

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2015

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

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

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

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

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

EXERCICE I. LE SAUT DE FÉLIX BAUMGARTNER (5 points)

Le dimanche 14 octobre 2012, Félix Baumgartner est entré dans l'histoire en s'élançant de la stratosphère à plus de 39 000 m d'altitude. Félix Baumgartner a sauté depuis la nacelle d'un ballon avec une vitesse initiale nulle. Au cours de la première phase de sa chute qui a duré quatre minutes et vingt secondes, il a atteint une vitesse de pointe de 1342 km.h^{-1} , soit MACH 1,24 ! Dans une seconde phase, il a ouvert son parachute. Au total, son saut depuis la stratosphère a duré neuf minutes et trois secondes.

Avec ce saut, trois records du monde ont été battus :

- « la chute la plus rapide » : il a atteint une vitesse maximale de 1342 km.h^{-1} ;
- « le saut le plus haut » : 39 045 m (ancien record : 31 333 m) ;
- le plus haut voyage en ballon d'un homme : 39 045 m (ancien record : 34 668 m).

Dans cet exercice, on cherche à évaluer la pertinence d'un modèle de chute.

Description de l'atmosphère terrestre

| zone de l'atmosphère | troposphère | stratosphère | mésosphère | thermosphère |
|---|----------------|------------------------|------------------------------|--------------------|
| altitude (en km) | de 0 à 10 | de 10 à 50 | de 50 à 80 | plus de 80 |
| masse volumique moyenne de l'air (en kg.m^{-3}) | entre 1 et 0,1 | entre 0,1 et 10^{-3} | entre 10^{-3} et 10^{-5} | Moins de 10^{-5} |

Données :

- La chute d'un objet est dite libre si l'objet n'est soumis qu'à l'action de la Terre, et si on peut négliger l'action de l'air. Lorsque l'action de l'air n'est pas négligeable, l'effet de l'air est d'autant plus important que la vitesse de chute est grande.
- Masse de Félix Baumgartner et de son équipement : $m = 120 \text{ kg}$;
- constante de gravitation universelle $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- rayon de la Terre : $R_T = 6380 \text{ km}$.

1. Attraction gravitationnelle lors du saut

1.1. Donner, en fonction de G , R_T , H , m et M_T , l'expression de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur Félix Baumgartner lorsqu'il s'élance dans le vide à l'altitude H .

1.2. En assimilant le poids P à cette force d'attraction, déduire l'expression de l'intensité de la pesanteur g . L'intensité de la pesanteur g reste-t-elle constante au cours de la chute ? Justifier quantitativement.

2. Étude de la première phase du saut de Félix Baumgartner avec le modèle de la chute libre

Dans un référentiel terrestre supposé galiléen, le repère choisi possède un axe Oy vertical.

Dans cette première phase, on admet que l'accélération de la pesanteur g est égale à $9,71 \text{ m.s}^{-2}$.

2.1. Établir l'expression de l'accélération a_y de Félix Baumgartner. De quel type de mouvement s'agit-il ?

2.2. Établir l'équation horaire de son mouvement $y = f(t)$.

2.3. En déduire la date t_1 correspondant au record de vitesse de Félix Baumgartner.

2.4. Quelle distance Félix Baumgartner a-t-il parcouru lorsqu'il atteint cette vitesse maximale ? Quelle est alors son altitude H_1 ?

3. Dans la stratosphère, le modèle choisi de la chute libre est-il pertinent ?

3.1. Proposer un argument qui justifie l'utilisation précédente du modèle de chute libre.

3.2. En réalité, la distance parcourue par Félix Baumgartner lorsqu'il atteint sa vitesse maximale est supérieure à celle calculée à la question 2.4. Proposer un autre argument qui permette d'invalider le modèle de la chute libre.

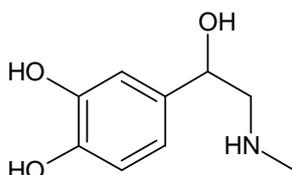
4. Analyse des transferts d'énergie lors de la première phase du saut

Lors de la première phase de la chute, l'énergie mécanique se conserve-t-elle ? Argumenter votre réponse en identifiant les formes d'énergie mises en jeu et leurs variations.

EXERCICE II. L'ADRÉNALINE CONTRE LES PIQÛRES DE GUÊPES (10 points)

Certaines personnes souffrent d'allergies aux piqûres de guêpes ou d'autres insectes. Dans certains cas de réactions allergiques exacerbées, on parle de choc anaphylactique, syndrome clinique grave, qui met en jeu le pronostic vital. Le principal traitement du choc anaphylactique est l'adrénaline qui est administrée par voie intramusculaire à l'aide de dispositifs auto-injectables.

L'adrénaline, représentée ci-dessous, est une hormone sécrétée par le système nerveux central et par les glandes surrénales qui entraînent notamment une accélération du rythme cardiaque. Elle produit cet effet en se fixant sur les récepteurs cibles, comme une clé dans une serrure.



Données :

- masse molaire moléculaire de l'adrénaline : 183 g.mol^{-1} ;
- électronégativités de quelques éléments chimiques (échelle de Pauling) :

| Élément chimique | Hydrogène (H) | Carbone (C) | Azote (N) | Oxygène (O) | Chlore (Cl) |
|-------------------|---------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| Électronégativité | 2,20 | 2,55 | 3,04 | 3,44 | 3,16 |

Les auto-injecteurs d'adrénaline

Principe actif : Adrénaline

Indication : Traitement d'urgence des symptômes du choc anaphylactique provoqué entre autres par les piqûres d'insectes...

Posologie : Le produit doit être administré par voie intramusculaire uniquement.

L'auto-injecteur est destiné à l'auto-administration immédiate par une personne ayant un antécédent de réaction anaphylactique. Il est conçu pour délivrer une dose unique de 0,30 mL de solution contenant 1,64 μmol d'adrénaline.

Chez certains patients, une nouvelle dose peut-être injectée après 10 à 15 minutes.

La dose habituellement efficace est de l'ordre de 0,010 mg d'adrénaline par kilogramme de masse corporelle, mais des doses supérieures peuvent être nécessaires dans certains cas.

d'après la Haute Autorité de Santé, 27 mai 2009

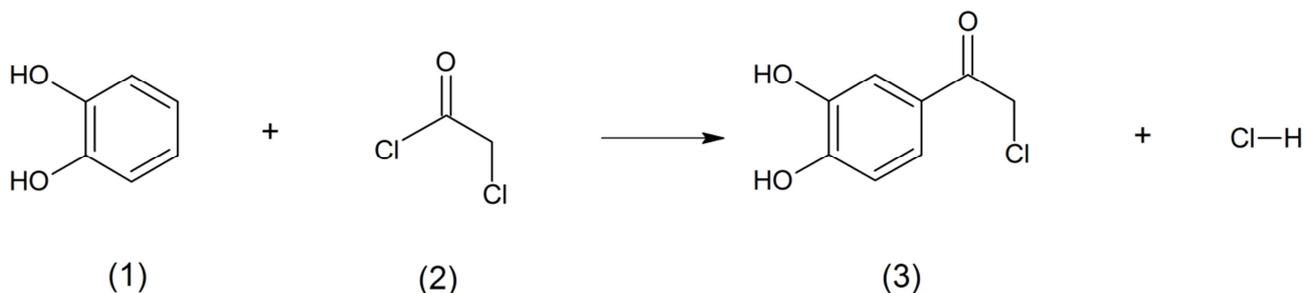
Description d'une synthèse de l'adrénaline

L'adrénaline peut être synthétisée à partir du catéchol (1). Celui-ci réagit avec le chlorure de chloroacétyle (2), pour donner la 3,4-dihydroxychloracétophénone (3). La molécule (3) réagit avec la méthylamine pour donner l'adréalone (4). La molécule (4) est ensuite réduite par dihydrogénation en présence de palladium et conduit à un mélange racémique d'adrénaline (5).

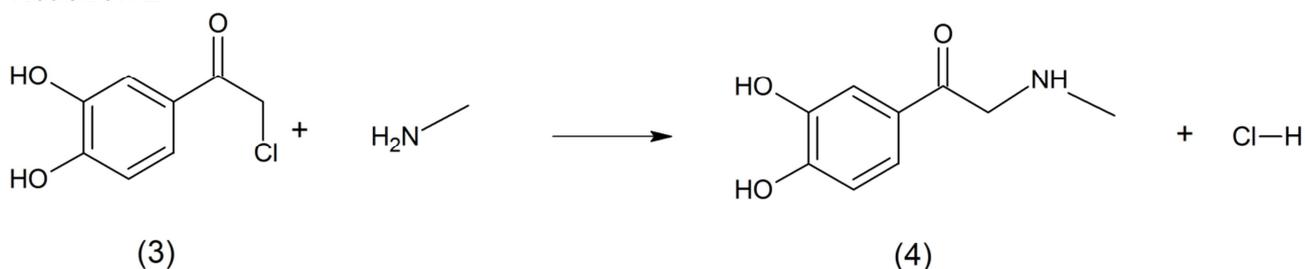
Un des deux stéréoisomères de l'adrénaline étant douze fois plus actif d'un point de vue biologique que l'autre, il est nécessaire de séparer les stéréoisomères obtenus.

On rappelle qu'un catalyseur est dit stéréosélectif si son usage privilégie la formation d'un des stéréoisomères.

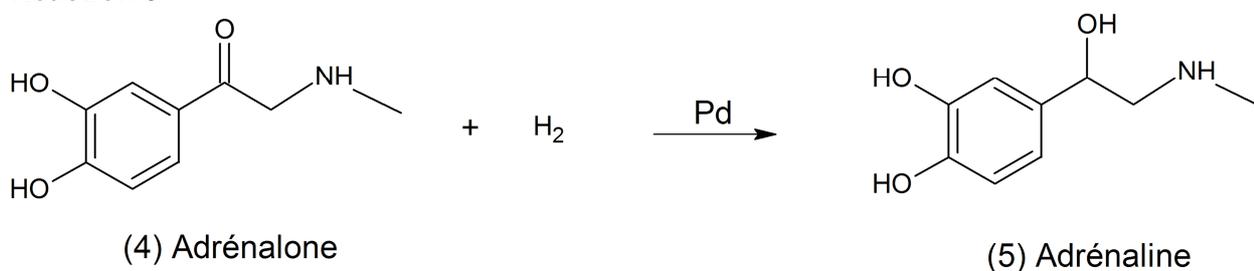
Réaction 1



Réaction 2



Réaction 3

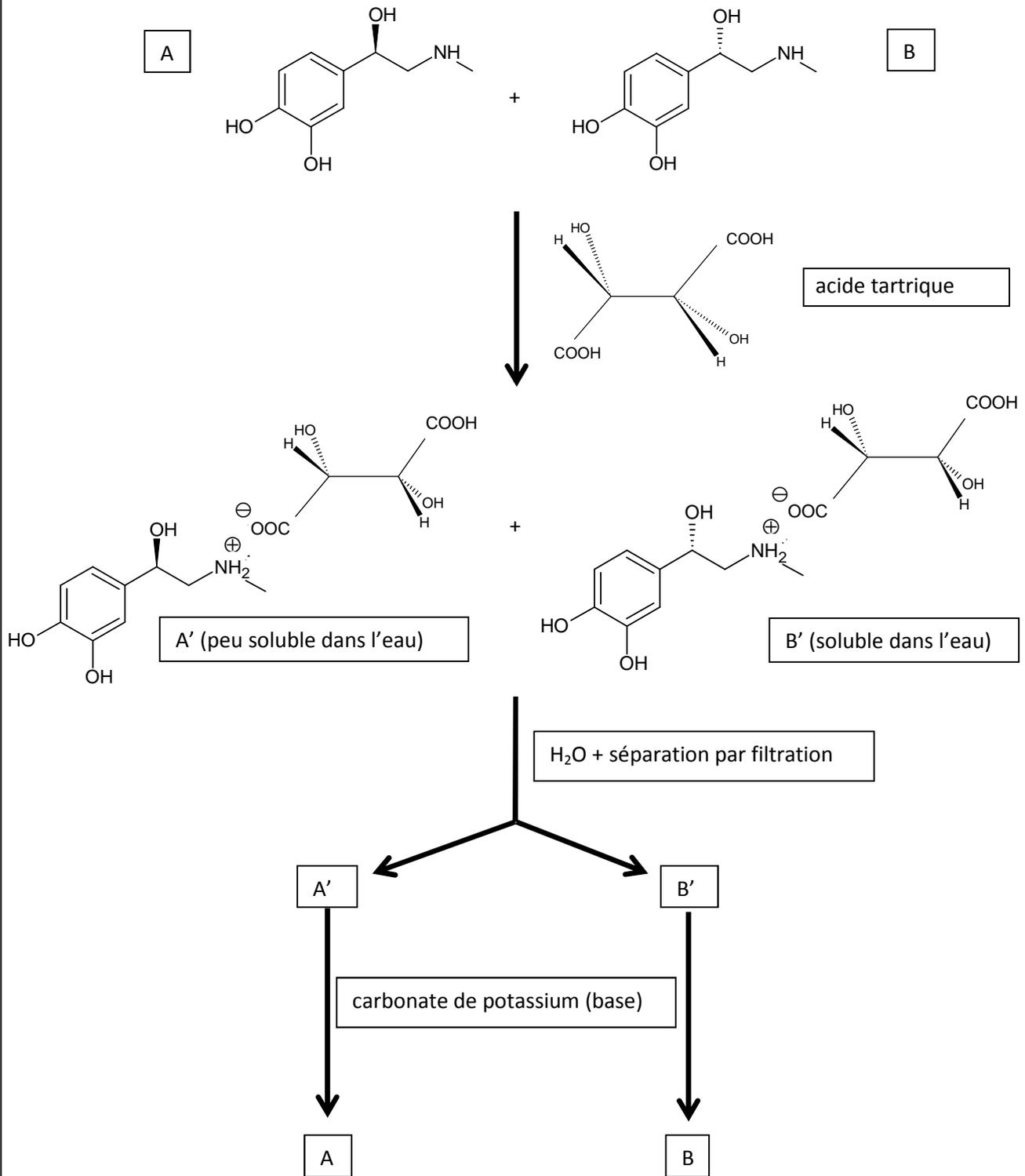


Séparation d'un mélange racémique par formation de diastéréoisomères

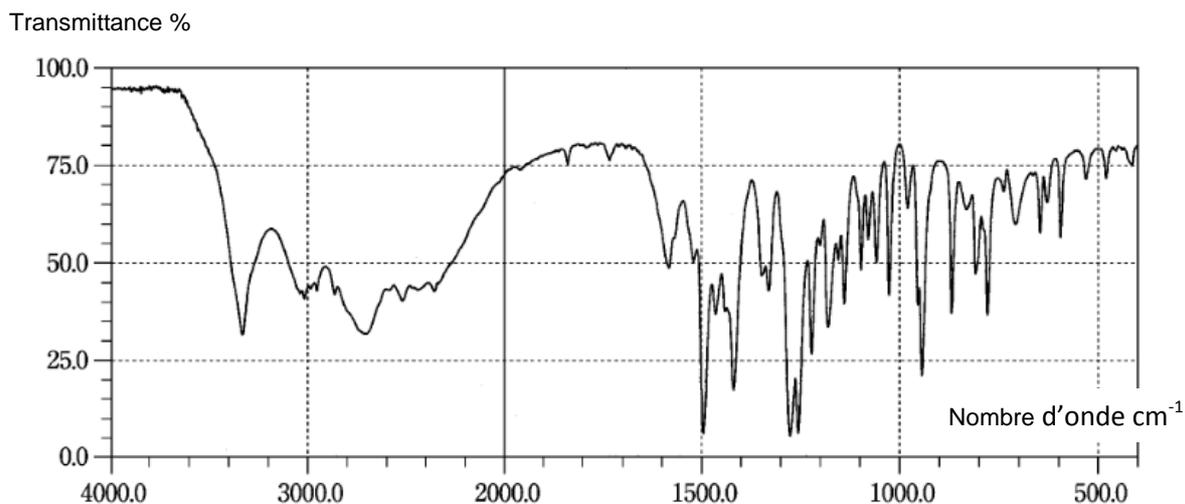
Une méthode générale de séparation d'un mélange racémique consiste à effectuer une réaction entre les deux énantiomères du mélange et une molécule chirale afin de former des diastéréoisomères dont les propriétés physico-chimiques sont différentes. Lorsque les énantiomères possèdent une fonction basique au sens de Brønsted, on utilise une molécule chirale acide au sens de Brønsted et réciproquement pour former des sels diastéréoisomères ; enfin, un traitement de ces sels de diastéréoisomères séparés permet de reformer séparément chacun des deux énantiomères du mélange racémique initial.

Séparation des stéréoisomères de l'adrénaline

On part du mélange racémique de A et B :



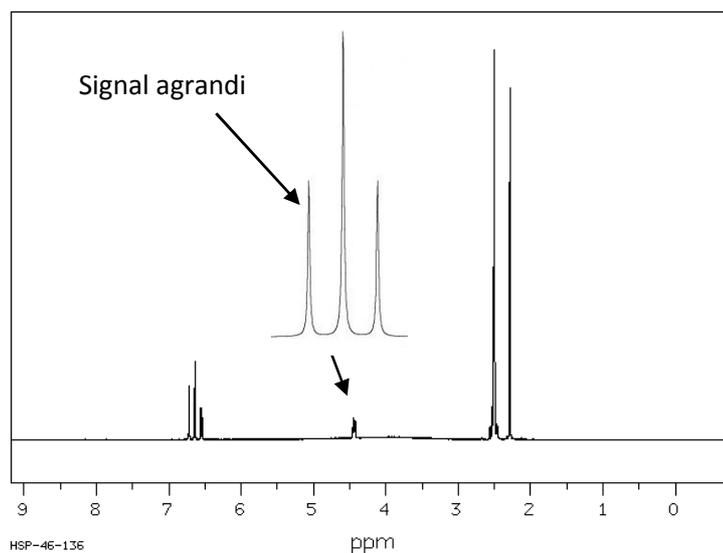
Données spectrales (IR et RMN) du produit obtenu lors de la synthèse



Spectre IR

| Groupement | Liaison | Nombre d'ondes (cm^{-1}) | Intensité |
|-----------------------|-------------|-------------------------------------|------------------|
| Alcools et phénols | O-H libre | 3600 | Variable et fine |
| Alcools et phénols | O-H associé | 3200 - 3400 | Forte et large |
| Acides | O-H associé | 2500 - 3300 | Forte et large |
| Amines | N-H | 3300 - 3500 | Moyenne |
| Aromatiques | C-H | 3030 - 3080 | Variable |
| Alcanes CH_3 | C-H | 2900 | Forte |
| Aldéhydes | C-H | 1700 | Forte |
| Cétones | C=O | 1680 - 1700 | Moyenne |
| Esters | C-O | 1050 - 1300 | Forte |
| Alcools | C-O | 1000 - 1200 | Variable |

Tableau de données pour la spectroscopie infrarouge

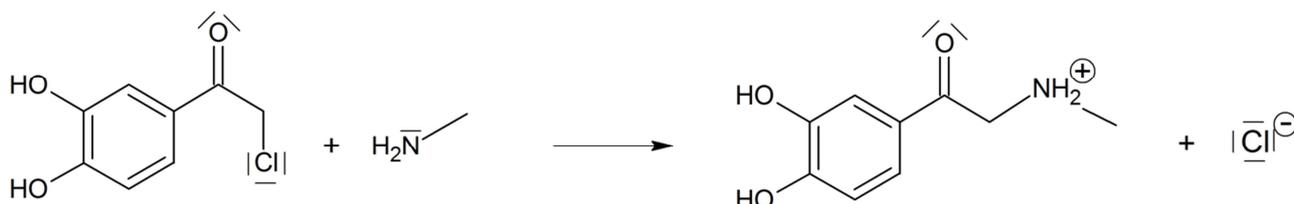


Spectre RMN du proton

1. La synthèse chimique de la molécule d'adrénaline

1.1. À quelle catégorie de réaction appartient chacune des réactions intervenant dans la synthèse de l'adrénaline ? Justifier.

1.2. Le mécanisme réactionnel de la réaction 2 de la synthèse est modélisé par deux étapes successives se déroulant au niveau microscopique. La première est représentée ci-dessous :



1.2.1. Recopier cette première étape du mécanisme. Identifier, en les entourant, le ou les sites donneurs de doublets d'électrons et le ou les sites accepteurs de doublets d'électrons impliqués dans cette étape du mécanisme. Justifier.

1.2.2. Représenter les flèches courbes qui rendent compte de cette étape.

1.2.3. Écrire la seconde étape du mécanisme de la réaction 2 et identifier sa catégorie de réaction.

1.3. Dans le cas de la synthèse de l'adrénaline, peut-on dire que le palladium Pd est un catalyseur stéréosélectif ? Expliciter votre raisonnement.

1.4. Le spectre IR du produit obtenu nous permet-il de vérifier que la transformation de l'adréalone en adrénaline a bien eu lieu ? Argumenter votre réponse.

1.5. À partir du spectre RMN du produit obtenu, est-il possible d'attribuer à un proton ou à un groupe de protons de la chaîne carbonée de l'adrénaline le signal agrandi ? Justifier.

2. La molécule d'adrénaline et sa structure

2.1. Représenter la molécule d'adrénaline et entourer les groupes caractéristiques en dehors du cycle. Préciser les familles de composés qui leur sont associées.

2.2. Les stéréoisomères A et B de l'adrénaline sont-ils des diastéréoisomères ou des énantiomères ? Justifier.

2.3. Expliquer en quelques lignes les différentes étapes de la méthode mise en œuvre pour séparer les stéréoisomères de l'adrénaline.

3. L'auto-injection d'adrénaline

3.1. Déterminer la valeur de la concentration molaire d'adrénaline dans la solution contenue dans l'ampoule d'auto-injection.

3.2. Une personne de masse corporelle 55 kg est victime d'une piqûre de guêpe. Ayant des antécédents de chocs anaphylactiques, elle décide de pratiquer une auto-injection suivant le protocole fourni par le fabricant. Une seule auto-injection est-elle suffisante ? Si non, combien devrait-elle en faire ? Justifier votre démarche.

EXERCICE III : LA RÉHABILITATION D'UNE SALLE (5 points)

Dans le cadre de la réhabilitation du bâtiment d'un établissement scolaire, une pièce rectangulaire de volume suffisant doit être aménagée en salle de classe. Le responsable du chantier souhaite coller un matériau acoustique absorbant sur le plafond actuel, car un revêtement de plafond non adapté peut entraîner une acoustique médiocre dans les locaux destinés à l'enseignement, et donc une mauvaise qualité sonore qui rendra la parole non intelligible.

Quel matériau acoustique doit-il coller au plafond afin d'obtenir une salle de classe adaptée aux conditions d'apprentissage ?

Hypothèses de travail :

- dans le domaine du bâtiment et pour cette étude, la fréquence f du son de référence est de 1000 Hz ;
- la répartition des matériaux absorbants est homogène.

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme. Il est aussi nécessaire d'apporter un regard critique sur le résultat et de discuter de la validité des hypothèses de travail formulées.

Données sur la pièce à réhabiliter

Caractéristiques initiales de la pièce

- Dimensions : Longueur $L = 8,60$ m largeur $\ell = 6,80$ m hauteur $h = 3,00$ m
- Sol : Carrelage de surface totale S_s
- Murs : Plâtre peint de surface totale $S_m = 79,4$ m²
- Plafond : Plâtre peint de surface totale S_{plafond}
- Fenêtres : surface totale des 3 vitrages $S_f = 9,0$ m²
- Ouvertures : surface totale des 2 portes en bois $S_p = 4,0$ m²
- Equipement : 1 bureau professeur, 25 tables d'écoliers et 26 chaises en bois

| Coefficients d'absorption de quelques matériaux à $f = 1000$ Hz | |
|---|--------------------------------------|
| Désignation des surfaces | Coefficients d'absorption α_j |
| Plâtre peint | 0,030 |
| Carrelage | 0,010 |
| Vitres | 0,030 |
| Porte en bois | 0,50 |

| Aires d'absorption équivalentes de quelques mobiliers à $f = 1000$ Hz | |
|---|---|
| Désignation des éléments | Aire d'absorption équivalente A_k (m ²) |
| Une table de bureau professeur | 0,050 |
| Une table d'écolier | 0,025 |
| Une chaise en bois | 0,020 |

Durée de réverbération d'une pièce

On appelle durée de réverbération d'une pièce notée Tr , la durée mise par un son pour décroître de 60 dB après l'arrêt de la source émettrice. Tr représente le critère principal pour l'évaluation de la propriété acoustique d'une pièce. La durée de réverbération se calcule par la formule de Sabine :

$$Tr = 0,16 \cdot \frac{V}{A}$$

Tr : durée de réverbération en s
 V : volume de la pièce en m^3
 A : aire d'absorption équivalente des équipements en m^2

Durée de réverbération maximale de différents lieux

| Types de locaux meublés non-occupés | Durée de réverbération maximale |
|--|---------------------------------|
| Salle de sport | $Tr = 1,5$ s |
| Salle d'enseignement de volume $V \leq 250$ m^3 | $Tr = 0,60$ s |
| Salle d'enseignement de volume $V > 250$ m^3 | $Tr = 0,90$ s |
| Bureau individuel | $Tr = 0,60$ s |

Aire d'absorption équivalente d'une pièce

L'aire d'absorption équivalente notée A (m^2) est la valeur de l'aire d'une paroi parfaitement absorbante ayant la même absorption que les divers matériaux, meubles ou occupants considérés.

$$A = \sum_{j=1}^m \alpha_j \times S_j + \sum_{k=1}^n A_k$$

S_j : surface des matériaux dans la pièce en m^2

α_j : coefficients d'absorption des matériaux composant les surfaces de la pièce

A_k : aire d'absorption équivalente des équipements en m^2

Coefficients d'absorption de matériaux acoustiques pour plafond et prix au m^2

| Type de matériau | α_j | Prix |
|--|------------|--------------|
| Laine de verre 50 mm recouverte de toile | 0,80 | 8 € / m^2 |
| Panneaux bois isorel 15 mm | 0,65 | 10 € / m^2 |
| Panneaux de bois rainurés | 0,55 | 7 € / m^2 |
| Dalles fibres minérales | 0,70 | 15 € / m^2 |