

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

SESSION 2012

COMPOSITION DE SCIENCES PHYSIQUES

Classe de Terminale S

Durée : 5 heures

*Calculatrice autorisée*QUELQUES APPLICATIONS DES SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES
AUX SCIENCES FORENSIQUES ¹

Cet énoncé comporte 2 parties indépendantes, elles-mêmes constituées de sous-parties largement indépendantes entre elles. Ceci dit, le traitement d'une partie dans sa globalité sera valorisé.

Ainsi, sur la copie, il est souhaitable de faire apparaître le numéro de la partie traitée (I, II) et indispensable de préciser le numéro de la question, repérée par ¶ 1, ¶ 2, etc...

La longueur de l'épreuve ne doit pas dérouter le candidat. La diversité des questions posées doit lui permettre, au contraire, de tirer le meilleur profit de ses connaissances et de sa capacité d'analyse.

Si un résultat donné par l'énoncé est non démontré, il pourra néanmoins être admis pour les questions suivantes.

Si, au cours de l'épreuve, le candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

La plus grande importance sera donnée à la qualité de la rédaction et de la présentation des résultats obtenus. Il est rappelé en particulier qu'une application numérique sans unité est sans valeur et que le nombre de chiffres significatifs doit être sélectionné avec bon sens.

¹ Forensique veut dire qui appartient, qui est lié ou qui est utilisé dans les cours de justice; ce terme vient du latin forum, la place publique, lieu du jugement chez les anciens (forensis : du forum). Science forensique est un néologisme, traduction de l'anglais forensic science, rendu nécessaire par la confusion des termes et de leurs traductions qui désignent la contribution des sciences, en particulier des sciences de la nature, à la justice (Margot 1999).

I Détermination de l'indice de réfraction d'un fragment de verre

Edmond Locard est le médecin français créateur du premier laboratoire de police scientifique à Lyon en 1910. Son ambition était de substituer la preuve matérielle au seul témoignage humain par l'analyse systématique des traces laissées par le coupable.

Parmi ses innombrables travaux, le principe dit "d'échange de Locard" reste le plus célèbre :

« On ne peut aller et revenir d'un endroit, entrer et sortir d'une pièce sans apporter et déposer quelque chose de soi, sans emporter et prendre quelque chose qui se trouvait auparavant dans l'endroit ou la pièce. »

On peut donc espérer contribuer à établir la culpabilité ou l'innocence d'un suspect en comparant divers éléments matériels prélevés sur ses affaires et sur la scène de crime. Parmi ces éléments il est très fréquent d'avoir à comparer des fragments de verre.

Sauf mention contraire, en fin de partie, on considérera que la lumière blanche se comporte comme une radiation monochromatique que l'on identifiera à la lumière de la raie jaune du sodium (raie dite D , de longueur d'onde $\lambda = 589,3 \text{ nm}$).

1 Généralités

¶ 1

On considère un rayon lumineux incident se propageant dans le milieu 1, d'indice de réfraction n_1 . Il arrive avec un angle d'incidence i_1 , en I , sur la surface plane (appelée dioptre) séparant le milieu 1 du milieu 2, d'indice de réfraction n_2 (cf. schéma I.1). On notera i_2 l'angle d'émergence du rayon lumineux.

La ligne en pointillés est la normale au dioptre. La ligne en tirets est le prolongement dans le milieu 2 du rayon incident. Le sens positif pour compter les angles est indiqué.

Reproduire et compléter le schéma I.1 en précisant bien les angles considérés et écrire la loi de Descartes de la réfraction.

On appelle D la déviation du rayon lumineux (cf. schéma I.1). Exprimer D en fonction de i_1 et i_2 .

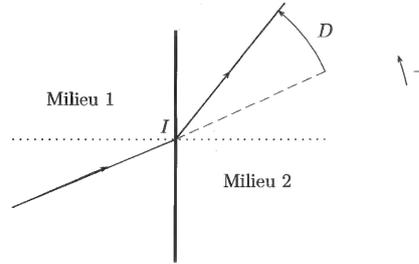


FIG. I.1: Schéma de la loi de la réfraction de Descartes

¶ 2 Calculer numériquement l'angle i_2 d'émergence du rayon lumineux, ainsi que la déviation D dans les deux cas suivants :

$$n_1 = 1,50 \text{ (verre)} \quad i_1 = 30^\circ \quad n_2 = 1,33 \text{ (eau)}$$

$$n_1 = 1,00 \text{ (air)} \quad i_1 = 30^\circ \quad n_2 = 1,50 \text{ (verre)}$$

Que remarque-t-on quant à la position du rayon réfracté par rapport à la normale, quand on la compare à celle du rayon incident. Comment cela se traduit-il sur D ?

¶ 3 Généraliser et proposer une formulation en français du comportement qualitatif du rayon émergent par rapport à la normale avec la consigne de ne pas utiliser le mot angle !

¶ 4 En déduire qu'il existe une configuration dans laquelle il peut ne pas exister de rayon réfracté. Exprimer l'angle d'incidence maximal à ne pas dépasser en fonction de n_1 et n_2 . Le calculer numériquement dans le cas du verre et de l'eau.

On parle dans ce cas du phénomène de réflexion totale : le rayon incident est alors réfléchi et suit la loi de Descartes de la réflexion. Rappeler cette loi et l'illustrer par un schéma.

2 Le prisme

On considère un prisme d'angle au sommet A , fabriqué dans un matériau homogène d'indice de réfraction N , représenté sur le schéma de la figure I.2. Il est entouré d'un milieu d'indice n_e . Les angles sont comptés positivement dans le sens trigonométrique et sont donc tous positifs sur le schéma (ce qui ne préjuge pas de leurs signes réels pour une configuration donnée). Un rayon lumineux arrive en I sur la face dite face d'entrée et émerge de la face de sortie en J .

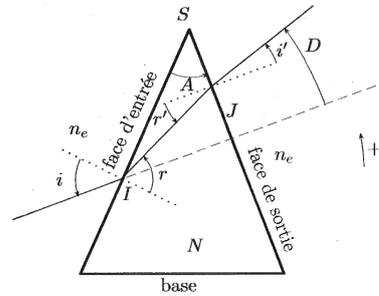


FIG. I.2: Prisme d'indice N , baignant dans un milieu d'indice n_e

¶ 5

5 - a) Écrire les équations traduisant les réfractions en I et en J .

5 - b) En considérant le triangle SIJ , écrire une relation entre A , r et r' .

5 - c) On définit la déviation D comme l'angle entre le rayon émergent et le rayon incident. Montrer que $D = A + i' - i$ (on pourra remarquer que le rayon subit deux déviations successives en I et J).

¶ 6 Les graphes I.3a et I.3b de la figure I.3 donnent (pas nécessairement dans cet ordre), dans les cas $N = 1,40$ et $n_e = 1,20$ d'une part et $N = 1,20$ et $n_e = 1,40$ d'autre part, l'allure des graphes de la déviation D en fonction de l'angle d'incidence : $D(i)$, pour diverses valeurs de l'angle A du prisme, exprimé en degrés.

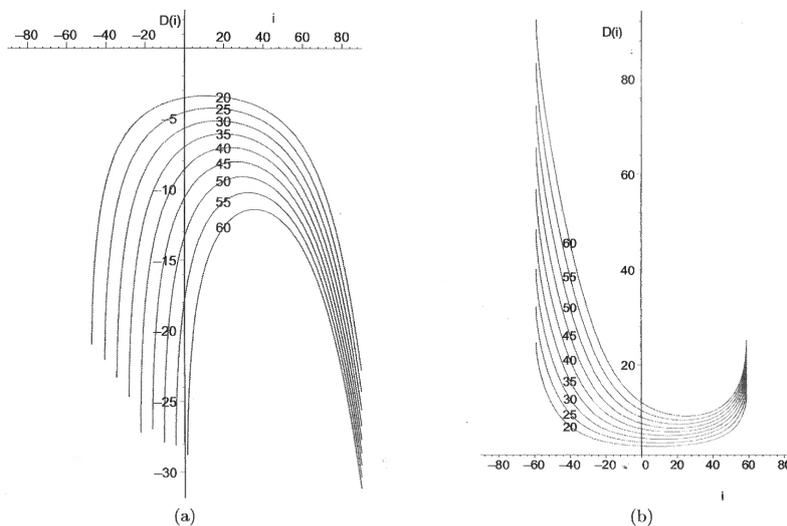


FIG. I.3:

6 - a) Précisez, en justifiant votre réponse, quel graphe correspond à $N > n_e$ et lequel correspond $N < n_e$.

6 - b) Qu'y-a-t-il de remarquable quant au signe de D pour une configuration donnée? Formuler en français le comportement du rayon incident à la traversée du prisme suivant que $N > n_e$ ou $N < n_e$.

6 - c) Préciser la dépendance de la déviation D avec l'angle A , toutes choses étant égales par ailleurs.

Pour la suite on admet la généralité du phénomène à toutes valeurs de N , n_e et A .

¶ 7

Les résultats précédents sont-ils encore valables si le sommet du prisme est tronqué et la base non rectiligne (sous condition, bien sûr, qu'après la première réfraction le rayon lumineux arrive sur la face plane de sortie), comme dans le schéma ci-contre (figure I.4). Justifier la réponse.

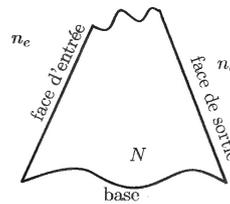


FIG. I.4: Prisme tronqué

¶ 8

Sur le schéma de la figure I.5, on a représenté le détail du trajet d'un rayon dans une lentille mince dite à bords minces, entourée d'air. On a fait apparaître les plans tangents (leurs traces dans le plan de figure sont représentées en tirets) aux deux faces de la lentille aux deux points d'entrée et de sortie du rayon lumineux.

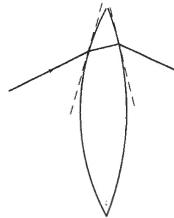


FIG. I.5: Lentille à bords minces

8 - a) Appliquer les résultats précédents pour justifier que cette lentille mince est une lentille convergente.

8 - b) Quel rayon incident n'est pas dévié à la traversée de la lentille? Justifier clairement votre réponse.

8 - c) Définir ce qu'est le foyer principal image d'une lentille et justifier que la lentille puisse en posséder un.

8 - d) Plus généralement préciser la nature convergente ou divergente de la lentille suivant qu'elle est plus épaisse au centre qu'au bord, et suivant qu'elle est entourée d'un milieu d'indice plus faible ou plus grand que celui du verre dont elle est constituée. On pourra résumer le résultat dans un tableau présentant les quatre cas possibles.

3 Le relief et la frange de Becke

Certaines méthodes de détermination de l'indice de réfraction sont largement inspirées des techniques de la pétrographie (optique minérale en particulier). Pour l'étude d'un fragment de verre ou d'une roche on prépare une lame mince en déposant sur une lamelle de verre des fragments du matériau à étudier (obtenus par écrasement) et noyés dans un liquide appelé liquide d'immersion. On recouvre la préparation d'une deuxième lamelle de verre. On observe ensuite cette lame mince au microscope en faisant la mise au point sur l'échantillon.

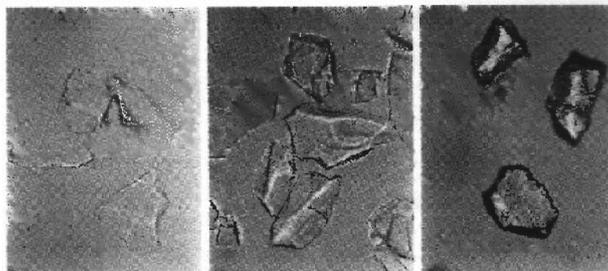
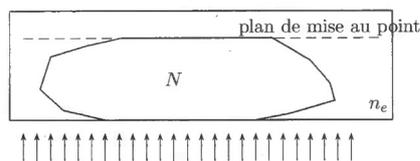


FIG. I.6: Relief de trois minéraux différents dans un même liquide d'immersion

On constate que les bords des fragments sont alors plus ou moins marqués par un cerne noir : on parle alors du relief de l'échantillon. Sur l'illustration de la figure I.6, on voit ce relief de plus en plus marqué de la gauche vers la droite.

La lame mince est éclairée par le bas en lumière parallèle. On ne tiendra pas compte du rôle des lamelles de verre entourant la préparation. On suppose les fragments et le liquide d'immersion parfaitement transparents. Enfin la mise au point est faite au niveau de la face supérieure du grain (plan repéré en pointillés sur le schéma de la figure I.7).



Lumière parallèle incidente

FIG. I.7: Coupe verticale de la lame mince

¶ 9 On considère un fragment de verre, d'indice N , baignant dans le liquide d'immersion d'indice n_e . Pour les raisonnements, on modélise les fragments en leur donnant une forme telle qu'une coupe verticale soit un polygone irrégulier convexe très aplati (cf. figure I.7). Les grandes faces sont supposées orthogonales aux rayons incidents.

Qu'observerait-on si les indices du fragment et du liquide d'immersion étaient identiques? Justifier.

¶ 10 10 - a) On cherche à interpréter l'existence des cernes noirs dans l'hypothèse où $N > n_e$. Pour cela, reproduire deux fois le schéma de la figure I.7 sur votre copie et tracer l'allure du cheminement des rayons lumineux pour des valeurs N_1 puis N_2 de N en faisant l'hypothèse que $N_1 < N_2$ et que dans les deux cas il y a bien un rayon réfracté à travers la face supérieure du fragment pour chaque rayon incident. Justifier alors l'existence des cernes noirs.

10 - b) Préciser la relation qualitative entre leur épaisseur et la différence entre les indices du fragment et du liquide d'immersion.

10 - c) Quel phénomène supplémentaire peut intervenir au niveau de la face supérieure si l'écart entre les indices devient très important? A-t-il tendance à augmenter ou diminuer l'épaisseur des cernes?

¶ 11 On fait maintenant l'hypothèse que $N < n_e$. Par un raisonnement analogue à celui de la question précédente, que peut-on conclure?

¶ 12 Au vu des deux questions précédentes peut-on savoir quel est, du liquide ou du fragment, celui qui a le plus grand indice?

¶ 13

On « défocalise » le microscope, c'est-à-dire que la mise au point ne se fait plus au niveau de la surface du fragment, mais au dessus : cela revient à abaisser la platine porte-lame du microscope (cf. figure I.8)

On voit alors apparaître une frange brillante le long du contour du fragment, elle porte le nom de frange ou de liseré de Becke. Sur l'illustration suivante (figure I.9), on voit cette ligne (repérée par la lettre *B*). Dans un cas elle « apparaît » dans le fragment (cliché de gauche), dans l'autre cas à l'extérieur du fragment.

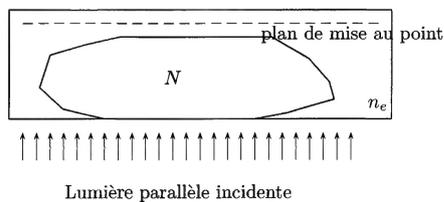


FIG. I.8: Abaissement de la platine

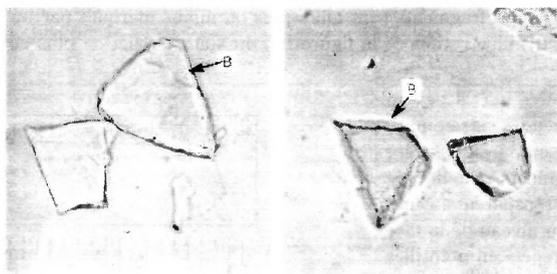


FIG. I.9: Observation du liseré de Becke

En vous appuyant sur les schémas tracés dans les questions précédentes, interpréter l'existence de cette frange et justifier la règle suivante : lorsqu'on abaisse la platine, la frange de Becke se déplace vers le milieu le plus réfringent (c'est-à-dire celui qui a l'indice optique le plus grand).

¶ 14 On dispose d'un ensemble de liquides d'immersion d'indices de réfraction connus et variés. Décrire un protocole permettant de déterminer l'indice du fragment. Quelles sont les limites de cette méthode ?



FIG. I.10: Prisme éclairé en lumière blanche

¶ 15 Jusqu'à présent on a considéré que la lumière blanche était monochromatique. Il n'en est bien sûr rien, et ceci va avoir quelques conséquences dans les observations.

15 - a) Quel est le phénomène qui fait que deux rayons incidents, de fréquences différentes et donc de longueurs d'onde dans le vide différentes, arrivant avec la même incidence sur un système optique suivent en général des trajets différents ?

15 - b) La figure I.10 montre l'utilisation d'un prisme de verre ($N \simeq 1,5$) dans l'air. En déduire le sens de variation de l'indice de réfraction avec la longueur d'onde dans le vide. On admet la généralité de ce résultat à tous les matériaux étudiés ici.

¶ 16 Un liquide d'immersion donné admet une expression approchée de son indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde exprimée en micromètres, suivant la formule de Cauchy

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

avec $A = 1,466$ et $B = 0,02133 \mu\text{m}^{-2}$

Pour un fragment particulier on a mesuré les couples (n, λ) suivants :

| Longueur d'onde (nm) | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| indice n | 1,553 | 1,549 | 1,546 | 1,544 | 1,542 | 1,540 | 1,539 |

16 - a) Tracer sur un même graphe les deux courbes de dispersion $n(\lambda)$, du liquide et du fragment.

16 - b) Quelle devrait être la longueur d'onde λ_i d'une lumière monochromatique éclairant la lame mince pour que le fragment semble invisible ?

16 - c) Si on défocalise (abaissement de la platine) pour observer la frange de Becke avec une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda < \lambda_i$, dans quelle direction se déplace-t-elle ?

16 - d) Même question dans le cas $\lambda > \lambda_i$

16 - e) Décrire ce que l'on observe en lumière blanche.

4 Méthode d'Emmons

Contrairement au cas des minéraux, les valeurs des indices des verres étudiés sont peu étendues. Pour raffiner l'étude du fragment on cherche à déterminer les valeurs de son indice de réfraction n pour un grand nombre de valeurs de la longueur d'onde, s'étalant sur la quasi-totalité du spectre visible. Un prolongement de la méthode précédente, portant le nom de méthode de double variation, est due à Emmons (1928). Nous allons en présenter quelques points clefs.

¶ 17 L'indice de réfraction est assez fortement corrélé à la densité du matériau, et varie dans le même sens qu'elle lorsque la température varie. A priori, comment varie l'indice de réfraction du liquide d'immersion et d'un fragment de verre avec la température ?

¶ 18 Le dispositif expérimental d'Emmons consiste, en plus du matériel déjà étudié, en un monochromateur et en un système permettant de contrôler finement la température de la lame mince.

Le monochromateur est un dispositif permettant de fournir une lumière quasimonochromatique, de longueur d'onde ajustable. Comment réaliseriez-vous très simplement un tel appareil ?

¶ 19 Le protocole proposé par Emmons est le suivant : après avoir déterminé approximativement la valeur de l'indice de réfraction du fragment par une méthode quelconque, choisir grâce aux courbes de "double dispersion" le liquide le plus approprié aux mesures (un extrait de ces courbes est donné ci-après pour exploitation). Réaliser une lame mince avec ce liquide et le fragment et la porter à une température initiale connue. Grâce au monochromateur déterminer la longueur d'onde pour laquelle le liquide et le fragment ont le même indice à cette température. Relever la température, la longueur d'onde et l'indice. Changer la température de quelques degrés et recommencer. On dispose ainsi d'un ensemble de données permettant de bien caractériser le fragment.

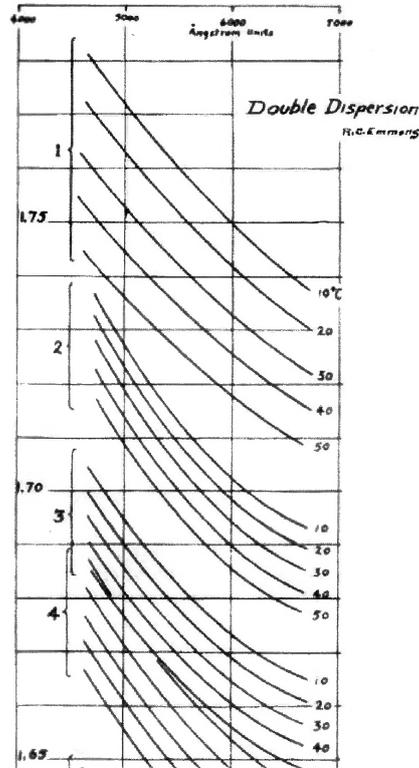
19 - a) Sur le schéma ci-contre on trouve un extrait des graphes tirés de l'article original d'Emmons ^a. On y voit pour quatre liquides d'immersion, qu'Emmons repère par 1, 2, 3 et 4 (il y en a 13 en tout), les graphes de $n(\lambda)$ pour diverses températures. Les longueurs d'ondes sont exprimées en angström, de symbole Å. On rappelle que $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$. Sur les courbes la longueur d'onde varie entre 4000 Å et 7000 Å .

Évaluer l'ordre de grandeur de $\frac{dn}{dT}$ (caractérisant la variation de l'indice de réfraction en fonction de la température) pour le liquide 1.

19 - b) On constate expérimentalement que le coefficient $\frac{dn}{dT}$ est mille fois plus petit pour les solides que pour les liquides. Expliquer pourquoi cette condition est indispensable pour remplir les objectifs de l'étude du fragment.
Quel confort expérimental ce fait apporte-t-il ?

19 - c) Pourquoi, selon vous, fait-on d'abord varier la température avant de rechercher la longueur d'onde qui fait disparaître le fragment ?

^aconsultable à l'adresse suivante :
<http://www.minsocam.org/ammin/AM13/AM13.504.pdf>



Pour information : un appareil permet la mesure automatique de l'indice des fragments de verre. Il repose en complément de la méthode d'Emmons sur l'utilisation d'un microscope à contraste de phase, qui convertit les différences d'indices optiques en des variations dans le contraste de l'image. Le dispositif porte le nom de G.R.I.M (Glass Refractive Index Measurement) et a été développé et commercialisé par Forster et Freeman



5 Une autre explication ?

¶ 20 Un raisonnement plus poussé montrerait des faiblesses dans la recherche d'une explication de la frange de Becke s'appuyant uniquement sur l'optique géométrique. Quel autre modèle de la lumière connaissez-vous avec lequel on pourrait tenter de comprendre le phénomène ?