

---

**Composition du 1<sup>er</sup> trimestre physique - Chimie (3 As 2)  
Terminale Scientifique**

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 2H15MIN.  
*L'usage de la calculatrice est autorisé.*

---

Ce sujet comporte quatre exercices présentés sur 8 pages, y compris celle-ci. Chaque exercice est précédé d'un texte introductif. Les exercices sont indépendants les uns des autres

SANS MOYEN DE COMMUNICATION, SANS DOCUMENT  
LE 07 DÉCEMBRE 2014.

**Exercice 01** : I. Nature ondulatoire de la lumière (6 points).

I.1 Dispersion (3.5 points)

I.2 Diffraction (2.5 points)

**Exercice 02** : II. Caractéristiques des ondes sonores (4 points)

**Exercice 03** : III. Effet Doppler (6 points)

III.1 Radar routier (3.5 points)

III.2 Application en Astrophysique (2.5 points)

**Exercice 04** : IV. Analyse spectrale (4 points)

IV.1 Partie A (1.5 points)

IV.2 Partie B (1.5 points)

IV.3 Partie C (1 point)

---

**Exercice 01 (6 pts)**

NATURE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE : 1.1 DISPERSION

---

La lumière se propage dans les milieux transparents comme l'eau, le verre, le Plexiglas ...etc. C'est une onde électromagnétique (EM), qui n'a pas besoin d'un milieu matériel pour se propager. La propagation est donc possible autant dans le vide que dans les milieux transparents. Soit  $v$  la célérité d'une radiation lumineuse monochromatique dans le milieu considéré. L'indice de réfraction de ce milieu (le verre par exemple) est défini par la relation :  $n = c/v$ .  $c$  est la célérité de la lumière dans le vide,  $n$  est donc une grandeur sans unité. On dit alors que le verre est un milieu dispersif :  $n = n(\nu)$  ou  $n = n(\lambda)$ . Dans ce cas, on doit alors préciser la valeur de l'indice pour chaque radiation lumineuse monochromatique.

L'indice de réfraction d'un verre pour une radiation monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  est donnée par la formule de Cauchy :

$$n_{\text{verre}} = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (1)$$

Dans cette formule A et B sont des constantes.

1. Quelles sont les dimensions, dans le système international, de A et B?
2. L'indice vaut  $n_r = 1.618$  pour la radiation rouge ( $\lambda_r = 768 \text{ nm}$ ). L'indice vaut  $n_v = 1.652$  pour la radiation violette ( $\lambda_v = 434 \text{ nm}$ ). Tenant compte de ces données, calculer les valeurs des constantes A et B.
3. Calculer la valeur de l'indice pour la radiation jaune, avec  $\lambda_j = 589 \text{ nm}$ .
4. Démontrer la relation qui associe la longueur d'onde d'une radiation réfractée dans le verre ( $\lambda_{\text{verre}}$ ), l'indice de ce milieu ( $n_{\text{verre}}$ ) et la longueur d'onde de cette radiation ( $\lambda$ ) dans le vide.

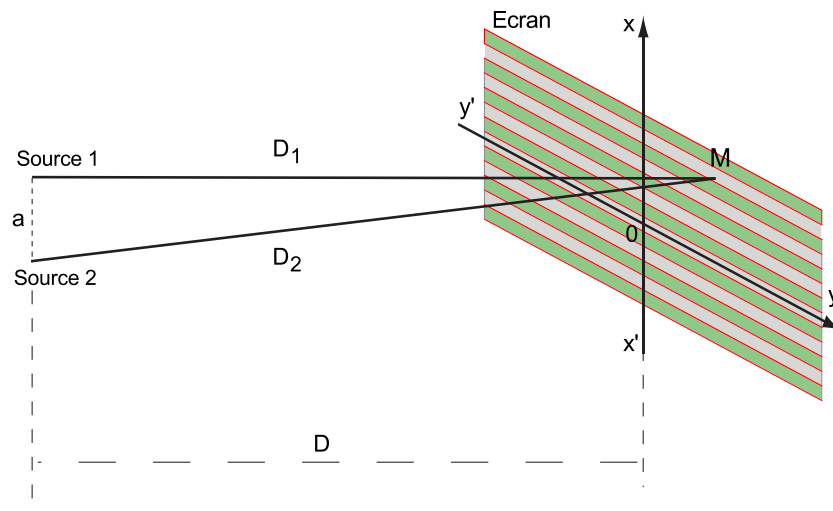
---

NATURE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE : 1.2 DIFFRACTION

---

Le phénomène de diffraction de la lumière confirme son caractère ondulatoire. La diffraction de la lumière a lieu uniquement lorsque les dimensions

(a) de l'ouverture ou de l'obstacle sont du même ordre de grandeur que la longueur d'onde, soit :  $a \simeq \lambda$



À partir de la figure ci-dessus, les ondes lumineuses monochromatiques issues des sources 1 et 2 ne parcourent pas la même distance. Les ondes issues de la source 1 parcourent moins de temps pour atteindre le  $M$  sur l'écran comparativement à celles issues de la source 2. Cette différence de trajet porte le nom de différence de marche qui vaut dans ce cas :  $D_2 - D_1$ . Les franges brillantes (interférences constructives) ont une différence de marche égale à  $k\lambda = ax/D$ . Les franges sombres (interférences destructives) ont une différence de marche égale à  $(2k + 1)\lambda = ax/D$ .

1. Quelle condition doivent remplir les sources d'ondes 1 et 2 pour réaliser des interférences ?
2. Les franges situées à 1, 2, 3 et 4 (mm) de la frange centrale, sont-elles sombres ou brillantes ? Justifier toutes les affirmations.

Données :  $\lambda = 546 \text{ nm}$ ,  $a$  (distance séparant les deux sources) =  $0.1 \text{ mm}$  et  $D = 1 \text{ m}$ .  $x$  traduit la position moyenne d'une frange.

---

**Exercice 02 (4 pts)**  
CARACTÉRISTIQUES DES ONDES SONORES

---

Les sons audibles par l'oreille humaine ont des fréquences comprises entre  $20\text{Hz}$  et  $20\text{kHz}$ . On perçoit ces sons de façon plus au moins intense. La grandeur  $I$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] caractérise l'intensité des ondes sonores. Cette dernière est le quotient de la puissance acoustique  $P$  (watts) par la surface  $S$  ( $\text{m}^2$ ) de réception à une distance donnée ( $I = P/S$ ). Comme le son est une onde tridimensionnelle qui se propageant de manière isotrope (toutes les directions sont équivalentes), la surface à considérer est une sphère de rayon  $R$ . L'amplitude des intensités que peut percevoir l'oreille humaine varie dans une gamme qui s'étend de  $10^{-12}$  à  $10^2$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] ce qui donne de très grandes variations (soit une variation de  $10^{14}$ ). Pour cette raison, on adopte une échelle logarithmique (logarithme décimal) : le niveau sonore ( $L$ ). Ainsi, l'échelle de  $L$  est graduée de 0 à 140 dB

Soit un ensemble de dix violons analogues. Chaque violon produit un niveau sonore de 72 dB (décibel).

1. Quelles sont les grandeurs, issues de l'analyse spectrale, qui caractérisent un son musical ?
2. Déterminer l'intensité sonore produite par un seul violon.
3. Déterminer le niveau sonore des dix violons jouant ensemble.
4. On mesure désormais le niveau sonore à une distance de 1 m, on trouve une valeur du niveau sonore qui vaut : 62 dB. Déterminer le niveau sonore à une distance de 2 m.

Nous rappelons que :  $\text{Log}(A \times B) = \text{Log}(A) + \text{Log}(B)$

$$\text{Log}\left(\frac{A}{B}\right) = \text{Log}(A) - \text{Log}(B)$$

$$\text{Log}(A^k) = k \times \text{Log}(A)$$

Donnée :  $I_0 = 10^{-12}$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] est le seuil d'audibilité  
la surface d'une sphère vaut :  $S = 4\pi R^2$ .

---

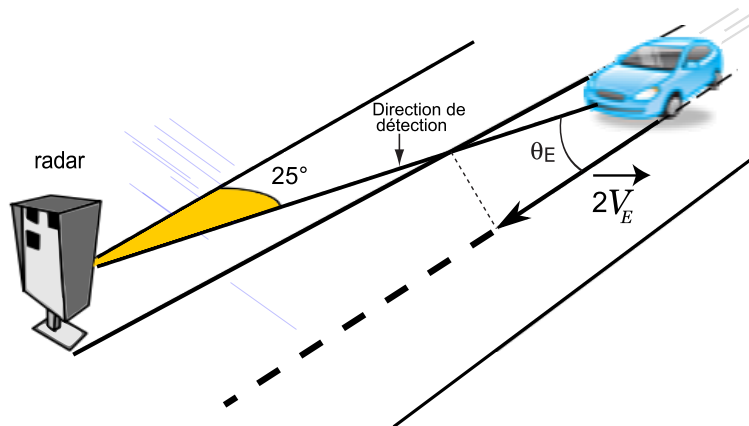
### Exercice 03 (6 pts)

#### 3.1 EFFET DOPPLER DANS LES CINÉMOMÈTRES

---

Afin de calculer la vitesse des véhicules, les radars de contrôle routier émettent une onde périodique avec une fréquence donnée et mesurent la différence de fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchi par le véhicule en question. Lorsque le véhicule (la cible) ne se déplace pas dans l'axe du faisceau radar, la vitesse réelle du véhicule doit être corrigée par le cosinus de l'angle de visée. Les radars (cinémomètres) de contrôle de vitesse automobile sont étalonnés pour fournir une vitesse avec un angle de  $25^\circ$  par rapport à l'axe du déplacement du véhicule, comme le montre la figure ci-dessous. Ils existent deux familles de systèmes de radars :

- ceux qui utilisent des ultrasons présentant une gamme de fréquence allant de  $20\text{ kHz}$  à  $10\text{ MHz}$ .
- ceux qui utilisent des ondes électromagnétiques dans les hyperfréquences, de l'ordre de  $10\text{ GHz}$ .



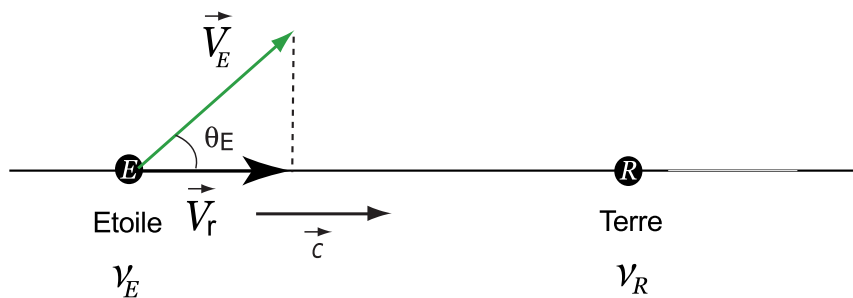
1. Exprimer la vitesse du véhicule en fonction des fréquences émise et reçue par le radar. Le facteur 2 qui apparaît sur la figure ( $2\vec{V}_E$ ) provient du fait que l'onde émise par le radar fait un aller retour (double trajet). Cela introduit alors ce facteur.
2. Calculer la valeur de la vitesse du véhicule.
3. En fonction du signe de  $\Delta\nu = \nu_R - \nu_E$ , déduire si le véhicule s'approche ou s'éloigne du radar.

4. Le véhicule roulant sur une autoroute avec une limitation de vitesse à  $120 \text{ km/h}$ . Le chauffeur sera-il sanctionné tenant compte du fait que les gendarmes peuvent tolérer un dépassement de 5% au regard de la vitesse maximale indiquée sur le panneau.

Données : le radar de type Mesta 208 fonctionnant avec une fréquence  $\nu_E = 9.5 \text{ GHz}$  ( $1 \text{ GHz} \rightarrow 10^9 \text{ Hz}$ ). Il émet cette onde EM à la vitesse de la lumière ( $c = 3.8 \times 10^8 \text{ m/s}$ ). Au passage du véhicule, la variation de fréquence enregistrée par le radar est  $\Delta\nu = \nu_R - \nu_E = 3000 \text{ Hz}$ .

### 3.2 APPLICATION DE L'EFFET DOPPLER EN ASTROPHYSIQUE

Comme il a été souligné précédemment, le radar routier utilise l'effet Doppler des ondes électromagnétiques ou ultrasonores pour mesurer la valeur de la vitesse des véhicules. L'échographie Doppler permet également de mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les veines et les artères. Ce principe physique est notamment utilisé en astrophysique pour mesurer à distance la vitesse radiale (mesure de la vitesse du mouvement selon la direction de visée) de corps planétaires. Grâce à cet effet, la vitesse d'une étoile peut être mesurée en comparant les variations de son spectre lumineux ( $\nu_R = \nu_E \pm \Delta\nu$ ) causées par son déplacement.



1. Exprimer le décalage en longueur d'onde  $\Delta\lambda$  en fonction de la vitesse radiale  $V_r$  de l'étoile, dans le cas où le récepteur (planète terre) est immobile.
2. En fonction du signe de  $\Delta\lambda$ , déduire la direction de déplacement de l'étoile par rapport à la planète terre.  
 $\vec{c}$  étant la célérité de la lumière dans le vide.

---

### Exercice 04 (4 pts)

#### ANALYSE SPECTRALE : APPLICATION DE LA LOI DE BEER-LAMBERT

---

Les spectromètres UV-Visible permettent d'obtenir le spectre des composés chimiques examinés sous la forme d'un tracé de la transmittance, ou de l'absorbance (voir définitions ci-après), en fonction des longueurs d'onde repérées en abscisses. La transmittance  $T$  est une mesure de l'atténuation d'un faisceau lumineux monochromatique basée sur la comparaison entre l'intensité lumineuse transmise ( $I$ ) et l'intensité incidente ( $I_0$ ) selon que l'échantillon est placé ou non sur le trajet optique entre la source et le détecteur.  $T$  est exprimée par un nombre fractionnaire ou sous forme de pourcentage :  $T = \frac{I}{I_0}$  ou  $\%T = \frac{I}{I_0} \times 100$ . L'absorbance (ou densité optique) est la grandeur définie par :  $A = \log(1/T)$ .

#### Partie A

(Les parties A , B et C sont indépendantes)

Une solution aqueuse de permanganate de potassium ( $KMnO_4$ ) de concentration  $c = 1.28 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$  a une transmittance de 0,5 à 525 nm, si on utilise une cuve en Quartz de dimension 10 mm (longueur du trajet optique).

1. Calculer le coefficient d'absorption molaire ( $\varepsilon$ ) de la solution de  $KMnO_4$  pour cette longueur d'onde.
2. Si on double la concentration, calculer l'absorbance et la transmittance de la nouvelle solution.

#### Partie B

Les peintures et vernis exposés au soleil doivent être protégés de l'effet des radiations solaires pour ralentir leur dégradation (réactions photochimiques).

1. Quelle doit être la concentration, en  $g.L^{-1}$ , d'un additif UV (de masse molaire  $M$ ) pour que 90% du rayonnement solaire soit absorbé sur une épaisseur de 0.3 mm (trajet optique) ?  
Données :  $M = 500 \text{ g.mol}^{-1}$ ,  $\varepsilon_{max} = 15000 \text{ L.mol}^{-1}.cm^{-1}$  pour  $\lambda_{max} = 350 \text{ nm}$ .

### Partie C

Une eau polluée contient du chrome ( $M = 52 \text{ g.mol}^{-1}$ ) à la concentration massique d'environ  $0,1 \text{ ppm}$ . On choisit, pour son dosage, le complexe Cr(VI) avec le diphénylcarbazide ( $\lambda_{max} = 540 \text{ nm}$ ,  $\varepsilon_{max} = 41700 \text{ L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ ).

1. Proposer une valeur du trajet optique de la cuve pour que l'absorbance soit de l'ordre de  $0,40$ .

*On rappelle que :  $1 \text{ ppm}$  (partie par million) vaut  $1 \text{ mg/L}$*