

DS n°3 de Sciences physiques

Durée : 4 heures

Pour chaque exercice, vous prendrez soin :

- de rappeler les lois de la physique utilisées ou de donner la formule littérale pour chaque calcul,
- d'utiliser les notations proposées dans l'énoncé,
- d'associer à chaque résultat son unité et de réfléchir attentivement au nombre de chiffres significatifs.

Les résultats doivent être encadrés et la copie soignée (propreté, qualité de l'écriture et orthographe).

Les étudiants bénéficiant d'un tiers-temps peuvent ne pas faire les exercices suivantes :

- Exercice 1 : Quizz d'optique
- Exercice 4 : Onde sonore

PHYSIQUE

Exercice 1 : Quizz d'optique (45 min)

A. Première série

Cette première série ne demande aucune justification

Plusieurs réponses sont possibles.

Répondez sur votre copie sans recopier les questions ni les propositions. Exemples : 1 b) ou 3 a) et b)

1. La lumière est une onde :
 - a) Mécanique
 - b) Electromagnétique
 - c) Qui peut se propager dans le vide
 - d) Qui peut se propager dans un milieu matériel
 - e) Qui ne peut se propager que dans un milieu matériel
2. Les ultraviolets sont des radiations :
 - a) De longueur d'onde plus petite que le violet
 - b) De longueur d'onde plus grande que le violet
 - c) De fréquence plus petite que le violet
 - d) De fréquence plus grande que le violet
3. Lorsque l'on réalise la décomposition de la lumière blanche à l'aide d'un prisme afin d'observer le spectre de la lumière blanche :
 - a) Cette expérience met en jeu le phénomène de réfraction
 - b) Cette expérience met en jeu le phénomène de diffraction
 - c) Cette expérience met en jeu le phénomène de dispersion
 - d) Cette expérience met en jeu le phénomène de réflexion.
4. Un faisceau de lumière monochromatique arrive sur un obstacle percé d'une fente verticale de largeur $a = 0,10 \text{ mm}$. La figure de diffraction obtenue est :
 - a) Horizontale
 - b) Verticale

B. Deuxième série

Cette deuxième série nécessite une justification pour chaque réponse.

Plusieurs réponses sont possibles.

Répondez sur votre copie en justifiant chaque réponse ou en détaillant vos calculs (formule littérale exigée).

1. Si un milieu 1 a un indice optique n_1 supérieur à l'indice optique n_2 d'un milieu 2 :
 - a) La vitesse de la lumière est plus grande dans le milieu 1 que dans le milieu 2
 - b) La vitesse de la lumière est plus grande dans le milieu 2 que dans le milieu 1
 - c) La vitesse de la lumière vaut c : elle est donc identique dans les deux milieux

2. Quand la lumière passe d'un milieu à un autre d'indice optique n différent :
 - a) La fréquence de la lumière est modifiée
 - b) La longueur d'onde de la lumière est modifiée
 - c) La couleur de la lumière est modifiée
 - d) La célérité de la lumière est modifiée
 - e) La période de l'onde est modifiée.

3. Dans l'eau, d'indice $n= 1,33$ la longueur d'onde d'une radiation de fréquence $5,09 \cdot 10^{14}$ Hz vaut :
 - a) 784 nm
 - b) 443 nm
 - c) $4,43 \cdot 10^{-10}$ m
 - d) $2,61 \cdot 10^{-15}$ m

4. Une onde lumineuse incidente se propageant dans l'air pénètre dans l'eau, d'indice $n= 1,33$ avec un angle incident de 40° . L'angle réfracté vaut :
 - a) 40°
 - b) 0,48 radians
 - c) 29°
 - d) 59°

5. Une onde lumineuse incidente se propageant dans l'air se reflète à la surface de l'eau, d'indice $n= 1,33$ avec un angle incident de 40° . L'angle réfléchi vaut :
 - a) 40°
 - b) 0,48 radians
 - c) 29°
 - d) 59°

6. Une lentille convergente a une vergence de 5δ .
 - a) La distance focale de la lentille est de 0,20 cm
 - b) La distance focale de la lentille est de 0,20 m
 - c) La distance focale s'exprime en dioptrie
 - d) Un objet à l'infini observé par cette lentille a son image au plan focal objet
 - e) Un objet à l'infini observé par cette lentille a son image au plan focal image
 - f) Un objet à l'infini observé par cette lentille a son image située 20 cm derrière la lentille.

7. Un objet AB de taille 3 cm est placé à une distance de 10 cm devant cette lentille convergente de vergence 5δ .
 - a) L'image obtenue est située 20 cm devant la lentille
 - b) L'image obtenue est située 15 cm derrière la lentille
 - c) L'image obtenue est située 6,7 cm derrière la lentille
 - d) L'image a pour taille 6 cm
 - e) L'image est renversée
 - f) L'image est droite et virtuelle.

Exercice 2 : Laser Hélium-Néon

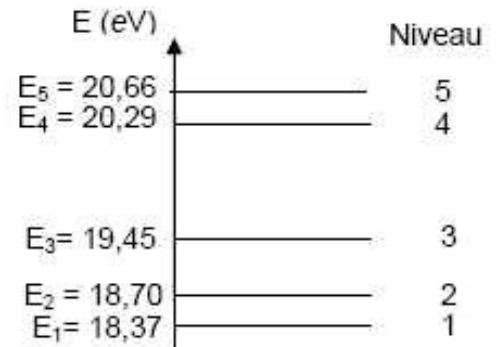
(30 min)

Données : Constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
 $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

On s'intéresse à la lumière rouge monochromatique de longueur d'onde dans le vide 633 nm, émise par un laser hélium-néon.

1. Calculer la période T et la fréquence d'une telle onde lumineuse.
2. Exprimer l'énergie associée au photon émis par un tel laser.

Dans un laser hélium néon, le pompage est effectué entre des niveaux d'énergie de l'hélium, mais ensuite la transition laser s'effectue entre des niveaux énergétiques du néon. Ainsi, la figure suivante représente un diagramme simplifié des niveaux d'énergie du néon.



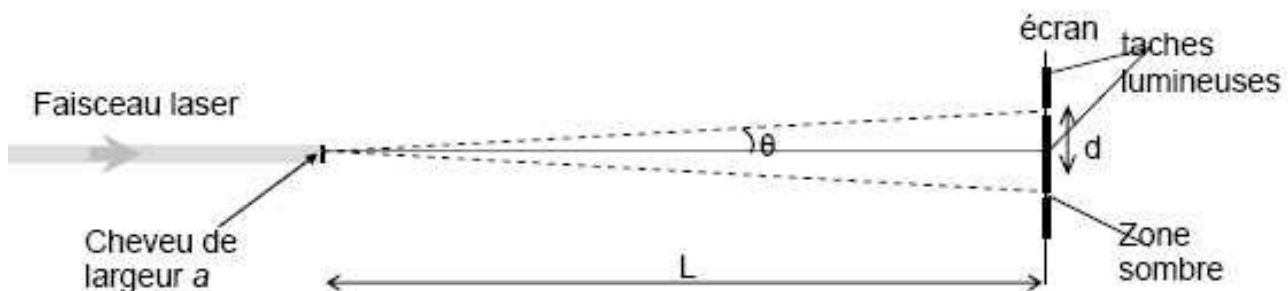
3. En déduire à partir du diagramme, entre quels niveaux s'effectue la transition responsable de la lumière rouge du laser ?

On utilise ce faisceau laser de longueur d'onde 633 nm pour déterminer la taille d'un cheveu. Pour cela, on réalise l'expérience schématisée ci-dessous. Un faisceau laser éclaire un cheveu d'épaisseur a . On observe des taches lumineuses sur un écran placé à une distance de 1,50 m du cheveu. Ces taches sont séparées par des zones sombres. La largeur d de la tache centrale vaut 3,4 cm.

4. Rappeler la relation qui lie l'écart angulaire θ à la longueur d'onde λ et à l'épaisseur a du cheveu.
5. En déduire la valeur de l'épaisseur a du cheveu.

On modifie la distance entre le cheveu et l'écran, on prend $L = 0,50 \text{ m}$.

6. Comment évolue la taille de la tache centrale ?
7. Sur quel paramètre peut-on alors jouer pour grossir la tâche centrale ?
8. Afin d'augmenter la taille de la tâche de diffraction dans le cas de la lecture de données sur un CD, quelle serait la couleur de la lumière la plus adaptée ? Justifier.



Exercice 3 : Surfer sur la vague

(durée : 30 min)

La houle est un train de vagues régulier généré par un vent soufflant sur une grande étendue de mer sans obstacle, le fetch. En arrivant près du rivage, sous certaines conditions, la houle déferle au grand bonheur des surfeurs !

Les documents utiles à la résolution sont rassemblés à la fin de l'exercice.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

A. La houle, onde mécanique progressive

1. Pourquoi peut-on dire que la houle est une onde mécanique progressive ?

Il est possible de simuler la houle au laboratoire de physique avec une cuve à ondes en utilisant une lame vibrante qui crée à la surface de l'eau une onde progressive sinusoïdale de fréquence $f = 23 \text{ Hz}$. On réalise une photographie du phénomène observé (**document 1**).

2. Déterminer la longueur d'onde de l'onde ainsi générée.
3. En déduire la vitesse de propagation v de l'onde sinusoïdale générée par le vibreur.

Au large de la pointe bretonne, à une profondeur de 3000 m, la houle s'est formée avec une longueur d'onde de 60 m.

4. En utilisant le **document 2**, calculer la vitesse de propagation v_1 de cette houle.
5. En déduire sa période T .
6. Sur la photographie aérienne du **document 4**, quel phénomène peut-on observer ? Quelle est la condition nécessaire à son apparition ?
7. Citer un autre type d'onde pour laquelle on peut observer le même phénomène.

B. Surfer sur la vague

La houle atteint une côte sablonneuse et rentre dans la catégorie des ondes longues.

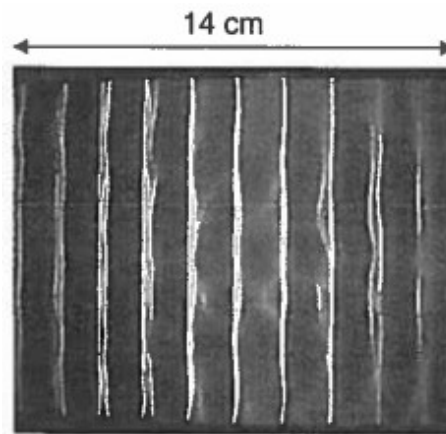
8. Calculer la nouvelle vitesse de propagation v_2 de la houle lorsque la profondeur est égale à 4,0 m, ainsi que sa nouvelle longueur d'onde λ_2 . Les résultats obtenus sont-ils conformes aux informations données dans le **document 3** ?

Un autre phénomène très attendu par les surfeurs, lors des marées importantes est le mascaret.

Le mascaret est une onde de marée qui remonte un fleuve ; elle se propage à une vitesse v de l'ordre de $5,1 \text{ m.s}^{-1}$.

9. Le passage du mascaret étant observé sur la commune d'Arcins à 17h58, à quelle heure arrivera-t-il à un endroit situé à une distance $d = 13 \text{ km}$ en amont du fleuve ?

Document 1 : Simulation de la houle au laboratoire avec une cuve à ondes.



Document 2 : Vitesse de propagation des ondes à la surface de l'eau.

- cas des ondes dites « courtes » (en eau profonde) :
longueur d'onde λ faible devant la profondeur h de l'océan ($\lambda < 0,5 h$)

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$$

- cas des ondes dites « longues » (eau peu profonde) :
longueur d'onde λ très grande devant la profondeur de l'océan ($\lambda > 10h$)

$$v = \sqrt{g \cdot h}$$

g est l'intensité du champ de pesanteur terrestre.

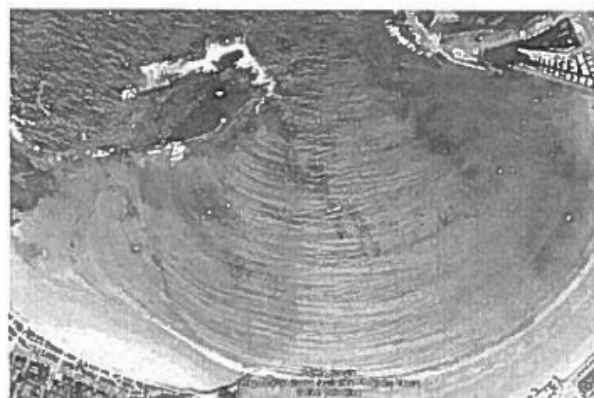
D'après <http://ifremer.fr/>

Document 3 : Déferlement des vagues sur la côte

En arrivant près de la côte, la houle atteint des eaux peu profondes. Dès que la profondeur est inférieure à la moitié de la longueur d'onde, les particules d'eau sont freinées par frottement avec le sol. La houle est alors ralentie et sa longueur d'onde diminue. Ces modifications des caractéristiques de l'onde s'accompagnent d'une augmentation d'amplitude. La période est la seule propriété de l'onde qui ne change pas à l'approche de la côte. Ainsi en arrivant près du rivage, la vitesse des particules sur la crête est plus importante que celle des particules dans le creux de l'onde, et lorsque la crête n'est plus en équilibre, la vague déferle.

D'après <http://ifremer.fr/>

Document 4 : Photographie aérienne de l'arrivée de la houle dans une baie.



Exercice 4 : Ondes sonores

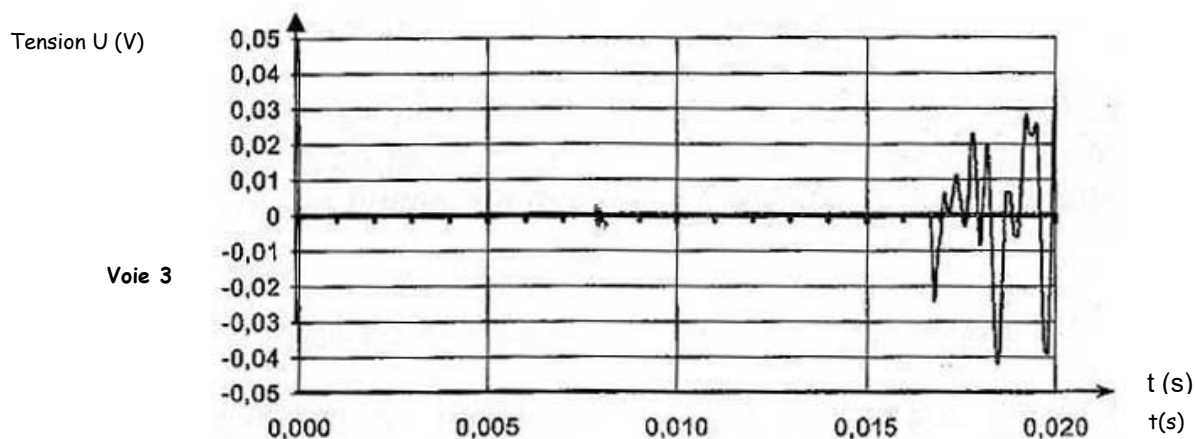
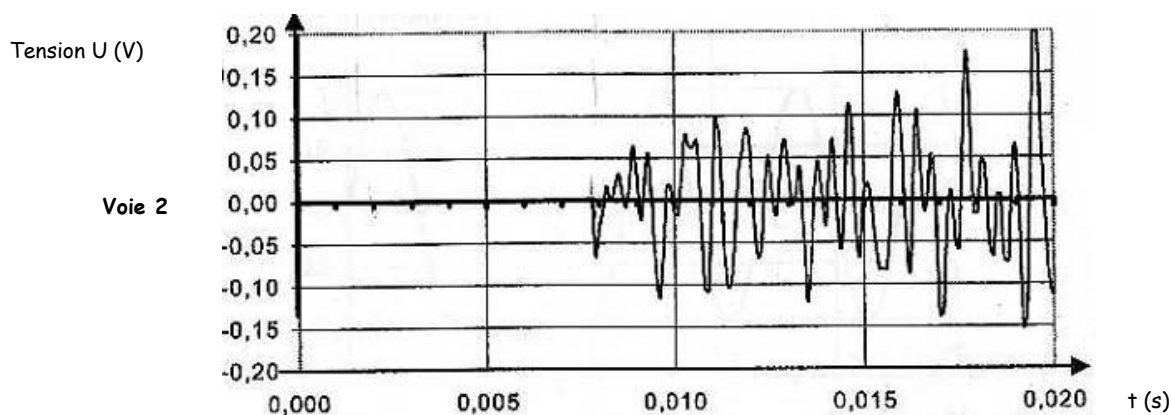
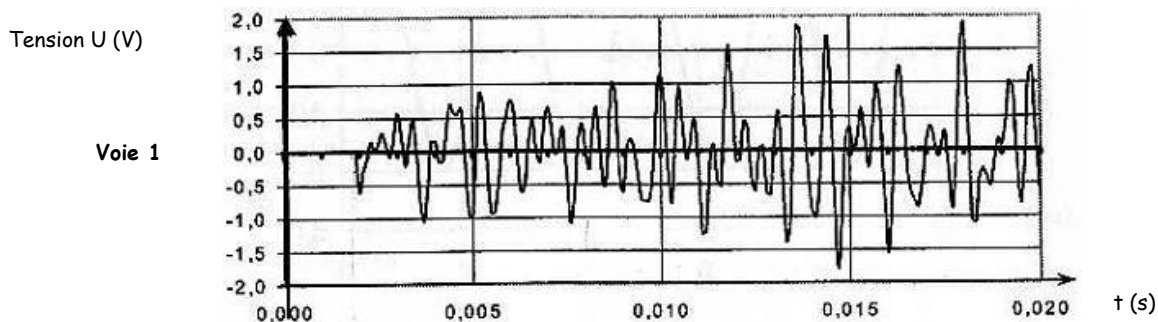
(durée : 30 min)

Membre d'un groupe de rock et très intéressé par la nature et la propagation du son, Julien réalise plusieurs expériences relatives au ondes sonores.

A. Célérité de l'onde sonore : première méthode.

Trois microphones M_1 , M_2 et M_3 sont alignés de telle manière que les distances M_1M_2 et M_2M_3 valent respectivement 2,00 m et 3,00 m. Les signaux électriques correspondant aux sons reçus par les microphones sont enregistrés grâce à un ordinateur. Julien donne un coup de cymbale devant le premier micro M_1 puis lance immédiatement l'enregistrement. La température de la pièce est de 18°C .

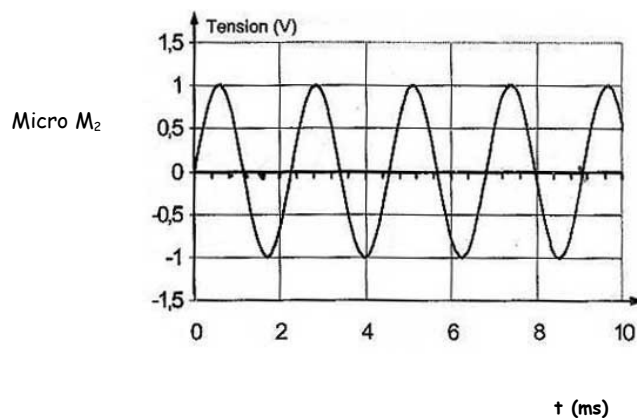
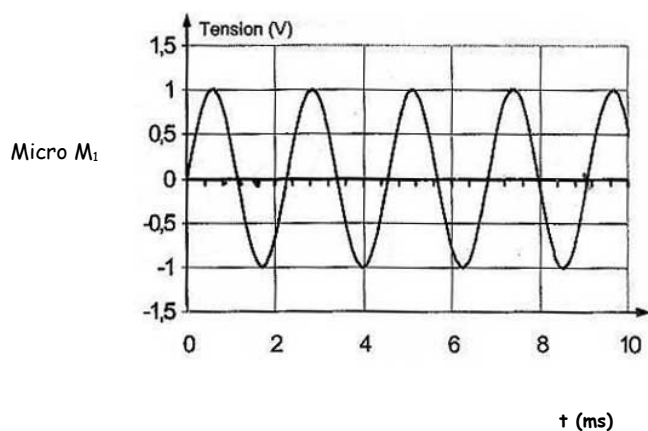
Les courbes obtenues sont représentées ci-après.



1. Retrouver à quels micros M_1 , M_2 et M_3 correspondent chacun des trois enregistrements.
2. Déterminer la célérité de l'onde sonore à partir de 2 calculs différents.
3. Vos résultats sont-ils cohérents ?

B. Célérité de l'onde : deuxième méthode.

Julien dispose maintenant les deux microphones M_1 et M_2 à la même distance d d'un diapason. En musique, le diapason est un instrument produisant un son correspondant à la note « la » ; cet appareil permet aux musiciens d'accorder leurs instruments de musique. Il obtient les courbes représentées ci-dessous. On remarque que les signaux sont en phase.



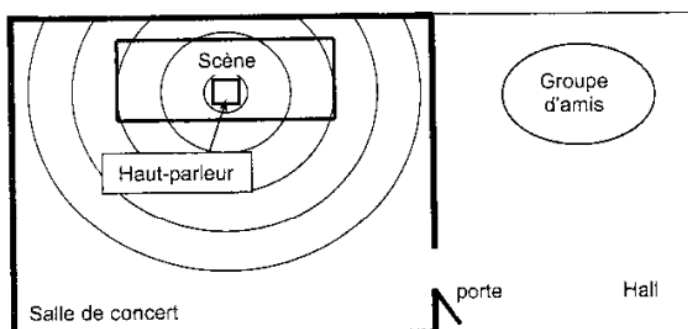
- Déterminer la période puis la fréquence du son émis par le diapason.

Julien éloigne le microphone M_2 peu à peu jusqu'à ce que les courbes soient de nouveau en phase. Il réitère l'opération jusqu'à compter cinq positions pour lesquelles les courbes sont à nouveau en phase. La distance D entre les deux microphones est alors égale à 3,86 m.

- Pourquoi repère-t-il plusieurs fois la position du micro plutôt qu'une seule ?
- Définir la longueur d'onde et déduire sa valeur numérique de l'expérience précédente.
- Calculer alors la célérité de l'onde sonore.
- D'après les résultats obtenus dans les parties A et B, le milieu de propagation des ondes sonores est-il dispersif ?

C. Autre propriété des ondes sonores.

Lors d'un concert donné par Julien dans une salle, des amis arrivés un peu retard s'étonnent d'entendre de la musique alors qu'ils sont encore dans le hall et donc séparés de la scène par un mur très bien isolé phoniquement. Ils remarquent cependant que la porte, d'une largeur de 1,00 m, est ouverte. La situation est représentée sur le schéma ci-dessous.



- Quel phénomène physique permet d'expliquer l'observation faite par les amis de Julien ?
- Les amis de Julien ont-ils entendu préférentiellement dans le hall des sons graves ($f = 100$ Hz) ou des sons très aigus ($f = 10000$ Hz) ? Justifier la réponse en calculant les longueurs d'onde correspondantes.

Exercice 5 : Microscope classique et microscope confocal

(durée : 45 min)

Depuis une vingtaine d'années la microscopie confocale a connu un développement considérable. Ces microscopes équipent maintenant un grand nombre de laboratoires de biologie. Par rapport à la microscopie optique classique, la microscopie confocale permet de réaliser l'image d'un plan à l'intérieur d'un échantillon transparent (par exemple dans le cas d'une cellule biologique). A partir d'une série d'images des différents plans de l'échantillon on peut reconstruire, en utilisant l'outil informatique, l'image tridimensionnelle de l'objet étudié.

La première partie de cet exercice concerne l'étude d'un microscope optique classique.

La seconde partie illustre le principe de fonctionnement d'un microscope confocal.

Dans tout l'exercice, les figures ne sont pas réalisées à l'échelle.

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

A. Étude d'un microscope optique classique

L'objet éclairé AB (par exemple une cellule musculaire) est positionné sur la platine porte-échantillon, solidaire du bâti du microscope (figure 1 en **annexe 3 à rendre avec la copie**). L'objectif est modélisé par une lentille mince convergente (L_1) de centre optique O_1 et de distance focale $f'_1 = 4,5$ mm. L'oculaire est modélisé par une lentille mince convergente (L_2) de centre optique O_2 et de distance focale f'_2 supérieure à f'_1 . La distance $\Delta = F'_1F_2$ entre le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire, appelée intervalle optique, est imposée par le constructeur et est égale à 180 mm.

1. Construire sur la figure 1 en annexe l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB.

Le biologiste désire observer la cellule sans fatigue, c'est à dire sans accommoder.

2. Où doit se former l'image finale $A'B'$ pour répondre à cette condition ?
3. Où doit se former alors l'image intermédiaire A_1B_1 ?
4. Sur la figure 1 en annexe, placer les foyers de la lentille (L_2).
5. Rappeler la formule définissant le grandissement pour la lentille mince (L_1) dans le cas étudié.
6. En s'aidant de la figure 1, montrer que le grandissement γ_1 de l'objectif peut s'écrire $\gamma_1 = \frac{-\Delta}{f'_1}$.
7. Calculer la valeur algébrique du grandissement γ_1 .
8. A quoi correspond l'inscription " x 40 " inscrite sur la monture de l'objectif ?

B. Étude du microscope confocal

De nos jours on préfère souvent l'acquisition d'images numériques à la visualisation directe de l'image. Pour cela on peut utiliser un capteur d'image appelé "capteur CCD". Le microscope classique est alors modifié de la façon suivante : on supprime l'oculaire (L_2) et on positionne le capteur CCD dans le plan de l'image intermédiaire donnée par l'objectif (L_1), en le centrant sur l'axe optique. Par extension ce système imageur continuera à être appelé microscope. Pour réaliser un "microscope confocal", on introduit également un diaphragme de petite taille (par exemple $50 \mu\text{m}$), lui aussi centré sur l'axe optique, dans le plan du capteur : de cette façon l'ensemble (capteur CCD + diaphragme) permet de réaliser un détecteur quasi ponctuel.

Sur la figure 2 en annexe, on a construit le faisceau lumineux issu du point objet A limité par les bords de la lentille.

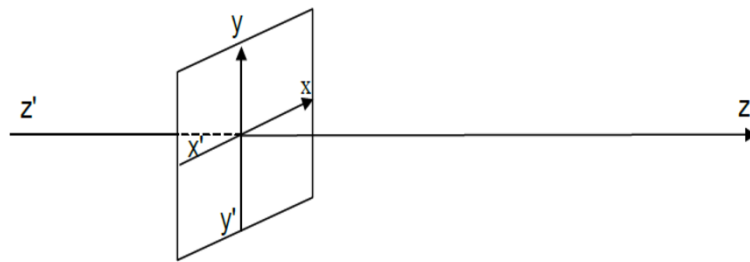
On s'intéresse d'abord au point B de la cellule biologique n'appartenant pas à l'axe optique.

9. Sur la figure 2 en annexe, construire l'image B_1 du point B ainsi que le faisceau lumineux issu de B passant par les bords de la lentille. Hachurer ce faisceau.

On s'intéresse ensuite au point D de la cellule biologique.

10. Sur la figure 3 en annexe, construire l'image D_1 du point D et le faisceau lumineux issu du point D limité par les bords de la lentille. Hachurer ce faisceau.
11. En utilisant les figures 2 et 3 complétées précédemment, montrer que la plus grande partie de la lumière détectée par le capteur est émise par le point A et non par les points B et D.

Le système (capteur CCD + diaphragme) étant fixe et centré sur l'axe optique, il est nécessaire de déplacer l'objet pour former successivement toutes les images des points situés entre A et B. Pour cela on utilise une platine porte-échantillon motorisée. Cette platine permet un déplacement dans les trois directions $x'x$, $y'y$ et $z'z$ (voir figure ci-dessous). On construit alors point par point l'image d'un plan de l'échantillon. Pour cette raison, on appelle cette technique "microscopie à balayage". Par opposition à la microscopie classique, elle nécessite donc un temps d'acquisition correspondant au déplacement point par point de l'échantillon.



12. Selon quel axe et dans quel sens faut-il déplacer l'échantillon et où faut-il placer l'objet AB de façon à pouvoir détecter l'image du point B ?
13. Positionner alors l'objet AB sur la figure 4 en annexe et tracer le faisceau issu de B et limité par les bords de la lentille.
14. En utilisant le même système d'axes, indiquer comment il faut déplacer l'échantillon pour acquérir l'image du point D de la cellule biologique ?

La microscopie confocale permet ainsi d'acquérir une série d'images des plans en profondeur dans un échantillon transparent et par suite, grâce à un traitement informatique, des informations sur la structure spatiale de l'échantillon.

CHIMIE

Exercice 6 : En cuisine ...

(durée : 1 heure)

A. La caféine

Données : $M(H) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(C) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(N) = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$

La caféine, présente dans le café, le thé, le chocolat, les boissons au cola, est un stimulant pouvant être toxique à forte dose (plus de 600 mg par jour). Sa formule chimique est $C_8H_{10}N_4O_2$.

1. Quelle est la masse molaire de la caféine ?
2. Quelle quantité de matière de caféine y a-t-il dans une tasse de café contenant 80 mg de caféine ?
3. Combien y a-t-il de molécules de caféine dans la tasse ?
4. Combien de tasses de café peut-on boire par jour sans risque d'intoxication ?

Un café décaféiné en grains (ou moulu) ne doit pas contenir plus de 0,1 % en masse de caféine.

5. Quelle quantité de matière maximale de caféine y a-t-il dans un paquet de café décaféiné de masse 250g ?

B. Le bicarbonate de soude

Données : $M(H) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(C) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(N) = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$
Élément sodium : ${}_{11}\text{Na}$ $M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g.mol}^{-1}$
Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
Pression atmosphérique : 1013 hPa

« Le bicarbonate de soude (appelé aussi bicarbonate de sodium, ou hydrogénocarbonate de sodium) est couramment utilisé dans les préparations alimentaires sous le code E500.

Le bicarbonate dégage du gaz dioxyde de carbone selon deux réactions :

- A température ambiante, il réagit avec les acides : par exemple, avec l'acide citrique des agrumes, il donnera du citrate de sodium, du gaz carbonique et de l'eau. Une pâte pourra donc commencer à « buller » avant d'être enfournée lorsqu'il y a un acide naturellement présent dans un des composants. Ce peut être de l'acide citrique, de l'acide ascorbique, de l'acide lactique (dans le lait entre autres), de l'acide malique... on trouve ces acides naturellement dans de nombreux aliments, et en particulier dans les fruits.
- Une fois chauffé au dessus de 60-70 °C, il libère du gaz dioxyde de carbone, du carbonate de sodium et de l'eau. Le carbonate de sodium, lorsqu'il est produit en quantité trop importante, peut laisser un goût légèrement amer.

Dans le pain d'épice, qui est mis au repos avant cuisson, le bicarbonate de soude réagit avec les acides présents dans le miel avant d'être enfourné, et finit de réagir avec la chaleur pendant la cuisson.

Dans certaines recettes, le bicarbonate est mis volontairement en excès pour qu'il reste du carbonate de sodium dans le produit final. C'est le cas par exemple des « spéculos » et des « digestive biscuits » qui ont un goût caractéristique et sont connus pour leurs vertus digestives... dues au bicarbonate ! La couleur brune des spéculos, et dans une moindre mesure celle du pain d'épice, est due aux réactions occasionnées par le bicarbonate. »

Source :



L'ion hydrogénocarbonate est un ion polyatomique de formule HCO_3^- .

6. Comment appelle-t-on une espèce chimique telle que l'hydrogénocarbonate de sodium ?
7. Quels sont les ions qui composent cette espèce chimique ? Justifier soigneusement.

Un gâteau a été réalisé avec un sachet entier de levure alsacienne.

Un sachet de 11,0 g de levure alsacienne contient 6,0 g d'hydrogénocarbonate de sodium NaHCO_3 .

Lors de la réaction chimique avec les acides présents dans la préparation culinaire, la quantité de dioxyde de carbone produit est identique à la quantité d'hydrogénocarbonate de sodium consommé. C'est ce gaz produit qui fait lever le gâteau dans le four... !

8. Quelle est la quantité de matière d'hydrogénocarbonate de sodium dans un sachet de levure ?

On suppose que la totalité des ions hydrogénocarbonate a été consommée pendant la cuisson au four, à 150°C et à la pression atmosphérique, pour produire du dioxyde de carbone.

9. En déduire la quantité de dioxyde de carbone produit lors de la cuisson.

Pour la suite, on prendra $n(\text{CO}_2) = 0,1 \text{ mol}$ si la réponse à la question précédente n'a pas été trouvée.

10. En théorie, en supposant le dioxyde de carbone comme un gaz parfait, quel volume de gaz est produit au cours de la cuisson ?
11. **BONUS** Quelles hypothèses n'ont pas été prises en compte et conduisent à un résultat plus important que ce que l'on observe habituellement ?
12. Donner la formule brute et le schéma de Lewis du dioxyde de carbone.

On donne la formule brute d'une autre molécule : $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$.

13. Donner les formules semi-développées de 3 de ses isomères.

Pour améliorer le gâteau on peut y ajouter un peu de matière grasse en y ajoutant 12 mL d'huile.

14. L'huile de tournesol ayant une densité de 0,918, quelle masse d'huile faut-il peser ?