

© 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

Mercredi 10 novembre 2021 (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]**.



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



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

1. Un échantillon de 4,406 g d'un composé contenant uniquement des atomes de C, H et O a été consommé dans de l'oxygène en excès. 8,802 g de CO₂ et 3,604 g de H₂O ont été produits.

(a) Déterminez la formule empirique du composé en utilisant la section 6 du recueil de données.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(b) Déterminez la formule moléculaire de ce composé si sa masse molaire est de 88,12 g mol⁻¹. Si vous n'avez pas eu de réponse à la question (a), utilisez CS, bien que ce ne soit pas la bonne réponse.

[1]

.....

.....

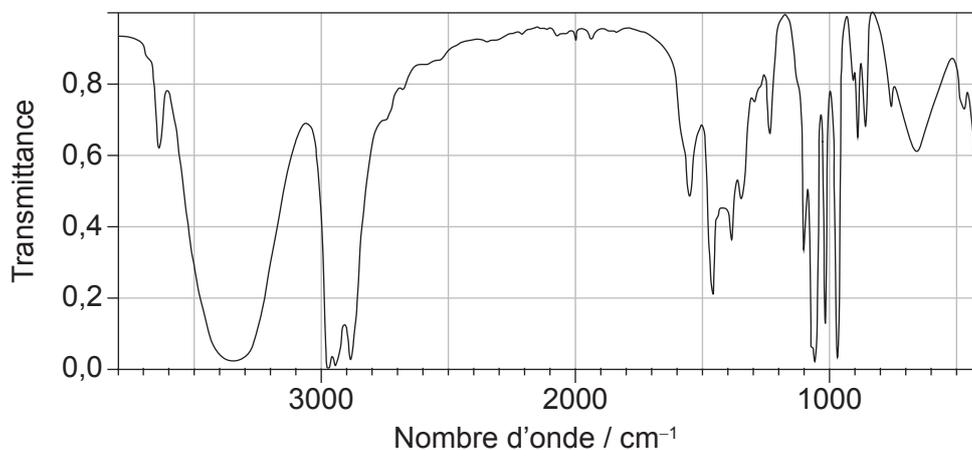
(Suite de la question à la page suivante)



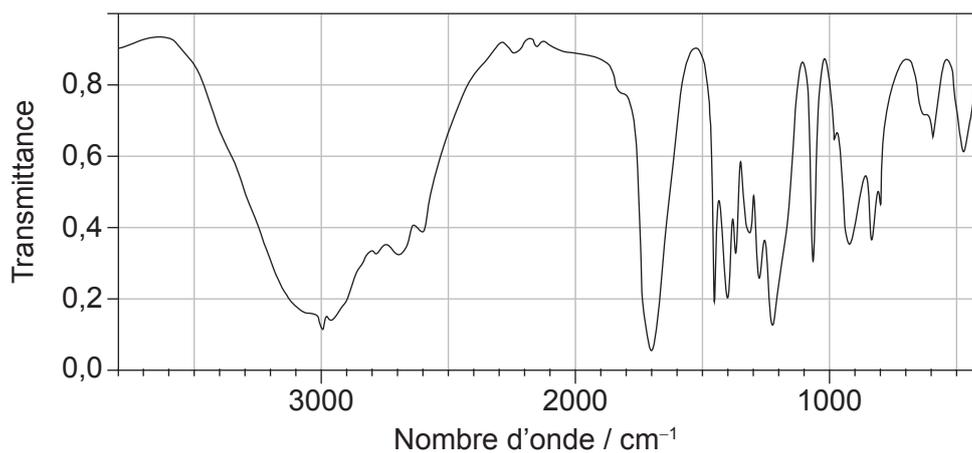
(Suite de la question 1)

Les spectres suivants sont les spectres infrarouge du propan-1-ol, du propanal et de l'acide propanoïque.

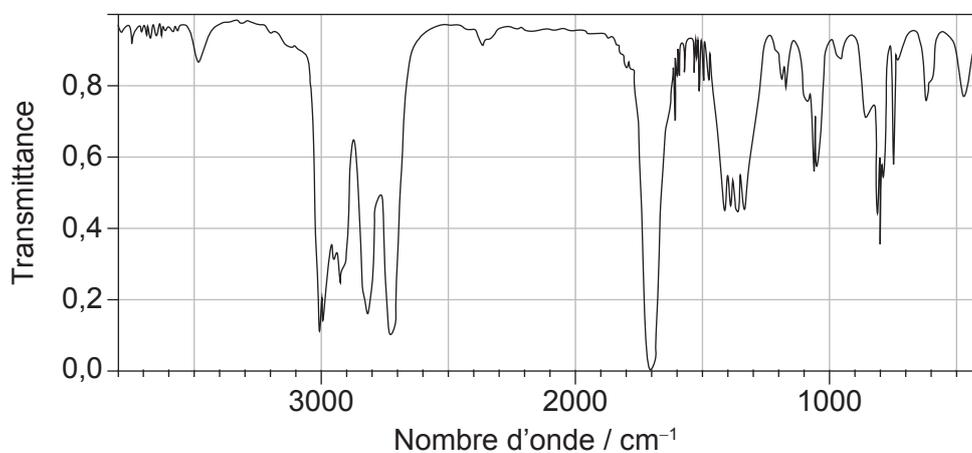
Spectre A



Spectre B



Spectre C



(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 1)

- (c) Identifiez chacun des composés à partir des spectres fournis; utilisez les absorptions entre 1700 cm^{-1} et 3500 cm^{-1} . Expliquez la raison de votre choix en vous référant à la section 26 du recueil de données. [3]

Spectre	Identité	Explication
A
B
C

- (d) Prédisez le nombre de signaux RMN ^1H et la figure de dédoublement de $-\text{CH}_3$ constatée pour la propanone (CH_3COCH_3) et le propanal ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$). [2]

Spectre	Nombre de signaux	Figure de dédoublement de $-\text{CH}_3$
propanone
propanal

- (e) Prédisez le fragment responsable d'un rapport m/z de 31 dans le spectre de masse du propan-1-ol. Utilisez la section 28 du recueil de données. [1]

.....



2. Les transitions électroniques sont en liaison avec des tendances dans le tableau périodique.

(a) Expliquez la tendance d'augmentation générale des premières énergies d'ionisation des éléments de la période 3, de Na à Ar. [2]

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

(b) Le sodium émet une lumière jaune d'une fréquence de $5,09 \times 10^{14}$ Hz lorsque les électrons passent des orbitales 3p à 3s.

Calculez la différence d'énergie, en J, entre ces deux orbitales, en utilisant les sections 1 et 2 du recueil de données. [1]

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

3. Le phosphore blanc est un allotrope du phosphore et existe sous la forme P_4 .

(a) (i) Représentez la structure de Lewis (électrons représentés par des points) de la molécule de P_4 , contenant uniquement des liaisons simples. [1]

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 3)

- (ii) Écrivez une équation pour la réaction du phosphore blanc (P_4) avec le chlore gazeux pour former le trichlorure de phosphore (PCl_3). [1]

.....
.....

- (b) (i) Déduisez la géométrie moléculaire et celle du domaine électronique en vous appuyant sur la théorie VSEPR, et estimez l'angle formé par les liaisons Cl-P-Cl dans PCl_3 . [3]

Géométrie du domaine électronique :
.....

Géométrie moléculaire :
.....

Angle des liaisons :
.....

- (ii) Résumez la raison pour laquelle PCl_5 est une molécule apolaire, alors que PCl_4F est polaire. [3]

PCl_5 est apolaire :
.....
.....
.....

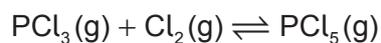
PCl_4F est polaire :
.....
.....
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 3)

(c) Il existe un équilibre entre PCl_3 et PCl_5 .



(i) Calculez la variation d'enthalpie standard (ΔH^\ominus), en kJ mol^{-1} , pour la réaction directe.

$$\Delta H_f^\ominus \text{PCl}_3(\text{g}) = -306,4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_f^\ominus \text{PCl}_5(\text{g}) = -398,9 \text{ kJ mol}^{-1} \quad [1]$$

.....
.....

(ii) Calculez la variation d'entropie, ΔS , en $\text{JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$, pour cette réaction.

Substance	Entropie ($\text{JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$)
$\text{PCl}_3(\text{g})$	311,7
$\text{PCl}_5(\text{g})$	364,5
$\text{Cl}_2(\text{g})$	223,0

[1]

.....
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 3)

- (iii) Calculez la variation d'énergie libre de Gibbs (ΔG), en kJ mol^{-1} , pour cette réaction à 25°C . Utilisez la section 1 du recueil de données.

Si vous n'avez pas eu de réponse à la question c(i) ou c(ii), utilisez respectivement $-87,6 \text{ kJ mol}^{-1}$ et $-150,5 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, bien que ces valeurs ne soient pas les bonnes réponses.

[2]

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

- (iv) Déterminez la constante d'équilibre, K , pour cette réaction à 25°C , en vous rapportant à la section 1 du recueil de données.

Si vous n'avez pas eu de réponse à la question (c)(iii), utilisez $\Delta G = -43,5 \text{ kJ mol}^{-1}$, bien que cette valeur ne soit pas la bonne réponse.

[2]

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

- (v) Exprimez la constante d'équilibre, K_c , pour cette réaction.

[1]

.....
.....

- (vi) Exprimez, une raison à l'appui, l'effet d'une augmentation de température sur la position de cet équilibre.

[1]

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



4. Le 1-chloropentane réagit avec l'hydroxyde de sodium aqueux.

(a) (i) Identifiez le type de réaction.

[1]

.....
.....

(ii) Résumez le rôle de l'ion hydroxyde dans cette réaction.

[1]

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

(iii) Suggérez, une raison à l'appui, pourquoi le 1-iodopentane réagit plus rapidement que le 1-chloropentane dans les mêmes conditions. Utilisez la section 11 du recueil de données pour la cohérence de votre réponse.

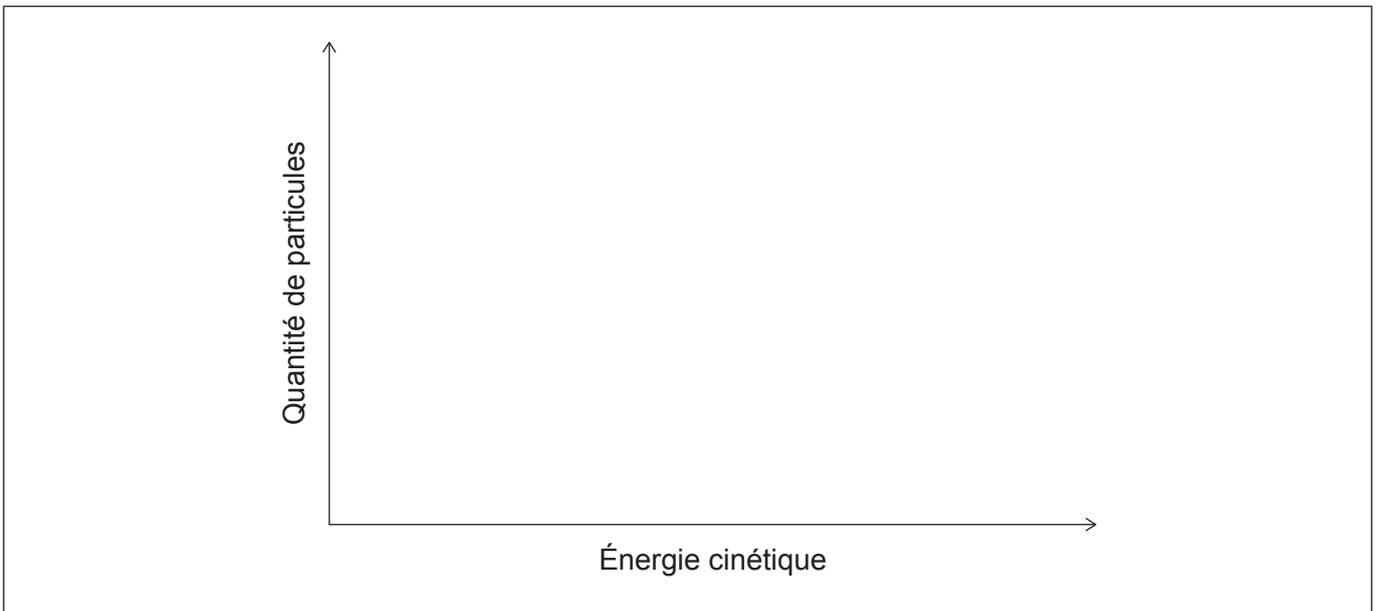
[2]

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

(b) La réaction a été reproduite à plus faible température.

Représentez les courbes légendées de distribution d'énergie de Maxwell-Boltzmann à la température initiale (T_1) et à la nouvelle température, plus faible (T_2).

[2]



5. L'acide phosphorique, H_3PO_4 , peut former trois sels différents selon le degré de neutralisation par l'hydroxyde de sodium.

(a) Formulez une équation pour la réaction d'une mole d'acide phosphorique avec une mole d'hydroxyde de sodium. [1]

.....
.....

(b) Formulez **deux** équations pour montrer la nature amphiprotique de $H_2PO_4^-$. [2]

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

(c) Calculez la concentration de H_3PO_4 si un volume de $25,00\text{ cm}^3$ est entièrement neutralisé par l'ajout de $28,40\text{ cm}^3$ de NaOH à $0,5000\text{ mol dm}^{-3}$. [2]

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

(d) Résumez les raisons pour lesquelles l'hydroxyde de sodium est considéré comme une base de Brønsted-Lowry et une base de Lewis. [1]

Base de Brønsted-Lowry :
.....

Base de Lewis :
.....



6. La demande biochimique en oxygène (DBO) peut être déterminée par la méthode de Winkler.

(a) Résumez ce qui est mesuré par la DBO. [1]

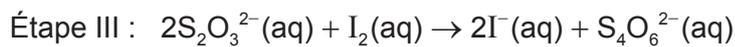
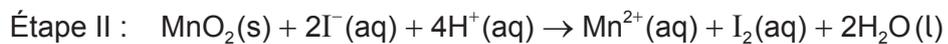
.....
.....

(b) Un étudiant a dissous $0,1240 \pm 0,0001$ g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ pour préparer $1000,0 \pm 0,4$ cm³ de solution à utiliser pour la méthode de Winkler.

Déterminez le pourcentage d'incertitude de la concentration molaire. [2]

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

(c) Un échantillon de 25,00 cm³ d'eau a été traité selon la méthode de Winkler.



L'iode produit a été titré avec 37,50 cm³ d'une solution de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ à $5,000 \times 10^{-4}$ mol dm⁻³.

(i) Calculez la quantité, en moles, de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ utilisé lors du titrage. [1]

.....
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 6)

- (ii) Déduisez le rapport molaire du O_2 consommé à l'étape I au $S_2O_3^{2-}$ utilisé en étape III. [1]

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

- (iii) Calculez la concentration en oxygène dissous, en $mol\,dm^{-3}$, dans l'échantillon. [2]

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

- (iv) Les trois étapes de la méthode de Winkler sont des réactions redox.
Déduisez la demi-équation de réduction pour l'étape II. [1]

.....
.....

- (v) Suggérez une raison pour laquelle la méthode de Winkler utilisée pour mesurer la demande biochimique en oxygène (DBO) doit être réalisée à température constante. [1]

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



7. Les alcanes font des réactions de combustion et de substitution.

(a) Déterminez l'enthalpie molaire de combustion d'un alcane si $8,75 \times 10^{-4}$ moles en sont brûlées, augmentant de $57,3^\circ\text{C}$ la température de $20,0\text{g}$ d'eau. [2]

.....

.....

.....

.....

.....

(b) Formulez des équations correspondant aux deux étapes de propagation et à une étape de terminaison dans la formation du chloroéthane à partir de l'éthane. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

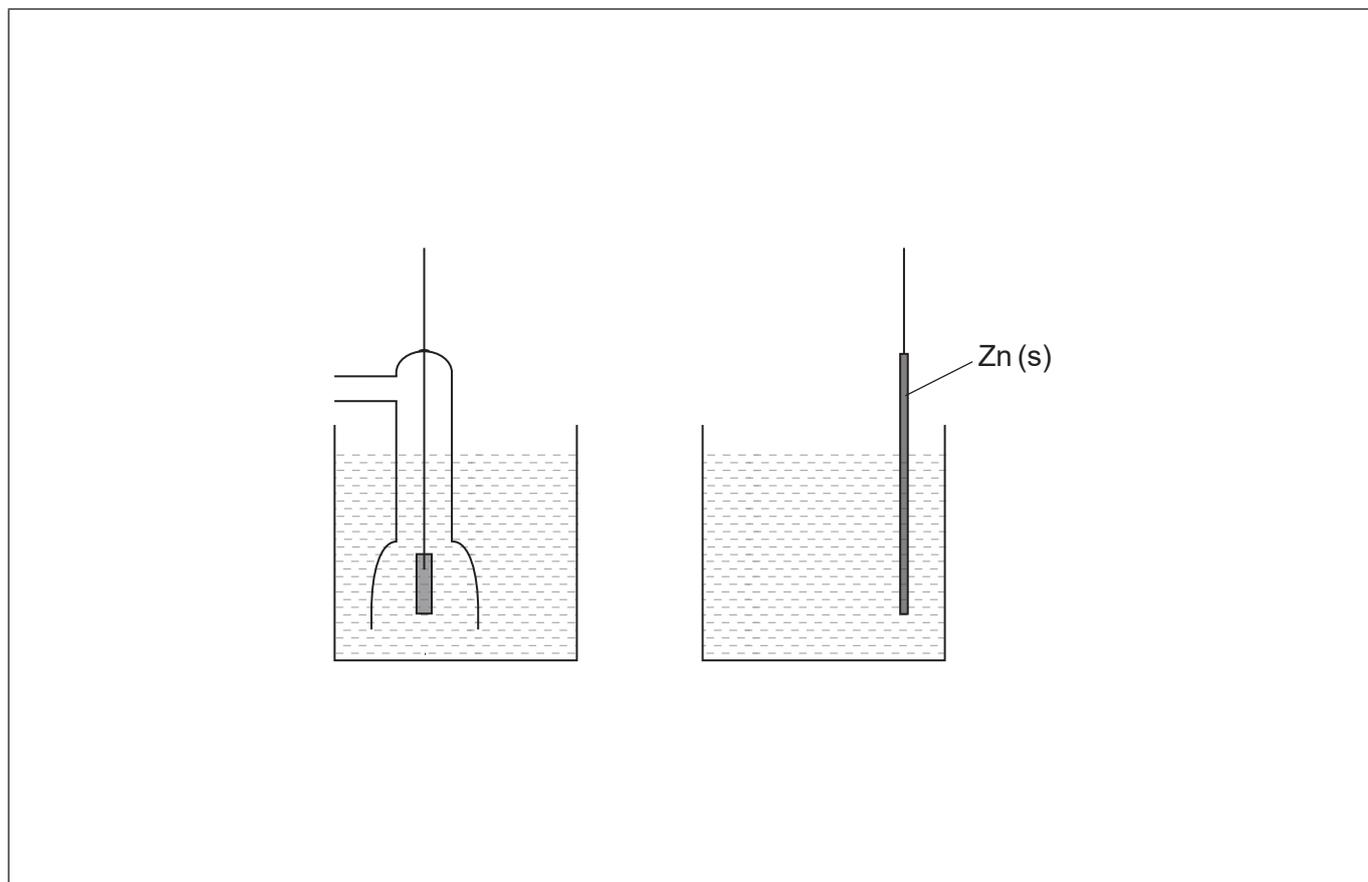
.....



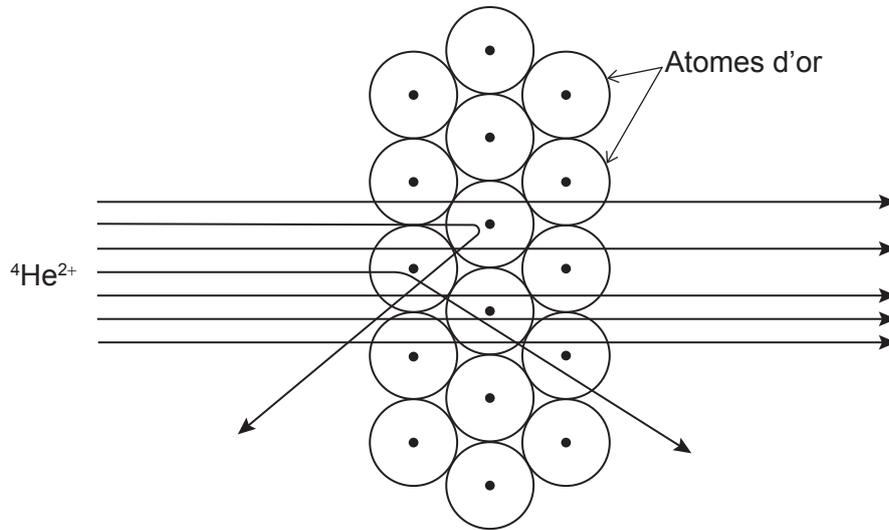
8. Le potentiel standard d'électrode du zinc peut être mesuré à l'aide d'une électrode standard à hydrogène (ESH).

Dessinez et annotez le schéma pour montrer le dispositif complet requis pour mesurer le potentiel standard d'électrode du zinc.

[4]



9. Des noyaux d'hélium (${}^4\text{He}^{2+}$) rapides ont été projetés sur une fine feuille d'or. La plupart d'entre eux ont traversé la feuille sans dévier, mais quelques-uns ont été fortement déviés. Le schéma ci-dessous illustre cette expérience historique.



- (a) Suggérez ce que l'on peut conclure concernant l'atome d'or à partir de cette expérience.

[2]

La plupart des noyaux ${}^4\text{He}^{2+}$ traversent la feuille d'or sans déviation :

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

Très peu de noyaux ${}^4\text{He}^{2+}$ dévient fortement de leur trajectoire :

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

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 9)

- (b) (i) Par la suite, des expériences ont montré des électrons, existant dans des niveaux d'énergie, occuper différentes formes d'orbitales.

Dessinez les schémas des orbitales 1s, 2s et 2p.

[2]

1s	2s	2p

- (ii) Exprimez la configuration électronique du cuivre.

[1]

.....

- (iii) Le cuivre est un métal de transition formant différents complexes colorés. Un complexe $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}(\text{aq})$ change de couleur en cas d'ajout de $\text{Cl}^-(\text{aq})$ en excès.

Expliquez la cause de ce changement de couleur en utilisant les sections 3 et 15 du recueil de données.

[3]

.....
--



10. L'hybridation des hydrocarbures affecte leur réactivité.

(a) (i) Distinguez entre une liaison sigma et une liaison pi.

[2]

Liaison sigma (σ) :

.....

.....

Liaison pi (π) :

.....

.....

(ii) Identifiez l'hybridation du carbone dans l'éthane, l'éthène et l'éthyne.

[1]

	Éthane	Éthène	Éthyne
Hybridation du carbone

(b) (i) Exprimez, une raison à l'appui, si le but-1-ène présente une isomérisation cis-trans.

[1]

.....

.....

.....

.....

(ii) Exprimez le type de réaction ayant lieu entre le but-1-ène et l'iodure d'hydrogène à température ambiante.

[1]

.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 10)

- (iii) Expliquez le mécanisme de la réaction entre le but-1-ène et l'iodure d'hydrogène en utilisant des flèches courbes pour représenter le mouvement des doublets d'électrons.

[4]

- (iv) Exprimez, une raison à l'appui, si le produit de cette réaction présente une stéréoisomérie.

[1]

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



24EP19

Tournez la page

(Suite de la question 10)

(c) Des expériences ont été réalisées pour étudier le mécanisme de réaction entre le 2-chloropentane et une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.

Expérience	[NaOH] (mol dm ⁻³)	[C ₅ H ₁₁ Cl] (mol dm ⁻³)	Vitesse initiale (mol dm ⁻³ s ⁻¹)
1	0,20	0,10	2,50 × 10 ⁻²
2	0,20	0,15	3,75 × 10 ⁻²
3	0,40	0,20	1,00 × 10 ⁻¹
4	0,60	0,25	

(i) Déduisez l'expression de la vitesse de cette réaction. [1]

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

(ii) Déduisez les unités de la constante de vitesse. [1]

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

(iii) Déterminez la vitesse de réaction initiale dans l'expérience 4. [2]

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

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 10)

- (d) Déduisez, une raison à l'appui, le mécanisme de la réaction entre le 2-chloropentane et l'hydroxyde de sodium. [1]

.....

.....

.....

.....

- (e) Discutez pourquoi le benzène est plus réactif avec une substance électrophile qu'avec une substance nucléophile. [2]

.....

.....

.....

.....



11. 50,00 cm³ d'hydroxyde de sodium à 0,75 mol dm⁻³ ont été ajoutés par portions de 1,00 cm³ à 22,50 cm³ d'acide chloroéthanoïque à 0,50 mol dm⁻³.

(a) Calculez le pH initial avant tout ajout d'hydroxyde de sodium, en utilisant la section 21 du recueil de données. [2]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(b) La concentration de l'excès d'hydroxyde de sodium était de 0,362 mol dm⁻³. Calculez le pH de la solution à la fin de l'expérience. [1]

.....

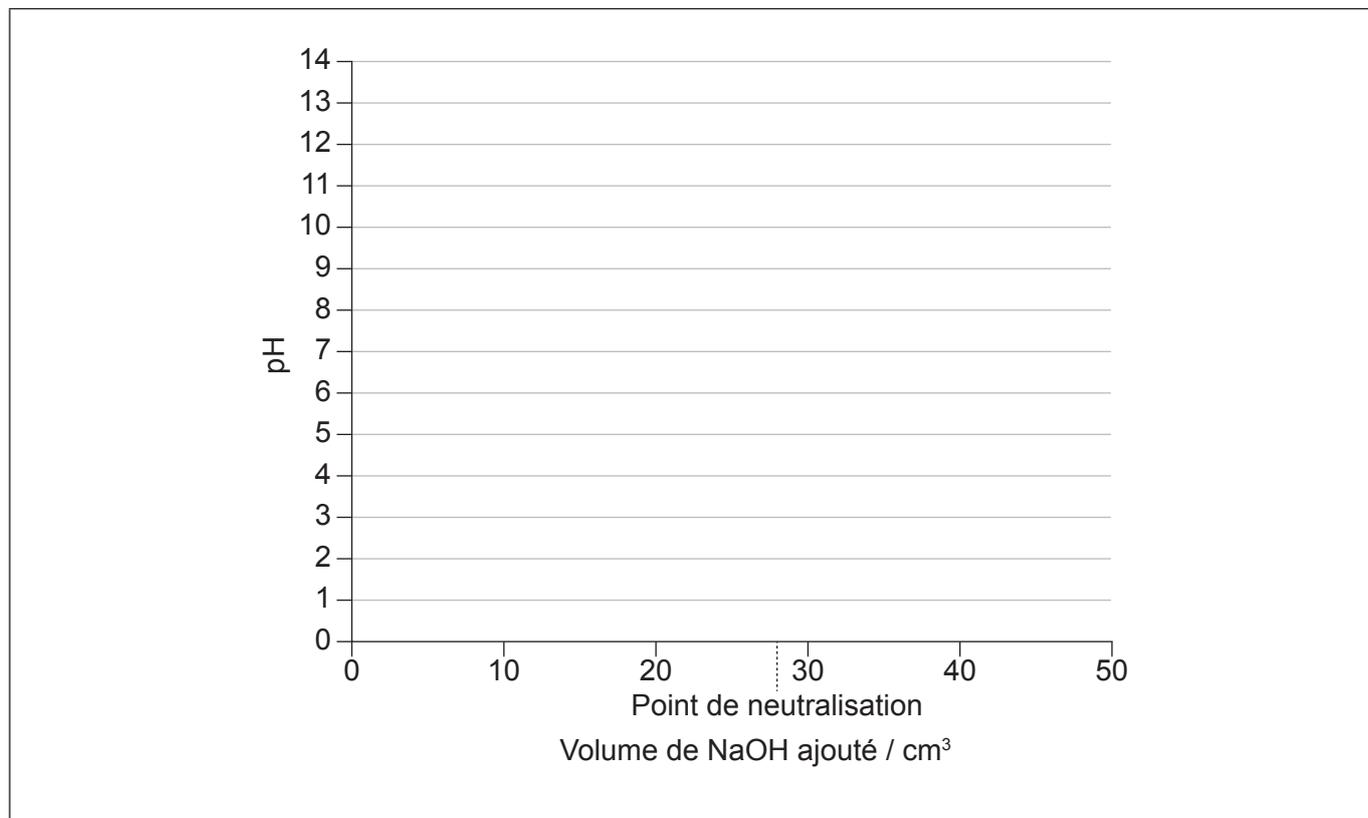
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 11)

(c) Représentez la courbe de neutralisation obtenue **et** légendez le point d'équivalence. [3]



Références :

1. (c) NIST Mass Spectrometry Data Center Collection © 2021 copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America [droits d'auteur du secrétaire américain au Commerce au nom des États-Unis d'Amérique]. Tous droits réservés. <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C71238&Units=SI&Type=IRSPEC&Index=3#IR-SPEC> [consulté le 6 mai 2020]. Source adaptée.

NIST Mass Spectrometry Data Center Collection © 2021 copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America [droits d'auteur du secrétaire américain au Commerce au nom des États-Unis d'Amérique]. Tous droits réservés. <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C79094&Units=SI&Mask=80#IR-Spec> [consulté le 6 mai 2020]. Source adaptée.

NIST Mass Spectrometry Data Center Collection © 2021 copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America [droits d'auteur du secrétaire américain au Commerce au nom des États-Unis d'Amérique]. Tous droits réservés. <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Name=propanal&Units=SI&IR=on&cTZ=on#IRSpec> [consulté le 6 mai 2020]. Source adaptée.

3. (c) (ii) Chemistry 2e, Chpt. 21 Nuclear Chemistry, Appendix G: Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/g-standard-thermodynamic-properties-for-selected-substances#page_667adccf-f900-4d86-a13d-409c014086ea © 1999-2021, Rice University. Sauf indication contraire, les manuels sur ce site sont sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>.
9. Figure à partir de *PPLATO / FLAP (Flexible Learning Approach To Physics)*, http://www.met.reading.ac.uk/pplato2/h-flap/phys8_1.html#top 1996 The Open University et The University of Reading.

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

