BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

PHYSIQUE-CHIMIE

Lundi 7 juin 2021

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

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

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

Le candidat traite 3 exercices : l'exercice 1 puis il choisit 2 exercices parmi les 3 proposés.

EXERCICE 1 commun à tous les candidats (10 points)

MISSIONS SUR LA LUNE

L'année 2019 a marqué le 50e anniversaire de la mission Apollo 11. En effet, le 20 juillet 1969, l'Homme marche pour la première fois sur la Lune.
Le but de cet exercice est d'étudier différents aspects des missions Apollo 11 et 16 : le décollage depuis la Terre, la mise en orbite autour de la Lune et une expérience de détermination de la valeur de l'intensité de la pesanteur lunaire.



Équipage de la mission Apollo 11 en 1969
(de gauche à droite : N. Armstrong, M. Collins, B. Aldrin)
Source : NASA



Équipage de la mission Apollo 16 en 1972
(de gauche à droite : T. Mattingly, J. Young, C. Duke Jr.)
Source : NASA

Données :

- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67\times10^{-11}$ m^3·kg^{-1}·s^{-2} ;
- masse de la Terre : $M_T = 5{,}97\times10^{24}$ kg ;
- masse de la Lune : $M_L = 7{,}34\times10^{22}$ kg ;
- masse du vaisseau Apollo 11 avec son module lunaire : $m_1 = 4{,}50\times10^{4}$ kg ;
- rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37\times10^{3}$ km ;
- rayon de la Lune : $R_L = 1{,}73\times10^{3}$ km ;
- intensité de pesanteur terrestre : $g_T = 9{,}81$ m·s^{-2}.

1. Décollage depuis la Terre de la mission Apollo 11

La fusée Saturn V est composée de trois étages contenant du carburant. Lorsqu'ils sont vides, ces étages se décrochent au fur et à mesure de la progression de la fusée.
Le 16 juillet 1969, la fusée Saturn V décolle de cap Canaveral en Floride en emportant l'équipage et le vaisseau Apollo 11 sur lequel est fixé un module lunaire. Elle met en orbite le vaisseau Apollo 11 qui effectue alors 1,5 tour autour de la Terre, afin de permettre la vérification de tous les paramètres du vol. Le vaisseau Apollo 11 est ensuite transféré sur une nouvelle trajectoire grâce au dernier étage de la fusée, qui va le mener à proximité de la Lune.

Pour toute cette partie, l'étude est effectuée dans le référentiel géocentrique dont l'origine est le centre de la Terre et dont les axes pointent vers des étoiles fixes ; le référentiel est supposé galiléen. La valeur de la vitesse du vaisseau Apollo 11 sur son orbite supposée circulaire de rayon $6{,}56\times10^{3}$ km vaut $v_h = 7{,}79\times10^{3}$ m·s^{-1}.

1.1. Calculer la valeur de la durée passée en orbite terrestre par l'équipage dans le vaisseau Apollo 11.

1.2. La valeur de l'énergie potentielle de pesanteur du vaisseau Apollo 11 en orbite terrestre est $E_p = -2{,}74\times10^{12}$ J, l'origine de l'énergie potentielle de pesanteur étant prise nulle à grande distance de la Terre.

1.2.1. Calculer la valeur de l'énergie cinétique E_c du vaisseau en orbite terrestre.

1.2.2. En déduire la valeur de l'énergie mécanique E_m du vaisseau en orbite terrestre.

1.3. La valeur de l'énergie mécanique E_{m0} du vaisseau Apollo 11 avant le décollage est : $E_{m0} = -2{,}81\times10^{12}$ J.

1.3.1. Déterminer l'énergie minimale que doit fournir Saturn V pour mettre en orbite terrestre le vaisseau Apollo 11. Conclure, sachant que la fusée Saturn V est un lanceur qui a la capacité de fournir une énergie de l'ordre de 5×10^{12} J pour mettre un corps en orbite autour de la Terre.

1.3.2. Expliquer pourquoi l'énergie cinétique du vaisseau avant le décollage n'est pas nulle dans le référentiel géocentrique.

2. Michael Collins en orbite autour de la Lune lors de la mission Apollo 11

Le vaisseau Apollo 11 se trouve au voisinage de la Lune à une altitude h_L = 110 km par rapport au sol lunaire. À cet instant, le module lunaire se détache du vaisseau emportant à son bord les deux astronautes Buzz Aldrin et Neil Armstrong vers le sol lunaire. Le troisième astronaute Michael Collins reste seul en orbite dans le vaisseau qui est animé d'un mouvement supposé circulaire uniforme dans le référentiel d'étude centré sur la Lune et supposé galiléen. Libéré de son module, le vaisseau possède alors une masse m_2 qui n'est plus que de $3{,}0\times10^4$ kg environ.
Les deux astronautes restent 21 h et 36 min sur le sol lunaire.

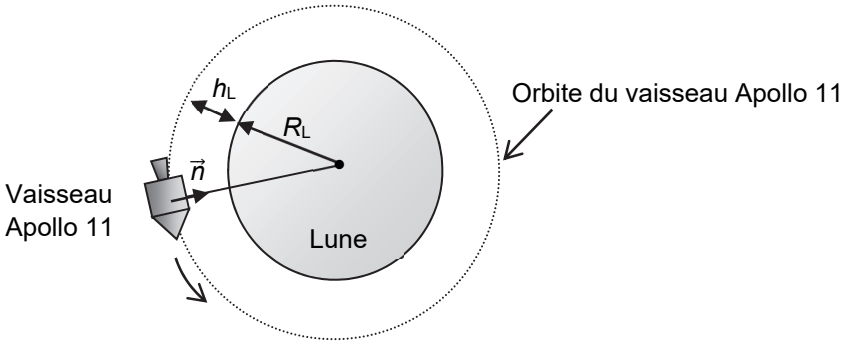


Figure 1. Vaisseau en orbite lunaire à une altitude h_L

On note $\vec{n}$ un vecteur unitaire choisi dans la direction vaisseau – centre de la Lune et dans le sens du vaisseau Apollo 11 vers la Lune (cf. figure 1). On considère que le vaisseau n'est soumis qu'à l'attraction de la Lune.

2.1. En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du vaisseau Apollo 11 à l'altitude h_L dans le référentiel d'étude.

2.2. Montrer que la norme de la vitesse v du vaisseau Apollo 11 à l'altitude h_L a pour expression :

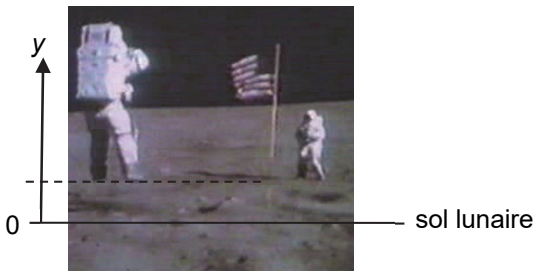
$$v = \sqrt{\frac{GM_L}{(R_L + h_L)}}$$

2.3. Calculer la valeur de la période de révolution T du vaisseau Apollo 11, puis déterminer celle du nombre de tours autour de la Lune qu'a fait l'astronaute Michael Collins pendant le séjour des deux autres astronautes sur la Lune.

3. Saut de John Young lors de la mission Apollo 16

Lors de la mission Apollo 16 en 1972, l'astronaute John Young fait un grand saut vertical. Cette scène a été filmée et la vidéo est exploitée grâce à un logiciel de pointage.

Une image de cette vidéo présentée ci-contre montre John Young au point le plus haut du saut, ses pieds étant alors situés à 60 cm au-dessus du sol.



Source : NASA

On choisit l'axe Oy vertical, orienté vers le haut, l'origine O de cet axe étant situé au niveau du sol lunaire. On repère la position de John Young selon cet axe en pointant la position de ses pieds image par image.

La courbe $y(t)$ donnée ci-dessous représente l'évolution de la position de John Young en fonction du temps pendant son saut sur la Lune. L'origine des dates, $t = 0$ s, est prise au début du saut.

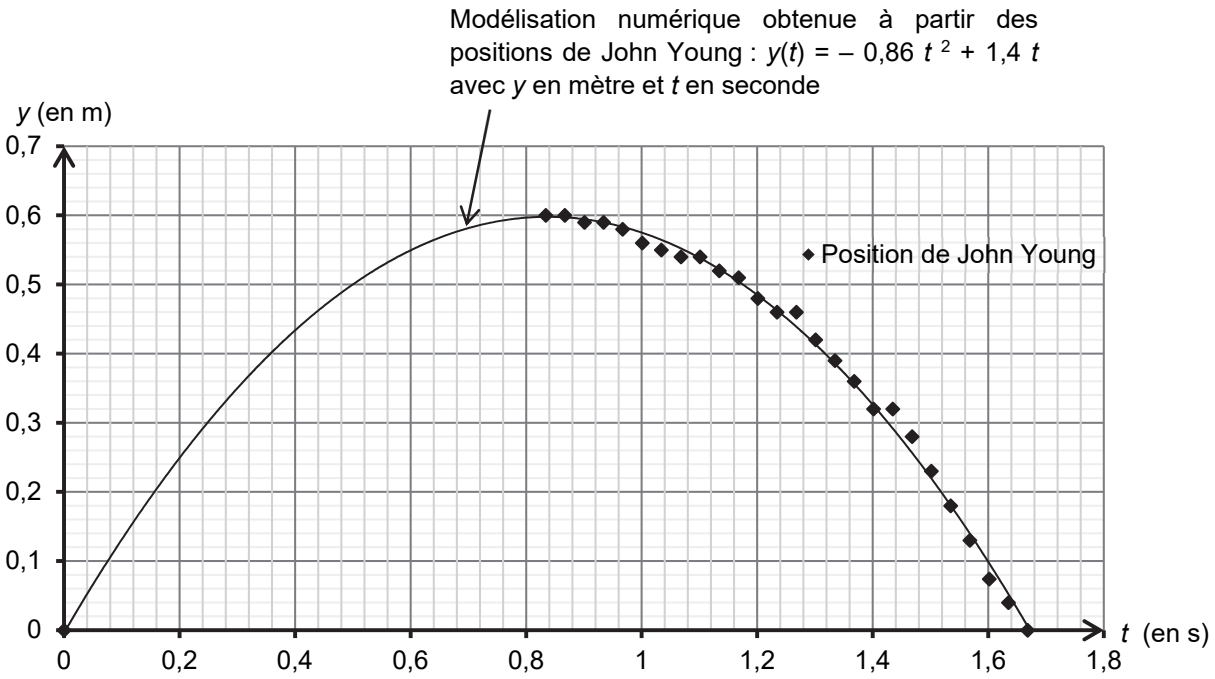


Figure 2. Évolution de la position y des pieds de John Young en fonction du temps t pendant son saut sur la Lune

En l'absence d'atmosphère sur la Lune, on considère que le saut de John Young est une chute libre verticale.

3.1. En utilisant la modélisation numérique, déterminer l'expression numérique de la vitesse $v_y(t)$ de John Young. Calculer la valeur de la vitesse initiale v_{0y} de John Young.

3.2. Montrer que la valeur de l'intensité de la pesanteur lunaire g_L est d'environ 1,7 m·s^{-2}.

3.3. John Young, avec son scaphandre, a une masse totale d'environ 150 kg et il parvient pourtant à faire un saut vertical de 60 cm sur la Lune. Déterminer les valeurs de la hauteur et de la durée d'un saut vertical qu'aurait réalisé John Young avec son équipement sur la Terre avec la vitesse initiale v_{0y} dans le cadre du modèle de la chute libre. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.

EXERCICES au choix du candidat (5 points)
Vous indiquerez sur votre copie **les 2 exercices choisis** :
exercice **A** ou exercice **B** ou exercice **C**

EXERCICE A - SYNTHÈSE DE CANNIZZARO

Mot-clé : synthèse organique

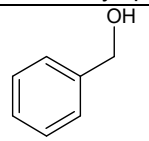
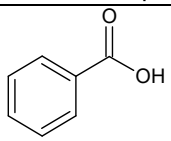
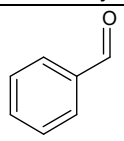
En 1853, le chimiste italien Stanislao Cannizzaro développe une synthèse qui porte son nom, permettant d'obtenir l'alcool benzylique et l'ion benzoate à partir du benzaldéhyde. L'ion benzoate est transformé en acide benzoïque par acidification. L'acide benzoïque est une espèce chimique utilisée comme conservateur dans l'industrie agro-alimentaire et l'alcool benzylique, quant à lui, est utilisé comme antiseptique dans l'industrie pharmaceutique.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la synthèse de Cannizzaro, puis les techniques permettant d'isoler et de contrôler la pureté des produits obtenus.


Stanislao Cannizzaro
Source : WIkipedia

Données :

- espèces chimiques :

Nom	Alcool benzylique	Acide benzoïque	Benzaldéhyde
Formule topologique			
Formule semi-développée	$C_6H_5–CH_2–OH$	$C_6H_5–COOH$	$C_6H_5–CHO$
Température de fusion	– 15°C	122°C	– 26°C

- couples oxydant / réducteur:
  - ion benzoate / benzaldéhyde : $C_6H_5–COO^-(aq)$ / $C_6H_5–CHO(aq)$ en milieu basique ;
  - benzaldéhyde / alcool benzylique : $C_6H_5–CHO(\ell)$ / $C_6H_5–CH_2–OH(\ell)$;

- densité de l'éther diéthylique liquide à 25°C par rapport à l'eau liquide : $d_{éther}$ = 0,71 ;
- solubilité des espèces chimiques dans l'eau et l'éther diéthylique :

Espèce chimique / Solvant	Alcool benzylique	Acide benzoïque	Ion benzoate	Benzaldéhyde
Eau	Insoluble	Peu soluble (solubilité : 2,9 $g·L^{-1}$ à 20°C et 1,7 $g·L^{-1}$ à 0°C)	Très soluble	Insoluble
Éther diéthylique	Soluble	Soluble	Insoluble	Soluble

- pK_A à 25°C du couple acide benzoïque $C_6H_5–COOH(aq)$ / ion benzoate $C_6H_5–COO^-(aq)$: 4,2.

1. Modélisation de la synthèse de Cannizzaro

La synthèse de Cannizzaro peut être modélisée par une réaction d'oxydo-réduction dans laquelle un même réactif, le benzaldéhyde, est à la fois l'oxydant et le réducteur ; on parle alors de réaction de dismutation. L'équation de la réaction est la suivante :

$$2\ C_6H_5\text{-}CHO\ (\ell) + HO^-\ (aq) \rightarrow C_6H_5\text{-}COO^-\ (aq) + C_6H_5\text{-}CH_2\text{-}OH\ (\ell)$$

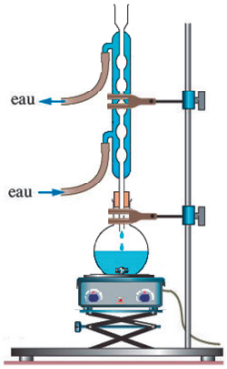


Figure 1. Montage à reflux choisi pour optimiser la synthèse de Cannizzaro

1.1 Recopier la formule topologique du benzaldéhyde, entourer le groupe caractéristique et nommer la famille fonctionnelle correspondante.
1.2 Justifier, en identifiant les couples oxydant / réducteur, que la réaction modélisant la synthèse de Cannizzaro est une dismutation.

2. Optimisation de la synthèse de Cannizzaro

Pour réaliser la synthèse de Cannizzaro, on mélange dans un ballon une solution d'hydroxyde de potassium et du benzaldéhyde commercial, puis on agite vigoureusement. On choisit de travailler avec une solution concentrée d'hydroxyde de potassium et d'utiliser le montage de la figure 1.
Justifier ces choix expérimentaux pour optimiser la synthèse.

3. Séparation et contrôle de la pureté des produits de la synthèse

En fin de réaction, on verse le contenu du ballon dans une ampoule à décanter et on réalise une extraction liquide-liquide en utilisant de l'éther diéthylique comme solvant extracteur. Après décantation, on distingue une phase aqueuse et une phase organique non-miscibles que l'on sépare l'une de l'autre.
La phase organique est traitée ensuite grâce à un dispositif qui permet d'évaporer l'éther diéthylique présent et de récupérer un produit A sous forme liquide.
La phase aqueuse est placée dans un grand bécher placé dans un bain d'eau et de glace. On y verse goutte-à-goutte une solution concentrée d'acide chlorhydrique jusqu'à ce que le pH soit inférieur à 2. On observe la formation d'un solide correspondant au produit B.
Une chromatographie sur couche mince des produits A et B obtenus est réalisée sous une hotte aspirante. Tous les produits sont dissous à 1 % dans le dichlorométhane. La plaque est révélée à l'aide d'une lampe UV et le chromatogramme obtenu est présenté sur la figure 2.

(1) : produit A
(2) : alcool benzylique commercial
(3) : produit B
(4) : acide benzoïque commercial
(5) : benzaldéhyde commercial

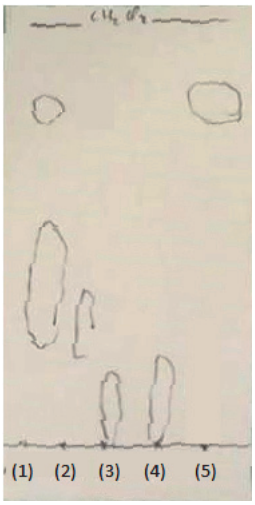


Figure 2. Chromatogramme obtenu

3.1. Effectuer un schéma légendé de l'ampoule à décanter en précisant les phases présentes et leurs compositions respectives après décantation.

3.2. Justifier l'utilisation de l'éther diéthylique pour effectuer la séparation des produits de la synthèse.

3.3. Justifier que l'on veuille obtenir un pH inférieur à 2 pour la phase aqueuse.

3.4. Donner l'intérêt du bain d'eau et de glace.

3.5. Citer une technique permettant d'isoler le produit B de la phase aqueuse.

3.6. En utilisant le chromatogramme, conclure sur l'efficacité de l'étape de séparation des produits obtenus.

3.7. En utilisant le chromatogramme, conclure sur la pureté des produits obtenus.

EXERCICE B - DEGRÉ D'HYDRATATION DU CHLORURE DE MAGNÉSIUM

Mots-clés : titrage suivi par conductimétrie

La présence de magnésium dans le corps humain stimule l'immunité et diminue la fatigue. Bien que le magnésium soit présent dans de nombreux aliments comme les amandes, les épinards ou les bananes, il peut être prescrit en complément. Des sachets de chlorure de magnésium sont disponibles en pharmacie et permettent cet apport complémentaire en magnésium au corps humain.

La poudre présente dans le sachet est du chlorure de magnésium hydraté pur, de formule $MgC\ell_2$, 4,5 H_2O, où 4,5 est appelé le degré d'hydratation. Celui-ci représente le nombre de moles d'eau présentes dans une mole de chlorure de magnésium hydraté.



Photographie d'un sachet de chlorure de magnésium en pharmacie

Cet exercice propose de déterminer le degré d'hydratation du chlorure de magnésium du sachet à l'aide d'un titrage suivi par conductimétrie.

Données :

- masse de poudre dans le sachet : $m = 20{,}3$ g ;
- masse molaire de l'eau : $M_{eau} = 18{,}0$ g·mol^{-1} ;
- masse molaire du chlorure de magnésium $MgC\ell_2$: $M_2 = 95{,}3$ g·mol^{-1} ;
- valeurs de la conductivité molaire ionique λ à 25 °C de quelques ions :

ion	Mg^{2+}	$C\ell^-$	Ag^+	NO_3^-
λ en mS·m^2·mol^{-1}	10,61	7,63	6,19	7,14

Le contenu d'un sachet acheté en pharmacie est dissous en totalité pour fabriquer 1,00 L de solution aqueuse S_1, la dissolution étant totale dans ces conditions. Une solution aqueuse S_2 est obtenue par dilution d'un facteur cinq de la solution aqueuse S_1.

1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la dissolution de la poudre du sachet dans l'eau.

2. Décrire précisément un protocole expérimental à mettre en œuvre pour préparer 100,0 mL de solution aqueuse S_2 à partir de la solution aqueuse S_1.

Un dosage par titrage de la solution aqueuse S_2 est réalisé par une solution aqueuse S titrante de nitrate d'argent, (Ag^+(aq) ; NO_3^-(aq)), à la concentration $C_S = 5{,}0\times10^{-2}$ mol·L^{-1}. Pour cela, un volume de $V_2 = 10{,}0$ mL de solution aqueuse S_2 est prélevé et versé dans un bécher, auquel sont ajoutés environ 200 mL d'eau distillée. L'ensemble est alors titré par la solution aqueuse S et suivi par conductimétrie. La réaction support du titrage a pour équation :

$$Ag^+(aq) + C\ell^-(aq) \rightarrow AgC\ell(s)$$

3. Les ions magnésium Mg^{2+} et nitrate NO_3^- sont des espèces spectatrices lors du titrage. Indiquer la signification de l'adjectif « spectatrice » donné à ces espèces.

La conductivité σ de la solution contenue dans le bécher est mesurée après chaque ajout de solution aqueuse titrante S. Les résultats expérimentaux obtenus sont reproduits dans la représentation graphique ci-dessous (figure 2) :

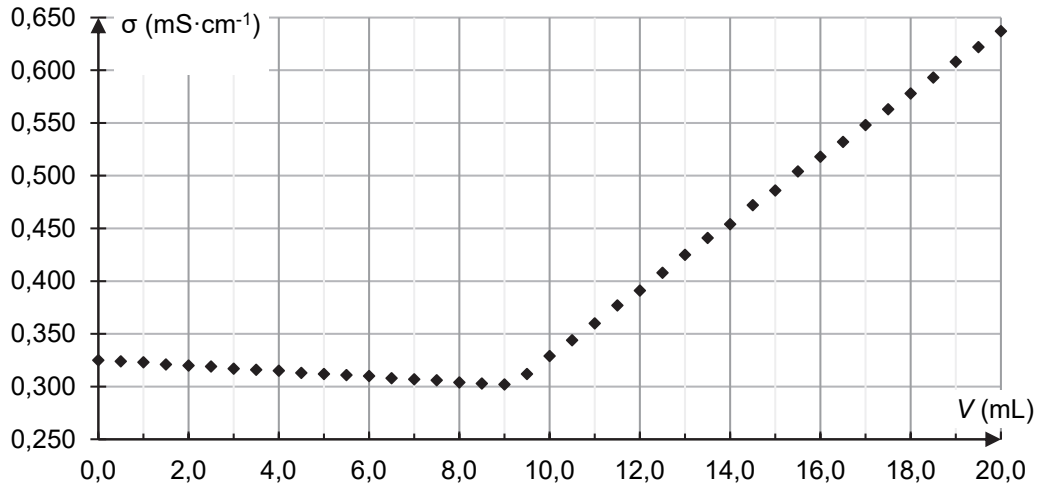


Figure 2. Représentation graphique de la conductivité de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume de solution aqueuse titrante S de nitrate d'argent versé

4. En utilisant les conductivités molaires ioniques, justifier l'allure de la courbe obtenue et déterminer la valeur du volume à l'équivalence du titrage.

5. Calculer la concentration en ions chlorure $C\ell^-$ dans la solution S_1, puis montrer que la masse de chlorure de magnésium $MgC\ell_2$, dans le sachet analysé, est de $m(MgC\ell_2) = 10{,}8$ g.

6. En déduire le degré d'hydratation du chlorure de magnésium étudié. Conclure.

EXERCICE C - LE POMELO

Mots-clés : titrage par suivi pH-métrique ; dosage par étalonnage



Le pomelo est un fruit résultant d'un croisement entre un pamplemoussier et un oranger. Cet agrume est connu pour sa teneur élevée en acide ascorbique (vitamine C) par rapport aux autres fruits, ce qui lui confère des propriétés « anti-oxydantes ». Il contient également de l'acide citrique.

L'objectif de cet exercice est d'étudier deux propriétés du jus de pomelo : des propriétés acido-basiques essentiellement dues à l'acide citrique et des propriétés « anti-oxydantes » dues à l'acide ascorbique.

Données :

- masse molaire moléculaire de l'acide citrique : $M(C_6H_8O_7) = 192{,}0\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- masse molaire moléculaire de l'acide ascorbique : $M(C_6H_8O_6) = 176{,}0\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- indicateurs colorés acide-base :

Nom	Couleur de la forme acide	Zone de virage	Couleur de la forme basique
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Rouge de crésol	Jaune	7,2 – 8,8	Rouge

1. Acidité titrable d'un jus de pomelo

Le jus du pomelo est acide. Cette acidité est principalement due à trois espèces : l'acide citrique, le plus abondant, l'acide malique et l'acide ascorbique, présents en plus faible quantité.
Afin de comparer plus facilement l'acidité entre les agrumes, on considère que le seul acide présent dans le jus de pomelo est l'acide citrique, un triacide, que l'on note H_3A. On définit l'acidité titrable comme la masse, exprimée en grammes, d'acide citrique par litre de jus extrait de l'agrume. L'acidité titrable d'un jus de pomelo est de l'ordre de la dizaine de grammes d'acide citrique pour un litre de jus.

Pour déterminer la valeur de l'acidité titrable d'un jus de pomelo, on réalise un titrage acido-basique de 20,0 mL de jus frais et filtré par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq)$; $HO^-(aq)$) de concentration égale à $0{,}50\ mol{\cdot}L^{-1}$, et on suit le titrage par pH-métrie. La courbe du titrage est présentée ci-dessous.

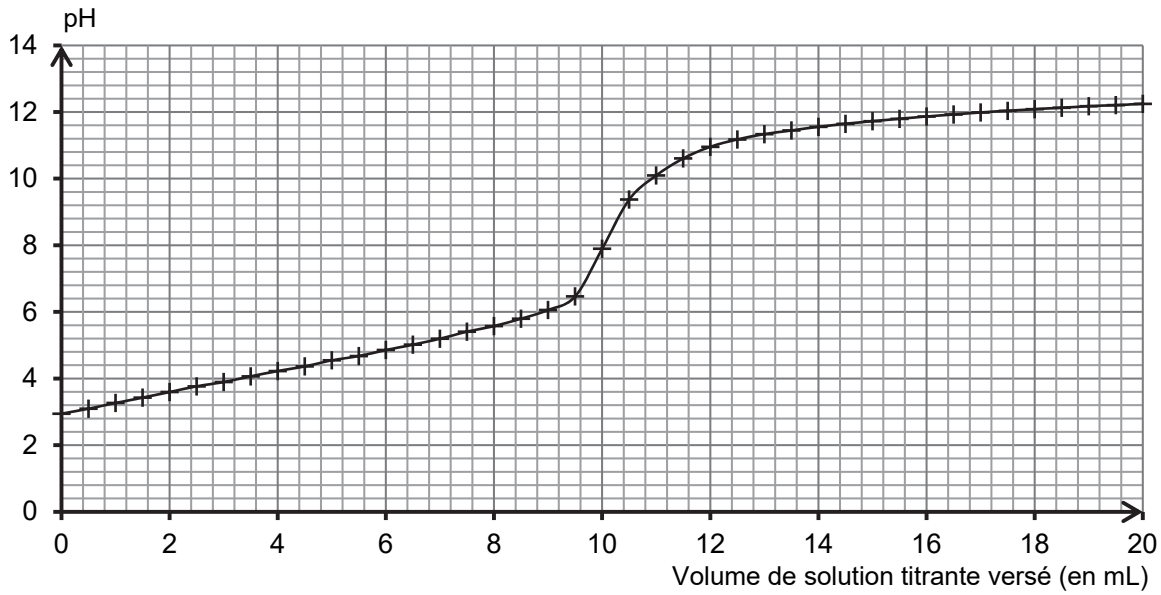


Figure 1. Courbe du titrage du jus de pomelo par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium

1.1. Déterminer graphiquement la valeur du pH du jus de pomelo frais et filtré. Commenter.
1.2. Schématiser et légender le montage permettant de réaliser ce titrage.

1.3. Titrage suivi par colorimétrie

1.3.1. Choisir, dans la liste des indicateurs colorés acido-basiques, celui qui peut être utilisé pour réaliser le titrage suivi par colorimétrie de l'acidité du jus de pomelo. Justifier.

1.3.2. Préciser le changement de couleur qui peut être observé lors du titrage.

L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :

$$H_3A\,(aq) + 3\,HO^-\,(aq) \rightarrow A^{3-}\,(aq) + 3\,H_2O\,(\ell)$$

1.4. En exploitant la courbe du titrage (figure 1), déterminer l'acidité titrable du jus de pomelo. Commenter.

2. Détermination de la quantité d'acide ascorbique dans un jus de pomelo

Selon l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), pour couvrir ses besoins journaliers, il est conseillé à un adulte d'ingérer environ 100 mg par jour d'acide ascorbique ou vitamine C.

Afin d'estimer le volume de jus de pomelo nécessaire à un adulte pour couvrir ses besoins journaliers en acide ascorbique, on cherche à évaluer la quantité de cette espèce chimique présente dans un jus. Pour cela, on fait réagir l'acide ascorbique présent dans un jus de pomelo avec un excès de diiode I_2 en quantité connue, puis on détermine la quantité de diiode restante. On en déduit alors la quantité d'acide ascorbique présente initialement dans le jus.

Expérimentalement :

- Réaction de l'acide ascorbique et du diiode : on mélange 5,0 mL de jus de pomelo avec 5,0 mL d'une solution aqueuse de diiode de concentration égale à $8{,}0\times10^{-3}$ mol·L^{-1}. Après quelques instants, l'intensité de la couleur du mélange ne varie plus. On note F ce mélange final de 10,0 mL.
  Cette transformation, lente et totale, peut être modélisée par l'équation de réaction suivante :
  $$C_6H_8O_6\,(aq) + I_2\,(aq) + 2\,H_2O\,(\ell) \rightarrow C_6H_6O_6\,(aq) + 2\,H_3O^+\,(aq) + 2\,I^-\,(aq)$$

- Dosage du diiode restant : on réalise un dosage par étalonnage à l'aide de mesures spectrophotométriques.
  - Une gamme de solutions aqueuses de diiode est réalisée pour obtenir la courbe d'étalonnage de la figure 2 ;
  - Un blanc avec un mélange contenant du jus de pomelo dilué avec de l'eau distillée est préparé, puis l'absorbance du mélange final F est mesurée, elle vaut A = 0,11.

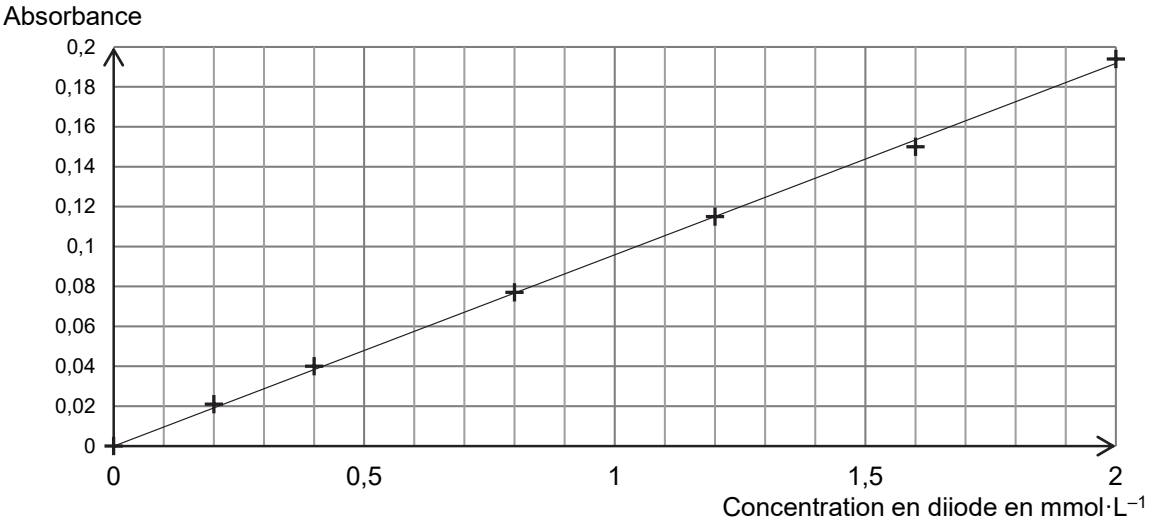


Figure 2. Courbe d'absorbance des solutions aqueuses de diiode en fonction de leur concentration

2.1. Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière en diiode restant dans le mélange final F et en déduire la quantité de diiode qui a réagi avec l'acide ascorbique du jus de pomelo.

2.2. Montrer que la valeur de la concentration en acide ascorbique du jus frais de pomelo est environ égale à 6×10^{-3} mol·L^{-1}.

2.3. Calculer le volume de jus de pomelo nécessaire pour couvrir totalement les besoins journaliers en acide ascorbique d'un adulte. Commenter.