

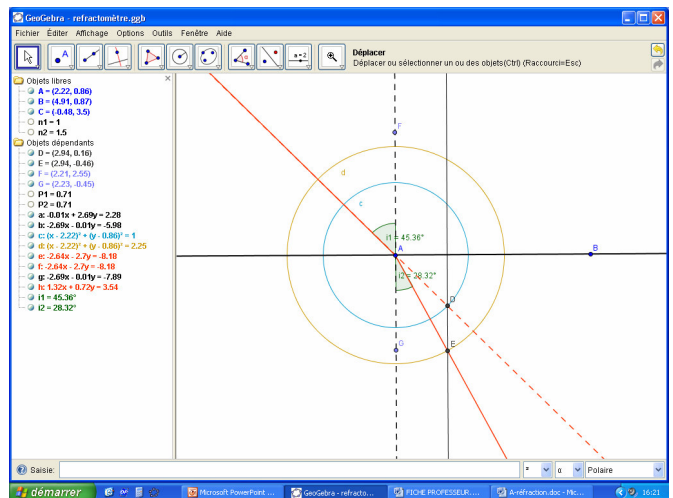
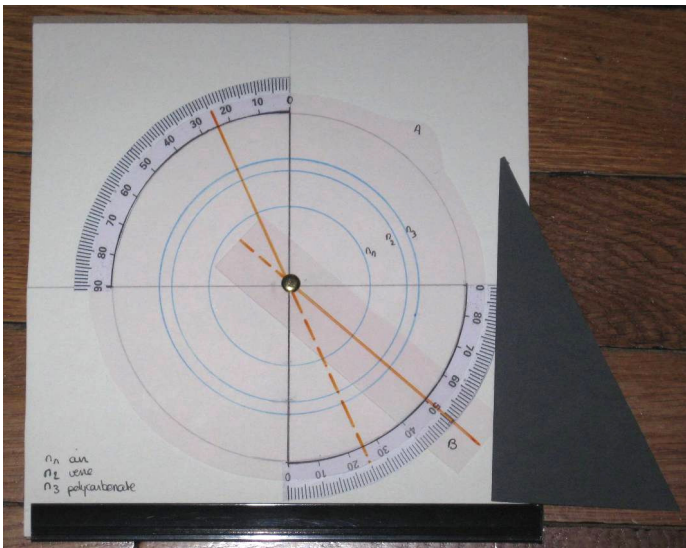
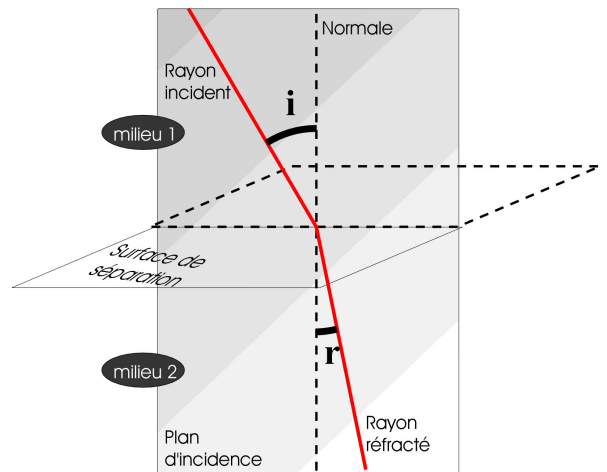
FICHE PROFESSEUR

Le diaporama « Réfraction.ppt » comprend **quatre parties** :

I. Une présentation du phénomène de réfraction et de la loi de Descartes $n_1 \cdot \sin(i) = n_2 \cdot \sin(r)$.

Cette relation étudiée en classe de seconde est utile pour déterminer l'angle de réfraction r , connaissant par exemple l'angle d'incidence i (voir schéma). Nous rappelons que l'indice de réfraction n d'un milieu transparent est défini par la relation $n = \frac{c}{v}$, avec $c = 300\,000\text{ km/s}$ (vitesse de la lumière dans le vide) et v vitesse de la lumière dans le milieu étudié (eau, verre ...).

L'utilisation de cette relation s'avère parfois délicate pour les élèves. Nous proposons ici une méthode graphique permettant de déterminer r de manière un peu plus ludique. Cette méthode peut conduire à la réalisation d'un dessin ou à la construction d'une machine en carton (voir photo) ou encore on peut penser à utiliser un logiciel de géométrie dynamique comme geogebra (voir fichier « réfractomètre.ggb »).



II. Le principe de Fermat affirme que le chemin suivi par la lumière est le plus rapide.

A l'aide de ce principe, il est possible retrouver après quelques calculs mathématiques la loi de Descartes (voir document correspondant).

Dans les parties 3 et 4, nous proposons deux applications de la réfraction :

- Le calcul, à l'aide d'un tableur, de la courbure d'un rayon lumineux dans l'atmosphère due à la **réfraction atmosphérique**.
- Une étude de la réfraction des rayons solaires par les gouttes d'eau conduisant à la formation d'un **arc-en-ciel**.

III. Réfraction atmosphérique

L'indice de réfraction de l'atmosphère terrestre dépend, d'après la formule empirique suivante, essentiellement de deux paramètres :

- P : pression atmosphérique en Pascal (Pa),
- T : température de l'atmosphère en degré Kelvin (K).

$$n = 1 + (n_s - 1) \times \left(\frac{P}{P_0} \right) \times \left(\frac{T_0}{T} \right)$$
$$n_s = 1,00027697$$

Par ailleurs la température et la pression de l'air varient de façon continue avec l'altitude suivant les relations ci-dessous également empiriques et valables jusqu'à une altitude de 11000 m environ :

$$P(h) = P_0 \left(\frac{288 - 0.0065h}{288} \right)^{5.255}$$
$$T_0 = 15^\circ\text{C} = 288\text{K}$$
$$P_0 = 1013.25\text{hPa}$$

$$\Delta T = -6.5^\circ / \text{km}$$

On voit donc que finalement **l'indice de l'air dépend également de l'altitude notée h ...**

On construit alors un modèle discret de couches d'indices n_k superposées, on appelle "pas" l'épaisseur de chaque couche.

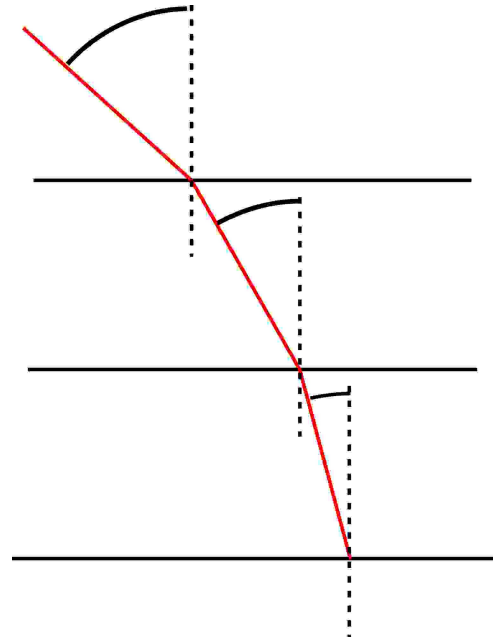
On obtient très simplement la relation suivante :

$$n_k \cdot \sin(i_k) = n_{k+1} \cdot \sin(i_{k+1})$$

Il reste à effectuer un traitement informatique à l'aide d'un tableur pour trouver l'angle i_f (inclinaison du rayon lumineux par rapport à la verticale au niveau du sol), en fonction de i_0 (inclinaison du rayon lumineux par rapport à la verticale à une altitude de 11000 m).

Il est également possible de construire la trajectoire du rayon lumineux.

Les résultats sont présentés dans le fichier « [réfraction atmosphérique.xls](#) ».



Remarques :

- Dans ce modèle simple, les couches d'air sont planes. Il est possible de faire le même travail en considérant des couches sphériques concentriques ce qui est plus réaliste bien sûr, mais les calculs sont un peu plus délicats et donc moins envisageables avec des élèves de lycée...

- Enfin notons que la principale conséquence de cette courbure des rayons lumineux est le décalage entre la direction observée d'un astre (soleil, lune, étoile...) et sa direction réelle. Ce décalage est d'autant plus important que l'inclinaison des rayons est forte. Ainsi lorsque les rayons arrivent avec une incidence rasante (i_0 proche de 90°) $i_f - i_0 = 0,5^\circ$, ce qui correspond en gros au diamètre apparent de la lune ou du soleil. Donc lorsque le soleil « touche » l'horizon, il est en fait déjà couché...

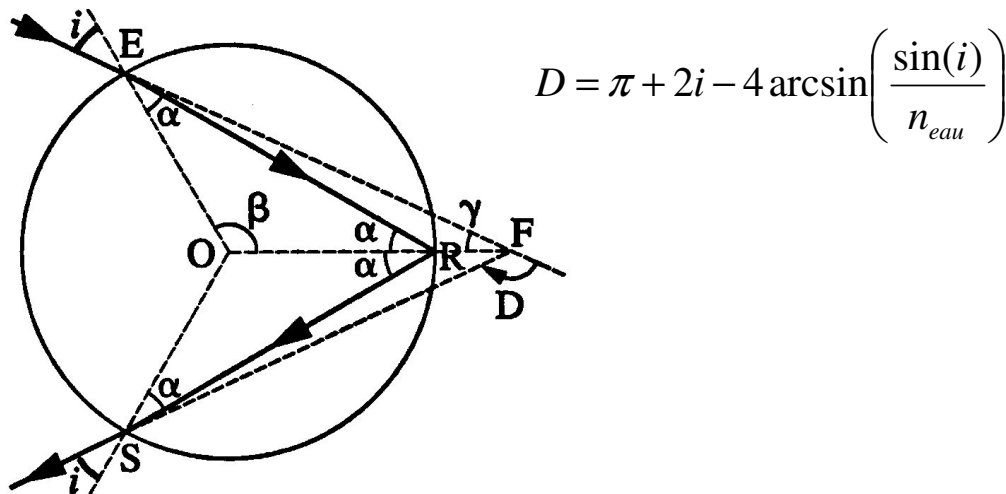
IV. L'arc-en ciel

L'arc est dû à la réfraction de la lumière solaire par les gouttes d'eau en suspension dans l'air... On suppose que les gouttes d'eau sont sphériques. Dans ce problème l'indice de réfraction des gouttes d'eau dépend de la couleur de la lumière ou encore longueur d'onde : on dit que l'eau est un **milieu dispersif**. Le spectre de la lumière visible s'étend sur un domaine de longueur d'onde compris entre $\lambda = 400$ nm (bleu) et $\lambda = 800$ nm (rouge). Entre ces deux valeurs on trouve l'ensemble des couleurs visibles dans un arc-en-ciel.

L'indice de réfraction de l'eau peut-être décrit à l'aide de la relation suivante, où A et B sont des constantes dont la valeur est précisée dans le fichier « [arc-en-ciel.xls](#) » :

$$n_{eau} = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

A l'aide du schéma ci-dessous, on peut faire le calcul de la déviation D , d'un rayon lumineux. Ce calcul peut être proposé à des élèves de terminale scientifique au cours de l'activité « [Elève-arc-en-ciel.doc](#) ».



$$D = \pi + 2i - 4 \arcsin\left(\frac{\sin(i)}{n_{eau}}\right)$$

Figure 1

L'indice dépendant de la longueur d'onde, chacune des couleurs du spectre solaire est déviée avec un angle différent. Ainsi les couleurs au départ « mélangées » dans la lumière du soleil se trouvent-elles séparées à la sortie de la goutte. Par exemple, pour un angle d'incidence de 60° environ le bleu est dévié de 139° environ et le rouge de 138° seulement...

Il reste à comprendre deux points essentiels pour clore cette étude...

Tout d'abord le soleil étant situé à 150 millions de kilomètre de la terre, les rayons sont quasiment parallèles entre eux. Donc chaque goutte est éclairée par un faisceau de lumière parallèle, la position du « point d'impact » du rayon sur la surface de la goutte d'eau détermine la valeur de l'angle d'incidence i qui prend donc de façon continue les valeurs entre 0 et 90° .

Ensuite on observe que pour des angles d'incidence compris entre 55° et 65° environ, la déviation D est minimale et assez stationnaire (c'est le minimum de déviation). Cette incidence « concentre » chaque couleur dans une direction particulière qui correspond à la direction dans laquelle on va pouvoir observer l'arc-en-ciel.

Références bibliographiques :

Optique, J. Ph. PEREZ (Masson 1991)

Traité des couleurs, Libero Zuppiroli (presses polytechniques et universitaires romandes 2001)

Mécanique 2, R. Feynman, chap 26 (Dunod)

Jeux de lumière, F. Suagher, J. P. Parisot (Cêtre)

Wikipédia, site internet

Annexe :

Schéma du réfractomètre :

