

SESSION 2024

**CAPES
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

SECTION : PHYSIQUE-CHIMIE

EPREUVE ECRITE DISCIPLINAIRE APPLIQUEE

Durée : 5 heures

Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours externe du CAPES de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E B E	1 5 0 0 F	1 0 2	9 3 1 2

► **Concours externe du CAFEP/CAPES de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E B F	1 5 0 0 F	1 0 2	9 3 1 2

Plan du sujet

Partie 1 – La proportionnalité en physique-chimie

Partie 2 – Interférences lumineuses

Partie 3 – Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique

Annexes

Annexe 1 - Ressources utiles pour la partie 1 du sujet

1.A – Extrait d'un article sur le lien entre mathématiques et physique-chimie autour de la notion de proportionnalité

1.B – La proportionnalité en électricité : de la classe de 4^{ème} au lycée

1.C – Activité documentaire sur les mouvements rectilignes

1.D – Extraits du programme de spécialité physique-chimie de première et de terminale

1.E – Deux exploitations possibles de la représentation graphique de la loi de Beer-Lambert

1.F – Extrait du programme de spécialité physique-chimie de première

Annexe 2 - Ressources utiles pour la partie 2 du sujet

2.A – Extraits du programme d'enseignement de spécialité physique-chimie de terminale générale

2.B – Expérience des trous de Young

2.C – Activité expérimentale proposée à des élèves de terminale générale suivant la spécialité physique-chimie permettant de déterminer la valeur de la longueur d'onde d'une source lumineuse monochromatique

2.D – Évaluation de l'incertitude-type de la longueur d'onde en utilisant une approche statistique

Annexe 3 - Ressources utiles pour la partie 3 du sujet

3.A – Activité relative aux réactions de combustions

3.B – Modélisation d'une combustion

3.C – Pouvoir calorifique massique de quelques combustibles

3.D – Enthalpies standard de formation et capacités thermiques molaires à 298 K

3.E – Illustration des enjeux de société autour des combustions

Documents réponses

Document réponse DR1 - Extrait du compte rendu d'un groupe d'élèves

Document réponse DR2 - Énoncé et copie d'un élève

Partie 1 – La proportionnalité en physique-chimie

Dès le collège, les programmes de physique-chimie permettent de contextualiser la notion de proportionnalité vue en mathématiques, en mettant par exemple en lien les grandeurs poids et masse ou encore la tension et l'intensité électriques pour un conducteur ohmique.

À partir du cycle 4, la proportionnalité est abordée de manière plus quantitative, notamment à travers la construction puis l'exploitation de modèles linéaires.

Objectifs de cette partie :

- analyser la progressivité dans la manière d'appréhender la proportionnalité avec les élèves ;
- proposer des situations pédagogiques utilisant différents registres d'étude de la proportionnalité.

Q1. L'annexe **1.A** présente trois registres d'étude du concept de proportionnalité. Indiquer le registre utilisé dans l'annexe **1.B**. Présenter le concept illustré dans cette annexe dans les deux autres registres.

Q2. L'activité présentée dans l'annexe **1.C**, à destination d'élèves suivant l'enseignement de spécialité physique-chimie en terminale générale, met en avant le registre verbal avant d'envisager les autres aspects, graphique et conceptuel.

En mécanique, il est possible d'utiliser la lecture de graphique pour caractériser un mouvement. Cela permet notamment aux élèves de terminale de se familiariser avec les différentes grandeurs utilisées et de transposer le raisonnement utilisé en mathématiques, où la variable est souvent notée « x », au fait qu'en physique la variable peut être « x » ou « t ».

L'activité présentée dans l'annexe **1.C** est proposée dans la partie « décrire un mouvement » du programme de spécialité physique-chimie de terminale générale, reproduit ci-après.

Mouvement et interactions	
1. Décrire un mouvement	
Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Vecteurs position, vitesse et accélération d'un point.	Définir le vecteur vitesse comme la dérivée du vecteur position par rapport au temps et le vecteur accélération comme la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps. Établir les coordonnées cartésiennes des vecteurs vitesse et accélération à partir des coordonnées du vecteur position et/ou du vecteur vitesse.
Coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet pour un mouvement circulaire.	Citer et exploiter les expressions des coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire.

Mouvement rectiligne uniformément accéléré. Mouvement circulaire uniforme.	Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré, circulaire, circulaire uniforme. <i>Réaliser et/ou exploiter une vidéo ou une chronophotographie pour déterminer les coordonnées du vecteur position en fonction du temps et en déduire les coordonnées approchées ou les représentations des vecteurs vitesse et accélération.</i> Capacité numérique : Représenter, à l'aide d'un langage de programmation, des vecteurs accélération d'un point lors d'un mouvement. Capacité mathématique : Dériver une fonction.
---	---

Un enseignant a déjà défini les notions de vecteurs position, vitesse et accélération (voir partie encadrée ci-dessus). Dans cette activité, il souhaite amener les élèves à caractériser le vecteur accélération pour différents mouvements en s'appuyant sur des graphiques et les notions définies précédemment. Il a fait le choix d'étudier, dans un premier temps, uniquement les mouvements rectilignes.

- Répondre aux questions de l'activité proposée dans l'annexe **1.C**.
- Proposer une synthèse de cette activité sous forme de tableau.
- Rédiger la fin de l'activité à l'aide d'un maximum de trois questions afin de répondre à l'objectif n°2 de l'annexe **1.C**.

Q3. Le registre graphique peut être l'occasion de différencier l'exploitation d'un résultat : dans cette partie, il permet par exemple une progressivité dans l'utilisation de la loi de Beer-Lambert au lycée.

Les notions d'absorbance et de droite d'étalonnage sont abordées en enseignement de spécialité physique-chimie en classe de première générale puis réinvesties en classe de terminale générale comme le montre l'annexe **1.D**.

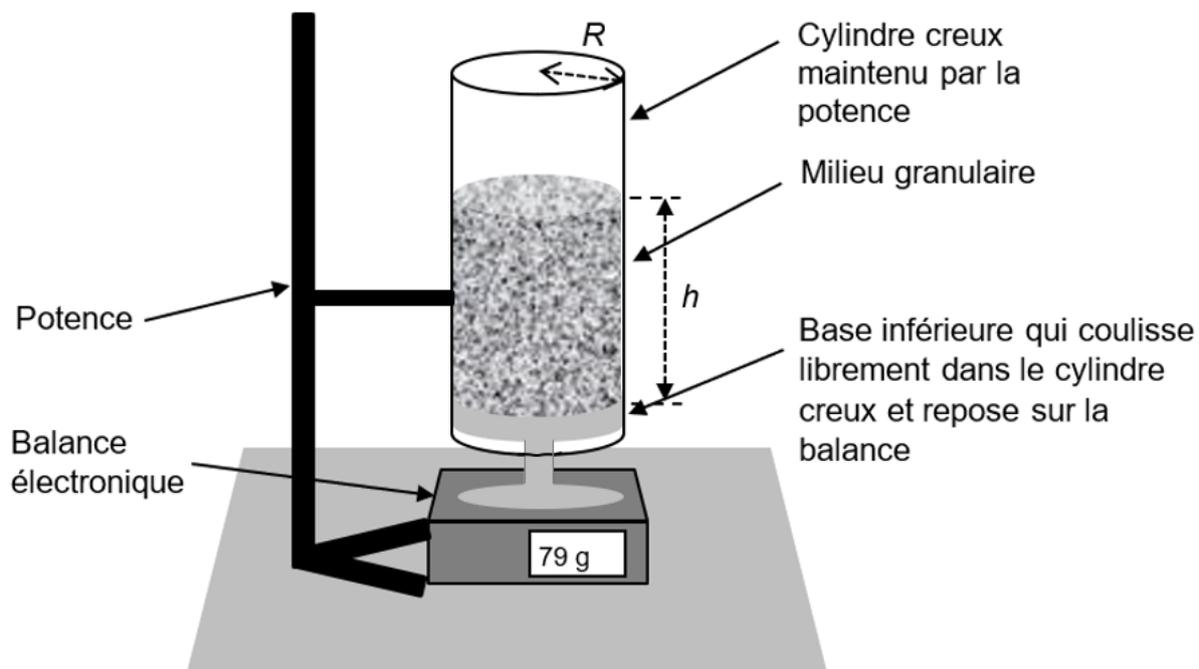
Afin de découvrir progressivement les concepts mis en jeu, les professeurs d'un lycée conviennent ensemble d'utiliser la droite d'étalonnage de deux manières différentes présentées dans l'annexe **1.E**.

- Justifier le choix des professeurs de ce lycée à la lumière de l'annexe **1.A**. en précisant la progressivité qui peut être envisagée sur le cycle première-terminale.
- Proposer une solution colorée que les élèves de lycée peuvent manipuler avec les équipements de protection individuels habituels et préciser ceux-ci.
- Expliquer comment choisir, à partir du spectre d'absorption d'une solution colorée, la longueur d'onde de travail à laquelle les mesures d'absorbance doivent être réalisées. Justifier ce choix.
- Proposer une organisation possible d'activité expérimentale permettant aux élèves de mettre en évidence les limites du modèle linéaire de la loi de Beer-Lambert.
- L'extrait de programme de l'annexe **1.D**. indique que la loi de Kohlrausch et l'équation d'état du gaz parfait sont utilisées pour déterminer une concentration ou une quantité de matière. Énoncer les, préciser leur domaine de validité, et proposer pour chacune un exemple d'illustration en classe.

Q4. Dans le cadre de la partie « description d'un fluide au repos » du programme de l'enseignement de spécialité physique-chimie de première générale, présentée dans l'annexe

1.F, un enseignant souhaite apporter un approfondissement quant au modèle de fluide au repos. Il souhaite également sensibiliser ses élèves aux limites d'un modèle linéaire.

Le professeur s'appuie sur les résultats d'une expérience de cours présentée ci-dessous.



On dispose un cylindre creux au-dessus d'une base posée sur une balance électronique. La base n'est pas solidaire du cylindre (elle peut coulisser librement) qui, lui, est maintenu à l'aide d'une potence. Le cylindre est alors rempli progressivement d'un milieu granulaire constitué de petites billes de verre. h est la hauteur de billes contenues dans le cylindre. On tare la balance pour $h = 0$ cm, puis on relève la valeur de la masse m_{exp} indiquée par la balance pour différentes valeurs de h .

Données :

- rayon du cylindre : $R = 2,5$ cm ;
- masse volumique du milieu granulaire : $\rho = 1,3 \times 10^3$ kg·m⁻³ ;
- valeur de l'accélération de la pesanteur : $g = 9,8$ m·s⁻².

Les valeurs de la masse m_{exp} en fonction de la hauteur h sont consignées dans le tableau ci-dessous.

h (cm)	0,0	0,6	1,3	1,7	2,1	2,9	3,8	4,0	5,0	9,0	14,0	17,0
m_{exp} (g)	0	18	27	34	43	51	55	56	69	75	79	80

- a) Citer deux observations que pourraient formuler les élèves pour décrire le comportement d'un milieu granulaire. Une de ces observations illustre l'analogie entre milieu granulaire et fluide et l'autre la remet en cause.
- b) À partir des mesures ci-dessus, représenter sur la copie le graphique traduisant l'évolution de la masse m_{exp} en fonction de la hauteur de billes h .

- c) Identifier, en justifiant la réponse, le domaine de valeurs de la hauteur h pour lequel on peut formuler l'hypothèse d'une relation de proportionnalité entre m_{exp} et h .
- d) Proposer les éléments de correction associés à cette activité expérimentale afin :
- d'établir que, dans le cadre du modèle d'un fluide au repos de masse volumique ρ , la relation entre la masse mesurée par la balance m_{fluide} et h s'écrit : $m_{fluide} = \rho \pi R^2 h$;
 - d'exploiter les résultats expérimentaux dans la zone linéaire ;
 - de comparer le modèle avec les résultats expérimentaux dans la zone linéaire.
- e) Indiquer les registres activés (décrits dans l'annexe **1.A**) dans les questions **Q4.a**), **Q4.b**) et **Q4.d**).
- f) Proposer une explication à fournir à un élève qui s'interroge sur les raisons de l'existence d'une valeur limite pour la masse mesurée m_{exp} lorsque la hauteur de billes h augmente.

Partie 2 – Interférences lumineuses

Objectifs de cette partie

- Mettre en évidence l'influence de différents paramètres sur les incertitudes de mesure
- Concevoir une séquence pédagogique portant sur les interférences lumineuses

Un enseignant de physique-chimie de classe de terminale construit une séquence pédagogique, comportant plusieurs séances, pour traiter la partie du programme d'enseignement de spécialité physique-chimie de terminale générale présentée ci-dessous.

Ondes et signaux	
1. Caractériser les phénomènes ondulatoires	
Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Interférences de deux ondes lumineuses, différence de chemin optique, conditions d'interférences constructives ou destructives.	Prévoir les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous de Young, l'expression linéarisée de la différence de chemin optique étant donnée. Établir l'expression de l'interfrange. <i>Exploiter l'expression donnée de l'interfrange dans le cas des interférences de deux ondes lumineuses, en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image.</i>

Q5. Une activité documentaire permet à l'enseignant d'introduire le phénomène de superposition de deux ondes lumineuses à travers l'expérience historique des trous de Young. Les notes préparatoires du professeur sont présentées dans l'annexe **2.B**.

- Mentionner le ou les intérêt(s) qu'il pourrait y avoir à utiliser ce type de document avec les élèves. Citer un autre physicien contemporain de Young et l'un de ses champs de recherche.
- Rappeler l'expression de l'indice optique n d'un milieu en fonction de la célérité de la lumière dans ce milieu et dans le vide. En déduire la longueur d'onde λ d'une onde lumineuse dans le milieu d'indice n en fonction de n et de la longueur d'onde dans le vide notée λ_0 . Pourquoi peut-on utiliser la longueur d'onde dans le vide lorsque l'on travaille dans l'air ?
- Citer les deux phénomènes physiques mis en jeu dans l'expérience des trous de Young. Identifier la manifestation de chaque phénomène sur la figure 3 de l'annexe **2.B**.
- Préciser en quoi cette expérience permet de mettre en évidence la nature ondulatoire de la lumière et indiquer pourquoi elle ne peut pas être interprétée dans le cadre de l'optique géométrique.
- Établir, conformément au programme présenté en introduction de cette partie, l'expression de l'interfrange (relation 3 de l'annexe **2.B**) à partir de l'expression donnée de la différence de chemin optique (relation 1 de l'annexe **2.B**).
- Plusieurs élèves s'interrogent sur la manière d'obtenir l'expression de la différence de chemin optique. Proposer pour répondre à ces élèves une démonstration de la relation 1 de l'annexe **2.B**.

Q6. L'enseignant propose d'exploiter le phénomène d'interférences lumineuses pour déterminer la valeur de la longueur d'onde d'une source de lumière. Pour cela, une activité expérimentale présentée dans l'annexe **2.C** est proposée aux élèves.

- a) Contrairement à l'expérience historique de Young décrite avec des trous, l'activité proposée se fait avec des fentes de Young. Indiquer les similitudes et les différences entre les trous et les fentes pour les deux phénomènes cités dans la question **Q5.c**.
- b) Indiquer la précaution à donner aux élèves sur l'utilisation de la source laser. Préciser la couleur du rayonnement émis par ce laser. Donner la signification de l'acronyme L.A.S.E.R.
- c) Associer à chacune des quatre tâches proposées aux élèves les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique présentées dans l'annexe **2.A**.

Q7. Un extrait du compte rendu d'un groupe d'élèves concernant les tâches 2, 3 et 4 de l'activité de l'annexe **2.C** figure dans document réponse DR1.

- a) **Sur le document réponse DR1 à rendre avec la copie**, annoter la copie de l'élève pour lui signifier ses erreurs concernant la deuxième tâche à réaliser (élaboration d'un protocole).

Concernant les tâches 3 et 4 à réaliser, les élèves n'ont pas pris en compte les incertitudes sur les mesures effectuées qui font partie des capacités exigibles du programme présenté dans l'annexe **2.A**.

- b) Estimer, en indiquant les hypothèses faites, les valeurs des incertitudes-types $u(D)$ et $u(i)$ des mesures expérimentales de D et i réalisées par les élèves.
- c) En déduire une estimation de la valeur de l'incertitude-type $u(\lambda)$ de la longueur d'onde λ .
- d) Conformément aux attendus du programme, proposer une écriture du résultat et le comparer à la valeur de référence à l'aide de l'écart normalisé.

Q8. L'enseignant souhaite sensibiliser les élèves à l'influence du protocole dans la détermination de la longueur d'onde.

- a) Pour cela, il insiste pour que les élèves mesurent la distance entre plusieurs franges et pas seulement entre deux franges successives. Expliquer en quoi cette méthode permet d'augmenter la précision de la mesure.
- b) Estimer dans ce cas la nouvelle valeur de l'incertitude-type $u(i)$ de l'interfrange i .

Dans le but éventuel d'améliorer davantage la précision de la mesure de l'interfrange, l'enseignant propose aux élèves de remplacer l'écran par un capteur optique qui permet, via un logiciel de traitement d'image, d'obtenir le profil d'intensité de la figure d'interférences.

- c) Représenter sur votre copie l'allure du profil d'intensité lumineuse donné par le logiciel de traitement d'image. Expliquer qualitativement comment réaliser la mesure de l'interfrange à partir de ce profil et préciser en quoi cette mesure, pour un même nombre d'interfranges mesurés est plus précise que celle obtenue via une mesure sur le papier millimétré.

Q9. L'annexe **2.D** propose d'évaluer l'incertitude-type de la longueur d'onde en utilisant une approche statistique conformément au programme d'enseignement présenté dans l'annexe **2.A**.

- a) Nommer la méthode utilisée pour obtenir l'incertitude-type de la longueur d'onde à l'aide du programme Python et expliquer succinctement le principe de cette méthode.
- b) Compléter le code Python en reportant les lignes correspondantes sur votre copie, en prenant les données du compte rendu du groupe d'élèves du **document-réponse DR1**.
- c) Les simulations n°1, 2 et 3 ont été réalisées pour différentes valeurs d'incertitude-type de l'interfrange $u(i)$ obtenues suivant les trois méthodes présentées précédemment : méthode 1, celle de l'élève ; méthode 2, celle étudiée à la question **Q8.a** ; méthode 3, celle utilisée à la question **Q8.c**. Associer à chaque méthode la simulation correspondante et conclure quant à la précision de la détermination de la longueur d'onde.
- d) Les simulations n°4, 5 et 6 reprennent respectivement les valeurs d'incertitude-type de l'interfrange $u(i)$ des trois premières simulations pour une valeur différente de l'incertitude-type de l'interfente $u(a)$. Conclure quant à la précision de la détermination de la longueur d'onde.

Élaboration d'une séquence pédagogique

Q10. Proposer de manière synthétique, le contenu d'une séquence d'enseignement constituée de trois séances de deux heures visant à traiter la partie du programme présentée en introduction de cette partie. Les différentes activités présentées dans les annexes pourront être utilisées.

Le candidat :

- identifiera une contextualisation et une problématique pour la séquence ;
- proposera un découpage de la séquence en séances en explicitant l'objectif de chaque séance et son contenu ;
- réalisera une évaluation formative sous la forme d'un QCM :
 - comportant trois questions permettant de tester l'ensemble des capacités exigibles du programme présentées en introduction de cette partie ;
 - sollicitant les trois registres de l'annexe **1.A** (un registre par question)

Partie 3 – Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique

Dans l'enseignement de spécialité physique-chimie de la classe de première, les élèves abordent l'étude des réactions de combustion d'un point de vue énergétique, à partir des énergies mises en jeu lors de la rupture et de la formation de liaisons. Cette étude permet par exemple de comparer des carburants et d'aborder des perspectives liées au développement durable.

Objectifs de cette partie :

- différencier la fin d'une activité ;
- corriger une copie d'élève ;
- élaborer une séquence pédagogique pour traiter la partie de programme d'enseignement de spécialité physique-chimie de première générale présentée ci-dessous :

Constitution et transformations de la matière	
3. Propriétés physico-chimiques, synthèses et combustions d'espèces chimiques organiques	
Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
C) Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique	
Combustibles organiques usuels	Citer des exemples de combustibles usuels.
Modélisation d'une combustion par une réaction d'oxydoréduction.	Écrire l'équation de réaction de combustion complète d'un alcane et d'un alcool.
Énergie molaire de réaction, pouvoir calorifique massique, énergie libérée lors d'une combustion. Interprétation microscopique en phase gazeuse : modification des structures moléculaires, énergie de liaison.	Estimer l'énergie molaire de réaction pour une transformation en phase gazeuse à partir de la donnée des énergies des liaisons. <i>Mettre en œuvre une expérience pour estimer le pouvoir calorifique d'un combustible</i>
Combustions et enjeux de société.	Citer des applications usuelles qui mettent en œuvre des combustions et les risques associés. Citer des axes d'étude actuels d'applications s'inscrivant dans une perspective de développement durable.

Q11. Pour introduire le chapitre sur les combustions, un professeur propose à sa classe l'activité présentée dans l'annexe **3.A**. L'activité documentaire étant réalisée en autonomie par les élèves, un décalage important est constaté entre les élèves qui atteignent rapidement les objectifs visés et ceux qui sollicitent davantage d'accompagnement pour répondre aux questions. Proposer une modification et un prolongement de cette activité afin de permettre à

tous les élèves d'atteindre les objectifs et de rester en activité pendant toute la séance de travail.

Q12. L'estimation de l'énergie molaire de réaction à partir des énergies des liaisons peut être abordée avec les élèves sous la forme d'un diagramme dont un exemple est présenté dans l'annexe **3.B**.

- Rédiger la règle relative à la convention de signe à donner aux élèves concernant les énergies afin d'expliquer le signe de l'énergie molaire de la réaction de combustion.
- Effectuer le calcul de l'énergie molaire de combustion du 2,5-diméthylfurane tel qu'il peut être proposé à des élèves de première.
- L'annexe **3.C** donne les pouvoirs calorifiques massiques, exprimés en $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, pour quelques combustibles. Un enseignant souhaite demander aux élèves de calculer le pouvoir calorifique massique du 2,5-diméthylfurane et de le comparer à celui des combustibles présentés. Rédiger la correction de cette question en ajoutant un commentaire qui pourrait être fait aux élèves concernant l'écriture des données présentées dans le tableau de l'annexe **3.C**.

Q13. Dans l'enseignement supérieur, on étudie la thermochimie d'une combustion à l'aide de considérations enthalpiques.

- En supposant qu'il n'y a pas d'échanges énergétiques entre la flamme et l'atmosphère environnante et que la pression du système étudié est constante établir l'expression de la variation d'enthalpie du système à partir du premier principe de la thermodynamique.

Pour évaluer la température de flamme adiabatique T_f d'un combustible, on considère que la combustion peut être décomposée en deux transformations fictives : l'une se déroule à la température initiale T_i constante, avec un avancement qui varie de zéro à l'avancement final. L'autre représente l'échauffement du système dans son état final, de la température T_i à la température T_f . On prendra $T_i = 298 \text{ K}$.

- À l'aide des données de l'annexe **3.D**, calculer la température de flamme T_f du méthane dans l'air.
- La température maximale atteinte lors de la combustion du méthane est en réalité nettement moins importante : préciser l'hypothèse faite pour ce calcul qui permet d'expliquer ce constat.

Q14. Afin de réinvestir les notions vues en début d'année de première sur les tableaux d'avancement, il est possible de demander aux élèves de calculer la masse de dioxyde de carbone dégagée par une combustion. Le **document – réponse DR2** est la copie qu'un élève a produite pour ce type d'exercice.

- Annoter la copie du **document – réponse DR2 à rendre avec la copie** de façon à corriger les erreurs éventuellement présentes et à formuler sur la copie des conseils qui permettront à l'élève de progresser.
- Proposer une correction de la quatrième question de l'exercice.
- Proposer quelques questions supplémentaires qui auraient pu être posées afin d'évaluer l'ensemble du programme identifié au début de la partie 3. Indiquer également les données ou documents complémentaires qui seraient fournis à l'élève.

Q15. La préparation au Grand oral peut s'envisager tout au long du cursus des élèves au lycée. Un enseignant souhaite organiser une prise de parole en temps limité et illustrant la partie « Combustions et enjeux de société ». En s'appuyant sur l'annexe **3.E**, rédiger une série

de cinq questions courtes à proposer aux élèves afin que ceux-ci puissent formuler, pour la question choisie, une réponse organisée limitée à deux minutes.

Élaboration d'une séquence pédagogique

Q16. Proposer, de manière synthétique, le contenu d'une séquence d'enseignement constituée de trois séances de deux heures visant à traiter la partie du programme présentée en introduction. Les documents présentés dans les annexes **3.A** à **3.E** pourront être utilisés.

Le candidat :

- proposera une contextualisation et une problématique pour la séquence ;
- explicitera les objectifs et les contenus de chaque séance en précisant le type d'activité envisagée ;
- proposera un entraînement à la prise de parole en vue du Grand oral de terminale en s'appuyant sur l'annexe **3.E** ;
- rédigera la trace écrite destinée au cahier de l'élève institutionnalisant les savoirs sur cette partie de programme : cette trace écrite pourra être proposée sous forme d'une carte mentale.

Annexe 1 - Ressources utiles pour la partie 1 du sujet

1.A – Extrait d'un article sur le lien entre mathématiques et physique-chimie autour de la notion de proportionnalité

Des représentations graphiques aux relations littérales.

La construction d'un modèle débute souvent par le choix des grandeurs qui caractérisent un phénomène et par le choix d'hypothèses simplificatrices, l'objectif étant ensuite de construire une relation entre ces grandeurs permettant de décrire le phénomène étudié, puis de prévoir le comportement d'un système physique ou chimique. Le travail sur les relations entre grandeurs est donc un élément important contribuant à la bonne compréhension de la démarche de modélisation.

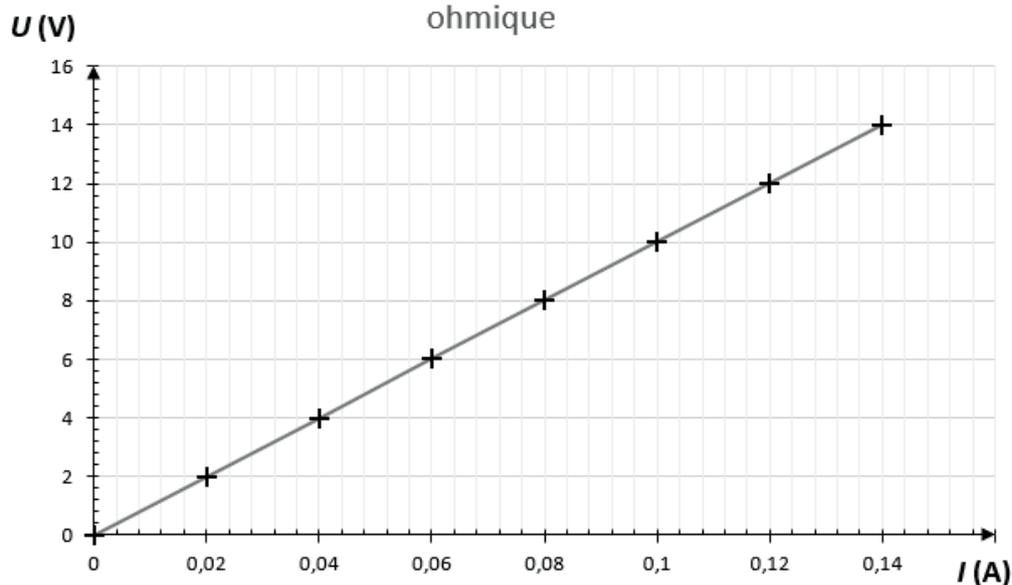
Dans ce cadre, il est nécessaire d'activer une diversité de registres :

- le registre verbal qui permet de décrire le phénomène étudié ou l'expérience réalisée et de « mettre en mots » le graphique tracé ou la relation établie entre des grandeurs ;
- le registre graphique qui donne une représentation visuelle statique ou dynamique de la relation entre des grandeurs ;
- le registre conceptuel ou symbolique qui formalise une dépendance entre des grandeurs sous la forme d'une relation mathématique (expression littérale). C'est le registre qui exige les plus fortes capacités d'abstraction de la part des élèves, mais c'est aussi celui qui donne une dimension prédictive et quantitative au modèle selon un principe de parcimonie et d'efficacité.

Extrait de l'article « *Expérimentation et modélisation, la place du langage mathématique en physique-chimie* » rédigé par le GRIESP (Groupe de Recherche et d'Innovation dans l'Enseignement de Sciences Physiques)

1.B – La proportionnalité en électricité : de la classe de 4^{ème} au lycée

Relation entre les grandeurs électriques d'un conducteur ohmique



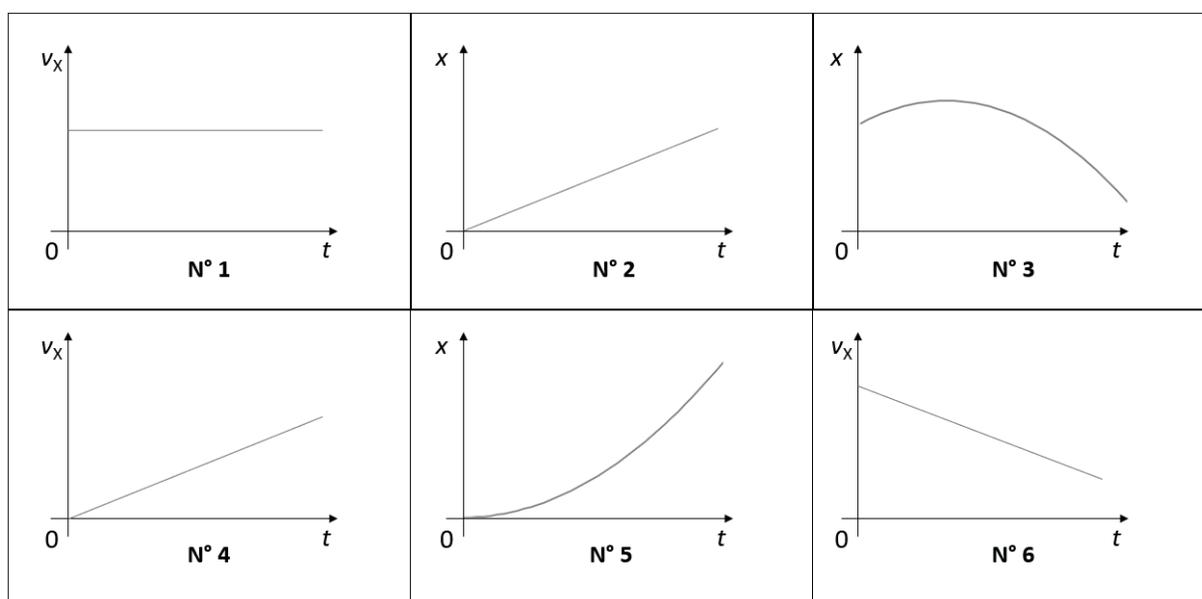
1.C – Activité documentaire sur les mouvements rectilignes, à destination d'élèves suivant l'enseignement de spécialité physique-chimie en terminale générale.

Activité : caractériser le vecteur accélération pour des mouvements rectilignes

Objectifs :

- objectif n°1 : décrire l'évolution de grandeurs représentées graphiquement et en déduire la nature du mouvement associé ;
- objectif n°2 : caractériser le vecteur accélération dans le cas de mouvements rectilignes.

DOC A. Les graphiques suivants représentent l'évolution de deux grandeurs au cours de mouvements rectilignes effectués selon un axe (Ox) : les abscisses x et v_x respectivement du vecteur position et du vecteur vitesse du système étudié en fonction du temps t .



DOC B. La liste ci-dessous propose une série de modèles valables pour des mouvements rectilignes. Ces modèles concernent les grandeurs définies dans le DOC A, avec la valeur de x exprimée en m, celle de v_x exprimée en $m \cdot s^{-1}$ et celle de t exprimée en s.

$x(t) = 3$	$x(t) = 1,5t^2$	$v_x(t) = 0$	$v_x(t) = 3t$
$x(t) = 2t$	$x(t) = 1,5t^2 + 2$	$v_x(t) = 2$	$v_x(t) = -5t + 5$
$x(t) = 2t + 1$	$x(t) = -2,5t^2 + 3t + 5$	$v_x(t) = 3t + 1$	$v_x(t) = -5t + 3$

- 1) Pour chaque graphique numéroté du DOC A, décrire par une phrase l'évolution observée. Préciser le numéro des graphiques qui traduisent une situation de proportionnalité.
- 2) Identifier les trois mouvements illustrés par les graphiques du DOC A. Associer chaque graphique à l'un de ces mouvements.
- 3) Rappeler la relation mathématique entre les grandeurs x et v_x .
- 4) Dans la liste du DOC B, choisir un couple de modèles (x , v_x) pour chaque mouvement identifié précédemment.
- 5) Représenter, sans souci d'échelle, la chronophotographie associée à chacun des mouvements identifiés.

1.D – Extraits du programme de spécialité physique-chimie de première et de terminale

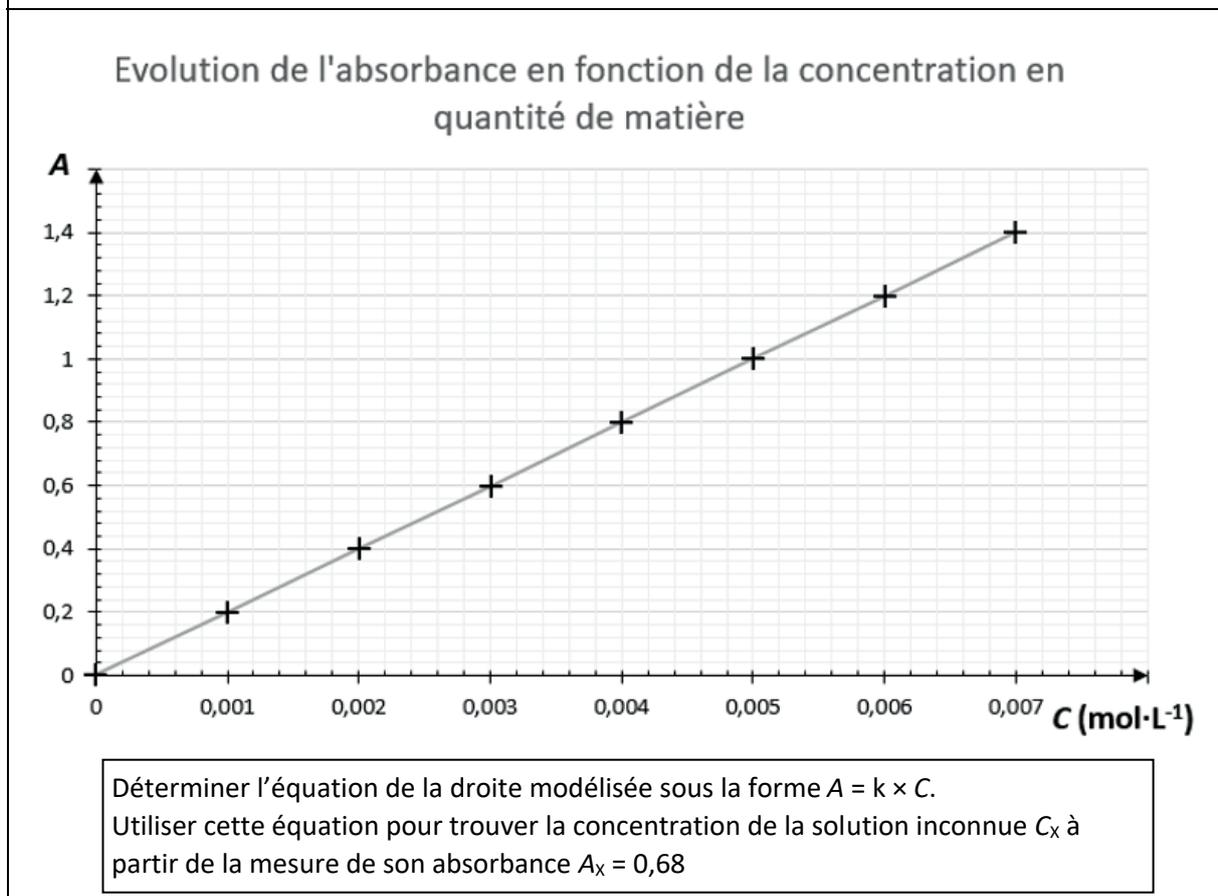
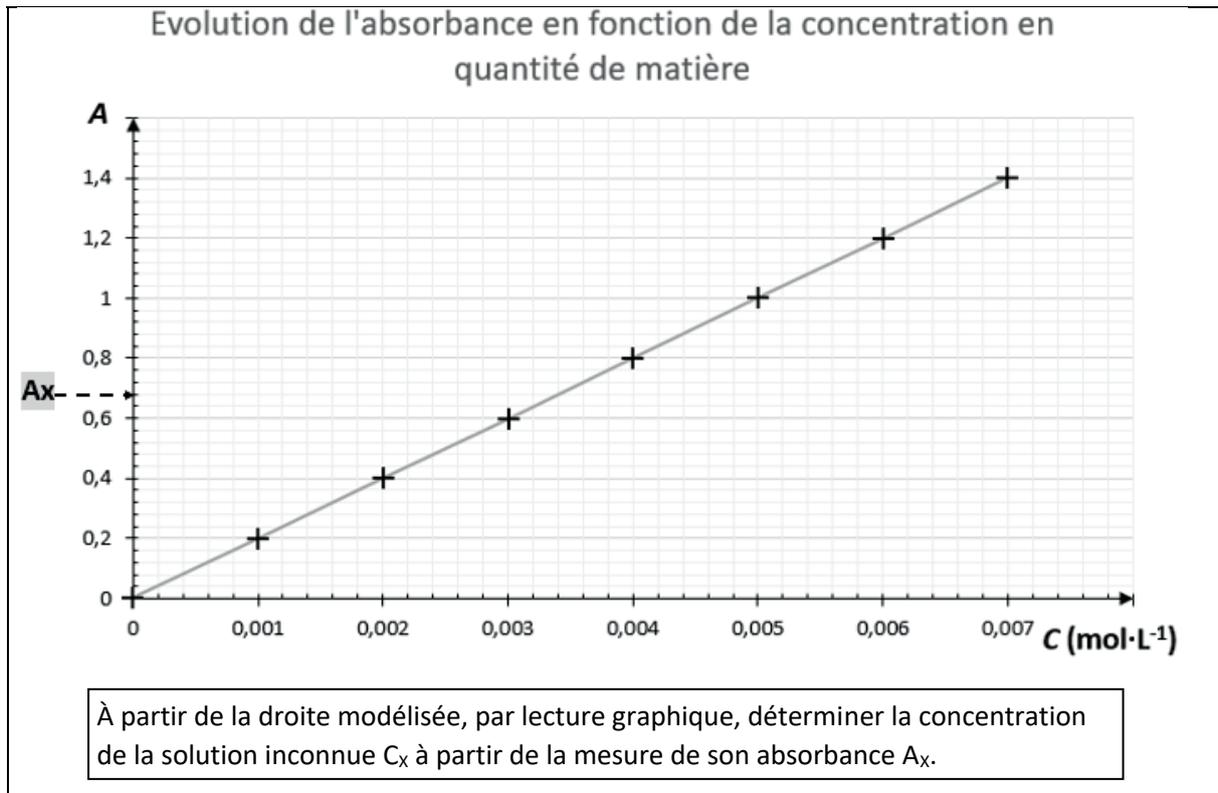
En classe de première

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
A) Détermination de la composition du système initial à l'aide de grandeurs physiques	
Absorbance, spectre d'absorption, couleur d'une espèce en solution, loi de Beer-Lambert.	Expliquer ou prévoir la couleur d'une espèce en solution à partir de son spectre UV-visible. Déterminer la concentration d'un soluté à partir de données expérimentales relatives à l'absorbance de solutions de concentrations connues. <i>Proposer et mettre en œuvre un protocole pour réaliser une gamme étalon et déterminer la concentration d'une espèce colorée en solution par des mesures d'absorbance. Tester les limites d'utilisation du protocole.</i>

En classe de terminale

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
B) Analyser un système chimique par des méthodes physiques	
Absorbance ; loi de Beer-Lambert Conductance, conductivité ; loi de Kohlrausch	Exploiter la loi de Beer-Lambert, la loi de Kohlrausch ou l'équation d'état du gaz parfait pour déterminer une concentration ou une quantité de matière. Citer les domaines de validité de ces relations. <i>Mesurer une conductance et tracer une courbe d'étalonnage pour déterminer une concentration.</i>

1.E – Deux exploitations possibles de la représentation graphique de la loi de Beer-Lambert



1.F – Extrait du programme de spécialité physique-chimie de première

2. Description d'un fluide au repos	
Échelles de description. Grandeurs macroscopiques de description d'un fluide au repos : masse volumique, pression, température.	Expliquer qualitativement le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide et le comportement microscopique des entités qui le constituent.
Actions exercées par un fluide sur une surface : forces pressantes.	Exploiter la relation $F = P.S$ pour déterminer la force pressante exercée par un fluide sur une surface plane S soumise à la pression P .
Loi fondamentale de la statique des fluides.	Dans le cas d'un fluide incompressible au repos, utiliser la relation fournie exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides : $P_2 - P_1 = \rho g(z_1 - z_2)$. <i>Tester la loi fondamentale de la statique des fluides.</i>

Annexe 2 - Ressources utiles pour la partie 2 du sujet

2.A – Extraits du programme d’enseignement de spécialité physique-chimie de terminale générale

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique	
Compétences	Quelques exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Énoncer une problématique. - Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée. - Représenter la situation par un schéma.
Analyser/ Raisonner	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Proposer une stratégie de résolution. - Planifier des tâches. - Évaluer des ordres de grandeur. - Choisir un modèle ou des lois pertinentes. - Choisir, élaborer, justifier un protocole. - Faire des prévisions à l'aide d'un modèle. - Procéder à des analogies.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. - Utiliser un modèle. - Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.) - Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. - Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. - Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	<p>À l'écrit comme à l'oral :</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; - utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; - échanger entre pairs.

Mesure et Incertitudes	
Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type. Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes.
Incertitude-type.	Capacité numérique : Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur ou d'un langage de programmation. Définir qualitativement une incertitude-type. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
Incertitudes-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs dont les incertitudes-types associées sont connues. Capacité numérique : Simuler, à l'aide d'un langage de programmation, un processus aléatoire illustrant la détermination de la valeur d'une grandeur avec incertitudes types composées.
Écriture du résultat. Valeur de référence.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer, le cas échéant, le résultat d'une mesure m_{mes} à une valeur de référence m_{ref} en utilisant le quotient $\frac{ m_{mes} - m_{ref} }{u(m)}$ où $u(m)$ est l'incertitude-type associée au résultat.

2.B – Expérience des trous de Young

Thomas Young (1773 - 1829)

Thomas Young est un physicien, médecin et égyptologue britannique. Il est surtout connu pour sa définition du module de Young en science des matériaux et pour son expérience des fentes de Young en optique (1801) pour former des franges d'interférences, phénomène lié à la nature ondulatoire de la lumière.



Figure 1: d'après Thomas Young (https://fr.wikipedia.org/wiki/Thomas_Young)

Présentation du dispositif interférentiel

Un support percé de deux trous de très petite dimension S_1 et S_2 intercepte le trajet d'une onde lumineuse émise par un faisceau laser. La source S de ce laser peut être considérée comme monochromatique et ponctuelle. Le support, situé à distance finie de S , est placé de sorte que S soit située à égales distances des trous S_1 et S_2 . On suppose que l'onde lumineuse se propage dans l'air, milieu non dispersif et homogène. On note λ la longueur d'onde dans l'air du laser.

On place un écran d'observation à grande distance et parallèle au support (voir Figure 2). On repère un point M de l'écran par ses coordonnées dans le repère (O, x, y, z) tel que (Ox) et (Oy) soient deux droites du plan de l'écran et (Oz) orthogonale au plan de l'écran.

On note :

- a la distance entre les trous ;
- D la distance entre les trous et l'écran d'observation.

L'observation se faisant à grande distance des trous, on suppose $D \gg a$, $D \gg |x|$ et $D \gg |y|$.

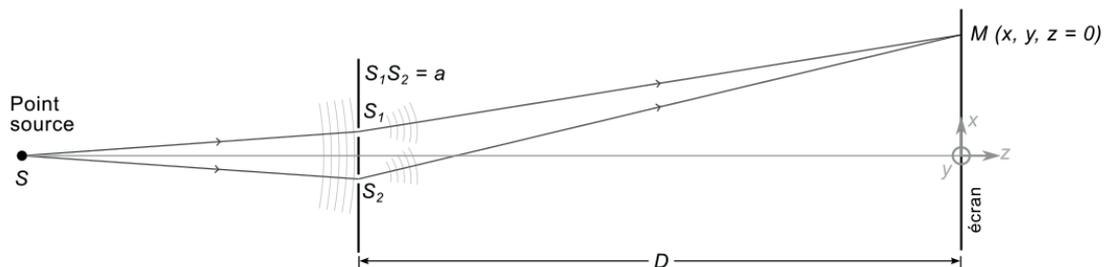


Figure 2 : dispositif interférentiel des trous de Young

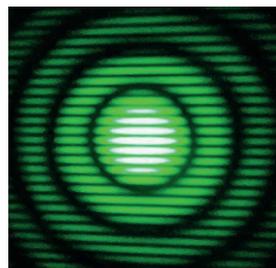


Figure 3 : figure d'interférences observée sur l'écran, l'axe (Ox) étant vertical.

Résultats théoriques

Différence de chemin optique en $M(x, y, z = 0)$ (Relation 1)	Intensité lumineuse en $M(x, y, z = 0)$ (Relation 2)	Interfrange (Relation 3)
$\delta(M) = \frac{ax}{D}$	$I(x) = 2I_0 \left(1 + \cos \left(2\pi \frac{a}{\lambda D} x \right) \right)$	$i = \frac{\lambda D}{a}$

2.C – Activité expérimentale proposée à des élèves de terminale générale suivant la spécialité physique-chimie permettant de déterminer la valeur de la longueur d’onde d’une source lumineuse monochromatique.

Problématique

La superposition de deux faisceaux lumineux émis par une source monochromatique conduit à l’apparition de zones alternativement sombres et brillantes appelées franges d’interférences. Comment exploiter une figure d’interférences lumineuses pour déterminer la valeur de la longueur d’onde de la source lumineuse ?

Données

À partir de la mesure de l’interfrange i faite à l’aide d’un papier millimétré placé directement sur l’écran d’observation des franges, on peut, connaissant la valeur de la distance D des fentes de Young à l’écran et celle de la distance a entre les deux fentes sources, déterminer la valeur de la longueur d’onde λ de la source dans l’air à partir de la relation suivante :

$$\lambda = \frac{a \cdot i}{D}$$

Liste du matériel disponible :

- laser (longueur d’onde dans l’air : $\lambda = 532 \text{ nm}$) ;
- fentes de Young (interfente : $a = 200 \text{ }\mu\text{m}$; largeur de chaque fente : $b = 40 \text{ }\mu\text{m}$) ;
- écran ;
- banc d’optique (graduation $0,5 \text{ mm}$) ;
- papier millimétré.

Données utiles sur les incertitudes :

- L’incertitude-type de a vaut $u(a) = 10 \text{ }\mu\text{m}$;
- Lors d’une mesure effectuée à l’aide d’un instrument dont la résolution est d ; l’incertitude-type associée est prise égale à $\frac{d}{6}$ (loi normale).
- Soit une grandeur X calculée à partir des grandeurs Y , Z et W selon la relation suivante :

$$X = \frac{Y \cdot Z}{W}$$

$$\text{alors } u(X) = X \sqrt{\left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2 + \left(\frac{u(Z)}{Z}\right)^2 + \left(\frac{u(W)}{W}\right)^2}$$

- Soit une grandeur V calculée à partir de la grandeur Y , avec n une constante, selon la relation $V = n \cdot Y$. On a alors $u(V) = n \cdot u(Y)$.

- La comparaison d'une mesure m_{mes} à une valeur de référence m_{ref} s'effectue en utilisant le quotient $\frac{|m_{mes} - m_{ref}|}{u(m)}$ où $u(m)$ est l'incertitude-type associée au résultat.

Tâches à effectuer

1. Question préliminaire

Qualifier le type de franges d'interférences correspondant aux zones sombres et claires en donnant dans chaque cas l'expression de la différence de chemin optique en fonction de λ et d'un entier relatif k .

2. Élaboration d'un protocole

Proposer les différentes étapes d'un protocole expérimental permettant de déterminer la valeur de la longueur d'onde du laser utilisé. La mesure de l'interfrange doit être clairement explicitée. La réponse doit comporter un schéma prenant en compte la liste du matériel utilisé.

3. Mise en œuvre du protocole

Mettre en œuvre le protocole proposé.

4. Exploitation des résultats obtenus

La valeur obtenue expérimentalement est-elle compatible avec la valeur de référence indiquée sur le boîtier du laser ?

2.D – Évaluation de l'incertitude-type de la longueur d'onde en utilisant une approche statistique

Programme Python permettant de calculer l'incertitude-type de la longueur d'onde

```
# on importe la bibliothèque numpy permettant de faire les calculs statistiques (moyenne, ecart-
type...)
import numpy as np
# on importe la bibliothèque matplotlib.pyplot permettant de tracer des graphiques et de les mettre
en forme
import matplotlib.pyplot as plt
import math

# On liste les données expérimentales sur les mesures et leur incertitude-type (en unités SI)
i,u_i = ..... à compléter par le candidat.....
a,u_a = 200*1e-6,10*1e-6
D, u_D = ..... à compléter par le candidat.....

# on définit la grandeur dont on cherche à déterminer l'incertitude en fonction des données (ici la
longueur d'onde en nm)
def longOnde(i,a,D):
    return ..... à compléter par le candidat.....

# On définit la fonction qui réalisera N tirages aléatoires selon la loi normale (X correspond à la
moyenne et u à l'écart-type de cette distribution)
def alea(X,u,N):
    return np.random.normal(X,u,N)

# On précise le nombre de tirages
N=100000

# On effectue les différents appels de la fonction pour chaque grandeur
i_sim=..... à compléter par le candidat.....
a_sim=..... à compléter par le candidat.....
D_sim=..... à compléter par le candidat.....
longOnde_sim=longOnde(i_sim,a_sim,D_sim)

# On calcule la moyenne et l'écart type de la distribution de longOnde_sim
moy=np.mean(longOnde_sim)
ecartType=np.std(longOnde_sim,ddof=1)

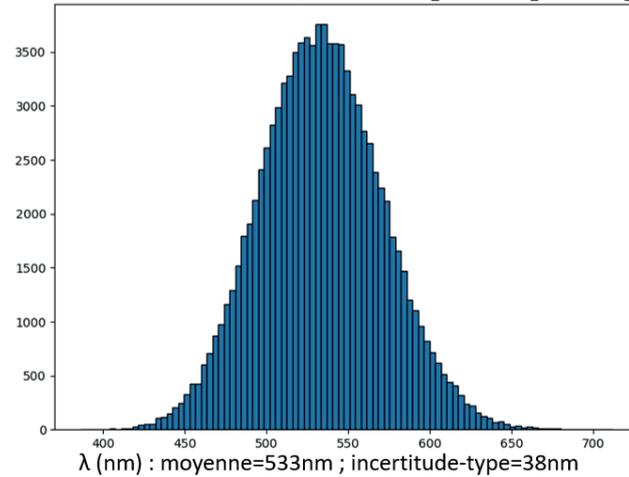
# On trace l'histogramme de la distribution simulée
plt.hist(longOnde_sim, bins='rice',edgecolor='black')
plt.title(str(N)+' simulations u_i='+str(u_i*1e3)+'mm ;'+ ' u_a='+str(format(u_a*1e6, '.0f'))+'$μ$m
;'+ ' u_D='+str(u_D*1e3)+'mm')
plt.xlabel('$λ$ (nm) : moyenne='+str(format(moy,'.0f'))+'nm ; incertitude-
type='+str(format(ecartType,'.0f'))+'nm')
plt.show()
```

Simulations obtenues pour des valeurs différentes d'incertitudes-types

On exécute le programme pour des valeurs différentes d'incertitudes-types sur a et i .

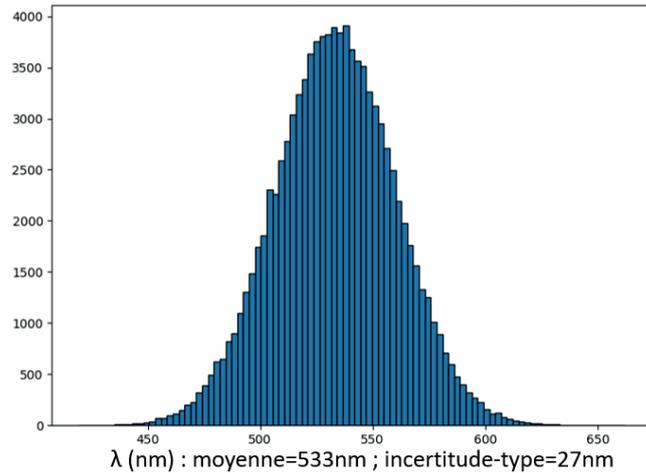
Simulation n°1 :

100000 simulations avec $u_i = 0.2\text{mm}$; $u_a = 10\mu\text{m}$; $u_D = 0.1\text{mm}$



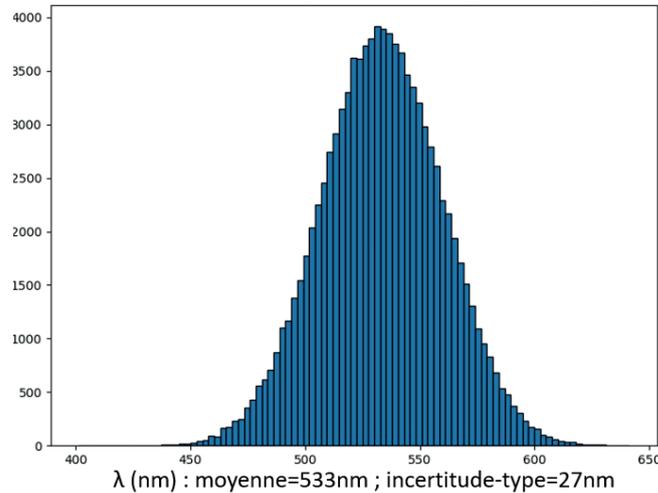
Simulation n°2 :

100000 simulations avec $u_i = 0.02\text{mm}$; $u_a = 10\mu\text{m}$; $u_D = 0.1\text{mm}$

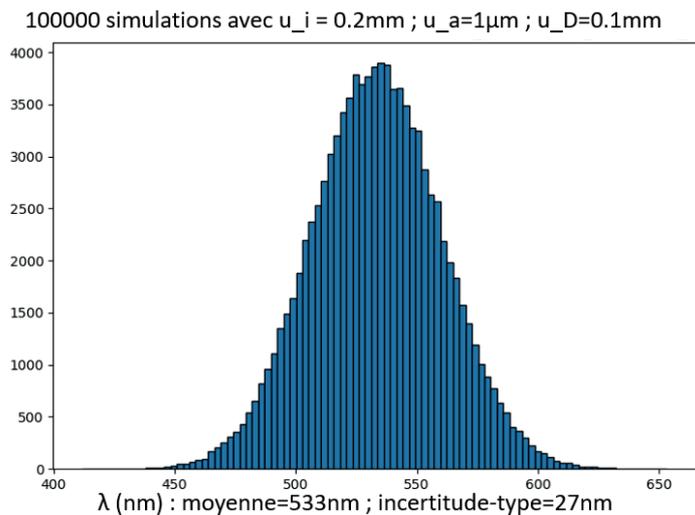


Simulation n°3 :

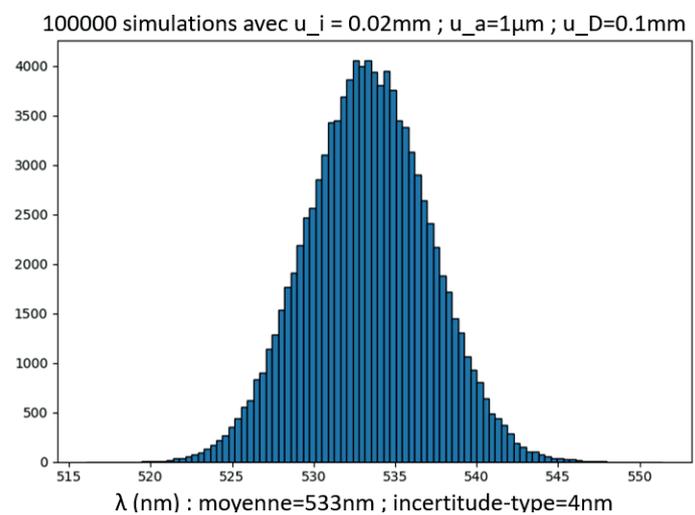
100000 simulations avec $u_i = 0.002\text{mm}$; $u_a = 10\mu\text{m}$; $u_D = 0.1\text{mm}$



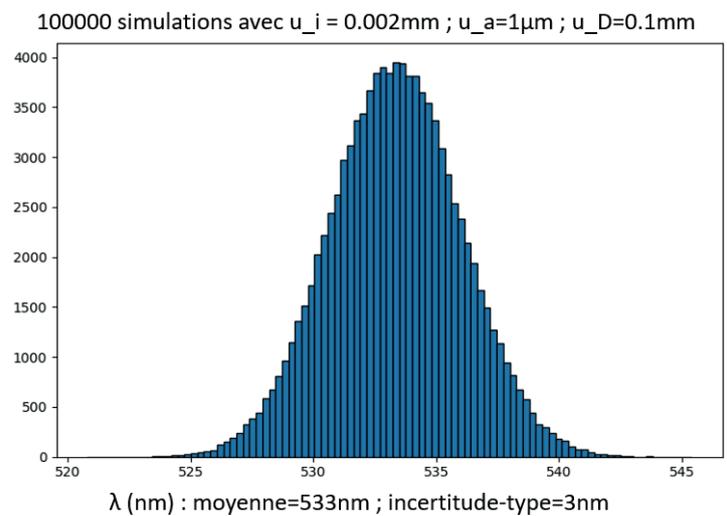
Simulation n°4 :



Simulation n°5 :



Simulation n°6 :



Annexe 3 - Ressources utiles pour la partie 3 du sujet

3.A – Activité relative aux réactions de combustion

Activité : Modélisation d'une combustion par une réaction d'oxydoréduction

Objectifs :

- Savoir écrire une équation de combustion complète pour un alcane et un alcool
- Comprendre les rôles d'oxydant et de réducteur lors d'une combustion

DOC A : des combustions au quotidien

	Le briquet	La bougie	Le barbecue à gaz	Le brûleur du réchaud à fondue	La cuisinière à gaz
<i>Objets du quotidien</i>					
<i>Combustible principal</i>	Butane C_4H_{10}	Stéarine $C_{57}H_{110}O_6$	Propane C_3H_8	Éthanol C_2H_6O	Méthane CH_4

DOC B : la chimie de la combustion

Au cours d'une combustion, le combustible est oxydé par le comburant. Le combustible est un réducteur et le comburant (la plupart du temps le dioxygène de l'air) un oxydant. On modélise la combustion en phase gazeuse par une réaction d'équation globale sans passer par l'écriture des demi-équations électroniques, celles-ci étant plutôt réservées aux solutions aqueuses.

Questions :

1. Parmi les combustibles étudiés, identifier les alcanes et les alcools.
2. Écrire l'équation de la réaction modélisant la combustion dans l'air de chaque combustible du DOC A.
3. Pour l'exemple de la combustion du propane, former les deux couples oxydant/réducteur engagés dans cette combustion.

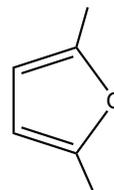
S'APP

ANA/RAI

ANA/RAI

3.B – Modélisation d'une combustion

Le DMF représente le 2,5-diméthylfurane (ci-contre) : c'est une espèce chimique prometteuse dans le domaine des agrocarburants, synthétisée à partir de fructose.



La réaction de combustion complète du DMF à l'état gazeux a pour équation :

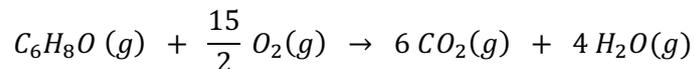
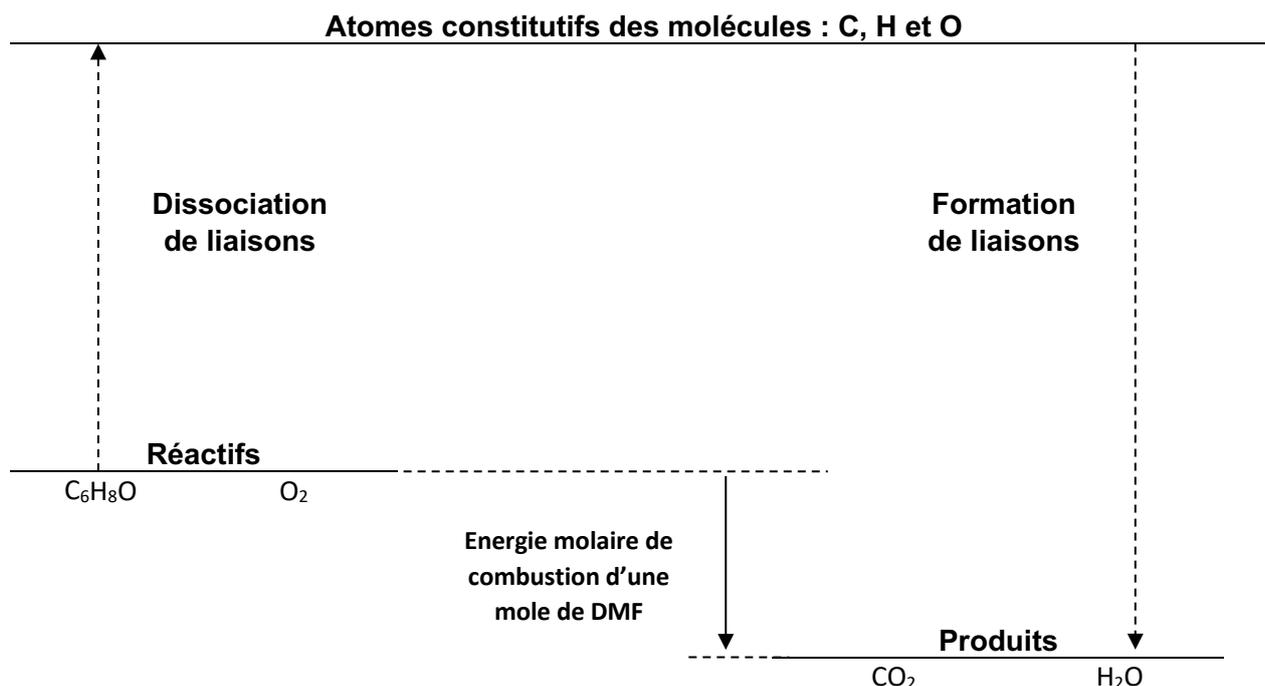


Diagramme représentant les énergies engagées lors de la combustion d'une mole de 2,5-diméthylfurane :



Donnée : énergies molaires de liaisons

	E_l (kJ·mol ⁻¹)
C - C	346
C - O	358
C = C	615
C = O	804
O - H	463
O = O	497
C - H	415

Données : masses molaires atomiques

$$M(H) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$M(C) = 12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$M(O) = 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

3.C – Pouvoir calorifique massique de quelques combustibles

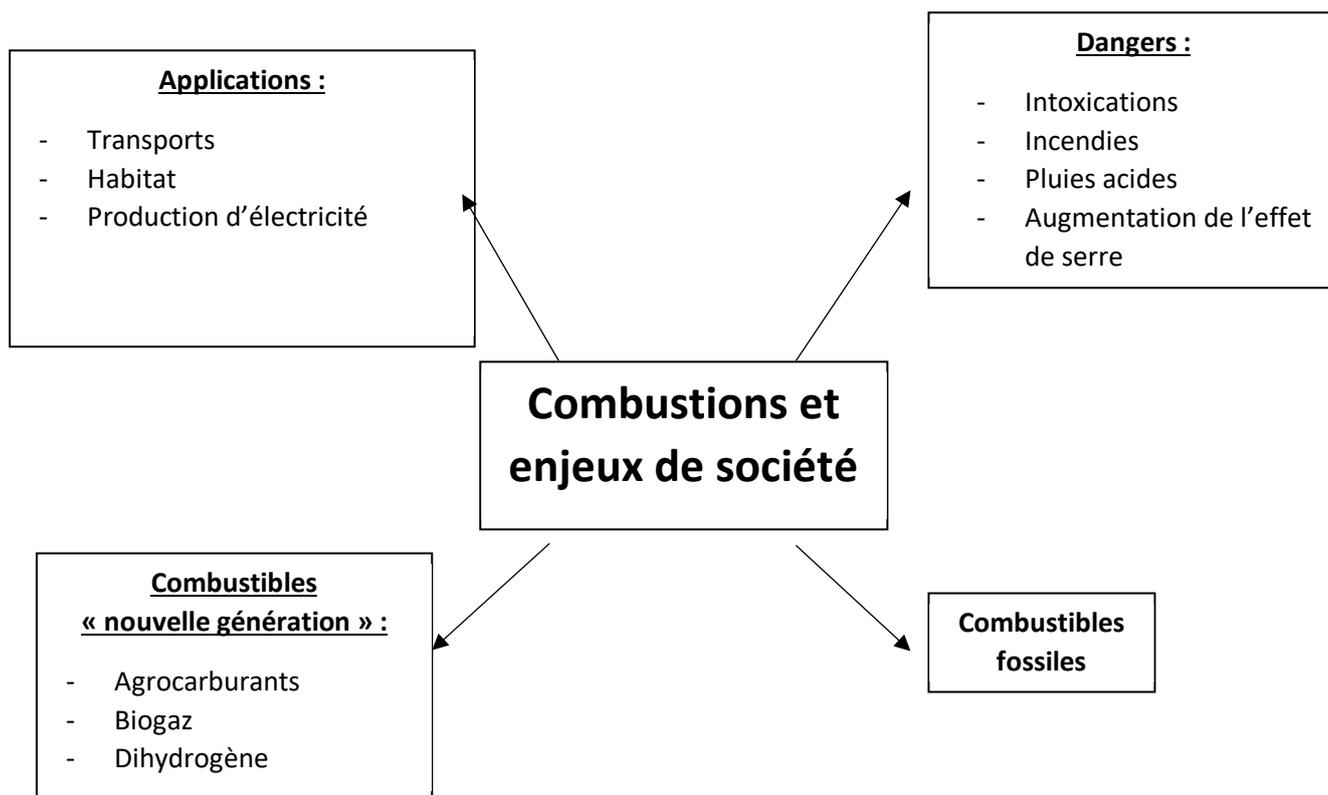
Combustible	Bois	Butane	Charbon	Dihydrogène
MJ·kg⁻¹	15	49,51	15-27	143

Combustible	Essence	Éthanol	Gazole	Propane
MJ·kg⁻¹	47,3	29,7	44,8	50,35

3.D – Enthalpies standard de formation et capacités thermiques molaires à 298 K

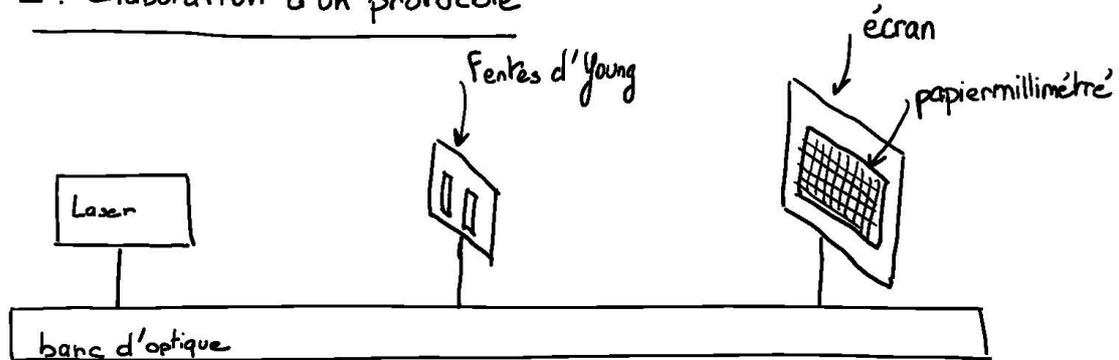
	CH ₄ (g)	O ₂ (g)	CO ₂ (g)	H ₂ O (g)	N ₂ (g)
$\Delta_f H^0$ en kJ·mol ⁻¹	- 74,4	0	-393,5	-241,8	0
$C_{p,m}^0$ en J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹	35,3	29,5	38,7	37,7	30,6

3.E – Illustration des enjeux de société autour des combustions



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

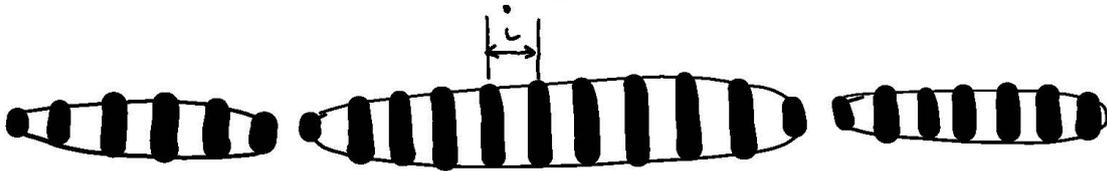
2. Elaboration d'un protocole



Etape 1: Disposer le laser, les fentes et l'écran sur le banc d'optique.

Etape 2: Eclairer les fentes avec le laser

Etape 3: - Mesurer la distance D
- Mesurer l'interfrange i



Etape 4: Calculer λ à partir de la relation $\lambda = \frac{ai}{D}$

3. Mise en oeuvre du protocole

$$\begin{array}{l} D = 150 \text{ cm} \\ i = 4 \text{ mm} \end{array} \quad \left| \rightarrow \quad \lambda = \frac{200 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-3}}{150 \times 10^{-2}} = 533 \text{ nm} \right.$$

4. Exploitation des résultats obtenus

la valeur expérimentale est compatible avec celle du boîtier

Document – réponse DR2 à rendre avec la copie (partie 3)

Énoncé et copie d'un élève

Cet exercice propose de réinvestir les notions vues sur les tableaux d'avancement et de les mettre en lien avec les combustions.

La flamme olympique est un symbole des Jeux Olympiques modernes. Lors de la cérémonie d'ouverture, un sportif allume d'une manière souvent originale une vasque qui brûle pendant toute la durée des jeux.
Le combustible utilisé est du propane C_3H_8 .



Masses molaires :

$$M(C_3H_8) = 44,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$M(CO_2) = 44,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$M(H_2O) = 18,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

1. Écrire l'équation correspondant à la réaction de combustion complète du propane.



2. Cette combustion est-elle modélisée par une réaction d'oxydoréduction ? Justifier la réponse.

Ce n'est pas une réaction d'oxydoréduction car il n'y a pas d'espèces chargées avec des \oplus et des \ominus . Donc il ne peut pas y avoir de transfert d'électrons.

3. Proposer une méthode d'identification des produits formés lors d'une combustion complète.

- Pour identifier CO_2 , il faut utiliser l'eau de chaux qui se trouble.
- Pour identifier l'eau, on voit des gouttelettes se former, donc c'est de l'eau.

4. Calculer la masse de chacun des produits formés lors de la combustion complète d'une cartouche de propane de masse 1,00 kg. Justifier la réponse à l'aide d'un tableau d'avancement.

	C_3H_8	$+ 5O_2$	\rightarrow	$3CO_2$	$+ 4H_2O$
E.T.	1 kg	?		0	0
E.F.	0	?		3 kg	4 kg

Je pense que le propane est le réactif limitant.