BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2017

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Épreuve du mardi 30 mai

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

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Obligatoire

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15, y compris celle-ci.

Documents à rendre avec la copie :

Annexe de l'exercice III……page 15/15

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I - DIFFRACTION PAR UNE POUDRE DE CACAO (5 points)

On attribue la découverte de la diffraction à Francesco Grimaldi (1618-1663). Le but de l'exercice est d'étudier une application pratique de la diffraction : la détermination de la taille moyenne de poudre de cacao par granulométrie.

Les deux parties de l'exercice sont indépendantes.

Document 1 : Granulométrie laser de la poudre de cacao



L'appareil ci-contre permet de mesurer la taille de particules allant de 40 nm à 2500 µm tout en occupant un encombrement extrêmement réduit.

Le fabriquant de l'appareil indique que deux diodes laser de longueurs d'onde 635 nm et 830 nm sont utilisées dans cet instrument de mesure.

Document 2 : Différents types de chocolat

Le succès du chocolat, auprès des consommateurs, est lié à des caractéristiques gustatives bien identifiées mais aussi à la granulométrie de chacun des constituants.
Cette dernière propriété représente un enjeu important du procédé de fabrication puisque des particules trop finement broyées rendront le chocolat collant alors que de trop grosses particules lui donneront un aspect granuleux à l'œil et en bouche.

La mesure de la taille des particules, par diffraction laser, est une technique simple et rapide, adaptée à la détermination de la distribution granulométrique de tous les types de chocolat comme les chocolats de couverture utilisés pour le nappage, les chocolats au lait ou les chocolats agglomérés utilisés pour les recettes instantanées.

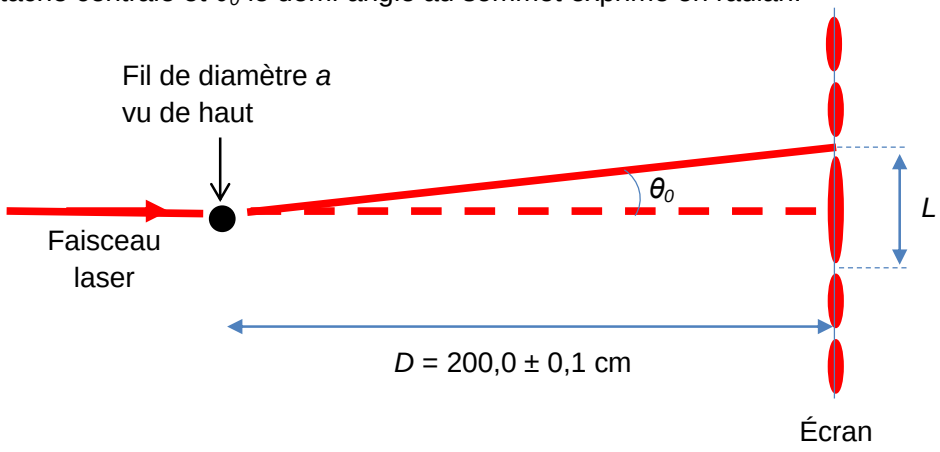
Type de chocolat	De couverture	Au lait	Aggloméré
a(*) en µm	10	30	300

(*) *a* représente le diamètre moyen recommandé de la poudre de cacao pour un type de chocolat.

D'après http://www.es-france.com/pdf/010-Cacao.pdf

Partie 1 : Vérification de la longueur d'onde d'une des diodes laser utilisées

L'objectif de cette partie est de vérifier la valeur de la longueur d'onde λ d'une des diodes laser utilisées dans l'appareil de granulométrie. Sur le trajet du faisceau laser, on intercale des fils de différents diamètres. Sur un écran placé à une distance D, on observe une figure de diffraction. L représente la largeur de la tache centrale et θ_0 le demi-angle au sommet exprimé en radian.



1.1. Rappeler les trois principales propriétés du faisceau d'un laser.

1.2. Pour une longueur d'onde donnée, décrire l'évolution du demi-angle θ_0 en fonction du diamètre a du fil. Donner la relation qui lie λ, θ_0 et a.

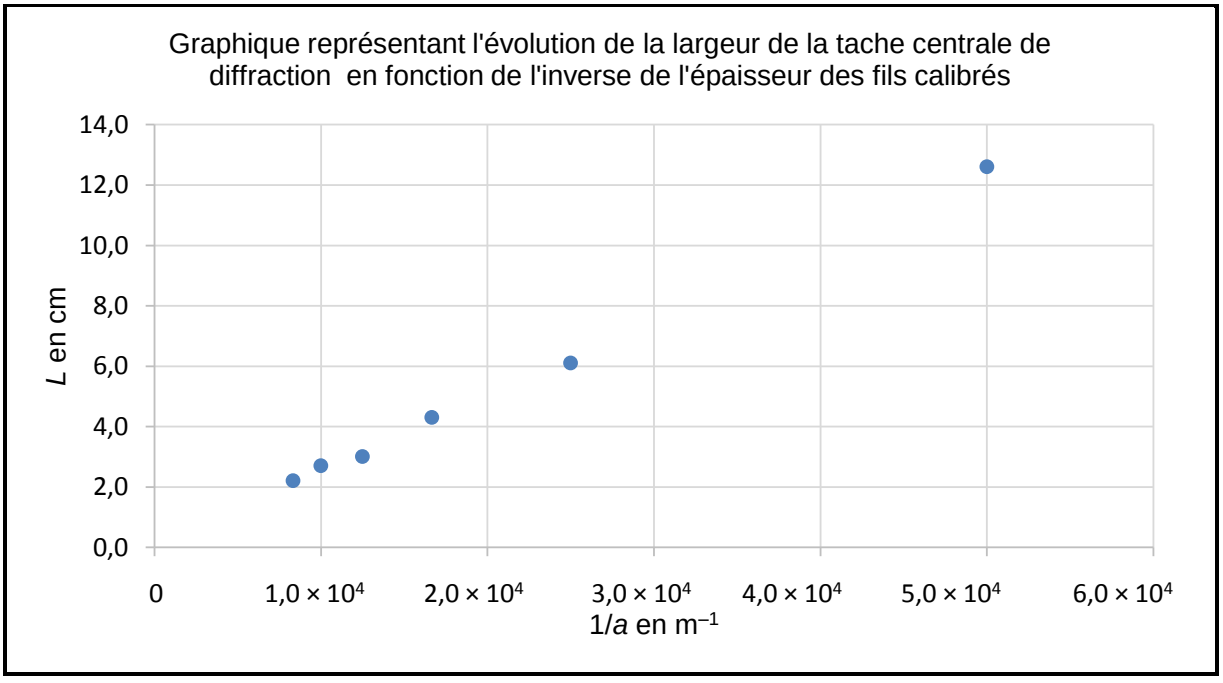
1.3. On fait l'hypothèse que l'angle θ_0 est petit. Dans ce cas, on peut écrire $\tan \theta_0 \approx \theta_0$ avec θ_0 en radian.

À l'aide du schéma, démontrer que la largeur de la tache centrale est donnée par l'expression:

$$L = k \cdot \frac{1}{a} \quad \text{avec} \quad k = 2\lambda \cdot D$$

1.4. Expérimentalement, on mesure la largeur de la tache centrale L pour des fils calibrés de différentes valeurs de diamètre a. On porte les valeurs obtenues sur le graphique ci-dessous.

À partir du graphique, déterminer la longueur d'onde λ de la diode laser utilisée.



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

1.5. L'incertitude absolue sur la longueur d'onde λ, notée $\Delta\lambda$, peut être déterminée à partir de la relation suivante :

$$\Delta\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2}$$

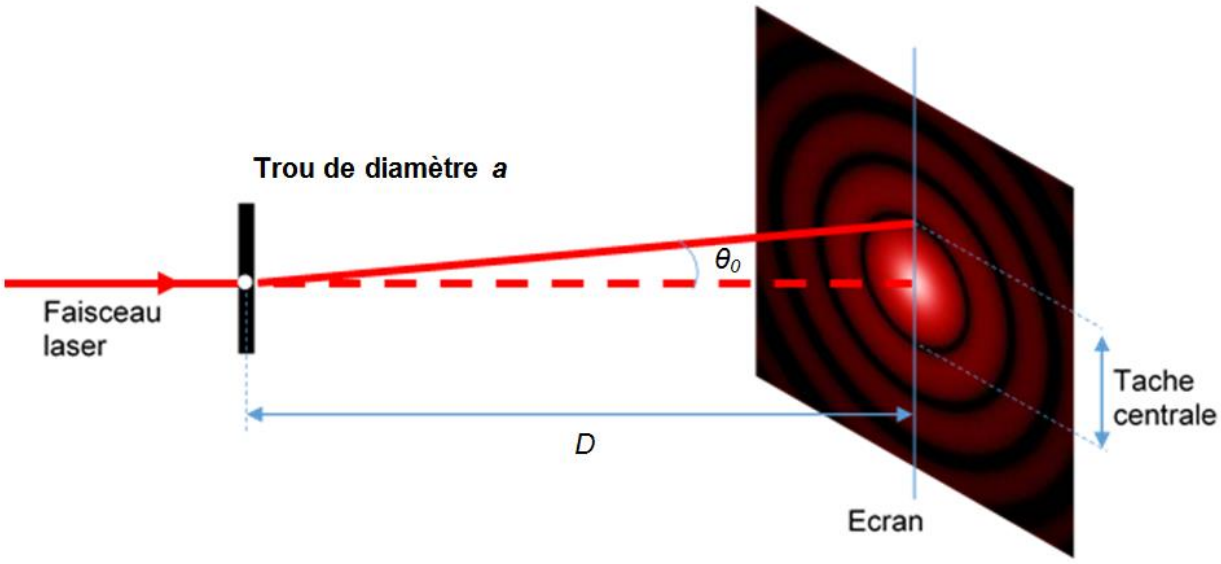
L'incertitude absolue sur la valeur du coefficient directeur est $\Delta k = 1{,}2 \times 10^{-7}$ m^2.

Exprimer la valeur de la longueur d'onde λ avec son incertitude. Confronter aux valeurs données par le fabriquant de l'appareil ; conclure.

Partie 2 : Étude de la diffraction par la poudre de cacao

Dans cette partie, on considère que l'on peut déterminer le diamètre moyen des grains de cacao d'une poudre donnée en utilisant une figure de diffraction réalisée avec la diode laser de longueur d'onde λ = 635 nm.

Donnée : Expérience de diffraction par un trou circulaire :



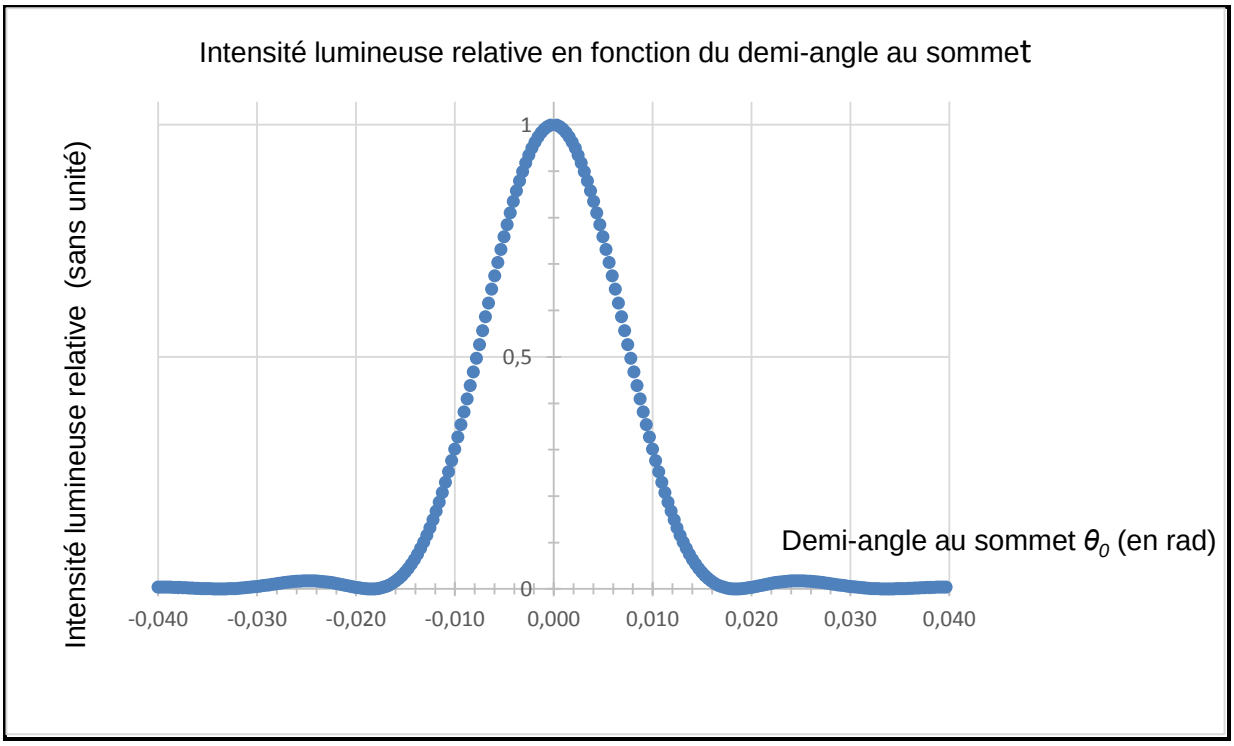
La figure de diffraction obtenue par un trou circulaire est constituée de cercles concentriques alternativement brillants et sombres avec :

$$\sin\theta_0 = \frac{1{,}22 \cdot \lambda}{a}$$

λ : longueur d'onde du faisceau laser, exprimée en mètre
a : diamètre du trou, exprimé en mètre
θ_0 : demi-angle au sommet, exprimé en radian

2.1. En utilisant un montage proche de celui donné ci-dessus, on réalise l'expérience sur un échantillon de poudre de cacao.
Sachant que les grains de cacao sont assimilés à des sphères, justifier le fait qu'on observe une figure de diffraction identique à celle obtenue avec un trou circulaire.

2.2. Après traitement informatique des résultats expérimentaux lors du contrôle d'un échantillon de poudre de cacao, on obtient le graphe ci-dessous donnant l'intensité lumineuse relative sur l'écran en fonction du demi-angle θ_0. Peut-on utiliser cet échantillon pour un chocolat de couverture ?



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 5 / 16
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE II - LES SCIENCES AU SERVICE DE LA PERFORMANCE SPORTIVE (10 points)

Les sciences permettent d'analyser et de comprendre les performances des athlètes. Les scientifiques s'intéressent à la physique, à la biomécanique, à la physiologie et aux transformations chimiques intervenant lors des pratiques sportives.

Dans cet exercice, on s'intéresse à la pratique d'un sport d'endurance : le cyclisme.

L'exercice est constitué de deux parties indépendantes :
- partie 1 : Calcul des puissances développées par les cyclistes ;
- partie 2 : Étude de la physiologie de l'effort et régulation du pH sanguin.

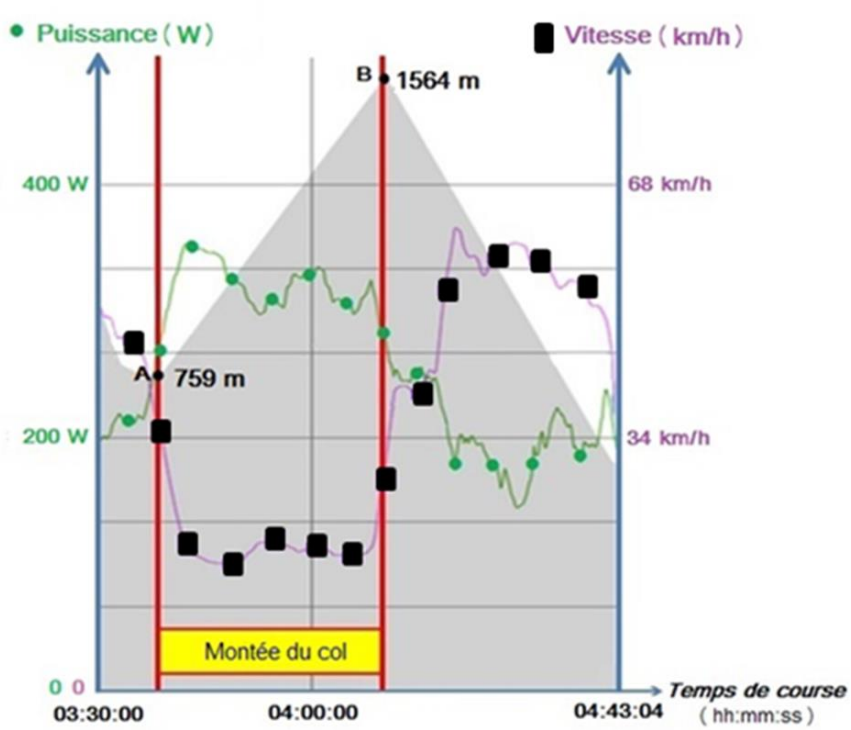
Partie 1 : Calcul des puissances développées par les cyclistes



Afin d'améliorer les performances des cyclistes, on utilise une méthode de calcul indirect des puissances qu'ils fournissent lors d'un effort. Cette méthode s'appuie sur un modèle qu'il faut valider en le comparant avec les données mesurées en temps réel pendant l'effort grâce à un capteur (boitier SRM) placé sur le pédalier.

Dans cette partie, on s'intéresse à l'ascension par un cycliste du col pyrénéen de la Hourquette d'Ancizan. Il effectue cette montée, longue de 10,4 km, en 31 min et 51 s. Les données récupérées en direct par le boitier SRM du cycliste sont représentées dans le document ci-dessous :

Document 1 : Extrait du fichier SRM du cycliste



D'après http://www.srm.de/news/road-cycling/le-tour-de-france-stage-9/

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 6 / 16
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

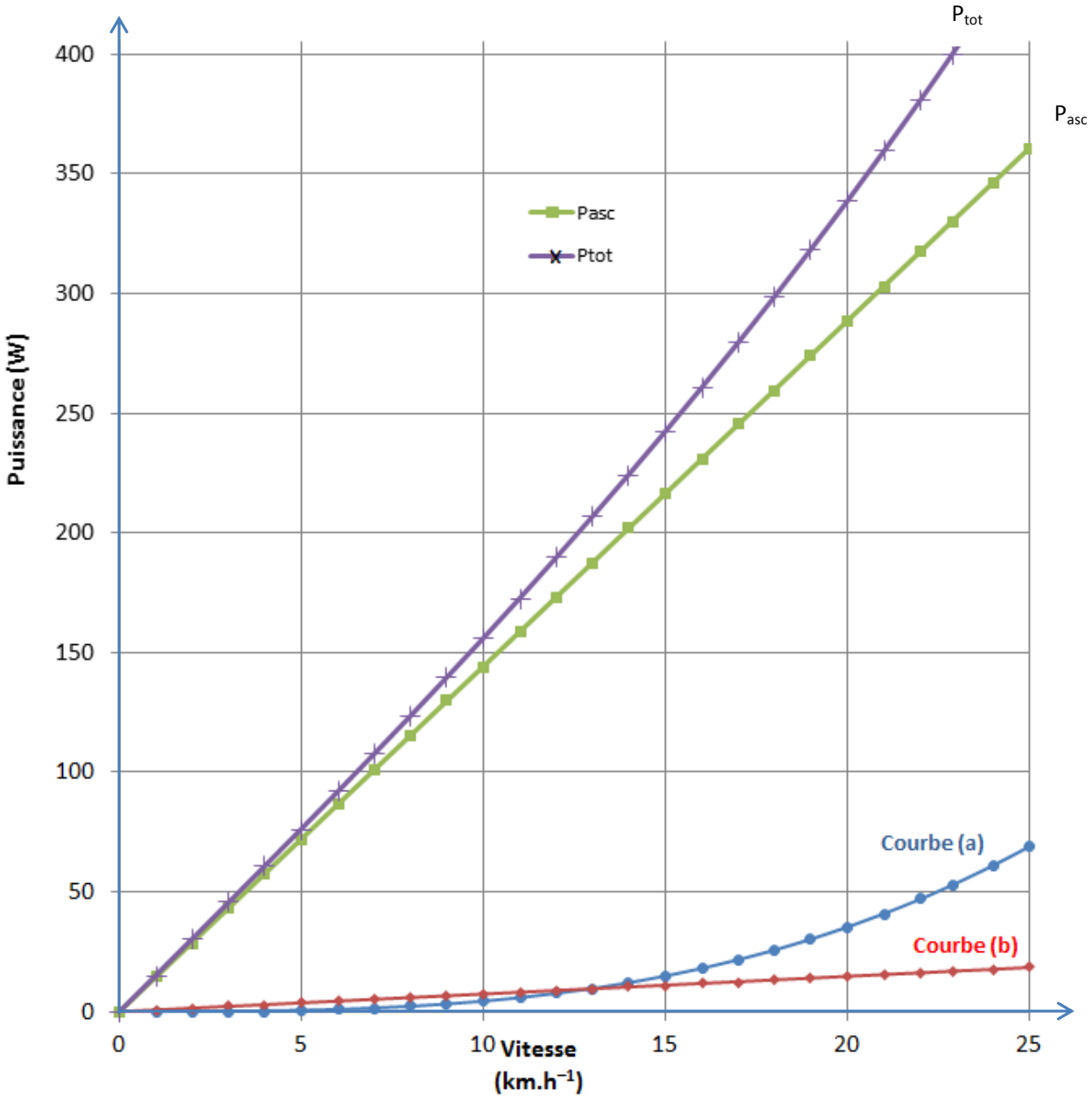
Dans le modèle théorique, on considère que la puissance totale P_{tot} développée par le cycliste, lors de la montée, va permettre de :

- vaincre les forces de pesanteur pour permettre l'ascension (P_{asc}) ;
- lutter contre les frottements mécaniques des roues sur le bitume ($P_{roulement}$) ;
- contrer les frottements de l'air (P_{air}).

Dans ce modèle, les puissances P_{asc} et $P_{roulement}$ sont proportionnelles à la vitesse du cycliste alors que P_{air} est proportionnelle au cube de cette vitesse.

Le modèle théorique utilisé permet de construire le graphique suivant qui donne les valeurs des différentes puissances en fonction de la valeur de la vitesse lors de l'ascension du col.

Graphique 1 : Modélisation des différentes puissances développées par le cycliste en fonction de sa vitesse dans les conditions de la montée du col (les courbes (a) et (b) seront identifiées dans le cadre de l'exercice)



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 7 / 16
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

Données :

- Intensité de la pesanteur g = 9,8 m.s^{-2}.
- Pour une puissance constante sur la durée considérée, la variation d'énergie ΔE s'exprime par : $\Delta E = P.\ \Delta t$, avec ΔE en joule, Δt en seconde et P en watt.

On étudie le système S {cycliste, équipement, vélo} de masse m = 67,8 kg. On suppose que l'ascension se fait à vitesse v constante et à puissance P_{tot} constante.

1. Questions préliminaires

1.1. Dans quel référentiel sont effectuées les mesures ?

1.2. Montrer, sans utiliser le document 1, que la vitesse moyenne du cycliste, lors de l'ascension, vaut v = 19,6 km.h^{-1}.

1.3. Définir l'énergie mécanique E_m d'un système. Que peut-on dire alors de l'évolution de cette énergie lors de l'ascension ?

2. Étude de l'ascension du col par le cycliste et validation du modèle de calcul de puissances

On cherche à valider le modèle proposé en utilisant les données du capteur SRM lors de l'ascension du col par le cycliste.

2.1. Donner l'expression littérale de la variation d'énergie potentielle de pesanteur ΔE_{pp} du système entre le pied et le sommet du col de la Hourquette d'Ancizan, en fonction de m, g et de Z_A et Z_B, (respectivement altitudes du pied et du sommet du col). Montrer que $\Delta E_{pp} = 5{,}3 \times 10^5$ J.

2.2. À partir du résultat de la question 2.1, calculer la valeur de P_{asc} et vérifier sur le graphique 1 qu'elle correspond bien à celle du modèle proposé.

2.3. Parmi les courbes (a) et (b) du graphique 1, identifier, en explicitant votre raisonnement, celle qui représente $P_{roulement}$ et celle qui représente P_{air} .
En déduire les valeurs de $P_{roulement}$ et $P_{air,}$ lors de l'ascension du col par le cycliste.

2.4. En utilisant le graphique 1, déterminer la puissance totale P_{tot} prédite par le modèle lors de l'ascension. Les mesures réalisées par le capteur SRM, placé sur le pédalier du cycliste, permettent-elles de valider le modèle ?

3. Prédiction de performances à partir du modèle

Un cycliste amateur développe une puissance totale constante P_{tot} = 250 W lors de la montée.
En utilisant le modèle étudié, donner une estimation de la durée de l'ascension du col par le cycliste.

Partie 2 : Étude de la physiologie de l'effort et régulation du pH sanguin

Lors des efforts physiques, des mécanismes biologiques ont pour conséquence la production d'acide lactique par l'organisme. Cet acide a été identifié comme responsable, puis témoin de la fatigue et il est aujourd'hui un indicateur de plus en plus utilisé pour évaluer l'impact d'un entrainement.

En effet, pendant un exercice, la concentration en ions lactate dans le sang augmente. Dès 1930, Owles définit un niveau métabolique critique, appelé « seuil lactique », par l'intensité d'exercice au-dessus de laquelle le taux de lactate dans le sang s'accroît rapidement alors que le taux de bicarbonate plasmique baisse.

D'après http://www.volodalen.com

Dans cette partie, on étudie les mécanismes de régulation qui interviennent lors de l'acidification de l'organisme au cours de la pratique d'un sport d'endurance comme le cyclisme.

pH et tampons dans l'organisme

Comme les protons sont en partie captés par les divers tampons cellulaires (composés phosphatés, protéines, acides aminés…) et sanguins (protéines plasmatiques, hémoglobine, bicarbonate…), le pH ne varie que très peu dans les cellules et dans le sang malgré de fortes sollicitations de la glycogénolyse. La glycogénolyse est le processus par lequel le glycogène présent dans le foie est transformé en glucose à destination du sang.

D'après Cazorla, Petibois, Bosquet, Léger ; « Lactate et exercices : mythes et réalités », STAPS

Données :

Valeurs normales dans le sang, à 37 °C et en l'absence d'efforts :

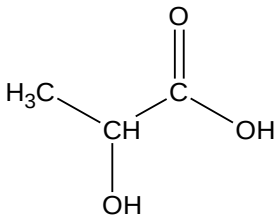
- pH sanguin = 7,4 (limites compatibles avec la vie : 7,0 à 7,8 unités de pH) ;
- le pH intramusculaire varie entre 7,1 et 6,1 ;
- concentration en ions hydrogénocarbonate (aussi appelés ions bicarbonate) :

$$[HCO_3^-]_0 = 25 \text{ mmol.L}^{-1};$$

- le CO_2 dissous dans le sang est sous la forme $H_2CO_{3\,(aq)}$;
- concentration en CO_2 dissous dans le sang : $[H_2CO_3]_0 = 0{,}9$ mmol.L^{-1}.

1. L'acide lactique

L'acide lactique, dont la formule est donnée ci-dessous, est formé dans l'organisme à partir de l'acide pyruvique selon une réaction d'oxydoréduction catalysée par la LDH (lactate déshydrogénase).



Acide lactique

1.1. Déterminer les groupes caractéristiques présents dans l'acide lactique et associer à chacun d'eux la famille chimique correspondante.

1.2. En utilisant la représentation de CRAM, donner les différents stéréoisomères de configuration de l'acide lactique en précisant la relation de stéréoisomérie qui existe entre eux.

2. Influence de la production d'acide lactique sur le pH sanguin

Le « seuil lactique », facteur déterminant de la performance en course longue telle que la course cycliste, est utilisé dans le suivi des cyclistes.
Il correspond à la concentration en ions lactate à ne pas dépasser pour optimiser les performances et limiter la fatigue. On fixera la valeur de ce « seuil lactique » à 3,0 mmol.L^{-1}.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 9 / 16
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

On s'intéresse à la formation d'acide lactique par l'organisme, en l'absence de régulation de pH.

2.1. L'ion lactate est la base conjuguée de l'acide lactique. Représenter la formule semi-développée de l'ion lactate en faisant apparaître les doublets libres.

Pour la suite de l'exercice on notera AH l'acide lactique et A^- l'ion lactate.

2.2. Écrire l'équation de la réaction chimique entre l'acide lactique et l'eau (réaction 1).

2.3. Comparer les quantités de matière en ions oxonium $H_3O^+_{(aq)}$ et en ions lactate produites lors de la réaction 1.

2.4. En déduire quel serait le pH du sang quand le « seuil lactique » est atteint, lors d'un effort, en absence de régulation. En déduire si une régulation du pH sanguin est nécessaire.

3. Régulation du pH sanguin

On s'intéresse à la régulation par le système « tampon bicarbonate » faisant intervenir le couple $H_2CO_{3(aq)}$ / $HCO^-_{3(aq)}$. On raisonnera en l'absence de toute autre réaction acido-basique.

3.1. Écrire l'équation de la réaction entre l'acide lactique et les ions hydrogénocarbonate, réaction considérée comme totale (réaction 2).

Expliquer alors la phrase : « le taux de lactate dans le sang s'accroît alors que le taux de bicarbonate plasmique baisse ».

3.2. Montrer que lorsqu'on atteint le « seuil lactique », et si seule la réaction (2) contribue à former du H_2CO_3, la valeur de la concentration de H_2CO_3 à l'état final a augmenté par rapport à sa valeur normale et vaut $[H_2CO_3]_f = 3{,}9$ mmol.L^{-1}.

3.3. Si on ne considère que cette réaction (2), le pH du sang peut être calculé grâce à l'équation de Henderson-Hasselbalch :

$$pH = 6{,}1 + \log \frac{[HCO_3^-]_f}{[H_2CO_3]_f}$$

Montrer que $\frac{[HCO_3^-]_f}{[H_2CO_3]_f} = 5{,}6$ à l'atteinte du seuil lactique. Cette régulation du pH sanguin est-elle efficace ?

3.4. Expliquer pourquoi d'autres systèmes tampons jouent forcément un rôle dans la régulation du pH de l'organisme.

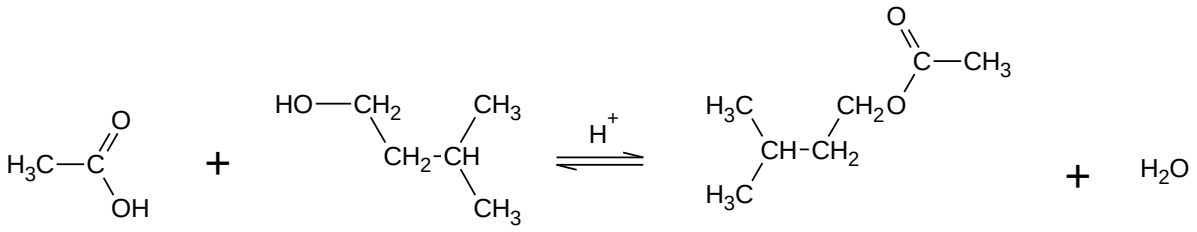
3.5. Les poumons interviennent en second lieu, après la régulation par les systèmes tampons. Expliquer quel peut être leur rôle.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 10 / 16
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

EXERCICE III - L'ACÉTATE D'ISOAMYLE (5 points)

Les esters sont des composés organiques volatils souvent utilisés pour produire des arômes et des fragrances synthétiques. L'ester étudié dans cet exercice est l'acétate d'isoamyle, un ester dont la saveur et l'odeur sont ceux de la banane.

L'équation de la réaction de la synthèse, en présence d'acide sulfurique, s'écrit :



acide acétique — alcool isoamylique — acétate d'isoamyle

L'objectif de cet exercice est de comparer plusieurs protocoles de synthèse de l'acétate d'isoamyle.

Données :

- Caractéristiques physico-chimiques :

Espèces chimiques	Propriétés physiques	Pictogrammes
Alcool isoamylique	M = 88,1 g.mol^{-1} Teb = 128 °C ρ = 0,81 g.mL^{-1} Très peu soluble dans l'eau	
Acide acétique	M = 60,1 g.mol^{-1} Teb = 118 °C ρ = 1,05 g.mL^{-1} Très soluble dans l'eau	
Acétate d'isoamyle	M = 130,2 g.mol^{-1} Teb = 142 °C ρ = 0,87 g.mL^{-1} Très peu soluble dans l'eau	
Acide sulfurique	Très soluble dans l'eau	

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

- Électronégativité de quelques éléments :

Atome	H	C	O
Électronégativité	2,2	2,5	3,4

- Chimie verte :

La notion de chimie verte date de 1991, l'agence américaine pour la protection de l'environnement en propose la définition suivante : « la chimie verte a pour but de concevoir des produits et des procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses » et énonce les 12 principes :

Les 12 principes de la chimie verte

1. Prévention
2. Économie d'atomes
3. Synthèses chimiques moins nocives
4. Conception de produits chimiques plus sécuritaires
5. Solvants et auxiliaires plus sécuritaires
6. Amélioration du rendement énergétique
7. Utilisation de matières premières renouvelables
8. Réduction des sous-produits et intermédiaires
9. Utilisation de catalyseurs (non polluants)
10. Conception de substances non persistantes
11. Analyse en temps réel pour éviter tout risque de pollution
12. Chimie sécuritaire pour prévenir les accidents

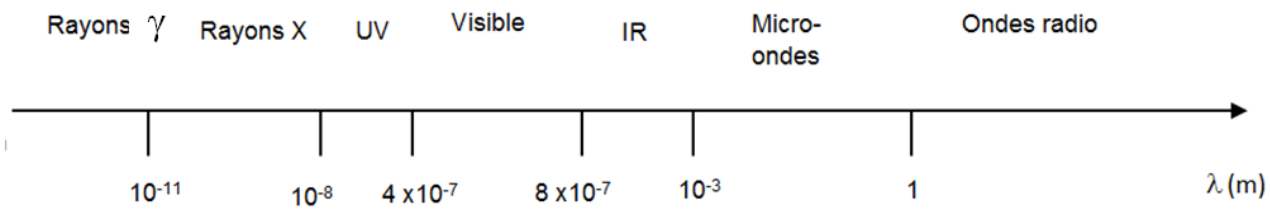
culturesciences.chimie.ens.fr/content/la-chimie-verte-1055

- Rayonnement micro-ondes :

Un four à micro-ondes est un appareil électroménager utilisé principalement pour le chauffage rapide d'aliments, par agitation des molécules d'eau qu'ils contiennent, ces molécules absorbant le rayonnement de fréquence 2,45 GHz émis par le four. Cette technologie est principalement utilisée dans la cuisine mais, depuis une vingtaine d'années, les fours à micro-ondes sont largement utilisés dans les laboratoires de chimie pour activer des réactions chimiques. […] Cette application peut être considérée comme faisant partie de la « chimie verte ».

D'après Eduardo RUIZ-HITZKY, « Le four micro-ondes : de la cuisine à la chimie de synthèse », L'annuaire du Collège de France

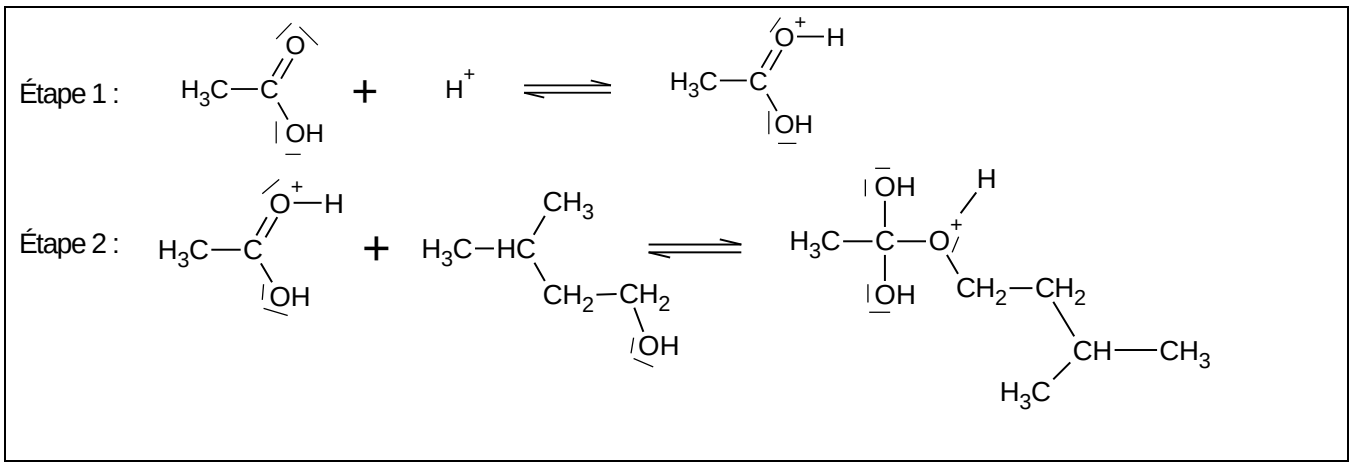
- Spectre des ondes électromagnétiques :



1. Réaction de synthèse de l'acétate d'isoamyle et mécanisme réactionnel

1.1. Quels sont les noms, en nomenclature officielle, de l'acide acétique et de l'alcool isoamylique ?

Les deux premières étapes du mécanisme réactionnel de synthèse de l'acétate d'isoamyle sont données ci-dessous.



1.2. Compléter **sur l'annexe à rendre avec la copie** le mécanisme réactionnel de l'étape 2 à l'aide de flèches courbes, puis indiquer la catégorie de réaction de l'étape 2.

1.3. Les ions H^+, provenant de l'acide sulfurique, jouent le rôle de catalyseurs de la réaction. Que peut-on attendre lors d'une autre étape du mécanisme réactionnel de cette réaction de synthèse ?

2. Synthèse de l'acétate d'isoamyle par chauffage à reflux

On réalise cette synthèse au laboratoire en mettant en œuvre le protocole expérimental suivant :

- introduire 20 mL d'alcool isoamylique, 15 mL d'acide acétique, quelques grains de pierre ponce et 1 mL d'acide sulfurique concentré dans le ballon ;
- chauffer à reflux en maintenant une ébullition douce pendant 30 min ;
- laisser refroidir, puis transférer le contenu du ballon dans une ampoule à décanter. Éliminer la phase aqueuse ;
- sécher la phase organique ;
- purifier l'ester par chromatographie sur colonne.

Cette synthèse permet d'obtenir un volume d'ester égal à 20,4 mL.

2.1. Compléter, **sur l'annexe à rendre avec la copie**, le montage utilisé lors de la mise en œuvre de la synthèse en indiquant le nom du matériel et les espèces chimiques présentes. Identifier et justifier les éléments de sécurité présents dans ce montage et ceux que doit utiliser le technicien de laboratoire.

2.2. Montrer que l'acide acétique est introduit en excès.

2.3. Déterminer la valeur du volume d'ester attendu lors de cette synthèse si la transformation était totale.

2.4. Si on réalisait cette synthèse avec un mélange équimolaire des réactifs, son rendement serait égal à 65 %. Le choix d'introduire un réactif en excès par rapport à un mélange équimolaire des deux réactifs a-t-il permis d'améliorer le rendement de la synthèse ?

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 13 / 16
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

3. Synthèse de l'acétate d'isoamyle par micro-ondes

On réalise une deuxième synthèse, dans un four à micro-ondes, en mettant en œuvre le protocole expérimental suivant :

- Introduire, dans un erlenmeyer sec, un mélange équimolaire de 0,18 mol d'alcool isoamylique et 0,18 mol d'acide acétique. Ajouter 1 mL d'acide sulfurique concentré.
- Positionner l'erlenmeyer sur le bord du plateau tournant du four à micro-ondes et l'irradier à une puissance de 800 W pour une durée totale d'irradiation de 30 s.
- Laisser refroidir le mélange, puis procéder à une extraction liquide-liquide.
- Filtrer et sécher pour récupérer l'ester.

Les conditions expérimentales de cette synthèse permettent d'obtenir un rendement égal à 80 %.

3.1. Justifier, en utilisant le spectre des ondes électromagnétiques, que le four décrit appartient à la catégorie des fours à micro-ondes.

3.2. Déterminer la valeur de l'énergie consommée par le four à micro-ondes lors de la synthèse de l'acétate d'isoamyle, puis la comparer à l'énergie apportée pour le chauffage à reflux et estimée à 270 kJ.

3.3. Proposer une interprétation, au niveau microscopique, du principe de chauffage par micro-ondes.

3.4. Présenter des arguments justifiant l'intérêt d'utiliser un four à micro-ondes, pour cette synthèse, dans le cadre de la chimie verte.

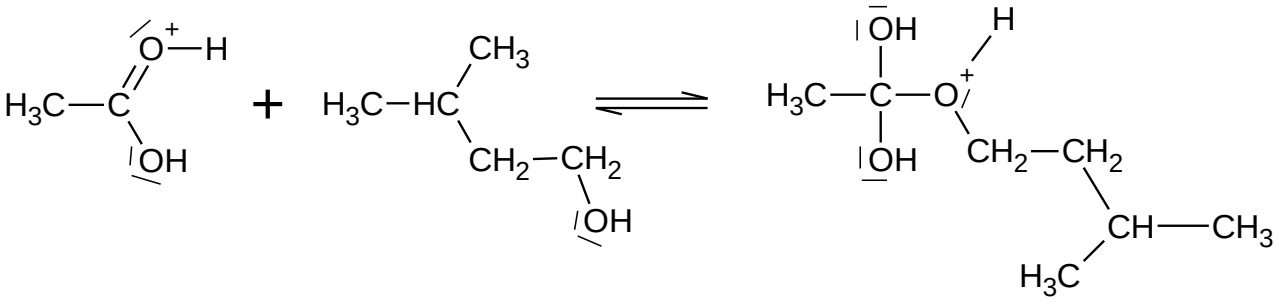
Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

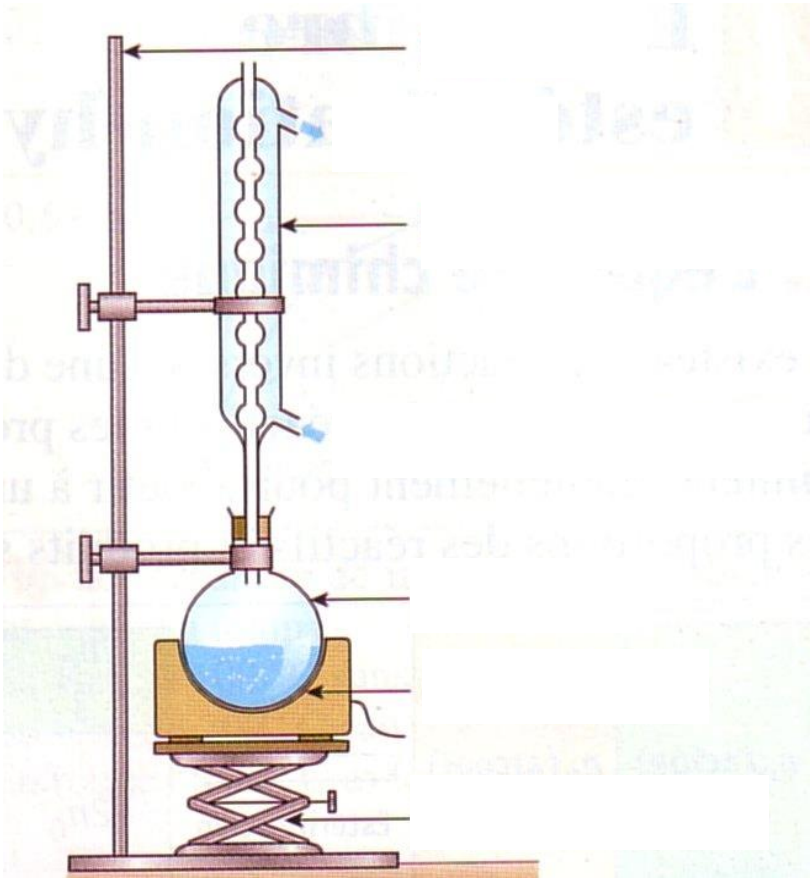
Annexe de l'exercice III à rendre avec la copie

Question 1.2.

Étape 2 :



Question 2.1.



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Modèle CMEN-DOC v2 A4 ©NEOPTEC

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Né(e) le : / /