17PYSCOG11

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2017

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement Obligatoire

Durée de l'épreuve : 3 heures 30 – Coefficient : 6

L'usage des calculatrices est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

17PYSCOG11

EXERCICE I : MISSION APOLLO XIV (9 points)

En février 1971, la mission américaine Apollo XIV devient la huitième mission habitée du programme Apollo et la troisième à se poser sur la Lune. Lors de cette mission, un des astronautes, Alan B. Shepard Jr, installe un réflecteur de lumière sur le sol lunaire. Il réalise aussi un rêve : jouer au golf sur la Lune !

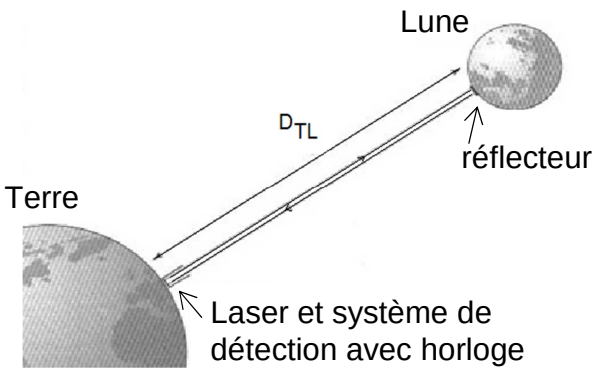
Données :

- Célérité de la lumière dans le vide et dans l'air : c = 299 792 458 m.s^{-1}.
- Constante gravitationnelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m^3.kg^{-1}.s^{-2}.
- Valeur du champ de pesanteur terrestre : g_T = 9,81 N.kg^{-1}.
- La Terre et la Lune sont supposées sphériques.

	Masse	Rayon
Terre	$M_T = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg	$R_T = 6{,}38 \times 10^3$ km
Lune	$M_L = 7{,}33 \times 10^{22}$ kg	$R_L = 1{,}74 \times 10^3$ km

1. Mesure de la distance Terre-Lune

L'expérience « LASER-LUNE » de l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA) a pour objectif la détermination précise de la distance Terre-Lune et de ses variations.



Le principe de la mesure est de déterminer la durée T d'un aller-retour d'une impulsion LASER émise du sol terrestre vers un réflecteur lunaire composé de nombreux prismes qui jouent le rôle de miroir. La lumière est réfléchie dans la même direction que le rayon lumineux incident. On en déduit la distance D_{TL} séparant la Terre de la Lune.
La valeur moyenne de la distance D_{TL}, étant d'environ $3{,}84 \times 10^8$ m, on prévoit un intervalle T de quelques secondes entre l'émission d'une impulsion et la réception du signal de retour correspondant. Actuellement, la distance Terre-Lune peut être déterminée avec une précision de 5 mm.

D'après le site www.culturesciencesphysique.ens-lyon.fr

1.1. Montrer que l'information donnée dans la présentation de l'expérience concernant la durée T est correcte. Justifier votre réponse.

1.2. Les incertitudes relatives sur la distance D_{TL} et la durée T s'expriment par la relation : $\frac{U(D_{TL})}{D_{TL}} = \frac{U(T)}{T}$, où $U(D_{TL})$ et $U(T)$ sont les incertitudes absolues sur la mesure de D_{TL} et de T.

Le tableau ci-après donne la précision relative de quelques horloges performantes :

Type d'horloge	Horloge à quartz	Horloge atomique au césium	Horloge optique
Précision relative	10^{-9}	10^{-16}	10^{-18}

Quel type d'horloge faut-il utiliser pour obtenir une distance D_{TL} précise à 5 mm près ? Justifier.

2. Golf lunaire

Interview de l'astronaute Alan B. Shepard Jr :
« - Dix ans après votre premier vol, vous êtes allé sur la Lune (Apollo XIV, en 1971), où vous vous êtes livré à un exercice assez original...
- Oui, j'ai joué au golf sur la Lune ! J'ai failli rater la première balle parce que j'étais gêné par ma combinaison spatiale et elle a lamentablement échoué dans un cratère tout proche. La seconde, grâce à la faible gravité, est partie à des kilomètres et des kilomètres, sans bruit, semblant ne jamais vouloir se poser. »

D'après l'interview de F. Nolde-Langlois - 29/06/1995 - Libération

Dans cette partie, on souhaite vérifier quelques-uns des propos formulés par l'astronaute lors de l'interview.

2.1. Interaction gravitationnelle lunaire.

Faire un schéma d'un objet de masse m à l'altitude h au voisinage de la Lune, en représentant :
- le vecteur unitaire $\vec{u}$ orienté de l'objet vers le centre de la Lune ;
- le vecteur $\vec{F}$ modélisant la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Lune sur l'objet.

Donner l'expression vectorielle de cette force d'interaction gravitationnelle en fonction de G, m, M_L, h, R_L et $\vec{u}$.

2.2. Champ de pesanteur lunaire.

2.2.1. En faisant l'hypothèse que le poids sur la Lune est égal à la force d'interaction gravitationnelle, donner l'expression vectorielle $\overrightarrow{g_L}$ du champ de pesanteur à une altitude h en fonction de G, M_L, h, R_L et $\vec{u}$.

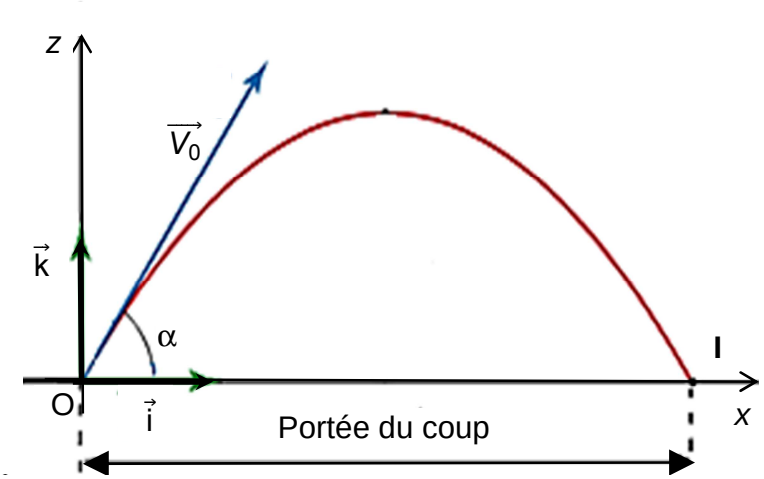
2.2.2. Calculer la valeur du champ de pesanteur g_L à la surface de la Lune.

2.2.3. Expliquer pourquoi Alan B. Shepard Jr parle alors de « faible gravité » sur la Lune.

2.3. Mouvement d'une balle de golf dans le champ de pesanteur lunaire.

Dans cette partie, on fait l'hypothèse que le champ de pesanteur lunaire est uniforme et que sa valeur est $g_L = 1{,}61$ N.kg^{-1}.
On se place dans un référentiel lunaire supposé galiléen.

À la date t = 0 s, l'astronaute frappe la balle de golf et lui communique une vitesse $\overrightarrow{V_0}$ faisant un angle α avec l'horizontale.
La balle de golf est modélisée par un point matériel M.
L'origine du repère $(O, \vec{i}, \vec{k})$ est prise au point de départ de la balle.



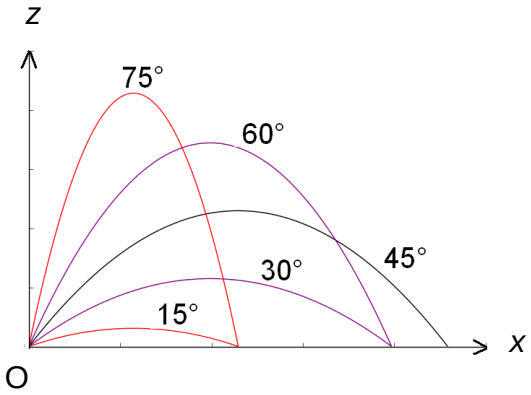
2.3.1. Une première modélisation du mouvement conduit à l'expression suivante des coordonnées du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ de la balle lors de son mouvement :

$$\begin{cases} x(t) = V_0.\cos(\alpha).t \\ z(t) = -\frac{1}{2} g_L.t^2 + V_0.\sin(\alpha).t \end{cases}$$

À partir des coordonnées du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ de la balle de golf, montrer que dans le modèle utilisé, seule la force d'interaction gravitationnelle a été prise en compte. Détailler la démarche suivie.

2.3.2. Portée du coup.

La portée du coup est la distance entre le point de lancement O et le point d'impact I au sol.
Pour une même valeur de la vitesse V_0, on donne la représentation de la modélisation de la trajectoire de la balle pour différentes valeurs de l'angle α.



a) La portée du coup est donnée par la relation :

$$x_I = \frac{(V_0)^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g_L} .$$

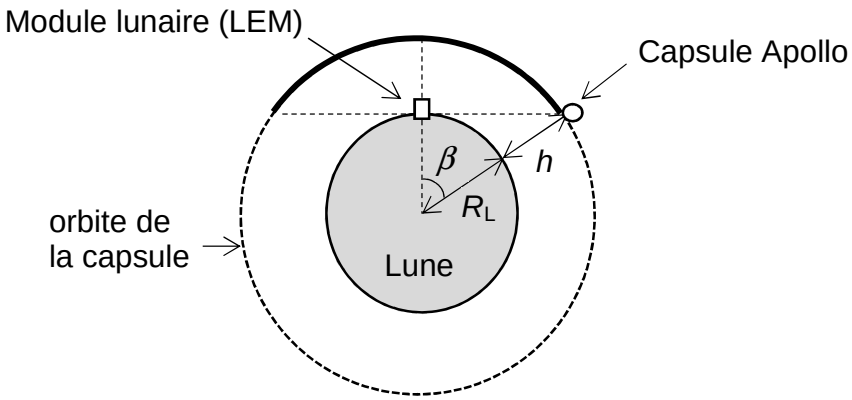
En quoi cette expression est-elle cohérente avec les représentations des trajectoires sur le graphique ci-dessus ?

b) Alan B. Shepard Jr se place dans les conditions les plus favorables afin d'atteindre un record sur la Lune. Il communique à la balle une vitesse initiale V_0 de 100 km.h^{-1}. La valeur de la portée de son coup est alors de 470 m.
À quelle distance aurait-il pu envoyer la balle sur Terre, avec les mêmes conditions initiales ? Commenter.

3. Communication entre la Lune et la capsule Apollo

Quand elle arrive au voisinage de la Lune, la capsule Apollo est mise en orbite à une altitude *h* égale à 110 km. Son mouvement est circulaire et uniforme autour du centre de la Lune. Le module lunaire (LEM) est alors envoyé sur la Lune, avec deux astronautes à son bord. Le troisième astronaute reste à bord de la capsule Apollo.

Le schéma ci-dessous représente l'orbite de la capsule Apollo autour de la Lune. Les échelles ne sont pas respectées.



L'étude du mouvement de la capsule se fait dans le référentiel lunocentrique supposé galiléen, défini par le centre de la Lune supposée sphérique et trois axes dirigés vers trois étoiles fixes. Dans cette étude, on néglige la rotation de la lune sur elle-même dans le référentiel lunocentrique.

3.1. Donner l'expression de la valeur du vecteur accélération de la capsule sur son orbite en fonction de G, M_L, h, R_L.

3.2. Montrer que la valeur v de la vitesse de la capsule est donnée par :

$$v = \sqrt{\frac{G.M_L}{R_L+h}}$$

3.3. Vérifier que la durée entre deux passages successifs de la capsule Apollo à la verticale du module lunaire posé sur la Lune vaut environ 2 h.

3.4. Expliquer pourquoi la communication entre les astronautes sur la Lune et leur collègue resté dans la capsule ne peut se faire que sur la partie de l'orbite représentée en gras.

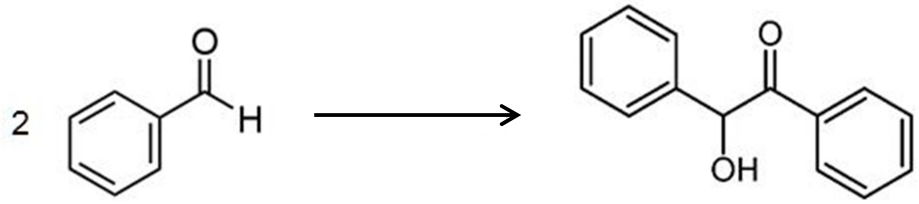
3.5. Quelle est la durée de communication possible à chaque révolution de la capsule ?

Toute démarche, même non aboutie, sera valorisée.

17PYSCOG11

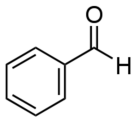
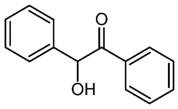
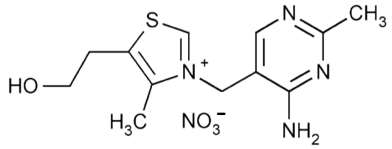
EXERCICE II : SYNTHÈSE DE LA BENZOÏNE (6 points)

La benzoïne est une molécule utilisée dans de nombreux domaines de l'industrie chimique, en pharmacologie et cosmétique par exemple.
Le but de cet exercice est d'étudier trois protocoles de synthèse de la benzoïne à partir du benzaldéhyde et de les comparer, au regard de la chimie verte.
L'équation de la réaction de synthèse est représentée ci-dessous :



benzoïne

Données :

Espèce chimique	Caractéristiques	Pictogramme de sécurité
Benzaldéhyde 	- T_{fusion} = -26 °C - $T_{ébullition}$ = 179 °C - Masse volumique à 20 °C : ρ = 1,04 g.mL^{-1} - Légèrement soluble dans l'eau - Soluble dans l'éthanol - Masse molaire : 106 g.mol^{-1}	
Benzoïne 	- T_{fusion} = 137 °C - Peu soluble dans l'eau - Légèrement soluble dans l'éthanol - Masse molaire : 212 g.mol^{-1}	
Cyanure de potassium KCN	- T_{fusion} = 635 °C - Donne des ions K^+ et CN^- par dissolution dans l'eau - Soluble dans l'eau et l'éthanol. - Masse molaire : 65 g.mol^{-1}	 En milieu acide, un dégagement gazeux de HCN (gaz toxique)
Thiamine (vitamine B1) 	- T_{fusion} = 248 °C (décomposition) - Soluble dans l'eau et l'éthanol. - Masse molaire : 265 g.mol^{-1}	
Éthanol $CH_3 - CH_2 - OH$	- T_{fusion} = -114 °C - $T_{ébullition}$ = 78 °C - Masse volumique à 20 °C : ρ = 0,79 g.mL^{-1} - Masse molaire : 46,1 g.mol^{-1}	

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 7 / 13
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

1. Les molécules intervenant dans la synthèse

Recopier l'équation de la réaction de synthèse.
Entourer les groupes caractéristiques du réactif et du produit, puis nommer les fonctions correspondantes.

2. La méthode ZININ 1839

La méthode ZININ est l'une des premières méthodes de synthèse de la benzoïne à partir du benzaldéhyde, utilisant les ions cyanure comme catalyseurs.

Protocole de la synthèse :



SÉCURITÉ

Travailler sous une hotte aspirante.
Porter constamment une paire de gants de protection.
Récupérer les déchets dans un récipient de stockage approprié.

① Dans un ballon à fond rond de 250 mL équipé d'un réfrigérant, introduire environ 20 mL d'éthanol, 15,0 mL de benzaldéhyde et 15,0 mL d'une solution aqueuse à 10% en cyanure de potassium.
② Chauffer à reflux durant 30 minutes.
③ Refroidir le ballon et son contenu dans un mélange (eau + glace + sel) : la benzoïne cristallise.
④ Filtrer sur filtre Büchner.
⑤ Laver le résidu solide avec 50 mL d'eau distillée glacée.
⑥ Essorer et sécher à l'étuve réglée à 100 °C penda nt 20 minutes.
⑦ Recristalliser le produit brut dans l'éthanol.
⑧ Filtrer sur filtre Büchner.
⑨ Essorer et sécher à l'étuve réglée à 100 °C duran t 20 minutes.
⑩ Mesurer la température de fusion et la masse de benzoïne solide obtenue.

Résultats : T_{fusion} = 137 °C
$m_{obtenue}$ = 7,81 g

2.1. Analyse du protocole de synthèse.

2.1.1. Justifier les mesures de sécurité préconisées.

2.1.2. Dans un protocole de synthèse apparaissent quatre étapes :
synthèse – séparation – purification – identification.
Repérer ces différentes étapes successives dans les opérations du protocole de synthèse de la benzoïne notées de ① à ⑩.

2.1.3. Justifier le choix de la température de l'étuve.

2.2. Rendement de la synthèse.

2.2.1. Montrer que la masse maximale $m_{théorique}$ de benzoïne que l'on peut former à l'issue de la synthèse vaut : $m_{théorique}$ = 15,6 g.

2.2.2. Définir, puis calculer le rendement de la synthèse réalisée au laboratoire.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

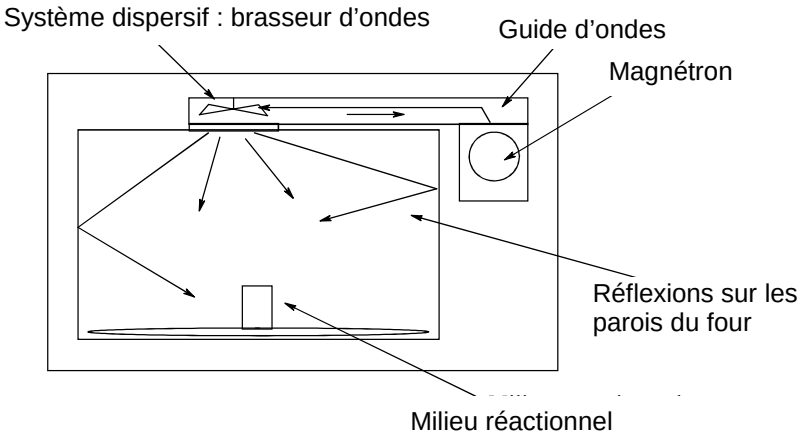
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

3. Utilisation du four à micro-onde pour la synthèse

Ronald Breslow a découvert en 1950 que l'on pouvait remplacer, dans la synthèse de la benzoïne, les ions cyanure par la thiamine (vitamine B1) comme catalyseur en milieu basique.
À partir de 1980, le chauffage au four à micro-ondes a remplacé le chauffage à reflux dans cette synthèse.

Dans un four à micro-ondes domestique, un magnétron (générateur de micro-ondes) émet des ondes électromagnétiques d'hyperfréquences (f = 2,45 GHz) canalisées dans un guide d'ondes pour arriver au-dessus du plateau tournant. Ces ondes sont ensuite dispersées par réflexions multiples sur les parois.



L'interaction entre les ondes électromagnétiques et les molécules du milieu réactionnel peut être modélisée par l'absorption par les molécules de photons associés aux ondes électromagnétiques. Selon l'énergie du photon absorbé, l'effet diffère, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Énergie du photon absorbé	Nature de la transition mise en jeu	Effet sur les molécules
1,5 eV à 10 eV	Transition entre niveaux d'énergie électronique	Les électrons changent de niveaux, la molécule peut s'ioniser.
0,003 eV à 1,5 eV	Transition entre niveaux d'énergie vibrationnelle	Les liaisons de la molécule vibrent selon différents modes
1×10^{-6} eV à 0,003 eV	Transition entre niveaux d'énergie rotationnelle	La molécule tourne sur elle-même

Données :

- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- 1 eV = $1{,}602 \times 10^{-19}$ J.

Quel est l'effet produit sur les molécules du milieu réactionnel par les ondes électromagnétiques émises dans le four à micro-ondes ? Un calcul est attendu.

4. Comparaison des différents protocoles

Le tableau suivant récapitule différents protocoles de synthèse ramenés à une quantité équivalente de benzaldéhyde de départ.

Année du Protocole	Substances chimiques	Chauffage	Masse de benzoïne obtenue
1839	Benzaldéhyde 15 mL Ion cyanure Éthanol + eau (solvant)	à reflux durée = 30 min puissance = 250 W	7,8 g
1950	Benzaldéhyde 15 mL Thiamine (milieu basique) Éthanol + eau (solvant)	à reflux durée = 90 min puissance = 100 W	7,4 g
1980	Benzaldéhyde 15 mL Thiamine (milieu basique) Éthanol + eau (solvant)	au four micro-onde durée = 7 min puissance = 600 W	9,0 g

En quoi l'évolution du protocole de cette synthèse va-t-il dans le sens de la chimie verte ? La réponse devra comporter un argument environnemental et un argument énergétique.

Donnée :

Relation entre puissance P (en W) et énergie E (en J) : $E = P.\Delta t$.
Δt est la durée du transfert d'énergie, exprimée en s.

17PYSCOG11

EXERCICE III : VALORISATION DU DIOXYDE DE CARBONE (5 points)

Une usine sidérurgique du sud de la France, située en bordure de mer, produit chaque année 4 millions de tonnes d'acier. Cette production s'accompagne de l'émission de 8 millions de tonnes de dioxyde de carbone.
Un des objectifs de la COP 21 est de réduire de 24 % l'émission de CO_2 dans le secteur de l'industrie.
Pour contribuer à cet objectif, on cherche à capter le CO_2 émis lors de la production d'acier pour le stocker ou à le valoriser afin d'éviter son rejet dans l'atmosphère.



Un site voisin de marais salants en reconversion, de surface disponible 6000 hectares, pourrait être exploité. Le CO_2 émis serait utilisé dans la culture intensive d'une microalgue naturellement présente sur ce site, la *Dunaliella salina*.

Les microalgues sont des microorganismes photosynthétiques qui assurent leur croissance en transformant l'énergie solaire en énergie chimique quand elles sont en présence d'eau, de dioxyde de carbone, d'éléments inorganiques (azote N, phosphore P, potassium K,...).

Les quantités de nutriments nécessaires à la croissance d'un kilogramme de microalgues sont indiquées dans le tableau suivant.

Nutriments	Masse nécessaire pour 1 kg d'algue	Disponibilité
Dioxyde de carbone	1,83 kg	Fourni par les fumées industrielles en grande quantité.
Azote N	0,07 kg	Apporté sous forme de nitrate NO_3^- en quantité non limitée.
Phosphore P	0,01 kg	Apporté sous forme de phosphate PO_4^{3-} en quantité non limitée.
Eau	40 kg (soit 40 L)	Provenant de la mer Méditerranée.

Données :

- 1 hectare = $1{,}00 \times 10^4$ m^2
- Masses molaires : $M(CO_2)$ = 44,0 $g.mol^{-1}$; $M(NaCl)$ = 58,5 $g.mol^{-1}$

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 11 / 13
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

1. Croissance des microalgues

La croissance des microalgues est optimale pour une concentration massique en chlorure de sodium ($Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$) égale à 106 $g.L^{-1}$. Celle-ci peut être corrigée par ajout de chlorure de sodium NaCl solide ou d'eau.

On cherche à déterminer la teneur en chlorure de sodium de l'eau de mer qui alimente les bassins du marais salant et la masse de chlorure de sodium à ajouter éventuellement.

Protocole de détermination de la teneur en chlorure de sodium de l'eau de mer :

- Diluer 10 fois un échantillon d'eau de mer prélevé à l'entrée du marais salant.
- Introduire un volume V = 10,0 mL de la solution obtenue dans un erlenmeyer de 150 mL et ajouter quelques gouttes d'une solution contenant des ions chromate $CrO_4^{2-}{}_{(aq)}$.
- Verser progressivement, sous agitation, des volumes connus d'une solution de nitrate d'argent ($Ag^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$) de concentration molaire $C' = 5{,}00 \times 10^{-2}$ $mol.L^{-1}$.

Les ions argent réagissent prioritairement avec les ions chlorure pour former un précipité blanc de chlorure d'argent. L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :

$$Ag^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} \longrightarrow AgCl_{(s)}$$

Lorsque pratiquement tous les ions chlorure ont disparu, les ions argent ajoutés réagissent ensuite avec les ions chromate en donnant une coloration rouge.

Cette couleur rouge apparaît lorsqu'on a versé 11,5 mL de solution de nitrate d'argent dans la solution analysée.

1.1. Nommer la méthode de détermination de la teneur en chlorure de sodium de l'eau de mer mise en jeu.

1.2. Schématiser et légender le dispositif utilisé.

1.3. Le volume de 11,5 mL peut être assimilé au volume versé à l'équivalence du titrage. Justifier.

1.4. Déterminer la concentration massique en chlorure de sodium de l'eau de mer à l'entrée du marais salant.

1.5. Déterminer la masse de chlorure de sodium NaCl solide qu'il faut ajouter à chaque litre d'eau de mer introduit lors du premier remplissage du marais, pour assurer une croissance optimale des microalgues.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

2. Réduction de l'émission de dioxyde de carbone

La croissance des microalgues nécessite en outre un apport d'énergie de 1736 kJ par mole de dioxyde de carbone transformé. Cette énergie, apportée par la lumière, est liée à l'ensoleillement du site.

En un jour, la région du marais salant reçoit une énergie solaire moyenne par mètre carré de $1{,}5 \times 10^{7}$ J.m^{-2}. La part de cette énergie disponible pour la croissance des microalgues est égale à 5%.

2.1. Déterminer l'énergie totale apportée par la lumière sur les marais salant pouvant servir à la croissance des microalgues en une journée.

2.2. En déduire la masse de CO_2 pouvant être absorbée par l'exploitation du marais salant pour la culture des microalgues en une journée.

2.3. La part des 8 millions de tonnes de CO_2 produite par l'aciérie en une année, pouvant être absorbée par cette technique, permet-elle d'atteindre l'objectif fixé par la COP 21 ?
Si ce n'est pas le cas, proposer une solution pour augmenter cette part.

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie sont évaluées et nécessitent d'être correctement présentées.