

No part of this product may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means, including information storage and retrieval systems, without written permission from the IB.

Additionally, the license tied with this product prohibits commercial use of any selected files or extracts from this product. Use by third parties, including but not limited to publishers, private teachers, tutoring or study services, preparatory schools, vendors operating curriculum mapping services or teacher resource digital platforms and app developers, is not permitted and is subject to the IB's prior written consent via a license. More information on how to request a license can be obtained from <http://www.ibo.org/contact-the-ib/media-inquiries/for-publishers/guidance-for-third-party-publishers-and-providers/how-to-apply-for-a-license>.

Aucune partie de ce produit ne peut être reproduite sous quelque forme ni par quelque moyen que ce soit, électronique ou mécanique, y compris des systèmes de stockage et de récupération d'informations, sans l'autorisation écrite de l'IB.

De plus, la licence associée à ce produit interdit toute utilisation commerciale de tout fichier ou extrait sélectionné dans ce produit. L'utilisation par des tiers, y compris, sans toutefois s'y limiter, des éditeurs, des professeurs particuliers, des services de tutorat ou d'aide aux études, des établissements de préparation à l'enseignement supérieur, des fournisseurs de services de planification des programmes d'études, des gestionnaires de plateformes pédagogiques en ligne, et des développeurs d'applications, n'est pas autorisée et est soumise au consentement écrit préalable de l'IB par l'intermédiaire d'une licence. Pour plus d'informations sur la procédure à suivre pour demander une licence, rendez-vous à l'adresse <http://www.ibo.org/fr/contact-the-ib/media-inquiries/for-publishers/guidance-for-third-party-publishers-and-providers/how-to-apply-for-a-license>.

No se podrá reproducir ninguna parte de este producto de ninguna forma ni por ningún medio electrónico o mecánico, incluidos los sistemas de almacenamiento y recuperación de información, sin que medie la autorización escrita del IB.

Además, la licencia vinculada a este producto prohíbe el uso con fines comerciales de todo archivo o fragmento seleccionado de este producto. El uso por parte de terceros —lo que incluye, a título enunciativo, editoriales, profesores particulares, servicios de apoyo académico o ayuda para el estudio, colegios preparatorios, desarrolladores de aplicaciones y entidades que presten servicios de planificación curricular u ofrezcan recursos para docentes mediante plataformas digitales— no está permitido y estará sujeto al otorgamiento previo de una licencia escrita por parte del IB. En este enlace encontrará más información sobre cómo solicitar una licencia: <http://www.ibo.org/es/contact-the-ib/media-inquiries/for-publishers/guidance-for-third-party-publishers-and-providers/how-to-apply-for-a-license>.

**Chimie**  
**Niveau supérieur**  
**Épreuve 2**

Mercredi 22 mai 2019 (après-midi)

Numéro de session du candidat

2 heures 15 minutes

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

**Instructions destinées aux candidats**

- Écrivez votre numéro de session dans les cases ci-dessus.
- N'ouvrez pas cette épreuve avant d'y être autorisé(e).
- Répondez à toutes les questions.
- Rédigez vos réponses dans les cases prévues à cet effet.
- Une calculatrice est nécessaire pour cette épreuve.
- Un exemplaire non annoté du **recueil de données de chimie** est nécessaire pour cette épreuve.
- Le nombre maximum de points pour cette épreuve d'examen est de **[90 points]**.



Répondez à **toutes** les questions. Rédigez vos réponses dans les cases prévues à cet effet.

1. L'éthyne, de formule  $C_2H_2$ , réagit avec l'oxygène dans les chalumeaux à souder.

(a) Écrivez une équation de la combustion complète de l'éthyne. [1]

.....  
.....

(b) (i) Déduisez la structure de Lewis de l'éthyne. [1]

(ii) Comparez, en donnant une justification, la longueur de la liaison entre les atomes de carbone dans l'éthyne avec cette longueur dans l'éthane, de formule  $C_2H_6$ . [1]

.....  
.....  
.....

(iii) Identifiez le type d'interaction à surmonter lors de l'évaporation de l'éthyne liquide. [1]

.....  
.....

(Suite de la question à la page suivante)

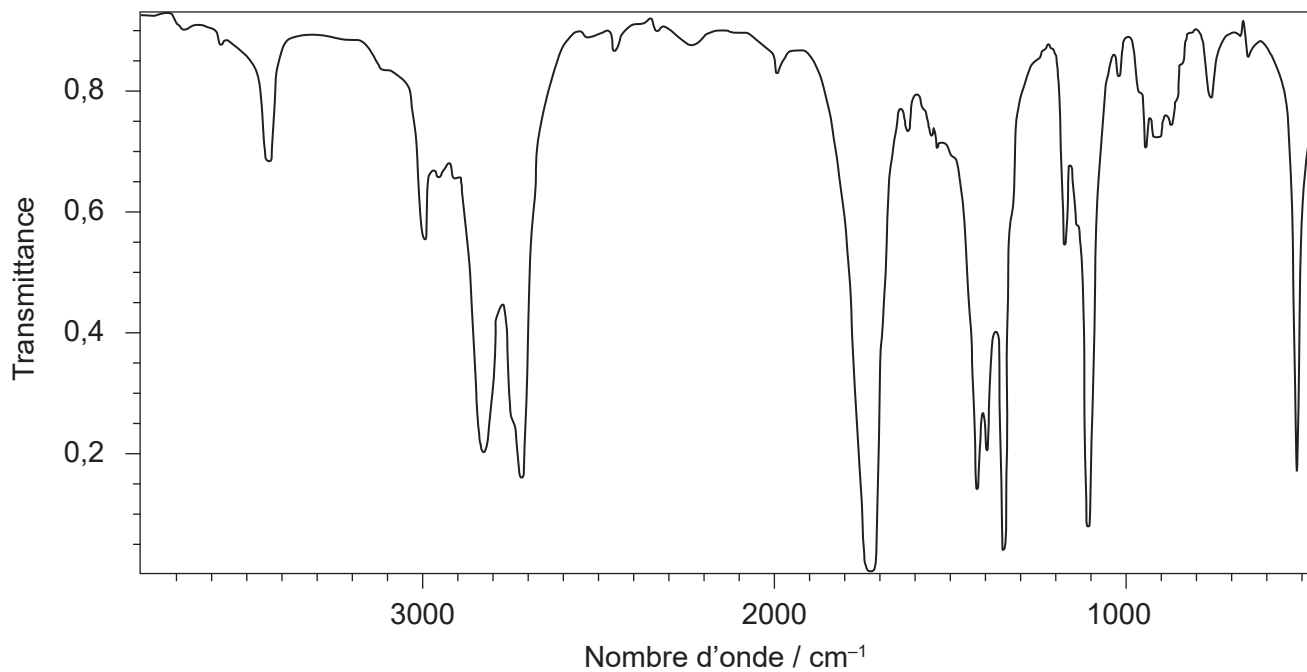




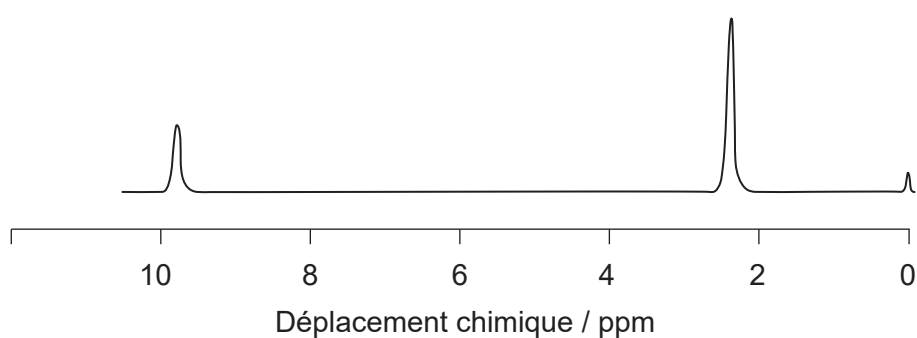
**(Suite de la question 1)**

- (iv) Le spectre IR et le spectre RMN  $^1\text{H}$  basse résolution du produit effectivement formé sont représentés ci-dessous.

Spectre IR



[Source : WebBook de chimie NIST. Base de données standard de référence (SRD) NIST numéro 69  
<https://webbook.nist.gov/chemistry/> DOI : <https://doi.org/10.18434/T4D303>  
<http://webbook.nist.gov/cgi/inchi?Spec=C75070&Index=2&Type=IR>  
Acétaldéhyde : données compilées par : Coblenz Society, Inc.]

Spectre RMN  $^1\text{H}$ 

**(Suite de la question à la page suivante)**



**(Suite de la question 1)**

À l'aide de ces spectres et des sections 26 et 27 du recueil de données, déduisez s'il s'agit du produit **A** ou **B**.

[2]

Identité du produit :

.....

Une justification déduite du spectre IR :

.....  
.....

Une justification déduite du spectre RMN <sup>1</sup>H :

.....  
.....

(v) Déduisez la figure de dédoublement que l'on peut attendre des signaux dans un spectre RMN <sup>1</sup>H haute résolution.

[2]

2,3 ppm:

.....

9,8 ppm:

.....

**(Suite de la question à la page 7)**



Veillez ne **pas** écrire sur cette page.  
Les réponses rédigées sur cette page  
ne seront pas corrigées.



**(Suite de la question 1)**

(d) Le produit **B**, de formule  $\text{CH}_3\text{CHO}$ , peut également être synthétisé à partir de l'éthanol.

(i) Suggérez les réactifs et les conditions nécessaires pour garantir un bon rendement de production de **B**. [2]

Réactifs :

.....

.....

Conditions :

.....

.....

(ii) Déduisez l'état d'oxydation moyen du carbone dans le produit **B**. [1]

.....

.....

(iii) Expliquez pourquoi le produit **B** est soluble dans l'eau. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....



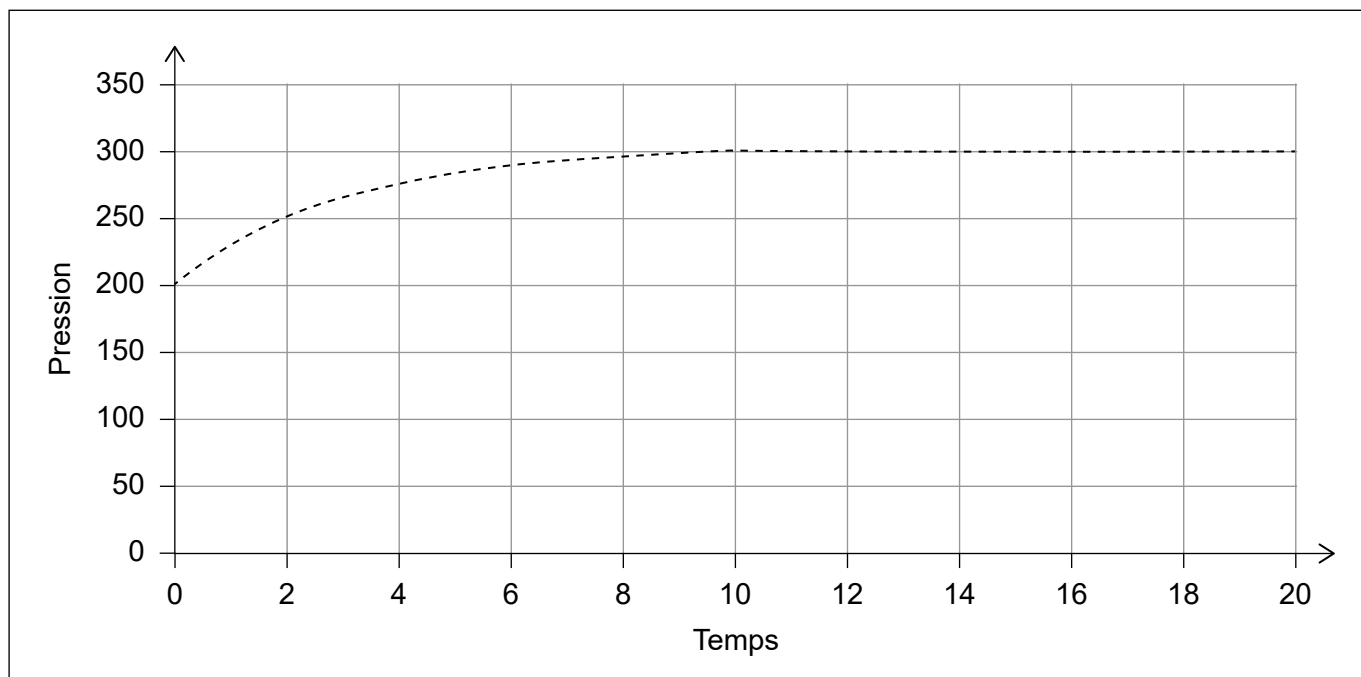


2. La décomposition thermique du protoxyde d'azote se produit selon l'équation suivante :



La réaction peut être suivie en mesurant la variation de la pression totale au cours du temps, à température constante.

L'axe  $x$  et l'axe  $y$  sont représentés avec des unités arbitraires.



(a) Expliquez pourquoi, au cours de la réaction, la pression augmente de la valeur indiquée. [2]

.....

.....

.....

.....

(b) Résumez, en termes de théorie des collisions, comment une réduction de la pression affecterait la vitesse de la réaction. [2]

.....

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



**(Suite de la question 2)**

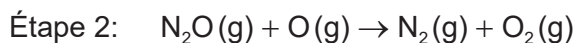
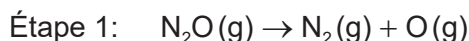
(c) La vitesse de décomposition obéit à la formule suivante :

$$-\frac{d[\text{N}_2\text{O}]}{dt} = k[\text{N}_2\text{O}]$$

(i) Déduisez la vitesse de réaction à  $t = 2$  en comparaison avec la vitesse initiale. [1]

.....  
.....

(ii) Il a été suggéré que la réaction se produit selon un processus en deux étapes :



Expliquez comment ce processus pourrait soutenir la formule de la vitesse observée. [2]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

(d) L'expérience est répétée à l'aide de la même quantité de protoxyde d'azote, dans le même équipement, mais à une température plus basse.

Sur les axes de la question 2, représentez le graphique attendu. [2]

(e) L'expérience a fourni une valeur erronée de la vitesse, parce que le manomètre était inexact. Résumez s'il serait possible de réduire l'erreur en répétant l'expérience avec le même équipement et en déterminant un résultat moyen. [1]

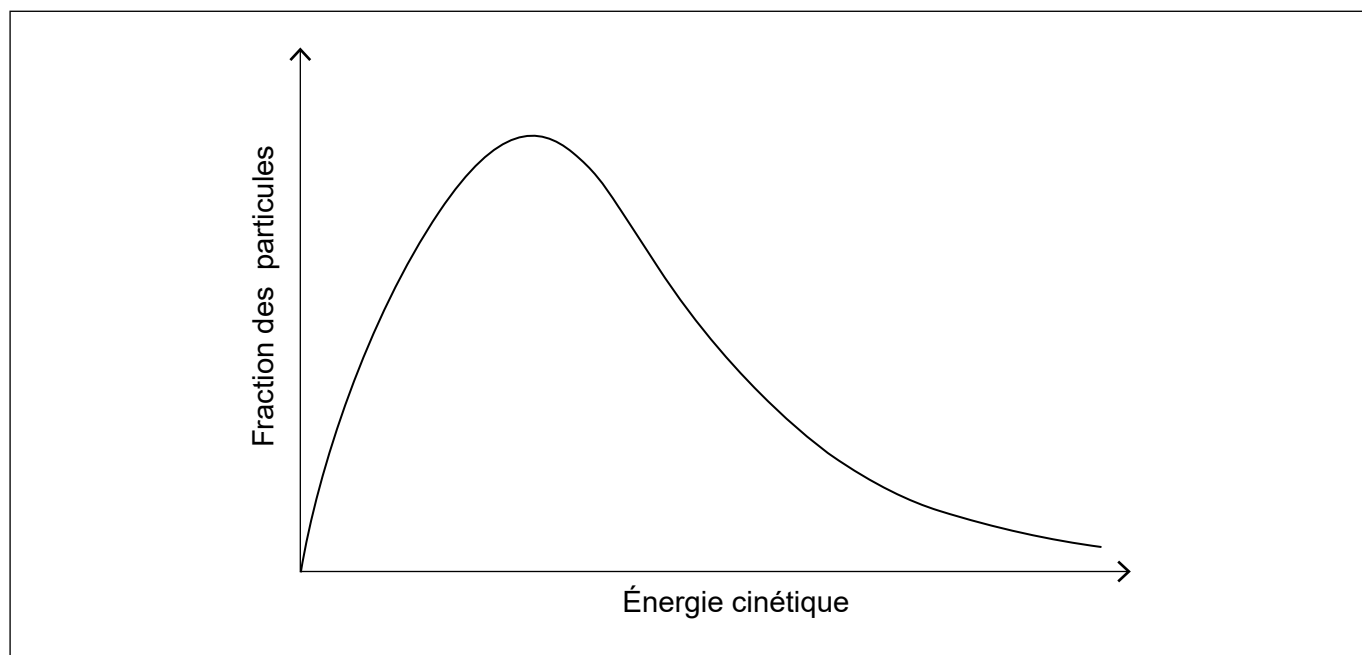
.....  
.....  
.....

**(Suite de la question à la page suivante)**



**(Suite de la question 2)**

- (f) Le graphique ci-dessous représente une courbe de Maxwell-Boltzmann de distribution des énergies moléculaires à une température donnée.



La vitesse de décomposition du protoxyde d'azote est considérablement augmentée en présence d'un catalyseur à base d'oxyde métallique.

Annotez et utilisez le graphique pour décrire pourquoi un catalyseur produit cet effet. [2]

.....

.....

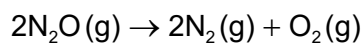
.....

**(Suite de la question à la page suivante)**



**(Suite de la question 2)**

- (g) (i) Déterminez la variation de l'entropie standard, en  $\text{JK}^{-1}$ , pour la décomposition du protoxyde d'azote. [2]



| Molécule             | $S^\ominus / \text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
|----------------------|---|
| $\text{N}_2\text{O}$ | 220   |
| $\text{N}_2$         | 193   |
| $\text{O}_2$         | 205   |

.....

.....

.....

.....

- (ii) Le protoxyde d'azote présente une enthalpie de formation,  $\Delta H_f^\ominus$  positive.

Déduisez, en donnant des justifications, si une modification de la température modifierait le caractère spontané de la réaction de **décomposition**. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....



3. Le protoxyde d'azote,  $N_2O$  entraîne une déplétion de la couche d'ozone dans la stratosphère.

(a) (i) Résumez pourquoi l'ozone est important dans la stratosphère. [1]

.....  
.....

(ii) Dans la stratosphère, le protoxyde d'azote est transformé en monoxyde d'azote,  $NO(g)$ .

Écrivez **deux** équations pour montrer comment le  $NO(g)$  catalyse la décomposition de l'ozone. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

(b) Les différentes sources de  $N_2O$  présentent différents rapports  $^{14}N: ^{15}N$ .

(i) Exprimez **une** technique analytique permettant de déterminer le rapport  $^{14}N: ^{15}N$ . [1]

.....

(ii) Un échantillon de gaz a été enrichi de manière à contenir une proportion massique de 2% de  $^{15}N$ , le reste étant du  $^{14}N$ .

Calculez la masse moléculaire relative du  $N_2O$  résultant de cet enrichissement. [2]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

(Suite de la question à la page suivante)



**(Suite de la question 3)**

- (iii) Prédisez, en donnant **deux** justifications, la comparaison de la première énergie d'ionisation du  $^{15}\text{N}$  avec celle du  $^{14}\text{N}$ .

[2]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

- (c) Expliquez pourquoi la première énergie d'ionisation de l'azote est supérieure à celle du carbone et de l'oxygène.

[2]

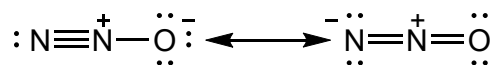
Azote et carbone :

.....  
.....  
.....

Azote et oxygène :

.....  
.....  
.....

- (d) La structure de Lewis de la molécule de protoxyde d'azote peut être représentée de la manière suivante :



- (i) Exprimez ce que la présence de structures de Lewis alternatives indique sur la nature des liaisons au sein de la molécule.

[1]

.....  
.....

**(Suite de la question à la page suivante)**



**(Suite de la question 3)**

(ii) Exprimez, en donnant une justification, la forme de la molécule de protoxyde d'azote. [1]

.....  
.....  
.....

(iii) Déduisez l'hybridation de l'atome d'azote central dans la molécule. [1]

.....

4. Le rhénium, Re, a été le dernier élément isolé présentant un isotope stable.

(a) L'isotope stable du rhénium contient 110 neutrons.

Exprimez la représentation symbolique du noyau  ${}^A_ZX$  pour cet isotope. [1]

.....

(b) Avant qu'il ne soit isolé, les scientifiques avaient prédit l'existence du rhénium et certaines de ses propriétés.

(i) Suggérez la base sur laquelle ces prédictions ont pu être émises. [2]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**(Suite de la question à la page suivante)**



**(Suite de la question 4)**

- (ii) Un scientifique veut étudier les propriétés catalytiques d'une fine couche de rhénium métallique sur une surface de graphite.

Décrivez un procédé électrochimique permettant de déposer une couche de rhénium sur du graphite.

[2]

.....

.....

.....

.....

.....

- (iii) Prédisez **deux** autres propriétés chimiques que vous attendez de la part du rhénium, compte tenu de sa position dans le tableau périodique des éléments.

[2]

.....

.....

.....

- (c) Décrivez comment la réactivité relative du rhénium, en comparaison à l'argent, au zinc et au cuivre, peut être établie à partir de morceaux de rhénium et de solutions de sulfates de ces métaux.

[2]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(Suite de la question à la page 17)**





Veillez ne **pas** écrire sur cette page.  
Les réponses rédigées sur cette page  
ne seront pas corrigées.



**(Suite de la question 4)**

(d) Un chlorure de rhénium a pour formule empirique  $\text{ReCl}_3$ .

(i) Exprimez le nom de ce composé, en appliquant les règles de l’UICPA. [1]

.....

(ii) Calculez le pourcentage massique de rhénium dans le composé  $\text{ReCl}_3$ . [2]

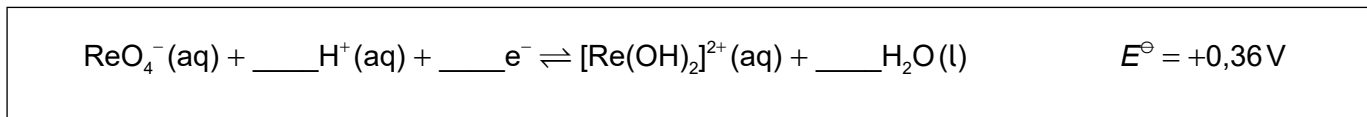
.....  
.....  
.....  
.....

(e) Le rhénium forme des sels contenant l’ion perrhénate(VII) de formule  $\text{ReO}_4^-$ .

(i) Suggérez pourquoi l’existence de sels contenant un ion présentant cette formule a pu être prédite. Reportez-vous à la section 6 du recueil de données. [1]

.....  
.....

(ii) Déduisez les coefficients requis pour compléter la demi-équation. [1]

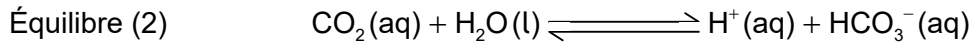
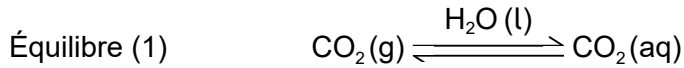


(iii) Prédisez, en donnant une justification, si la réduction de l’ion  $\text{ReO}_4^-$  en  $[\text{Re}(\text{OH})_2]^{2+}$  oxyderait l’ion  $\text{Fe}^{2+}$  en ion  $\text{Fe}^{3+}$  en solution aqueuse. Utilisez la section 24 du recueil de données. [1]

.....  
.....  
.....



5. L'eau gazeuse est produite par la dissolution de dioxyde de carbone dans l'eau sous pression. Les équilibres suivants sont établis.



(a) Le dioxyde de carbone agit comme un acide faible.

(i) Distinguez un acide faible d'un acide fort. [1]

Acide faible :

.....

.....

Acide fort :

.....

.....

(ii) L'ion hydrogénocarbonate produit dans l'équilibre (2) peut également agir en tant qu'acide.

Exprimez la formule de sa base conjuguée. [1]

.....

(b) À l'ouverture d'une bouteille d'eau gazeuse, ces équilibres sont perturbés.

Exprimez, en donnant une justification, comment la diminution de pression affecte la position de l'équilibre (1). [1]

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



**(Suite de la question 5)**

- (c) À 298 K, la concentration de dioxyde de carbone dans l'eau gazeuse est de  $0,200 \text{ mol dm}^{-3}$  et le  $pK_a$  de l'équilibre (2) est de 6,36.

Calculez le pH de l'eau gazeuse.

[3]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

- (d) L'hydrogénocarbonate de sodium,  $\text{NaHCO}_3$  dissous, entre dans la composition de certaines eaux gazeuses.

(i) Identifiez le type de liaison dans l'hydrogénocarbonate de sodium.

[2]

Entre le sodium et l'ion hydrogénocarbonate :  
.....

Entre l'hydrogène et l'oxygène, dans l'ion hydrogénocarbonate :  
.....

- (ii) Prédisez, en vous rapportant à l'équilibre (2), comment l'hydrogénocarbonate de sodium ajouté influence le pH. (L'on suppose que la pression et la température restent constantes.)

[2]

.....  
.....  
.....  
.....

**(Suite de la question à la page suivante)**



**(Suite de la question 5)**

(iii) 100,0 cm<sup>3</sup> d'eau gazeuse contiennent 3,0 × 10<sup>-2</sup> g NaHCO<sub>3</sub>.

Calculez la concentration de NaHCO<sub>3</sub> en mol dm<sup>-3</sup>.

[2]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(iv) L'incertitude sur le volume d'une fiole jaugée de 100,0 cm<sup>3</sup> utilisée pour préparer la solution était de ±0,6 cm<sup>3</sup>.

Calculez le pourcentage d'incertitude maximal dans la masse de NaHCO<sub>3</sub> si l'on veut obtenir une concentration de la solution précise à ±1,0 %.

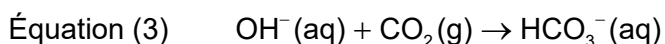
[1]

.....

.....

.....

(e) La réaction de l'ion hydroxyde avec le dioxyde de carbone et avec l'ion hydrogénocarbonate peut être représentée par les équations 3 et 4.



Discutez de quelle manière ces équations traduisent la différence entre une base de Lewis et une base selon Brønsted–Lowry.

[2]

Équation (3):

.....

.....

Équation (4):

.....

.....

**(Suite de la question à la page suivante)**

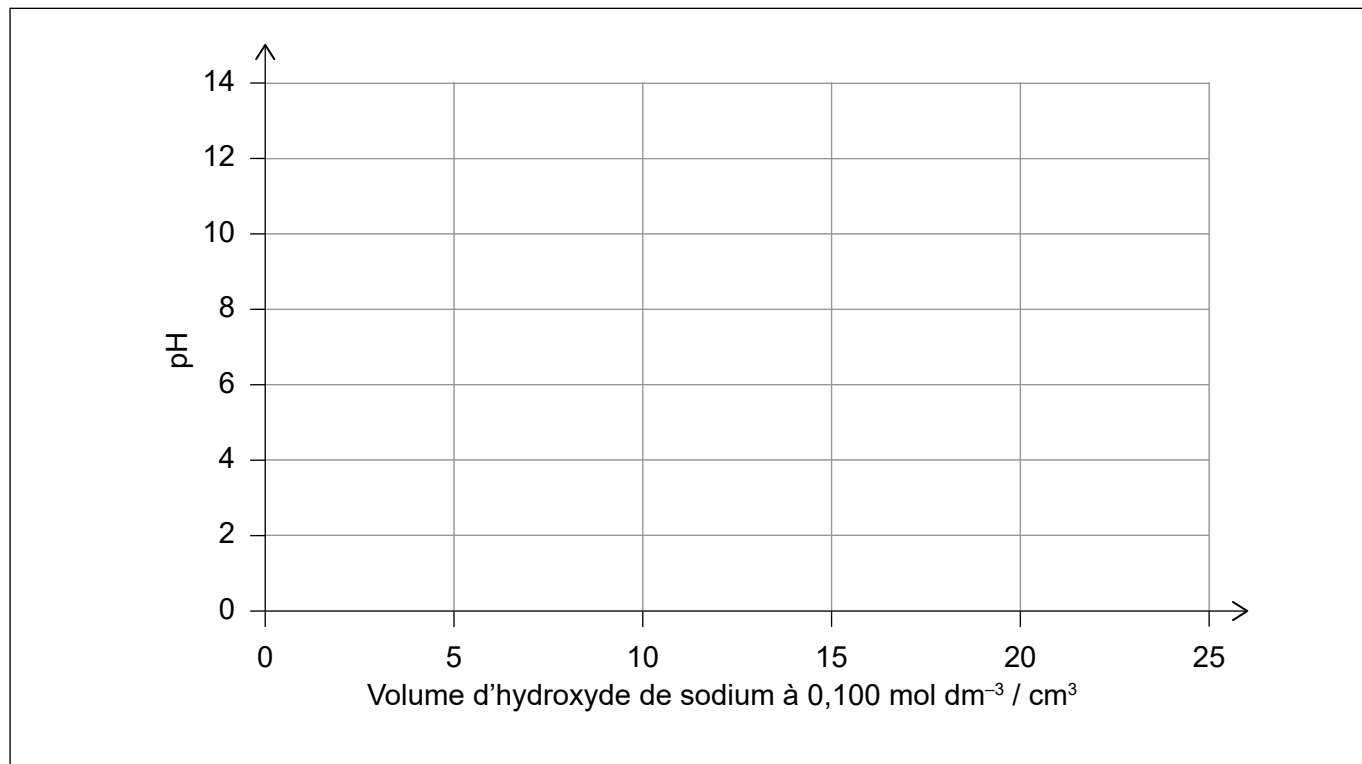


**(Suite de la question 5)**

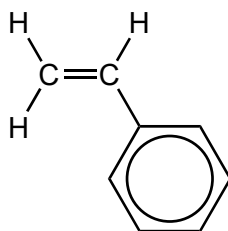
(f) L'hydrogénocarbonate de sodium en solution aqueuse présente un pH d'environ 7 à 298 K.

Représentez sous forme de graphique le pH en fonction du volume lorsque 25,0 cm<sup>3</sup> de NaOH(aq) 0,100 mol dm<sup>-3</sup> sont ajoutés progressivement à 10,0 cm<sup>3</sup> de NaHCO<sub>3</sub>(aq) 0,0500 mol dm<sup>-3</sup>.

[2]



6. Le phényléthylène peut être polymérisé en poly(1-phényléthylène) (polystyrène, PS).



(a) Dessinez l'unité répétitive du poly(1-phényléthylène).

[1]

**(Suite de la question à la page suivante)**

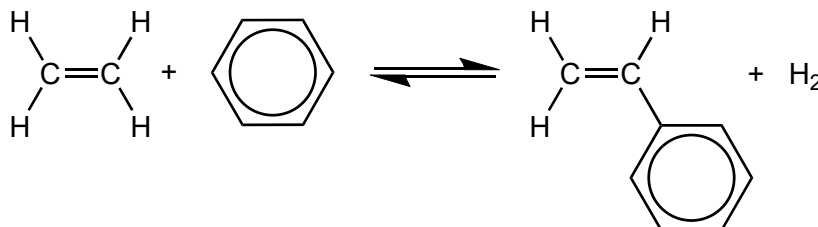


24EP21

Tournez la page

**(Suite de la question 6)**

- (b) Le phényléthylène est fabriqué à partir de benzène et d'éthène au cours d'un procédé en deux étapes. La réaction globale peut être représentée comme suit,  $\Delta G^\ominus = +10,0 \text{ kJ mol}^{-1}$  à 298 K.



Calculez la constante d'équilibre pour la réaction générale à 298 K, en utilisant la section 1 du recueil de données.

[2]

.....

.....

.....

.....

.....

- (c) Le cycle benzénique du phényléthylène réagit avec l'ion nitronium,  $\text{NO}_2^+$ , et la liaison double C=C réagit avec le bromure d'hydrogène HBr.

Comparez et opposez ces deux réactions, en termes de leurs mécanismes réactionnels. [2]

Similitude :

.....

.....

Différence :

.....

.....

.....

**(Suite de la question à la page suivante)**



**(Suite de la question 6)**

(d) Le produit principal de la réaction avec le bromure d'hydrogène est  $C_6H_5-CHBr-CH_3$ .  
Le produit secondaire est  $C_6H_5-CH_2-CH_2Br$ .

(i) Résumez pourquoi le produit principal  $C_6H_5-CHBr-CH_3$  peut se présenter sous deux formes différentes et exprimez la relation entre ces deux formes. [2]

Deux formes :

.....

.....

Relation :

.....

(ii) Le produit secondaire  $C_6H_5-CH_2-CH_2Br$  peut se présenter sous différentes formes conformationnelles (isomères de conformation).

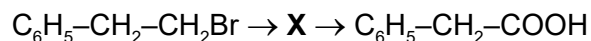
Résumez ce que cela signifie. [1]

.....

.....

.....

(e) Le produit secondaire  $C_6H_5-CH_2-CH_2Br$  peut être converti directement en un composé intermédiaire **X**, lequel peut ensuite être directement transformé en acide  $C_6H_5-CH_2-COOH$ .



Identifiez **X**. [1]

.....

.....





Veillez ne **pas** écrire sur cette page.

Les réponses rédigées sur cette page ne  
seront pas corrigées.



24EP24