Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

PHYSIQUE-CHIMIE

Mardi 8 juin 2021

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

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

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

L'annexe page 13 est à rendre avec la copie.

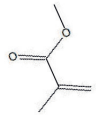
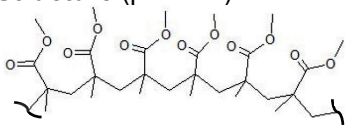
Le candidat traite 3 exercices : l'exercice 1 puis il choisit 2 exercices parmi les 3 proposés.

EXERCICE 1 commun à tous les candidats (10 points)

VERS LA SYNTHÈSE DU PLEXIGLAS

Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) est un polymère thermoplastique transparent. Découvert en 1877, il est produit industriellement dès 1933 en Allemagne à partir du méthacrylate de méthyle (MMA), sous le nom de Plexiglas®. Ce matériau permet de remplacer le verre pour certaines applications comme les écrans de protection par exemple.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la synthèse du MMA, puis celle du PMMA.

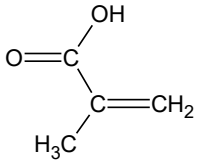
Monomère	**Polymère**	**Exemple d'objet fabriqué en plexiglas**
Acronyme usuel : **MMA** Nom usuel : méthacrylate de méthyle Nomenclature officielle : 2-méthylpropénoate de méthyle **Structure :** 	Acronyme usuel : **PMMA** Nom usuel : polyméthacrylate de méthyle Nomenclature officielle : poly(2-méthylpropénoate de méthyle) **Structure** (partielle) **:** 	 Écran mobile de protection, en plexiglas

1. Étude de l'acide méthacrylique

L'acide méthacrylique peut être utilisé comme réactif dans la synthèse du MMA.

Données sur l'acide méthacrylique :

- nom dans la nomenclature officielle : acide 2-méthyl-2-propénoïque ;
- formule semi-développée :



- masse molaire moléculaire : M = 86,1 g·mol^{-1} ;
- pK_A, à 25°C, du couple acide méthacrylique / ion méthacrylate : 4,7 ;

Extraits de la fiche de données de sécurité de l'acide méthacrylique		
Étiquetage : Pictogrammes de danger : 	Mentions de danger : Nocif en cas d'ingestion ou d'inhalation. Toxique par contact cutané. Provoque des brûlures de la peau et de graves lésions des yeux. Peut irriter les voies respiratoires.	Propriétés physiques et chimiques : Forme liquide, couleur incolore, odeur nauséabonde Température de fusion : 15°C Température d'ébullition : 161°C

Source : d'après www.merckgroup.com

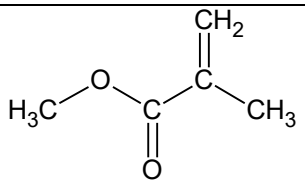
1.1. Indiquer les précautions opératoires et les équipements de sécurité nécessaires à la manipulation de l'acide méthacrylique. Justifier.
1.2. Représenter, sur votre copie, la formule topologique de l'acide méthacrylique et entourer les groupes caractéristiques.
1.3. Justifier que la molécule d'acide méthacrylique est un acide au sens de Brönsted et écrire le couple acide-base associé.
1.4. Écrire l'équation de la réaction de l'acide méthacrylique, noté HA, dans l'eau.
1.5. Donner la relation entre la constante d'acidité K_A du couple acide méthacrylique / ion méthacrylate noté HA / A^- et les concentrations en quantité de matière à l'équilibre des espèces chimiques HA et A^-.
1.6. Vérifier, par un raisonnement quantitatif, que la valeur du pH d'une solution aqueuse d'acide méthacrylique de concentration $c_m = 100\ g \cdot L^{-1}$ est de 2,3.

2. Synthèse du monomère : le méthacrylate de méthyle (MMA)

Le méthacrylate de méthyle est un ester qui peut être préparé au laboratoire par réaction entre l'acide méthacrylique et le méthanol. Cette transformation est très lente en l'absence de catalyseur et n'est pas totale. Un protocole opératoire possible est décrit ci-dessous.

Étape a. Dans le respect des consignes de sécurité, placer 10,0 g d'acide méthacrylique dans un ballon de 100 mL. Ajouter 35 mL de méthanol puis introduire goutte à goutte 2 mL d'acide sulfurique concentré. Adapter un réfrigérant puis porter le mélange réactionnel au reflux pendant 30 minutes en agitant.
Étape b. Refroidir le milieu réactionnel puis le verser dans 50 mL d'eau glacée. Transvaser le tout dans une ampoule à décanter et procéder à deux extractions successives avec 25 mL d'éther diéthylique. Rassembler les phases organiques puis les laver avec, successivement, 30 mL d'eau glacée, 50 mL d'une solution d'hydrogénocarbonate de sodium à 5% puis 30 mL d'une solution saturée de chlorure de sodium. Sécher la phase organique sur sulfate de magnésium anhydre.
Étape c. Mettre en place un montage de distillation fractionnée. Récupérer la fraction distillée correspondant au MMA et mesurer la masse du liquide obtenu.

Données :

Nom	Formule brute, semi-développée ou topologique	θ_{eb} (°C)	M ($g \cdot mol^{-1}$)	Densité à 20°C	Solubilité
Acide méthacrylique	$C_4H_6O_2$	161	86,1	1,02	Soluble dans l'eau
Méthanol	CH_3-OH	65	32,0	0,79	Soluble dans l'eau
Éther diéthylique	CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3	35	74,1	0,71	Peu soluble dans l'eau
Méthacrylate de méthyle		101	100,1	0,94	Peu soluble dans l'eau Soluble dans l'éther diéthylique

2.1. Réaliser un schéma légendé du montage à reflux utilisé dans l'**étape a** et proposer un nom pour cette étape du protocole.
2.2. Établir l'équation de la réaction modélisant la synthèse, sachant que de l'eau est produite au cours de cette transformation.
2.3. Justifier les positions relatives des phases organique et aqueuse lors du lavage à l'eau glacée, dans l'ampoule à décanter, lors de l'**étape b**. Préciser la composition de chaque phase.
2.4. Donner le rôle de l'**étape c,** et indiquer ce qui doit être surveillé pour être sûr de récupérer le MMA lors de la distillation fractionnée.
2.5. Déterminer les quantités de matière des réactifs introduits.
2.6. En supposant la transformation totale, déterminer la masse maximale de méthacrylate de méthyle qui peut être obtenue.
2.7. Indiquer une méthode mise en œuvre pour optimiser la vitesse d'apparition du MMA et une méthode mise en œuvre pour optimiser le rendement de cette synthèse.

3. Synthèse et propriétés du polymère : le polyméthacrylate de méthyle (PMMA)

Le polyméthacrylate de méthyle est une macromolécule linéaire (voir figure 1) produite par transformation chimique du méthacrylate de méthyle. Cette transformation est appelée polymérisation.

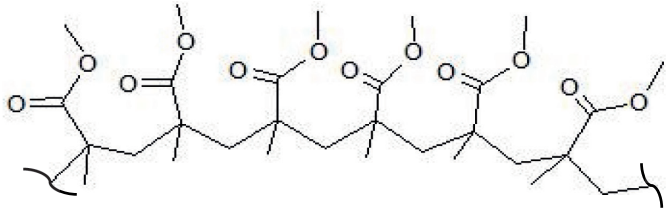


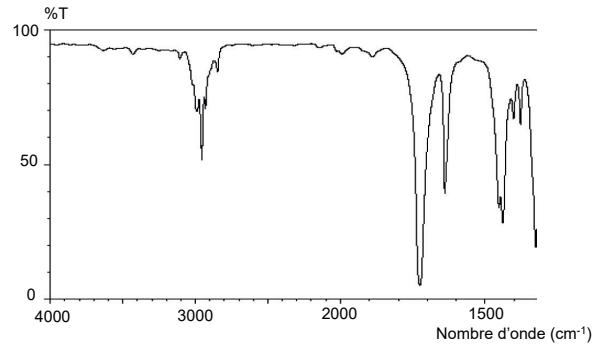
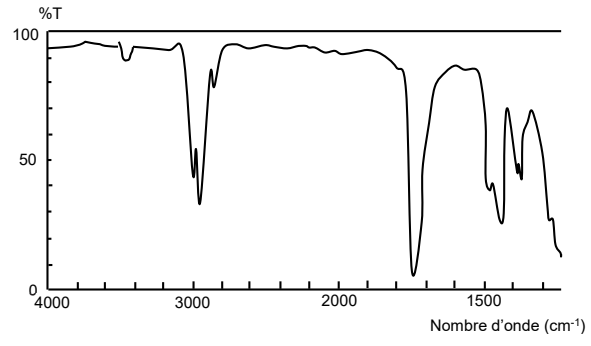
Figure 1. Structure partielle du polymère PMMA.

Données :

- bandes d'absorption en spectroscopie infrarouge (IR) :

Liaison	O – H (acide carboxylique)	$C_{tét}$ – H	C = O	C = C	$C_{tét}$ – O
Nombre d'onde σ (cm^{-1})	2500 – 3200	2800 – 3000	1650 – 1750	1620 – 1690	1050 – 1450

- spectres infrarouge :

Monomère MMA	Polymère PMMA
 *Source : NIST*	 *Source : https://nanopdf.com*

3.1. Représenter le motif du polymère.
3.2. Justifier que l'on puisse suivre la transformation par spectroscopie infrarouge.

Parmi les procédés industriellement mis en œuvre, l'un permet des conditions douces respectueuses de l'environnement et des vitesses relativement élevées. L'étude cinétique de la figure 2 présente des résultats expérimentaux obtenus dans les conditions opératoires optimales pour contrôler la synthèse, c'est-à-dire pour obtenir des chaines de polymères de grandes longueurs et de tailles homogènes. La vitesse volumique de disparition du monomère MMA est notée v_p.

Temps (h)	[MMA] (mmol·L^{-1})	v_p (mmol·L^{-1}·h^{-1})
0	518	$v_{p,0}$
1	311	188
2	123	55,0
3	68,0	25,0
4	43,0	20,1
5	22,9	8,50
6	14,4	

Figure 2. Résultats expérimentaux.
Source : D'après *ACS Macro Letters*

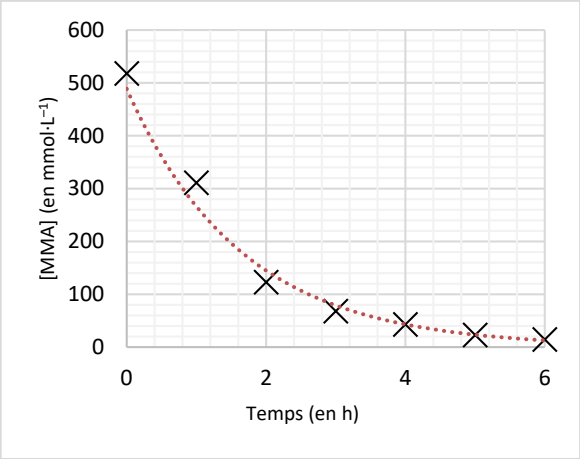


Figure 3. Graphique représentant [MMA] = f(t)

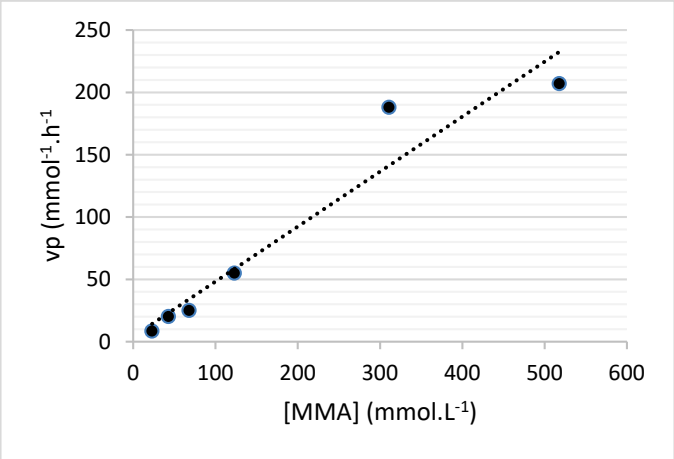


Figure 4. Graphique représentant v_p = f([MMA])

3.3. Déterminer le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ de la polymérisation du MMA à l'aide de la figure 3. Commenter.
3.4. À l'aide de la figure 3, estimer en explicitant la méthode, la valeur de la vitesse de disparition v_p de MMA à l'instant initial.
3.5. En étudiant l'évolution de la vitesse v_p en fonction de la concentration en MMA sur la figure 4, déterminer si l'évolution temporelle de la concentration en MMA suit une loi de vitesse d'ordre 1.

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

EXERCICE A - SAUT À L'ÉLASTIQUE

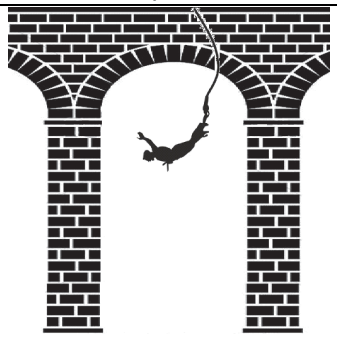
Mots-clés : mouvement dans un champ de pesanteur uniforme ; énergie mécanique



Le saut à l'élastique est un loisir qui permet de ressentir des sensations fortes. Il consiste à sauter dans le « vide » à l'aide d'un élastique attaché aux chevilles. Ce saut peut se faire à partir d'un pont.

Source : www.istockphoto.com

Un saut en élastique se déroule en plusieurs phases qui sont décrites ci-dessous.

1re phase	2e phase	3e phase
		
Chute libre, l'élastique n'est pas tendu.	L'élastique commence à se tendre, le sauteur ralentit. Lorsque l'élastique est complètement étiré, le sauteur s'arrête.	L'élastique se contracte, le sauteur remonte en reprenant de la vitesse puis en ralentissant à nouveau.

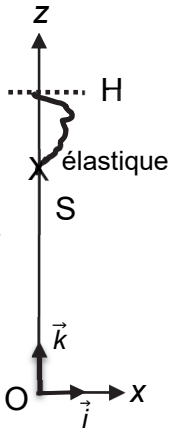
Ces trois phases se répètent jusqu'à ce que le sauteur soit immobile, la durée totale du saut est de l'ordre d'une minute.

L'objectif de cet exercice est d'évaluer la vitesse du sauteur à la fin de la 1re phase et la longueur maximale du saut.

On étudie un saut réalisé à partir d'un pont situé à une hauteur H d'environ 50 m au-dessus du sol.

Données :

- masse de la personne avec l'équipement : m = 80 kg ;
- valeur du champ de pesanteur terrestre : g = 9,81 m·s^{-2} ;
- longueur de l'élastique non étiré : L_0 = 8,0 m.



Lors de la 1re phase du saut à l'élastique, on étudie le mouvement du sauteur dont le centre de masse est noté S, dans le cadre du modèle de la chute libre.
Pour simplifier, on suppose que le mouvement est vertical.
À la date t = 0, la personne démarre le saut à la hauteur H avec une vitesse initiale dont le vecteur $\overrightarrow{v_0}$ est vertical et dirigé vers le bas et de norme v_0.
Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre supposé galiléen muni du repère d'espace (Ox ; Oz) dont l'origine O du repère est au niveau du sol. L'axe (Oz) est vertical, dirigé vers le haut et muni du vecteur unitaire $\vec{k}$. La situation est schématisée ci-contre.

1. Déterminer les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}(t)$ de S dans le repère (Ox ; Oz).

2. Établir que l'équation horaire du mouvement selon l'axe Oz s'écrit :

$$z(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 - v_0 \cdot t + H$$

3. Après traitement de la vidéo d'un saut à l'aide d'un logiciel de pointage et modélisation des résultats, on obtient l'équation horaire suivante :

$z(t) = -4{,}90\,t^2 - 1{,}10\,t + 49{,}8$ avec z exprimé en m et t exprimé en s.

La modélisation des résultats expérimentaux est-elle cohérente avec l'expression donnée en **2.** ? Justifier à l'aide de deux arguments.

4. Calculer la date à laquelle l'élastique commence à se tendre.

5. En déduire la valeur de la vitesse atteinte à cet instant.

6. Distance de sécurité

Lors du saut, les différentes énergies intervenant au cours du mouvement ont été calculées à l'aide des informations fournies sur la vidéo du saut. Elles ont été représentées dans la figure 1. L'énergie potentielle de pesanteur est considérée nulle quand $z = 0$.

Pour une des énergies, les calculs n'ont pu être effectués que sur la 1ère phase du saut (courbe A).

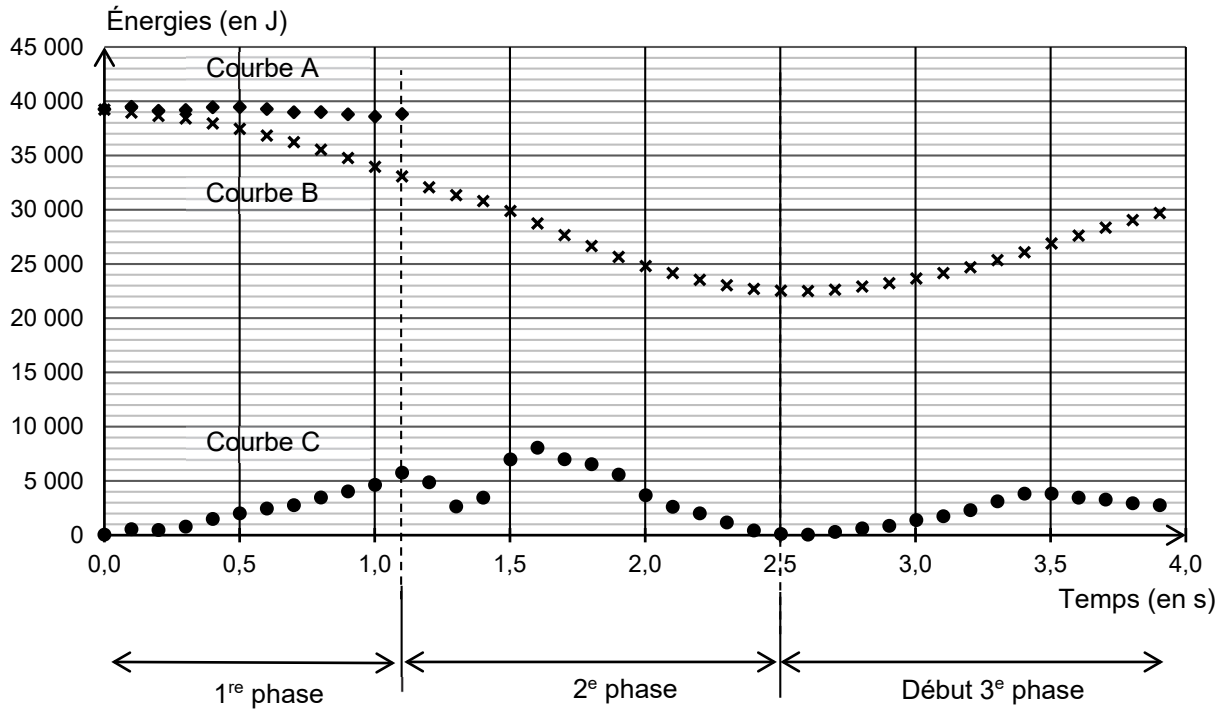


Figure 1. Courbes représentant des énergies du système au cours du temps

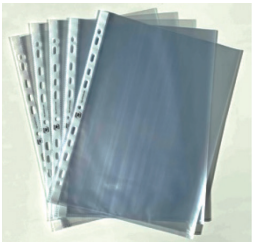
6.1. Identifier parmi les courbes A, B, C de la figure 1 celle représentant l'énergie cinétique, celle représentant l'énergie potentielle de pesanteur et celle représentant l'énergie mécanique. Justifier ces choix.

6.2. Identifier l'(les) information(s) manquante(s) sur le système physique étudié nécessaire au tracé de la suite de la courbe A pour les deuxième et troisième phases.

6.3. Pour des raisons de sécurité, il est nécessaire que l'élastique soit choisi tel que son étirement ΔL soit inférieur ou égal à $4\,L_0$. À l'aide de la figure 1, calculer la distance maximale parcourue par le sauteur. Conclure.

EXERCICE B - MESURES D'ÉPAISSEUR

Mots-clés : lentilles convergentes ; condensateur



Dans l'industrie, le contrôle qualité de l'épaisseur de matériau fabriqué est important pour respecter le cahier des charges. Plusieurs principes physiques sont utilisés pour déterminer l'épaisseur d'une plaque de métal, de verre, de films plastiques, etc.
Une pochette plastique est constituée de deux films plastiques entre lesquels des documents papier peuvent être rangés. Selon les fabricants, l'épaisseur *e* du film plastique utilisé varie de 50 µm à 120 µm.

L'objectif de cet exercice est d'étudier deux méthodes pour déterminer l'épaisseur d'un film plastique utilisé dans la fabrication d'une pochette plastique lisse incolore.

Données :

- expression de la capacité *C* d'un condensateur constitué de deux armatures métalliques de surface *S*, exprimée en m^2, séparées par une pochette plastique d'épaisseur 2*e*, exprimée en m : $C = 1{,}95\times10^{-11} \times \frac{S}{2e}$;
- indice de réfraction du film plastique : $n = 1{,}49$.

1. Mesure optique de l'épaisseur du film plastique

On utilise d'abord un microscope représenté en figure 1 et dont une modélisation optique est donnée en figure 2.

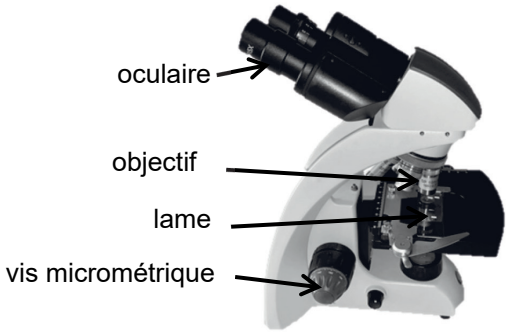


Figure 1. Photographie d'un microscope

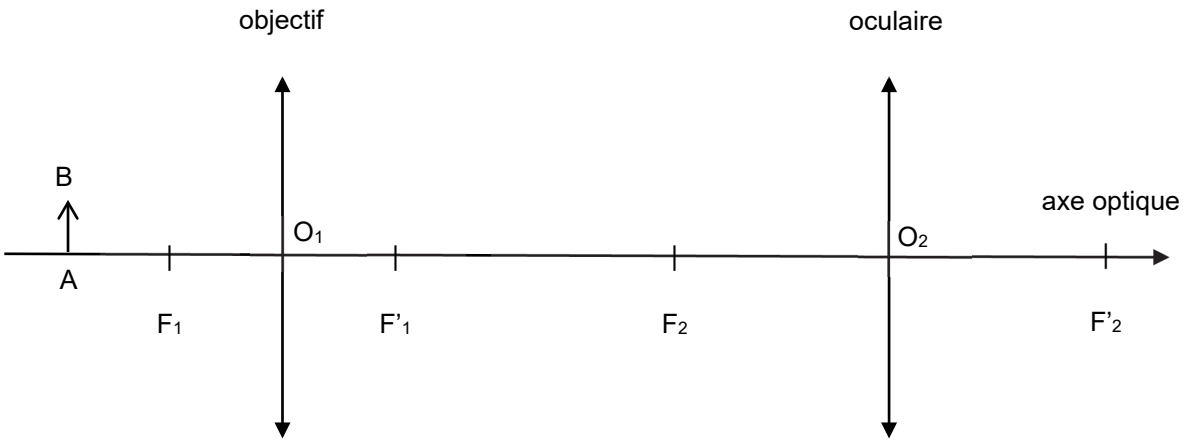


Figure 2. Modélisation d'un microscope

1.1. Sur la figure 2 reproduite dans **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, construire l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB à travers l'objectif puis l'image définitive A_2B_2 de A_1B_1 à travers l'oculaire.

1.2. Donner les caractéristiques de l'image définitive A_2B_2.

1.3. Un expérimentateur désire observer l'objet à travers le microscope sans accommoder. Dans ce cas, l'image définitive A_2B_2 donnée par le microscope doit se situer à l'infini. Indiquer où doit se former l'image intermédiaire A_1B_1 pour satisfaire à cette condition.

On trace un trait de chaque côté du film plastique et on le pose sur le microscope.
On fait successivement la mise au point sur chaque trait tracé sur le morceau de film en tournant une vis micrométrique. On photographie la vis micrométrique (figure 3). Le constructeur indique qu'un déplacement de la vis entre la graduation 0 et la graduation 10 correspond à un déplacement de 20 µm.

Photo du réglage de la vis micrométrique lors de la mise au point sur le 1er trait



Photo du réglage de la vis micrométrique lors de la mise au point sur le 2e trait



Figure 3. Photographies de la vis micrométrique

1.4. Déterminer la valeur de l'épaisseur *e* du film plastique sachant que le déplacement de la vis micrométrique entre ces deux mises au point est $\frac{e}{n}$. Commenter le résultat.

2. Mesure capacitive de l'épaisseur du film plastique

Pour faire une deuxième mesure de l'épaisseur du film plastique, on réalise un condensateur à l'aide de deux feuilles d'aluminium identiques de dimensions 20 cm × 20 cm entre lesquelles la pochette plastique est intercalée. Le tout est maintenu serré. Ce condensateur est utilisé dans un montage électrique dont le schéma est donné en figure 5.
Ce montage électrique est constitué d'un générateur, considéré comme une source de tension idéale qui fournit une tension *E,* d'un conducteur ohmique de résistance variable *R* et du condensateur réalisé de capacité *C*.

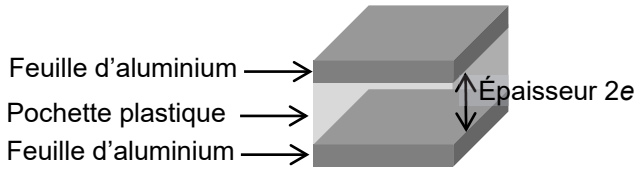


Figure 4. Coupe du condensateur réalisé (sans souci d'échelle)

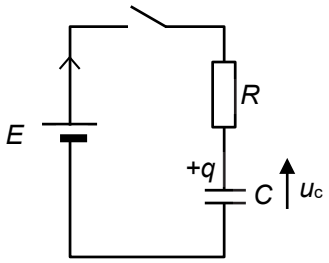


Figure 5. Schéma électrique du montage.

Un système d'acquisition, non représenté sur la figure 5, permet d'enregistrer l'évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur au cours du temps. À la date t = 0, on ferme l'interrupteur. Le condensateur est initialement déchargé.

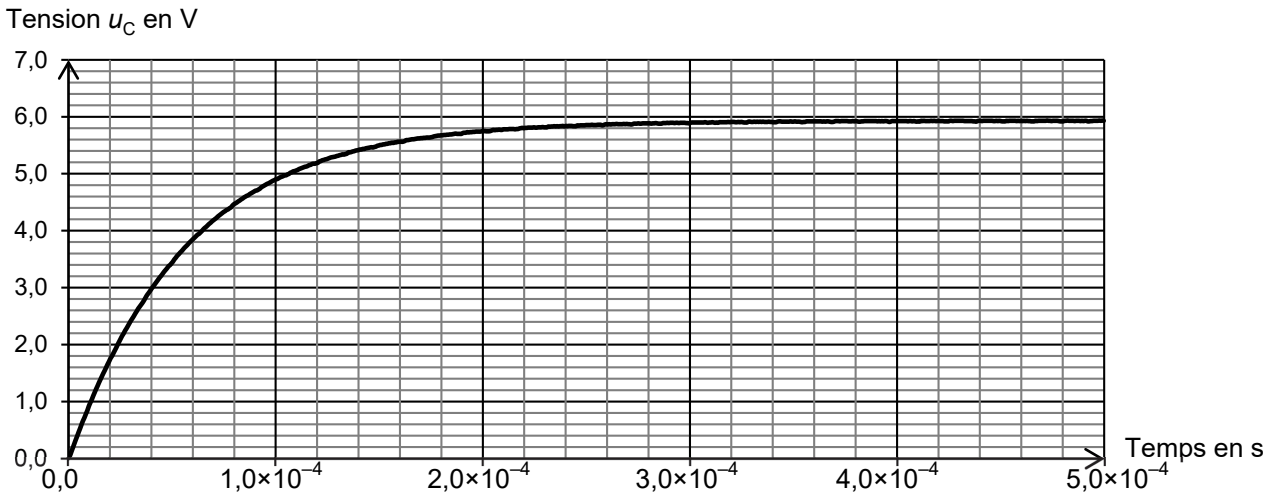


Figure 6. Courbe expérimentale représentant l'évolution de la tension u_C au cours du temps avec $R = 1{,}00\times10^4\ \Omega$

2.1. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur pour $t \geq 0$.

2.2. La solution générale de l'équation différentielle est $u_C(t) = A\cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + B$. Déterminer l'expression des constantes A, B et τ en fonction de E, R et C.

2.3. Déterminer la valeur de la constante B et la valeur du temps caractéristique τ à l'aide de la figure 6 en expliquant la démarche suivie.

2.4. Déterminer la valeur de la capacité C du condensateur réalisé.

2.5. En déduire la valeur de l'épaisseur du film plastique utilisé pour fabriquer la pochette. Commenter le résultat.

EXERCICE C - ÉTUDE D'UN FILM DE SAVON

Mots-clés : interférences lumineuses

Le phénomène d'interférences peut être utilisé pour déterminer l'épaisseur d'un matériau transparent. Dans cet exercice, l'objectif est de déterminer l'épaisseur d'un film de savon en réalisant une expérience simple.

Un cadre de forme rectangulaire est plongé dans de l'eau savonneuse pour former un film de savon à l'intérieur du cadre. L'épaisseur du film n'est pas la même partout : elle est plus importante en bas du dispositif du fait de l'action de la gravité. On éclaire le film de savon avec de la lumière blanche, et sous un angle approprié, on observe une figure d'interférences.

Le rayon 1 arrive sur le film de savon. La lumière est en partie réfléchie (rayon 2) et elle pénètre en partie dans le film de savon. Le rayon issu de la réflexion sur l'autre côté du film en ressort ensuite (rayon 3) conformément au schéma de la figure 2. Les rayons lumineux 2 et 3 interfèrent alors. Ces interférences sont visibles sur le film de savon.

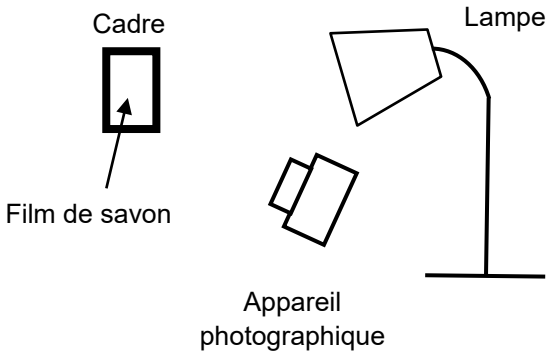


Figure 1. Schéma du montage expérimental

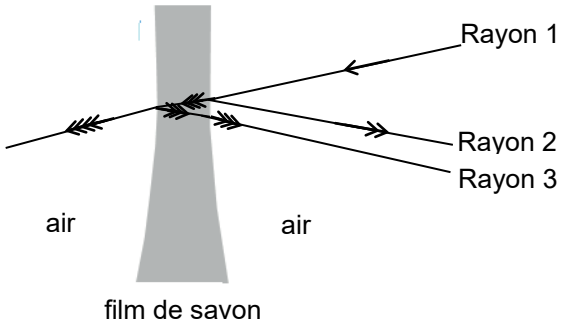


Figure 2. Coupe du film de savon avec la représentation du trajet de la lumière au niveau du film

Données :

- la valeur de la célérité c de la lumière dans le vide et dans l'air est supposée connue du candidat ;
- la valeur de l'indice de réfraction à l'intérieur du film de savon est n = 1,34 pour toutes les longueurs d'onde.

1. Le phénomène d'interférences

Le film de savon éclairé en lumière blanche est photographié. L'image est traitée par un logiciel qui permet de sélectionner une couleur correspondant à la longueur d'onde λ dans l'air égale à 600 nm. Le résultat est présenté en figure 3.

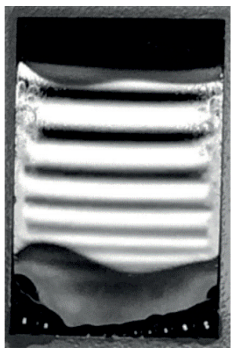


Figure 3. Interférences sur le film de savon

1.1. En utilisant la figure 3, expliquer comment distinguer les zones où les interférences sont constructives de celles où les interférences sont destructives.

1.2. Donner qualitativement la condition d'interférences constructives et celle d'interférences destructives.

1.3. Sur la figure 4, on représente le film de savon dans le cas où la lumière arrive perpendiculairement à sa surface. Au voisinage du point M, on considère que les deux faces du film de savon sont parallèles et que l'épaisseur du film *e* est égale à 900 nm.

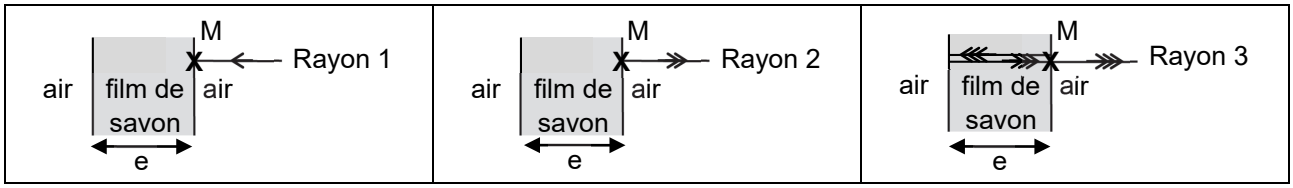


Figure 4. Représentation du trajet des rayons 1, 2 et 3 tels que définis en introduction

Dans les conditions d'éclairage et d'épaisseur de film précédentes, on admet que la différence de chemin optique $\delta(M)$ au point M entre les rayons 3 et 2 a pour expression :

$$\delta(M) = 2\,n \cdot e - \frac{\lambda}{2}$$

Déterminer à l'aide d'un calcul si les interférences au point M sont destructives ou constructives.

2. Comparaison du phénomène d'interférences suivant la longueur d'onde étudiée

La photo de l'expérience est traitée à l'aide d'un logiciel pour réaliser l'étude du phénomène en lumière bleue (λ_{bleu} = 458 nm) et en lumière rouge-orangée (λ_{rouge} = 600 nm).

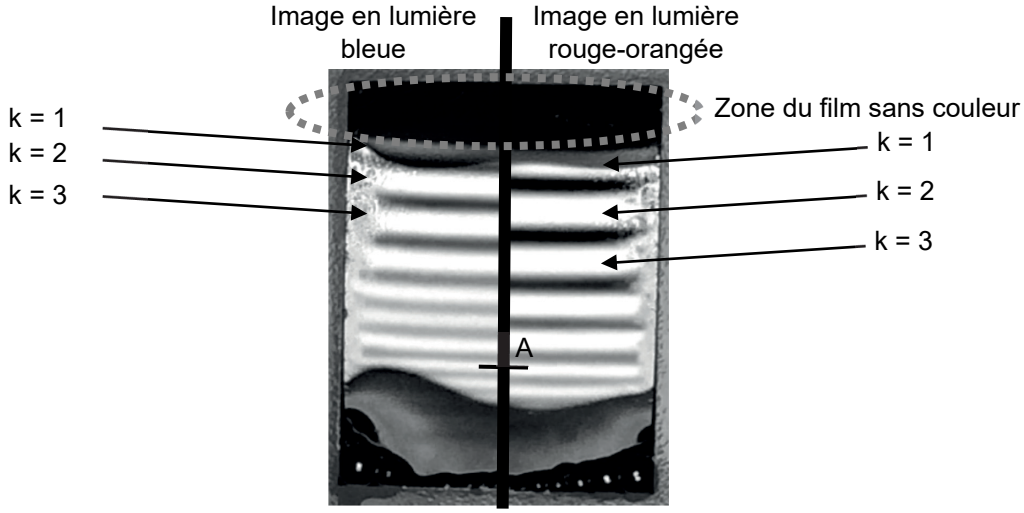


Figure 5. Montage photo des résultats des deux expériences

En raison des phénomènes de réflexion des rayons, les interférences constructives apparaissent pour différentes épaisseurs du film de savon.

2.1. Montrer que les épaisseurs correspondant à des interférences constructives sont données par la relation suivante :

$$e_k = \left(\frac{2k + 1}{4}\right) \times \frac{\lambda}{n}$$

avec *n* l'indice de réfraction du milieu, e_k l'épaisseur du film, k un nombre entier avec $k \geq 0$ et λ la longueur d'onde dans l'air sélectionnée par le traitement de l'image.

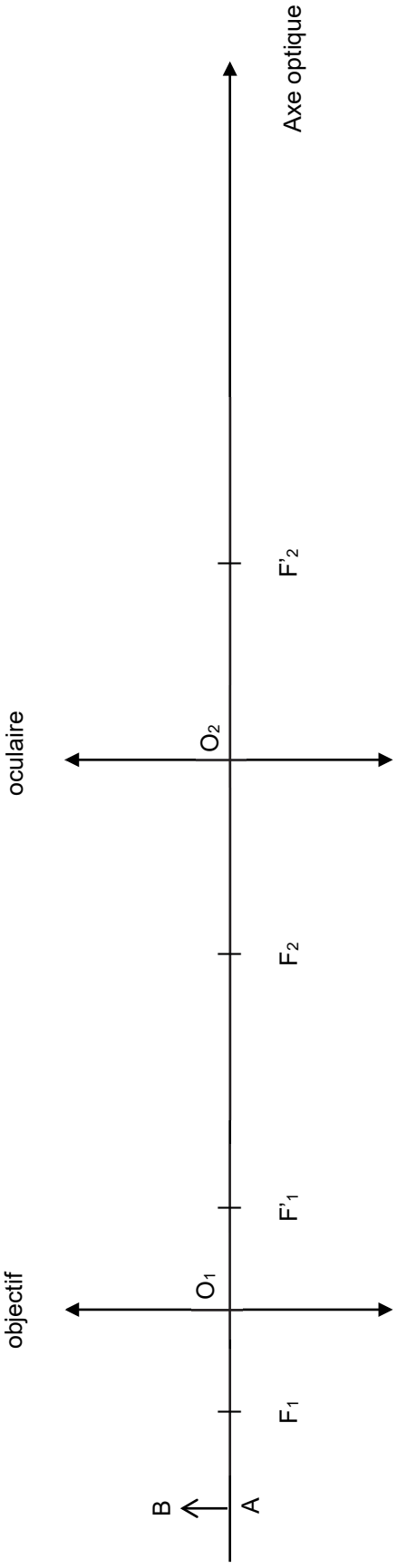
2.2. Calculer l'épaisseur minimale pour que des interférences constructives en lumière bleue apparaissent.

2.3. La zone sans couleur de la figure 5 en haut du support correspond à une épaisseur de film très faible. On obtient alors des interférences destructives. On observe qu'au cours du temps la surface de cette zone s'étend vers le bas. Proposer une explication.

2.4. Sur la photo de la figure 5, au niveau du point A, on observe des interférences constructives à la fois en lumière bleue et en lumière rouge-orangée. Déterminer l'épaisseur du film de savon au point A afin de rendre compte de ces observations.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Modélisation d'un microscope



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.