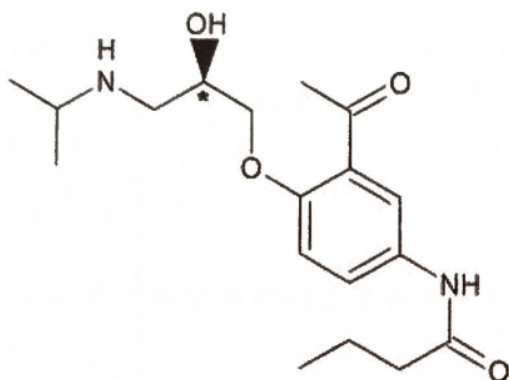
L'hypernatrémie est l'une des causes principales de l'hypertension artérielle.

Les « antihypertenseurs » sont des médicaments qui font baisser la tension artérielle, sans pour autant éliminer la cause de la maladie. Ils sont subdivisés en cinq sous-classes principales en fonction de leur mécanisme d'action :

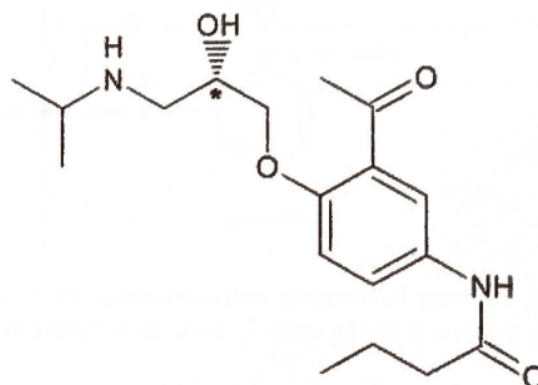
- les β -bloquants ;
- les inhibiteurs de l'enzyme de conversion (IEC) ;
- les antagonistes de l'angiotensine II (ATA 2) ;
- les inhibiteurs calciques ;
- les diurétiques.

Dans cet exercice, on étudie la molécule d'acébutolol, un « β -bloquant » utilisé pour soigner une pression artérielle légèrement à modérément élevée.

L'acébutolol existe sous la forme de deux stéréoisomères, notés (A) et (B) :



Molécule (A)



Molécule (B)

Q10. Donner la définition d'un carbone asymétrique.

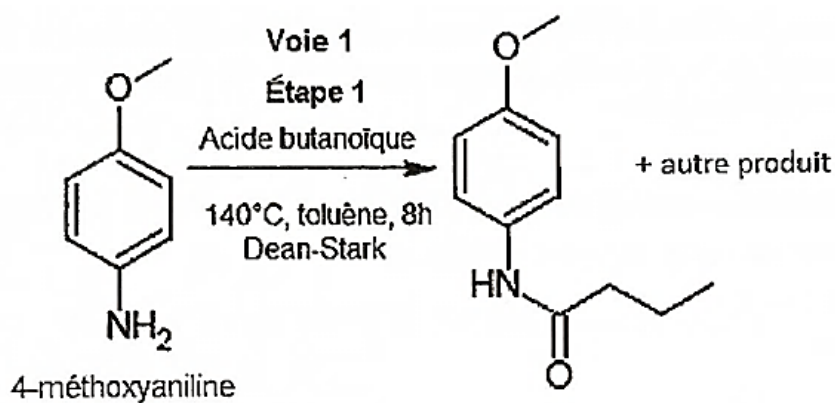
Q11. Sur la représentation de l'acébutolol donnée en **annexe 3 (à rendre avec la copie)**, entourer et nommer les différents groupements caractéristiques qu'elle comporte.

Q12. Déterminer la configuration absolue du carbone asymétrique dans la molécule (A). Justifier succinctement en précisant les règles utilisées.

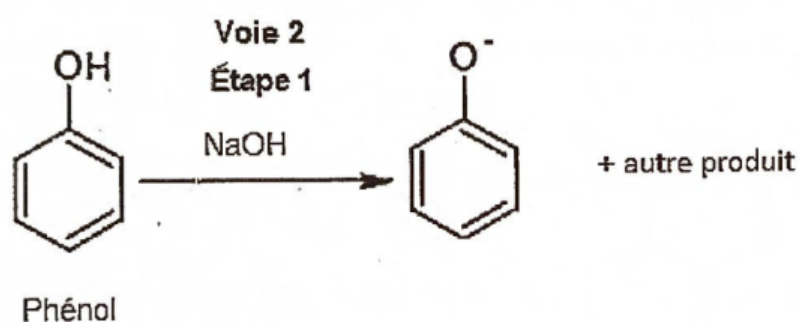
Q13. Indiquer la relation de stéréoisomérisie entre les molécules (A) et (B). Justifier.

Il existe plusieurs voies de synthèse de l'acébutolol. On s'intéresse ici à la première étape de deux voies de synthèse.

La première voie de synthèse se fait à partir de la 4-méthoxyaniline :



La deuxième voie de synthèse se fait à partir du phénol :

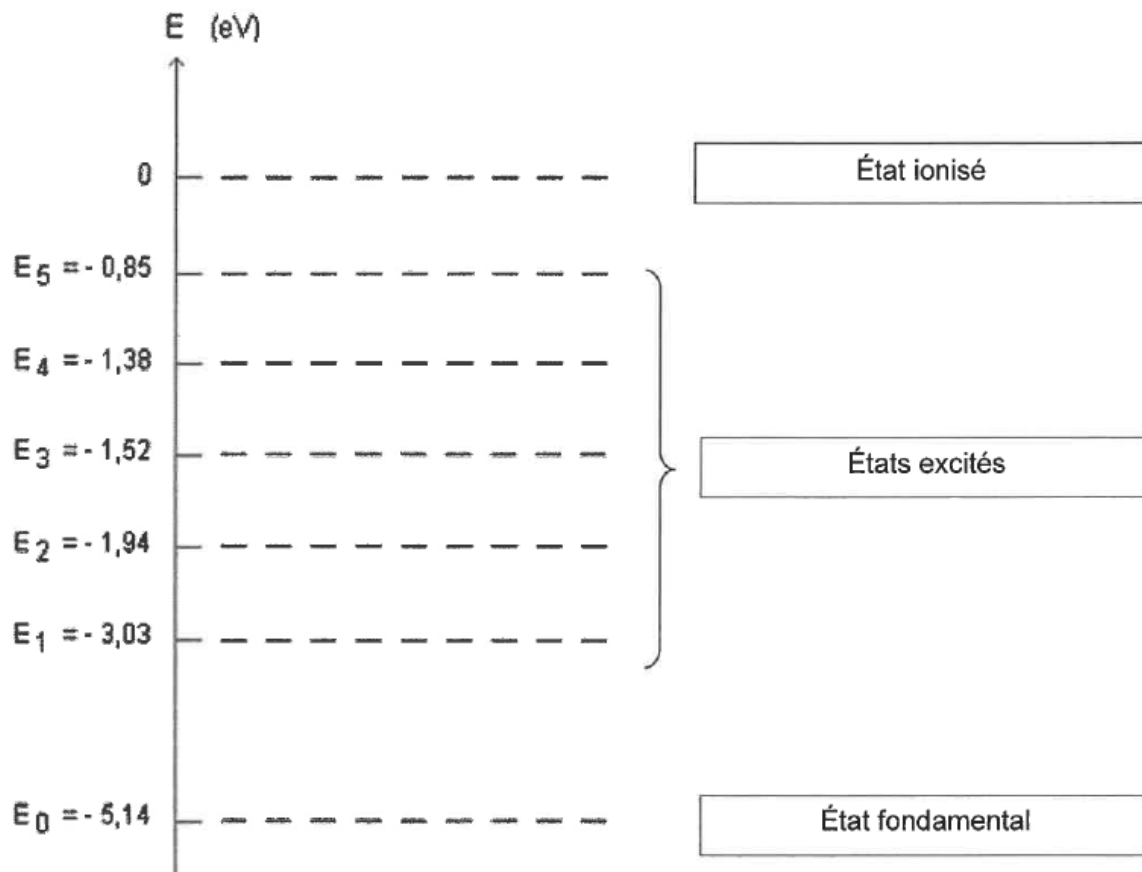


- Q14.** Donner la formule semi-développée de l'acide butanoïque, espèce réagissant, au cours de l'étape 1 de la voie 1, avec la 4-méthoxyaniline.
- Q15.** Indiquer la nature de la transformation chimique mise en jeu dans l'étape 1 de la voie 2.
- Q16.** Préciser la formule chimique et le nom du second produit formé dans l'étape 1, sachant qu'il s'agit du même produit pour les deux voies de synthèse.

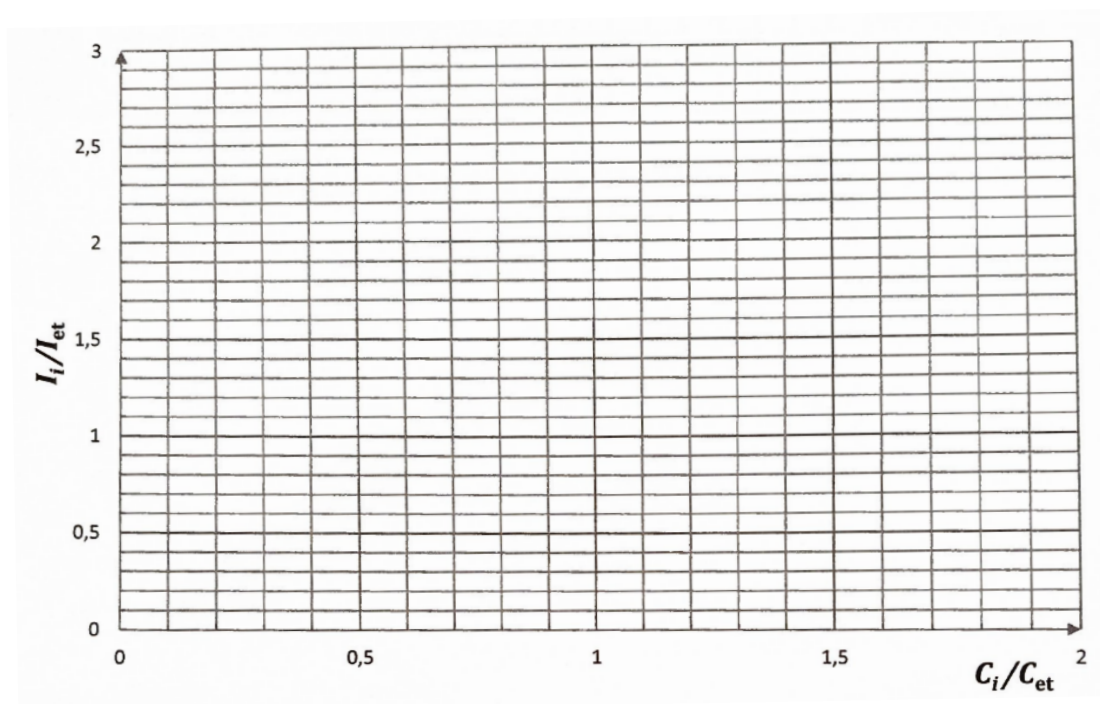
ANNEXE

À rendre avec la copie

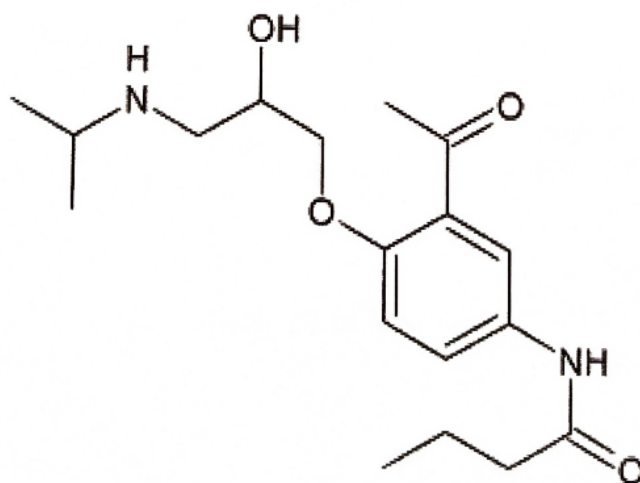
Annexe 1 (question Q4.2)



Annexe 2 (question Q7)



Annexe 3 (question Q11)



Compétences et capacités évaluées pour les trois enseignements de spécialité :

C1	C2	C3	C4	C5
Analyser des ressources documentaires en s'appuyant sur savoirs scientifiques et technologiques	Exercer un regard critique sur la faisabilité d'une analyse ou fiabilité d'un résultat	Analyser un résultat, une procédure dans une situation professionnelle	Établir une synthèse à partir d'un raisonnement rigoureux	S'exprimer à l'écrit avec clarté et rigueur