BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

PHYSIQUE-CHIMIE

JOUR 1

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 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

L'annexe en page 12 est à rendre avec la copie.

EXERCICE 1 - OBSERVATION ORNITHOLOGIQUE D'UNE OIE CENDRÉE (11 points)

Certains parcs ornithologiques proposent des sorties mêlant observations des oiseaux, suivies d'analyse d'échantillons récoltés comme par exemple des plumes.



Oie cendrée

Cet exercice s'intéresse dans un premier temps à l'observation d'une oie cendrée à l'œil nu et à l'aide d'une longue-vue. Puis, dans un second temps, le phénomène d'interférences lumineuses est utilisé pour déterminer des dimensions caractéristiques de la structure d'une plume d'oie.

Données :

- taille approximative d'une oie cendrée : 80 cm ;
- taille approximative du bec d'une oie cendrée : 7 cm ;
- distance focale de l'objectif L_1 de la longue-vue : $f_1' = 450$ mm ;
- distance focale de l'oculaire L_2 de la longue-vue : $f_2' = 30$ mm ;
- relation de conjugaison pour une lentille L de centre optique O : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$ où $\overline{OA'}$ est la distance algébrique entre le centre optique de la lentille L et le point A', $\overline{OA}$ est la distance algébrique entre le centre optique de la lentille L et le point A et f' est la distance focale de la lentille ;
- grandissement transversal $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ où $\overline{A'B'}$ est la taille algébrique de l'image A'B' et $\overline{AB}$ est celle de l'objet AB ;
- approximation dans le cas de petits angles (θ << 1 rad) : $\sin\theta = \theta$; $\tan\theta = \theta$.

1. Observation d'une oie cendrée à l'œil nu

L'œil est un système complexe que l'on peut modéliser par l'association :

- d'une lentille mince convergente L, d'axe optique Δ, de distance focale $f' = \overline{OF'} = 17$ mm, de centre optique O ;
- d'un écran situé à une distance $D = 17$ mm du centre optique O.

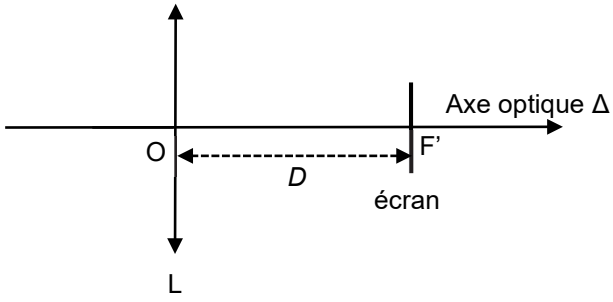


Figure 1. Schéma simplifié du modèle de l'œil

La rétine est une membrane qui tapisse le fond de l'œil et qui joue le rôle d'écran. L'oie cendrée est modélisée par un objet de hauteur AB perpendiculaire à l'axe optique en A et situé à 280 m du centre optique O. L'image de AB à travers la lentille L est notée A'B'.

Q1. Justifier que la position de l'image A'B' de l'oie par la lentille L est telle que $\overline{OA'} = 17$ mm.

Q2. Vérifier que la taille de l'image A'B' de l'oie sur la rétine de l'observateur est voisine de 49 µm. Sachant que la rétine est assimilée à un disque de rayon égal à 6 mm centré en F', préciser si l'oie est vue en entier par un observateur.

Le pouvoir séparateur de l'œil humain est l'angle limite, noté α_m, sous lequel un objet peut être vu distinctement par l'œil (voir figure 2) ; sa valeur est de 3×10^{-4} rad.

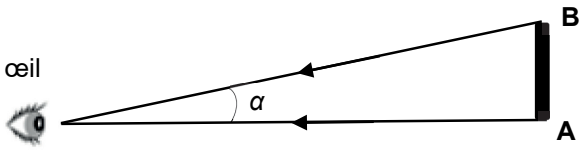


Figure 2. L'objet AB est vu sous un angle α par l'œil. Il peut être distinctement vu par l'œil si $\alpha > \alpha_m$

Q3. Déterminer la distance minimale séparant deux points A et B d'un objet pouvant être vus lorsqu'ils sont situés à une distance de 280 m de l'œil. En déduire si l'oie peut être vue distinctement par l'observateur à l'œil nu puis déterminer si le bec de l'oie peut être observé distinctement.

2. Observation avec une longue-vue assimilée à une lunette astronomique afocale

L'oie est désormais observée à l'aide d'une longue-vue assimilée à une lunette astronomique afocale. Cette lunette est composée d'une lentille L_1 de distance focale f_1' jouant le rôle de l'objectif et d'une lentille L_2 de distance focale f_2' jouant le rôle de l'oculaire. On considère que l'oie, modélisée par un objet AB perpendiculaire à l'axe optique en A, est « à l'infini ». L'image de AB à travers la lentille L_1 est notée A_1B_1. L'image de A_1B_1 à travers la lentille L_2 est notée A_2B_2.

Q4. Compléter la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** pour représenter l'image A_1B_1 formée par la lentille L_1 d'un objet AB (représentant l'oie) situé à l'infini.

Q5. Placer, en justifiant, le foyer objet F_2 de la lentille L_2 sur la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Une lunette astronomique est caractérisée par son grossissement d'expression :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

avec α l'angle sous lequel l'objet AB est vu à l'œil nu et α' l'angle sous lequel l'image A_2B_2 est vue à travers la lunette astronomique afocale.

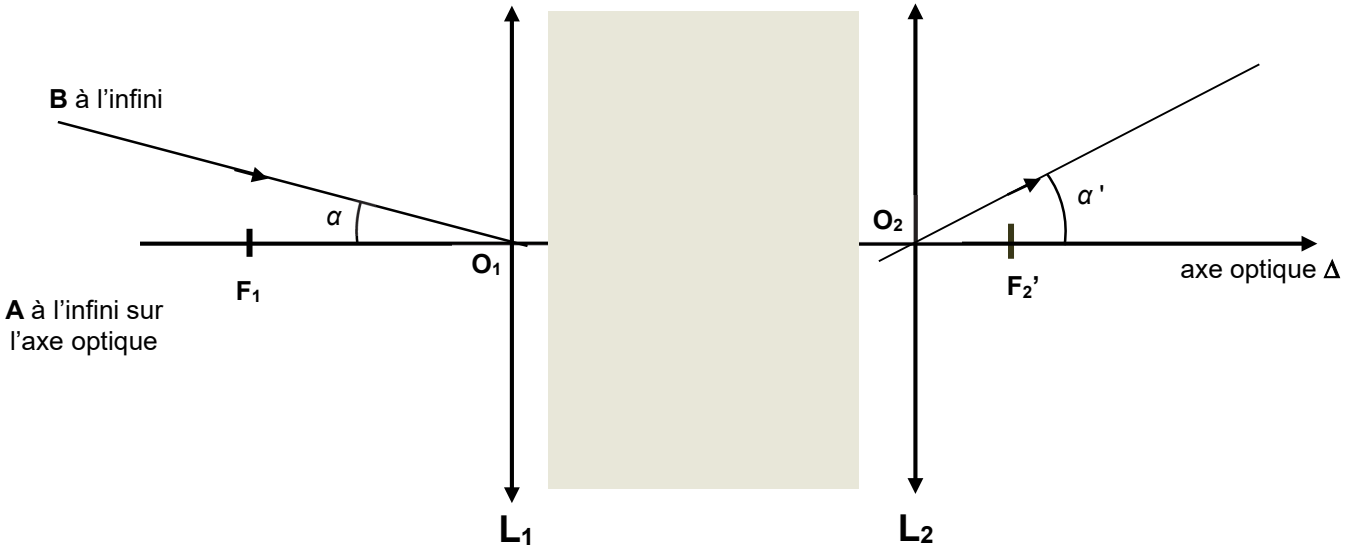


Figure 3. Représentation, sans souci d'échelle, de la lunette astronomique.

Q6. En considérant les angles α et α' exprimés en radians comme petits, montrer que le grossissement de la lunette astronomique afocale peut s'exprimer par la relation :

$$G = \frac{f_1'}{f_2'}$$

On peut s'appuyer sur la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q7. Calculer la valeur du grossissement G de la lunette astronomique afocale.

Q8. Indiquer en justifiant si l'observateur voit distinctement, à travers la longue-vue, le bec de l'oie située à 280 m.

3. Structure de la plume d'oie cendrée



Plume d'oie

Pour identifier l'espèce d'un oiseau, la plume est une des parties du corps de l'animal qu'il est possible d'étudier. Les plumes d'oiseaux sont des objets complexes qui possèdent des structures géométriques périodiques à des échelles différentes, qu'il est possible d'étudier par des méthodes interférométriques.

L'expérience des fentes d'Young permet d'obtenir sur un écran une figure d'interférences constituée d'une succession de franges brillantes et sombres qui se répartissent sur un axe de direction parallèle à la droite joignant les deux fentes.

La figure 4 donne une schématisation d'une expérience des fentes d'Young, de centres F_1 et F_2, ainsi qu'une photographie de la figure d'interférences obtenue.

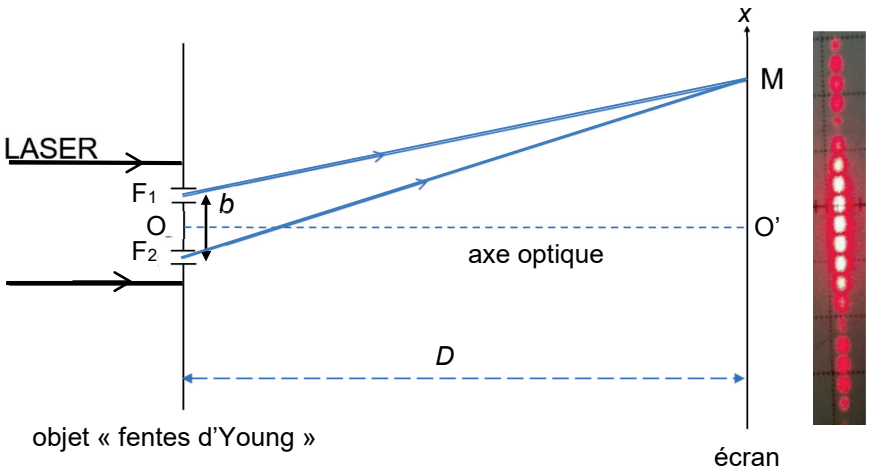


Figure 4. Schéma du dispositif expérimental.

Un faisceau lumineux issu d'un laser de longueur d'onde λ, éclaire un objet plan totalement opaque en dehors de deux fentes, séparées d'une distance notée b. Cet objet est appelé objet « fentes d'Young ».

Le faisceau est constitué d'un ensemble de rayons parallèles, et se propage parallèlement à l'axe optique (OO'), le point O étant à égale distance des points F_1 et F_2 et le point O' étant situé sur l'écran.

Les ondes issues des fentes interfèrent sur l'écran. En un point M de celui-ci, on admet que la différence de chemin optique entre les deux ondes s'écrit $\delta = F_2M - F_1M$ (voir figure 4).

L'écran est situé à une distance D des fentes très grande devant la distance b ($D >> b$).

Q9. Préciser la condition que doit vérifier la différence de chemin optique δ pour que les ondes issues des fentes interfèrent de manière constructive au point M. Indiquer en justifiant dans ce cas si la frange au point O' est brillante ou sombre.

Sur la figure 5, le point H représente le projeté orthogonal de F_1 sur le segment $[F_2M]$. On admet que la différence de chemin optique δ est égale à la longueur du segment $[F_2H]$.

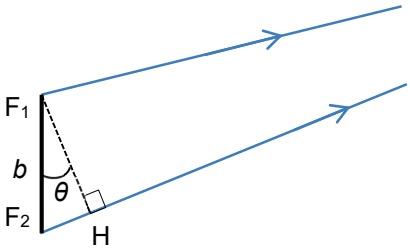


Figure 5. Agrandissement du schéma au niveau des fentes d'Young

Q10. Montrer que, dans les conditions de l'expérience (θ << 1 rad), il est possible d'exprimer la différence de chemin optique par la relation suivante :

$$\delta = b \cdot \theta$$

On montre, avec une très bonne approximation, que l'angle θ est égal à l'angle $\widehat{O'OM}$ dans le triangle rectangle O'OM représenté sur la figure 6. L'abscisse du point M sur l'axe O'x est notée x.

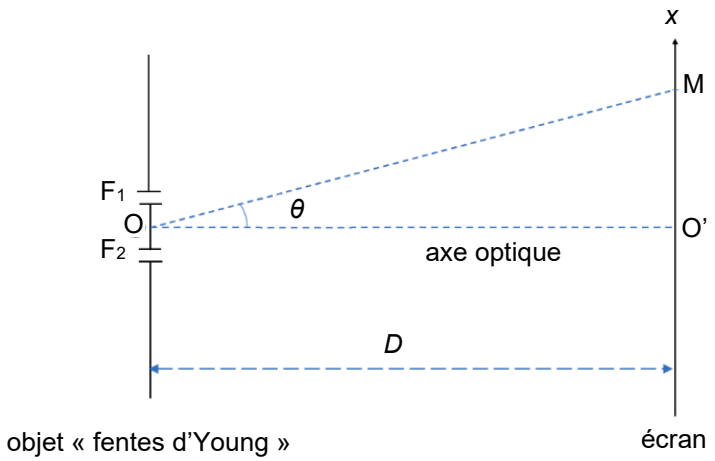


Figure 6. Mise en évidence de l'angle θ dans le triangle O'OM

Q11. Après avoir exprimé l'angle θ en fonction de D et x, montrer que la différence de chemin optique δ a pour expression :

$$\delta = \frac{b \cdot x}{D}$$

Q12. En déduire l'expression des abscisses x_k des franges brillantes, en fonction de λ, D, b et d'un entier relatif k.

Q13. Montrer que l'interfrange i est donnée par l'expression littérale suivante :

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

La figure 7 montre qu'une plume d'oie est composée d'un ensemble de barbes (tiges) fixées sur le rachis (axe principal de la plume d'oie). Les barbes supportent des éléments plus petits et fins, invisibles à l'œil nu, appelés barbules. Les barbes sont régulièrement espacées d'une distance notée b_{barbe}, les barbules sont également régulièrement espacées d'une distance notée $b_{barbule}$ (voir figure 7) et sont dans une direction pratiquement perpendiculaire à celle des barbes. Les barbules sont plus resserrées que les barbes, on a donc $b_{barbule} < b_{barbe}$.

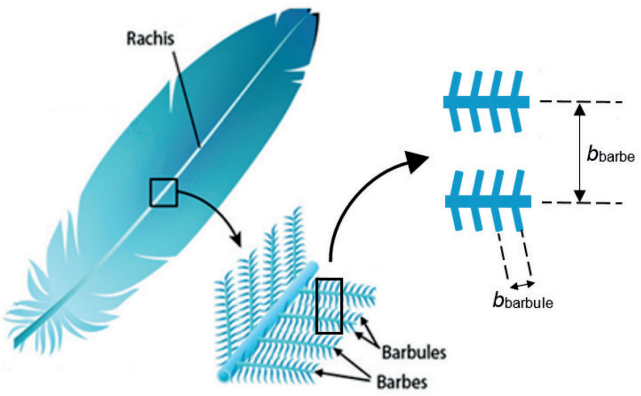


Figure 7. Schéma simplifié d'une plume
(*d'après https://askabiologist.asu.edu*)

On réalise la même expérience que celle décrite dans la figure 4 en remplaçant l'objet « fentes d'Young » par une plume d'oie, éclairée avec un laser dont la longueur d'onde est λ = 650 nm. L'écran est placé à une distance D = 74 cm de la plume. On obtient alors une figure d'interférences dont la photographie (en négatif) est donnée sur figure A2 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

L'écran est rapporté à un repère d'origine O' et d'axes O'x et O'y orthogonaux.

Dans un modèle très simplifié, il est possible de montrer que les interférences sont constructives uniquement en des points de coordonnées (x_k, y_ℓ), vérifiant les relations

$$x_k = k \cdot \frac{\lambda \cdot D}{b_{\text{barbe}}} \quad \text{et} \quad y_\ell = \ell \cdot \frac{\lambda \cdot D}{b_{\text{barbule}}} \quad \text{où } k \text{ et } \ell \text{ sont des entiers relatifs.}$$

Le modèle prévoit que seulement certains de ces points sont lumineux du fait de détails de la géométrie des plumes auxquels on ne s'intéresse pas ici.

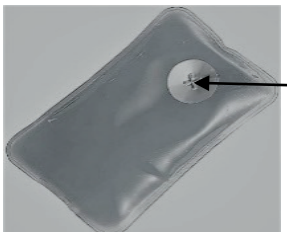
Q14. Montrer que le modèle simplifié permet d'expliquer certaines caractéristiques de la figure d'interférences observée sur la figure A2 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. Dans les cases vides de cette figure, identifier, en justifiant, l'axe O'x puis l'axe O'y.

Q15. En exploitant la figure A2 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, évaluer les valeurs des interfranges i_1 et i_2 puis en déduire les valeurs des espacements b_{barbule} et b_{barbe}.

EXERCICE 2 – ÉTUDE D'UNE CHAUFFERETTE (4 points)

Les chaufferettes sont de petites pochettes très pratiques à glisser dans les poches d'un manteau ou dans les gants pour se réchauffer en hiver car elles permettent de dégager de l'énergie thermique pendant une durée limitée.

Le dispositif étudié dans cet exercice est constitué d'une pochette en plastique contenant une pastille métallique et une solution aqueuse très concentrée d'éthanoate de sodium. Dans ces conditions, il suffit de tordre la pastille pour que l'éthanoate de sodium précipite. Cette transformation est exothermique.



Photographie d'une chaufferette commerciale

Après utilisation, on peut « régénérer » la chaufferette en la chauffant, au bain-marie par exemple, et en la laissant doucement refroidir sans perturbation pour éviter la précipitation.

Cet exercice a pour objectif de déterminer, à l'aide d'un titrage suivi par conductimétrie, le titre massique en éthanoate de sodium du contenu d'une chaufferette commerciale.

Données :

- masse molaire de l'éthanoate de sodium (Na^+; $CH_3CO_2^-$) : M = 82,0 g·mol^{-1} ;
- concentration maximale de l'éthanoate de sodium dans l'eau (ou solubilité) : s = 365 g·L^{-1} ;
- valeurs de la conductivité molaire ionique λ à 25 °C de quelques ions :

Ions	H_3O^+	$Cℓ^-$	Na^+	$CH_3CO_2^-$
λ en mS·m^2·mol^{-1}	35,0	7,6	5,0	4,1

À partir de la solution d'éthanoate de sodium (Na^+; $CH_3CO_2^-$) présente dans la chaufferette, on prépare 50,0 mL de solution diluée 25 fois. On note S la solution obtenue.

Q1. Décrire le protocole expérimental permettant de préparer la solution S. Indiquer, en justifiant, les volumes de la verrerie utilisée.

On réalise un titrage avec suivi conductimétrique de la solution S. Pour cela un volume V_S = 10,0 mL de solution S est prélevé puis versé dans un bécher auquel sont ajoutés environ 250 mL d'eau distillée. L'ensemble est alors titré par une solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique de concentration C = 2,0×10^{-1} mol·L^{-1}.

La réaction support du titrage a pour équation : $CH_3CO_2^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow CH_3CO_2(aq) + H_2O(ℓ)$.

La conductivité σ de la solution contenue dans le bécher est mesurée après chaque ajout de solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique. Les résultats expérimentaux obtenus sont reproduits en figure 1 ci-dessous.

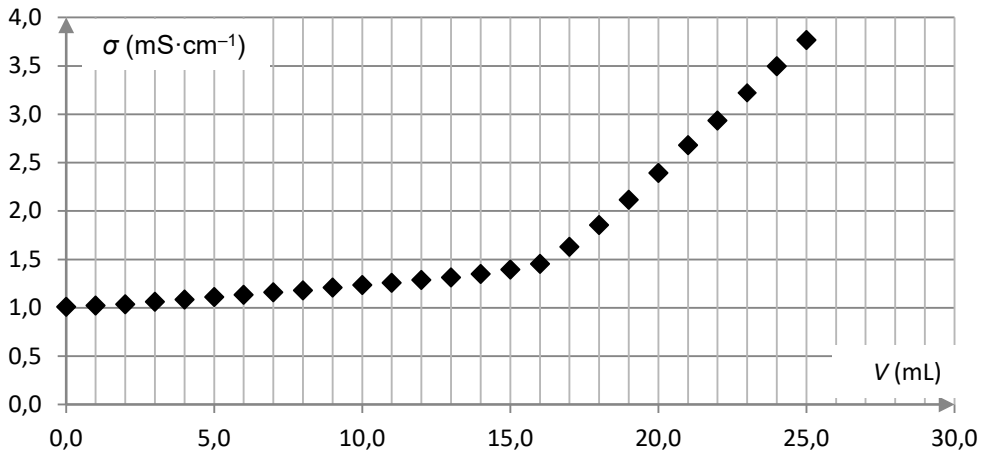


Figure 1. Représentation graphique de la conductivité σ de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume V versé de solution aqueuse titrante d'acide chlorhydrique

Q2. Reproduire sur la copie le tableau ci-dessous. Décrire, dans chacune des cases, l'évolution des concentrations des ions dans le bécher lorsque l'on ajoute de l'acide chlorhydrique en utilisant les termes suivants :

- « reste constante » ;
- « reste négligeable » ;
- « augmente » ;
- « diminue ».

On néglige l'effet de dilution dû à l'ajout de la solution d'acide chlorhydrique dans le bécher.

Concentrations	Avant l'équivalence	Après l'équivalence
$[Na^+]$		
$[CH_3CO_2^-]$		
$[H_3O^+]$		
$[C\ell^-]$		

Q3. En utilisant les conductivités molaires ioniques des espèces présentes, justifier sans calcul l'allure de la courbe de la figure 1.

Q4. Déterminer, en justifiant à l'aide d'un schéma, la valeur du volume de solution aqueuse titrante versé à l'équivalence du titrage.

Q5. Justifier que la solution contenue dans la chaufferette est sursaturée, c'est-à-dire que sa concentration en masse de soluté est supérieure à sa solubilité s.

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

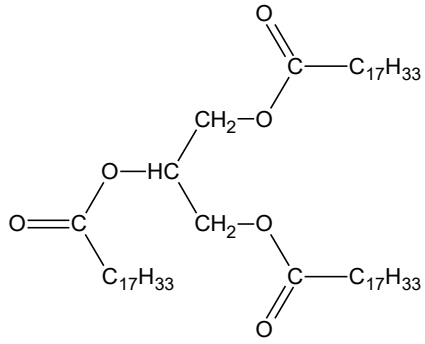
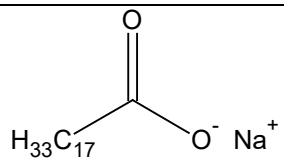
EXERCICE 3 - UN SAVON FAIT MAISON (5 points)

Le savon est un produit d'hygiène connu depuis l'Antiquité. Concurrencé de nos jours par les savons liquides, le savon solide reste très utilisé pour se laver les mains et peut être fabriqué à la maison. La transformation chimique qui en permet la fabrication est la saponification : un corps gras, comme l'huile d'olive, est hydrolysé en milieu basique pour former le savon et du glycérol.

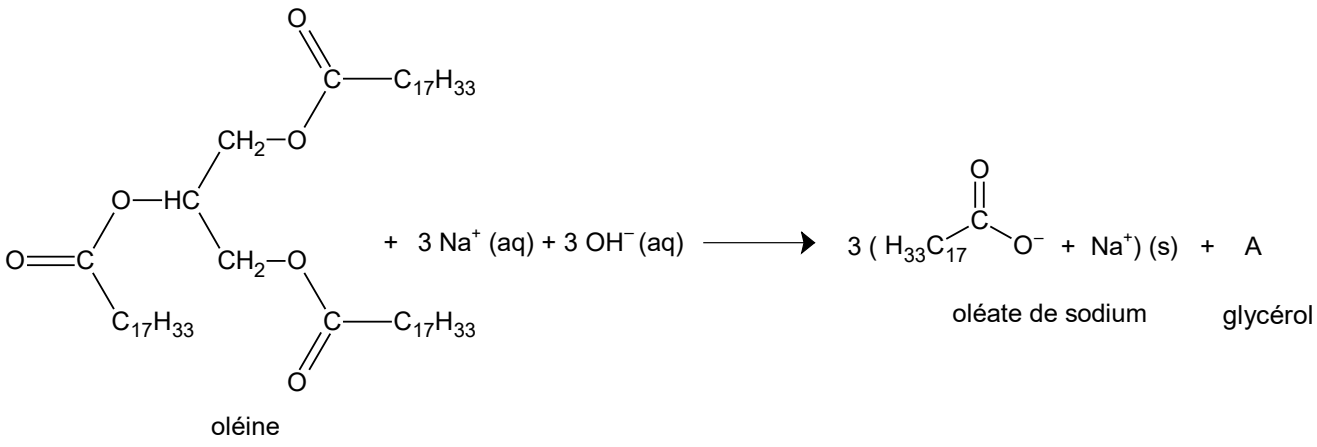
L'objectif de cet exercice est d'analyser un protocole de saponification à froid proposé par un site internet et de le comparer à un protocole de saponification artisanale historique.

Données :

- dans tout l'exercice, on considère que l'huile d'olive est uniquement constituée d'oléine ;
- masse volumique de l'huile d'olive : $\rho = 0{,}91\ g{\cdot}mL^{-1}$;
- caractéristiques des espèces chimiques utilisées :

Nom	Formule	Masse molaire ($g{\cdot}mol^{-1}$)	Solubilité dans l'eau	Solubilité dans l'eau salée	Pictogramme de sécurité
Oléine		884	insoluble	insoluble	-
Hydroxyde de sodium	(Na^+ ; OH^-)	40	très soluble	très soluble	
Glycérol (molécule A)	voir question **Q2**	92	très soluble	très soluble	-
Oléate de sodium		304	moyennement soluble	insoluble	-

- la saponification de l'oléine est considérée comme totale. L'équation de la réaction modélisant cette transformation est donnée ci-dessous :



1. Un savon surgras fait maison

Q1. Nommer la famille chimique à laquelle appartient la molécule d'oléine et préciser son groupe caractéristique.

Q2. Donner la formule brute du glycérol, noté A dans l'équation de saponification de l'oléine.

On donne sur la figure 1 ci-dessous la formule topologique de l'ion oléate, qui possède des propriétés lavantes. Cette molécule est amphiphile : elle possède une partie hydrophile, entourée sur la figure 1, et une partie lipophile qui correspond à la chaîne carbonée. Une représentation schématique de cette molécule est également donnée sur la figure 1.

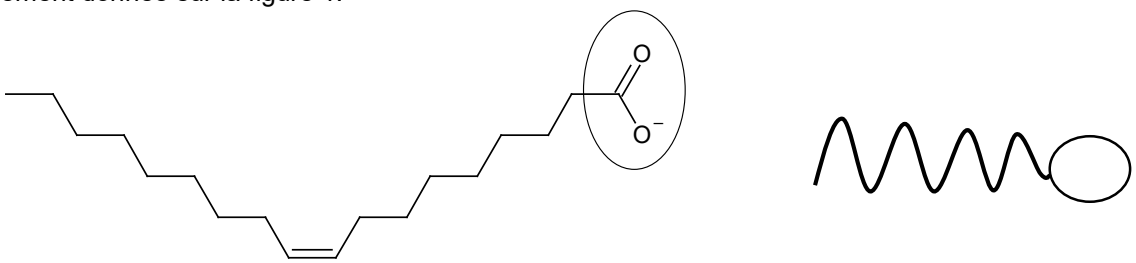


Figure 1. Formule topologique et représentation schématique de l'ion oléate

Q3. Choisir parmi les deux schémas ci-dessous, celui qui illustre les propriétés lavantes des savons. Justifier ce choix.

Schéma 1

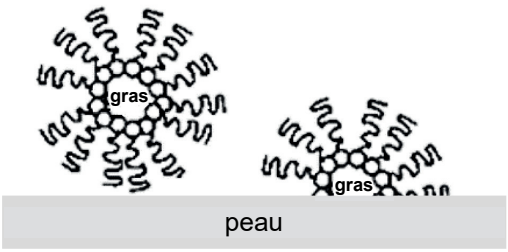
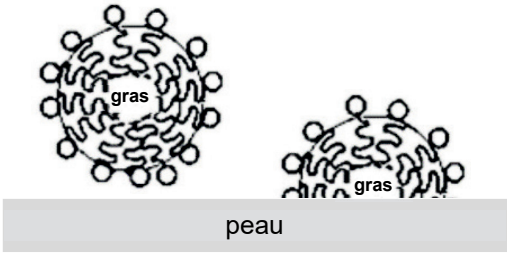


Schéma 2



On donne ci-dessous un protocole de fabrication d'un savon à base d'huile d'olive élaboré à partir d'un site internet :

- introduire 50 mL d'eau dans un bécher et ajouter très doucement 25 g d'hydroxyde de sodium solide en agitant régulièrement jusqu'à dissolution complète ;
- verser doucement 220 mL d'huile d'olive en agitant pendant une heure pour obtenir une pâte épaisse ;
- couler la pâte dans un moule, recouvrir hermétiquement de film alimentaire ;
- après 48 h, démouler le solide et laisser à l'air libre au moins 6 semaines pour obtenir le savon.

Ce protocole est accompagné d'une consigne importante : « la saponification est dangereuse et nécessite de porter une blouse, des lunettes de protection et des gants ».

Q4. Déterminer la concentration en quantité de matière de la solution d'hydroxyde de sodium préparée dans la première étape du protocole en supposant que la dissolution s'effectue sans variation de volume. Commenter.

Q5. Indiquer, en justifiant, l'évolution attendue du pH du milieu au cours de la fabrication du savon.

Q6. Déterminer la masse restante d'oléine à l'état final. On peut par exemple s'appuyer sur un tableau d'avancement.

On appelle surgraissage le pourcentage en masse d'huile non saponifiée lors de la fabrication du savon. La plupart des savons ont un surgraissage compris entre 5 % et 10 %.

Q7. Déterminer le surgraissage du savon obtenu par cette méthode.

2. Fabrication artisanale du savon

Le procédé historique de fabrication du savon de Marseille est décrit dans le *Traité complet de la fabrication des savons* écrit par G. Eugène Lormé en 1859.

On donne ci-dessous les étapes décrites dans le traité :

- le mélange d'un excès de soude et d'huile d'olive est porté à ébullition pendant une dizaine d'heures ;
- de l'eau salée est ajoutée au milieu réactionnel (relargage) ;
- de la soude est ajoutée au savon très chaud pour qu'il gagne en consistance et en pureté, puis il est lavé plusieurs fois à l'eau, le savon est enfin laissé à l'air libre plusieurs semaines pour sécher.

Q8. Expliquer, en utilisant les données, l'intérêt du relargage.

Q9. Identifier dans le protocole de la partie ci-dessus, la stratégie choisie permettant d'optimiser le procédé par rapport à celle de la fabrication maison du savon de la partie **1**.

On donne ci-dessous la copie d'un extrait du *Traité complet de la fabrication des savons* et son adaptation.

- Extrait :

En opérant dans de bonnes conditions, c'est-à-dire en employant l'huile d'olive à fabrique la plus pure et la plus blanche, ainsi que les meilleures qualités de soude douce artificielle, les 1,000 kilogrammes d'huile que nous avons pris pour base de notre opération donnent en moyenne :

Savon blanc très-pur. . . 1,300 à 1,350

Ainsi, on voit par ces chiffres que 1,000 kilogrammes d'huile d'olive ne produisent, comme maximum, que 1,350 kilogrammes de savon épuré

Ce « savon épuré » a pour composition massique :

	% massique moyen
oléate de sodium	50,2
hydroxyde de sodium	4,6
eau	45,2
total	100,0

Q10. Après avoir calculé la masse d'oléate de sodium présente dans le « savon épuré », déterminer le rendement maximal de la fabrication du savon obtenu par le procédé artisanal.

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

Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

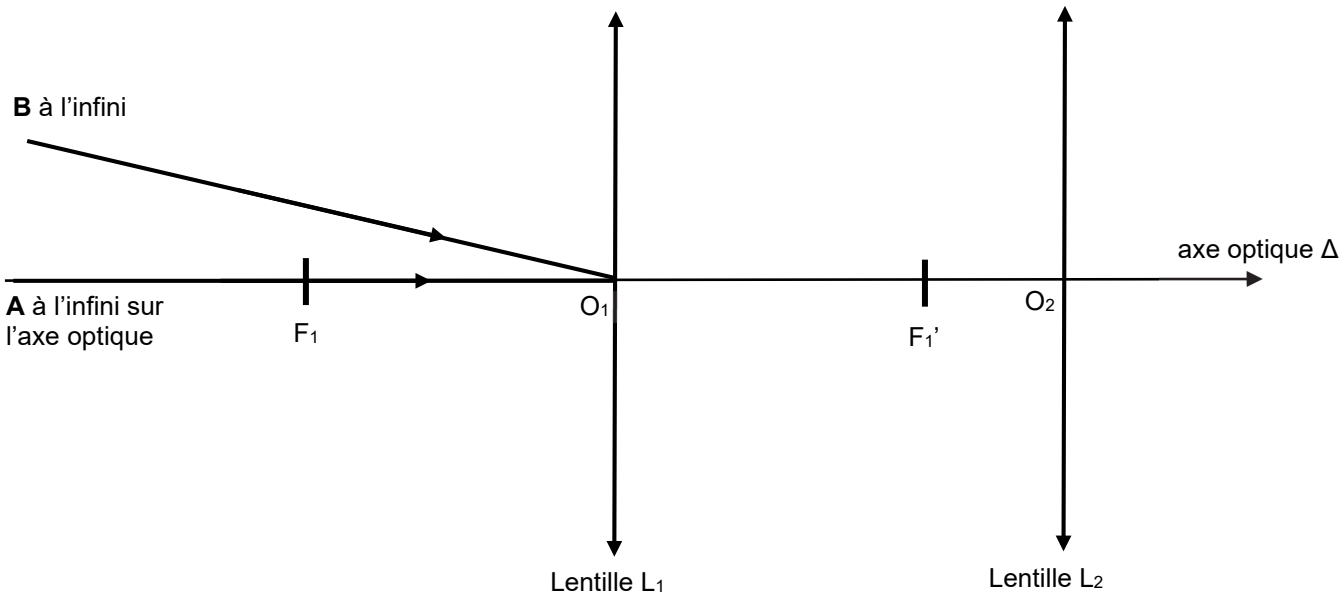


Figure A1. Schéma de la longue-vue (représentée sans souci d'échelle) assimilée à une lunette astronomique afocale

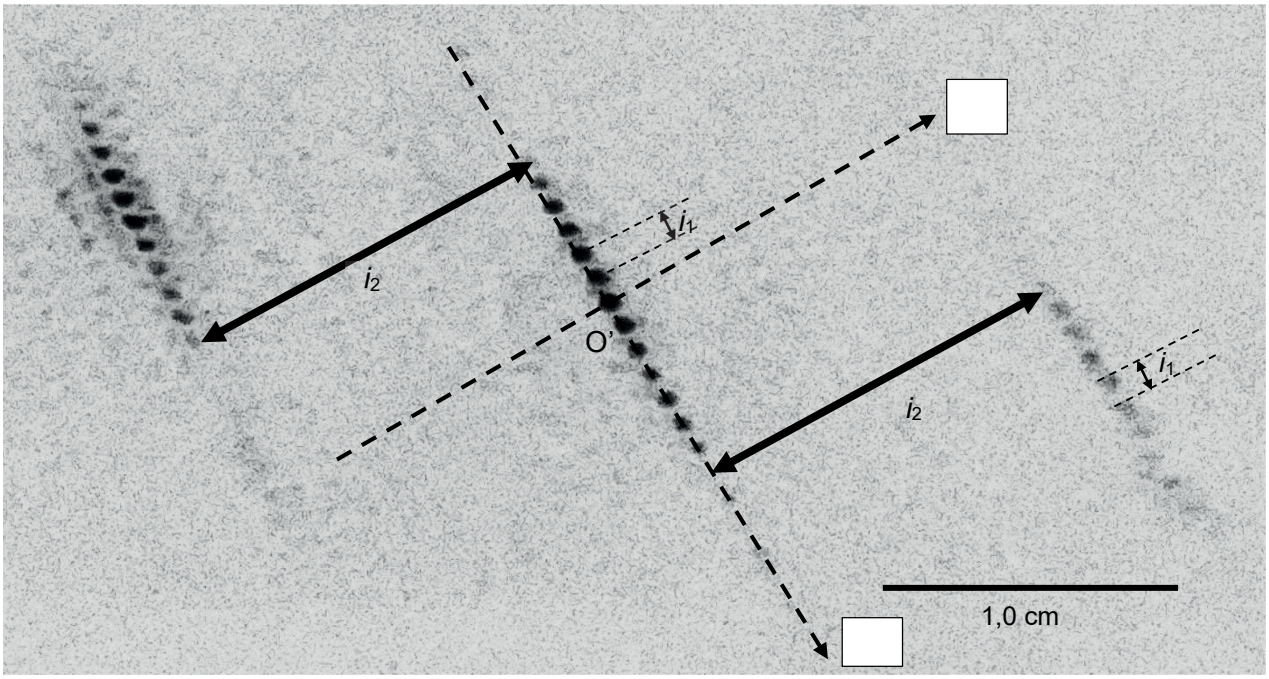


Figure A2. Figure d'interférences obtenue avec la plume d'oie

Il s'agit d'une photographie en négatif : les points sombres sur la photographie correspondent à des points brillants dans la réalité.

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