

## Exercice n°1 : l'arc-en-ciel

Le phénomène de l'arc-en-ciel est basé sur les lois de Descartes régissant les réflexions et réfractions de la lumière. Il n'est visible que lorsqu'un rideau de pluie (naturel ou artificiel) est éclairé et que l'observateur regarde ce rideau en tournant le dos à la source lumineuse.

On se reportera à la figure 1 pour localiser les diverses notations de l'exercice.

Un rayon lumineux entre en E dans une goutte d'eau sphérique avec une incidence  $i$  : il subit une réfraction. Au point R, il subit une réflexion. Il ressort finalement de la goutte au point S.

L'indice de réfraction de l'air est  $n_{\text{air}}=1$  et celui de l'eau est noté  $n_{\text{eau}}$ . Sa valeur dépend de la longueur d'onde de la lumière.

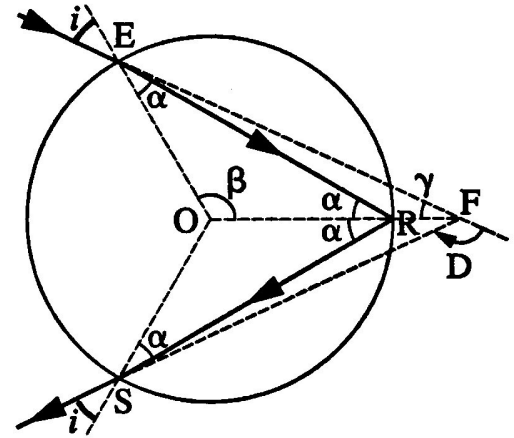


Figure 1

1. On cherche à déterminer l'expression de la déviation  $D$  en fonction de l'angle d'incidence  $i$  et de l'indice optique de l'eau  $n_{\text{eau}}$ .

- En considérant le triangle OEF, déterminer la relation entre les angles  $i$ ,  $\gamma$  et  $\beta$ , puis la relation entre les angles  $i$ ,  $\beta$  et  $D$ .
- En considérant le triangle OER, déterminer la relation entre les angles  $\alpha$  et  $\beta$ .
- En appliquant la loi de la réfraction, donner l'expression de l'angle  $\alpha$  en fonction de l'angle d'incidence  $i$  et de l'indice optique  $n_{\text{eau}}$  de l'eau.
- Rassembler les résultats des trois questions précédentes et donner l'expression de l'angle de déviation  $D$  en fonction de l'angle d'incidence  $i$  et de l'indice optique  $n_{\text{eau}}$ .

2. La lumière blanche émise par le Soleil est en fait composée de nombreuses couleurs.

- Comment qualifie-t-on ce type de rayonnement ?
- On donne la fréquence  $\nu$  et vitesse  $V$  de propagation dans l'eau de deux de ces couleurs :

Rayonnement	A	B
Fréquence $\nu$ (Hz)	$7,5 \cdot 10^{14}$	$3,8 \cdot 10^{14}$
Vitesse de propagation $V$ (m/s)	$2,23 \cdot 10^8$	$2,25 \cdot 10^8$

Déterminer les longueurs d'onde des rayonnements A et B dans le vide.

On rappelle la valeur de la célérité de la lumière dans le vide :  $c=3,00 \cdot 10^8$  m/s.

Donner les couleurs de ces deux rayonnements.

c) Les fréquences des rayonnements changent-elles lorsque le rayon lumineux pénètre dans la goutte d'eau ?

Qu'en est-il des longueurs d'onde ?

d) Calculer les indices de réfraction  $n_A$  et  $n_B$  de l'eau respectivement pour les rayonnements A et B.

Comment qualifie-t-on un milieu tel que l'eau ?

La goutte est maintenant éclairée par un large pinceau de lumière (émis par le soleil, par exemple). La goutte est alors touchée par une multitude de rayons entrant avec des angles d'incidence différents. L'intensité lumineuse maximale est observée dans la direction de la déviation minimale qui correspond, on l'admettra, à une incidence de  $i=60^\circ$ .

3. Calculer la déviation minimale d'un rayon constitué d'un rayonnement A. Même question pour un rayon constitué d'un rayonnement B. Conclure.

Lorsqu'un rideau de pluie est éclairé par le soleil, un observateur peut voir toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Ce ne sont donc pas les mêmes gouttes qui produisent toutes les couleurs.

4. L'observateur est situé à 1,00 km du rideau de pluie (figure 2). À quelle altitude est située la goutte qui produit le rayonnement A de l'arc-en-ciel ? Même question pour le rayonnement B.

On négligera la taille de l'observateur devant l'altitude des gouttes considérées.

5. Que se passe-t-il lorsque l'observateur se rapproche de l'arc-en-ciel ?

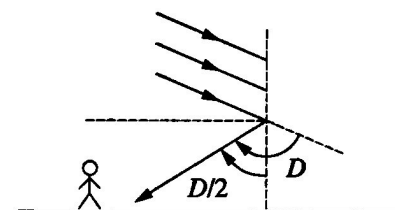


Figure 2

# Correction

## Exercice n°1

1.a. Dans le triangle OEF, on a  $i+\gamma+\beta=\pi$

D'autre part  $D+2\gamma=\pi$

En éliminant  $\gamma$  de ces deux relations, on obtient :  **$2i+2\beta=\pi+D$**  (1)

b. Dans le triangle OER, on a  **$2\alpha+\beta=\pi$**  (2)

c. On applique la loi de Descartes pour la réfraction :  $\sin(i)=n_{\text{eau}}\times\sin(\alpha)$  (avec  $n_{\text{air}}=1$ )

puis on inverse cette relation, ce qui donne :  **$\alpha=\arcsin[\sin(i)/n_{\text{eau}}]$**  (3)

d. On utilise les relations 1, 2 et 3 pour éliminer  $\beta$  puis  $\alpha$ , on obtient alors une relation entre D et i l'angle d'incidence :  **$D=\pi+2i-4\times\arcsin[\sin(i)/n_{\text{eau}}]$**

2.a. La lumière du soleil contient plusieurs radiations, c'est une lumière **polychromatique**.

b. et c.

Lorsqu'une onde change de milieu : la fréquence de l'onde est conservée mais la vitesse de propagation est modifiée ainsi que la longueur d'onde.

Dans le vide, nous avons  $c=\lambda.v$

Dans l'eau, nous avons  $V=\lambda_{\text{eau}}.v$

Les applications numériques donnent  **$\lambda_A=0,4\mu\text{m}$** ,  **$\lambda_B=0,79\mu\text{m}$**  ce qui correspond respectivement à du bleu et du rouge. (dans l'eau,  $\lambda_{\text{eau}}(A)=0,3\mu\text{m}$  et  $\lambda_{\text{eau}}(B)=0,59\mu\text{m}$ )

d. L'indice optique d'un milieu est défini par la relation  $n=c/V$ .

Nous avons donc  **$n_A=1,345$**  et  **$n_B=1,333$** .

L'eau est un milieu **dispersif** car la vitesse de propagation dépend de la longueur d'onde de la lumière  $v=f(\lambda)$ .

3. On utilise la relation de la question 1.d.  $D=\pi+2i-4\times\arcsin[\sin(i)/n_{\text{eau}}]$  et on fait l'application numérique avec les indices optiques A et B et  $i=60^\circ$ .

On obtient :  **$D_A=139,7^\circ$**  et  **$D_B=137,9^\circ$** .

4.

En utilisant le schéma ci-contre, on a  $\tan(D/2)=d/h$  soit  $h=d/\tan(D/2)$

L'application numérique donne :

**$h_A=367\text{m}$**  et  **$h_B=385\text{m}$**

L'observation d'un arc-en-ciel confirme ce résultat : le rouge est bien au-dessus du bleu.

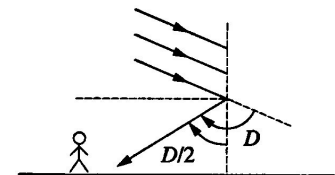


Figure 2

5. Lorsque l'on se rapproche de l'arc-en-ciel, l'angle sous lequel on voit cet arc-en-ciel n'est pas modifié. Par contre les gouttes diffusant le rouge et le bleu sont à des altitudes plus faibles ! En effet si d diminue alors  $h=d/\tan(D/2)$  diminue également !

**F.I.N.**

## Remarques à caractère général : aide à la résolution de problème

### Analyse de l'énoncé

Les énoncés proposés peuvent parfois apparaître confus ou imprécis. En outre les sujets peuvent comporter des erreurs. En cas de problèmes sur la précision et sur les données d'un énoncé, il convient de l'analyser soigneusement pour éliminer les doutes.

**Ex** :  $i=\alpha$  ou  $i\neq\alpha$  ?

En analysant la figure, on constate que l'angle  $ORE=\alpha$  (sans aucun doute possible), de plus le triangle  $OER$  est isocèle donc  $OER=\alpha$  et donc  $i\neq\alpha$  car le rayon incident est dévié (réfracté) en pénétrant dans la goutte d'eau.

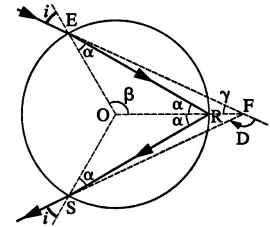


Figure 1

### Utilisation des lois de la physique

- ☞ Rappeler le nom de la loi
- ☞ Et surtout les conditions dans lesquelles on peut utiliser cette loi.

**Cela permet d'éviter les erreurs, d'être plus rigoureux et de bien comprendre son cours.**

### Effort de rédaction

- ☞ Oblige à se questionner avant d'écrire
- ☞ Permet de structurer sa réflexion et son savoir
- ☞ Distinguer hypothèses, lois et résultats : méthode déductive

### Méthode de travail :

Cours appris régulièrement et le plus rapidement possible avec les éléments essentiels illustrés par des exercices corrigés.

**Conclusion : pour progresser il faut apprendre le cours en reprenant chaque exercice. Les progrès ne se feront qu'à travers un QUESTIONNEMENT sur le cours et sur les exercices.**

### Comment répondre à une question

La première tentation c'est de répondre en suivant son intuition. On obtient en général une réponse rapidement, qui nous semble logique et simple.

Même si les sciences laissent une large part à l'intuition, il est prudent de se méfier des fausses bonnes idées. L'esprit scientifique consiste justement à *remettre en cause cette apparente simplicité* issue de notre intuition.

Un exemple permet de bien comprendre les enjeux : l'affirmation "le soleil tourne autour de la terre" nous semble à première vue correcte parce que c'est ce que nous "voyons"...Et pourtant ...

La tentation est souvent grande de répondre rapidement sans se poser trop de questions parce que c'est tellement plus simple ... Voir la dernière question de l'exercice n°1 : que se passe-t-il lorsqu'on se rapproche d'un arc-en-ciel ?

### Présentation des résultats

Il est indispensable de rédiger une *conclusion* qui rassemble les résultats obtenus, éventuellement les remarques concernant ces résultats ou sur les conséquences des résultats, discuter la validité des résultats (correspondent-ils à ce que l'on attendait), penser aux *ordres de grandeurs*, à l'*homogénéité* des expressions.

Les résultats numériques seront présentés à l'aide de la *notation scientifique* (voir livre p370).

Les résultats doivent être encadrés.