

EAI PHC 1

SESSION 2020

---

**AGRÉGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER**

**Section : PHYSIQUE CHIMIE**

**COMPOSITION SUR LA PHYSIQUE  
ET LE TRAITEMENT AUTOMATISÉ DE L'INFORMATION**

Durée : 5 heures

---

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

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

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

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

Tournez la page S.V.P.

A

## INFORMATION AUX CANDIDATS

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

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

► **Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1500C	101	0385

► **Concours interne du CAER / Agrégation de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1500C	101	0385

« J'appelle image d'abord les ombres ensuite les reflets qu'on voit dans les eaux, ou à la surface des corps opaques, polis et brillants et toutes les représentations de ce genre ». Platon, *La République*, Livre VI, (484a - 511e).

Ce sujet porte sur la formation d'images notamment dans le domaine médical. Aujourd'hui au format numérique, elles sont stockées puis analysées de manière quantitative pour faciliter les diagnostics. Avec des résolutions toujours plus élevées, des contrastes mieux adaptés aux besoins, elles sont au cœur du progrès médical.

Le sujet est composé de quatre parties indépendantes. Les questions de nature pédagogique sont identifiées par le symbole (QP). Elles représentent environ vingt pourcents du total des points attribués.

## Plan

- Partie I. Œil et microscope
- Partie II. Échographie
- Partie III. Tomographie par émission de positons
- Partie IV. Imagerie numérique

ANNEXE 1 : Extrait du programme de physique-chimie de la classe de seconde générale et technologique

ANNEXE 2 : Extrait du programme de Physique-Chimie du Cycle 4

ANNEXE 3 : Extrait du programme de physique-chimie pour la santé de la classe de première ST2S

ANNEXE 4 : Partie d'un Sujet Zéro d'épreuve commune de contrôle continu de l'enseignement de spécialité physique-chimie – Classe de première de la voie générale

ANNEXE 5 : Extrait de fiche technique d'oscilloscope numérique

DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE

### Données numériques :

Masse de l'électron :  $m_e = 9,109 \times 10^{-31}$  kg

Masse du proton :  $m_p = 1,672 \times 10^{-27}$  kg

Masse du neutron :  $m_n = 1,675 \times 10^{-27}$  kg

Charge élémentaire :  $e = 1,602 \times 10^{-19}$  C

Constante de Planck :  $h = 6,62 \times 10^{-34}$  J · s

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,31$  J · K<sup>-1</sup> · mol<sup>-1</sup>

Célérité de la lumière dans le vide :  $c_0 = 3,00 \times 10^8$  m · s<sup>-1</sup>

Coefficient adiabatique de l'air :  $\gamma = 1,4$

Masse molaire de l'air :  $M_{air} = 29$  g · mol<sup>-1</sup>

Masse volumique de l'eau :  $\rho_{eau} = 1,00 \times 10^3$  kg · m<sup>-3</sup>

Coefficient de compressibilité isentropique de l'eau :  $\chi_s = 5,1 \times 10^{-10}$  Pa<sup>-1</sup>

Viscosité dynamique du sang :  $\eta = 6 \times 10^{-3}$  Pa · s

## Partie I. Œil et microscope

### 1) L'œil : Récepteur ou source de lumière ?

« Dans l'Antiquité, Homère admet que les corps brillants émettent de la lumière. Au rang de ceux-ci il y a les yeux. La vision est attribuée à une projection de rayons visuels par l'œil. Cette idée subsistera fort longtemps et ne sera réfutée qu'au XI<sup>ème</sup> siècle par le savant musulman Ibn al Haytham » (Histoire de la physique par J. Rosmorduc).

**QP1.** Citer les principales conceptions initiales que l'on peut rencontrer chez les élèves en classe de seconde générale et technologique à propos de la vision humaine. Décrire avec précision comment le professeur de physique-chimie peut faire émerger ces conceptions initiales. L'annexe 1 propose un extrait du programme de physique-chimie de la classe de seconde générale et technologique.

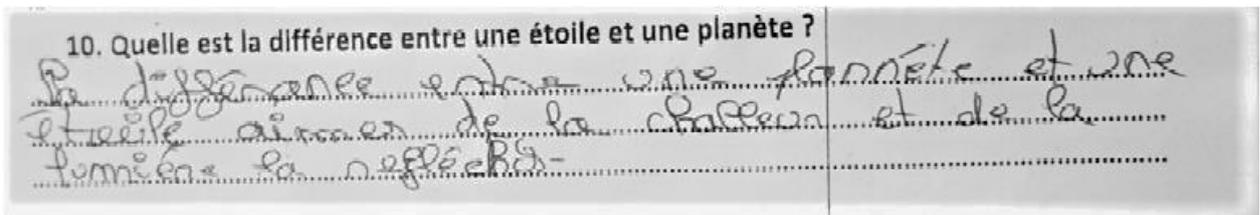
**QP2.** Un professeur montre à des élèves d'une classe de seconde l'image d'un objet étendu obtenue sur un écran à l'aide d'une lentille mince convergente. Il place ensuite un cache qui recouvre la moitié de la surface de la lentille.

Qu'observe-t-on sur l'écran ? Interpréter les éléments constitutifs de cette observation. Quel modèle utilisé par le professeur dans le cours relatif à la notion « Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente » d'une classe de seconde peut contribuer à la construction, chez l'élève, de conceptions erronées sur ce thème ? Justifier

Le professeur retire ensuite le cache.

Est-il possible de voir l'image s'il n'y a pas d'écran ? Si oui, comment et où ? Si non, pourquoi ? Quelle fausse représentation cette manipulation permet-elle éventuellement de déconstruire ?

**QP3.** Dans le cahier d'un élève d'une classe de quatrième, dans le chapitre « Signaux lumineux », on trouve la trace écrite suivante :

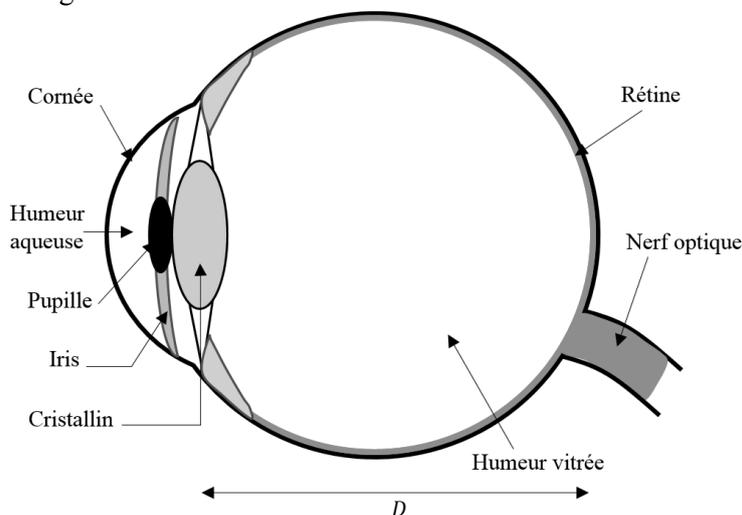


Identifier l'implicite présent dans la question posée par le professeur. Relever les principales difficultés liées à la maîtrise de la langue qui apparaissent comme un obstacle aux apprentissages de cet élève.

Proposer de manière succincte des modalités pour effectuer une remédiation.

L'annexe 2 propose un extrait du programme de physique-chimie du cycle 4.

Pour former des images, le premier instrument utilisé par l'homme est bien sûr son œil. Un schéma simplifié de l'œil est proposé sur la Figure 1.



**Figure 1 : Schéma descriptif de l'œil**

Les principaux éléments constitutifs de l'œil qui sont étudiés dans cette partie sont :

- l'ensemble iris-pupille : c'est un diaphragme circulaire qui limite le faisceau lumineux entrant dans l'œil. Son diamètre  $d$  est compris entre 2 mm et 8 mm ;
- le cristallin : c'est une lentille convergente dont on peut faire varier la vergence grâce à un effort musculaire ;
- la rétine : elle joue le rôle d'écran sur lequel se forment les images. Elle est constituée d'un ensemble de cellules photosensibles dont la taille  $r$  est de l'ordre de  $2,5 \mu\text{m}$  ;
- l'humeur vitrée : c'est un milieu d'indice  $n = 1,34$  dans lequel se propage la lumière entre le cristallin et la rétine ;
- l'humeur aqueuse : c'est un liquide biologique maintenant la pression intra-oculaire et la forme du globe oculaire ;
- la cornée : c'est la partie transparente du globe oculaire. Elle transmet la lumière vers le cristallin.

On donne la distance cristallin-rétine :  $D = 1,5 \text{ cm}$ .

**Q4.** Représenter le modèle de l'œil réduit.

Grâce à la capacité d'accommodation de l'œil, l'observateur peut voir net des objets situés entre le *punctum proximum* (point le plus près) et le *punctum remotum* (point le plus loin). Un œil emmétrope dit "normal" possède un *punctum remotum* situé à l'infini ; lorsque qu'un observateur regarde un objet situé à l'infini, ses yeux supposés emmétropes sont au repos.

**Q5.** Pour un œil "normal", schématiser la situation de vision d'un objet à l'infini et donner, dans ce cas, la valeur de la distance focale  $f'_\infty$  de la lentille de l'œil réduit.

**Q6.** On admet que la distance entre un œil « normal » et son *punctum proximum* est de 25 cm, schématiser la situation de vision d'un objet au *punctum proximum* et donner la valeur de la distance focale  $f'_{pp}$  de la lentille de l'œil réduit dans cette situation.

**QP7.** Après un cours sur les défauts de l'œil, un élève en classe de première ST2S pose la question suivante : « pourquoi une personne souffrant d'hypermétropie peut éprouver une fatigue oculaire allant jusqu'à lui causer des maux de têtes ? ». Proposer une réponse précise à cette question et illustrer cette réponse donnée à l'élève d'un schéma faisant apparaître le *punctum proximum* et le *punctum remotum*. L'annexe 3 propose un extrait du programme de physique-chimie pour la santé de la classe de première ST2S.

**Q8.** À cause de la taille non nulle des récepteurs de l'œil, un observateur voit net des objets situés à des distances différentes pour une même accommodation. La profondeur de champ correspond à l'intervalle de positions dans lequel doit se trouver un objet pour qu'il soit vu net par l'observateur. En négligeant les effets d'aberration et la diffraction, un objet ponctuel est considéré comme net si la taille de la tache image formée sur le capteur est inférieure à la taille  $r$  d'une cellule photosensible de la rétine.

Pour un œil "normal" au repos, et pour un objet ponctuel situé à la distance  $L$  de l'œil, proposer une construction des rayons (sans respect de l'échelle) et déterminer la taille de la tache sur le capteur. Au-delà de quelle distance  $L_0$  exprimée en fonction de  $f_\infty$ ,  $d$  et  $r$ , peut-on dire que l'image est nette ? Commenter l'expression obtenue.

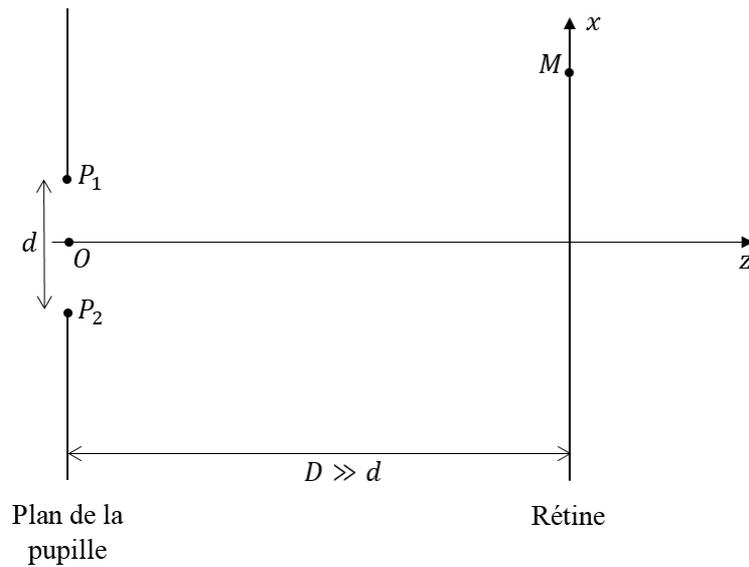
**Q9.** Calculer  $L_0$  pour  $d = 2 \text{ mm}$  et  $d = 8 \text{ mm}$ . Commenter les valeurs numériques.

Pour pouvoir distinguer les détails d'un objet, il ne suffit pas que ce dernier soit situé dans la zone d'accommodation. Il faut aussi que ces détails ne soient pas trop petits. Pour pouvoir séparer deux points de l'image, il faut que ces derniers stimulent deux cellules photosensibles différentes.

**Q10.** On considère un œil en accommodation maximale, c'est-à-dire regardant un objet situé à son *punctum proximum*. Quelle est la distance minimale, dans un plan orthogonal à l'axe optique de l'œil, entre deux objets que l'œil peut distinguer ?

Le pouvoir de résolution de l'œil est susceptible d'être limité par le phénomène de diffraction. Afin de retrouver l'ordre de grandeur du rayon de la tache de diffraction sur la rétine pour un œil au repos, on considère le modèle suivant : le plan de la pupille est composé d'une infinité de sources ponctuelles de même

amplitude, cohérentes entre elles et émettant des ondes monochromatiques de longueur d'onde  $\lambda$  en phase. Afin de simplifier les calculs, on se place dans un plan contenant l'axe optique et on suppose que la distance  $D$  entre la pupille et l'écran est très grande devant le diamètre de la pupille  $d$ . On considère la configuration représentée sur la Figure 2 où le point  $O$  est au centre de la pupille et  $P_1$  et  $P_2$  sont sur les bords.



**Figure 2 : Diffraction par la pupille de l'œil**

**Q11.** Que veut dire « sources cohérentes entre elles »?

**Q12.** Décrire en quelques mots le phénomène de diffraction.

**Q13.** À l'aide d'arguments de symétrie, décrire quelle sera la forme de la figure formée sur la rétine. Donner l'expression de la différence de marche en  $M$  :  $\delta(M) = (P_2M) - (P_1M)$  en fonction de  $x$ ,  $d$  et  $D$  dans les hypothèses considérées.

En explicitant le raisonnement utilisé, donner un ordre de grandeur du rayon de la tache de diffraction lorsque  $d = 2 \text{ mm}$  pour une valeur de  $\lambda$  à préciser. Commenter en comparant cette taille à celle des cellules constituant la rétine.

## 2) Le microscope

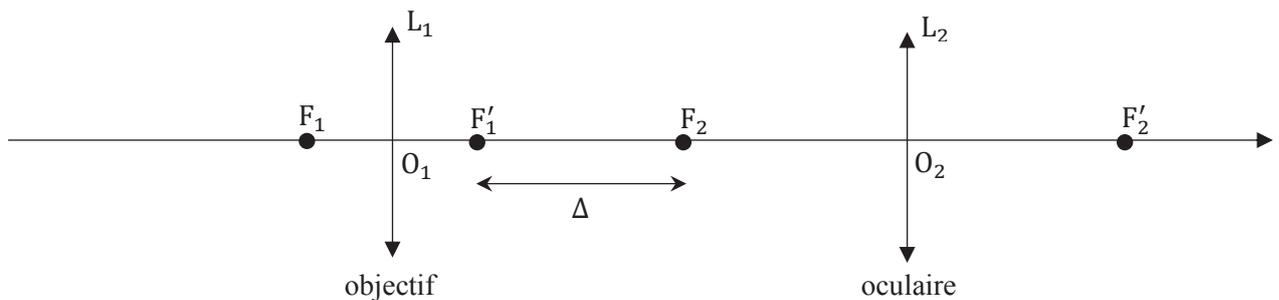
Afin de voir certains détails inaccessibles à l'œil nu, on utilise des instruments d'optique comme le microscope.

Ce dernier peut être modélisé par deux lentilles minces convergentes de même axe optique (voir Figure 3) :

- l'objectif de distance focale  $f_1'$  et de centre  $O_1$  ;
- l'oculaire de distance focale  $f_2'$  et de centre  $O_2$ .

On note respectivement  $F_1$  et  $F_1'$  les foyers objet et image de la lentille  $L_1$  et  $F_2$  et  $F_2'$  les foyers objet et image de  $L_2$ .

On définit la position relative  $\Delta$  des deux lentilles par la « distance algébrique » entre les deux foyers :  $\overline{F_1'F_2} = \Delta$ .



**Figure 3 : Modélisation du microscope**

- Q14.** Énoncer les conditions de l'approximation de Gauss.
- Q15.** Le microscope est réglé de telle sorte que l'image de l'objet observé à travers l'ensemble du dispositif se forme « à l'infini ». Justifier la raison de ce réglage.
- Q16.** Sur un schéma, tracer les rayons permettant de construire l'image  $A'B'$  située « à l'infini » d'un objet  $AB$  obtenue avec ce microscope.
- Q17.** Sur une documentation commerciale, l'oculaire est caractérisé par son grossissement commercial  $G_{oc}$  : rapport entre l'angle sous lequel est vue l'image située à l'infini d'un objet observé à travers l'oculaire seul et l'angle sous lequel est vu ce même objet à l'œil nu lorsqu'il est situé au *punctum proximum*. Pourquoi utilise-t-on la notion de grossissement plutôt que de grandissement ? Illustrer cette notion sur un schéma. Déterminer la distance focale équivalente  $f'_2$  de l'oculaire pour un grossissement commercial  $G_{oc} = 10$ .
- Q18.** L'objectif est caractérisé par la valeur absolue de son grandissement  $\gamma$  lorsque l'image  $A_1B_1$  d'un objet  $AB$ , à travers l'objectif seul, est située en  $F_2$ . Déterminer la distance focale  $f'_1$  de l'objectif en fonction de  $\Delta$  et  $\gamma$ . Faire l'application numérique avec  $\Delta = 170$  mm et  $\gamma = 40$ .
- Q19.** Le grossissement commercial  $G_c$  du microscope est la valeur absolue du rapport de l'angle sous lequel on voit l'objet à travers le microscope et l'angle sous lequel on le voit à l'œil nu lorsqu'il est situé au *punctum proximum*. Déterminer, en le justifiant, le grossissement commercial du microscope en fonction de  $G_{oc}$  et  $\gamma$ .
- Q20.** L'ouverture numérique  $ON$  d'un microscope est définie par la relation :  $ON = n \sin \alpha$ , où  $n$  est l'indice du milieu dans lequel se trouve l'objectif et  $\alpha$  l'angle maximal des rayons issus de l'objet et arrivant sur l'objectif. Une valeur typique pour un objectif placé dans l'air est  $ON = 0,75$ . Les conditions de Gauss sont-elles respectées ? Comment en pratique remédie-t-on à ce problème ?

La résolution spatiale du microscope correspond à la distance minimale entre deux points de l'objet qui seront discernables avec le microscope.

- Q21.** En microscopie, si on ne tient pas compte des aberrations géométriques du système optique, la résolution spatiale  $\varphi$  est limitée par la diffraction. Elle peut être donnée par la relation suivante :

$$\varphi = \frac{0,61 \lambda}{ON}$$

Donner un ordre de grandeur de  $\varphi$ .

- Q22.** Conclure sur l'utilité du microscope par rapport à l'observation à l'œil nu.
- Q23.** En biologie, l'objectif peut être immergé dans l'huile d'indice  $n = 1,515$  pour un échantillon situé entre une lame et une lamelle. Commenter.

Afin de résoudre des détails plus petits, on peut utiliser un microscope électronique utilisant des électrons à la place des photons. Les électrons sont émis par une cathode, pointe de tungstène, et accélérés jusqu'à l'anode. La valeur de la différence de potentiel entre les deux électrodes est de l'ordre de  $20$  kV =  $\Delta V$ . L'ouverture numérique est de  $ON = 0,01$ .

- Q24.** Calculer la vitesse de l'électron. Commenter le résultat. En déduire la longueur d'onde  $\lambda_B$  de de Broglie associée à l'électron.
- Q25.** Évaluer  $\varphi$  pour le microscope électronique. Commenter.

## Partie II. Échographie

Le corps humain n'étant pas transparent aux ondes lumineuses, on utilise pour imager les organes d'autres ondes comme par exemple les ondes sonores. Aux fréquences utilisées comprises entre 2 et 20 MHz, les seules ondes qui se propagent dans le corps humain sont des ondes de compression. Lorsqu'elles rencontrent une interface entre deux milieux différents, comme par exemple la surface d'un organe, une partie de l'énergie est réfléchi. C'est ce qui permet de réaliser des images.

### 1) Équation d'onde

Dans cette partie, on cherche à établir l'équation de propagation d'une onde sonore dans un fluide.

À l'équilibre, le fluide homogène est caractérisé en un point  $M$  par les grandeurs suivantes :

- la masse volumique  $\rho(M) = \rho_0$  ;
- la pression  $p(M) = p_0$  ;
- la vitesse particulaire  $\vec{v}(M) = \vec{0}$ .

On se place dans le cadre de l'approximation acoustique. L'onde représente une perturbation de l'état d'équilibre du fluide dont les grandeurs précédentes sont modifiées de la façon suivante :

- la masse volumique :  $\rho(M, t) = \rho_0 + \rho_1(M, t)$  avec  $|\rho_1(M, t)| \ll \rho_0$  ;
- la pression :  $p(M, t) = p_0 + p_1(M, t)$  avec  $|p_1(M, t)| \ll p_0$  ;
- la vitesse particulaire :  $\vec{v}(M, t) = \vec{v}_1(M, t)$  avec  $|v_1(M, t)| \ll c$ , où  $c$  est la célérité de l'onde dans le fluide considéré.

Toutes les perturbations que l'onde sonore engendre dans le fluide sont faibles devant les grandeurs caractéristiques permettant de considérer que les grandeurs  $\frac{\rho_1}{\rho_0}$ ,  $\frac{p_1}{p_0}$  et  $\frac{v_1}{c}$  sont toutes des infiniment petits du premier ordre.

Le comportement du fluide est gouverné par les équations locales :

- l'équation d'Euler :

$$\rho(M, t) \left[ \frac{\partial \vec{v}(M, t)}{\partial t} + (\vec{v}(M, t) \cdot \overrightarrow{grad}) \vec{v}(M, t) \right] = -\overrightarrow{grad} p(M, t) \text{ (équation 1) ;}$$

- l'équation locale de la conservation de la masse :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}(M, t) + \text{div} [\rho(M, t) \vec{v}(M, t)] = 0 \text{ (équation 2) ;}$$

On introduit le coefficient de compressibilité isentropique du fluide :

$$\chi_s = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_s.$$

**Q26.** Pourquoi ne considère-t-on pas d'onde de cisaillement ?

**Q27.** Pourquoi peut-on considérer la propagation de l'onde comme un phénomène isentropique ?

**Q28.** Linéariser au premier ordre les équations (1) et (2) ainsi que l'expression donnant la grandeur  $\chi_s$ . Déterminer l'équation différentielle vérifiée par  $p_1(M, t)$ . De quel type d'équation s'agit-il ?

**Q29.** En déduire l'expression de la célérité  $c$  des ondes sonores dans le fluide. Effectuer l'application numérique pour l'eau.

**Q30.** On utilise le modèle du gaz parfait pour décrire le comportement d'une onde sonore dans l'air. Établir l'expression du coefficient de compressibilité isentropique. En déduire, à la température  $T$ , l'expression de la célérité des ondes sonores dans l'air en fonction de  $\gamma$ ,  $R$ ,  $T$  et  $M_{\text{air}}$ . Déterminer sa valeur numérique à une température de 20 °C.

### 2) Principe de l'échographie

Les ondes ultrasonores sont utilisées pour réaliser des échographies du corps humain. Cette technique d'imagerie a l'avantage d'être non invasive.

**Q31.** Aux fréquences utilisées en échographie médicale (2 à 20 MHz), on peut considérer, pour simplifier, que les tissus mous du corps humain possèdent des propriétés acoustiques voisines de celles de l'eau.

La taille des plus petits détails observables sur ces images est de l'ordre de la longueur d'onde. Estimer cette dernière pour la gamme de fréquences considérée.

On considère une onde plane progressive monochromatique de pulsation  $\omega$  se propageant suivant l'axe des  $x$  et dont la surpression a pour expression  $p_1(x, t) = p_m \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$ . L'impédance acoustique, caractérisant la « résistance » du milieu au passage de l'onde, est définie par la relation :

$$Z = \frac{p_1}{v_1}$$

où  $v_1$  représente la projection de la vitesse particulière suivant l'axe des  $x$ .

**Q32.** Établir l'expression de l'impédance acoustique  $Z$  pour l'onde considérée en fonction de  $\rho_0$  et  $c$ .

On donne un tableau de valeur des impédances acoustiques pour différents milieux.

Milieu	Impédance acoustique (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
Peau	$2.0 \times 10^6$
Muscle	$1.71 \times 10^6$
Graisse	$1.34 \times 10^6$
Foie	$1.65 \times 10^6$
Rein	$1.63 \times 10^6$
Poumon	$0.18 \times 10^6$
Os	$7.8 \times 10^6$
Air	$0.4 \times 10^3$

**Tableau 1 : Valeurs caractéristiques d'impédances acoustiques** (source : Am. J. Phys. **82** (5), May 2014)

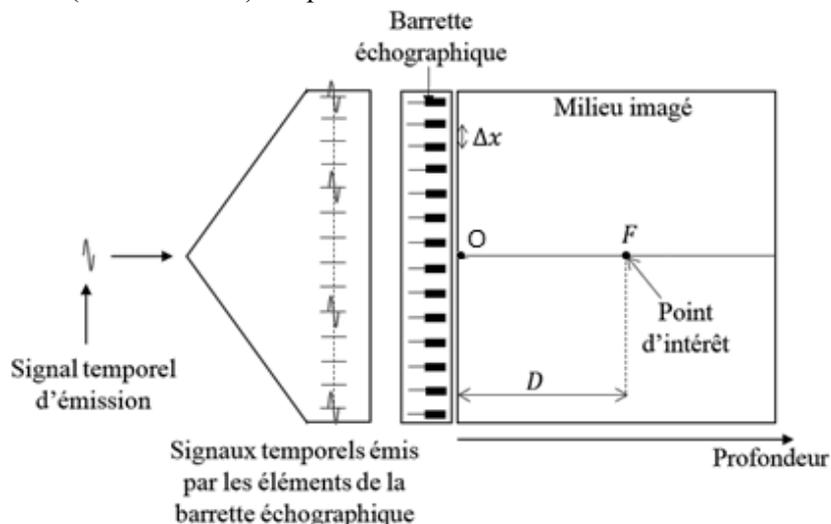
À l'interface entre deux milieux d'impédances acoustiques  $Z_1$  et  $Z_2$ , les expressions des coefficients de transmission  $T$  et de réflexion  $R$  de la puissance acoustique d'une onde se propageant du milieu 1 vers le milieu 2 et arrivant en incidence normale sur l'interface, s'écrivent :

$$R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}\right)^2 \quad T = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

**Q33.** Évaluer les ordres de grandeur des coefficients de réflexion à l'interface tissus mous-air et tissus mous-os. Pourquoi utilise-t-on un gel échographique entre la sonde et le corps humain ? Pourquoi est-il difficile de réaliser des échographies du cerveau ?

**Q34.** En imagerie échographique, on utilise une sonde composée généralement de capteurs piézoélectriques. Quel est le principe physique utilisé par ces capteurs ? Quand et par qui a-t-il été découvert ?

Afin de réaliser une image échographique, on utilise un réseau linéaire de  $N = 128$  capteurs fonctionnant en émission et en réception. Ils constituent la barrette échographique. Chaque élément de cette barrette est numéroté. Les capteurs au-dessus du centre de la sonde échographique sont numérotés de  $i = 1$  à  $i = N/2$ , ceux au-dessous du centre de la sonde échographique sont numérotés de  $i = -1$  à  $i = -N/2$  comme représenté sur la Figure 4. Ils sont espacés d'une distance  $\Delta x = 1 \text{ mm}$  sur la barrette échographique et émettent des impulsions (trains d'ondes) temporelles très courtes de l'ordre d'une microseconde.



**Figure 4 : Emission d'une onde de front d'onde plan par la barrette échographique**

**Q35.** Quel est le nombre typique de périodes contenues dans une impulsion ?

Pour simplifier, nous allons considérer que la barrette échographique génère une onde de front d'onde plan se propageant dans le corps humain. Pour cela, tous les capteurs émettent en même temps la même impulsion comme représenté sur la Figure 4. Les signaux rétrodiffusés par le milieu suite à cette émission sont enregistrés par les  $N$  éléments de la barrette qui passent en mode réception. On dispose donc de  $N$  signaux rétrodiffusés qu'il faut exploiter. On désire extraire la contribution du point  $F$  au centre de l'image, situé à une distance  $D$  de la sonde échographique. Pour cela, on somme les  $N$  signaux rétrodiffusés et reçus par les capteurs en les décalant dans le temps afin que les  $N$  contributions du point  $F$  soient en phase. L'intensité associée à ces  $N$  signaux est codée en niveau de gris sur l'image échographique. C'est l'étape de focalisation en réception.

**Q36.** Déterminer le décalage temporel  $\tau_i$  à appliquer au signal reçu par le capteur  $i$  de la sonde échographique par rapport à un signal fictif reçu en  $O$ , en fonction de  $D, c, i$  et  $\Delta x$ .

**Q37.** On donne  $D = 6 \text{ cm}$ . Calculer la valeur du décalage temporel maximal à appliquer. On admet que  $c = 1,5 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

En pratique, l'étape d'émission est plus compliquée. L'image échographique est découpée en 128 lignes orthogonales à la barrette. On choisit une profondeur de focalisation et on expose séquentiellement le milieu à des faisceaux ultrasonores focalisés à cette profondeur sur chaque ligne. Par conséquent, il y a 128 émissions pour réaliser une image. C'est l'étape de focalisation en émission.

En négligeant les temps de calcul de l'échographe pour les sommations des signaux, le temps d'acquisition de la signature acoustique d'une ligne de l'image est fixé par le temps d'aller-retour des signaux ultrasonores jusqu'à la profondeur maximale imagée.

**Q38.** Calculer ce temps pour une profondeur maximale imagée de 10 cm.

**Q39.** Calculer le temps minimal de réalisation de l'image échographique de 128 lignes. En déduire le nombre maximal d'images par seconde réalisées par cet échographe. Peut-on dire que ce dernier fait de l'imagerie en temps réel ?

**QP40.** L'annexe 4 propose une partie de sujet zéro relatif aux épreuves communes de contrôle continu pour l'enseignement de spécialité physique-chimie de la classe de première de la voie générale. En réponse à la question 3.2., un élève écrit : « *les rayons ultrasonores provenant tous de la même source, la longueur d'onde des ondes utilisées lorsqu'elles traversent l'humeur vitrée est identique à celle traversant la cornée soit  $1,6 \times 10^{-4} \text{ m}$*  ».

- Quel(s) commentaire(s) le professeur est-il amené à apporter sur la copie de l'élève face à cette réponse ?
- Comment cette production serait-elle évaluée par le professeur ?
- En quoi la question 3.3. peut-elle être utile à l'élève pour la résolution de la question 3.4. ?
- Proposer les étapes d'une démarche (avec des éléments quantitatifs) qu'un élève pourrait suivre pour aboutir à une réponse correcte à la question posée en 3.4. Préciser les compétences mises en jeu dans chacune de ces étapes.

### 3) Échographie Doppler

Les échographes peuvent superposer à l'image standard une visualisation des flux sanguins grâce à une mesure de vitesse en utilisant l'effet Doppler.

On considère un émetteur fixe d'ondes ultrasonores et un récepteur se déplaçant sur l'axe ( $Ox$ ) à la vitesse  $\vec{v}$ .



L'émetteur émet une onde monochromatique de fréquence  $f_{em}$  se propageant à la vitesse  $c$  dans le milieu. Le récepteur reçoit une onde de fréquence  $f_{rec}$  alors qu'il se rapproche de l'émetteur.

**Q41.** Établir l'expression de l'écart de fréquence  $\Delta f = f_{rec} - f_{em}$  entre l'émission et la réception en fonction de  $v$ ,  $c$  et  $f_{em}$ .

Dans le cas médical, la barrette échographique est fixe et joue le rôle de l'émetteur et du récepteur. Les globules présents dans le sang réfléchissent l'onde ultrasonore.



Le réflecteur se déplace sur l'axe (Ox) à la vitesse  $\vec{v}$ .

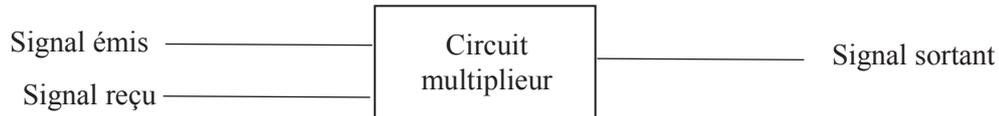
**Q42.** Montrer que dans ce cas l'écart de fréquence entre les signaux émis et reçus par la barrette  $\Delta f_{tot}$  s'écrit, en utilisant le fait que  $v \ll c$  :

$$\Delta f_{tot} = f_{em} \frac{2v}{c} \text{ au premier ordre en } \frac{v}{c}$$

Considérons une onde ultrasonore de fréquence  $f_{em} = 2 \text{ MHz}$  se propageant dans un milieu à la vitesse  $c = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et un réflecteur se déplaçant à la vitesse  $v = 5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Q43.** On utilise un oscilloscope numérique dont un extrait de la fiche technique est fourni en annexe 5. En voie 1, on enregistre le signal émis et en voie 2, le signal reçu. Est-il possible de réaliser la mesure de  $\Delta f_{tot}$  dans la situation considérée pour en déduire la vitesse du réflecteur avec cet oscilloscope ? Justifier votre réponse.

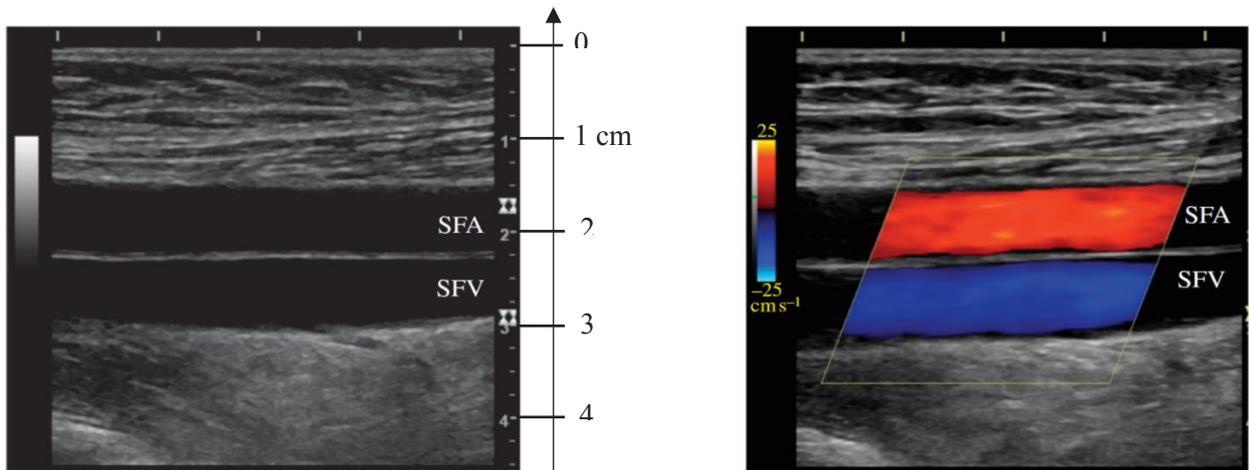
Une méthode de mesure consiste à utiliser une détection synchrone dont le fonctionnement est schématisé ci-dessous.



**Q44.** Quelles sont les fréquences et amplitudes des raies du spectre du signal en sortie du multiplieur si les signaux émis et reçus sont de même amplitude  $A$  ? On note  $k_m$  le coefficient multiplicateur du multiplieur.

**Q45.** Proposer le schéma d'un filtre du premier ordre en sortie du circuit multiplieur permettant d'extraire l'information nécessaire à la mesure de  $v$  ? On donnera des valeurs précises pour les caractéristiques des composants utilisés.

**Q46.** Sur les images de la Figure 5, décrire précisément les écoulements observés et représenter une carte simplifiée du champ des vitesses. Que se passe-t-il au voisinage des parois des veines et des artères ?



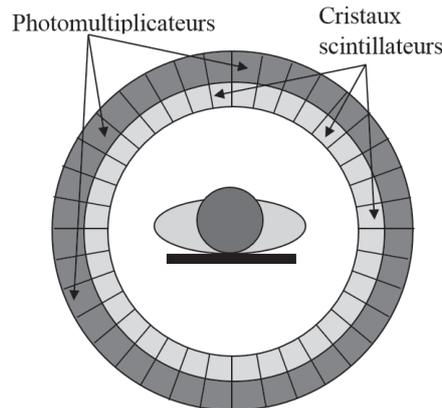
**Figure 5 -** À gauche : image échographique de l'artère (SFA : superficial femoral artery) et de la veine (SFV : superficial femoral vein) fémorales. La sonde échographique a été placée au-dessus de la zone imagée. À droite : superposition de l'image échographique et des informations Doppler. Ces dernières sont obtenues en faisant une nouvelle acquisition de signal en inclinant la sonde par rapport à la première configuration. L'échelle verticale sur la droite est en centimètres. (Source : D. H. Evans et al., Ultrasonic Colour Doppler Imaging, Interface Focus, 1, 490-502 (2011)).

## Partie III. Tomographie par émission de positons

La tomographie par émission (TEP) de positons est une technique d'imagerie médicale nucléaire. Dans un premier temps, un traceur radioactif émettant des positons est injecté au patient.

Ces traceurs radioactifs sont des molécules organiques pour lesquelles un atome ou un groupe fonctionnel a été substitué par un atome radioactif. Un traceur couramment utilisé est un dérivé du glucose permettant d'imager le métabolisme de ce sucre.

Afin de réaliser des images, le patient est placé à l'intérieur du TEP-scan. Dans le corps du patient, les positons issus de la désintégration radioactive subissent une annihilation avec les électrons du milieu générant ainsi des photons X ou  $\gamma$ . Le patient est entouré par des cristaux scintillateurs suivis de photomultiplicateurs comme représenté sur la Figure 6. Un cristal scintillateur est capable de convertir en lumière visible l'énergie des photons X ou  $\gamma$  reçus. Un photomultiplicateur, sensible uniquement à la lumière visible, convertit celle-ci en signal électrique qui peut ensuite être traité.



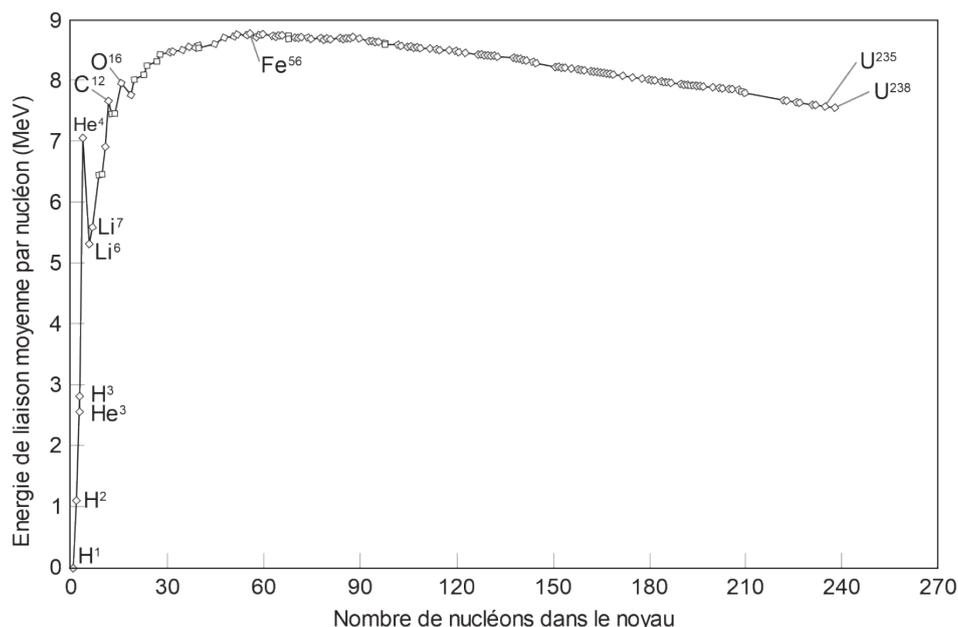
**Figure 6 : Patient placé à l'intérieur du TEP-scan. Les cristaux scintillateurs sont en gris clair et les photomultiplicateurs en gris foncé.**

### 1) Traceurs radioactifs

On considère un atome  ${}^A_ZX$  de la molécule du traceur. La masse du noyau  $M_{noyau}$  de cet atome dépend de son nombre de nucléons et de l'énergie de liaison entre ces derniers. Elle s'écrit :

$$M_{noyau}(Z, A) = Zm_p + (A - Z)m_n - \frac{B}{c_0^2}$$

où  $m_p$  et  $m_n$  désignent respectivement la masse du proton et celle du neutron ;  $B$  est l'énergie de liaison du noyau en valeur absolue.



**Figure 7 : Énergie de liaison par nucléon en fonction du nombre de masse (source : wikipedia)**

**Q47.** Qu'est-ce qu'un positon ?

**Q48.** En excluant les noyaux légers, la courbe de la Figure 7 permet de caractériser la portée des forces d'interaction nucléaire. Caractériser cette portée en justifiant votre réponse par une analyse qualitative.

Afin d'étudier la stabilité des noyaux, on utilise un modèle où l'expression de l'énergie de liaison est donnée par la formule semi-empirique de Bethe-Weizsäcker :

$$B(Z, A) = a_v A - a_{surf} A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_{sym} \frac{(N - Z)^2}{A} + \delta(Z, N)$$

où :

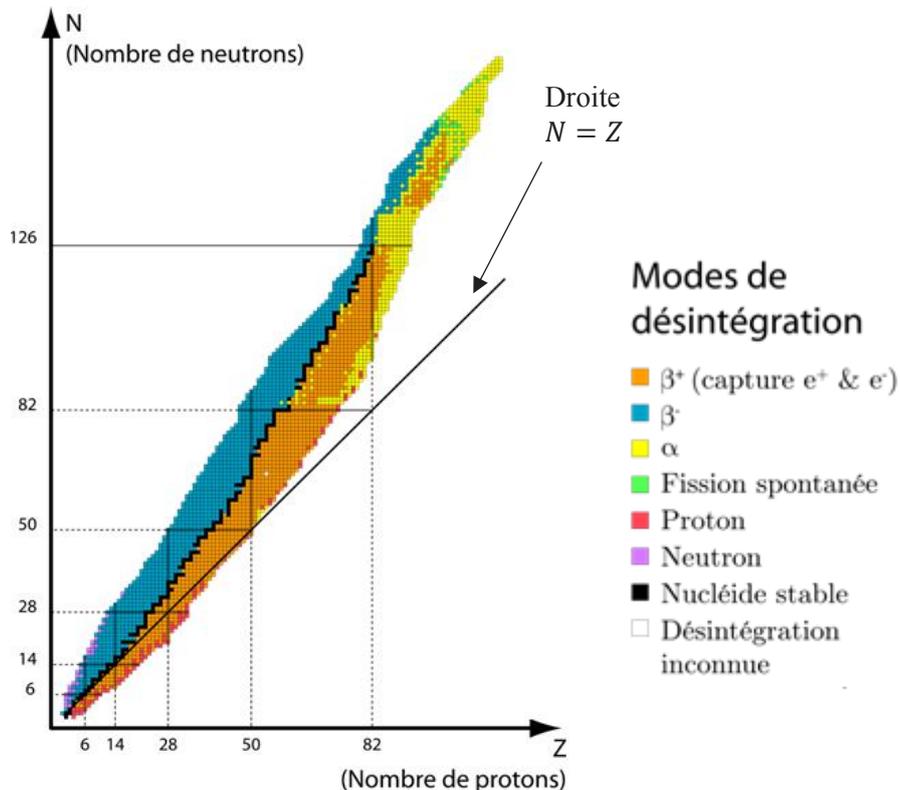
- $N$  est le nombre de neutrons du noyau ;
- $a_v A$  est l'énergie de volume ;
- $- a_{surf} A^{2/3}$  est l'énergie de surface ;
- $- a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}}$  est l'énergie coulombienne ;
- $- a_{sym} \frac{(N-Z)^2}{A}$  est le terme d'asymétrie ;
- $\delta(Z, N)$  est le terme d'appariement :  $\delta(Z, N) = \begin{cases} a_p A^{-1/2} & \text{si } N \text{ et } Z \text{ sont pairs} \\ 0 & \text{si } A \text{ est impair} \\ - a_p A^{-1/2} & \text{si } N \text{ et } Z \text{ sont impairs} \end{cases}$

$a_v$	15,4 MeV
$a_{surf}$	16,9 MeV
$a_c$	0,695 MeV
$a_{sym}$	22,4 MeV
$a_p$	11,2 MeV

**Tableau 2 : Exemple de valeurs issues de la littérature** (source : Acta Phys.Polon. **B37** (2006) 1833-1846)

**Q49.** Déterminer l'expression de  $Z$  du noyau le plus stable pour  $A$  impair fixé en fonction de  $A$ ,  $a_{sym}$  et  $a_c$ .

**Q50.** Commenter votre résultat en le comparant avec les données de la Figure 8.



**Figure 8 : Diagramme du nombre de protons en fonction du nombre de neutrons** (source : Wikipédia)

**Q51.** On donne la liste de noyaux suivants  $^{125}_{51}\text{Sb}$ ,  $^{125}_{52}\text{Te}$ ,  $^{125}_{54}\text{Xe}$  et  $^{125}_{55}\text{Cs}$ . Déterminer le noyau le plus stable. Écrire une réaction de désintégration radioactive de type  $\beta^+$  faisant intervenir deux noyaux de la liste. Faire de même pour une désintégration radioactive de type  $\beta^-$  faisant intervenir deux noyaux de la liste.

## 2) Formation de l'image

Les positons issus de la désintégration radioactive sont freinés jusqu'à l'arrêt par la matière. Ils subissent ensuite une annihilation avec les électrons du milieu générant des photons X ou  $\gamma$ .

**Q52.** Déterminer, en justifiant votre réponse, le nombre minimal de photons émis par annihilation. Donner, dans ce cas, l'énergie de chaque photon et la direction relative de ces photons. On utilisera la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie.

On se place dans ce cas dans la suite de cette partie. Après annihilation au sein des tissus, les photons émis se propagent jusqu'aux cristaux scintillateurs.

**Q53.** Justifier l'utilisation des cristaux scintillateurs.

Pour simplifier, on considère un seul point émetteur dans le corps humain. Un dispositif électronique appelé corrélateur permet d'identifier les photomultiplicateurs détectant des photons émis simultanément. La détection est dite simultanée si les photons sont enregistrés dans un intervalle de temps de l'ordre de 10 ns.

**Q54.** Expliquer à l'aide d'un schéma et d'un calcul d'ordre de grandeur comment l'imagerie par tomographie par émission de positon permet de retrouver la position du point émetteur.

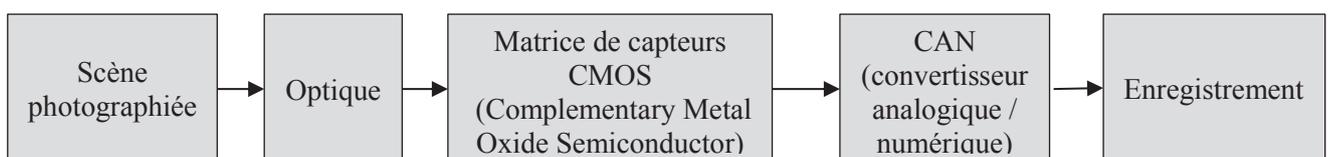
## Partie IV. Imagerie numérique

Afin de traiter, d'analyser et de sauvegarder les images obtenues par les différents appareils d'imagerie, on a recours à la numérisation.

Pour numériser une image, il faut la discrétiser en cellules appelées pixels. Pour une image matricielle, la position d'une cellule dans la matrice correspond à un point dans l'image.

Les informations (couleur et luminosité) relatives à chaque pixel sont représentées grâce à un système de codage. Le plus répandu pour l'affichage des couleurs à l'écran est le codage RGB fondé sur une synthèse additive des trois couleurs (red, green, blue). Les données captées sont numérisées.

Considérons la chaîne ci-dessous de réalisation d'une image numérique réalisée à l'aide d'un appareil photographique:



Elle représente les différentes étapes suivies par l'information depuis la scène originelle à photographier jusqu'au stockage.

### 1) Le capteur

Dans un premier temps, considérons les capteurs CMOS. Ces derniers sont des photodiodes dont le principe de fonctionnement repose sur l'effet photoélectrique.

**Q55.** Décrire l'effet photoélectrique. Qui en proposa la première explication ? Quand fut-elle proposée ?

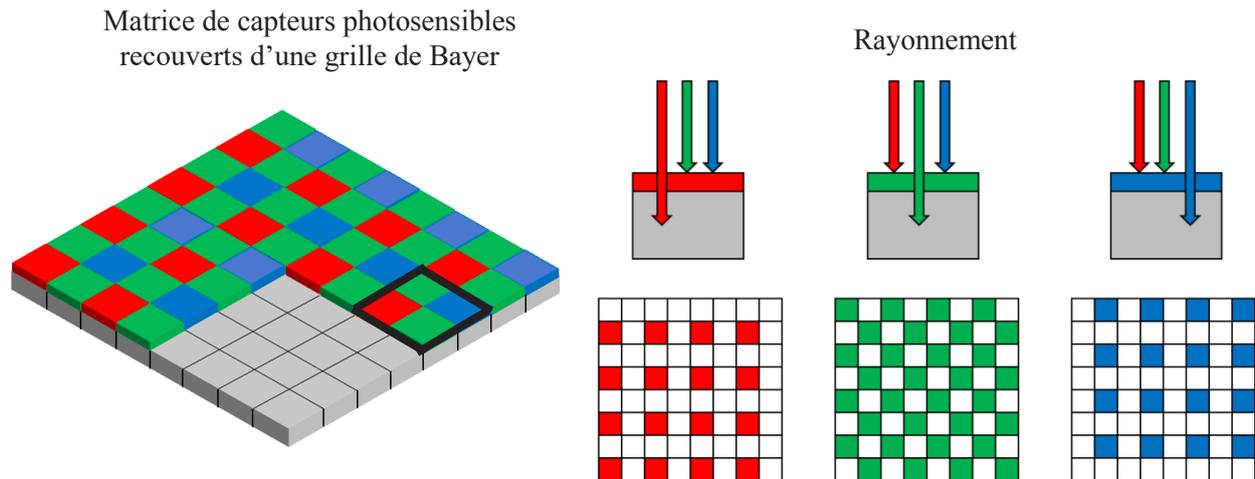
**Q56.** Le capteur CMOS est un composant semi-conducteur. À l'aide d'un diagramme énergétique, expliquer l'origine du photo-courant dans un tel matériau.

On donne pour deux semi-conducteurs la largeur de la bande interdite à 300 K.

Matériau	Largeur de la bande interdite à 300 K
Si	$E_g = 1,12 \text{ eV}$
HgCdTe	$E_g = 0,1 \text{ eV}$

**Q57.** Un de ces semi-conducteurs est utilisé pour réaliser les capteurs CMOS des appareils photographiques, l'autre est utilisé pour réaliser les capteurs de certaines caméras thermiques. Identifier chacun des semi-conducteurs en le justifiant.

La matrice de capteurs CMOS (Figure 9) réalise la discrétisation. Pour avoir une image en couleur, chaque pixel ou photosite est recouvert d'un filtre lui permettant d'être sensible à une seule couleur primaire. Le plus souvent, les filtres sont répartis selon une grille appelée grille de Bayer représentée ci-dessous.



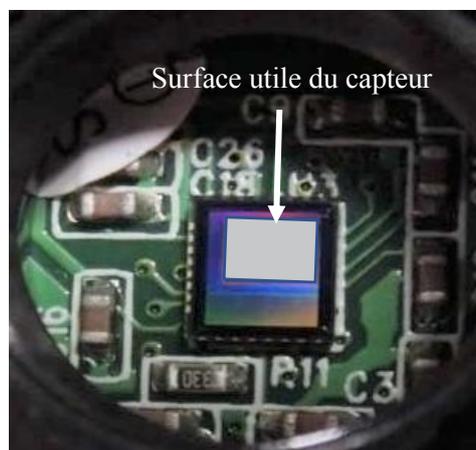
**Figure 9 : Matrice de capteurs CMOS**

Cette matrice est composée de motifs. Chaque motif contient 4 photosites : 2 verts, 1 bleu, 1 rouge comme représenté dans le carré noir.

**Q58.** Expliquer pourquoi ce motif contient cette répartition de couleurs.

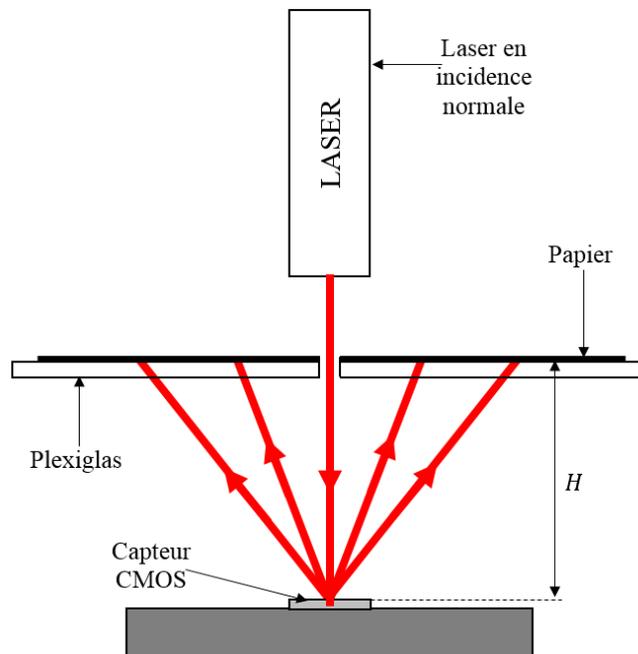
## 2) Caractérisation expérimentale du pas du capteur

On considère le capteurs CMOS de la Webcam Sweex WC156 présenté en Figure 10. La taille des pixels le composant est de  $3,6 \mu\text{m} \times 3,6 \mu\text{m}$ .



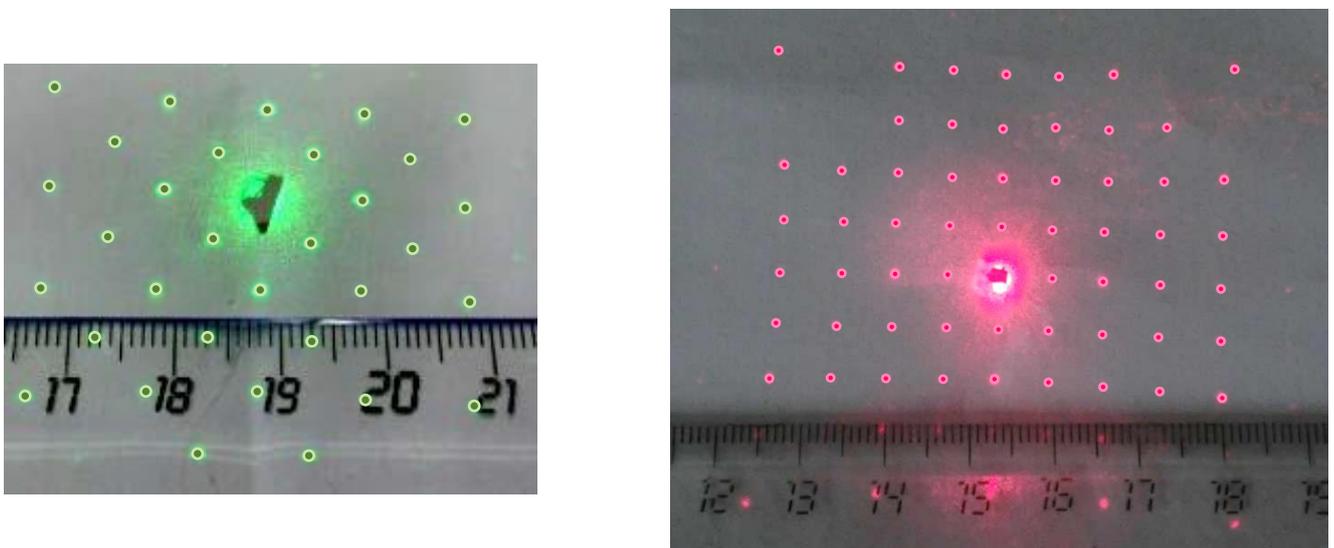
**Figure 10 : Capteur CMOS de la Webcam Sweex WC156**

Ce capteur constitue un réseau de diffraction bidimensionnel étudié en réflexion selon le protocole représenté en Figure 11. Un faisceau laser vertical éclaire en incidence normale la surface réfléchissante du capteur. Une feuille de papier placée sur une plaque de plexiglas horizontale percée pour laisser passer le laser permet de pointer les pics de diffraction dans ce plan. La distance papier/capteur est réglée à  $H = 71 \text{ mm}$ . On note  $a$  la distance entre deux pixels voisins,  $\lambda$  la longueur d'onde du laser utilisé dans le milieu d'indice  $n = 1,0$ .



**Figure 11 : Protocole d'étude du réseau de diffraction**

On éclaire successivement le capteur CMOS par un laser vert de longueur d'onde  $\lambda = 532 \text{ nm}$  et un laser rouge de longueur d'onde  $\lambda = 635 \text{ nm}$ . On obtient les résultats présentés en Figure 12.

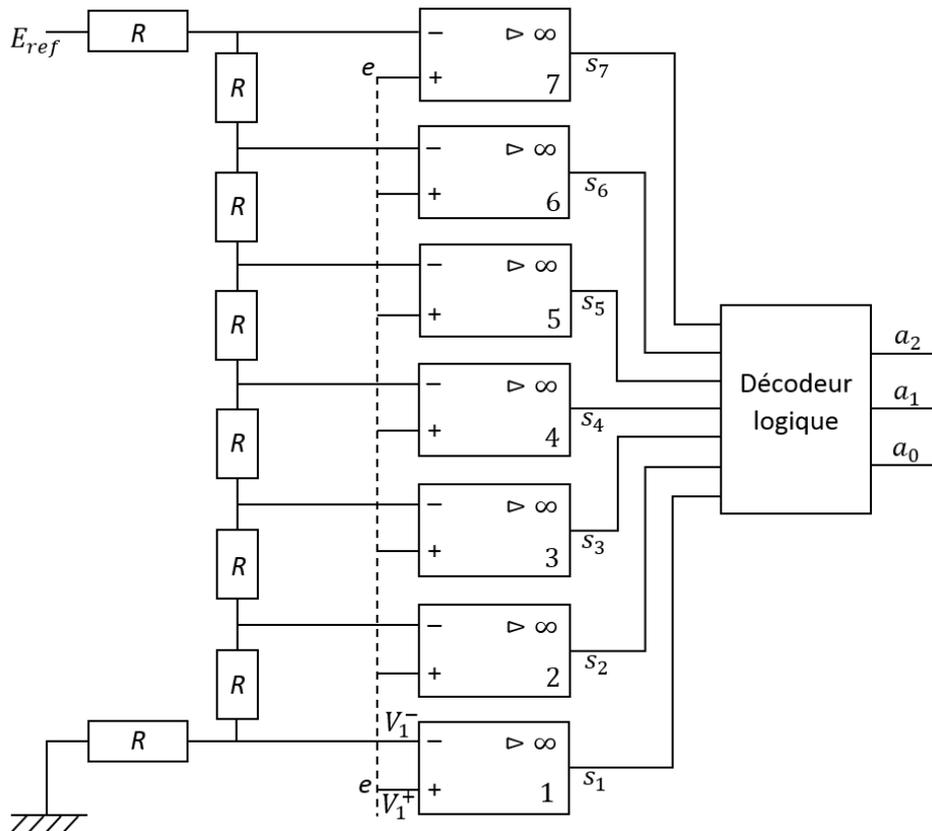


**Figure 12: Pics de diffraction obtenus par l'éclairage du capteur par un laser vert ( $\lambda = 532 \text{ nm}$ , à gauche) et un laser rouge ( $\lambda = 635 \text{ nm}$ , à droite). Les règles présentes sont graduées en centimètres. Les images ont été retraitées pour une meilleure visibilité. (source : [https://www.ac-paris.fr/portail/jcms/p2\\_741954/tp-structure-spatiale-et-laser-diaporama?details=true](https://www.ac-paris.fr/portail/jcms/p2_741954/tp-structure-spatiale-et-laser-diaporama?details=true))**

- Q59.** Expliquer qualitativement la figure de diffraction obtenue avec le laser vert. En déduire le plus petit pas  $a_{vert}$  de ce réseau de pixels vert et la direction de ce pas.
- Q60.** Faire de même pour la figure de diffraction obtenue avec le laser rouge.
- Q61.** Comparer vos résultats aux données relatives au capteur.

### 3) Le CAN (convertisseur analogique-numérique)

Pour réaliser la numérisation des données, on utilise un convertisseur analogique-numérique. L'objectif est d'étudier le principe d'un convertisseur parallèle 3 bits représenté sur la Figure 13.



**Figure 13 : Convertisseur Analogique / Numérique parallèle 3 bits**

La tension analogique à numériser est notée  $e$ . La tension de référence est  $E_{ref} = 8V$ . Le convertisseur est composé de sept amplificateurs linéaires intégrés (ALI) idéaux numérotés de 1 à 7 et utilisés comme des comparateurs simples. La tension  $e$  est appliquée sur chaque borne non inverseuse des ALI (connexion représentée en pointillé sur la Figure 13).

Considérons l'ALI numéro  $i$ , on note  $V_i^+$  la tension à l'entrée « + »,  $V_i^-$  la tension à l'entrée « - » et  $s_i$  la tension de sortie.  $s_i = +V_{sat} = +15V$  correspond à l'état 1 de l'ALI numéro  $i$  et  $s_i = -V_{sat} = -15V$  correspond à l'état 0 de l'ALI numéro  $i$ .

Après les ALI, le décodeur logique permet de convertir le code binaire obtenu en sortie des ALI en code binaire en base 2 sur 3 bits  $a_2a_1a_0$ .

- Q62.** Quelle fonction réalise chaque montage numéro  $i$  ?
- Q63.** Rassembler dans un tableau l'état des ALI et le code  $a_2a_1a_0$  selon la valeur de la tension  $e$ .
- Q64.** Pour un codage sur 16 bits, combien d'ALI seront nécessaires ?

Voici un extrait d'un programme Python décrivant le fonctionnement du CAN présenté en Figure 13 :

Eref=8

```
def conversion(e) :
    if e<1:
        sorties=[0,0,0,0,0,0,0,0]
    elif e>=1 and e<2:
        sorties=[0,0,0,0,0,0,0,1]
    elif e>=2 and e<3:
        sorties=[0,0,0,0,0,0,1,1]
    elif e>=3 and e<4:
        sorties=[0,0,0,0,1,1,1,1]
    elif e>=4 and e<5:
        sorties=[0,0,0,1,1,1,1,1]
    elif e>=5 and e<6:
        sorties=[0,0,1,1,1,1,1,1]
    elif e>=6 and e<7:
        sorties=[0,1,1,1,1,1,1,1]
    else:
        sorties=[1,1,1,1,1,1,1,1]
    return sorties
```

**Q65.** Modifier, en ajoutant des commentaires, ce programme sur le document réponse à joindre avec la copie pour qu'il affiche les valeurs de la sortie du décodeur logique.

# ANNEXES

# ANNEXE 1 : Extrait du programme de physique-chimie de la classe de seconde générale et technologique

<b>2. Vision et image</b>	
<p>La partie « Optique » vise à consolider le modèle du rayon lumineux, à introduire la notion de spectre et à montrer que les phénomènes de réflexion et de réfraction sont bien décrits par des relations mathématiques. Le programme propose également une première approche de la notion d'image d'un objet et de sa formation.</p> <p>De nombreux domaines d'application sont concernés : vision humaine, photographie, astrophysique, imagerie scientifique, arts graphiques et du spectacle. Cette partie du programme est source de nombreuses expérimentations démonstratives et quantitatives.</p> <p><b>Notions abordées au collège (cycle 4)</b> Lumière : sources, propagation, vitesse de propagation. Modèle du rayon lumineux.</p>	
Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
<p>Propagation rectiligne de la lumière.</p> <p>Vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air.</p> <p>Lumière blanche, lumière colorée. Spectres d'émission : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies.</p> <p>Longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.</p> <p>Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. Indice optique d'un milieu matériel.</p> <p>Dispersion de la lumière blanche par un prisme ou un réseau.</p> <p>Lentilles, modèle de la lentille mince convergente : foyers, distance focale.</p> <p>Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente.</p> <p>Grandissement.</p> <p>L'œil, modèle de l'œil réduit.</p>	<p>Citer la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.</p> <p>Caractériser le spectre du rayonnement émis par un corps chaud. Caractériser un rayonnement monochromatique par sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air. Exploiter un spectre de raies.</p> <p>Exploiter les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. <i>Tester les lois de Snell-Descartes à partir d'une série de mesures et déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.</i></p> <p>Décrire et expliquer qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme. <i>Produire et exploiter des spectres d'émission obtenus à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre.</i></p> <p>Caractériser les foyers d'une lentille mince convergente à l'aide du modèle du rayon lumineux. Utiliser le modèle du rayon lumineux pour déterminer graphiquement la position, la taille et le sens de l'image réelle d'un objet plan réel donnée par une lentille mince convergente. Définir et déterminer géométriquement un grandissement. Modéliser l'œil. <i>Produire et caractériser l'image réelle d'un objet plan réel formée par une lentille mince convergente.</i></p> <p><b>Capacité mathématique</b> : utiliser le théorème de Thalès.</p>

## ANNEXE 2 : Extrait du programme de Physique-Chimie du Cycle 4

### Des signaux pour observer et communiquer

Attendus de fin de cycle

- » Caractériser différents types de signaux (lumineux, sonores, radio...).
- » Utiliser les propriétés de ces signaux.

<b>Connaissances et compétences associées</b>	<b>Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève</b>
<p><b>Signaux lumineux</b></p> <p>Distinguer une source primaire (objet lumineux) d'un objet diffusant. Exploiter expérimentalement la propagation rectiligne de la lumière dans le vide et le modèle du rayon lumineux. Utiliser l'unité « année lumière » comme unité de distance. » Lumière : sources, propagation, vitesse de propagation, année lumière. » Modèle du rayon lumineux.</p>	<p>L'exploitation de la propagation rectiligne de la lumière dans le vide et le modèle du rayon lumineux peut conduire à travailler sur les ombres, la réflexion et des mesures de distance. Les activités proposées permettent de sensibiliser les élèves aux risques d'emploi des sources lumineuses (laser par exemple). Les élèves découvrent différents types de rayonnements (lumière visible, ondes radio, rayons X ...)</p>
<p><b>Signaux sonores</b></p> <p>Décrire les conditions de propagation d'un son. Relier la distance parcourue par un son à la durée de propagation. » Vitesse de propagation. » Notion de fréquence : sons audibles, infrasons et ultrasons.</p>	<p>Les exemples abordés privilégient les phénomènes naturels et les dispositifs concrets : tonnerre, sonar... Les activités proposées permettent de sensibiliser les élèves aux risques auditifs.</p>

## ANNEXE 3 : Extrait du programme de physique-chimie pour la santé de la classe de première ST2S

### La propagation de la lumière dans le processus de la vision

Notions et contenus	Connaissances et capacités exigibles <i>Activités expérimentales supports de la formation</i>
<i>Quel est le mécanisme de la vision chez l'être humain ?</i>	
Propagation de la lumière  Description sommaire du mécanisme de la vision	Savoir que la lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène et transparent. Connaître les composants optiques principaux de l'œil et leur rôle respectif : cornée, iris, pupille, cristallin, rétine et nerf optique. Représenter le modèle optique de l'œil.
<i>Comment se forme une image à l'aide d'une lentille ?</i>	
Lentilles minces sphériques convergentes et divergentes ; symboles  Centre optique O, foyers objet F et image F' d'une lentille Distance focale f' et vergence V Formation d'une image par une lentille convergente, caractère réel ou virtuel de l'image, grandissement Principe de la loupe	Tracer la marche des rayons lumineux passant par les points O, F et F' d'une lentille convergente ou divergente.  Construire géométriquement l'image d'un objet réel par une lentille convergente.  Caractériser une image par sa propriété d'être réelle ou virtuelle. Évaluer son grandissement par construction géométrique.  <i>Mettre en œuvre des expériences de formation d'images par une lentille convergente dans des situations simples.</i>
<i>Comment les défauts de la vision sont-ils corrigés ?</i>	
Accommodation Défauts de la vision : myopie, hypermétropie et presbytie Compensation d'une hypermétropie et d'une myopie par des verres correcteurs Vergence d'un système de deux lentilles minces accolées	Expliquer le principe de l'accommodation et l'origine de la presbytie. <i>Mettre en œuvre une expérience illustrant le principe de l'accommodation.</i> Donner la définition d'un œil myope et celle d'un œil hypermétrope. Justifier qualitativement le choix d'un verre correcteur. <i>Mettre en œuvre des expériences illustrant qualitativement le principe de la correction d'un défaut de l'œil.</i> Connaître et utiliser l'expression de la vergence d'un système de deux lentilles minces accolées.

# ANNEXE 4 : Partie d'un Sujet Zéro d'épreuve commune de contrôle continu de l'enseignement de spécialité physique-chimie – Classe de première de la voie générale

## La correction de l'hypermétropie (10 points)

De nombreux défauts de l'œil peuvent être corrigés avec des lunettes. Une vision non corrigée peut influencer sur l'éducation d'une personne, son emploi, sa sécurité et sa qualité de vie.

L'objectif de cet exercice est d'étudier un défaut visuel, sa correction et les résultats d'une échographie oculaire.

### Extrait d'une brochure disponible dans la salle d'attente d'un médecin ophtalmologiste

La lumière pénètre dans l'œil par la cornée, traverse le cristallin et l'humeur vitrée puis arrive sur la rétine. Pour que l'image soit nette, il faut qu'elle se forme sur la rétine. La myopie est une affection qui perturbe la vision d'objets éloignés qui sont alors flous, leur image se formant avant la rétine. L'hypermétropie est une affection qui perturbe la vision d'objets proches qui sont alors flous, leur image se formant après la rétine.

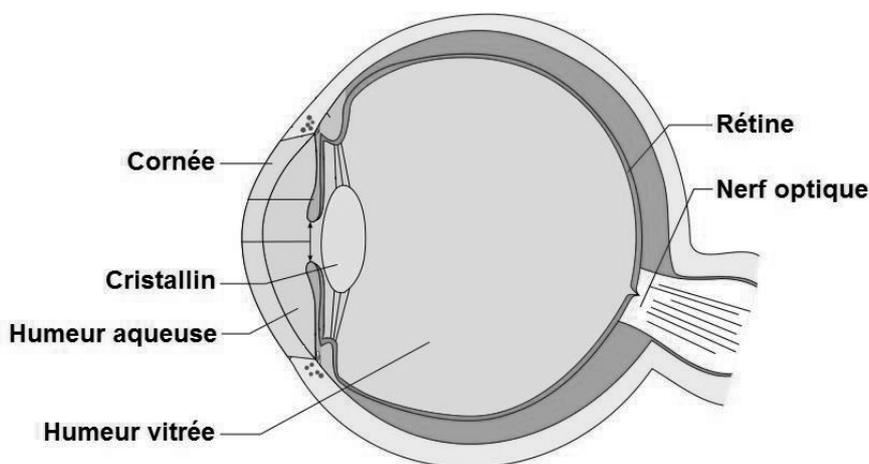


Figure 1 : Schématisation de la structure interne de l'œil humain, d'après [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eye\\_scheme.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eye_scheme.svg)

### Données

- Relation de conjugaison pour une lentille mince :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

- Formule donnant le grandissement  $\gamma$  pour une lentille mince :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

où  $f'$  est la distance focale de la lentille, O le centre optique de la lentille, AB l'objet et A'B' l'image de AB à travers la lentille mince.

- La vergence d'une lentille est égale à l'inverse de sa distance focale ; elle est homogène à l'inverse d'une longueur (en mètres) et s'exprime en dioptries.

### 1. Un défaut visuel : l'hypermétropie

Une élève de première constate, depuis quelques mois, qu'elle rencontre des difficultés pour voir correctement de près. Elle décide d'aller consulter un médecin ophtalmologiste afin de réaliser un bilan ophtalmologique.

**1.1.** Lors de sa visite chez le médecin ophtalmologiste, l'élève apprend qu'elle est hypermétrope. Cela est-il cohérent avec les informations présentes sur la brochure de la salle d'attente ?

**1.2.** Une lettre du texte inscrit sur la brochure est modélisée par un objet AB de hauteur égale à 1,0 cm situé à une distance de 25 cm de l'œil. Dans cette situation, on modélise le cristallin de l'œil hypermétrope par une lentille mince convergente ( $L_1$ ) de centre optique O et de distance focale  $f'_1 = 2,0$  cm.

**1.2.1.** Réaliser un schéma de l'image A'B' de l'objet AB à travers la lentille ( $L_1$ ) en respectant les échelles suivantes :

- échelle horizontale : 1 cm sur la figure représente 2 cm en réalité (échelle 1/2) ;
- échelle verticale : 1 cm sur la figure représente 0,25 cm en réalité (échelle 4).

**1.2.2.** Estimer, à l'aide de la construction géométrique, la taille de l'image A'B'. Commenter le résultat obtenu.

**1.2.3.** Déterminer, par un calcul, la position de l'image sur l'axe optique.

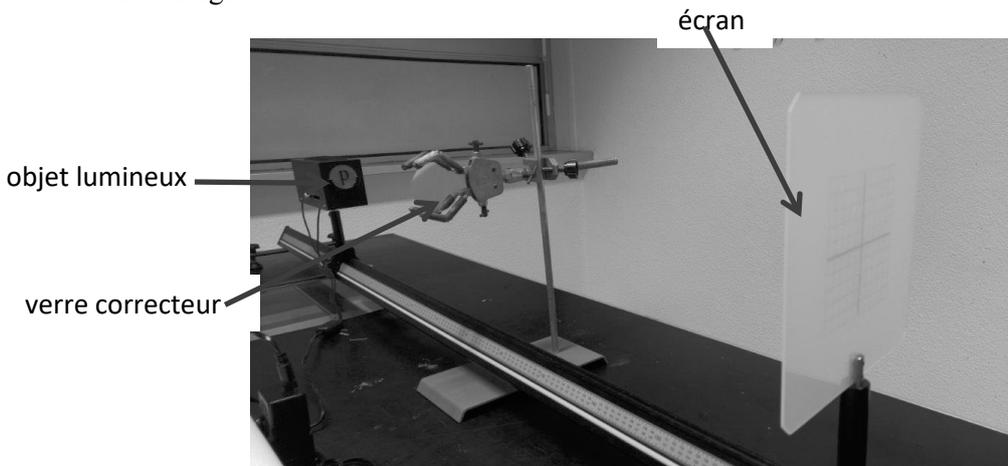
**1.2.4.** Pour cet œil hypermétrope, on estime que la rétine se situe à une distance de 2,0 cm du cristallin. Expliquer qualitativement pourquoi, dans les conditions d'observation précédentes, le texte de la brochure peut être perçu comme flou par l'élève.

## 2. Correction de l'hypermétropie

Suite à sa visite chez le médecin, une paire de lunettes constituée de verres correcteurs est prescrite à l'élève. Le verre correcteur pour l'œil droit possède une vergence égale à +2,25 dioptries.

Au cours d'une séance de travaux pratiques, l'élève souhaite, en utilisant le modèle de la lentille mince convergente, estimer la valeur de la distance focale de la lentille mince convergente modélisant ce verre correcteur.

Pour cela, elle mesure la position de l'image formée par ce verre correcteur, extrait de sa monture, pour différentes positions d'un objet lumineux. Une photographie du dispositif expérimental et les résultats obtenus sont consignés ci-dessous.



$\overline{OA}$ (m)	-0,71	-0,76	-0,86	-0,90	-1,01
$\overline{OA'}$ (m)	1,11	1,02	0,87	0,82	0,69

**2.1.** En exploitant les résultats expérimentaux, déterminer au mieux la valeur de la distance focale de la lentille mince convergente modélisant ce verre correcteur. Commenter le résultat obtenu.

**2.2.** Expliquer qualitativement pourquoi ce verre correcteur permet de corriger ce défaut de vision.

## 3. Échographie oculaire

L'échographie permet d'observer la structure de l'œil et de mesurer sa taille.

### Principe de l'échographie d'un œil

Avant l'échographie, pour le confort du patient, le médecin réalise une anesthésie de la cornée à l'aide de quelques gouttes de collyre anesthésique. Il dépose ensuite du gel ophtalmique stérile à la surface de la cornée et balaie cette surface à l'aide d'une sonde émettant des ultrasons de fréquence égale à 10 MHz. En mesurant notamment des durées séparant le signal émis et les signaux reçus après réflexion (les échos) sur

les différentes parties de l'œil, un système informatique permet d'obtenir une image en nuances de gris. Les amplitudes les plus importantes des ondes réfléchies sont codées en blanc, les plus faibles sont codées en noir.

On peut ainsi mesurer la distance séparant la cornée de la rétine, appelée longueur axiale de l'œil. La longueur axiale d'un œil normal est comprise entre 22 et 24 mm. En deçà de 22 mm, l'œil est trop court, il est hypermétrope. Au-delà de 24 mm, l'œil est trop long, il est myope.

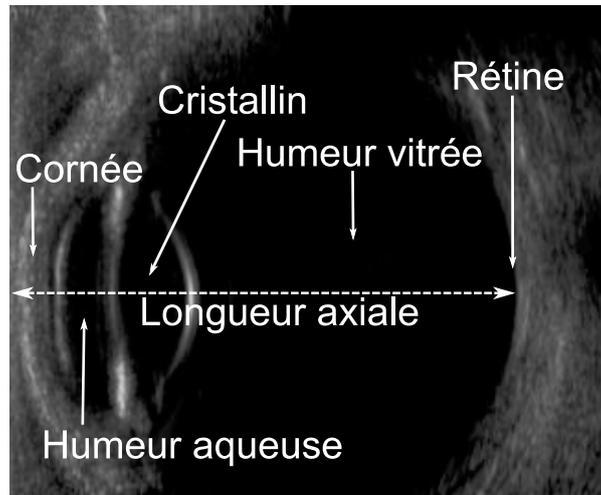


Figure 2 : Image échographique de l'œil, d'après <https://www.ultrasoundpaedia.com/>

Milieu traversé	Cornée	Humeur aqueuse	Cristallin	Humeur Vitrée
Célérité des ultrasons (m·s <sup>-1</sup> )	1620	1532	1641	1532

Durée nécessaire à la réception des principaux échos par la sonde (μs)	0,6	3,6	9,2	27,0
--	-----	-----	-----	------

Figure 3 : Données échographiques reconstituées, d'après le journal de radiologie (vol. 87), Échographie de l'œil et de l'orbite avec un échographe polyvalent, O. Bergès, P. Koskas, F. Lafitte, J-D. Piekarski

- 3.1. Quelle est la nature des ondes utilisées pour réaliser ce diagnostic ?
- 3.2. Déterminer la longueur d'onde des ondes utilisées lorsqu'elles traversent l'humeur vitrée.
- 3.3. Expliquer qualitativement, à l'aide d'un schéma, l'origine de ces quatre échos. On suppose que le gel permet à l'onde ultrasonore de pénétrer dans la cornée sans réflexion sur sa face avant.
- 3.4. Cet œil est-il hypermétrope ?

*L'élève est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.*

# ANNEXE 5 : Extrait de fiche technique d'oscilloscope numérique

## Spécifications des principales performances :

- Bande passante : 200 MHz, 150 MHz, 100 MHz, 70 MHz, 50 MHz et 30 MHz
- Modèles 2 voies
- Fréquence d'échantillonnage atteignant 2 G éch./s sur toutes les voies
- Longueur d'enregistrement atteignant 2,5k points sur toutes les voies
- Déclenchements évolués, y compris déclenchements vidéo sur impulsion et sélectionnables par lignes

## Principales fonctionnalités :

- Écran couleur TFT 7" WVGA (800 × 480)
- 34 mesures automatiques
- Double fenêtre FFT : affiche simultanément les domaines temporel et fréquentiel
- TrendPlot™ : test intégré des valeurs limites des signaux
- Compteur de fréquences 2 voies
- Fonction Zoom
- Fonction de sauvegarde automatique et complète des données
- Réglage et détermination automatiques de la plage des signaux
- Aide contextuelle intégrée
- Interface utilisateur multilingue



**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

# DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE

Programme Python à modifier et à commenter :

Eref=8

```
def conversion(e):
    if e<1:
        sorties=[0,0,0,0,0,0,0,0]
    ##
    elif e>=1 and e<2:
        sorties=[0,0,0,0,0,0,0,1]
    ##
    elif e>=2 and e<3:
        sorties=[0,0,0,0,0,1,1]
    ##
    elif e>=3 and e<4:
        sorties=[0,0,0,0,1,1,1]
    ##
    elif e>=4 and e<5:
        sorties=[0,0,0,1,1,1,1]
    ##
    elif e>=5 and e<6:
        sorties=[0,0,1,1,1,1,1]
    ##
    elif e>=6 and e<7:
        sorties=[0,1,1,1,1,1,1]
    ##
    else:
        sorties=[1,1,1,1,1,1,1]
    ##
    return sorties
```