



Réflexion et réfraction de la lumière - Lois de Snell-Descartes

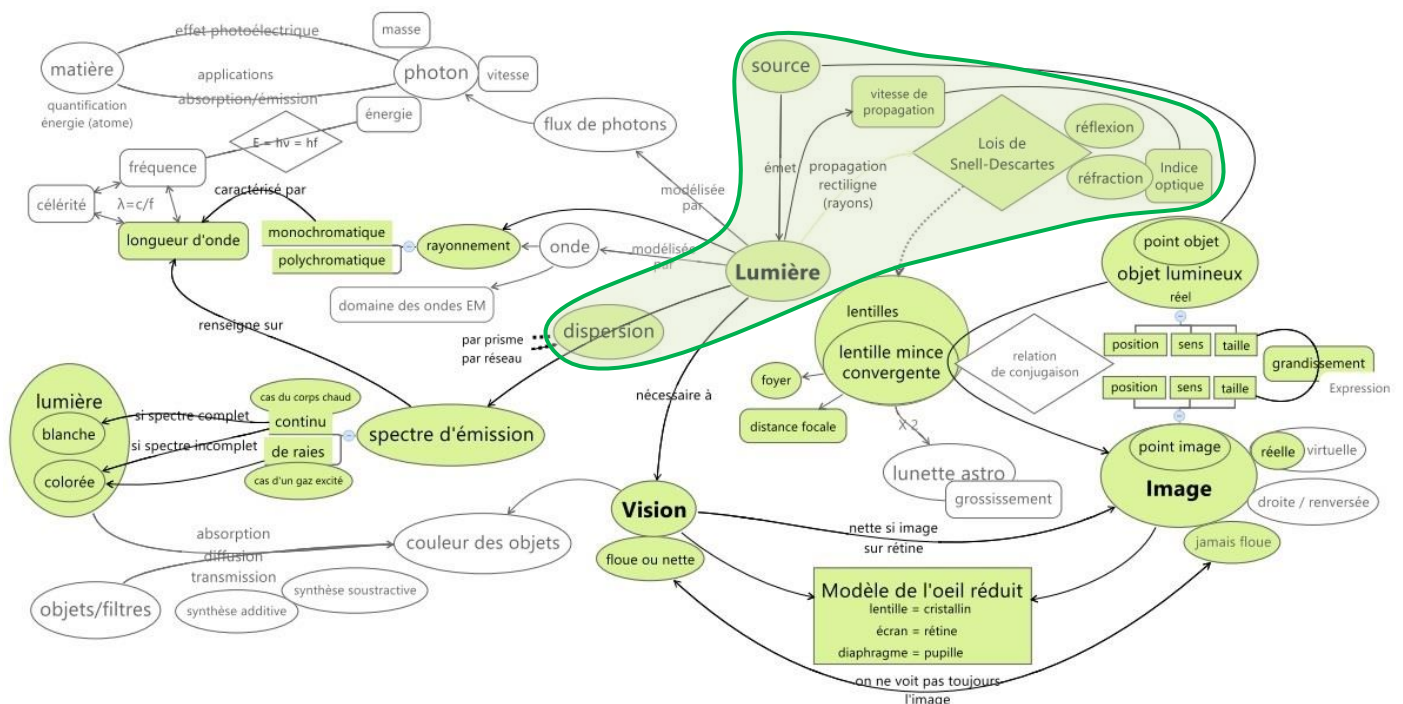
Document professeur

Préambule

- Partie de programme traitée

2. Vision et image	
<p>La partie « Optique » vise à consolider le modèle du rayon lumineux, à introduire la notion de spectre et à montrer que les phénomènes de réflexion et de réfraction sont bien décrits par des relations mathématiques. Le programme propose également une première approche de la notion d'image d'un objet et de sa formation.</p> <p>De nombreux domaines d'application sont concernés : vision humaine, photographie, astrophysique, imagerie scientifique, arts graphiques et du spectacle. Cette partie du programme est source de nombreuses expérimentations démonstratives et quantitatives.</p> <p>Notions abordées au collège (cycle 4) Lumière : sources, propagation, vitesse de propagation. Modèle du rayon lumineux.</p>	
Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. Indice optique d'un milieu matériel.	Exploiter les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. <i>Tester les lois de Snell-Descartes à partir d'une série de mesures et déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.</i>
Dispersion de la lumière blanche par un prisme ou un réseau.	Décrire et expliquer qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme. <i>Produire et exploiter des spectres d'émission obtenus à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre.</i>

- Positionnement du chapitre dans la carte conceptuelle.



- Justification du découpage des activités

Ce chapitre traite de la partie du programme relative aux lois de Snell-Descartes.

La première activité permet de découvrir le phénomène et d'introduire les premiers éléments de la modélisation (vocabulaire et outils géométriques).

La 2^e activité vise à permettre aux élèves de s'approprier ces éléments de modélisation (point et angle d'incidence, normale, dénomination des rayons, repérage des angles...). Elle permet aussi de constater que l'angle d'incidence peut être plus petit ou plus grand que l'angle de réfraction.



La 3^e activité est centrée sur les lois de Snell-Descartes en tant que telles. Si pour la réflexion, l'élève est invité à induire la loi, pour la réfraction, il devra choisir entre plusieurs modèles, en faisant quelques mesures. L'activité 4 vise à utiliser le modèle maintenant disponible pour interpréter une observation surprenante. Enfin, l'activité 5 permet d'interpréter la dispersion vue au chapitre 1 par le phénomène de réfraction.

Activité 1 : à la rencontre d'un nouveau milieu

Mise en évidence du phénomène de réfraction

LIEN AVEC LA FICHE CCM

PREREQUIS

- Modèle du rayon lumineux, Propagation rectiligne de la lumière, Milieu transparent

SAVOIRS VISÉS

VOCABULAIRE :

- Surface de séparation

PROPRIÉTÉS:

- Lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre sans être perpendiculaire à la surface de séparation alors elle est déviée.

CAPACITÉS RETRAVAILLÉES x

CAPACITÉS VISÉES

- Tracer sur un schéma le trajet d'un rayon de lumière lors d'un passage d'un milieu à un autre.

CÔTÉ PRATIQUE

DURÉE

20 min

RESSOURCES DISPONIBLES

Feuille de consignes

Situation expérimentale

REMARQUES AU SUJET DU MATÉRIEL

Un aquarium et un grand volume d'eau contenant déjà le soluté diffusant (du lait par exemple) sont nécessaires pour l'expérience. Mettre le laser sur un pied. Ne pas hésiter à repérer le point d'impact sur le fond de l'aquarium avant de verser l'eau et de pulvériser de la poussière de craie, fumée d'encens ou autre pour matérialiser le trajet de la lumière dans l'air (sans et avec eau).

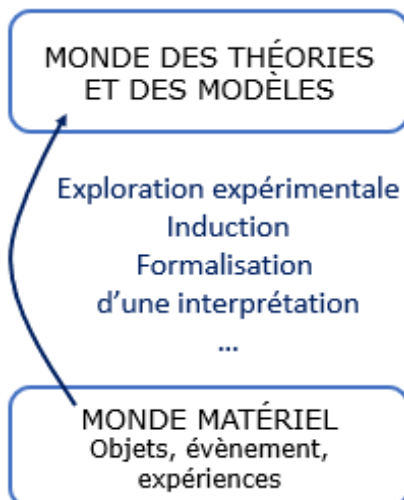
CARACTÉRISTIQUES DE L'ACTIVITÉ

ACTIONS DIDACTIQUES

Expliciter ses idées quotidiennes et en débattre

Réaliser et exploiter une expérience qualitative exploratoire

MODÉLISATION



Modèle du rayon lumineux, droite normale, réfraction

La lumière est déviée à la surface de séparation mais continue à se propager en ligne droite dans chaque milieu. Pas de déviation si incidence normale

La lumière est déviée (et réfléchi) à la surface

LIENS ENTRE REPRÉSENTATIONS

Langage naturel / Perception visuelle / Représentation figurative

SAVOIRS EN JEU

L'enjeu de l'activité est de mettre en évidence la déviation lors d'un passage d'un milieu à un autre. Puis de montrer qu'il existe un cas particulier où il n'y a pas de déviation. Ce travail s'appuie sur les connaissances antérieures des élèves relatives à la propagation rectiligne de la lumière et au modèle du rayon lumineux. On peut aussi mettre en évidence la réflexion de la lumière au niveau de la surface de séparation entre deux milieux.

COMPORTEMENT ET PRODUCTIONS DES ÉLÈVES

Il est important de laisser les élèves réfléchir sur la situation de la question 1 et de leur laisser le temps de faire le schéma demandé. Surtout s'ils ne disposent comme observation que du point d'impact de la lumière au fond de l'aquarium

La question 2 est plus difficile pour les élèves. Une prévision est souvent difficile, les élèves ont peur de se tromper et ont souvent du mal à entendre qu'à cet instant il n'y a pas de réponse juste ou fausse.

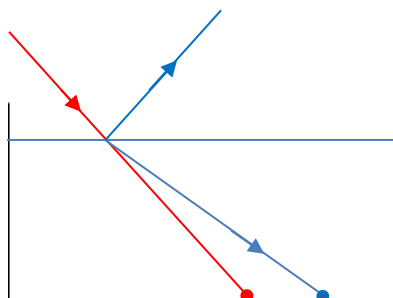
Pour prévoir, les élèves ont connaissance de l'effet « baguette brisée » (avec un danger à retenir pour la suite car cette confusion entre trajet de la lumière et bâton brisé est source d'erreur), « le rayon se décale ». Ce dernier point est d'ailleurs ce qu'ils peuvent observer s'ils ne sont pas situés bien en face du point d'incidence. Dans ce cas le rayon incident est réfracté et ne semble pas arriver et partir d'un même point. Ne pas hésiter à venir faire l'observation du côté des élèves pour se rendre compte de ce qu'ils peuvent observer et à les faire se déplacer si la déviation s'accompagne d'un décalage. En prenant cette précaution on évitera les contradictions en apparence entre les schémas de modélisation ultérieurs ou les schémas d'observation faits par l'enseignant au tableau lors de l'institutionnalisation.

La dernière question est de loin la plus difficile mais Il y a toujours des élèves pour proposer de placer la source de lumière laser en incidence normale. Pour généraliser cette propriété, on peut aussi éclairer en incidence normale les différentes parois de l'aquarium.

La diversité des prévisions est très grande. On aura intérêt à proposer à quelques élèves de venir rendre compte de leur prévision au tableau sur un schéma commun à toute la classe, avant l'expérience. Le fait de savoir qu'on va avoir la réponse juste après avec l'expérience est une source indéniable de motivation.

CORRIGÉ

1. En rouge le trajet de la lumière laser sans eau.



2. **Prévision** : toutes les réponses sont acceptées à ce stade.

3. **Observation** : En bleu le trajet de la lumière laser observé lorsque l'aquarium est plein.

Le point d'impact s'est décalé vers la droite (en bleu) ce qui indique que la direction du trajet du laser a été modifiée « la lumière est déviée au passage de la surface de l'eau ». On observe aussi un rayon réfléchi avec un point d'impact au plafond.

4. **hypothèse** : L'enseignant peut réaliser les expériences proposées par les élèves pour valider ou non leurs hypothèses ou alors attendre l'activité suivante dont la 1^{ère} expérience apportera la réponse en permettant un élargissement du champ de validité à un autre matériau (incidence normale).

**Activité 2 : Comment repérer la déviation du trajet de la lumière ?***Première modélisation du phénomène de réfraction***LIEN AVEC LA FICHE CCM****SAVOIRS RETRAVAILLÉS****VOCABULAIRE :**

- Surface de séparation

PROPRIÉTÉS :

- Lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre sans être perpendiculaire à la surface de séparation alors elle est déviée.

SAVOIRS VISÉS**VOCABULAIRE :**

- Rayon incident
- Rayon réfracté
- Angles d'incidence, angle de réfraction
- Point d'incidence
- Normale
- Milieu

LES GRANDEURS À CONNAITRE (AVEC LEUR UNITÉ)

- Angle d'incidence
- Angle de réfraction

CAPACITÉS RETRAVAILLÉES

- Tracer** sur un schéma le trajet d'un rayon de lumière lors d'un passage d'un milieu à un autre.

CAPACITÉS VISÉES

- Repérer** sur un schéma d'une expérience de réfraction les différents éléments de modélisation (droite normale, surface de séparation, point d'incidence, angles).

CÔTÉ PRATIQUE**DURÉE**

25-30 min

RESSOURCES DISPONIBLES

Feuille de consignes

Matériel à utiliser avec « protocole » (parallélépipède en plexi + lanterne émettant un faisceau fin + feuille vierge)

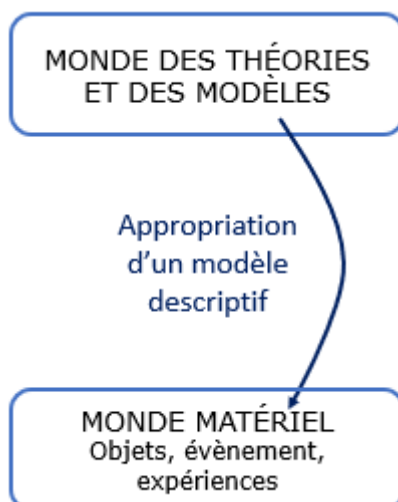
Feuille Modèle qui peut être introduite seulement après la question 2 au moment où les élèves ont besoin de mettre en œuvre les très nombreux éléments de modélisation, ou au début de l'activité

REMARQUES AU SUJET DU MATÉRIEL

Donner des consignes claires pour que les élèves reproduisent sur leur table la situation schématisée. Ne pas hésiter à imprimer le texte de l'activité avec un bloc de plexiglass à l'échelle 1 (pour éviter que le 1^{er} rayon réfracté soit du même côté que la 1^{ère} normale que le rayon incident). Tenter si possible de faire en sorte qu'on puisse voir le faisceau à l'intérieur du milieu transparent. Pour cela, on peut placer le dispositif sur une feuille blanche.

CARACTÉRISTIQUES DE L'ACTIVITÉ**ACTIONS DIDACTIQUES**

Modéliser une situation

MODÉLISATION

Surface de séparation, point d'incidence droite normale, angle d'incidence, angle de réfraction

Lien entre situations observées et outils de modélisation pour repérer le passage de la lumière et caractériser la réfraction

Vérification d'une absence de déviation lors d'une incidence normale

Double déviation de la lumière malgré une absence de déviation globale mais un décalage du rayon
Surface du plexiglass

**LIENS ENTRE REPRÉSENTATIONS**

Langage naturel / Perception visuelle / Représentation figurative / représentation d'angles

SAVOIRS EN JEU

L'activité précédente a permis de mettre en évidence que le phénomène de réfraction se manifeste lors d'un changement de milieu et que l'incidence n'est pas normale.

Dans cette situation l'objectif est de donner aux élèves les outils pour modéliser de façon quantitative le phénomène de réfraction (et de réflexion) à l'activité suivante.

Pour cela on repart d'un cas similaire à celui de la fin de l'activité 1 pour de nouveau mettre en évidence les conditions nécessaires à la manifestation du phénomène de réfraction. Puis on fournit aux élèves le texte du modèle qui présente les éléments de modélisation de la situation.

L'utilisation du parallélépipède en plexiglass permet de varier les situations à modéliser (autre que l'eau et l'air) en évitant dans un premier temps le recours au discoptique, dispositif astucieux pour mesurer des angles mais qui masque la possibilité d'une 2^{ème} réfraction à la sortie d'un bloc de plexiglass.

COMPORTEMENT ET PRODUCTIONS DES ÉLÈVES

Pour la première question, si l'on peut voir le trajet de la lumière dans le bloc de plexiglass les élèves n'ont pas de difficulté à compléter le schéma. Par contre, s'ils ne voient pas que la trace à la sortie du bloc de plexiglass, l'enseignant peut les amener en s'appuyant sur le principe de propagation rectiligne de la lumière à compléter par eux même le trajet manquant entre le point d'incidence au niveau de la première surface de séparation air/plexiglass et celui de la seconde surface de séparation.

Le lien avec la première situation (aquarium) et la non déviation en incidence normale ne pose pas de problème.

C'est à la fin de cette question que l'enseignant fournit aux élèves le modèle de la réfraction avec notamment un premier paragraphe présentant les éléments de modélisation mis en œuvre par la suite.

Pour la schématisation de la question 2, afin d'assurer la faisabilité de la modélisation à venir, l'enseignant doit veiller à ce que sur le schéma des élèves le 1^{er} rayon réfracté ne soit pas trop incliné pour ne pas passer « du mauvais côté de la droite normale et donc que le rayon incident et le 2nd rayon réfracté parallèle ne soient pas trop décalés. Pour cela, un schéma à l'échelle 1 sur lequel les élèves peuvent poser le parallélépipède de plexiglass est une aide précieuse.

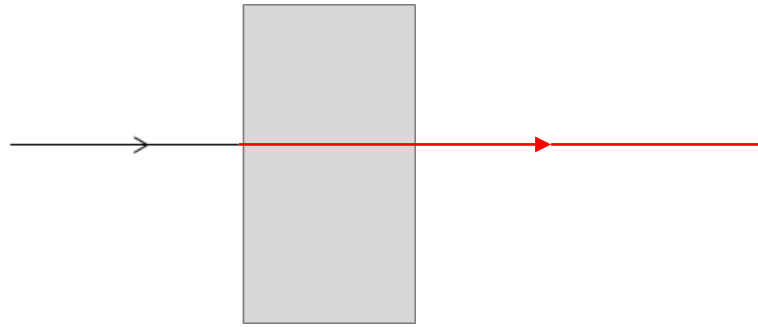
Par contre, à la question 3 l'appropriation des éléments de modélisation pour schématiser la situation peut être laborieuse. Il faut donc laisser le temps aux élèves de s'approprier le modèle (très dense) et de le mettre en œuvre. A ce stade les élèves ne trouvent pas de justification au recours à une droite normale pour repérer les angles. Il y a donc souvent des confusions entre droite normale et surface de séparation. Cette dernière est le seul élément de modélisation avec un référent matériel. Les élèves ont donc tendance à tout ramener à celle-ci par facilité d'où des « confusions ». Il ne faut par contre pas hésiter à s'appuyer sur ce point pour faire entrer les élèves dans la modélisation (ordre des éléments à repérer et fragmentation des tracés dans la question 3). Il est aussi essentiel que les élèves repèrent la première réfraction, puis la 2^e en sortie qu'ils traiteront dans la question 4. L'enseignant doit, dans la mesure du possible, répondre aux sollicitations des élèves concernant le travail à effectuer ou la validation de celui-ci en les orientant vers la lecture d'un élément du modèle.

Pour la fin de l'activité (question 4), certains élèves ont des difficultés à envisager que le 1^{er} rayon réfracté devient le rayon incident pour la deuxième réfraction. Ce qui ne semblait pas poser de problème à la 1^{ère} réfraction peut devenir problématique notamment l'identification du second point d'incidence et le tracé de la droite normale. Même si la première réfraction a été modélisée facilement on peut s'attendre à ce que cela soit plus long pour la seconde. Il ne faut donc pas hésiter à cacher la première réfraction pour recentrer le problème.



CORRIGÉ

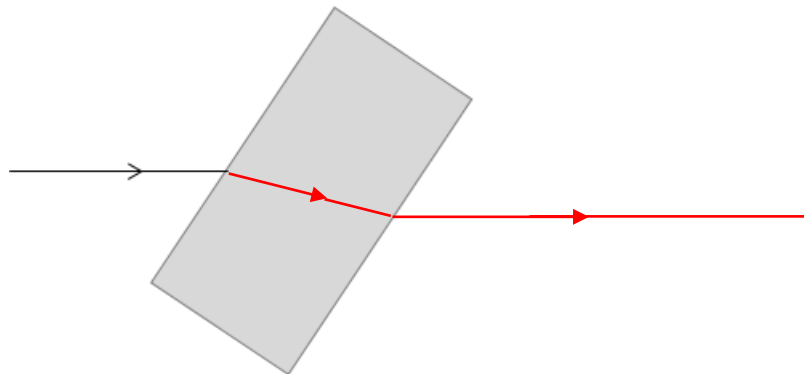
1.



Comme dans la deuxième situation de l'activité précédente (hypothèse), il n'y a pas de déviation de la lumière lorsqu'elle change de milieu de propagation pendant traversée du bloc de plexiglass si elle arrive selon une direction perpendiculaire à la surface de séparation. On parle d'incidence normale.

Dans cette situation on ne voit pas forcément le trajet de la lumière dans le bloc de plexiglass. Pour le déterminer on utilise la propriété de propagation rectiligne de la lumière et ainsi on trace le segment reliant le point d'incidence au niveau de la première surface de séparation et le point d'émergence au niveau de la seconde surface de séparation.

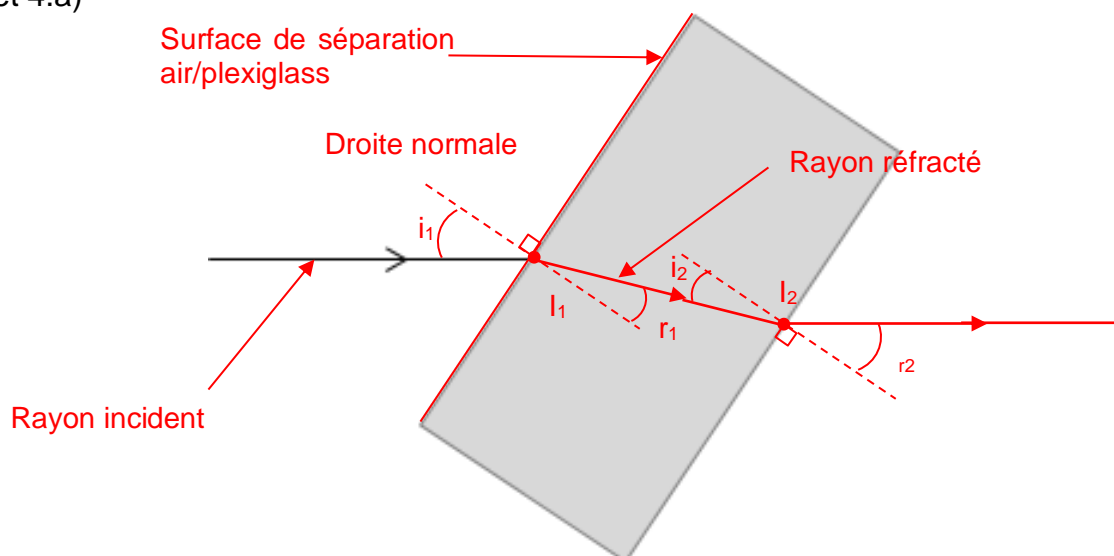
2.



Même remarque ici qu'à la question précédente concernant le trajet de la lumière dans le bloc de plexiglass.

Lire le paragraphe A- du modèle

3. a, b, c et 4.a)



d) L'angle d'incidence i_1 est-il plus grand que l'angle de réfraction r_1

4.

b) L'angle d'incidence i_2 est-il plus petit que l'angle de réfraction r_2



Activité 3 : De tous ces modèles, lequel est le bon ?

Modèle de la réfraction en accord avec les observations : lois de Snell-Descartes

LIEN AVEC LA FICHE CCM

SAVOIRS RETRAVAILLÉS

VOCABULAIRE :

- Surface de séparation, rayon incident, rayon réfracté, angles d'incidence, angle de réfraction, point d'incidence, Normale, milieu

PROPRIÉTÉS :

- Lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre sans être perpendiculaire à la surface de séparation alors elle est déviée.

SAVOIRS VISÉS

VOCABULAIRE :

- Rayon réfléchi
- angle de réflexion

LES RELATIONS :

- Loi de Snell-Descartes pour la réflexion
- Loi de Snell-Descartes pour la réfraction

PROPRIÉTÉS :

- La lumière est réfléchie avec un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence
- La lumière est réfractée avec un angle de réfraction qui obéit à la loi de Snell-Descartes pour la réfraction

CAPACITÉS RETRAVAILLÉES

- Tracer** sur un schéma le trajet d'un rayon de lumière lors d'un passage d'un milieu à un autre, repérer sur un schéma d'une expérience de réfraction les différents éléments de modélisation (droite normale, surface de séparation, point d'incidence, angles)

CAPACITÉS VISÉES

- Mesurer** sur un schéma ou un dispositif expérimental un angle d'incidence ou de réfraction
- Déterminer** l'indice de réfraction d'un milieu en exploitant un tableau de valeur ou une courbe

CÔTÉ PRATIQUE

DURÉE

45 min

RESSOURCES DISPONIBLES

Feuille de consignes

Matériel à utiliser type « discoptique » avec protocole

Feuille Modèle à compléter en deux temps

Présence d'un *Pour aller plus loin...*

REMARQUES AU SUJET DU MATÉRIEL

Quelques réglages à bien communiquer aux élèves pour mener à bien la manipulation (alignement zéros/trace lumineuse, observation des traces lumineuse sur le bord du rapporteur à la sortie du demi-cylindre en plexiglass ou après réflexion)

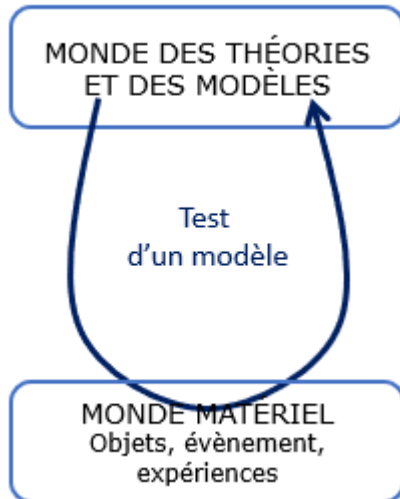
Si le chapitre a été commencé en demi-classe il est difficilement possible de terminer cette activité dans la séance. Il est par contre possible que les élèves parviennent à effectuer les mesures des angles de réfraction manquants pour les exploiter ultérieurement.

Attention à faire quelques mesures sur votre discoptique avant l'activité pour vérifier que les valeurs coïncident.

CARACTÉRISTIQUES DE L'ACTIVITÉ

ACTIONS DIDACTIQUES

Réaliser et exploiter une expérience quantitative de vérification d'un modèle ou d'une prévision à l'aide du modèle

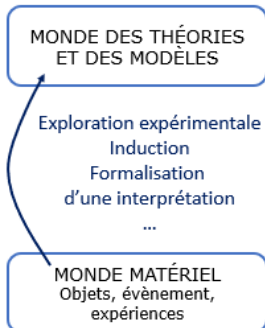
**MODÉLISATION**

Phénomène de réflexion/réfraction, loi de Snell-Descartes réflexion/réfraction et autres propositions. Indice de réfraction

Représentation graphique, calculs de sinus et de rapports de proportionnalité

Observations des rayons incidents, réfléchis et réfractés et mesures des angles

Pour le début de l'activité (réflexion), les élèves induisent un modèle :

**LIENS ENTRE REPRÉSENTATIONS**

Langage naturel / Perception visuelle / Représentation figurative / représentation d'angles/ Tableaux à double entrée/ Valeurs et relations formelles entre grandeurs scalaires/ Représentation graphique : systèmes d'axes, nuage de points, courbe...

SAVOIRS EN JEU

L'activité précédente a permis d'introduire les éléments qualitatifs de modélisation (vocabulaire, définition des angles) qui vont permettre dans cette activité d'étudier les éléments quantitatifs de modélisation sur une situation mettant en jeu les phénomènes de réflexion et de réfraction.

La modélisation du dispositif discoptique avec les éléments qualitatifs du modèle de la réflexion et de la réfraction est une première étape clé. Elle nécessite de laisser du temps à l'élève pour s'approprier le dispositif et l'enseignant doit s'assurer de cette appropriation pour le bon déroulement de l'activité.

Concernant la réflexion, une fois les rayons et angles repérés, il n'y a pas de difficulté particulière, la relation à établir étant mathématiquement simple.

Le cœur de l'activité met en jeu une démarche visant à choisir parmi 3 propositions un modèle de la réfraction permettant de prévoir la valeur d'un angle connaissant l'autre.

Les élèves sont amenés à tester les modèles au regard de leurs observations et par une série de mesures. C'est le champ expérimental qui va leur permettre dans un premier temps d'invalider l'un d'eux puis de choisir entre les deux restant, le plus adapté à la situation. Ce choix s'appuie sur la notion de champ de validité. En effet, les deux modèles sont valides mais avec des champs de validité différents. Le plus adapté est le modèle ayant le champ de validité le plus large.

Pour que les modèles à tester ne présentent pas de trop grandes dissymétries du point de vue des notions mises en jeu, le modèle de Snell-Descartes ne fait pas référence aux indices de réfraction des milieux et ne tient compte que de la proportionnalité entre les sinus pour faire écho à la proportionnalité entre les angles du modèle de Kepler. C'est donc à l'enseignant d'introduire au moment de l'institutionnalisation de la relation de Snell-Descartes pour la réfraction les notions d'indice de réfraction. C'est toujours un moment délicat car les élèves ne donnent aucune signification à ces grandeurs qui ne sont pas définies cette année et sont justes présentées comme des grandeurs caractéristiques des milieux transparents mis en jeu.

De la même façon, le choix du repérage des angles par rapport à la droite normale qui semble arbitraire à l'activité précédente ne sera pas levé dans cette activité ni cette année. Mais c'est avec cette convention que la relation de Snell-Descartes avec les sinus est valide. Cela peut être signalé aux élèves en fin d'activité pour justifier cette convention.

Ces aspects arbitraires de plusieurs éléments de modélisation sont sources de difficultés d'assimilation pour de nombreux élèves.

L'utilisation de la fonction sinus est une difficulté mathématique classique pour les élèves. Le fait de se limiter à la détermination d'un indice de réfraction et non à la détermination de la valeur d'un angle réduit un peu la difficulté (pas besoin du passage par la fonction réciproque *Arcsin*).

COMPORTEMENT ET PRODUCTIONS DES ÉLÈVES

L'utilisation du discoptique nécessite quelques précautions d'usage qui doivent être précisées clairement en début d'activité mais qui ne doivent pas venir masquer les objectifs principaux de cette activité : établir une relation entre les angles d'incidence et de réflexion (1^{ère} partie) et choisir un modèle donnant le lien entre les angles d'incidence et de réfraction et déterminer la valeur d'un indice de réfraction (2^e partie).

Cette multiplicité des objectifs liée au recours du même dispositif expérimental pour les atteindre peut vite induire de la confusion et du découragement chez certains élèves. Il faut donc veiller à garder tout le monde dans le rythme.

Dans la première partie consacrée à la réflexion, la première question qui doit permettre aux élèves de s'approprier le dispositif et de modéliser qualitativement la situation n'est pas évidente pour une partie non négligeable des élèves. Il ne faut pas hésiter à leur demander de faire le parallèle avec le travail de l'activité précédente et leur montrer les traces des rayons réfracté et réfléchi qui ne sont pas toujours très faciles à repérer, mais sans les identifier.

Une fois les éléments de modélisation en place, l'établissement de l'égalité entre les angles d'incidence et de réflexion ne pose pas de difficulté aux élèves.

Il peut être envisageable de prévoir un temps dans l'activité pour institutionnaliser cette égalité mais comme celle-ci n'est pas réinvestie dans l'activité il n'y a pas de nécessité.

La deuxième partie est consacrée au choix d'un modèle de la réfraction. En cas de manque de temps il est possible à ce stade de demander aux élèves de compléter les mesures du tableau pour leur en demander une exploitation ultérieure.

Une des difficultés est l'appropriation des différents énoncés par les élèves. Pour les plus perdus ou en retard il est possible pour la première sous-partie A de leur indiquer le modèle à éliminer et de leur demander de trouver dans l'activité précédente l'observation qui permet de justifier ce choix.

Pour la seconde sous partie, de par la présence de mesures et de calculs déjà présents (avec un nombre de chiffres significatifs pris en charge), les mesures à compléter ne posent pas de problème tout comme les calculs de sinus d'angles et les rapports. Après bien sûr quelques réglages de calculatrices en mode degré. L'enseignant doit s'attendre à des remarques de la part des élèves pour les rapports calculés avec les mesures d'angles de valeurs inférieures à 10 degrés. Le manque de précision des mesures (au degré près) est à évoquer pour justifier les écarts.

Les élèves les moins à l'aise avec les outils mathématiques ne font pas toujours le lien entre les rapports calculés et la notion de proportionnalité. L'enseignant peut les amener à formuler les différents registres de la proportionnalité (rapport constant, une grandeur est égale à un coefficient constant fois l'autre grandeur, graphe de l'une des grandeurs en fonction de l'autre donnant une droite passant par l'origine).

Le choix du modèle de Snell-Descartes comme modèle le plus adapté ne pose ensuite pas de problème mais l'argumentation en terme de plus adapté = moins de limite du champ de validité est rarement évoqué.

Le tracé de la droite sur le graphe de la question B-3 n'est pas évident pour une grande partie des élèves. L'enseignant peut une fois encore avoir recours à la formulation par les élèves des différents registres de la proportionnalité. Un travail sur le sujet avec le professeur de mathématiques pourra être pertinent sur ce sujet.

Le complément du modèle à l'aide de la notion d'indice de réfraction nécessite ici une phase d'institutionnalisation car les élèves ne disposent que de la connaissance de la relation de proportionnalité entre les sinus des angles et ne peuvent donc pas écrire une relation faisant intervenir les indices de réfraction des milieux.

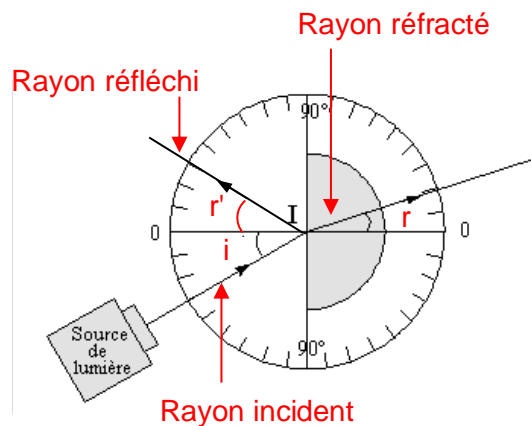
La dernière question (B-4) est souvent difficile pour les élèves car ils ne donnent aucun sens à la notion d'indice de réfraction et ont du mal à appliquer la relation de Snell-Descartes à la situation. Les élèves à la fin de cette activité très fournie peuvent être noyés sous les informations et le lien entre la valeur constante du rapport de sinus et l'indice de réfraction du plexiglass est loin d'être évident pour eux.

Le « pour aller plus loin » est une façon de proposer aux élèves de lever le voile sur un aspect astucieux, fait pour « coller » au modèle mais finalement très artificiel du dispositif discoptique : l'utilisation d'un demi-cylindre de plexiglass qui évite une seconde réfraction (contrairement au cas de l'activité 2 avec le parallélépipède de plexiglass). L'enseignant peut ainsi profiter de la correction de cette question pour justifier le recours au discoptique. Cette question ne pose pas de difficulté aux élèves qui sont encore dans l'activité et qui ont intégré les résultats des activités 1 et 2 sur l'influence de l'incidence normale. Pour les élèves un peu en difficulté mais motivés l'enseignant peut orienter les élèves sur la recherche dans les activités précédentes de situation où il n'y a pas de déviation de la lumière lors d'un changement de milieu.

CORRIGÉ

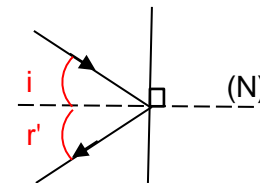
1^{ère} partie : Étude du modèle de la réflexion

1.



2. L'angle d'incidence et l'angle réfléchi sont égaux

Compléter le paragraphe B du modèle : $i = r'$



2^{ème} partie : Étude du modèle de la réfraction

A) Un premier modèle à rejeter

D'après le modèle de Grossetête : « L'angle de réfraction est égal à la moitié de l'angle d'incidence ». Ce qui signifie que l'angle de réfraction doit être plus petit que l'angle d'incidence. Or, lors de l'activité précédente, à la dernière question, on a mis en évidence le contraire avec l'angle de réfraction plus grand que l'angle d'incidence.

Le modèle de Grossetête peut donc être rejeté.

B) Choix d'un modèle parmi les deux restants, à partir de mesures

1 et 2.

i	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
r	0	5	7	10	13	16	20	25	30	35	38	42
i/r	x	1	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9
sin (i)	0	0,09	0,17	0,26	0,34	0,42	0,50	0,64	0,77	0,87	0,93	0,98
sin (r)	0	0,09	0,12	0,17	0,22	0,28	0,34	0,42	0,5	0,57	0,61	0,66



$\sin(i)/\sin(r)$	x	1	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
-------------------	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Pour les valeurs des angles inférieures à 10° le manque de précision des mesures ne permet pas de tenir compte de celles-ci dans notre choix.

D'après le modèle de Képler « L'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence pour des valeurs petites de ces angles » ce qui peut se traduire par le rapport i/r doit être constant pour des valeurs petites de ces angles.

C'est bien ce que l'on peut observer dans le tableau de mesures : $i/r = 1,5$ pour $i \leq 20^\circ$

Donc le modèle de Képler est bien valide tant que $i \leq 20^\circ$.

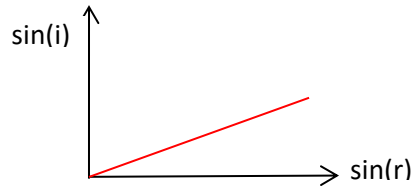
D'après le modèle de Descartes : « Le sinus de l'angle de réfraction est proportionnel au sinus de l'angle d'incidence, ce qui se traduit par la relation $\sin(r) = k \times \sin(i)$, k étant la constante de proportionnalité ». Cette fois encore cela signifie que le rapport $\sin(i)/\sin(r)$ doit être constant.

C'est bien ce que l'on peut observer dans le tableau de mesures : $\sin(i)/\sin(r) = 1,5$ quelle que soit les valeurs des angles i et r .

Donc le modèle de Descartes est bien valide pour toutes les valeurs des angles i et r .

De par son champ de validité plus large (« pour toutes les valeurs des angles i et r » contre « tant que $i \leq 20^\circ$ ») le modèle de Descartes est considéré ici comme le meilleur des deux modèles.

3.



On trace une droite passant par l'origine traduisant la proportionnalité entre les valeurs des sinus des angles d'incidence et de réfraction.

Compléter le paragraphe C du modèle : $n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(r)$

4. D'après la loi de Snell-Descartes avec pour le milieu incident l'air (indice de réfraction n_{air}) et pour le milieu de réfraction le plexiglass (indice de réfraction $n_{\text{plexiglass}}$) on peut écrire :

$$n_{\text{air}} \times \sin(i) = n_{\text{plexiglass}} \times \sin(r)$$

$$\text{D'après l'énoncé, } n_{\text{air}} = 1,00 \text{ ce qui donne : } 1,00 \times \sin(i) = n_{\text{plexiglass}} \times \sin(r)$$

$$\text{et } \sin(i) = n_{\text{plexiglass}} \times \sin(r)$$

$$\text{On a ainsi, } n_{\text{plexiglass}} = \frac{\sin(i)}{\sin(r)}$$

En utilisant les résultats de la question 2 où l'on a déterminé la valeur du rapport constant : $\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = 1,5$

On en déduit que l'indice du plexiglass est $n_{\text{plexiglass}} = 1,5$

Pour aller plus loin

5. S'il n'y a pas de déviation lorsque la lumière sort par la face arrondie c'est qu'elle arrive toujours avec une incidence normale sur la surface (de façon perpendiculaire) de séparation plexiglass/air. C'est une particularité de ce dispositif qui permet ainsi d'avoir une réfraction de la lumière uniquement lors de la 1^{ère} traversée air/plexiglass et de mesurer l'angle de cette 1^{ère} réfraction seulement.

**Activité 4 : Faire apparaître une pièce avec de l'eau...***Utilisation du modèle pour interpréter***LIEN AVEC LA FICHE CCM****SAVOIRS RETRAVAILLÉS**

- Surface de séparation, rayon incident, rayon réfracté, point d'incidence, Normale, milieu

SAVOIRS VISÉS**VOCABULAIRE :**

- Surface de séparation

PROPRIÉTÉS :

- Lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre sans être perpendiculaire à la surface de séparation alors elle est déviée.

CAPACITÉS RETRAVAILLÉES

- Tracer sur un schéma le trajet d'un rayon de lumière lors d'un passage d'un milieu à un autre.

CAPACITÉS VISÉE X**CÔTÉ PRATIQUE****DURÉE**

25 MIN

RESSOURCES DISPONIBLES

Feuille de consignes

Situation expérimentale « simple »

(Une « pièce » métallique ou un point au marqueur au fond d'un verre opaque)

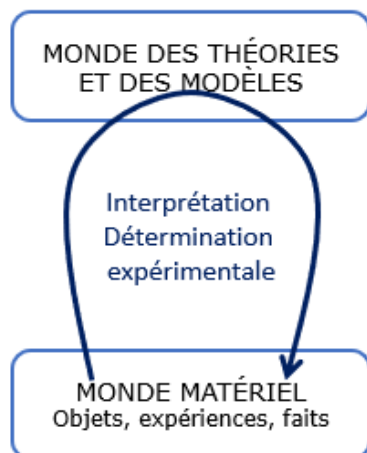
Un récipient qui permet de verser de l'eau (une bouteille par exemple).

Un des élèves regarde, l'autre verse, puis on inverse. Il faut être clair sur les consignes : celui qui regarde ferme un œil et ne bouge pas. Pour « objectiver » l'observation, le professeur peut la réaliser au tableau avec caméra, flexcam ou smartphone (image projetée).

Feuille Modèle

REMARQUES AU SUJET DU MATÉRIEL

Il s'agit d'une expérience de visée donc prendre soin de bien définir au élèves comment se placer au départ par rapport à la pièce et au bord du verre.

CARACTÉRISTIQUES DE L'ACTIVITÉ**ACTIONS DIDACTIQUES****Réaliser et exploiter une expérience qualitative exploratoire****MODÉLISATION**

Phénomène de réfraction

On voit un objet si de la lumière qui provient de cet objet rentre dans notre œil.

Apparition de la pièce jusqu'à la voir entièrement quand on verse de l'eau dans le verre

LIENS ENTRE REPRÉSENTATIONS

Langage naturel / Perception visuelle / Représentation figurative

SAVOIRS EN JEU

A ce stade les élèves disposent de l'intégralité des éléments de modélisation qu'ils se sont appropriés et qu'ils ont testés expérimentalement. Cette activité est l'occasion pour la première fois d'interpréter qualitativement, à l'aide du modèle de la réfraction, une observation effectuée lors d'une expérience simple. Les élèves doivent aussi pour cela s'appuyer sur leurs connaissances antérieures des conditions de visibilité d'un objet et bien sûr mais cela devient récurrent sur la propagation rectiligne de la lumière dans un milieu homogène et transparent.

A noter qu'ici, contrairement à de nombreuses situations, la source de lumière est un objet diffusant et que la lumière incidente ne provient pas de l'air mais de l'eau.

Les élèves mettent donc en œuvre une véritable démarche de modélisation pour interpréter leur observation mais sans les difficultés mathématiques qui avaient pu les freiner à l'activité précédente.

En fonction du niveau de la classe, c'est à la fin de l'activité que le professeur pourra évoquer l'observation du « bâton brisé ». Car si le bâton paraît brisé c'est parce que chaque partie du bâton immergée paraît plus haute qu'en réalité. Mais comprendre clairement cette expérience courant du bâton brisé reste difficile : l'essentiel est de ne pas laisser croire que ce qui arrive au bâton est ce qui arrive aux rayons...

COMPORTEMENT ET PRODUCTIONS DES ÉLÈVES

Les élèves qui avaient parfois perdu un peu de motivation lors de l'activité précédente, longue et très mathématisée retrouvent en général de la motivation dans cette activité qui met en œuvre une expérience simple, surprenante et dont l'interprétation reste qualitative.

Certains élèves sont tout de même en difficulté pour interpréter leur observation car ils ne sont pas au point sur la condition de visibilité d'un objet diffusant. L'enseignant peut donc leur faire verbaliser ce que sont ces conditions et leur demander ce que cela signifie du point de vue de la provenance de la lumière s'ils arrivent à voir l'extrémité de la pièce.

Enfin, en attirant leur attention sur le sens de « regardez toujours dans cette direction », l'enseignant doit pouvoir les amener à identifier que dans l'air le trajet de la lumière ne change pas. Avec ces deux éléments les élèves doivent pouvoir reconstruire le trajet de la lumière dans l'eau depuis l'autre bord de la pièce et identifier ainsi que le phénomène mis en jeu ici est le phénomène de réfraction.

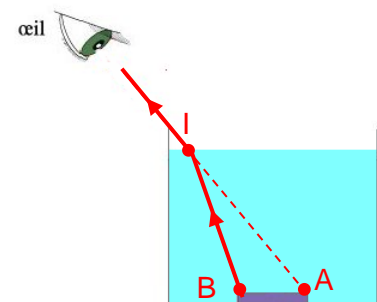
CORRIGÉ

2. Ici on s'appuie une fois encore sur le fait que dans un milieu homogène et transparent, la lumière se propage en ligne droite.

On observe l'objet en regardant toujours le bord du verre dans la **même direction** donc le trajet de la lumière passant au bord du verre dans l'air est toujours le même. Cette direction correspond au **segment entre A et le bord du verre** dont une partie est en pointillés [IA].

Le **trajet de la lumière dans l'air** correspond donc au segment entre le **point I** à la surface de l'eau et l'**œil**. Si on parvient à voir **l'intégralité de l'objet** lorsque l'on **ajoute de l'eau** c'est que l'on parvient dans ce cas à **voir la lumière issue du point B** situé sur le bord opposé (gauche sur le schéma) de l'objet sans changer de direction d'observation. Le **trajet dans l'eau** de la lumière issue du point B est visible par l'œil correspond donc au **segment entre B et I** [IB].

Sur le schéma on met en évidence que la lumière issue du point B non-visible sans eau change de direction en présence d'eau au passage de la surface de séparation entre l'air et l'eau. Cette lumière parvient alors jusqu'à l'observateur qui peut voir le point B en raison du phénomène de réfraction.



**Activité 5 : Pourquoi un prisme décompose-t-il la lumière ?***Utilisation du modèle pour prévoir***LIEN AVEC LA FICHE CCM****SAVOIRS RETRAVAILLÉS****VOCABULAIRE :**

- Surface de séparation, rayon incident, rayon réfracté, angles d'incidence, angle de réfraction, point d'incidence, Normale, milieu

PROPRIÉTÉS :

- Lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre sans être perpendiculaire à la surface de séparation alors elle est déviée, la lumière est réfractée avec un angle de réfraction qui obéit à la loi de Snell-Descartes pour la réfraction

LES RELATIONS :

- Loi de Snell-Descartes pour la réfraction

SAVOIRS VISÉS**VOCABULAIRE :**

- Milieu dispersif

PROPRIÉTÉS :

- L'indice de réfraction d'un milieu dispersif dépend de la longueur d'onde de la lumière qui le traverse et ainsi, l'angle de réfraction d'un rayon lumineux dépend de sa longueur d'onde

CAPACITÉS RETRAVAILLÉES

- Tracer** sur un schéma le trajet d'un rayon de lumière lors d'un passage d'un milieu à un autre
- repérer** sur un schéma d'une expérience de réfraction les différents éléments de modélisation (droite normale, surface de séparation, point d'incidence, angles)
- mesurer** sur un schéma ou un dispositif expérimental un angle d'incidence ou de réfraction

CAPACITÉS VISÉES

- Décrire et expliquer** qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme

CÔTÉ PRATIQUE**DURÉE**

25 MIN

RESSOURCES DISPONIBLES

Feuille de consignes

Manipulation prof possible pour rappeler ce qui a été vu dans le chapitre précédent mais on ne voit pas seulement ce qui est schématisé dans l'activité. L'usage d'une simulation est également possible, en début d'activité, ou en fin d'activité pour valider à l'aide du modèle (le simulateur n'était qu'un outil pour faire fonctionner le modèle).

Feuille Modèle


REMARQUES AU SUJET DU MATÉRIEL

Présence d'un *Pour aller plus loin...* et d'un *Pour aller encore plus loin...*

Avec le schéma proposé pour le *pour aller encore plus loin*, le rayon de lumière le plus dévié est réfléchi et non réfracté lors de l'arrivée sur la 2^{ème} surface de séparation. Pour ne pas avoir à traiter ce cas l'enseignant peut demander aux élèves de prolonger la marche de la lumière rouge (la moins déviée). La présence d'une expérience prof permet de valider la non réfraction (réflexion) de certaines lumières

CARACTÉRISTIQUES DE L'ACTIVITÉ**ACTIONS DIDACTIQUES*****Utiliser un modèle sur une situation donnée non observée ou non observable***

MODÉLISATION

MONDE DES THÉORIES ET
DES MODÈLES *Liens internes au monde des modèles*

Modèle de la réfraction (schéma de la situation, valeurs d'angles, de longueurs d'onde, d'indice de réfraction), loi de Snell-Descartes pour la réfraction

LIENS ENTRE REPRÉSENTATIONS

Langage naturel / Perception visuelle / Représentation figurative / représentation d'angles/ Tableaux à double entrée/ Valeurs et relations formelles entre grandeurs scalaires/

SAVOIRS EN JEU

Après avoir utilisé qualitativement leurs connaissances du modèle de la réfraction, les élèves les mobilisent cette fois-ci pour interpréter quantitativement les observations réalisées lors de la première expérience de la séquence (dispersion de la lumière par un prisme). C'est une façon de donner du lien, du sens et de la cohérence à l'ensemble des connaissances abordées et construites lors des 2 premiers chapitres. Le phénomène de dispersion qui a permis d'étudier la composition de la lumière et la nature des sources de lumière est dans le cas du prisme interprété à l'aide du phénomène de réfraction.

Le modèle met en évidence la propriété d'un milieu dispersif (dépendance de l'indice de réfraction vis-à-vis des longueurs d'onde des lumières qui le traversent) et les élèves ont la charge de déterminer à l'aide de la loi de Snell-Descartes et d'un tableau de données en quoi elle permet de justifier des trajets différents de lumières en fonction de leurs longueurs d'ondes.

L'activité reste qualitative jusqu'au *Pour aller plus loin*. Les questions sont formulées de façon à ce que les élèves n'aient pas besoin de calculer les valeurs des angles de réfraction (pas au programme) pour justifier la dispersion. Seule une différence des valeurs des angles de réfraction peut être évoquée pour répondre. Les calculs des angles de réfraction sont demandés pour pouvoir identifier les couleurs des rayons tracés sur le schéma.

De la même façon, le *pour aller encore plus loin* demande de mettre en œuvre l'ensemble des savoirs et savoir-faire visés dans ce chapitre : repérages et mesures des angles, application de la loi de Snell-Descartes pour déterminer les valeurs des angles de réfraction et ... de réflexion pour tracer les rayons associés. En effet, avec les rayons présents sur le schéma et les valeurs des indices de réfraction, la lumière de couleur bleue arrive avec un angle d'incidence de valeur supérieure à celle de l'angle limite de réfraction. C'est une occasion de parler de l'angle limite de réfraction et du passage de réfraction à réflexion totale dans le cas d'une lumière passant d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent.

COMPORTEMENT ET PRODUCTIONS DES ÉLÈVES

Comme à chaque fois dans ce chapitre les difficultés surviennent lorsque les élèves doivent utiliser la loi de Snell-Descartes avec les sinus des angles mais aussi et surtout la notion d'indice de réfraction à laquelle ils ne donnent pas ou peu de sens.

La première question doit permettre aux élèves en s'appuyant sur le modèle de prendre conscience que l'indice de réfraction d'un milieu peut dépendre ou non des longueurs d'onde des lumières qui le traversent. C'est une façon d'attirer l'attention des élèves sur le paramètre dont la variation va permettre de justifier les trajets différents de la lumière après réfraction.

Malgré cela, les élèves ne pensent pas souvent à appliquer la loi de Snell-Descartes pour chacune des deux lumières colorées pour ensuite comparer les deux relations mathématiques obtenues.

La comparaison mettant en jeu des sinus elle n'est pas évidente pour les élèves. Parfois il peut être plus simple pour certains de calculer les valeurs des deux angles de réfraction pour conclure (même si cela n'est pas au programme).

Dans le *pour aller plus loin* (destiné aux élèves les plus rapides), une fois passée la difficulté de la fonction réciproque du sinus les élèves doivent revenir au schéma et aux repérages rigoureux des angles pour éviter les confusions entre l'angle de réfraction et l'angle de déviation.

Dans le *pour aller encore plus loin* (destiné aux élèves très rapides ou motivés), malgré le travail de l'activité 2, le repérage de l'angle d'incidence et sa mesure sont loin d'être évidents. L'enseignant doit donc être vigilant sur ce point et aider les élèves en leur demandant de vérifier la cohérence de leur travail par rapport au paragraphe A du modèle. Pour ne pas avoir à traiter ce cas de la réflexion l'enseignant peut demander aux élèves de prolonger la marche de la lumière rouge (la moins déviée). Sinon, les élèves qui choisissent le rayon le plus dévié vont trouver un produit indice de réfraction/sinus de l'angle d'incidence supérieur à 1 qui indique que cette lumière est réfléchi. L'enseignant doit donc s'attendre à des questions des élèves dont

la calculatrice ne donnera pas de résultat. Le passage de *pas de résultat possible pour la réfraction à la lumière se réfléchit* doit être pris en charge par l'enseignant. Une expérience prof permet de valider cette proposition.

CORRIGÉ

- D'après le paragraphe D du modèle « L'indice de la réfraction d'un milieu dispersif dépend de la longueur d'onde de l'onde E.M. qui le traverse ». D'après les données du tableau **l'indice de réfraction de l'air est le même (1,00) pour deux longueurs d'onde différentes (450 nm et 700 nm)** ce qui nous permet d'affirmer que l'indice de réfraction du verre ne dépend pas de la longueur d'onde des ondes E.M. qui le traversent et que **l'air n'est pas un milieu dispersif**.
- Ici la lumière de couleur magenta est composée de deux lumières monochromatiques de longueurs d'onde de valeurs différentes (450 nm pour le bleu et 700 nm pour le rouge) qui traversent une surface de séparation entre deux milieux, avec le **même angle d'incidence** $i = 30,0^\circ$.

D'après la loi de Snell-Descartes pour la réfraction avec pour le milieu incident l'air (indice de réfraction $n_{\text{air}} = 1,00$) et pour le milieu de réfraction le verre (indice de réfraction $n_{\text{vb}} = 1,52$ pour la lumière bleue et $n_{\text{vr}} = 1,50$ pour la lumière rouge) on peut écrire :

$$n_{\text{air}} \times \sin(i) = n_{\text{vb}} \times \sin(r_b) \text{ et } n_{\text{air}} \times \sin(i) = n_{\text{vr}} \times \sin(r_r)$$

où r_b et r_r sont respectivement les angles de réfraction en lumières bleue et rouge.

On a ainsi :

$$1,00 \times \sin(i) = n_{\text{vb}} \times \sin(r_b) \text{ et } 1,00 \times \sin(i) = n_{\text{vr}} \times \sin(r_r)$$

Soit, $\sin(i) = n_{\text{vb}} \times \sin(r_b) = n_{\text{vr}} \times \sin(r_r)$

Si les **indices de réfraction** n_{vb} et n_{vr} sont **différents** alors pour que les rapports $n_{\text{vb}} \times \sin(r_b)$ et $n_{\text{vr}} \times \sin(r_r)$ soient égaux à $\sin(i)$ il faut que les angles de réfraction r_b et r_r soient différents.

Les deux lumières ont des **angles de réfraction différents**. Cette différence d'angles de réfraction justifie que l'on trace deux rayons réfractés de directions différentes après le passage de la surface de séparation entre l'air et le plexiglass.

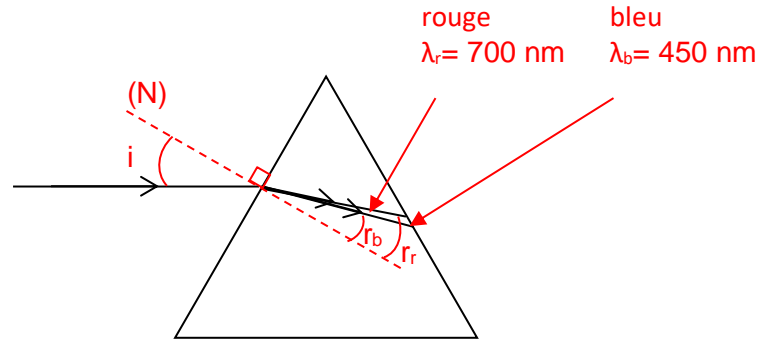
Pour aller plus loin

- En reprenant les relations (1) établies grâce à l'application de la loi de Snell-Descartes pour la réfraction au niveau du premier changement de milieu air/verre, on peut calculer les valeurs des angles de réfraction :

$$\sin(r_b) = \frac{n_{\text{air}} \times \sin(i)}{n_{\text{vb}}} = \frac{1,00 \times \sin(30,0)}{1,52} = 0,329 \text{ et } r_b = \sin^{-1}(0,329) = \mathbf{19,2^\circ}$$

$$\sin(r_r) = \frac{n_{\text{air}} \times \sin(i)}{n_{\text{vr}}} = \frac{1,00 \times \sin(30,0)}{1,50} = 0,333 \text{ et } r_r = \sin^{-1}(0,333) = \mathbf{19,5^\circ}$$

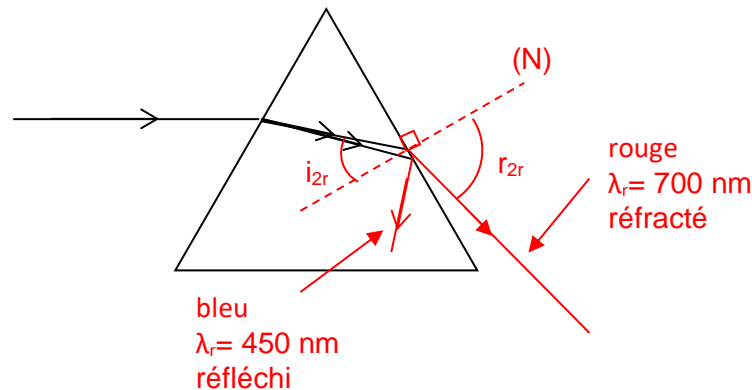
D'après le repérage des angles de réfraction par rapport à la droite normale à la surface de séparation entre les deux milieux, on en déduit que la **lumière la moins déviée** c'est-à-dire celle correspondant au **rayon « au-dessus »** est la lumière de **couleur rouge** (r_r et plus grand) associée à la longueur d'onde $\lambda_r = 700 \text{ nm}$. Alors que la **lumière la plus déviée** c'est-à-dire celle correspondant au **rayon « en bas »** est la lumière de **couleur bleu** associée à la longueur d'onde $\lambda_b = 450 \text{ nm}$.



On remarque que sur le schéma la différence de valeurs des angles est exagérée pour être représentable

Pour aller encore plus loin

4. On trace sur le schéma la droite normale à la seconde surface de séparation verre/air qui permet de mesurer l'angle d'incidence i_{2r} pour la seconde réfraction de la lumière de couleur rouge.



On mesure $i_{2r} = 40^\circ$.

D'après la loi de Snell-Descartes pour la réfraction avec pour le milieu incident le verre (indice de réfraction $n_{vr} = 1,50$ pour la lumière rouge) et pour le milieu de réfraction l'air (indice de réfraction $n_{air} = 1,00$) on peut écrire :

$$n_{vr} \times \sin(i_{2r}) = n_{air} \times \sin(r_{2r})$$

où r_{2r} l'angle de réfraction en lumière rouge pour la deuxième réfraction.

On a ainsi :

$$\sin(r_{2r}) = \frac{n_{vr} \times \sin(i_{2r})}{n_{air}} = \frac{1,50 \times \sin(40)}{1,00} = 0,96 \text{ et } r_{2r} = \sin^{-1}(0,96) = 75^\circ$$

Le rayon réfracté ressort donc du prisme en faisant un angle de 75° par rapport à la normale.

Remarque : si on effectue le même travail pour la lumière de couleur bleu, on mesure sur le schéma un angle d'incidence pour la deuxième réfraction : $i_{2b} = 45^\circ$.

D'après la loi de Snell-Descartes pour la réfraction on obtient alors :

$$\sin(r_{2b}) = \frac{n_{vb} \times \sin(i_{2b})}{n_{air}} = \frac{1,52 \times \sin(45)}{1,00} = 1,1 > 1, \text{ impossible}$$

Il n'existe donc pas de valeur d'angle de réfraction r_{2b} permettant d'assurer cette égalité, il n'y a donc pas de réfraction de la lumière rouge. La lumière rouge ne ressort pas du prisme au niveau de la seconde surface de séparation verre/air car elle est réfléchi.