

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

JANVIER 2023

PHYSIQUE - CHIMIE

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30

COEFFICIENT : 16

L'usage des calculatrices est autorisé :

- soit avec une calculatrice programmable avec le mode examen activé,
- soit avec une calculatrice non programmable (calculatrice "collège").

Mise en mode examen :

TI et Casio ⇒ la calculatrice étant éteinte, appuyer simultanément sur la séquence de touches suivantes :

TI : Casio :

puis valider le passage en mode examen en suivant les instructions qui s'affichent.

Numworks ⇒ placer la sélection sur "**Mode examen**" dans l'application "**Paramètres**" puis valider le passage en mode examen en suivant les instructions qui s'affichent.

Le sujet comporte 12 pages numérotées de 1 à 12.

Les trois exercices sont indépendants les uns des autres :

Exercice A : La chimie dans différents domaines (10 points)

Exercice B : Détermination du diamètre de Jupiter (5 points)

Exercice C : Mesure de la taille des mailles d'un masque respiratoire (5 points)

Le candidat précisera le nom de son professeur en haut à droite de sa copie.

EXERCICE A : La chimie dans différents domaines (10 points)

Cet exercice s'intéresse à deux domaines de la chimie : le domaine culinaire et le domaine médical. Les deux parties sont indépendantes.

Partie 1 : Une astuce culinaire

«Quoi, il est pas frais mon poisson ? » Cetautomatix, le forgeron du village d'Astérix et d'Obélix, adore mettre en cause la fraîcheur des produits du poissonnier Ordralfabetix. La raison ? Une odeur. Mais pas n'importe laquelle. L'odeur de poisson avarié fait partie de ces effluves nauséabonds et tenaces que l'on frémit de rencontrer. Les substances chimiques responsables de la mauvaise odeur du poisson sont des composés azotés, les amines, comme la triméthylamine de formule $(\text{CH}_3)_3\text{N}$. Celle-ci est produite à la mort du poisson lors de la décomposition des protéines de l'animal par des bactéries.

Les «recettes de grand-mère» ne manquent pas pour atténuer ou se débarrasser des odeurs de poisson. La plupart d'entre elles tournent autour d'ajout de citron ou de vinaigre dans la poêle, la casserole ou sur les mains.

Extraits de «Histoires de Savoir» 27 février 2008 Figaro.fr / Sciences

Dans cette partie, on s'intéresse tout d'abord au dosage d'un vinaigre à usage culinaire puis au comportement de la triméthylamine dans l'eau et enfin à l'intérêt d'ajouter du vinaigre dans l'eau de cuisson d'un poisson. On admet que l'odeur nauséabonde du poisson ne provient que de la triméthylamine.

Les trois sous-parties sont indépendantes.

Données :

- produit ionique de l'eau à 25°C : $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$;
- pKa du couple $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) / \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$ à 25°C : $\text{pKa}_1 = 4,8$;
- couple ion triméthylammonium /triméthylamine : $(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq}) / (\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq})$, noté $\text{BH}^+(\text{aq}) / \text{B}(\text{aq})$;
- pKa du couple $(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq}) / (\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq})$ à 25°C : $\text{pKa}_2 = 9,8$.

1. Dosage du vinaigre utilise en cuisine

Le vinaigre est une solution aqueuse diluée contenant essentiellement de l'acide éthanoïque de formule CH_3COOH .

La solution de vinaigre commerciale, notée S_0 , étant trop concentrée, on la dilue 20 fois pour obtenir une solution de vinaigre diluée notée S_1 .

On prélève précisément un volume $V_1 = 10,0$ mL de solution diluée S_1 de concentration C_1 .

On réalise un dosage conductimétrique de la solution S_1 par une solution titrante d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+ + \text{HO}^-$) de concentration $C_b = 5,0 \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹.

La **FIGURE 1 DE L'ANNEXE de l'exercice A page 11 / 12** représente la variation de la conductivité de la solution en fonction du volume V_b de solution titrante versé.

1.1. Écrire l'équation de la réaction support du dosage.

1.2. Déterminer graphiquement le volume V_E de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence. Faire figurer les constructions sur **l'annexe de l'exercice A page 11**

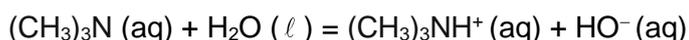
1.3. Définir l'équivalence. En déduire la concentration molaire C_1 en acide éthanoïque dans la solution S_1 . On pourra s'aider éventuellement d'un tableau descriptif de l'évolution du système chimique.

1.4. En déduire la concentration molaire C_0 en acide éthanoïque dans la solution commerciale S_0 .

2. Comportement de la triméthylamine dans l'eau.

On dispose d'un volume $V = 50$ mL d'une solution aqueuse de triméthylamine de concentration molaire apportée $C = 1,0 \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹. On mesure le pH de cette solution. Le pH-mètre indique 10,9.

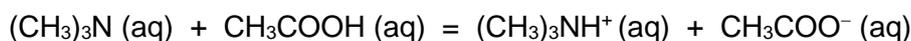
L'équation de la réaction entre la triméthylamine et l'eau est :



- 2.1. Déterminer, à l'équilibre, la concentration $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$ en ions oxonium dans la solution à 25°C.
En déduire, à l'équilibre, la concentration $[\text{HO}^-]_{\text{éq}}$ et la quantité de matière $n(\text{HO}^-)_{\text{éq}}$ des ions hydroxyde dans la solution.
- 2.2. Calculer la quantité de matière n_0 apportée en triméthylamine.
- 2.3. Compléter le tableau descriptif de l'évolution du système donné sur la **FIGURE 2 DE L'ANNEXE de l'exercice A page 11 / 12**
- 2.4. En déduire l'avancement final x_f et l'avancement maximal x_{max} de la réaction.
- 2.5. Calculer le taux d'avancement final τ de la réaction. La transformation est-elle totale ?
- 2.6. Montrer que le rapport $\frac{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+]_{\text{éq}}}{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]_{\text{éq}}}$ est égal à $\frac{x_f}{n_0 - x_f}$ et le calculer.

3. Intérêt d'ajouter du vinaigre à l'eau de cuisson du poisson

On ajoute du vinaigre à la solution aqueuse de triméthylamine. Le pH de la solution vaut alors 6,5. L'équation de la réaction entre la triméthylamine et l'acide éthanoïque s'écrit :



- 3.1. Donner l'expression littérale de la constante d'acidité K_{a_2} du couple $(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+ (\text{aq}) / (\text{CH}_3)_3\text{N} (\text{aq})$.

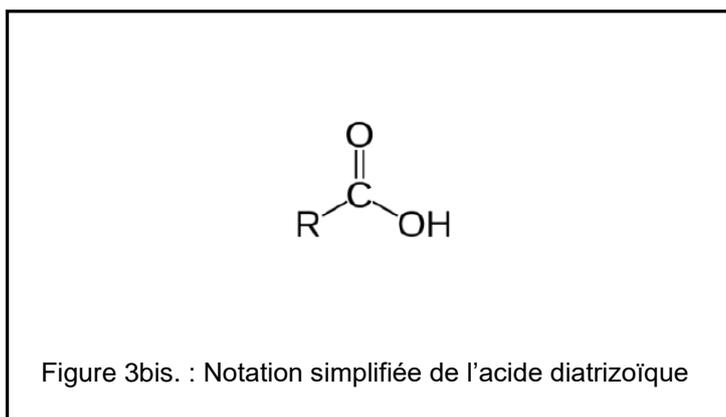
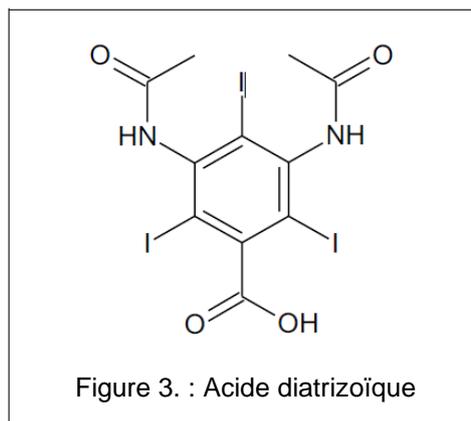
En déduire l'expression du rapport $\frac{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+]_{\text{éq}}}{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]_{\text{éq}}}$ en fonction de $\text{p}K_{a_2}$ et de pH.

- 3.2. Calculer la valeur de ce rapport.
- 3.3. Quel intérêt présente l'ajout de vinaigre à l'eau de cuisson d'un poisson ?

Partie 2 : Dégradation d'un produit de contraste

Afin d'améliorer l'interprétation d'une radiographie, des produits de contraste peuvent être administrés aux patients avant l'examen. Ces produits de contraste, non toxiques, une fois éliminés par l'organisme du patient, ne sont pas dégradés par la majorité des stations d'épuration. Pour éviter leur accumulation dans la nature, des chercheurs ont étudié la dégradation des produits de contraste sous l'effet du rayonnement ultraviolet. Cet exercice traitera dans sa première partie des propriétés chimiques de l'un de ces produits de contraste (l'acide diatrizoïque) puis dans une seconde partie de la cinétique de dégradation de l'acide diatrizoïque et de deux autres produits de contraste (l'acide iotalamique et l'iopamidol) par action d'un rayonnement ultraviolet.

La formule topologique de l'acide diatrizoïque est donnée à la figure 3 ci-dessous.



Données : Masses molaires atomiques

Élément	H	C	O
M (g·mol ⁻¹)	1,00	12,0	16,0

Première partie : propriétés chimiques de l'acide diatrizoïque

1. En utilisant la notation simplifiée de l'acide diatrizoïque, donnée figure 3 bis, représenter le schéma de Lewis de l'acide diatrizoïque et le schéma de Lewis de l'ion carboxylate correspondant.

Dans la suite de l'exercice, on utilisera, pour l'acide diatrizoïque et l'ion correspondant, les notations simplifiées RCOOH et RCOO⁻.

2. Établir l'équation de réaction acide-base de l'acide diatrizoïque avec l'eau. Exprimer la constante d'acidité K_A du couple acide diatrizoïque / ion diatrizoate en fonction des concentrations à l'équilibre des espèces en solution.

3. Représenter le diagramme de prédominance du couple de l'acide diatrizoïque et identifier l'espèce prédominante dans les eaux usées.

Données :

- La valeur du pKa du couple acide diatrizoïque / ion diatrizoate est 1,1.
- La valeur du pH des eaux usées est comprise entre 6,5 et 8.

Seconde partie : cinétique de dégradation de produits de contraste

Sous l'effet du rayonnement ultraviolet, les produits de contraste sont dégradés. On s'intéresse à la cinétique de dégradation des trois produits de contraste : l'acide diatrizoïque, l'acide iotalamique et l'iopamidol, étudiée dans un article signé par *Allard S., Criquet J. et al.*

On s'intéresse dans un premier temps à la dégradation des acides diatrizoïque et iotalamique.

La figure 4 suivante représente la variation de concentration des acides diatrizoïque et iotalamique en solution aqueuse en fonction du temps.

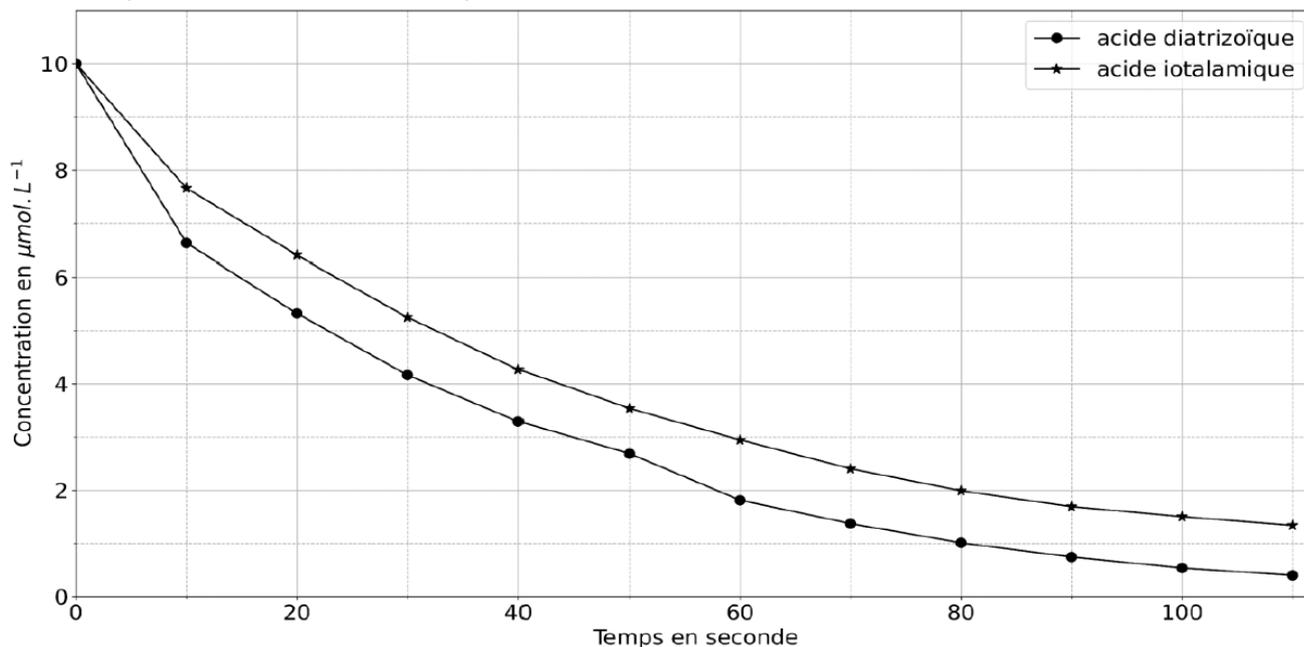


Figure 4. Cinétique de dégradation de deux produits de contraste
Source : *Allard S., Criquet J. et al. Water Research. 2016*

4. À l'aide de la figure 4 ci-dessus, déterminer les valeurs des temps de demi-réaction pour les deux acides. Identifier le produit de contraste qui se dégrade le plus rapidement.

On s'intéresse dans un second temps à la dégradation de l'iopamidol en solution aqueuse. On note $[lop](t)$ la concentration en iopamidol à la date t .

5. Donner la définition de la vitesse volumique V de disparition de l'iopamidol en fonction de sa concentration $[lop](t)$.

Si la cinétique de dégradation est d'ordre 1 alors la vitesse volumique de disparition de l'iopamidol peut s'écrire également : $V = k \times [\text{Iop}](t)$ où k est une constante positive.

6. En déduire que, dans ce cas, l'évolution temporelle de la concentration peut être modélisée par l'équation différentielle suivante : $\frac{d[\text{Iop}](t)}{dt} + k \times [\text{Iop}](t) = 0$

À l'aide d'un programme Python (voir ci-dessous), les données de *Allard S., Criquet J. et al.* ont été modélisées en utilisant la solution de cette équation différentielle, qui est de la forme :

$$[\text{Iop}](t) = [\text{Iop}]_0 \times e^{-(k \cdot t)}$$

Dans cette expression, $[\text{Iop}]_0$ est égale à $[\text{Iop}](t = 0)$, concentration en iopamidol à la date $t = 0$.

Programme Python permettant de modéliser les données :

```
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit

#Données
temps = np.array([0,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,110])
Iopamidol = np.array([10.0,7.74,6.22,5.24,4.36,3.67,2.98,2.43,1.99,1.66,1.39,1.11])

def func(x, a, b):
    return a * np.exp(-b*x)          #modèle de notre fonction

#modélisation des données expérimentale par notre fonction
popt, pcov = curve_fit(func, temps, Iopamidol, bounds=(0, [15, 0.1]))
```

Les valeurs obtenues à l'aide du programme Python sont : $a = 9,70$ et $b = 0,020$.

7. À partir des données et de la courbe de modélisation représentée figure 5 ci-dessous, justifier que le modèle de la cinétique d'ordre 1 est validé. Relier les deux paramètres a et b du programme Python aux constantes $[\text{Iop}]_0$ et k .

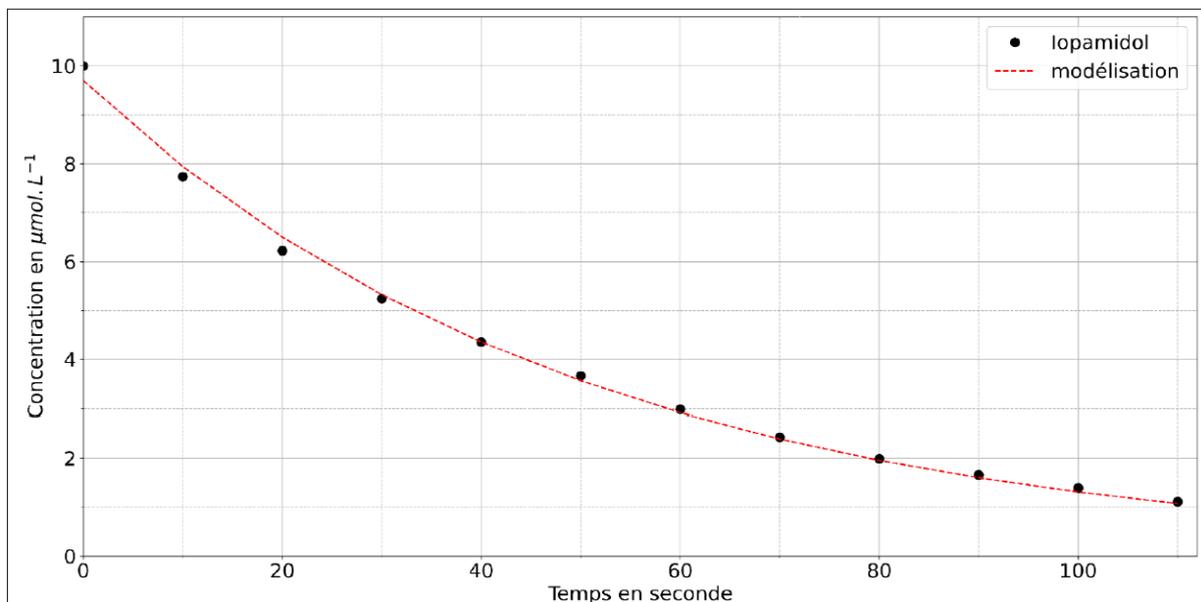


Figure 5. Graphique représentant les données expérimentales et la modélisation pour une cinétique d'ordre 1

Un établissement de santé souhaite traiter ses eaux usées à l'aide de rayonnement ultraviolet identique à celui utilisé par les chercheurs pour limiter son rejet d'iopamidol. La valeur de la concentration initiale de ses eaux usées en iopamidol $[\text{Iop}]_0$ est de $10,0 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Il souhaite ne pas dépasser une concentration en masse de $2,0 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ pour l'eau traitée.

8. En précisant la méthode, déterminer la durée minimum t_m nécessaire du traitement.

Donnée : La valeur de la masse molaire de l'iopamidol est égale à $777 \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

EXERCICE B : Détermination du diamètre de Jupiter (5 points)

Dans cet exercice, on se propose d'examiner comment il a été possible historiquement de déterminer le diamètre de la planète Jupiter grâce à des observations réalisées avec des lunettes astronomiques.

La distance entre la Terre et Jupiter étant connue, il est possible de déterminer le diamètre D de Jupiter si on connaît son diamètre apparent α_J vu à l'œil nu depuis la Terre (Figure 6 ci-dessous).

Le diamètre apparent de Jupiter α_J a été déterminé par le physicien néerlandais Huygens.

DOCUMENT : observations de Jupiter par Huygens en juin 1684.

Dans un premier temps, Huygens raconte qu'avec le grossissement utilisé, il voyait Jupiter à travers la lunette deux fois plus gros qu'il ne voyait la Lune à l'œil nu. Il estimait le grossissement de sa lunette à 164. Le diamètre apparent de la Lune à l'œil nu étant connu, il put estimer que celui de Jupiter était approximativement $\alpha_J = 10^{-4}$ radians.



Christian Huygens
(1629-1695)

Une semaine après, il imagina un dispositif permettant de déterminer plus précisément la valeur du diamètre apparent de Jupiter qu'il avait seulement estimée. Pour cela, Huygens eut l'idée d'insérer dans sa lunette, au niveau de l'image intermédiaire de Jupiter créée par l'objectif, un petit repère lui permettant alors de mesurer la taille de l'image intermédiaire. Il mesura ainsi l'image intermédiaire de Jupiter et trouva 2 millimètres. À partir de cette valeur, il put calculer le diamètre apparent de Jupiter et trouva $2 \cdot 10^{-4}$ radians.

D'après : <http://astronomie-smartsmur.over-blog.com/>

Le **diamètre apparent** α d'un objet de diamètre $AB = D$ est défini comme étant l'angle sous lequel il est observé.

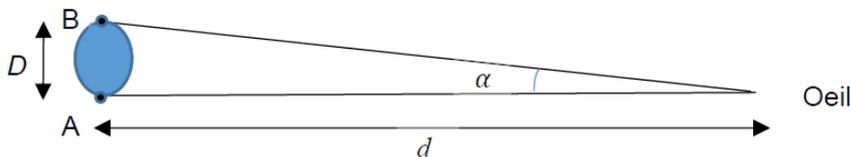


Figure 6.

- **Notations** : on note α l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu et α' l'angle sous lequel on voit ce même objet à travers la lunette.
- Dans l'ensemble de cet exercice, tous les angles sont petits. Pour de tels angles, il est possible d'écrire $\tan \alpha = \alpha$ si α est en radians.

Estimation du diamètre apparent de Jupiter α_J par comparaison avec la Lune

1. Rappeler la définition du grossissement G de la lunette en fonction de α et α' .

2. En reprenant le premier paragraphe du **DOCUMENT**, montrer que : $\alpha_J = \frac{2 \alpha_L}{G}$

α_J étant le diamètre apparent de Jupiter, G le grossissement de la lunette et α_L le diamètre apparent de la Lune à l'œil nu.

Huygens connaissait la valeur du diamètre apparent de la Lune à l'œil nu : $\alpha_L = 0,5^\circ = 8,7 \times 10^{-3}$ rad

3. Montrer que l'on retrouve la valeur du diamètre apparent de Jupiter trouvée dans un premier temps par Huygens.

Modélisation de la lunette astronomique de Huygens

Afin de pouvoir exploiter la démarche présentée dans le deuxième paragraphe du **DOCUMENT**, et pour retrouver la valeur du grossissement de la lunette estimée par Huygens, on modélise la lunette astronomique par l'association d'une lentille convergente L_1 de grande distance focale f'_1 , appelée objectif et d'une lentille convergente L_2 de petite distance focale f'_2 , appelée oculaire.

Les deux lentilles sont placées de telle sorte que le foyer image F'_1 de L_1 coïncide avec le foyer objet F_2 de L_2 . (**Voir annexe de l'exercice B page 12 / 12 à rendre avec la copie**). L'ensemble des deux lentilles constitue un système afocal. Pour un tel système, l'image d'un objet situé à l'infini est située à l'infini.

On considère un objet AB situé « à l'infini », celui-ci représentant la planète Jupiter (**Voir annexe de l'exercice B page 12 / 12 à rendre avec la copie**).

- Le point A est situé sur l'axe optique. Les rayons qui arrivent de A sont parallèles à l'axe optique.
- Le point B est situé hors axe optique. Les rayons issus de B sont parallèles entre eux et atteignent la lentille avec une inclinaison α_j par rapport à l'axe optique.

4. Indiquer où se forme l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB formée par l'objectif. Justifier que l'ensemble des deux lentilles constitue effectivement un système afocal.

Sur la figure donnée **en annexe page 12 / 12 à rendre avec la copie** :

5. Construire l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB, situé « à l'infini », à travers la lentille L_1 .

6. Représenter le faisceau émergent issu de B, situé « à l'infini », délimité par les deux rayons incidents déjà tracés, et traversant l'ensemble de la lunette afocale.

Le faisceau émergent (en sortie de l'oculaire) est incliné d'un angle α'_j par rapport à l'axe optique.

7. Par des considérations géométriques, déterminer l'expression du grossissement G en fonction des distances focales f'_1 et f'_2 .

Application à la lunette de Huygens

Les caractéristiques de la lunette de Huygens sont :

- Distance focale de l'objectif $f'_1 = 10,35$ m.
- Distance focale de l'oculaire $f'_2 = 63$ mm.

8. Expliquer le calcul effectué par Huygens, dans le deuxième paragraphe du **DOCUMENT**, pour obtenir la valeur de l'angle α_j à partir de la taille de l'image intermédiaire.

9. Calculer le grossissement de la lunette de Huygens et expliquer pour quelle raison la première détermination de α_j présentée dans le premier paragraphe du **DOCUMENT** était nécessairement moins précise que celle présentée dans le second paragraphe.

Diamètre de Jupiter

La distance Terre-Jupiter était connue à l'époque de Huygens. Cette distance a pour valeur moyenne $d = 7,80 \times 10^8$ km.

10. Calculer la valeur D du diamètre de Jupiter.

EXERCICE C : Mesure de la taille des mailles d'un masque respiratoire (5 points)

La conception des masques respiratoires dépend de leur finalité, médicale, industrielle ou autre. Une des caractéristiques importantes est la dimension des particules qu'ils peuvent filtrer. Les virus peuvent être transportés par les microgouttelettes expulsées lors de la respiration ou de l'éternuement. Une toux génère des microgouttelettes de diamètre de plusieurs dizaines de micromètres à une centaine de micromètres.

D'après <https://www.esanum.fr>

La filtration obtenue grâce aux masques repose-t-elle uniquement sur un effet de « passoire » ?

Donnée :

Expression de l'interfrange i d'une figure d'interférences pour une lumière monochromatique de longueur d'onde λ traversant un système de fils parallèles séparés d'une distance b , l'écran étant éloigné d'une distance D du système de fils :

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

Lors de l'expérience n°1, une fente de largeur $a = 0,15$ mm est éclairée par un rayonnement issu d'un laser. L'expérimentateur mesure la longueur L de part et d'autre de la tâche centrale obtenue sur un écran pour une distance fente-écran, notée D , variable. Il déduit de ces mesures la valeur de la longueur d'onde λ de la lumière émise par le laser.

Schéma de l'expérience n°1 :

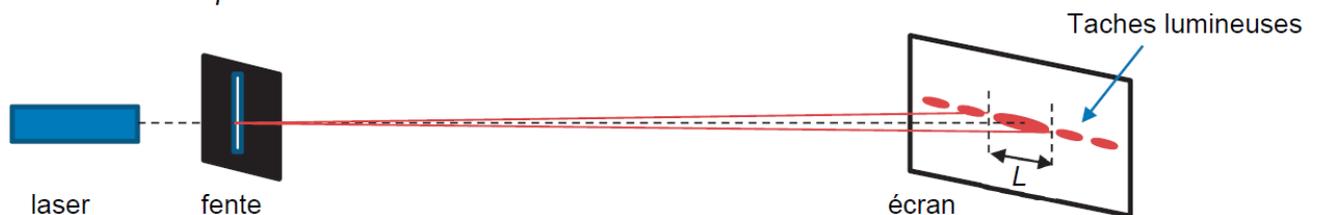
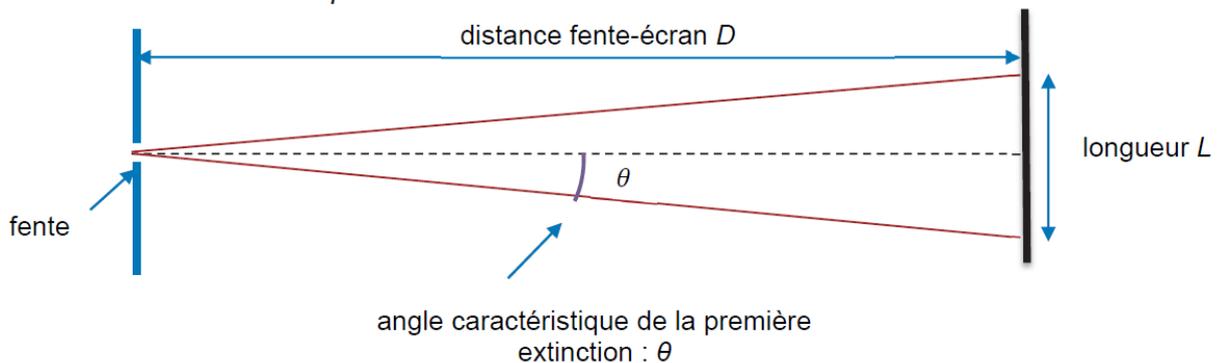


Schéma en coupe :



Valeurs expérimentales :

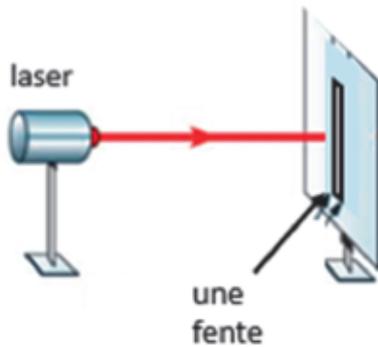
Distance fente-écran mesurée D (en m)	1,000	1,500	1,800	2,300	2,800
Longueur tâche centrale mesurée L (en cm)	0,82	1,37	1,49	2,09	2,48
Longueur d'onde calculée λ_{exp} (en nm)	615	685	621	682	664

Q1. Nommer le phénomène ondulatoire exploité par cette expérience.

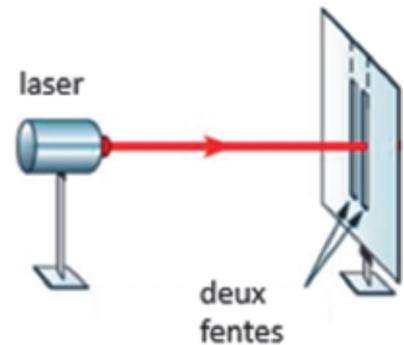
Q2. Déterminer la valeur de la moyenne de la longueur d'onde $\bar{\lambda}$. On admet que l'incertitude-type, $u(\bar{\lambda})$, associée à la détermination de la longueur d'onde par cette expérience vaut 13 nm.

Q3. Comparer le résultat obtenu avec la valeur de référence donnée par le fabricant du laser qui indique une longueur d'onde de valeur $\lambda = 650$ nm.

Une nouvelle expérience est réalisée à partir de la première expérience : la fente simple est remplacée par une double fente ; le reste du dispositif étant inchangé, et l'écran est placé à la distance $D = 2,23$ m. C'est l'expérience n°2.

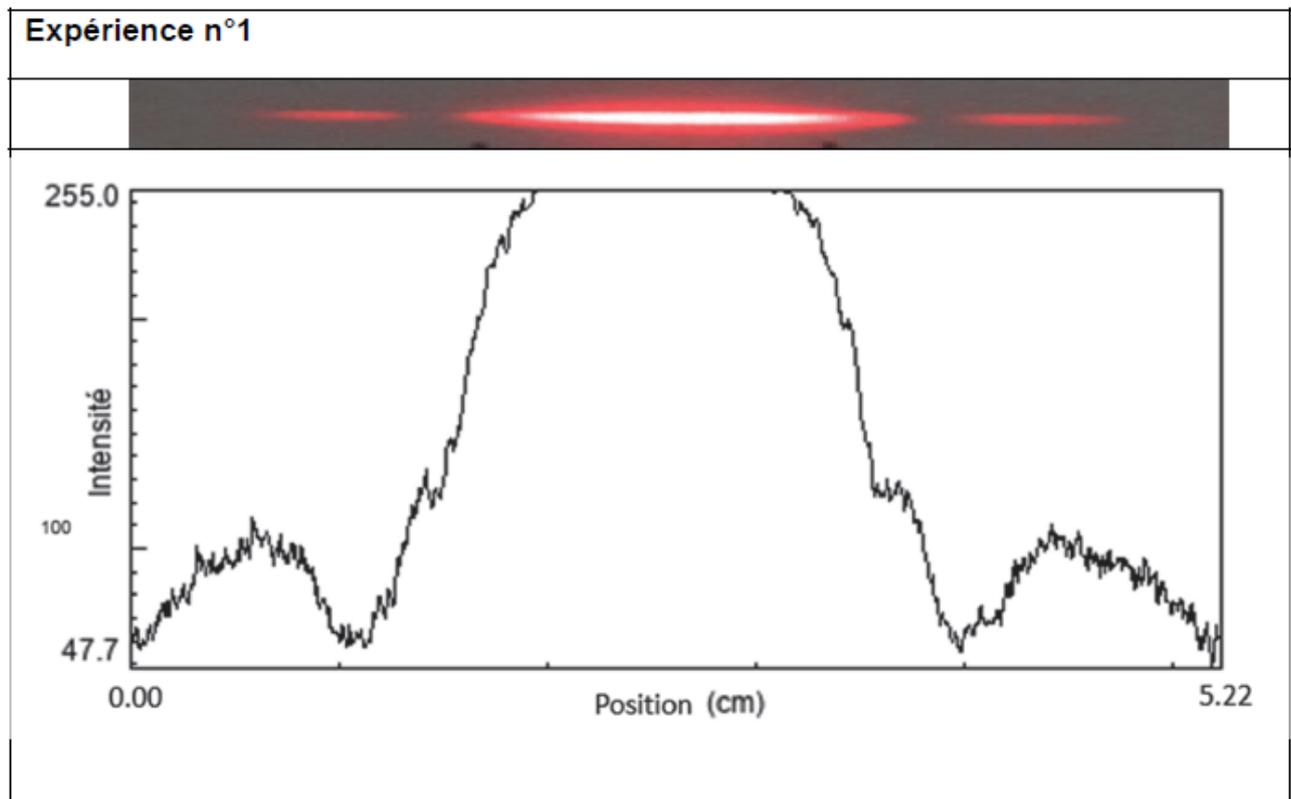


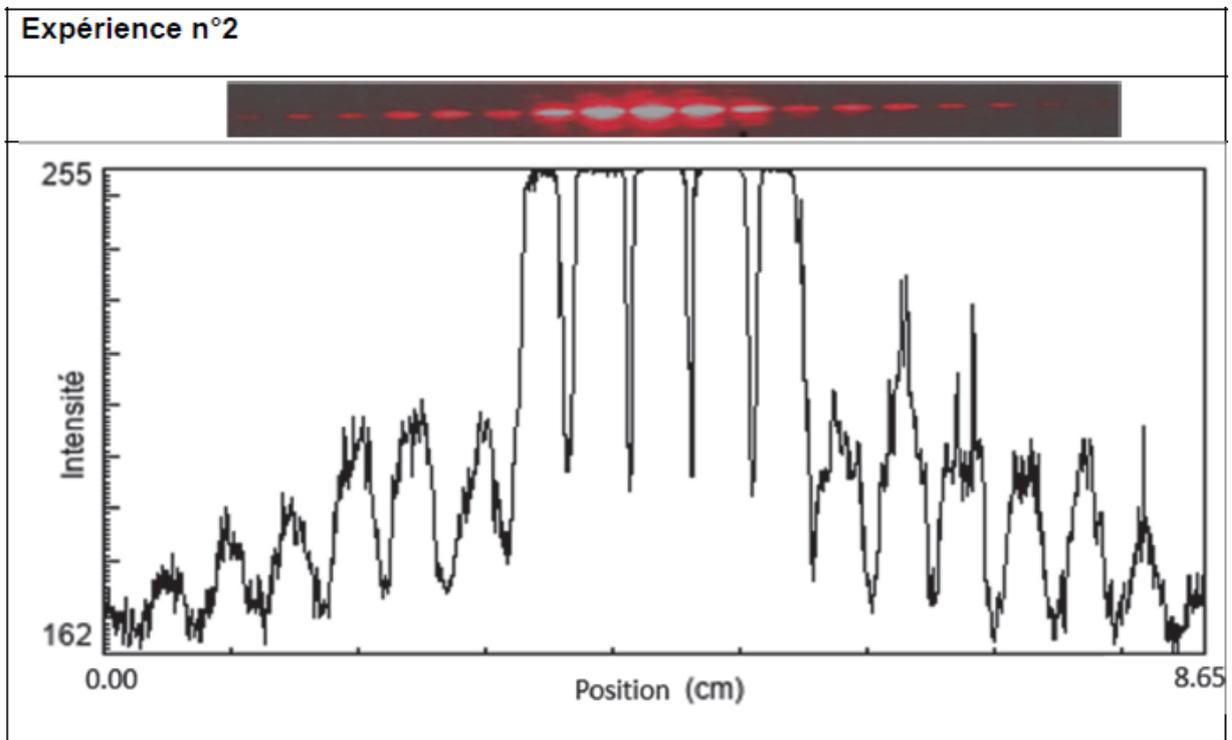
Expérience n°1



Expérience n°2

Un logiciel de traitement d'image permet d'obtenir la distribution de l'intensité lumineuse le long de la tâche obtenue sur l'écran. Les résultats obtenus pour les deux expériences sont présentés ci-après.

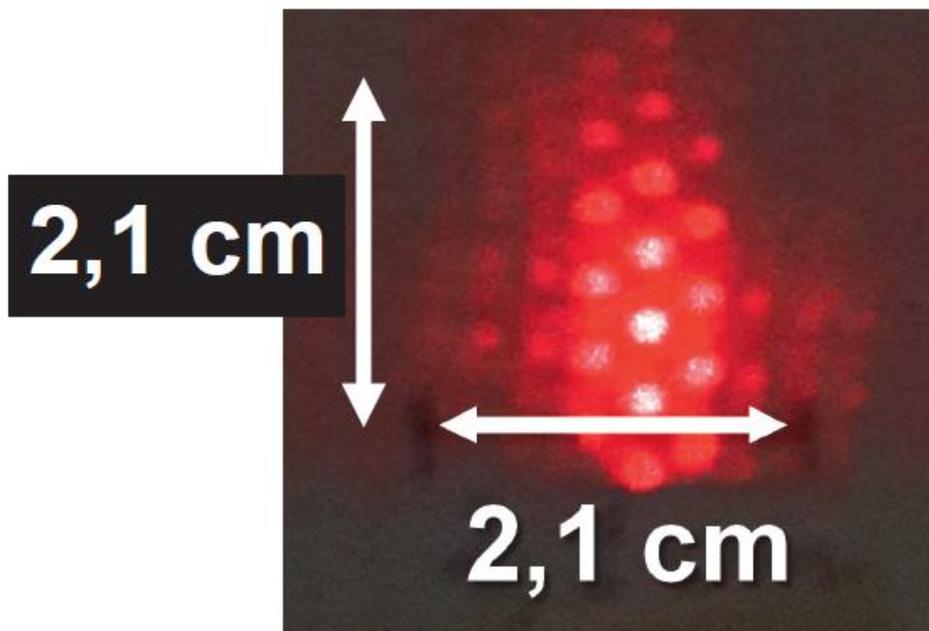




Q4. Nommer les phénomènes physiques sous-jacents à l'expérience n°2.

Un masque respiratoire en tissu est réalisé en superposant deux couches de tissu. Chaque couche de tissu est constituée d'une trame de fils horizontaux et de fils verticaux. La double fente de l'expérience n°2 est remplacée par une couche de tissu modérément tendu, les autres conditions de l'expérience (nature du laser, distance fente-écran $D = 2,23$ m) restant inchangées.

Photographie de l'écran :



Q5. En utilisant les données, estimer la valeur de la distance séparant deux fils horizontaux.

Q6. Comparer la taille d'une maille (maille = trou) d'un masque, avec les dimensions des microgouttelettes expulsées lors de la respiration ou de l'éternuement. On néglige l'épaisseur des fils.

Les masques homologués ont une efficacité de filtration des microgouttelettes très proche de 100 %.

Q7. Commenter ce résultat au regard de votre réponse à la question précédente.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXES DE L'EXERCICE A Partie 1

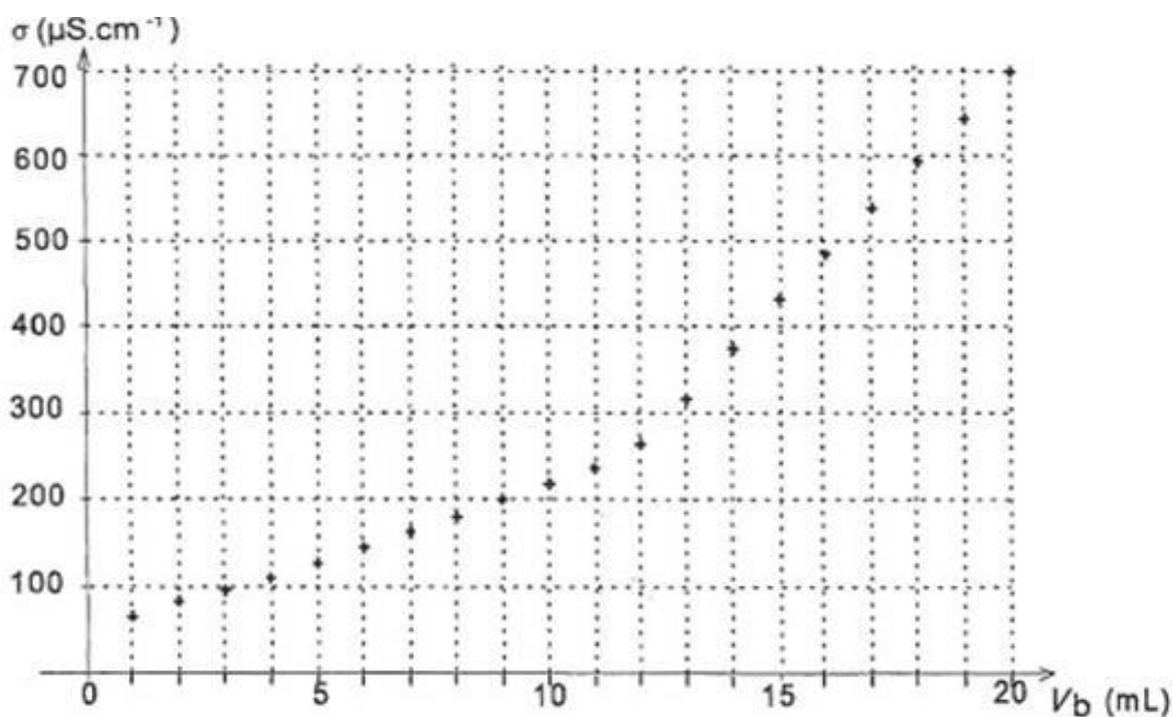


Figure 1. Variation de la conductivité de la solution en fonction du volume V_b de solution titrante versée

Équation de la réaction		$(\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) = (\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0				
Au cours de la transformation	x				
État final	x_f				
État final en supposant la transformation totale	x_{max}				

Figure 2. Tableau descriptif de l'évolution du système

ANNEXE DE L'EXERCICE B

(Echelles non respectées)

