

© International Baccalaureate Organization 2021

All rights reserved. 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 the prior written permission from the IB. Additionally, the license tied with this product prohibits 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, whether fee-covered or not, is prohibited and is a criminal offense.

More information on how to request written permission in the form of a license can be obtained from <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

© Organisation du Baccalauréat International 2021

Tous droits réservés. 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 préalable de l'IB. De plus, la licence associée à ce produit interdit toute utilisation 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, moyennant paiement ou non, est interdite et constitue une infraction pénale.

Pour plus d'informations sur la procédure à suivre pour obtenir une autorisation écrite sous la forme d'une licence, rendez-vous à l'adresse <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

© Organización del Bachillerato Internacional, 2021

Todos los derechos reservados. 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 la previa autorización por escrito del IB. Además, la licencia vinculada a este producto prohíbe el uso 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—, ya sea incluido en tasas o no, está prohibido y constituye un delito.

En este enlace encontrará más información sobre cómo solicitar una autorización por escrito en forma de licencia: <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

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

Vendredi 14 mai 2021 (matin)

Numéro de session du candidat

2 heures 15 minutes

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

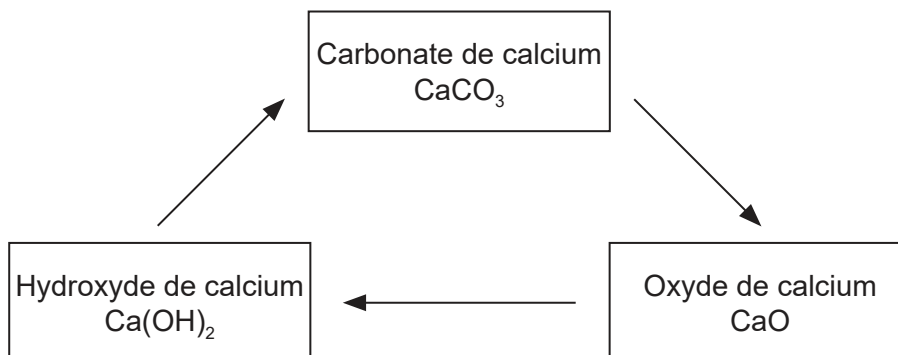
**Instructions destinées aux candidats**

- 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. Le calcaire peut être transformé en une variété de produits commerciaux utiles grâce aux réactions du cycle de la chaux. Le calcaire contient une teneur élevée en carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ .



- (a) L'oxyde de calcium  $\text{CaO}$  est produit par le chauffage du carbonate de calcium.



Calculez le volume de dioxyde de carbone produit aux CSTP lors de la décomposition de 555 g de carbonate de calcium. Utilisez les sections 2 et 6 du recueil de données. [2]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



**(Suite de la question 1)**

(b) Les données thermodynamiques de la décomposition du carbonate de calcium sont les suivantes :

Substance	$\Delta H_f^\ominus / \text{kJ mol}^{-1}$	$S^\ominus / \text{JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$
CaCO <sub>3</sub> (s)	-1207	93
CaO(s)	-635	40
CO <sub>2</sub> (g)	-393,5	214

(i) Calculez la variation d'enthalpie  $\Delta H$  (en kJ) pour la décomposition du carbonate de calcium.

[2]

.....

.....

.....

.....

(ii) Calculez la variation d'entropie  $\Delta S$  (en J K<sup>-1</sup>) pour la décomposition du carbonate de calcium.

[1]

.....

.....

.....

(iii) À partir des résultats obtenus en b(i) et b(ii), et de la section 1 du recueil de données, déterminez la température (en K) à laquelle la décomposition du carbonate de calcium devient spontanée.

(Si vous n'avez obtenu aucun résultat pour b(i) et b(ii), utilisez  $\Delta H = 190 \text{ kJ}$  et  $\Delta S = 180 \text{ JK}^{-1}$ , bien que ce ne soient pas les valeurs correctes.)

[2]

.....

.....

.....

.....

.....

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



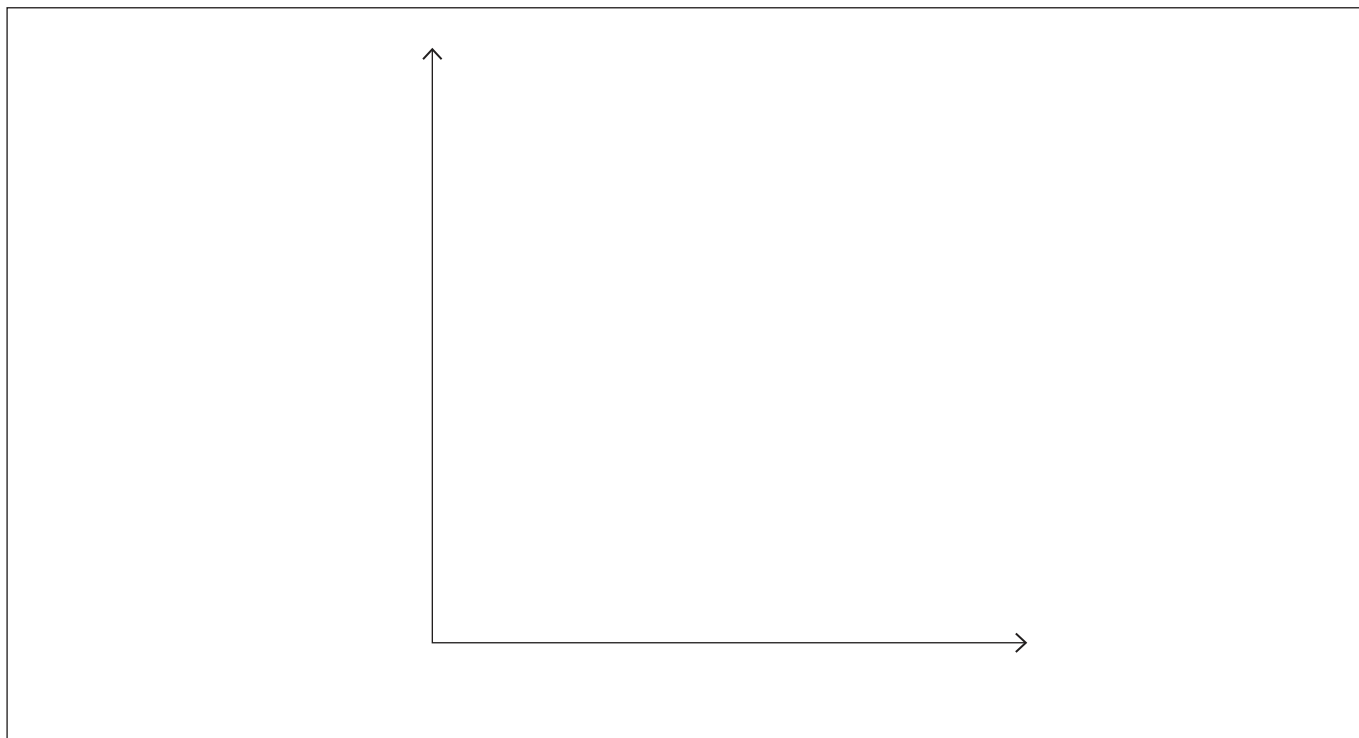
24EP03

**Tournez la page**

**(Suite de la question 1)**

- (iv) Représentez un profil énergétique de la décomposition du carbonate de calcium à partir du résultat de la question b(i), en légendant les axes et en y indiquant l'énergie d'activation  $E_a$ .

[3]



- (v) Indiquez comment l'ajout d'un catalyseur à la réaction influencerait sur la variation d'enthalpie  $\Delta H$  de la réaction et sur l'énergie d'activation  $E_a$ .

[1]

$\Delta H$  :

.....

$E_a$  :

.....

- (c) La deuxième étape du cycle de la chaux produit l'hydroxyde de calcium  $\text{Ca(OH)}_2$ .

- (i) Écrivez l'équation de la réaction du  $\text{Ca(OH)}_2(\text{aq})$  avec l'acide chlorhydrique  $\text{HCl}(\text{aq})$ .

[1]

.....

.....

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



24EP04

**(Suite de la question 1)**

- (ii) Déterminez, en  $\text{dm}^3$ , le volume requis de solution d'hydroxyde de calcium à  $0,015 \text{ mol dm}^{-3}$  pour neutraliser  $35,0 \text{ cm}^3$  de  $\text{HCl}(\text{aq})$  à  $0,025 \text{ mol dm}^{-3}$ . [2]

.....

.....

.....

.....

.....

- (iii) Une solution saturée d'hydroxyde de calcium est utilisée pour tester le dioxyde de carbone. Calculez le pH d'une solution d'hydroxyde de calcium (base forte) à  $2,33 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ . [2]

.....

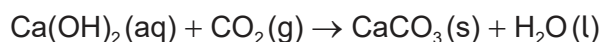
.....

.....

.....

.....

- (d) L'hydroxyde de calcium réagit avec le dioxyde de carbone pour reformer du carbonate de calcium.



- (i) Déterminez la masse (en g) de  $\text{CaCO}_3(\text{s})$  produit par la réaction de  $2,41 \text{ dm}^3$  de  $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$  à  $2,33 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$  avec  $0,750 \text{ dm}^3$  de  $\text{CO}_2(\text{g})$  aux CSTP. [2]

.....

.....

.....

.....

.....

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



**(Suite de la question 1)**

- (ii) L'expérience d(i) a permis de récupérer 2,85 g de  $\text{CaCO}_3$ . Calculez le rendement en pourcentage du  $\text{CaCO}_3$ .

(Si vous n'avez obtenu aucun résultat pour d(i), utilisez 4,00 g, bien que ce ne soit pas la valeur correcte.)

[1]

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

- (e) Résumez comment **un** composé du calcium présent dans le cycle de la chaux peut réduire un problème causé par les dépôts acides.

[1]

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

**2. Les propriétés des éléments peuvent être déduites de leur position dans le tableau périodique.**

- (a) (i) Expliquez pourquoi Si a un rayon atomique plus petit que celui de Al.

[2]

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

- (ii) Expliquez pourquoi la première énergie d'ionisation du soufre est inférieure à celle du phosphore.

[2]

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

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



24EP06

**(Suite de la question 2)**

(b) (i) Exprimez les configurations électroniques abrégées de Cr et de Cr<sup>3+</sup>. [2]

Cr :  
.....  
  
Cr<sup>3+</sup> :  
.....

(ii) Décrivez la liaison métallique et comment elle contribue à la conductivité électrique. [3]

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

(iii) Déduisez, en donnant une raison, lequel des ions complexes [Cr(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> et [Cr(OH)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> absorbe la lumière de plus grande énergie. Utilisez la section 15 du recueil de données. [1]

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

(iv) [Cr(OH)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> forme une solution verte. En vous basant sur la section 17 du recueil de données, estimez une longueur d'onde lumineuse absorbée par ce complexe. [1]

.....  
.....

**(Suite de la question à la page 9)**



24EP07

Tournez la page



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



24EP08

**(Suite de la question 2)**

(c) Déduisez la structure de Lewis (électrons représentés par des points) et la géométrie moléculaire du tétrafluorure de soufre SF<sub>4</sub> et du dichlorure de soufre SCl<sub>2</sub>. [4]

Espèce chimique	SF <sub>4</sub>	SCl <sub>2</sub>
Structure de Lewis		
Géométrie moléculaire	.....	.....

(d) Suggérez, raisons à l'appui, quelles sont les volatilités relatives de SCl<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. [3]

..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....
--



24EP09

Tournez la page

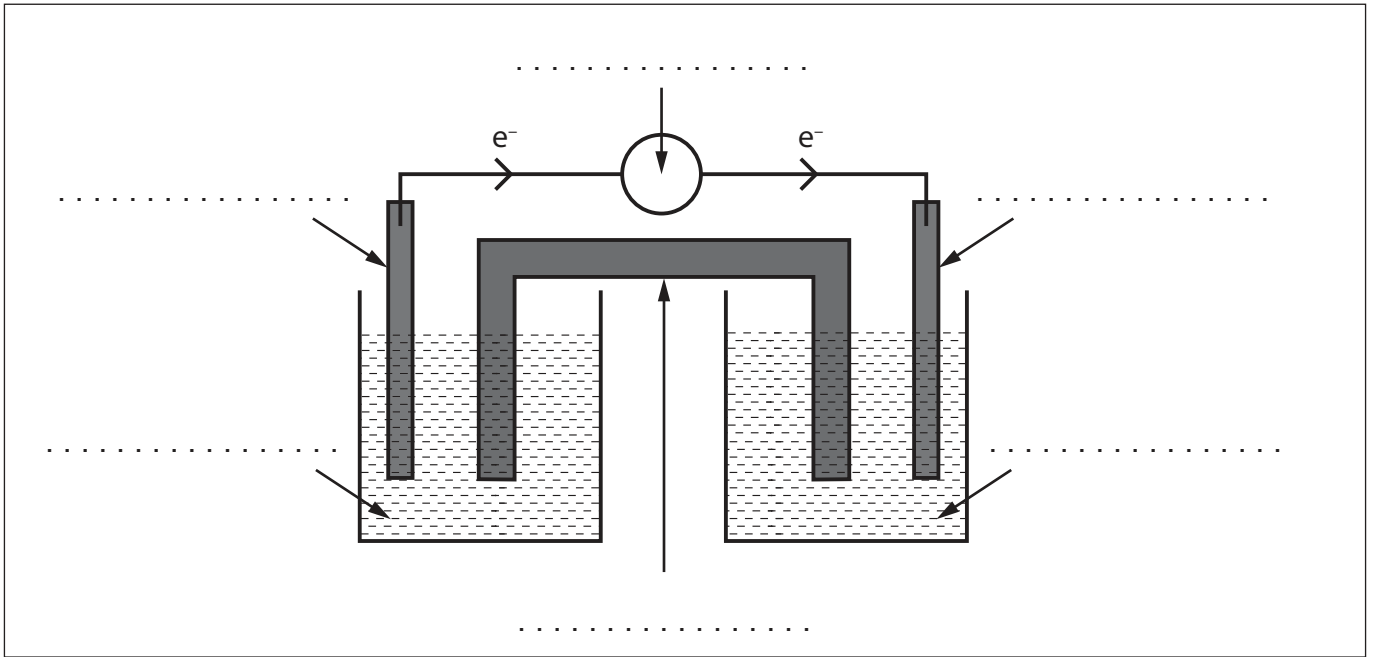
3. Les réactions d'oxydation et de réduction peuvent avoir une variété d'usages commerciaux.

- (a) Un étudiant décide de fabriquer une pile voltaïque composée d'une électrode d'aluminium,  $\text{Al}(s)$ , une électrode d'étain,  $\text{Sn}(s)$ , et des solutions de nitrate d'aluminium,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3(aq)$ , et de nitrate d'étain (II),  $\text{Sn}(\text{NO}_3)_2(aq)$ .

Le flux d'électrons est représenté sur le schéma.

Légendez chaque ligne du schéma en vous basant sur la section 25 du recueil de données.

[3]



- (b) Écrivez l'équation-bilan de la réaction chimique attendue en (a).

[1]

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

(Suite de la question à la page suivante)



24EP10

**(Suite de la question 3)**

- (c) Calculez la force électromotrice de la pile en vous basant sur la section 24 du recueil de données. [1]

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

- (d) Calculez la variation d'énergie libre de Gibbs,  $\Delta G^\ominus$  (en kJ) pour la pile, à l'aide de la section 1 du recueil de données. [2]

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

**4. La chimie organique peut être utilisée pour synthétiser une variété de produits.**

- (a) Plusieurs composés peuvent être synthétisés à partir du but-2-ène. Dessinez la structure du produit final pour chacune des réactions chimiques suivantes. [2]

$$\begin{array}{c} \nearrow +\text{H}_2\text{O} \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \searrow +\text{H}_2 \\ \text{Pt} \end{array}$$

.....  
.....

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

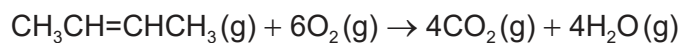


24EP11

Tournez la page

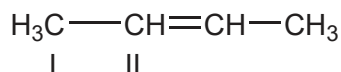
**(Suite de la question 4)**

- (b) Déterminez la variation d'enthalpie,  $\Delta H$ , pour la combustion du but-2-ène, en utilisant la section 11 du recueil de données. [3]



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

- (c) Exprimez l'hybridation des atomes de carbone I et II dans le but-2-ène. [1]



Carbone	I	II
Hybridation	.....	.....

- (d) Dessinez des schémas pour montrer comment se forment les liaisons sigma ( $\sigma$ ) et pi ( $\pi$ ) entre atomes. [2]

Sigma ( $\sigma$ ) :

Pi ( $\pi$ ) :

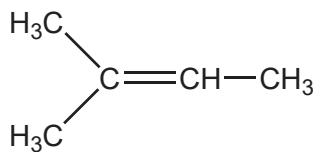
**(Suite de la question à la page suivante)**



**(Suite de la question 4)**

- (e) Représentez le mécanisme de la réaction du 2-méthylbut-2-ène avec le bromure d'hydrogène à l'aide de flèches incurvées.

[3]



- (f) Expliquez pourquoi le produit organique majoritaire est le 2-bromo-2-méthylbutane et non le 2-bromo-3-méthylbutane.

[2]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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



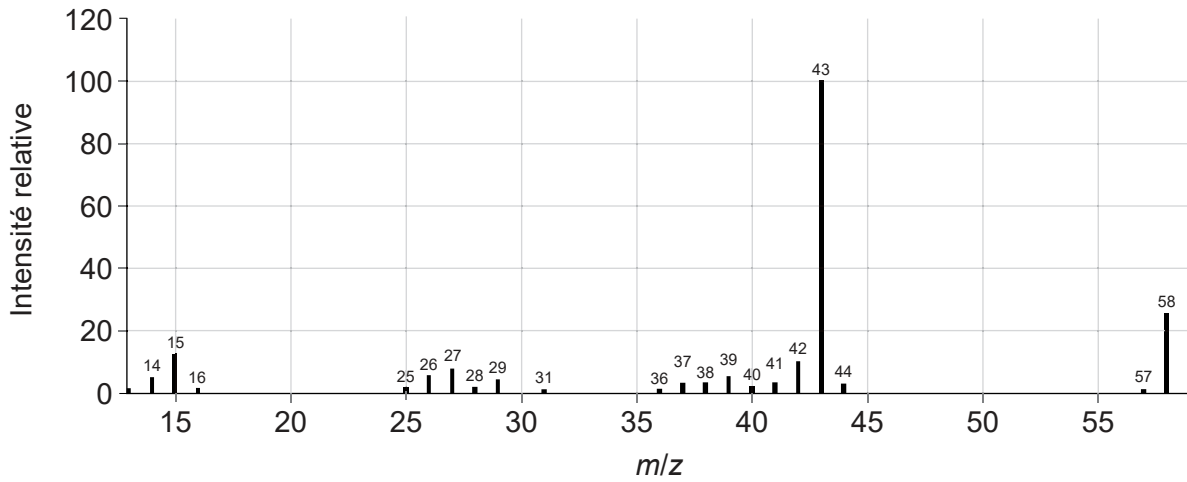
24EP13

**Tournez la page**

**(Suite de la question 4)**

(g) L'analyse de la combustion d'un composé organique inconnu indique qu'il contient uniquement du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène.

(i) Déduisez deux fragments de cette molécule qui peuvent être obtenus à partir du spectre de masse. Utilisez la section 28 du recueil de données. [2]



*m/z* 58 :

.....  
.....

*m/z* 43 :

.....  
.....

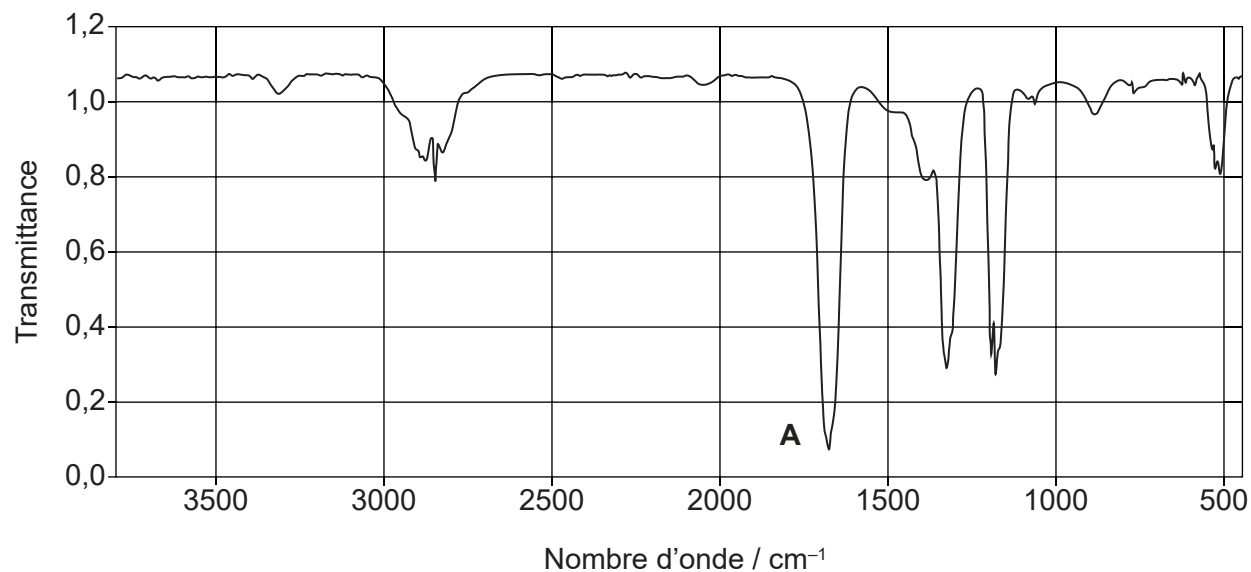
**(Suite de la question à la page suivante)**



**(Suite de la question 4)**

- (ii) Identifiez la liaison responsable de l'absorption en **A** dans le spectre infrarouge. Utilisez la section 26 du recueil de données.

[1]



.....  
.....

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



24EP15

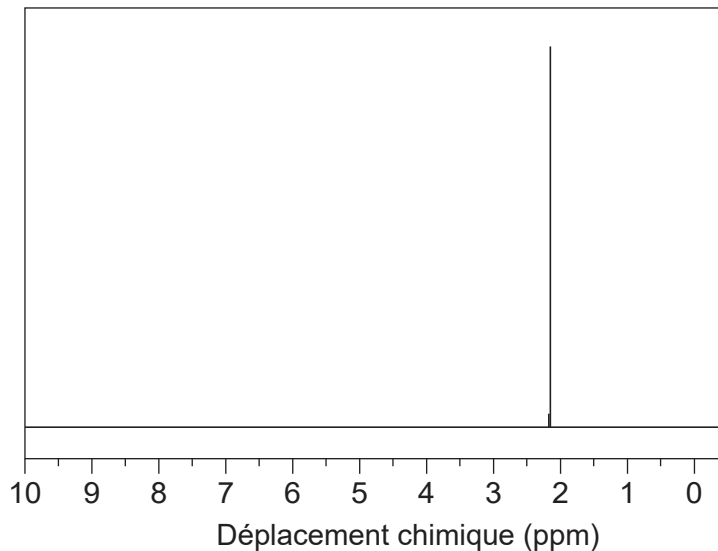
**Tournez la page**



**(Suite de la question 4)**

- (iii) Déduisez l'identité du composé inconnu en vous basant sur les informations précédentes, le spectre RMN  $^1\text{H}$  et la section 27 du recueil de données. [2]

Spectre RMN  $^1\text{H}$



Informations déduites du spectre RMN  $^1\text{H}$  :

.....  
.....

Composé :

.....  
.....

- (h) (i) Dessinez les stéréoisomères du butan-2-ol à l'aide d'une représentation en traits pleins et triangles pleins ou hachurés. [1]

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



24EP16

**(Suite de la question 4)**

- (ii) Résumez comment deux énantiomères peuvent être distingués à l'aide d'un polarimètre. [2]

.....

.....

.....

.....

**5. L'éthanol et l'acide méthanoïque sont des produits industriels importants.**

(a) L'éthanol est utilisé comme carburant.

- (i) Écrivez l'équation chimique de la combustion complète de l'éthanol. [1]

.....

.....

- (ii) Déduisez la variation d'enthalpie  $\Delta H$  (en kJ) lorsque 56,00g d'éthanol est brûlé. Utilisez la section 13 du recueil de données. [2]

.....

.....

.....

.....

- (b) L'oxydation de l'éthanol par le dichromate de potassium  $K_2Cr_2O_7$  peut former deux produits organiques différents. Déterminez les noms des produits organiques et les méthodes utilisées pour les isoler. [2]

.....

.....

.....

.....

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



24EP17

**Tournez la page**

**(Suite de la question 5)**

- (c) Écrivez l'équation et nommez le produit organique de la réaction de l'éthanol avec l'acide méthanoïque.

[2]

Équation :

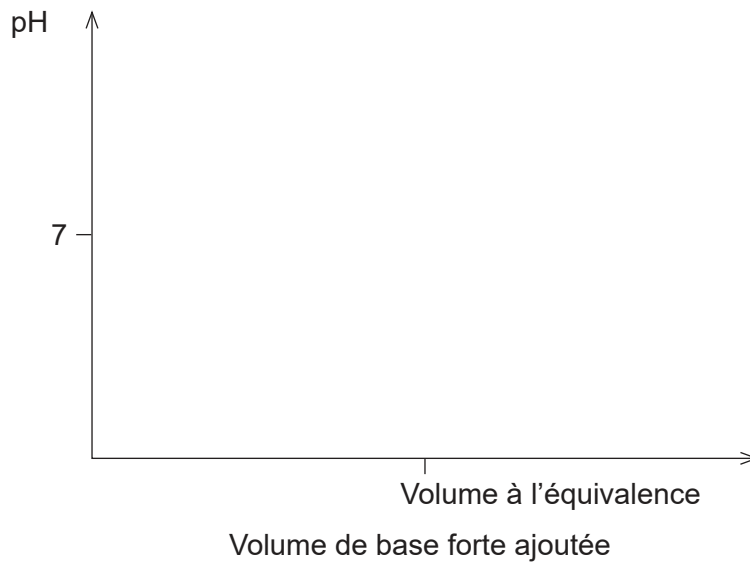
.....  
.....

Nom du produit :

.....

- (d) (i) Représentez la courbe de titrage de l'acide méthanoïque par l'hydroxyde de sodium, en montrant comment vous pourriez déterminer le  $pK_a$  de l'acide méthanoïque.

[2]



- (ii) Identifiez un indicateur pouvant être utilisé pour le titrage considéré en (d)(i) à l'aide de la section 22 du recueil de données.

[1]

.....  
.....

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



**(Suite de la question 5)**

- (e) Déterminez la concentration en acide méthanoïque dans une solution de  $\text{pH} = 4,12$ .  
Utilisez la section 21 du recueil de données. [2]

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

- (f) Identifiez si les solutions aqueuses des sels suivants sont acides, basiques ou neutres. [2]

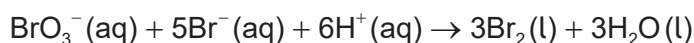
Méthanoate de sodium :  
.....

Chlorure d'ammonium :  
.....

Nitrate de sodium :  
.....



6. Les ions bromates et bromures réagissent en solutions aqueuses acides.



Les informations de vitesse de réaction suivantes ont été recueillies.

Expérience	$[\text{BrO}_3^-] / \text{mol dm}^{-3}$	$[\text{Br}^-] / \text{mol dm}^{-3}$	$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3}$	Vitesse initiale / $\text{mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$
1	0,10	0,10	0,10	$8,0 \times 10^{-4}$
2	0,20	0,10	0,10	$1,6 \times 10^{-3}$
3	0,20	0,20	0,10	$3,2 \times 10^{-3}$
4	0,10	0,10	0,20	$3,2 \times 10^{-3}$

(a) Déterminez l'expression de la vitesse de la réaction. [2]

Ordre de réaction par rapport à  $\text{BrO}_3^-$  :

.....

Ordre de réaction par rapport à  $\text{Br}^-$  :

.....

Ordre de réaction par rapport à  $\text{H}^+$  :

.....

Expression de la vitesse :

.....

.....

(b) Déterminez la valeur et l'unité de la constante de vitesse en utilisant l'expression de la vitesse définie en (a). [2]

.....

.....

.....

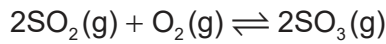
.....

.....

.....



7. Considérez la réaction à l'équilibre :



(a) Exprimez la constante d'équilibre  $K_c$  pour la réaction ci-dessus. [1]

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

(b) Exprimez et expliquez comment l'équilibre serait affecté si l'on augmentait le volume de la cuve de réaction à température constante. [3]

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

(c)  $\text{SO}_2(\text{g})$ ,  $\text{O}_2(\text{g})$  et  $\text{SO}_3(\text{g})$  sont mélangés et laissés jusqu'à l'équilibre à  $600^\circ\text{C}$ .

	$\text{SO}_2$	$\text{O}_2$	$\text{SO}_3$
Concentration initiale ( $\text{mol dm}^{-3}$ )	2,00	1,50	3,00
Concentration à l'équilibre ( $\text{mol dm}^{-3}$ )	1,50		

Déterminez la valeur de  $K_c$  à  $600^\circ\text{C}$ . [2]

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



**Références :**

- 4.(g)(i)** NIST Mass Spectrometry Data Center Collection © 2014 droits d'auteur détenus par le secrétaire américain au Commerce pour le compte des États-Unis d'Amérique [copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America]. Tous droits réservés.
- 4.(g)(ii)** NIST Mass Spectrometry Data Center Collection © 2014 droits d'auteur détenus par le secrétaire américain au Commerce pour le compte des États-Unis d'Amérique [copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America]. Tous droits réservés.
- 4.(g)(iii)** SDDBS, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) [l'Institut national des sciences et technologies industrielles avancées].

**Tous les autres textes, graphiques et illustrations : © Organisation du Baccalauréat International 2021**



24EP22

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

Les réponses rédigées sur cette page  
ne seront pas corrigées.



24EP23



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

Les réponses rédigées sur cette page  
ne seront pas corrigées.



24EP24