Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2023**

# PHYSIQUE-CHIMIE

## Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

### Matériel autorisé

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** est autorisé.

L'usage de la calculatrice **sans mémoire**, « type collège », est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

**Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de 3 exercices.**

## EXERCICE 1 : COMPRENDRE LES NUAGES (11 POINTS)

La physique des nuages est l'étude des processus de formation et d'évolution des nuages et des précipitations qui les accompagnent. Les nuages sont formés de microscopiques gouttelettes. La formation et la stabilité d'un nuage dépendent notamment des mouvements verticaux de l'air dans celui-ci.

Dans une première partie, on étudie l'un des phénomènes permettant au nuage de ne pas tomber. Dans la deuxième et la troisième partie, on s'intéresse à un satellite permettant d'étudier les nuages. Dans la quatrième partie, on interroge le bien-fondé d'une expérience visant à influer sur la météo.

### A. Nuage et précipitations

Pourquoi les nuages ne tombent-ils pas ?

Les nuages sont constitués de gouttelettes d'eau de très petit diamètre (de 10 à 100 µm) qui demeurent en suspension dans l'air.

Pour répondre à l'éternelle question « pourquoi les nuages ne tombent-ils pas ? », il faut en premier lieu savoir que la formation des nuages implique le plus souvent des mouvements ascendants d'air, c'est-à-dire des mouvements de l'air vers le haut. En raison de leur faible masse, les gouttelettes entrant dans la constitution du nuage n'ont pas besoin de forces de grande intensité pour être maintenues en équilibre ou être entraînées dans un mouvement ascendant. […]

Finalement, l'état d'équilibre ou de mouvement vertical (ascendance ou chute, sous forme de pluie éventuellement) se ramène à l'étude du bilan entre deux forces colinéaires opposées : le poids de la gouttelette et la résultante verticale des forces d'agitation de l'air.

D'après *Météorologie, 100 expériences pour comprendre la météo* de Y. Corboz.

Pour mieux comprendre ce qui permet au nuage de rester en suspension, on s'intéresse à une gouttelette d'eau présente dans ce nuage. On modélise la situation de la gouttelette de la façon suivante :

- la gouttelette est supposée sphérique de rayon $r$ = 10 µm ;
- volume d'une sphère :

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \quad ;$$

- la gouttelette n'est soumise qu'à son poids $\vec{P}$ et à une force verticale $\vec{F}$ exercée par l'air, dirigée vers le haut ;
- la gouttelette est supposée initialement immobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen ;

- la valeur de la force exercée par l'air sur la gouttelette s'exprime de la façon suivante :

$F = k \cdot \eta \cdot r \cdot v$

$k$ : coefficient sans unité ; $k$ = 18,8

$\eta$ : viscosité de l'air ; $\eta = 15 \times 10^{-6}$ kg·m$^{-1}$·s$^{-1}$

$r$ : rayon de la goutte (en m)

$v$ : vitesse de l'air dans un référentiel lié à la gouttelette (en m·s$^{-1}$)

**Données :**

- intensité du champ de pesanteur : $g$ = 9,8 N·kg$^{-1}$ ;
- masse volumique de l'eau à 20 °C : $\rho_{eau}$ = 1000 kg·m$^{-3}$.

**Q.1.** Montrer que la valeur $P$ du poids de la goutte est environ $4{,}1 \times 10^{-11}$ N.

**Q.2.** Déterminer la valeur $F$ de la force verticale ascendante exercée par l'air sur la gouttelette pour une vitesse verticale de l'air de 0,10 m·s$^{-1}$.

**Q.3.** En déduire si la goutte monte, tombe ou reste immobile. Justifier.

Différents phénomènes (notamment des collisions) peuvent amener le rayon des gouttelettes à augmenter, provoquant leur chute, sous forme de pluie.

On suppose que la vitesse verticale ascendante de l'air reste inchangée.

**Q.4.** En exploitant les réponses aux questions précédentes, déterminer le rayon minimum que doit posséder une gouttelette pour tomber.

*Toute démarche cohérente, même incomplète, sera valorisée.*

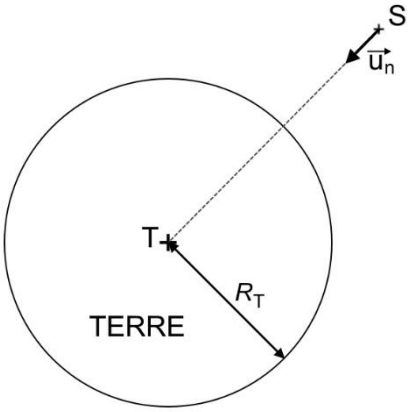
## B. Earthcare, un satellite pour étudier les nuages

EarthCARE (Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer) est un satellite d'observation de l'atmosphère terrestre faisant partie du programme Living Planet de l'ESA (European Space Agency). L'un des objectifs de cette mission est d'améliorer notre compréhension du bilan radiatif de la Terre et de ses effets sur le climat. Son lancement est prévu pour 2023. Le satellite effectuera environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour.

D'après *Wikipédia.*

**Données :**

- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67\times10^{-11}$ N·m²·kg$^{-2}$ ;
- masse de la Terre : $M_T = 5{,}97\times10^{24}$ kg ;
- rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37\times10^{3}$ km ;
- on considère que le satellite EarthCARE (noté S, de masse $M_S$) supposé ponctuel est en mouvement circulaire autour de la Terre à une altitude $h$ = 390 km.




**Q.5.** Exprimer la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{T/S}}$ que la Terre exerce sur le satellite, en fonction notamment du vecteur unitaire $\vec{u}_n$, de la masse de la Terre $M_T$, de la masse du satellite $M_S$, du rayon de la Terre $R_T$ et de l'altitude $h$.

**Q.6.** En appliquant la seconde loi de Newton et en utilisant le repère de Frenet, montrer que le mouvement du satellite est uniforme.

**Q.7.** Montrer que la valeur de la vitesse $v$ du satellite est donnée par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_T}{R_T + h}}$$

**Q.8.** Déduire des questions précédentes que la période de révolution du satellite est donnée par la relation :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G \times M_T}}$$

**Q.9.** Calculer la valeur de la période de révolution $T$ et déterminer si cette valeur est en accord avec la phrase d'introduction : « Le satellite effectuera environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour. »

## C. Radar profileur de nuage

Le satellite Earthcare, en passant au-dessus d'un nuage, pourra faire des analyses de ce nuage grâce à des instruments embarqués. L'un de ces instruments est un radar profileur de nuage, nommé Cloud Profiling Radar (CPR) dont le rôle est notamment d'étudier les mouvements verticaux des gouttelettes dans le nuage.

Le radar CPR envoie vers le nuage des ondes électromagnétiques. Les gouttelettes (dont le diamètre est de l'ordre de 10 à 100 µm) présentes dans le nuage renvoient une partie de ces ondes vers le satellite. Le signal reçu par le satellite est analysé.

Pour obtenir un signal exploitable, la longueur d'onde des ondes électromagnétiques émises par le CPR doit être supérieure à dix fois celle du diamètre des gouttelettes.

D'après *Wikipédia.*

**Données :** la longueur d'onde $\lambda$ (en m), la fréquence $f$ (en Hz) et la célérité d'une onde $c$ (en $m \cdot s^{-1}$) sont liées par la relation :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Le CPR utilise des ondes électromagnétiques de fréquence $f_e = 94{,}05 \times 10^9$ Hz.

**Q.10.** Déterminer si les ondes électromagnétiques utilisées par le CPR permettent d'obtenir un signal exploitable. Justifier la réponse.

Le satellite EarthCARE est situé à 390 km d'altitude à la verticale d'un nuage. Il se déplace à la vitesse $v = 7{,}5 \times 10^3$ $m \cdot s^{-1}$ par rapport au sol. Le nuage de dimension horizontale d'environ 1 km est immobile par rapport au sol et situé à une altitude moyenne de 2 km.

**Q.11.** Vérifier que la distance parcourue par le satellite durant le temps d'un aller-retour des ondes électromagnétiques entre le satellite et le nuage est très inférieure à la longueur du nuage. On négligera l'épaisseur du nuage.

## D. Une expérience contestée

En février 2021, divers journaux ont rapporté une expérience scientifique étonnante. Une équipe de l'université chinoise de Qinghai vient de tester l'effet d'un son très puissant : sous l'influence des ondes acoustiques émises à 160 dB, les précipitations auraient augmenté.

La mesure du niveau sonore de 160 dB a été réalisée à 1,0 m du haut-parleur.

Dans un article en ligne du journal anglais *Dailymail* du 5 février 2021, un journaliste relate avec enthousiasme cette expérience et affirme que les ondes sonores utilisées sont à peine audibles.

Exercice 1

**Données :**

- le niveau d'intensité sonore $L$ (en dB) est défini par :

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

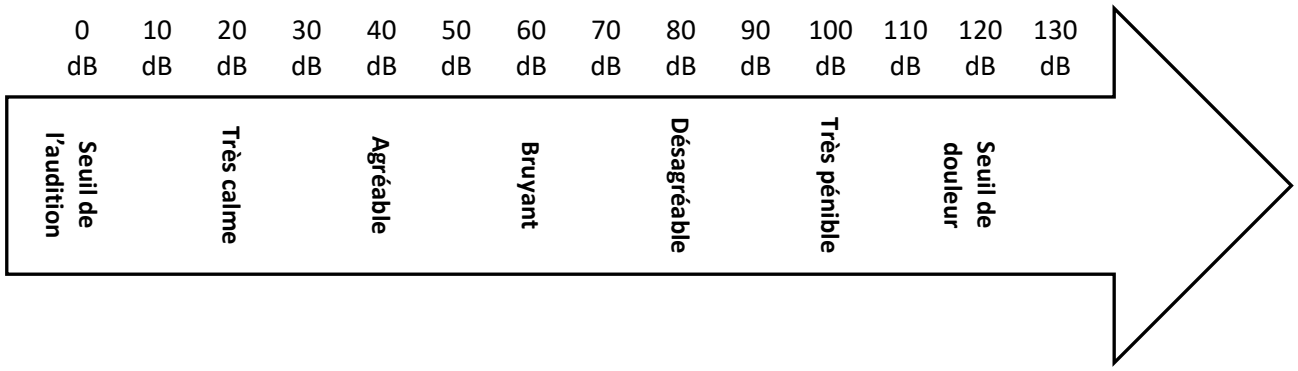
$I$ et $I_0$ sont exprimés en $W \cdot m^{-2}$ ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W \cdot m^{-2}$ ;

- l'intensité sonore $I$ (en $W \cdot m^{-2}$) est liée à la puissance sonore $P$ (en W) rayonnée par la source, qui se répartit au cours de la propagation sur une surface d'aire $S$ (en m²) :

$$I = \frac{P}{S}$$

avec $S = 4\,\pi \cdot d^2$ où $d$ (en m) est la distance qui sépare le récepteur de la source ;

- échelle de niveau d'intensité sonore (en dB) :




Pendant l'expérience réalisée par l'université chinoise de Qinghai, une personne se place à une distance $d$ du haut-parleur.

**Q.12.** Estimer la distance $d$ minimale pour qu'une personne ne subisse pas de gêne liée au bruit du haut-parleur. Commenter le point de vue du journaliste.

*Les hypothèses formulées par le candidat pour modéliser la situation devront être explicitées. La démarche suivie devra être clairement exposée et les calculs devront être détaillés.*

## EXERCICE 2 : SYNTHÈSE ET RECYCLAGE DU PET EN VANILLINE (5 POINTS)

Le polytéréphtalate d'éthylène (PET) est également connu sous de nombreux autres noms comme Dacron (USA) ou tergal (France). Il fait partie de la famille des polyesters.
Le PET est surtout utilisé pour la production de fibres synthétiques et pour la production de bouteilles en plastique.
Plusieurs méthodes permettent aujourd'hui de le recycler.

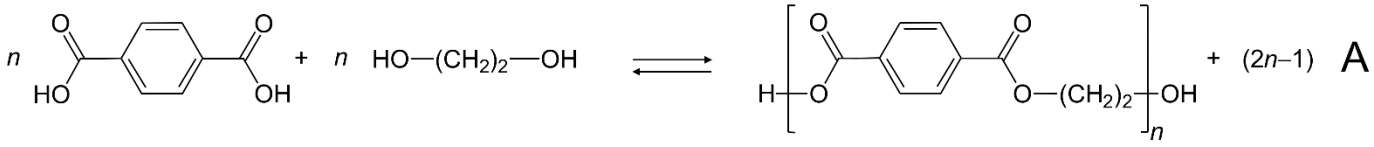
Cet exercice comporte deux parties. Dans la première partie, nous étudierons la synthèse du polytéréphtalate d'éthylène (PET) puis dans la deuxième partie, nous verrons l'une des voies de recyclage du PET, la voie microbienne.

**Données :** masses molaires atomiques M(O) = 16,0 g·mol$^{-1}$ ; M(H) = 1,0 g·mol$^{-1}$.

### A. Synthèse du PET

L'une des voies de synthèse utilise la transformation chimique prenant place entre l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol. En nomenclature officielle l'éthylène glycol se nomme éthan-1,2-diol.

L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol conduisant au PET et à l'espèce chimique notée A, est la suivante :




acide téréphtalique éthylène glycol PET

Le protocole expérimental de synthèse du PET est le suivant :

Étape 1 : on introduit dans un ballon 20,0 g d'acide téréphtalique et 40 mL d'éthylène glycol, puis le mélange est porté à reflux sous vide pendant 5 h. Le produit A est éliminé au cours de la transformation. Le milieu réactionnel obtenu à l'issue de la transformation est visqueux et de couleur brune grisâtre.

Étape 2 : ce milieu réactionnel contenant le PET est traité par plusieurs lavages successifs à l'éthanol et au pentane.

Étape 3 : ce milieu réactionnel est ensuite séché puis analysé par chromatographie et par spectrométrie infrarouge (IR).

Exercice 2

Tableau de présentation des réactifs :

| réactif | masse (g) ou volume (mL) | masse molaire ($g \cdot mol^{-1}$) | température d'ébullition (°C) | masse volumique ($g \cdot mL^{-1}$) | risques |
|---|---|---|---|---|---|
| acide téréphtalique | 20,0 g | 166,14 | - | 1,51 | Nocif pour la peau et les yeux |
| éthylène glycol | 40 mL | 62,07 | 196 | 1,1 | Nocif<br>Irritant yeux/voies respiratoires<br>Inflammable<br>Explosif |

Le produit A de la transformation est éliminé en continu.

D'après le site *Ramènetessciences.*

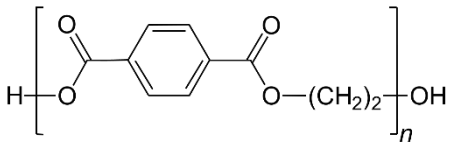
**Q.1.** Indiquer les précautions à prendre pour la manipulation des réactifs.

**Q.2.** Identifier la molécule A formée lors de l'étape 1. Préciser sa formule chimique et son nom.

**Q.3.** Expliquer l'intérêt d'éliminer la molécule A au cours de l'étape 1.

**Q.4.** Nommer les étapes 1, 2 et 3 du protocole expérimental.

La formule chimique du PET est :




**Q.5.** Expliquer pourquoi le PET appartient à la famille des polyesters.

**Q.6.** Identifier le motif du PET.

L'analyse du PET synthétisé permet d'évaluer sa masse molaire moyenne à 3 600 $g.mol^{-1}$.

**Q.7.** Sachant que la masse molaire du motif $M_{motif}$ du polymère est de 192 $g.mol^{-1}$, estimer la valeur de *n.*

Une bouteille en plastique est constituée, en moyenne, de 32 g de PET.

**Q.8.** Déterminer, en justifiant, si la synthèse réalisée permet de fabriquer une bouteille en plastique.

*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.*

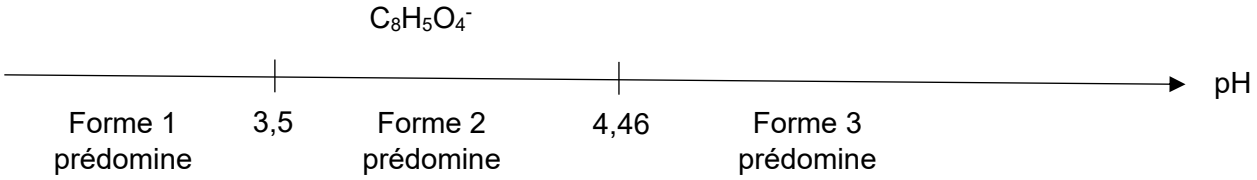
## B. Synthèse microbienne de la vanilline à partir de déchets de PET

Une équipe de chercheur de l'Université d'Edimbourg a publié un article dans la revue « *Green Chemistry*, 2021, 23, 4665 » dans lequel elle explique comment elle a développé un premier recyclage biologique de déchets plastiques de PET en vanilline à l'aide d'un micro-organisme modifié.

Le polymère est dans un premier temps hydrolysé en deux monomères, l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol. L'acide téréphtalique est un diacide que l'on peut noter $AH_2$ dont les deux $pK_A$ sont $pK_{A1}$ = 3,5 et $pK_{A2}$ = 4,46.

**Q.9.** Donner la définition d'un acide selon Bronsted.

Les domaines de prédominance de l'acide téréphtalique sont donnés sur le diagramme suivant :




**Q.10.** Indiquer les formules brutes des formes 1 et 3 présentes sur le diagramme précédent.

Les chercheurs ont étudié comment maximiser le rendement en vanilline lors du recyclage du PET. Ils ont observé que les micro-organismes permettant d'obtenir la vanilline ne peuvent pas jouer leur rôle efficacement en présence d'une forme acide de l'acide téréphtalique. De plus, ils ont remarqué expérimentalement qu'en milieu trop fortement basique la transformation est limitée. Ils ont établi expérimentalement qu'une solution tampon à *pH* = 5,5 permet d'arriver à leur fin.

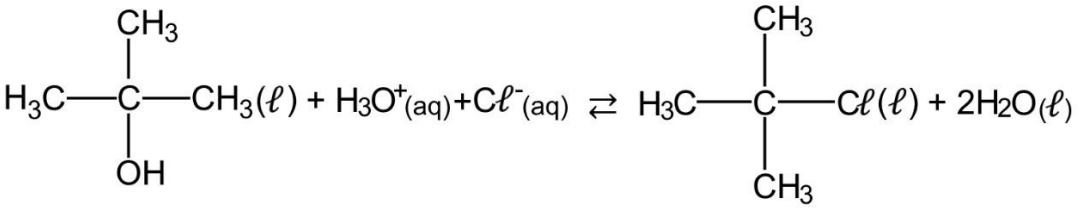
**Q.11.** Montrer que le choix d'une solution tampon à *pH* = 5,5 respecte les conditions expérimentales souhaitées.

## EXERCICE 3 : PRÉPARATION DU CHLORURE DE TERTIOBUTYLE (4 POINTS)

Les halogénoalcanes sont des espèces chimiques très réactives et très utilisées comme agents de synthèse. Les halogénoalcanes existants peu à l'état naturel, la grande majorité doit être synthétisée.

On s'intéresse à la préparation du chlorure de tertiobutyle (ou 2-chloro-2-méthylpropane) à partir du tertiobutanol (ou 2-méthylpropan-2-ol).

En effet, le tertiobutanol réagit avec de l'acide chlorhydrique pour former le chlorure de tertiobutyle et de l'eau selon la réaction d'équation :




Tertiobutanol — Chlorure de tertiobutyle

**Données :**

- | | M ($g \cdot mol^{-1}$) | Température d'ébullition (°C) | Température de fusion (°C) | Densité *d* | Miscibilité à l'eau |
|---|---|---|---|---|---|
| Tertiobutanol | 74,0 | 83 | 26 | 0,775 | oui |
| Chlorure de tertiobutyle | 92,5 | 52 | -25 | 0,851 | non |

- acide chlorhydrique commercial concentré HCℓ(aq) :
  - pourcentage massique : $w$ = 37 %
  - densité à 20 °C : $d$ = 1,19
- masse molaire de l'acide chlorhydrique : $M$ = 36,5 $g \cdot mol^{-1}$ ;
- masse volumique de l'eau à 20 °C : $\rho_{eau}$ = 1,00 × $10^3$ $g \cdot L^{-1}$ ;
- couples acide/base : $CO_2, H_2O(aq)$ / $HCO_3^-(aq)$ ; $HCO_3^-(aq)$/ $CO_3^{2-}(aq)$ ; $H_3O^+(aq)$ / $H_2O(l)$ ; $H_2O(l)$ / $HO^-(aq)$ .
- extrait d'une table de spectroscopie infrarouge :

| Liaison | Nombre d'onde σ (en $cm^{-1}$) | Intensité |
|---|---|---|
| O-H alcool libre | 3500 - 3700 | Forte, fine |
| O-H alcool lié | 3200 - 3400 | Forte, large |
| O-H acide carboxylique | 2500 - 3200 | Forte à moyenne, large |
| C-H alcène | 3000 - 3100 | Moyenne |
| C-H alcane | 2800 - 3000 | Forte |
| C – O | 1000 - 1300 | Forte |
| C = O | 1650 - 1750 | Forte |

**Q.1.** Représenter la formule topologique du tertiobutanol. Entourer le groupe caractéristique et nommer la famille fonctionnelle correspondante.

À partir d'acide chlorhydrique commercial concentré à 37 % en masse, on prépare un volume $V$ = 250,0 mL d'une solution d'acide chlorhydrique S à la concentration $C$ = 2,4 mol·L$^{-1}$.

**Q.2.** Présenter la démarche à mettre en œuvre pour préparer la solution S, en indiquant la verrerie utilisée parmi la liste suivante :

- Béchers : 50 mL ; 100 mL ; 250 mL
- Éprouvettes graduées : 50 mL ; 100 mL ; 250 mL ; 500 mL
- Pipettes jaugées de 5,0 mL ;10,0 mL ; 20,0 mL ; 50,0 mL
- Fioles jaugées de 50,0 mL ; 100,0 mL ; 250,0 mL ; 500,0 mL

Protocole de synthèse du chlorure de tertiobutyle à partir du tertiobutanol :

Étape 1 : dans un erlenmeyer de 250 mL, introduire successivement une masse $m_A$ = 5,00 g de tertiobutanol, préalablement fondu au bain-marie et un volume $V$ = 100 mL d'acide chlorhydrique S à une concentration $C$ = 2,4 mol·L$^{-1}$, réactif en excès. Boucher et porter sous agitation magnétique pendant 10 minutes.

Étape 2 : introduire le mélange dans une ampoule à décanter. Effectuer un premier lavage en introduisant, dans l'ampoule à décanter, 150 mL d'une solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium $Na^+(aq) + HCO_3^-(aq)$. Agiter en dégazant le contenu de l'ampoule, laisser décanter et séparer la phase aqueuse. Effectuer un second lavage de la phase organique en ajoutant 25 mL d'eau déminéralisée. Agiter, laisser décanter et recueillir la phase organique dans un erlenmeyer bien sec.

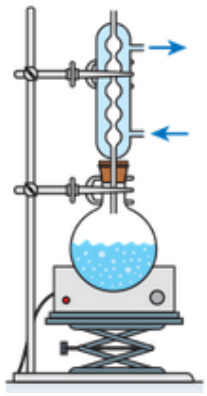
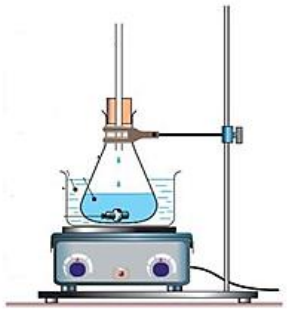
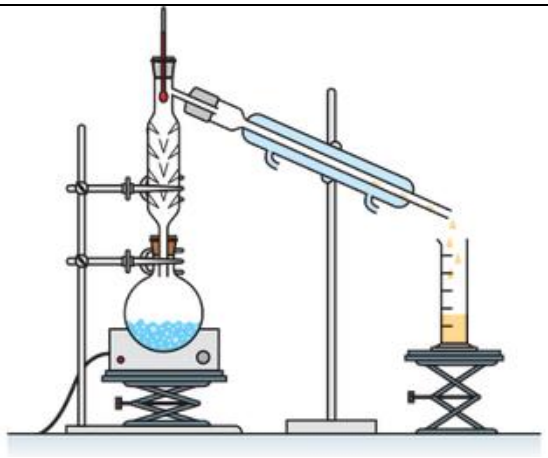
Étape 3 : sécher la phase organique avec du chlorure de calcium anhydre. Filtrer et récupérer le filtrat dans un ballon de 100 mL. Effectuer une distillation afin de recueillir le chlorure de tertiobutyle pur.

Étape 4 : identifier le chlorure de tertiobutyle obtenu par spectroscopie infra-rouge.

Le premier lavage, à l'aide de la solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium, permet d'éliminer les ions oxonium.

**Q.3.** Écrire l'équation de la réaction acide-base qui modélise la transformation chimique ayant lieu dans l'ampoule à décanter (étape 2) et préciser le nom du gaz formé.

**Q.4.** Parmi les montages ci-après, indiquer celui utilisé pour purifier le chlorure de tertiobutyle par distillation.

|  |  |  |
|---|---|---|
| **Montage A** | **Montage B** | **Montage C** |

**Q.5.** La figure 1 fournit les spectres IR du tertiobutanol et du chlorure de tertiobutyle. Attribuer chaque spectre à une espèce chimique en explicitant le raisonnement.

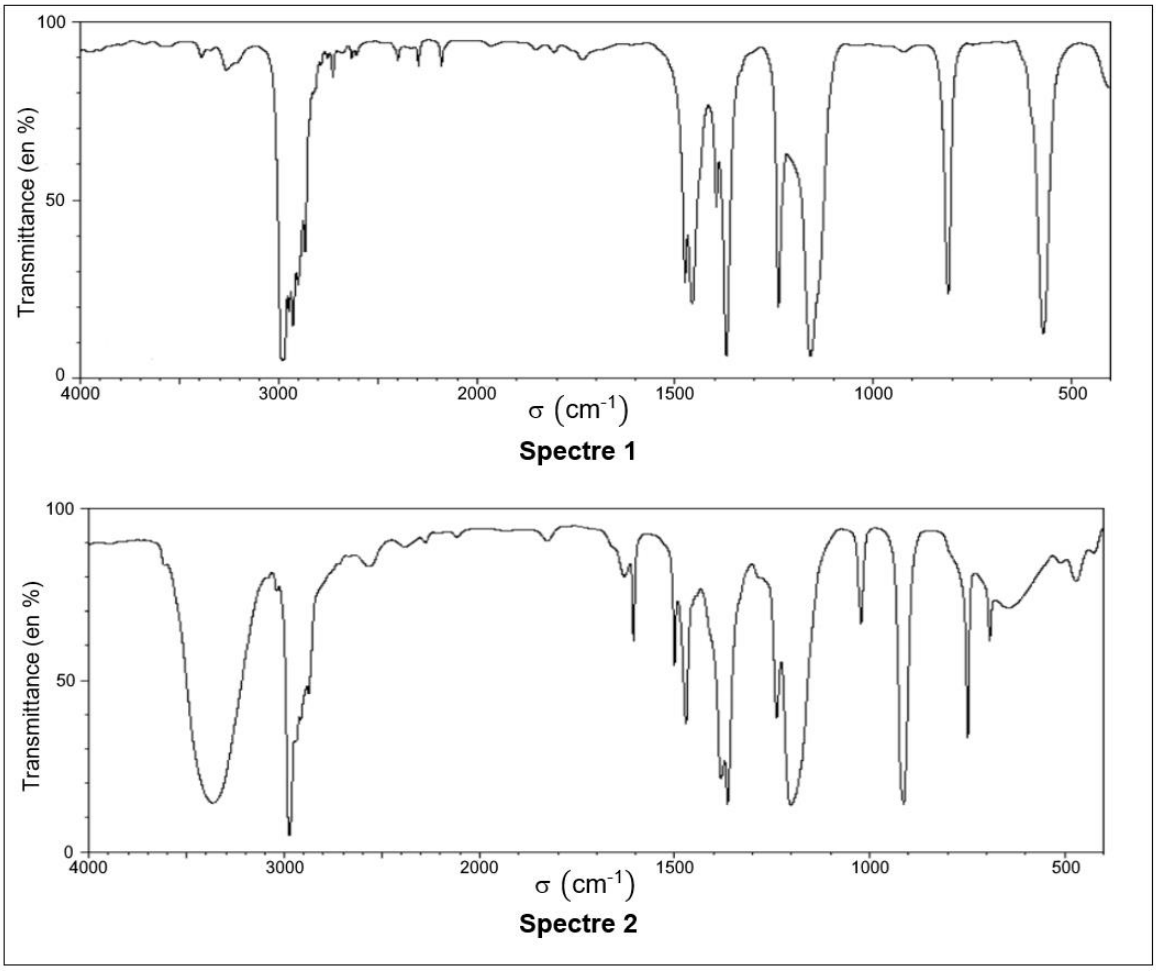



*Figure 1. Les spectres IR*

**Q.6.** À l'issue de la distillation, on recueille une masse $m$ = 4,45 g de chlorure de tertiobutyle. Déterminer la valeur du rendement de la synthèse.

*Le candidat est invité à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.*

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.