

## 5<sup>ndes</sup> et signaux – Chapitre 3 : La lumière, nature et propriétés – Les lois de Descartes



### Exercices d'application

#### 1

#### Effet photoélectrique

On éclaire une plaque de cuivre avec un rayonnement électromagnétique de fréquence  $\nu = 2,00 \cdot 10^{15}$  Hz.

**Données :** constante de Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J.s,  $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19}$  J, masse de l'électron  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg, travail d'extraction du cuivre  $W_{\text{Cu}} = 4,71 \text{ eV}$

- Déterminer la longueur  $\lambda$  du rayonnement utilisé. A quel domaine appartient-il ?
- L'effet photoélectrique a-t-il lieu si on utilise ce rayonnement sur une cathode en cuivre ? Justifier.
- Si l'effet a lieu, déterminer la vitesse des électrons juste après l'arrachement.

#### 2

#### Ombre portée

Une source ponctuelle  $S$  éclaire un disque opaque de diamètre  $d = 10$  cm. (figure 1).

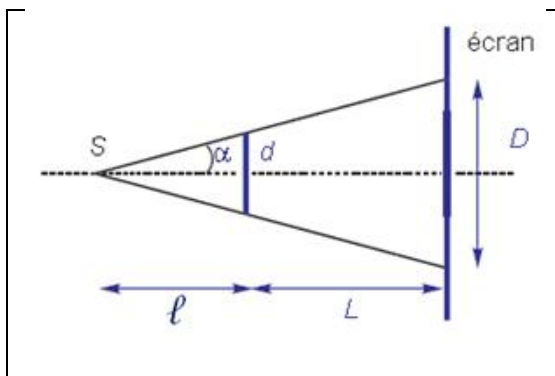


Figure 1 : Dispositif

Calculer la taille  $D$  de l'ombre portée du disque s'il est placé à  $\ell = 1,0$  m de  $S$ , l'écran étant placé à  $L = 2,0$  m du disque (le disque et l'écran sont dans des plans parallèles).

#### 3

#### Dispersion de la lumière blanche

Un verre a l'indice  $n_r = 1,595$  pour la lumière rouge et  $n_v = 1,625$  pour la lumière violette. Un rayon de lumière blanche, qui contient ces deux couleurs, se propage dans ce verre et arrive à la surface de séparation avec l'air sous une incidence de  $35^\circ$ .

Calculer l'angle que font dans l'air les rayons rouge et violet. Faire un schéma qualitatif.

#### 4

#### Trajets de la lumière

##### 1. A travers une vitre

Tracer le trajet des rayons lors de la traversée d'une vitre simple vitrage en réfléchissant bien à la pertinence des angles que vous serez amenés à représenter.

##### 2. A travers un « miroir » du commerce

Un miroir du commerce est constitué d'une plaque métallique entièrement réfléchissante recouverte d'une vitre transparente.

Tracer le trajet des rayons lors de la traversée de ce « miroir », en précisant les angles utiles et en donnant leurs expressions.

#### 5

#### Le diamant

Le diamant a l'indice de réfraction le plus élevé parmi les pierres naturelles transparentes. Un rayon de lumière (blanche) se propageant dans l'air, arrive perpendiculairement à la surface supérieure d'un diamant représenté ci-contre avec  $\alpha = 45^\circ$ . En prenant  $n = 2,418$  pour l'indice du diamant, déterminer le parcours du rayon lumineux dans le diamant jusqu'à sa sortie.

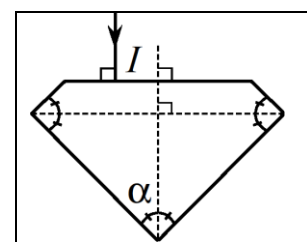


Figure 2 : Diamant



## Exercices d'entraînement

### 6 Rayon lumineux doublement réfléchi

Deux miroirs forment ensemble un angle de  $120^\circ$  (figure 3). Un rayon atteint le miroir  $M_1$  selon un angle de  $65^\circ$  par rapport à la normale.

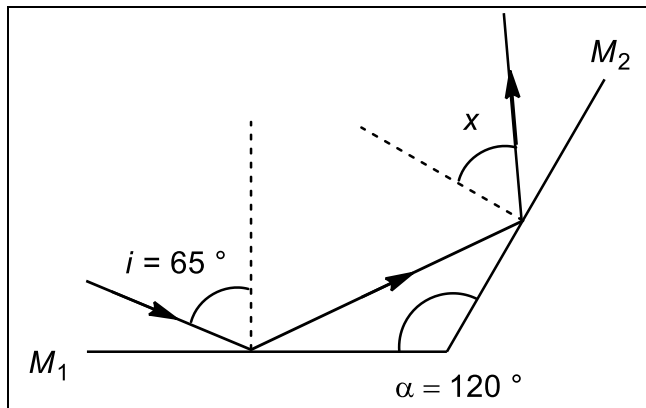


Figure 3 : Dispositif utilisé

1. Déterminer la direction du rayon après sa réflexion dans le miroir  $M_2$ .
2. Comment repart le rayon lumineux si les deux miroirs sont à angle droit ?

**Remarque :** les réflecteurs des vélos fonctionnent grâce à ce principe.

### 7 Détermination de l'indice d'un liquide

Un rayon lumineux dans l'air tombe sur la surface d'un liquide ; il fait un angle  $\alpha = 56^\circ$  avec le plan horizontal. La déviation entre le rayon incident et le rayon réfracté vaut  $\theta = 13,5^\circ$ . Quel est l'indice  $n$  du liquide ?

### 8 Prisme à réflexion totale

Un prisme à réflexion totale est un dièdre d'angle au sommet  $A = 90^\circ$  et de face d'entrée isocèle (figure 4), constitué par un verre d'indice  $n$ . Il est placé dans certains systèmes optiques pour provoquer une déviation de  $\pi/2$  ou de  $\pi$  d'un rayon lumineux grâce au phénomène de réflexion totale.

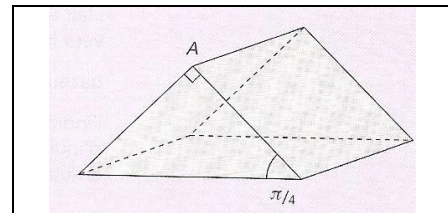


Figure 4 : Prisme à réflexion totale

1. Comment faut-il faire arriver le rayon incident dans les deux cas ?
2. Quelle condition doit vérifier l'indice du verre utilisé ?

### 9 Réfractomètre de Pulrich

Un réfractomètre de Pulrich est constitué d'un bloc de verre de section rectangulaire d'indice  $n_0$  connu, sur lequel on a déposé une goutte d'un liquide d'indice  $n$  inconnu. On observe un faisceau de rayons parallèles à la limite de la réflexion totale et on mesure l'angle  $\alpha$  correspondant.

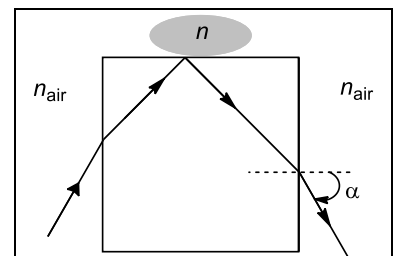


Figure 5 : Réfractomètre de Pulrich

Déterminer l'indice optique  $n$  en fonction de l'angle  $\alpha$  mesuré. Application numérique :  $\alpha = 60,0^\circ$ ,  $n_0 = 1,626$

## 10

## Fibre optique à saut d'indice

Une fibre optique cylindrique d'axe  $Ox$  est constituée d'un cœur transparent, homogène et isotrope, d'indice de réfraction  $n_1$ , entouré d'une gaine, elle aussi transparente, homogène et isotrope, d'indice de réfraction  $n_2$ . On désigne par  $R$  le rayon du cœur. Un rayon est guidé par la fibre s'il subit des réflexions totales à chaque fois qu'il rencontre le dioptré cœur-gaine. Soit un rayon lumineux  $\mathcal{R}$  situé dans le plan contenant l'axe  $Ox$ . (figure 6).

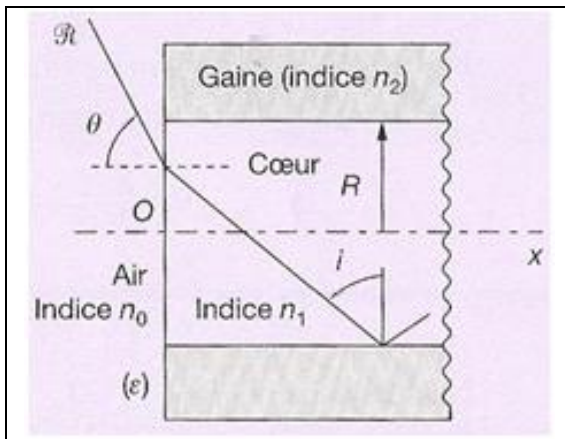


Figure 6 : Fibre optique

1. Quelle condition doivent vérifier les indices  $n_1$  et  $n_2$  pour que ce guidage soit possible ?

La face d'entrée ( $\epsilon$ ) de la fibre est plane et normale à l'axe  $Ox$ . On désigne par  $\theta$  l'angle que fait dans l'air (d'indice  $n_0$ ) le rayon  $\mathcal{R}$  avec la normale à ( $\epsilon$ ).

2. Montrer que  $\mathcal{R}$  ne peut se propager à l'intérieur de la fibre (sans en sortir) que si  $\theta$  est inférieur à un angle noté  $\theta_0$ . Déterminer  $\theta_0$  en fonction de  $n_1$ ,  $n_2$  et  $n_0$ , l'angle  $\theta_0$ . On note :  $n_0 = 1,00$ ,  $n_1 = 1,50$  et  $n_2/n_1 = 0,99$ . Calculer numériquement  $\theta_0$ .

## 11

## Partie de cache-cache

Les grenouilles peuvent se cacher de leurs prédateurs aériens en se plaçant dans l'eau, sous un nénuphar.

On modélise le nénuphar par un disque de 20 cm de diamètre et la grenouille par un point située à la verticale du centre du nénuphar, à la distance  $d$ .

Déterminer la distance  $d_{\max}$  à partir de laquelle la grenouille ne sera plus cachée. En s'appuyant sur un schéma clair, expliquant le phénomène physique mis en œuvre.



## Pour préparer l'oral

### 12

#### Question ouverte : rétroviseur jour-nuit des automobiles

Un rétroviseur jour-nuit est constitué d'un miroir mobile sur un pivot précédé d'une vitre de position fixe. Proposer un principe de fonctionnement de tels rétroviseurs équipant certains véhicules.

### 13

#### Question ouverte : la pièce invisible (difficile)

Une pièce est mise au fond d'un mug vide et reste invisible pour un observateur. On demande à cet observateur de trouver une méthode pour visualiser au moins un petit morceau de la pièce, sans déplacer le mug. Il dispose pour cela d'un peu d'eau. L'observateur décide de remplir le mug d'eau, et visualise en effet la pièce.



Figure 7 : L'expérience de la pièce au fond du verre

Dans un premier temps il vous est demandé d'expliquer qualitativement le phénomène (une modélisation des différentes situations à l'aide d'un schéma est la bienvenue).

Dans un second temps il vous est demandé d'évaluer la hauteur minimale d'eau qu'il faut verser pour observer la pièce.

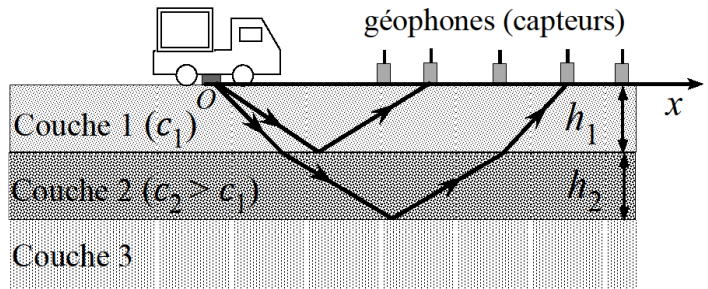
**Aide :** pour simplifier les calculs si nécessaire on pourra utiliser l'approximation des petits angles :

Si  $i \ll 1$  rad, alors  $\sin i \approx \tan i \approx i$ , avec  $i$  en radians.

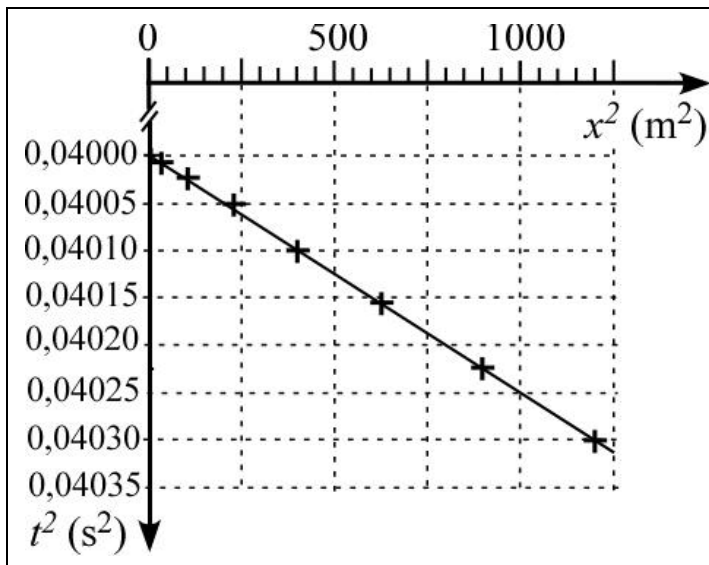
## Analyse de documents : Ondes sismiques et stratigraphie

### Document 1 : Principe de la « sismique réflexion » et modèle étudié

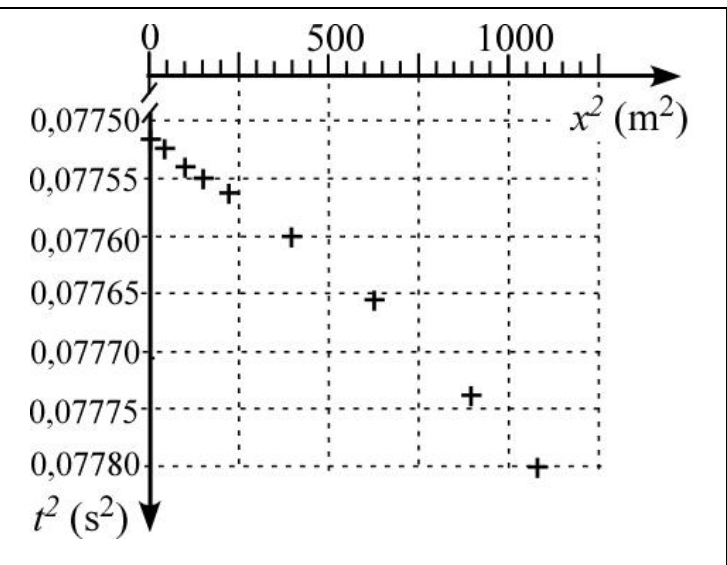
Un camion vibreur à l'arrêt, émet une salve d'ondes à l'aide d'un marteau venant frapper périodiquement le sol. Les capteurs enregistrent en surface les échos liés aux réflexions des ondes sur les dioptries séparant les différentes couches, ce qui permet de déterminer ainsi les durées de parcours de chaque signal. L'instant initial est défini par le départ de la salve.



### Document 2 : Temps d'arrivée au carré des ondes ayant subi une réflexion par le 1<sup>er</sup> dioptre, en fonction de la distance à la source au carré

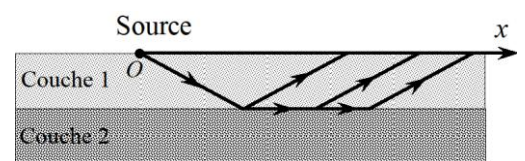


### Document 3 : Temps d'arrivée au carré des ondes ayant subi une réfraction par le 1<sup>er</sup> dioptre puis une réflexion par le 2<sup>e</sup> et à nouveau une réfraction par le 1<sup>er</sup> dioptre, en fonction de la distance à la source au carré



### Document 4 : Les ondes dites « coniques » au niveau du 1<sup>er</sup> réflecteur

Les ondes sismiques dites « coniques » sont les ondes qui arrivent à l'interface séparant la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> couche sous l'angle d'incidence correspondant à la réfraction limite. L'onde réfractée se déplace le long de l'interface à la célérité correspondant à la 2<sup>ème</sup> couche et produit en continu des ondes réfractées qui remontent à la surface.



- Par analogie, avec les lois de Descartes, donner la relation qui lie  $c_2$  et  $i_2$  à  $c_1$  et  $i_1$ .
- Représenter sur un schéma, les trajets de deux rayons émis par le camion et reçus par un même géophone :
  - un rayon ayant subi une unique réflexion sur le 1<sup>er</sup> dioptre,
  - l'autre rayon ayant subi une réfraction sur le 1<sup>er</sup> dioptre, puis une réflexion sur le 2<sup>ème</sup>, puis à nouveau une réfraction sur le 1<sup>er</sup>.
- Analyse des ondes réfléchies par le premier dioptre**
  - A l'aide d'une analyse géométrique du schéma précédent, exprimer le carré du temps  $t$  nécessaire à l'onde réfléchi par le 1<sup>er</sup> dioptre pour atteindre le géophone situé à l'abscisse  $x$  en fonction de la profondeur  $h_1$ , de  $x$  et de la célérité  $c_1$ .
  - Déterminer par une méthode graphique basée sur le graphe du document 2, la profondeur  $h_1$  et célérité  $c_1$ .

**4. Analyse des ondes réfléchies par le second dioptre**

Concernant l'étude des temps d'arrivée par le second réflecteur, pour des abscisses de valeurs faibles, on admet que le temps d'arrivée de l'onde réfléchi par le second dioptre est donné par la relation-:  $t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{\bar{c}^2}$  avec  $t_0 = \frac{2(h_1+h_2)}{\bar{c}}$  et  $\bar{c}$  la célérité moyenne quadratique pour les deux premières couches définies par :

$$\bar{c} = \sqrt{\frac{a_1 c_1^2 + a_2 c_2^2}{a_1 + a_2}} \text{ avec } a_1 = \frac{2h_1}{c_1} \text{ et } a_2 = \frac{2h_2}{c_2}$$

Déterminer, par une méthode graphique basée sur le graphe du document 3, la profondeur  $h_2$  au m près et la célérité  $c_2$ .

5. Proposer une méthode pour déterminer de proche en proche la profondeur et la célérité des couches suivantes.
6. Quel est le phénomène qui peut perturber l'étude des ondes réfléchies par le réflecteur couche 1-couche 2 ? À quelle condition peut-il se manifester ? À partir de quelle abscisse  $x$ , ce phénomène peut-il être enregistré par les géophones ? Justifier que, dans l'étude réalisée, il n'intervient pas.

Source : La sismique réflexion: principes et développements, Georges Henry ; Méthodes sismiques, Michel Lavergne. Paris Ed. Technip 1997.