Réflexion, réfraction

Difficulté d'analyse et compréhension, initiative requise ;
Difficulté technique et calculatoire ;
Exercice classique et/ou important.

Flasher ou cliquer pour accéder au corrigé

Applications de cours

Ces applications de cours sont des briques élémentaires des raisonnements à mener dans les exercices : les maîtriser est incontournable. Elles sont toutes traitées de manière exhaustive dans le cours.

O2.1 - Construire graphiquement l'image d'un point objet par un miroir plan, et montrer qu'il s'agit du symétrique de l'objet en utilisant les lois de la réflexion.

O2.2 - Considérons un rayon lumineux se propageant d'un milieu d'indice n_1 vers un milieu d'indice $n_2 > n_1$. Montrer que le rayon réfracté existe toujours, et déterminer l'angle maximal de réfraction.

O2.3 - Établir la condition de réflexion totale.

> *Attention, « la » condition est double : elle concerne à la fois les indices et l'angle d'incidence. La démonstration attendue est celle avec les inégalités, et non pas la détermination rapide de l'angle limite en se plaçant en émergence rasante.*

O2.4 - Définir le cône d'acceptance d'une fibre optique à saut d'indice, et déterminer l'expression de l'ouverture numérique en fonction des indices optiques.

O2.5 - Déterminer le débit maximal d'information que peut transmettre une fibre optique à saut d'indice de longueur L.

Miroir plan

Exercice 1 : Hauteur d'un miroir

oral CCINP MP | 2 | 1 |

▹ *Miroir plan.*

Un homme mesurant 1,80 m est situé à $d = 1$ m d'un miroir plan. La distance entre les yeux et le haut de son crâne vaut 10 cm. Le miroir a une hauteur H et son extrémité inférieure est située à une distance h du sol.

Question : À quelle(s) condition(s) l'homme peut-il se voir entièrement ? S'il ne se voit pas en entier, faut-il qu'il se recule ou qu'il s'avance pour améliorer les choses ?

BY-NC-SA

© Étienne Thibierge, www.etienne-thibierge.fr

Exercice 2 : Rétroprojecteur

2 | 2

- *Miroir plan ;*
- *Instrument d'optique.*



Les rétroprojecteurs sont les ancêtres de nos actuels vidéo-projecteurs, qu'on utilisait par exemple à l'époque reculée où j'étais collégien. L'objet est un transparent rétroéclairé, posé sur le support plan. L'image est formée par l'association d'une lentille convergente de focale 30 cm suivie d'un miroir plan inclinable, fixe par rapport à la lentille. L'ensemble lentille+miroir peut être déplacé verticalement pour faire la mise au point. Le centre du miroir est situé à 15 cm du centre optique de la lentille, et se trouve à 3 m d'un écran vertical.

1 - À quelle distance de l'objet à projeter faut-il placer la lentille ?

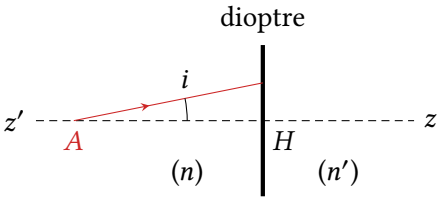
2 - Quelle est alors la taille à l'écran d'une lettre de hauteur 5 mm sur le transparent ?

Lois de la réfraction

Exercice 3 : Distance apparente à travers un dioptre

oral banque PT | 2 | 1 |

- *Formation d'image optique ;*
- *Loi de la réfraction.*



On considère un dioptre plan séparant deux milieux transparents d'indices respectifs $n > n'$. Soit A un point situé sur l'axe (zz') normal au dioptre. On note i l'angle incident et i' l'angle réfracté.

1 - Construire A' image de A par le dioptre.

2 - Déterminer une relation entre AH, $A'H$, i et i', puis entre AH, $A'H$, n et n' en se plaçant dans la limite des petits angles. Le dioptre est-il stigmatique ?

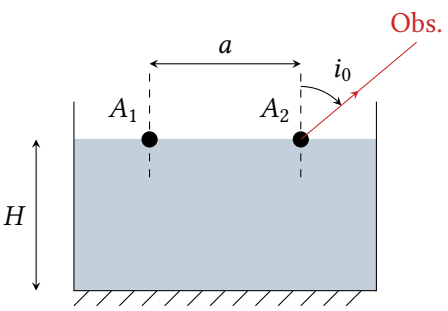
3 - À quelle distance le chat voit-il le poisson dans son aquarium sachant qu'il l'observe de façon normale aux dioptres ? Le poisson se trouve à 5 cm de la vitre, épaisse de 8 mm. On donne $n_{\text{eau}} = 1{,}33$, $n_{\text{verre}} = 1{,}50$ et $n_{\text{air}} = 1{,}00$.



Exercice 4 : Réfractomètre à fils

1 | 1

- *Loi de la réfraction ;*
- *Miroir plan.*



Deux fils parallèles A_1 et A_2, distants de a, sont maintenus à la surface d'un liquide d'indice n grâce à des flotteurs non représentés sur la figure. Le liquide est placé dans une cuve dont le fond est un miroir plan. La hauteur H de liquide dans la cuve est facilement réglable grâce à un dispositif de vases communicants.

On observe le fil A_2 sous une incidence i_0 donnée, et on règle H de telle façon que l'image du fil A_1 par le miroir se superpose au fil observé.

Exprimer l'indice n du liquide en fonction de i_0, a et H.

BY-NC-SA

© Étienne Thibierge, www.etienne-thibierge.fr

Exercice 5 : Détecteur de pluie sur un pare-brise

mutiples concours | 1 | 2 |

- *Loi de la réfraction ;*
- *Réflexion totale ;*
- *Géométrie dans un triangle.*

Cet exercice propose de s'intéresser à un modèle simplifié du système de détection automatique de pluie qui commande la mise en route des essuies-glaces d'une voiture. Un bloc de plexiglas biseauté situé à l'intérieur du bloc rétroviseur est collé au verre du pare-brise, voir figure 1. Une diode électroluminescente (DEL) envoie un pinceau lumineux infrarouge en incidence normale sur le biseau. Un capteur lumineux mesure en permanence l'intensité de la lumière en sortie de la pièce biseautée : plus il y a d'eau sur la vitre, plus elle est faible. Le capteur de pluie pilote ainsi l'essuie-glace en fonction de la quantité d'eau détectée et sélectionne automatiquement la vitesse de balayage la plus efficace.

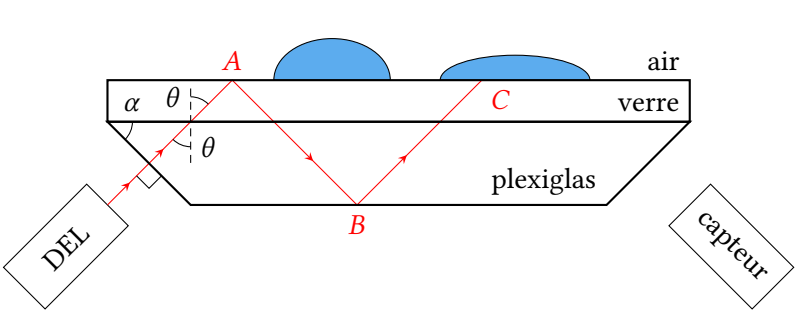




Figure 1 – Principe de fonctionnement d'un détecteur de pluie.

Données :

- angle du biseau : $\alpha = 50°$;
- indices optiques : verre du pare-brise $n_v = 1{,}5$; eau $n_e = 1{,}33$;
- l'indice du plexiglas est suffisamment proche de celui du verre pour les considérer égaux, et négliger tous phénomènes de réflexion et réfraction à cette interface.

1 - Pourquoi utilise-t-on un rayonnement infrarouge ?

2 - Montrer que $\theta = \alpha$ à l'interface plexiglas $\longrightarrow$ verre.

3 - En l'absence de pluie, existe-il un rayon réfracté au point A ou au point C ? Justifier.

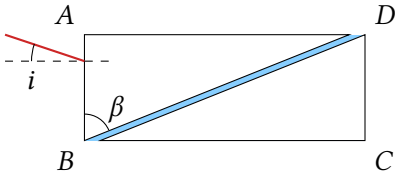
4 - En présence de gouttes de pluie sur le pare-brise, placées comme sur la figure, existe-il un rayon réfracté au point C ? Justifier.

5 - Expliquer pourquoi plus il y aura de gouttes sur le pare-brise, moins l'intensité lumineuse reçue par le capteur sera importante.

Exercice 6 : Réfractomètre d'Abbe

2 | 2 |

- *Loi de la réfraction ;*
- *Réflexion totale ;*
- *Géométrie dans un triangle.*



Un réfractomètre d'Abbe est un appareil servant à mesurer des indices optiques, très utilisé notamment à des fins de caractérisation rapide d'échantillons. Ce réfractomètre est composé de deux prismes identiques, d'indice $n_0 = 1{,}732$, à base en forme de triangle rectangle. L'angle au sommet β vaut 60°. Entre ces prismes est intercalé un film de liquide d'indice n que l'on cherche à déterminer. Pour ce faire, le réfractomètre est éclairé par la face AB par un rayon d'angle d'incidence i réglable.

BY-NC-SA

© Étienne Thibierge, www.etienne-thibierge.fr

1 - Si le rayon sort par la face CD, quelle sera sa direction ? Répondre par un argument physique sans calcul, éventuellement à confirmer (ou deviner !) par un schéma propre.

2 - Expliquer comment la mesure de l'angle d'incidence pour laquelle le rayon transmis ne sort plus par la face CD mais par la face AD permet d'en déduire la valeur de l'indice du liquide.

3 - Que vaut cet indice si l'angle d'incidence critique vaut 18,0° ?

4 - Quelles sont les limites d'utilisation du dispositif ?

Exercice 7 : Micro-bille pour marquage routier

2 | 2 |

- *Lois de Descartes ;*
- *Géométrie dans un triangle.*

Pour rendre les marquages routiers plus visibles la nuit, on mélange à la peinture blanche des micro-billes de verre, dont le diamètre est de l'ordre de 0,5 mm. On cherche à établir comment ces micro-billes permettent de rétro-réfléchir la lumière des véhicules, c'est-à-dire de renvoyer la lumière dans la direction des rayons incidents. On considère un rayon lumineux, se propageant dans l'air d'indice 1, qui arrive sur une micro-bille d'indice $n > 1$ avec un angle d'incidence i.



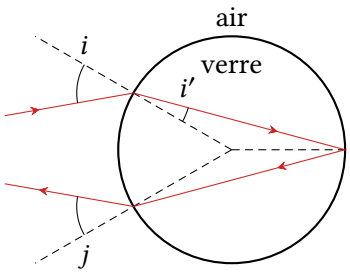


Figure 2 – Micro-bille pour marquage routier.

1 - Montrer que $i = j$.

2 - Établir une condition géométrique sur i et i' pour que le rayon soit rétro-réfléchi, c'est-à-dire réfléchi parallèlement au rayon incident.

3 - On suppose que les angles peuvent être considérés suffisamment petits pour utiliser les développements limités au premier ordre des fonctions trigonométriques [1]. En déduire la valeur de l'indice n des micro-billes.

4 - Pour que les marquages au sol restent bien visibles par temps de pluie, une partie des micro-billes ont un indice $n' \neq n$. Déterminer la valeur de n'. On donne l'indice de l'eau $n_{\text{eau}} = 1{,}33$.

Exercice 8 : Physics is fun

2 | 3

- *Loi de la réfraction ;*
- *Géométrie dans un triangle.*

La photo figure 3 est-elle truquée ? C'est toute la question !

1 - En raisonnant sur le segment IK, exprimer la déviation δ en fonction de α et β.

2 - En déduire une expression ne faisant plus intervenir β. On rappelle $\sin(a - b) = \sin a \cos b - \sin b \cos a$.

3 - Conclure, sachant que l'indice de l'eau vaut 1,33.

1. Autrement dit, se placer dans l'approximation des petits angles.

BY-NC-SA

© Étienne Thibierge, www.etienne-thibierge.fr



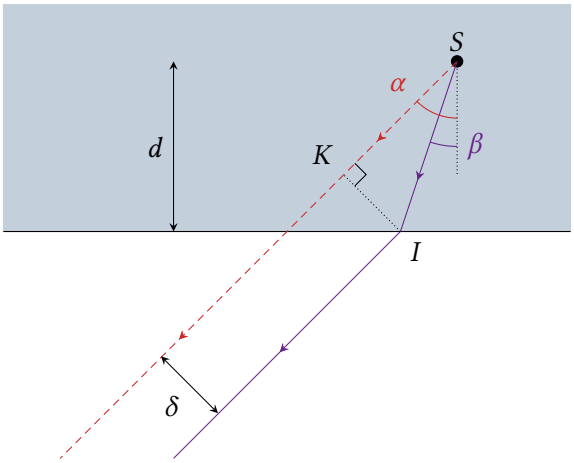


Figure 3 – Nick Quasi-Sans-Tête. Les deux rayons représentés sur le schéma ne se trouvent pas dans le même plan : le rayon représenté en pointillé est issu d'un point à la verticale de S au dessus de la surface de l'eau, alors que le rayon représenté en trait plein part d'un en dessous de la surface.

Fibre optique

Exercice 9 : Bande passante d'une fibre optique

2 | 2

- *Fibre optique à saut d'indice ;*
- *Débit binaire.*

On souhaite faire communiquer deux équipements séparés de $\ell = 2\,\text{km}$ avec un débit d'information minimal de $1\,\text{Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$. On envisage une fibre optique à saut d'indice cylindrique, constituée d'un cœur de diamètre $50\,\mu\text{m}$ d'indice $n = 1{,}5$, et d'une gaine d'indice $n' < n$. On définit la variation relative d'indice

$$\Delta = \frac{n - n'}{n} = 1 - \frac{n'}{n}.$$

L'information est transmise sous forme d'impulsions lumineuses très brèves injectées à l'entrée de la fibre. La lumière peut se propager dans le cœur suivant différents modes, que l'on modélise par des rayons lumineux se propageant dans un plan contenant l'axe du cylindre.

1 - Déterminer la durée $\tau(\theta)$ de propagation dans la fibre d'une impulsion suivant un rayon incliné d'un angle θ par rapport à l'axe de la fibre.

2 - Montrer que l'inclinaison maximale permettant la propagation vérifie $\cos\theta_{\text{max}} = n'/n$.

3 - En déduire qu'une impulsion envoyée dans la fibre s'élargit, et déterminer sa largeur temporelle δt en sortie de fibre en fonction de Δ notamment. Simplifier le résultat sachant qu'en pratique $\Delta \ll 1$.

4 - Proposer un critère simple portant sur la durée T séparant l'émission de deux impulsions garantissant qu'elles demeurent discernables en sortie de fibre. En déduire la bande passante B de la fibre, définie comme la fréquence maximale d'émission des impulsions.

5 - Quelle est la valeur maximale admissible pour la variation relative d'indice Δ permettant à la fibre de respecter le cahier des charges de l'installation ? On considère qu'une impulsion lumineuse correspond à 1 bit d'information.

BY-NC-SA

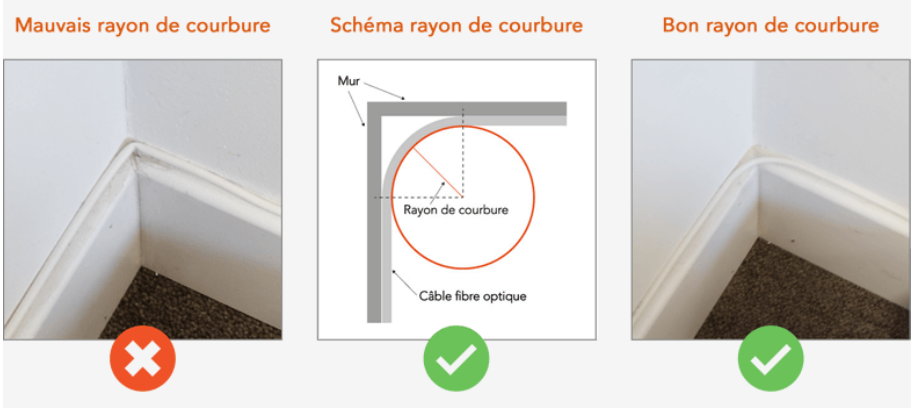
© Étienne Thibierge, www.etienne-thibierge.fr

Exercice 10 : Courbure d'une fibre optique

2 | 2

- *Fibre optique à saut d'indice ;*
- *Géométrie dans un triangle.*

Sur le site internet d'un opérateur de télécommunications, on trouve les préconisations ci-dessous pour faire suivre un mur à une fibre optique.



Question : expliquer la recommandation, et déterminer le rayon de courbure minimal à donner à la fibre.

Données et hypothèses : on considérera une fibre constituée d'une gaine d'indice 1,49 et d'un cœur d'indice 1,51 et de diamètre 500 µm, et on supposera que tous les rayons sont parallèles à l'axe de la fibre avant la partie courbée.

BY-NC-SA

© Étienne Thibierge, www.etienne-thibierge.fr