

# CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—

SESSION 2025

—

## **SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES EN LABORATOIRE**

(Classes de terminale série STL)

EPREUVE D'ADMISSIBILITE

Durée : 5 heures

—

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

### Consignes aux candidats

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Ne joindre aucun brouillon
- Ne pas composer dans la marge
- Numéroté chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours :

Concours / Examen : CGL    Epreuve : admissibilité    Matière : SPCL    Session : 2025

Tournez la page S.V.P.

*Si au cours de l'épreuve un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre pour cela.*

*Le sujet comporte 5 parties présentées sur 22 pages, y compris celle-ci. **Les candidats doivent rédiger chacune de ces cinq parties sur des copies différentes.***

*Il est souhaitable qu'un futur lauréat du concours général montre sa maîtrise dans les différents domaines de la chimie et de la physique. Il lui est donc fortement conseillé d'aborder toutes les parties.*





## Thème général : Magie ou Science ?

### La fiction d'Harry Potter à l'épreuve de la science

Dans la célèbre saga *Harry Potter*, les objets magiques ou êtres vivants surnaturels occupent une place centrale. Ce sujet propose d'examiner à la lumière de la connaissance scientifique actuelle quelques-uns des éléments magiques de la fiction (voir illustration ci-dessous).

La science peut-elle expliquer certaines propriétés présentées comme magiques ou celles-ci relèvent-elles purement de l'imaginaire ? Peut-on envisager à l'aide des technologies actuelles de reproduire certains pouvoirs magiques affectés aux objets du récit Harry Potter ?

L'étude scientifique menée dans ce sujet propose donc d'exercer notre esprit critique en examinant sous l'angle de la physique et de la chimie les cinq éléments de la saga suivants :



**Illustration des différents éléments magiques de la saga Harry Potter étudiés dans le sujet.**

## Table des matières

<b>A. La pierre philosophale</b>	<b>4</b>
A.1 « Transformer le plomb en or »	4
A.2 Donner à l'acier l'aspect de l'or	6
<b>B. La mandragore</b>	<b>7</b>
B.1 Les molécules à l'origine des légendes : les alcaloïdes	7
B.2 Extraction des alcaloïdes présents dans la mandragore	8
B.3 Séparer et caractériser les alcaloïdes présents dans la mandragore	9
B.4 Une synthèse des alcaloïdes à des fins thérapeutiques	10
<b>C. La voiture volante</b>	<b>12</b>
C.1 Modélisation de l'écoulement de l'air au travers une hélice	13
C.2 Application au vol de la Ford Anglia en vol stationnaire	14
C.3 La batterie	15
<b>D. La carte du Maraudeur</b>	<b>15</b>
<b>E. Refroidissement rapide de l'air par les « Détraqueurs »</b>	<b>17</b>

**Les cinq parties proposées dans ce sujet sont indépendantes.**

## A. La pierre philosophale

Dans la saga Harry Potter, la pierre philosophale est une pierre permettant de changer n'importe quel métal en or.

Dans la réalité, le mythe de la pierre philosophale existe et remonterait à 300 ans après J.C. A l'époque, les alchimistes pensaient que les métaux vils (sans valeur), comme le plomb, étaient des « substances complexes » et dont il suffisait d'éliminer les impuretés pour les transformer en métal précieux comme l'or.



**Pierre philosophale**

Source : <https://www.dol-celeb.com>

Ce n'est qu'au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle, qu'Antoine Lavoisier découvre que les métaux sont des « substances simples » et qu'il modélise les transformations chimiques en réactions symbolisées par des équations qui respectent la loi de conservation de la matière.

Dans cette partie, nous allons étudier à la lumière de la science d'aujourd'hui la faisabilité de transformer un métal vil en or.

### A.1 « Transformer le plomb en or »

Une réaction nucléaire qui transformerait un noyau atomique de plomb en un noyau atomique d'or n'est pas réalisable. Il existe cependant une expérience, appelée « la pluie d'or » qui aurait pu laisser penser aux alchimistes du Moyen-âge qu'il était possible de transformer le plomb en or.

Cette partie porte sur la mise en œuvre du protocole de l'expérience de « la pluie d'or » et son interprétation possible par des alchimistes de l'époque.

**Q1.** Indiquer les modifications à opérer sur la composition d'un noyau atomique de plomb  $^{207}_{82}\text{Pb}$  pour qu'il devienne un noyau atomique d'or  $^{197}_{79}\text{Au}$ .

---

#### Protocole de l'expérience « la pluie d'or »

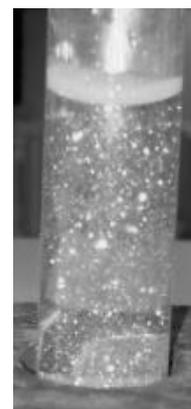
**Étape A :** sous hotte, dans un tube à essais, mélanger 5 mL d'une solution aqueuse de nitrate de plomb ( $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{NO}_3^{-}(\text{aq})$ ) de concentration  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  et 5 mL d'une solution aqueuse d'iodure de potassium ( $\text{K}^{+}(\text{aq}) + \text{I}^{-}(\text{aq})$ ) de concentration  $0,02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Un précipité jaune apparaît (photo 1).

**Étape B :** Plonger le tube à essais dans un bain d'huile thermostaté à  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  jusqu'à ce que tout le précipité soit dissous.

**Étape C :** Laisser refroidir en plaçant le tube à essais fermé sous un filet d'eau froide. Quand la solution change d'aspect, sortir et agiter le tube à essais. Le précipité réapparaît sous la forme de paillettes jaune brillant (photo 2).



**Photo 1 :**  
fin étape A



**Photo 2 :**  
fin étape C

Source images : Wikipédia

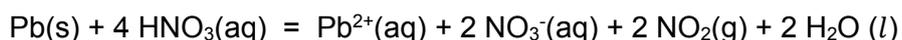
**Données :**

- masses molaires atomiques :  $M(\text{N}) = 14 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{Pb}) = 207 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- données physico-chimiques de quelques solides ioniques :

Solides ioniques	Formule chimique	Masse molaire moléculaire ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	Couleur	Solubilité dans l'eau ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Constante d'équilibre de solubilité $K_s$ (à 20 °C)
Nitrate de plomb	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	<i>A déterminer</i>	solide blanc	à 20 °C : 543	17,7
Iodure de potassium	KI	166,0	solide blanc	à 20°C : 1440	75,3
Nitrate de potassium	$\text{KNO}_3$	101,1	solide blanc	à 20°C : 316	9,77
Iodure de plomb	$\text{PbI}_2$	461,0	solide jaune brillant	à 0°C : 0,44 à 20°C : 0,756 à 100°C : 4,1	$1,76\cdot 10^{-8}$

- Q2.** Déterminer la valeur de la masse molaire moléculaire du nitrate de Plomb  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .
- Q3.** Déterminer les valeurs des masses de nitrate de plomb  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  solide et d'iodure de potassium KI solide à peser pour préparer 100 mL des solutions utilisées dans l'étape A du protocole.
- Q4.** À l'aide des observations expérimentales, identifier le précipité formé lors de l'étape A du protocole et proposer une équation de la réaction modélisant la transformation chimique de précipitation ayant lieu.
- Q5.** Déterminer les valeurs des quantités de matière des réactifs dans l'état initial dans les conditions de l'étape A du protocole. Commenter les résultats obtenus.
- Q6.** Calculer la valeur du quotient de réaction initial  $Q_{r,i}$  pour la réaction de dissolution de ce précipité dans les conditions initiales de l'étape A.
- Q7.** À l'aide des données et du résultat précédent, justifier l'apparition du précipité.
- Q8.** En supposant la transformation totale, déduire les valeurs de la quantité de matière puis de la masse de précipité formé lors de l'étape A du protocole.
- Q9.** À l'aide d'une démarche quantitative, vérifier que le précipité disparaît totalement lors de l'étape B du protocole.
- Q10.** Expliquer en quoi ce protocole constitue une recristallisation. Justifier alors la différence d'aspect du précipité observée entre les étapes A (photo 1) et C (photo 2) du protocole.

Il est possible d'obtenir une solution de nitrate de plomb par action de l'acide nitrique  $\text{HNO}_3$  sur du plomb métallique dont la transformation chimique peut être modélisée par l'équation de la réaction suivante :

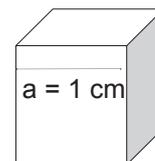


- Q11.** En conclusion de cette étude, expliquer en quoi ces expériences ont pu laisser croire aux alchimistes du Moyen-âge qu'elles permettaient de « transformer le plomb en or ».

## A.2 Donner à l'acier l'aspect de l'or

Si on ne sait pas transformer un métal vil en or, on peut lui en donner l'aspect en le recouvrant d'un fin dépôt d'or.

L'objectif de cette partie est d'étudier les conditions expérimentales à mettre en œuvre pour réaliser le plaquage à l'or d'un petit cube en acier d'arête  $a = 1$  cm par électrolyse. Le protocole suivant est envisagé :



### Protocole de plaquage à l'or par dépôt électrolytique

- Nettoyer la pièce à recouvrir à l'aide d'un morceau de papier absorbant imbibé d'éthanol.
- Préparer la solution électrolytique en réalisant les étapes suivantes :
  - Dissoudre 2,3 g d'aurocyanure de potassium  $\text{KAu}(\text{CN})_2(\text{s})$  dans 200 mL d'eau distillée afin d'obtenir une solution d'aurocyanure de potassium.
  - Ajouter 8 g d'acide citrique et 8 g de citrate de potassium. Ces composés n'interviennent pas dans le processus électrochimique. Ils servent de sels conducteurs et de sels tampon pour stabiliser le pH.
- Relier une électrode en platine en forme de grille (cf. photo ci-contre) au pôle positif (+) d'un générateur de tension continue variable. Brancher la pièce à recouvrir à la borne négative (-) du générateur.
- Disposer l'électrode de platine et la pièce à recouvrir dans un bécher de 250 mL puis y verser la solution électrolytique de façon à immerger totalement la pièce à recouvrir.
- Déclencher un chronomètre et ajuster rapidement la tension électrique du générateur entre 4,5 et 6 V afin que le courant ait la valeur préalablement choisie.
- Arrêter l'électrolyse à l'issue de la durée préalablement choisie.



### Données préalables :

À courant supposé constant de valeur  $I$ , la durée  $\Delta t$  de l'électrolyse dépend alors de la quantité de matière d'or à déposer  $n(\text{Au})$ . Celle-ci est donnée par la loi de Faraday :

$$n(\text{Au}) = \frac{I \cdot \Delta t}{F} \quad \text{avec : } n(\text{Au}) \text{ en mol ; } I \text{ en A ; } \Delta t \text{ en s ; } F = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ (constante de Faraday).}$$

Source : d'après les techniques de l'ingénieur, article Réf : M1625 v2

### Données :

- $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$  se nomme l'ion aurocyanure ;
- couples redox intervenant dans le procédé de galvanisation :
  - o  $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
  - o  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^- (\text{aq})/\text{Au}(\text{s})$ . Remarque : les ions  $\text{CN}^-$  interviennent dans la demi-équation électronique de ce couple ;
- formules brutes : acide citrique :  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  ; citrate de potassium :  $\text{K}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  ;
- masse volumique de l'or :  $\rho(\text{Au}) = 19,3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  ;
- masse molaire de l'or :  $M(\text{Au}) = 197 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Q12.** Réaliser un schéma légendé du montage expérimental en précisant :

- toutes les espèces chimiques présentes dans la solution électrolytique ;
- la polarité et le nom de chaque électrode ;
- le sens de circulation des électrons et du courant ;
- la réaction électrochimique se produisant à la surface du cube en acier ;
- la réaction électrochimique se produisant à la surface de la grille de platine.

En France, les normes imposent une épaisseur d'or d'au moins 3 micromètres pour considérer un objet « plaqué or ».

**Donnée :** L'intensité du courant est considérée constante et de valeur 60 mA pendant toute la durée de l'électrolyse.

**Q13.** Déterminer la valeur de la masse d'or minimale à déposer sur le cube en acier pour qu'il obtienne la mention « plaqué or ». On considère que le volume d'or déposé est égal à l'aire de la surface du cube multipliée par l'épaisseur de la couche déposée.

**Q14.** En déduire la durée minimale de l'électrolyse nécessaire au placage or et ainsi donner l'illusion d'avoir transformé de l'acier en or. Commenter le résultat obtenu.

## B. La mandragore

Dans le récit d'Harry Potter, la mandragore est une plante magique. Ses racines ont l'apparence d'un bébé (photo ci-contre) dont le cri peut étourdir, voir tuer, celui qui ne se protège pas lorsqu'il arrache la plante de la terre.

Source : Wikipedia

Dans la réalité, la mandragore est une plante aux propriétés narcotiques et hallucinogènes dotée d'impressionnantes racines qui peuvent évoquer des formes humaines (photo ci-contre). Ces caractéristiques ont nourri d'innombrables légendes depuis l'antiquité.



Image extraite du film Harry Potter



Racines de mandragore

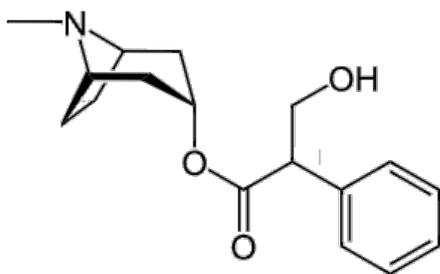
Source [https://www.youtube.com/@the\\_mandragorium3090](https://www.youtube.com/@the_mandragorium3090)

Dans cette partie, nous étudierons les composés chimiques responsables des propriétés psychoactives de la mandragore. Puis nous verrons comment les extraire de la plante et les identifier. Enfin nous étudierons une voie de synthèse.

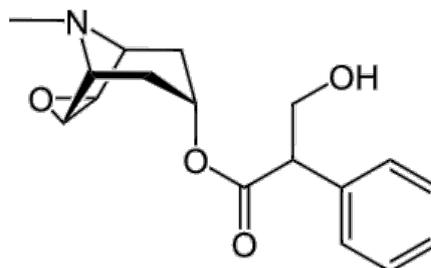
### B.1 Les molécules à l'origine des légendes : les alcaloïdes

Plus de 3 000 différents types d'alcaloïdes ont été identifiés parmi les espèces végétales. Ces molécules telles que la nicotine, la cocaïne, la morphine sont dotées de puissances propriétés psychoactives.

La mandragore contient deux alcaloïdes tropaniques : l'hyoscyamine et la scopolamine (formules ci-dessous). Ces deux molécules sont responsables des hallucinations et de la narcose (état proche du sommeil) qui surviennent si la mandragore est consommée.

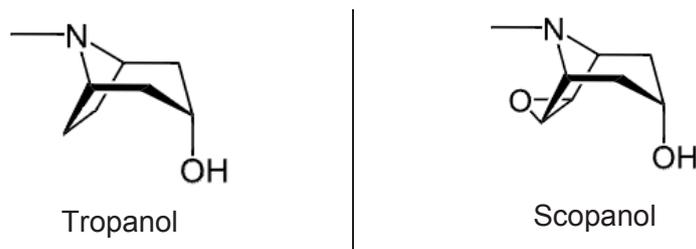


Hyoscyamine



Scopolamine

Les alcaloïdes tropaniques – sous-famille des alcaloïdes - sont des esters qui peuvent être formés à partir d'un acide carboxylique et d'un alcool qui peut être soit le tropanol, soit le scopanol (formules ci-dessous).



- Q15.** Sur le **document réponse à rendre avec la copie** page 21, entourer et nommer les fonctions chimiques communes à l'hyoscyamine et à la scopolamine.
- Q16.** Représenter sur votre copie la formule topologique de l'acide carboxylique qui, par réaction d'estérification avec le tropanol ou le scopanol, peut conduire à la formation de l'hyoscyamine et de la scopolamine.
- Q17.** Sur le **document réponse à rendre avec la copie** page 21, identifier par un astérisque (\*) le(s) carbone(s) asymétrique(s) de l'hyoscyamine et de la scopolamine.
- Q18.** Représenter sur votre copie la formule de la (S)-Hyoscyamine. Justifier votre réponse en appliquant les règles de Cahn, Ingold et Prelog (CIP).

## B.2 Extraction des alcaloïdes présents dans la mandragore

On étudie dans cette partie le principe d'une voie d'extraction des alcaloïdes de la mandragore.

---

### Principe de l'extraction des alcaloïdes d'une plante :

Étape A : la plante sèche est pulvérisée puis mise dans une solution aqueuse concentrée d'acide sulfurique ( $2 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ).

Étape B : le mélange est ensuite filtré. Le filtrat est éventuellement concentré, puis alcalinisé par une solution aqueuse d'ammoniaque concentrée ( $\text{NH}_3(\text{aq})$ ) jusqu'à un pH de 10-12.

Étape C : la phase aqueuse est ensuite extraite à l'aide d'un solvant organique.

Étape D : le solvant organique est ensuite évaporé à l'évaporateur rotatif pour obtenir un résidu d'alcaloïdes bruts.

*Source : d'après Université de Montpellier, TP de pharmacognosie, « SAM Anticholinergique »*

---

Dans la suite, nous raisonnons uniquement sur l'hyoscyamine, le raisonnement étant généralisable aux autres alcaloïdes.

### Données :

- couple acido-basique de l'hyoscyamine noté  $\text{HyH}^+/\text{Hy}$  :  $\text{pK}_a = 9,7$  ;
- solubilités des formes protonée et non protonée de l'hyoscyamine :
  - o hyoscyamine- $\text{H}^+$  ( $\text{HyH}^+$ ) : supérieure à  $1\,000 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  dans l'eau à  $20\text{ °C}$  ;
  - o hyoscyamine ( $\text{Hy}$ ) :  $3,56 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  dans l'eau à  $20\text{ °C}$  ;
  - o hyoscyamine- $\text{H}^+$  ( $\text{HyH}^+$ ) : insoluble dans les solvants organiques ;

- Propriétés de quelques solvants organiques :

Solvant	Benzène	Chloroforme	Diméthyl-sulfoxyde	Ethanol	Ether diéthylique
Solubilité de l'hyoscyamine dans le solvant	Partiellement soluble	Facilement soluble	Facilement soluble	Facilement soluble	Facilement soluble
Miscibilité du solvant et de l'eau	Non miscible	Non miscible	Miscible	Miscible	Non miscible
Densité des solvants	0,88	1,48	1,1	1,03	0,71
Pictogrammes de sécurité					

- Q19.** Sur le **document réponse à rendre avec la copie** page 21, ajouter les doublets non liants manquants et compléter le mécanisme réactionnel en ajoutant la ou les flèches courbes adéquates permettant d'expliquer les propriétés acido-basiques de l'hyoscyamine.
- Q20.** A l'aide d'un diagramme de prédominance, indiquer la forme sous laquelle est l'hyoscyamine à l'étape A puis à l'étape B. On utilisera les notations simplifiées de l'hyoscyamine : Hy et HyH<sup>+</sup>.
- Q21.** A l'aide des données, expliquer l'intérêt de chacune de ces deux étapes.
- Q22.** Parmi les solvants présents dans le tableau ci-dessus choisir, en justifiant votre choix, le solvant organique le plus adapté pour réaliser l'étape C de ce protocole.

### B.3 Séparer et caractériser les alcaloïdes présents dans la mandragore

La mandragore synthétise naturellement en son sein deux alcaloïdes tropaniques : la (S)-Hyoscyamine et la (S)-Scopolamine.

Cependant, la (S)-Hyoscyamine se racémise au cours de la vie de la plante et pendant les processus d'extraction. Ainsi, une partie de la (S)-Hyoscyamine s'isomérisé en (R)-Hyoscyamine jusqu'à parfois atteindre un mélange racémique qu'on appelle alors l'atropine.

Cette partie porte sur la séparation et l'identification des alcaloïdes dans un résidu brut extrait d'un échantillon de racines de mandragore.

#### Séparation de la scopolamine et de l'hyoscyamine du résidu

La séparation de la scopolamine et de l'hyoscyamine du résidu brut est réalisée par chromatographie sur colonne de silice. On obtient deux fractions. Les deux énantiomères de l'hyoscyamine ne sont pas séparés mais la mesure du pouvoir rotatoire est un indicateur de la racémisation de l'hyoscyamine.

**Données :**

	(S)-Hyoscyamine	(S)-Scopolamine
Pouvoir rotatoire spécifique	- 21°·g <sup>-1</sup> ·mL·dm <sup>-1</sup>	- 38°·g <sup>-1</sup> ·mL·dm <sup>-1</sup>

**Q23.** Proposer deux raisons pour lesquelles une CCM ne sépare pas les énantiomères de l'hyoscyamine.

**Q24.** Estimer la valeur du pouvoir rotatoire qui est attendu pour :

- la fraction brute de (S)-Scopolamine ;
- la fraction brute d'Hyoscyamine si la racémisation est très faible ;
- la fraction brute d'Hyoscyamine si la racémisation est totale.

### **Séparation des énantiomères de l'hyoscyamine**

La séparation des énantiomères de l'hyoscyamine est alors réalisée par des colonnes chirales.

Une étude<sup>1</sup> a permis de déterminer la teneur en alcaloïdes tropaniques de 100 g de racines de Mandragore. Les résultats indiquent que le résidu d'alcaloïdes tropaniques extrait de 100 g de racines contient : 27 mg de (S)-Scopolamine et 203 mg d'hyoscyamine.

**Q25.** Dans l'hypothèse où l'excès énantiomérique de la (S)-Hyoscyamine par rapport à l'hyoscyamine totale est de 70 %, déterminer les valeurs des masses des trois alcaloïdes tropaniques contenus dans 100 g de racines.

### **Pollution d'aliments par la mandragore**

Les cultures céréalières peuvent être polluées par des plants de mandragore sauvage qui poussent très facilement dans les champs. Au vu de la forte toxicité de la (S)-Hyoscyamine, sa teneur dans les produits céréaliers sensibles, comme les tisanes pour bébé, est à contrôler.

Effectivement, les doses mortelles pour l'atropine administrée par voie orale sont de l'ordre de 2 mg/kg poids corporel pour les bébés.

**Données :** la (S)-Scopolamine et la (S)-Hyoscyamine ont une forte toxicité tandis que la (R)-Hyoscyamine en a peu ;

**Q26.** Déterminer la valeur de la masse de racines de mandragore qui représente un fort danger si un bébé devait l'ingérer. Vous explicitez vos hypothèses et votre démarche. Commenter le résultat en regard de la légende de la mandragore qui tue lorsque l'on arrache ses racines.

## **B.4 Une synthèse des alcaloïdes à des fins thérapeutiques**

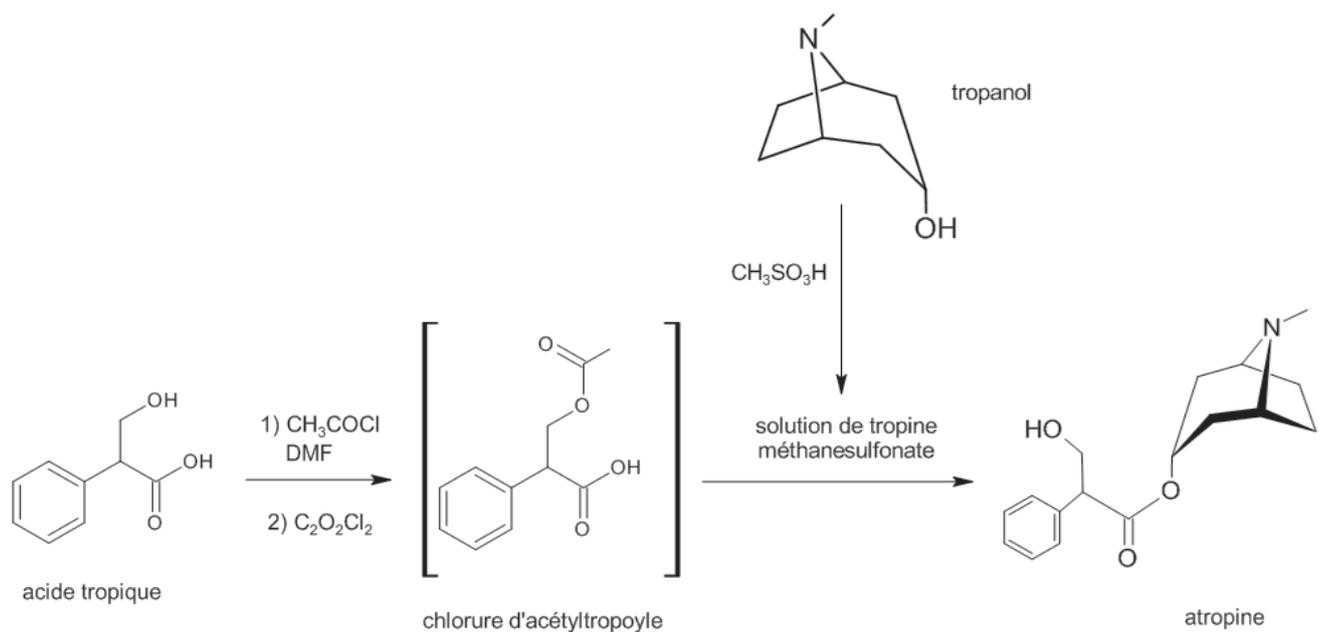
L'atropine - mélange racémique de (S)-Hyoscyamine et de (R)-Hyoscyamine - est hautement toxique. Cependant à faible dose elle est utilisée en médecine pour ses propriétés antispasmodiques.

Cette partie porte sur une synthèse<sup>2</sup> de l'atropine à partir de l'acide tropique suivant la séquence réactionnelle de la synthèse suivante (figure 1) :

---

<sup>1</sup> D'après [https://www.researchgate.net/publication/365412715\\_The\\_rise\\_and\\_fall\\_of\\_mandrake\\_in\\_medicine](https://www.researchgate.net/publication/365412715_The_rise_and_fall_of_mandrake_in_medicine)

<sup>2</sup> Synthèse proposée par Franck Lopes Costa et Hervé Lhermitte en 2014

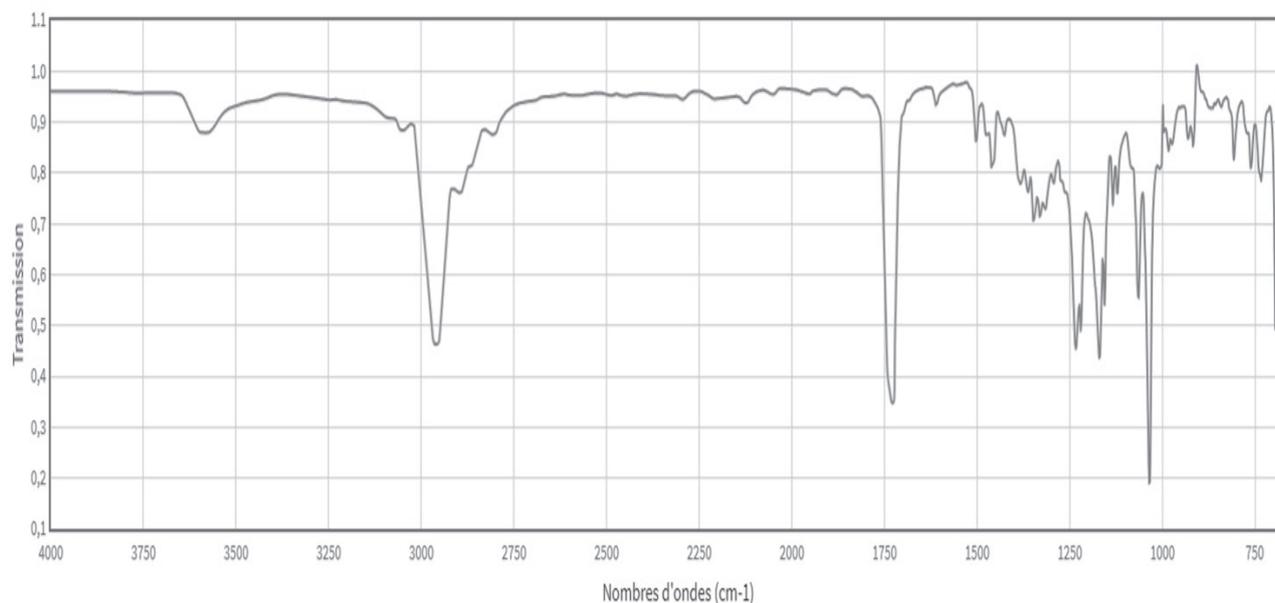


Source : <https://patents.google.com/patent/WO2016016692A1/en>

**Figure 1 : séquence réactionnelle de la synthèse de l'atropine.**

Le rendement brut de cette synthèse est de 75 %. Le produit brut est ensuite purifié par recristallisation avec un rendement de 90 %.

Une analyse par spectroscopie Infra-rouge (I.R.) est menée sur le produit purifié afin de s'assurer que la synthèse s'est bien déroulée.



Source : <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C51558&Mask=80>

**Figure 2 : spectre IR du produit purifié.**

- Q27.** En analysant le spectre I.R (figure 2) et à l'aide de l'**annexe 1** page 20 indiquer quelle(s) bande(s) présentes ou absentes permet(tent) de vérifier que la synthèse s'est correctement déroulée.
- Q28.** A l'aide de la séquence réactionnelle (figure 1), identifier la condition sur le(s) réactif(s) nécessaire à l'obtention d'un mélange de produits qui soit racémique.

## Données :

- masses molaires moléculaires :
  - o acide tropique  $M_1 = 166,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
  - o atropine  $M_2 = 289,4 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- dans la mandragore, les alcaloïdes tropaniques représentent environ 0,4 % en masse de la plante sèche.

**Q29.** Déterminer la masse d'acide tropique nécessaire pour obtenir 2 kg d'atropine par cette synthèse. Justifier l'intérêt de chercher une méthode d'obtention de ces molécules par voie de synthèse plutôt que par extraction des plantes.

## C. La voiture volante

Dans la saga, Harry et Ron se rendent à Poudlard en empruntant la voiture des parents de Ron, une Ford Anglia, qui a le pouvoir magique de voler ! La réalité pourrait bientôt rattraper la fiction. Des premiers essais concluants de taxis volants électriques ont réalisé au mois d'août 2024.



**La Ford Anglia**

Source : *Extrait du film*



**Taxi volant expérimental**

Source : <https://www.automobile-magazine.fr/>

Dans cette partie, nous allons étudier les moyens techniques qu'il faudrait réellement mettre en œuvre pour faire voler une Ford Anglia à l'aide d'hélices, tel un drone.

### Théorie de Froude

Pour estimer un dimensionnement correct de la propulsion d'un moteur en fonction de ses hélices, il faut dans un premier temps évaluer la puissance mécanique nécessaire à la sustentation du véhicule dans l'air. Pour effectuer cette première estimation, la théorie de Froude, énoncée en 1889, établit l'expression de la puissance produite par l'hélice en fonction du rayon de l'hélice et de la masse à sustenter.

La théorie de Froude se base sur plusieurs hypothèses :

- l'hélice est considérée comme un disque composé d'une infinité de pales qui augmente la valeur de la vitesse de l'air lorsqu'il passe au travers de l'hélice ;
- l'énergie cinétique communiquée à l'air qui compose l'écoulement est liée la puissance requise pour produire la force de poussée qui permet l'ascension de l'appareil ;
- on considère l'air passant au travers de l'hélice comme un fluide parfait et incompressible, ce qui est une bonne approximation pour des vitesses d'écoulement inférieures à Mach 0,3 ( $\text{Mach } 1 \approx 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

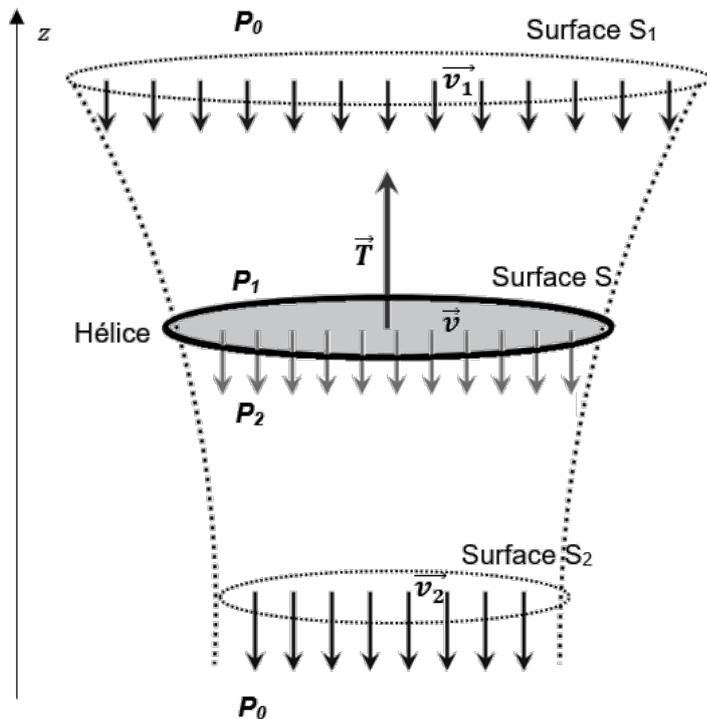
Source : d'après <https://www.isilf.be/wp-content/uploads/revues-articles/Articles/ISILF16p181pierrard.pdf>

## C.1 Modélisation de l'écoulement de l'air au travers une hélice

On considère une hélice en vol vertical ascendant à la vitesse  $v_{asc}$ . La figure 3 ci-dessous représente l'air mis en mouvement par le fonctionnement de l'hélice et définit toutes les grandeurs prises en compte dans la modélisation proposée dans le cadre de la théorie de Froude.

On considère que l'air mis en mouvement est un fluide parfait, incompressible, de masse volumique  $\rho$ .

**Le mouvement de l'air est décrit dans le référentiel de l'hélice.**



L'écoulement de l'air est délimité par les deux courbes en pointillés.

$\vec{v}_1$  : vecteur vitesse de l'air en amont de l'hélice

$\vec{v}_2$  : vecteur vitesse de l'air en aval de l'hélice

$\vec{v}$  : vecteur vitesse de l'air à la traversée de l'hélice

$S_1$ ,  $S$  et  $S_2$  : sections de la colonne d'air mise en mouvement ( $m^2$ )

$\vec{T}$  : force de poussée exercée par l'air sur l'hélice

$P_0$  : pression atmosphérique en amont lointain et en aval de l'hélice

$P_1$  : pression en amont immédiat de l'hélice

$P_2$  : pression en aval immédiat de l'hélice

D'après D. CORNETTE « Optimisation aéroélastique des pales d'hélicoptères » 2014.

**Figure 3 : modélisation de l'écoulement de l'air au travers une hélice.**

Lorsque l'hélice est en phase ascensionnelle, la valeur de la vitesse  $v$  de l'air accéléré au travers de l'hélice est plus grande que la valeur de la vitesse  $v_1$  de l'air en amont de l'hélice mais inférieure à  $v_2$  celle en aval

D'après <https://www.isilf.be/wp-content/uploads/revues-articles/Articles/ISILF16p181pierrard.pdf>

- Q30.** Justifier que la valeur de la vitesse  $v_1$  de l'air dans le référentiel de l'hélice, est égale à celle de l'ascension de l'hélice  $v_{asc}$  dans le référentiel terrestre.
- Q31.** Donner l'expression du débit en volume à travers la surface  $S_1$ , en fonction de  $S_1$  et  $v_1$  et indiquer son unité SI.
- Q32.** A l'aide des documents et du résultat de la question précédente, justifier que la section de l'écoulement est plus faible en aval de l'hélice qu'en amont.

L'accélération de l'air au travers de l'hélice induit une discontinuité de pression de l'air de part et d'autre du disque de l'hélice en vol ascensionnel. La pression de l'air sous le disque  $P_2$  est plus importante que celle de l'air au-dessus du disque  $P_1$  (voir figure 3).

- Q33.** Expliquer l'origine de la force de poussée  $\vec{T}$  exercée par l'air sur l'hélice et justifier son orientation vers le haut. Vous pourrez vous aider d'un schéma représentant les forces s'exerçant sur l'hélice.

On rappelle la relation de Bernoulli, reliant la pression  $P$ , la masse volumique  $\rho$ , l'altitude  $z$  et la vitesse d'écoulement du fluide  $v$  sur une même ligne de courant :

$$\rho \frac{v^2}{2} + \rho g z + P = \text{constante}$$

avec  $g$  l'intensité de la pesanteur.

**Q34.** Par application du théorème de Bernoulli, établir la relation entre  $P_1, P_0, v, v_1$  et  $\rho$  ainsi que la relation entre  $P_2, P_0, v, v_2$  et  $\rho$ . On néglige la variation d'altitude tout au long de l'écoulement.

**Q35.** En déduire l'expression de la différence de pression ( $P_2 - P_1$ ).

Les lois de la mécanique montrent que la valeur de la vitesse de l'air en aval est :  $v_2 = 2v - v_1$

**Q36.** A l'aide de la réponse à la question précédente, exprimer la force de poussée  $T$  en fonction de  $S, v$  et  $v_1$ .

## C.2 Application au vol de la Ford Anglia en vol stationnaire

Pour faire voler une Ford Anglia avec nos moyens actuels, on peut prendre modèle sur un drone muni de 4 hélices identiques qui propulsent chacune un flux d'air vers le bas.

On étudie dans cette partie le système voiture et ses passagers en vol stationnaire ( $v_{asc} = 0$ ) dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

**Donnée :** intensité de la pesanteur en Angleterre :  $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

### Estimation des paramètres du vol

La masse à vide de la Ford Anglia du père de Ron est de 750 kg.

**Q37.** Estimer la valeur de la masse totale  $m$  de la voiture et de ses 2 passagers.

Harry et Ron se sont rendu à Poudlard par une journée humide d'automne, or la masse volumique de l'air dépend fortement des conditions météorologiques, notamment de la température et l'humidité de l'air (figure 4).

Évolution de la masse volumique de l'air en fonction de la température pour différents taux d'humidité, à la pression de 1 bar

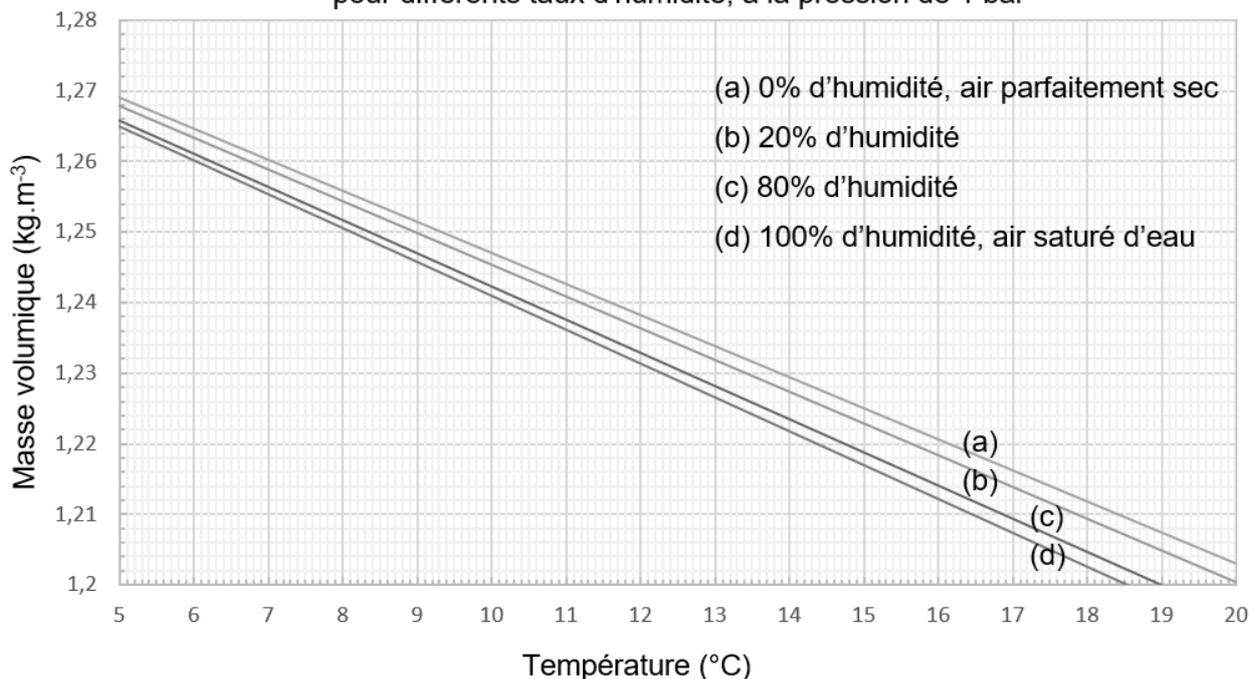


Figure 4 : masse volumique de l'air en fonction de la température et de l'humidité.

**Q38.** Proposer une estimation de la masse volumique  $\rho$  de l'air le jour du vol, en argumentant vos choix.

### Étude mécanique de la Ford suspendue par 4 hélices en vol stationnaire

En vol stationnaire, la valeur de la force exercée par l'hélice sur l'air qui la traverse, dans la théorie de Froude, s'exprime par la relation :  $F_h = 2\pi \times R^2 \times \rho \times v^2$  où  $R$  désigne le rayon de l'hélice et  $v$  la vitesse de l'air à la traversée de l'hélice et  $\rho$  la masse volumique de l'air.

**Données :** rayon de l'hélice :  $R = 0,50$  m ; Mach 1  $\approx 340$  m·s<sup>-1</sup>.

**Q39.** Établir, en appliquant les lois de la mécanique adéquates, la relation entre le vecteur poids  $\vec{P}$  du système en vol stationnaire et la force  $\vec{F}_h$  exercée par chaque hélice sur l'air.

**Q40.** Exprimer la vitesse d'écoulement de l'air  $v$  à travers chaque hélice en fonction de  $m, g, R$  et  $\rho$  puis calculer sa valeur.

**Q41.** Commenter le résultat obtenu en tenant compte des informations données sur la théorie de Froude.

## C.3 La batterie

Les 4 hélices sont reliées chacune à leur propre moteur, qui sont tous alimentés par une unique batterie. On supposera pour simplifier que les pertes d'énergie entre les moteurs et les hélices ou entre la batterie et les moteurs sont négligeables.

La puissance mécanique  $\phi_{méca}$  développée par une hélice s'exprime en fonction de la force de poussée  $F_h$  exercée par l'hélice sur l'air et de la vitesse  $v$  de l'air qui la traverse par la relation :  $\phi_{méca} = F_h \times v$ .

**Q42.** En appliquant un raisonnement sur un déplacement élémentaire  $\vec{dl}$  d'une surface d'air au voisinage immédiat de l'hélice pendant une durée élémentaire  $dt$ , établir l'expression du travail élémentaire de  $\vec{F}_h$  sur le déplacement  $\vec{dl}$  et en déduire que  $\phi_{méca} = F_h \times v$ .

**Q43.** Montrer que la puissance développée par une hélice est :  $\phi_{méca} = \sqrt{\frac{m^3 \times g^3}{128 \times \pi \times R^2 \times \rho}}$  et calculer sa valeur numérique.

Les batteries actuelles qui équipent les voitures électriques ont une densité énergétique moyenne de 180 Wh·kg<sup>-1</sup>.

La Ford Anglia étant modélisée par un drone à 4 hélices, la puissance électrique minimale fournie par la batterie en vol stationnaire est donc égale à  $4\phi_{méca}$ .

**Donnée :** Le Watt-heure, noté Wh, est une unité d'énergie traduisant la puissance consommée ou délivrée en Watt pendant une heure.

**Q44.** Déterminer la valeur de la masse de la batterie nécessaire à la Ford Anglia et ses passagers pour effectuer un vol stationnaire de 20 minutes. Commenter le résultat obtenu.

## D. La carte du Maraudeur

La carte du Maraudeur (image ci-contre) est une carte magique qui a le pouvoir d'indiquer la position et le nom de chaque personne se trouvant sur la carte en temps réel, avec une grande précision et quel que soit l'endroit où se trouve l'utilisateur.



Source Image : the-wizards-shop.com

Dans cette partie, nous allons étudier si une carte aussi performante que la « carte du Maraudeur », peut être fabriquée en utilisant la technologie GPS (sans équipement au sol, ni correction atmosphérique).

Un récepteur GPS (Global Positioning System) est un dispositif qui utilise le réseau de satellites pour déterminer sa position géographique précise. Chaque satellite envoie régulièrement un signal électromagnétique indiquant l'heure et sa position au moment de l'émission du signal. Pour un satellite donné, le récepteur GPS au sol compare l'heure de réception et l'heure d'émission du signal pour en déduire la distance le séparant du satellite. A chaque instant, le récepteur se positionne ainsi par rapport à trois satellites différents ce qui permet de déterminer sa position au sol par triangulation. La précision des horloges embarquées sur les satellites est un paramètre majeur qui influe sur la précision de la géolocalisation.

**Donnée :** vitesse de propagation des signaux électromagnétiques dans le vide ou dans l'air  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### Précision de la carte

**Q45.** Calculer la durée  $\Delta t$  qui s'écoule entre l'émission d'un signal électromagnétique et sa réception au château de Poudlard (sur Terre), si l'émetteur est placé sur un satellite situé à une distance du récepteur  $d = 20,5 \times 10^3 \text{ km}$ .

On note  $u(\Delta t)$  et  $u(d)$  les incertitudes-types portant respectivement sur  $\Delta t$ , la durée de propagation du signal GPS, et sur  $d$  la distance récepteur-satellite.

On montre que  $\frac{u(d)}{d} = \frac{u(\Delta t)}{\Delta t}$ , l'incertitude-type relative sur la vitesse  $c$  étant négligeable devant les autres termes.

Dans le récit, la carte du Maraudeur affiche les traces de pas de chaque personne. L'incertitude-type sur la position repérée au sol par le système de localisation GPS - équivalent à la carte magique - doit donc être de l'ordre de 20 cm.

En première simplification et pour estimer les ordres de grandeur, on fait l'hypothèse que l'incertitude-type de la position au sol est égale à l'incertitude-type sur la distance émetteur-satellite, soit  $u(d) = 20 \text{ cm}$

**Q46.** Déterminer la valeur de l'incertitude-type  $u(\Delta t)$  sur la mesure de la durée de propagation du signal entre le satellite et le château si  $u(d) = 20 \text{ cm}$ .

**Q47.** A l'aide des données ci-dessous et dans le cadre de la simplification proposée, commenter la faisabilité de réaliser une carte aussi précise que celle du Maraudeur en s'appuyant sur la technologie GPS.

**Données :** incertitude-type pour différentes technologies d'horloge

Type d'horloges	Incertitude-type sur la mesure du temps
Oscillateur à Quartz thermostaté	$1,0 \cdot 10^{-4} \text{ s}$
Horloge atomique d'un satellite GPS	$1,0 \cdot 10^{-8} \text{ s}$
Horloge atomique PHARAO (mise en service courant 2025)	$1,0 \cdot 10^{-11} \text{ s}$

## Portée du signal GPS

Dans le récit de Harry Potter, la carte du Maraudeur peut être utilisée indifféremment en extérieur, en intérieur et même dans les souterrains du château aux murs fortifiés. Or, les ondes radio utilisées par le GPS sont atténuées lorsqu'elles passent au travers de matériaux denses, comme la pierre ou le béton.

Un modèle couramment admis montre que l'intensité  $I(x)$  de l'onde après avoir parcouru une distance  $x$  dans le matériau peut se calculer par :

$$I(x) = I_0 \times e^{-\alpha x} \text{ où } \alpha \text{ est le coefficient d'atténuation du matériau et } I_0 \text{ l'intensité initiale de l'onde.}$$

On considère que le GPS est utilisable si l'intensité du signal reçu  $I$  est égale à au moins 20 % de l'intensité initiale  $I_0$  avant la traversée du matériau.

### Données :

- les signaux GPS sont codés sur deux fréquences différentes :  $f_1 = 1,6$  GHz et  $f_2 = 1,2$  GHz ;
- spectres électromagnétiques en annexe 2 page 20
- coefficient d'atténuation pour différents matériaux pour différentes fréquences de signal :

Coefficient d'atténuation $\alpha$ en $\text{cm}^{-1}$	SHF	UHF	HF
Bois	0,15	0,015	$5 \cdot 10^{-4}$
Granit	0,20	0,030	$6 \cdot 10^{-4}$
Béton	0,50	0,050	$1 \cdot 10^{-3}$

**Q48.** Rappeler la relation entre fréquence, longueur et célérité d'une onde puis déterminer à quel domaine précis du spectre électromagnétique les signaux GPS appartiennent.

**Q49.** Calculer l'épaisseur maximale d'un mur en granit compatible avec une utilisation du GPS en intérieur. Commenter le résultat obtenu au regard des qualités de la carte du Maraudeur.

## E. Refroidissement rapide de l'air par les « Détraqueurs »

Dans la saga Harry Potter, il apparaît des créatures terrifiantes, les Détraqueurs, qui se nourrissent des émotions humaines positives et qui semblent aspirer la chaleur et la lumière de l'environnement, créant une atmosphère glaciale autour de lui.

Source : d'après <https://chroniques-dacteon.fandom.com>

Dans le récit, lorsqu'un Détraqueur se présente à l'entrée d'un compartiment du train « Poudlard Express », du givre se forme sur les vitres (image ci-contre). On peut donc supposer que l'air s'est refroidi très rapidement.



Image extraite du film Harry Potter

Dans cette partie, on se propose d'étudier le fonctionnement d'une machine frigorifique qui refroidirait l'air aussi rapidement qu'un Détraqueur.

On étudie les conditions nécessaires au refroidissement de l'air contenu dans le compartiment du train, de la température initiale de  $\theta_I = 22$  °C à la température finale de  $\theta_F = -10$  °C.

On considérera que l'humidité de l'air est négligeable dans tout l'exercice.

### Données :

- dimensions d'un compartiment du train en mètres :  $L \times l \times h = 3,80 \times 2,40 \times 2,20$  ;
- masse volumique de l'air à 22°C :  $\rho_{\text{air}} = 1,20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;
- capacité thermique de l'air sec :  $C_p = 1006 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

### L'énergie absorbée par le Détraqueur

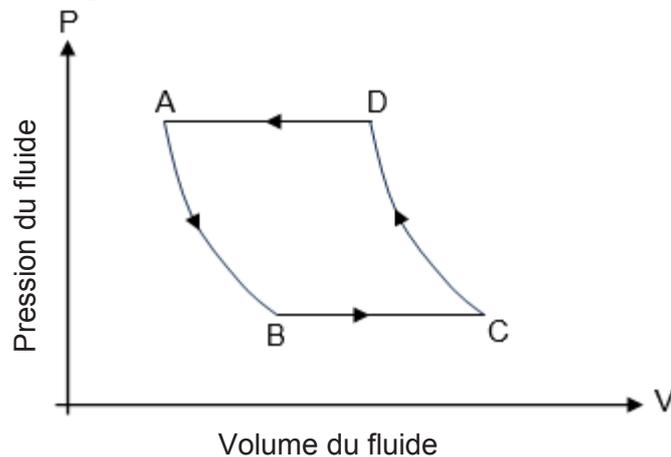
**Q50.** Déterminer la valeur de la masse d'air que contient le compartiment.

**Q51.** Déterminer la valeur de la quantité d'énergie thermique  $Q$  absorbée par le Détraqueur lorsqu'il pénètre dans le compartiment.

### Fonctionnement d'une machine frigorifique réelle

Une machine frigorifique (réfrigérateur, climatiseur...) est capable de refroidir une enceinte d'un certain volume en effectuant un transfert thermique de l'intérieur de l'enceinte vers le milieu extérieur. Son schéma de principe est donné en **document réponse à rendre avec la copie** page 22.

Pour cela, la machine fait subir à un fluide frigorigène une série de transformations physiques selon le cycle simplifié ci-dessous (figure 5).



**Figure 5 : cycle simplifié de transformation du fluide dans la machine frigorifique.**

Au cours d'un cycle, le fluide frigorigène passe de l'état gazeux à l'état liquide, puis repasse à l'état gazeux. Le cycle étudié est composé de 2 transformations isobares, d'une détente adiabatique et d'une compression adiabatique.

- Q52.** Sur le **document réponse à rendre avec la copie** page 22, identifier sur chaque partie du cycle la transformation ayant lieu (isobare, compression adiabatique ou détente adiabatique). Justifier vos réponses.
- Q53.** Sur le **document réponse à rendre avec la copie** page 22, placer les points A, B, C et D à leur place sur le schéma de principe de la machine frigorifique.
- Q54.** Indiquer le changement d'état subi par le fluide dans l'évaporateur. Préciser si le fluide gagne ou perd de l'énergie lors de cette transformation
- Q55.** Indiquer de l'évaporateur ou du condenseur celui qui doit être placé à l'intérieur de l'enceinte à refroidir et celui qui doit être placé à l'extérieur. Justifier votre réponse.

### Une machine frigorifique équivalente au Détraqueur

Pour évaluer le dimensionnement de la machine frigorifique équivalente à un détraqueur, on souhaite comparer la valeur de l'énergie thermique absorbée par le Détraqueur calculée à la question **Q51** à l'énergie thermique échangée par le fluide avec l'extérieur dans l'évaporateur. Le fluide utilisé est l'isobutane (aussi appelé R600a).

L'enthalpie de vaporisation de l'isobutane a pour valeur  $\Delta_{\text{vap}}h^{\circ}_{(\text{R600a})} = 366,5 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$  à la température de fonctionnement de la machine au niveau de l'évaporateur. On considérera que l'échange d'énergie thermique n'est dû qu'à la vaporisation du fluide.

**Q56.** Calculer la masse d'isobutane qui doit s'évaporer pour obtenir un refroidissement du compartiment identique au refroidissement que produirait un Détraqueur.

**Q57.** En utilisant le tableau ci-dessous, expliquer si la scène de l'apparition du Détraqueur est réalisable avec une machine thermique. Argumenter votre réponse.

**Donnée :** quelques valeurs de masse de fluide frigorigène dans des congélateurs domestiques :

Modèle de congélateur	Haier HCE203R	Whirlpool WZC3122DW	Beko HS10520
Masse de fluide frigorigène	100 g	120 g	90 g
Pourcentage en masse de fluide dans l'évaporateur durant le cycle	40 à 50 %		

## Annexe 1 : Table des nombres d'onde des vibrations d'élongation et de déformation

Liaison	Nature	Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Intensité F : fort ; m : moyen ; f : faible
O-H alcool libre	Élongation	3590-3650	F (fine)
O-H alcool lié	Élongation	3200-3600	F (large)
N-H amine	Élongation	3300-3500	M
N-H amide	Élongation	3100-3500	F
C <sub>di</sub> -H	Élongation	~ 3300	M ou f
C <sub>tri</sub> -H	Élongation	3030-3100	M
C <sub>tri</sub> -H aromatique	Élongation	3000-3100	M
C <sub>tet</sub> -H	Élongation	2850-2970	F
C <sub>tri</sub> -H aldéhyde	Élongation	2700-2900	M
O-H acide carboxylique	Élongation	2500-3200	F à m (large)
C≡C	Élongation	2100-2260	F
C≡N nitriles	Élongation	2200-2260	F ou m
C=O anhydride	Élongation	1800-1850 1740-1790	F
C=O chlorure d'acide	Élongation	1790-1815	F
C=O ester	Élongation	1735-1750	F
C=O aldéhyde et cétone	Élongation	1700-1740 abaissement de ~ 20 à 30 cm <sup>-1</sup> si conjugaison	F
C=O acide carboxylique	Élongation	1700-1725	F
C=O amide	Élongation	1650-1700	F
C=C	Élongation	1620-1690	M
C=C aromatique	Élongation	1450-1600	Variable ; 3 ou 4 bandes
C=N	Élongation	1640-1690	F ou m

C<sub>tet</sub> : C tétraogonal

C<sub>tri</sub> : C trigonal >C=

C<sub>di</sub> : C digonal -C≡

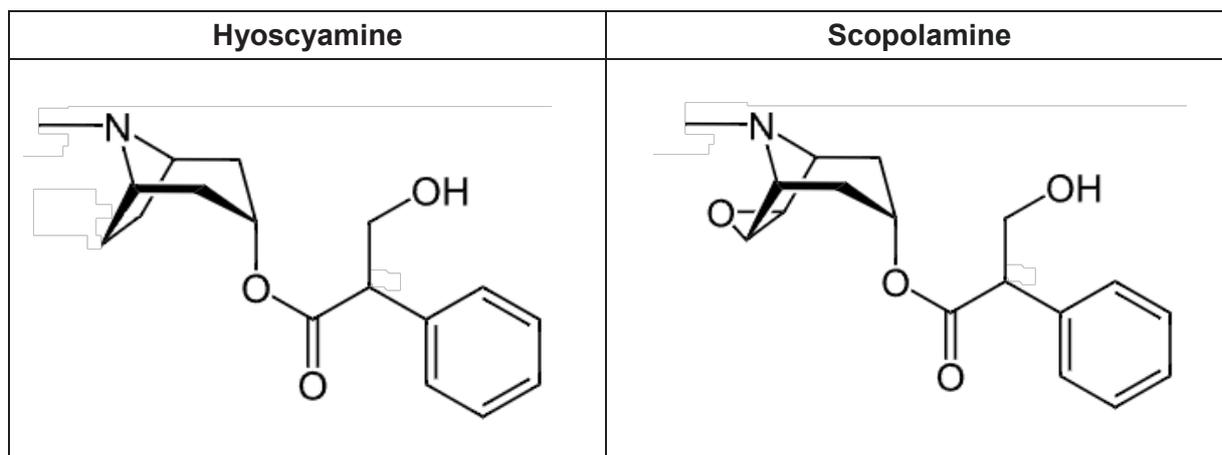
## Annexe 2 : Spectre électromagnétique

Ultraviolet (UV)					Visible	Infrarouge (IR)			Ondes radioélectriques												
X-UV	V-UV	UV-C	UV-B	UV-A		IR-A	IR-B	IR-C	EHF	SHF	UHF	THF	HF	MF	BF	TBF	UBF	SBF	EBF	TLF	
10 nm	100 nm	200 nm	280 nm	315 nm	340 nm	380 nm	780 nm	1,4 μm	3 μm	1 mm	1 cm	10 cm	1 m	10 m	100 m	1 km	10 km	100 km	10 <sup>3</sup> km	10 <sup>4</sup> km	10 <sup>5</sup> km

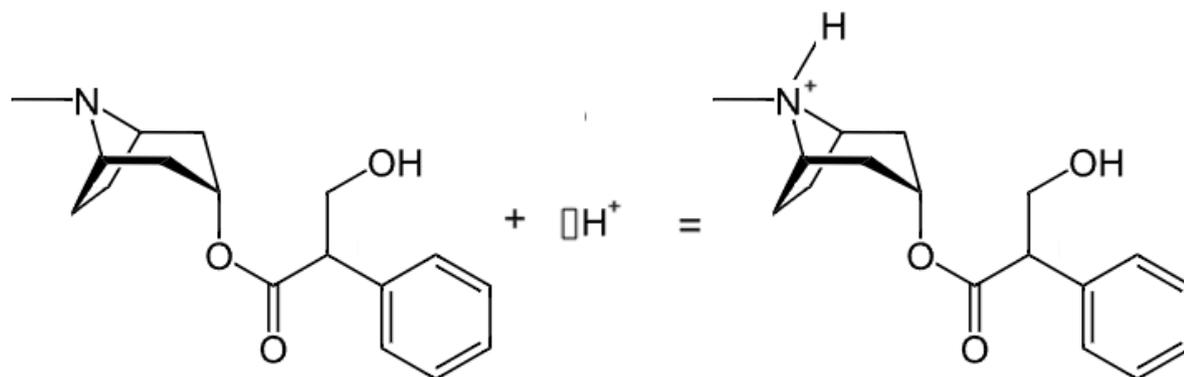
λ (m) →

Document réponse à rendre avec la copie Partie B :

Q15 et Q17 Identification des fonctions chimiques et des carbones asymétriques



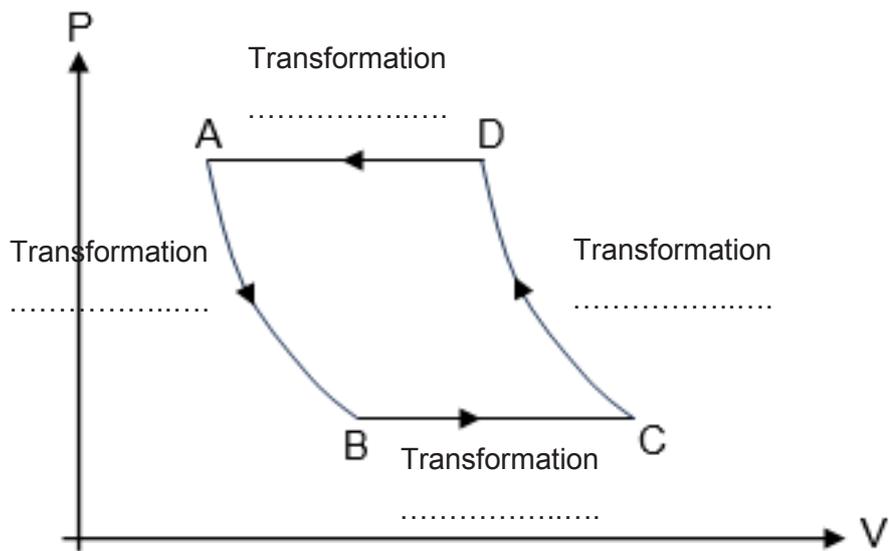
Q19 Mécanisme réactionnel à compléter





Document réponse à rendre avec la copie Partie E :

Q52. Cycle simplifié de transformation du fluide dans la machine frigorifique.



Q53. Schéma de principe d'une machine frigorifique

