

Niveau : Seconde (thème : L'Univers)

Type de ressources : Activité expérimentale

Notions et contenus :

- Deuxième loi de Descartes relative à la réfraction de la lumière
- Indice de réfraction d'un milieu transparent
- Proportionnalité entre deux grandeurs

Compétences travaillées ou évaluées :

- Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle sur la réfraction à partir d'une série de mesures et pour déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.

Nature de l'activité : Activité expérimentale à faire lors d'une séance de TP en demi-classe. Les élèves travaillent par groupes de 2 ou 3. La composition des groupes d'élèves est faite par le professeur. Dans un même groupe, les élèves ont des difficultés et réussites comparables, afin de travailler sur la même version d'énoncé.

Résumé : A l'aide d'un demi-cylindre en plexiglas et d'une source de lumière, les élèves doivent mesurer plusieurs couples de valeurs (angle d'incidence i , angle de réfraction r), afin de vérifier la validité de trois lois, faisant le lien entre i et r , proposées par des savants.

L'utilisation d'un tableur-grapheur est encouragée.

Afin de différencier le travail des élèves en fonction de leurs niveaux de réussites et difficultés, trois versions sont proposées :

* version A : énoncé le plus détaillé, le protocole expérimental complet est communiqué aux élèves

* version B : dans une première partie, le protocole expérimental est fourni, pour le reste les élèves doivent proposer un protocole expérimental

* version C : les élèves doivent formuler l'ensemble du protocole expérimental, avant de le mettre en œuvre

Mots clefs : Réfraction de la lumière, approche historique des lois de la réfraction, indice de réfraction, utilisation d'un tableur-grapheur, relation de proportionnalité entre deux grandeurs, modélisation d'une courbe

Académie où a été produite la ressource : Strasbourg

Documents élèves

Seconde - Thème : L'Univers

Activité n°... - version A

Activité n°... (version A) : La réfraction de la lumière : qui a raison ?

Lors d'observations astronomiques, l'évaluation de la position des étoiles est souvent faussée par réfraction des rayons lumineux lors de la traversée de l'atmosphère. De même, les rayons issus des étoiles sont déviés par les lentilles de verre constituant les instruments d'optique utilisés par les astronomes lors de ces observations.

Trois illustres savants ont cherché à traduire le phénomène de réfraction par une loi qui relie l'angle d'incidence i et l'angle de réfraction r .

Quel est le modèle mathématique le plus approprié pour décrire ce phénomène ?

DOCUMENTS :**Document 1 : Modèles proposés par trois savants**

Dans ce qui suit, vous trouverez une rapide présentation des trois scientifiques ainsi qu'un aperçu de leurs travaux ou convictions sur le phénomène étudié aujourd'hui : **la réfraction de la lumière**.



Le savant anglais **Robert Grosseteste** (1168-1253), maître des études à l'université d'Oxford, s'est appuyé sur les traités d'optique d'Ibn al-Haytham pour étudier les rayons directs, les rayons réfléchis, les rayons déviés. Il s'est intéressé à la formation de l'arc-en-ciel et a travaillé sur les lentilles et les miroirs.

Il pensait que l'angle de réfraction r est toujours égal à la moitié de l'angle d'incidence i :
$$r = \frac{i}{2}$$



Plus tard, le physicien allemand **Johannes Kepler** (1571-1630) était convaincu que la bonne équation devait prendre la forme d'une fonction trigonométrique. Il n'a pas découvert cette équation mais a proposé :

L'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence mais uniquement pour de faibles valeurs d'angles : $r = k \cdot i$ avec k une constante.



Reprenant les travaux de **Snell**, un astronome et mathématicien hollandais, **René Descartes** (1596-1650), philosophe et savant français, établit la loi de la réfraction (1637) qui fait intervenir le sinus de l'angle d'incidence ($\sin i$) et le sinus de l'angle de réfraction ($\sin r$).

Cette loi affirme que les sinus des angles de réfraction et d'incidence sont liés par une relation de proportionnalité : $\sin r = k' \cdot \sin i$ avec k' une constante.

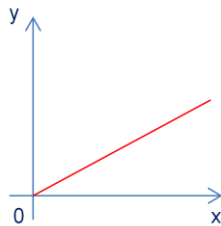
Document 2 : Dispositif expérimental

Placer un demi-disque en plexiglas sur la plate-forme tournante en respectant les consignes :
- la tranche du demi-disque coïncide avec l'axe 90-90.
- le centre du disque coïncide avec le centre de la plaque tournante.
On éclaire la section droite du demi-disque en faisant tourner la plate-forme
On peut donc faire varier l'angle d'incidence i et relever la valeur de l'angle de réfraction r .

Document 3 : Rappel de mathématiques

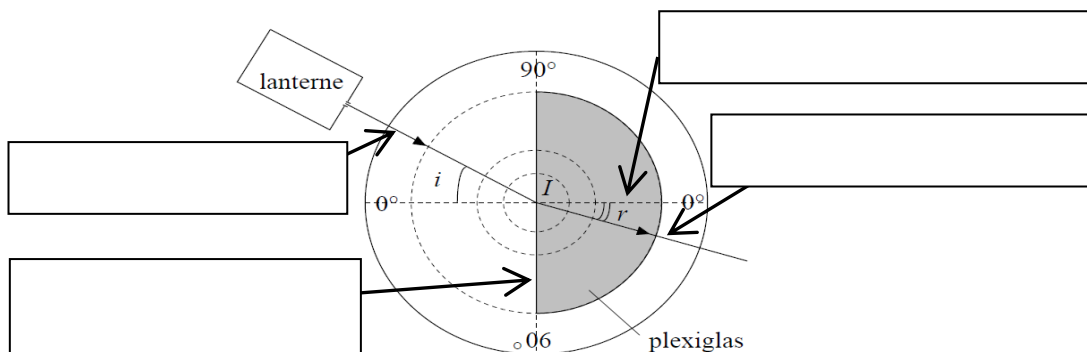
Si une grandeur y est proportionnelle à une grandeur x , alors la relation qui lie ces deux grandeurs peut s'écrire :
 $y = k \cdot x$ avec k une constante.

La représentation graphique de l'évolution de y en fonction de x est, dans ce cas, une droite qui passe par l'origine :



1. Mesures :

Annoter la figure ci-dessous correspondante au dispositif expérimental que vous allez utiliser.



Faire varier l'angle d'incidence i de 5° en 5° , en commençant par $i = 0^\circ$ et en s'arrêtant à $i = 80^\circ$, et mesurer les valeurs correspondantes de l'angle de réfraction.

Entrer les valeurs expérimentales (de i et de r) dans un tableur-grapheur.

2. Validité de la loi de Grosseteste :

Les mesures réalisées valident-elles la loi proposée par Grosseteste ?

3. Validité de la loi de Kepler :

Construire le graphique représentant l'évolution de r en fonction de i .

3.a. Quelle courbe devrait-on obtenir si la loi de Kepler était vérifiée pour toutes les valeurs d'angle ?

3.b. La loi de Kepler est-elle vérifiée ?

4. Validité de la loi de Snell-Descartes :

Dans le tableur-grapheur, créer les grandeurs **sin i** et **sin r**.

Construire le graphique représentant l'évolution de **sin r** en fonction de **sin i**.

A l'aide du tableur-grapheur, trouver l'équation (modéliser) de cette courbe et noter son expression sur votre compte-rendu.

La loi de Snell-Descartes est-elle vérifiée ?

**Appeler le professeur pour lui montrer votre travail et
pour qu'il vous donne la suite de l'activité.**

(Suite de l'activité, à distribuer lorsque les élèves ont répondu aux questions 1 à 4.)

5. Détermination de l'indice de réfraction du plexiglas :

La loi de la réfraction relative aux angles peut s'écrire plus précisément :

$$n_i \cdot \sin i = n_r \cdot \sin r$$

avec n_i et n_r des nombres sans unité, appelé indices de réfraction, qui caractérisent, respectivement, les milieux d'incidence et de réfraction.

5.a. En comparant cette loi à celle de Snell-Descartes proposée dans le document 1 ($\sin r = k' \cdot \sin i$), donner l'expression de la constante **k'** en fonction de **n_i** et **n_r** .

5.b. En déduire la valeur de l'indice de réfraction du plexiglas, sachant que l'indice de réfraction de l'air est égal à 1,00.

6. Pour les plus rapides : détermination de l'indice de réfraction de l'eau :

En utilisant un demi-cylindre pouvant contenir de l'eau, déterminer l'indice de réfraction de l'eau.

Activité n°... (version B) : La réfraction de la lumière : qui a raison ?

Lors d'observations astronomiques, l'évaluation de la position des étoiles est souvent faussée par réfraction des rayons lumineux lors de la traversée de l'atmosphère. De même, les rayons issus des étoiles sont déviés par les lentilles de verre constituant les instruments d'optique utilisés par les astronomes lors de ces observations.

Trois illustres savants ont cherché à traduire le phénomène de réfraction par une loi qui relie l'angle d'incidence i et l'angle de réfraction r .

Quel est le modèle mathématique le plus approprié pour décrire ce phénomène ?

DOCUMENTS :

Document 1 : Modèles proposés par trois savants

Dans ce qui suit, vous trouverez une rapide présentation des trois scientifiques ainsi qu'un aperçu de leurs travaux ou convictions sur le phénomène étudié aujourd'hui : **la réfraction de la lumière**.



Le savant anglais **Robert Grosseteste** (1168-1253), maître des études à l'université d'Oxford, s'est appuyé sur les traités d'optique d'Ibn al-Haytham pour étudier les rayons directs, les rayons réfléchis, les rayons déviés. Il s'est intéressé à la formation de l'arc-en-ciel et a travaillé sur les lentilles et les miroirs.

Il pensait que l'angle de réfraction r est toujours égal à la moitié de l'angle d'incidence i :
$$r = \frac{i}{2}$$



Plus tard, le physicien allemand **Johannes Kepler** (1571-1630) était convaincu que la bonne équation devait prendre la forme d'une fonction trigonométrique. Il n'a pas découvert cette équation mais a proposé :

L'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence mais uniquement pour de faibles valeurs d'angles : $r = k \cdot i$ avec k une constante.



Reprenant les travaux de **Snell**, un astronome et mathématicien hollandais, **René Descartes** (1596-1650), philosophe et savant français, établit la loi de la réfraction (1637) qui fait intervenir le sinus de l'angle d'incidence ($\sin i$) et le sinus de l'angle de réfraction ($\sin r$).

Cette loi affirme que les sinus des angles de réfraction et d'incidence sont liés par une relation de proportionnalité : $\sin r = k' \cdot \sin i$ avec k' une constante.

Document 2 : Dispositif expérimental

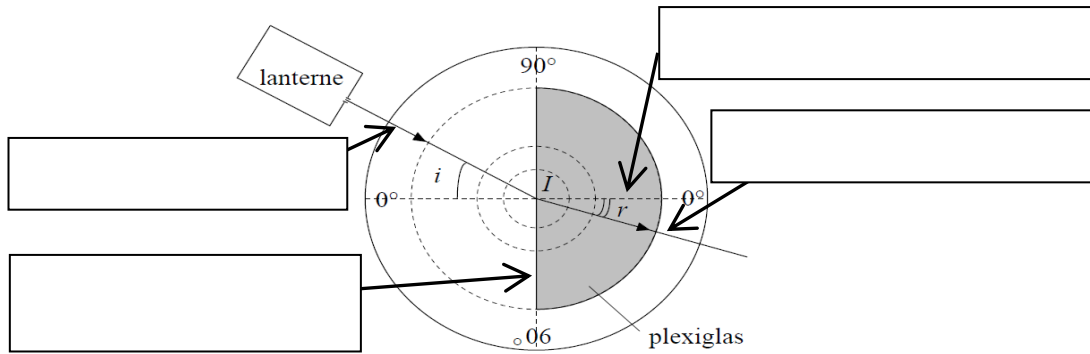
Placer un demi-disque en plexiglas sur la plate-forme tournante en respectant les consignes :

- la tranche du demi-disque coïncide avec l'axe 90-90.
- le centre du disque coïncide avec le centre de la plaque tournante.

On éclaire la section droite du demi-disque en faisant tourner la plate-forme

On peut donc faire varier l'angle d'incidence i et relever la valeur de l'angle de réfraction r .

Annoter la figure ci-dessous correspondante au dispositif expérimental que vous allez utiliser.



Faire varier l'angle d'incidence i de 5° en 5° , en commençant par $i = 0^\circ$ et en s'arrêtant à $i = 80^\circ$, et mesurer les valeurs correspondantes de l'angle de réfraction.

Entrer les valeurs expérimentales (de i et de r) dans un tableur-grapheur.

2. Validité de la loi de Grosseteste :

Les mesures réalisées valident-elles la loi proposée par Grosseteste ?

3. Validité de la loi de Kepler :

Construire le graphique représentant l'évolution de r en fonction de i .

3.a. Quelle courbe devrait-on obtenir si la loi de Kepler était vérifiée pour toutes les valeurs d'angle ?

3.b. La loi de Kepler est-elle vérifiée ?

4. Validité de la loi de Snell-Descartes :

Proposer un protocole pour vérifier la validité de la loi de Snell-Descartes. Vous utiliserez le tableur-grapheur pour effectuer les calculs et pour tracer les éventuelles courbes.

Appeler le professeur pour lui montrer le protocole puis, après accord, le mettre en œuvre.

La loi de Snell-Descartes est-elle vérifiée ?

Appeler le professeur pour lui montrer votre travail et pour qu'il vous donne la suite de l'activité.

(Suite de l'activité, à distribuer lorsque les élèves ont répondu aux questions 1 à 4.)

5. Détermination de l'indice de réfraction du plexiglas :

La loi de la réfraction relative aux angles peut s'écrire plus précisément :

$$n_i \cdot \sin i = n_r \cdot \sin r$$

avec n_i et n_r des nombres sans unité, appelé indices de réfraction, qui caractérisent, respectivement, les milieux d'incidence et de réfraction.

5.a. En comparant cette loi à celle de Snell-Descartes proposée dans le document 1 ($\sin r = k' \cdot \sin i$), donner l'expression de la constante **k'** en fonction de **n_i** et **n_r**.

5.b. En déduire la valeur de l'indice de réfraction du plexiglas, sachant que l'indice de réfraction de l'air est égal à 1,00.

6. Pour les plus rapides : détermination de l'indice de réfraction de l'eau :

En utilisant un demi-cylindre pouvant contenir de l'eau, déterminer l'indice de réfraction de l'eau.

Activité n°... (version C) : La réfraction de la lumière : qui a raison ?

Lors d'observations astronomiques, l'évaluation de la position des étoiles est souvent faussée par réfraction des rayons lumineux lors de la traversée de l'atmosphère. De même, les rayons issus des étoiles sont déviés par les lentilles de verre constituant les instruments d'optique utilisés par les astronomes lors de ces observations.

Trois illustres savants ont cherché à traduire le phénomène de réfraction par une loi qui relie l'angle d'incidence i et l'angle de réfraction r .

Quel est le modèle mathématique le plus approprié pour décrire ce phénomène ?

DOCUMENTS :

Document 1 : Modèles proposés par trois savants

Dans ce qui suit, vous trouverez une rapide présentation des trois scientifiques ainsi qu'un aperçu de leurs travaux ou convictions sur le phénomène étudié aujourd'hui : **la réfraction de la lumière**.



Le savant anglais **Robert Grosseteste** (1168-1253), maître des études à l'université d'Oxford, s'est appuyé sur les traités d'optique d'Ibn al-Haytham pour étudier les rayons directs, les rayons réfléchis, les rayons déviés. Il s'est intéressé à la formation de l'arc-en-ciel et a travaillé sur les lentilles et les miroirs.

Il pensait que l'angle de réfraction r est toujours égal à la moitié de l'angle d'incidence i :
$$r = \frac{i}{2}$$



Plus tard, le physicien allemand **Johannes Kepler** (1571-1630) était convaincu que la bonne équation devait prendre la forme d'une fonction trigonométrique. Il n'a pas découvert cette équation mais a proposé :

L'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence mais uniquement pour de faibles valeurs d'angles : $r = k \cdot i$ avec k une constante.



Reprenant les travaux de **Snell**, un astronome et mathématicien hollandais, **René Descartes** (1596-1650), philosophe et savant français, établit la loi de la réfraction (1637) qui fait intervenir le sinus de l'angle d'incidence ($\sin i$) et le sinus de l'angle de réfraction ($\sin r$).

Cette loi affirme que les sinus des angles de réfraction et d'incidence sont liés par une relation de proportionnalité : $\sin r = k' \cdot \sin i$ avec k' une constante.

Document 2 : Dispositif expérimental

Placer un demi-disque en plexiglas sur la plate-forme tournante en respectant les consignes :

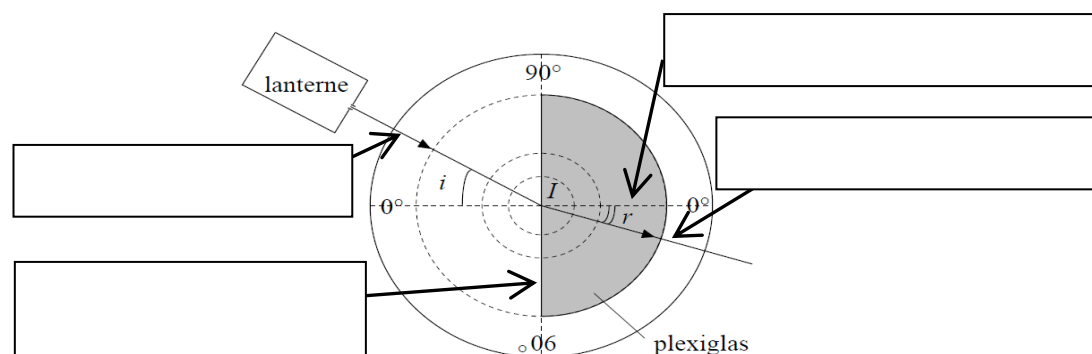
- la tranche du demi-disque coïncide avec l'axe 90-90.
- le centre du disque coïncide avec le centre de la plaque tournante.

On éclaire la section droite du demi-disque en faisant tourner la plate-forme

On peut donc faire varier l'angle d'incidence i et relever la valeur de l'angle de réfraction r .

1. Mesures :

Annoter la figure ci-dessous correspondante au dispositif expérimental que vous allez utiliser.



2. Validité des modèles proposés par les trois savants :

Proposer un protocole expérimental pour confirmer ou infirmer les modèles proposés par les trois savants (document 1), en respectant la consigne suivante :

Les éventuels calculs seront effectués à l'aide d'un tableur-grapheur et on privilégiera un tracé de courbes pour vérifier si deux grandeurs sont proportionnelles.

Appeler le professeur pour lui montrer le protocole puis, après accord, le mettre en œuvre.

Quel est le modèle mathématique le plus approprié pour décrire le phénomène de la réfraction ?

Appeler le professeur pour lui montrer votre travail et pour qu'il vous donne la suite de l'activité.

(Suite de l'activité, à distribuer lorsque les élèves ont répondu aux questions 1 et 2.)

3. Détermination de l'indice de réfraction du plexiglas :

La loi de la réfraction relative aux angles peut s'écrire plus précisément :

$$n_i \cdot \sin i = n_r \cdot \sin r$$

avec n_i et n_r des nombres sans unité, appelé indices de réfraction, qui caractérisent, respectivement, les milieux d'incidence et de réfraction.

3.a. En comparant cette loi à celle de Snell-Descartes proposée dans le document 1 ($\sin r = k' \cdot \sin i$), donner l'expression de la constante k' en fonction de n_i et n_r .

3.b. En déduire la valeur de l'indice de réfraction du plexiglas, sachant que l'indice de réfraction de l'air est égal à 1,00.

4. Pour les plus rapides : détermination de l'indice de réfraction de l'eau :

En utilisant un demi-cylindre pouvant contenir de l'eau, déterminer l'indice de réfraction de l'eau.

Pour le professeur (mise œuvre, éléments de correction, ...)

3 versions de cette activité expérimentale sont proposées

Version A

Version dont l'énoncé est le plus détaillé.

Un rappel de mathématiques sur la proportionnalité entre deux grandeurs est fourni.

Les élèves doivent mettre en œuvre un protocole détaillé par l'énoncé et doivent conclure sur la validité des trois modèles proposés.

Version B

Le rappel de mathématiques sur la proportionnalité n'est pas fourni.

Le protocole est détaillé par l'énoncé pour la validité des modèles de Grosseteste et de Kepler.

Par contre les élèves doivent proposer, puis mettre en œuvre, un protocole pour vérifier la validité de la loi de Snell-Descartes.

Version C

Version dont l'énoncé est le moins détaillé.

Le rappel de mathématiques sur la proportionnalité n'est pas fourni.

Aucun protocole à mettre en œuvre n'est détaillé par l'énoncé. Les élèves doivent donc proposer, avant de les mettre en œuvre, des protocoles pour vérifier la validité des modèles proposés par les savants.

Compétences expérimentales mises en œuvre

Compétences	Capacités et attitudes
S'approprier	Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation.
Analyser	Proposer un protocole, identifier les paramètres pertinents. (versions B et C)
	Élaborer et/ou choisir et utiliser un modèle adapté (mettre en lien les phénomènes, les concepts utilisés et le langage mathématique qui peut les décrire).
Réaliser	Réaliser le dispositif expérimental correspondant à un protocole.
	Maîtriser certains gestes techniques (utiliser le matériel, les outils informatiques, la calculatrice).
	Réaliser une série de mesures ; relever les résultats obtenus (tableau, graphique, ...).
Valider	Valider ou invalider une loi, un modèle.
Communiquer	Rendre compte de façon écrite (de manière synthétique et structurée, en utilisant un vocabulaire adapté, une langue correcte et précise).

Comment attribuer aux élèves les différentes versions de l'énoncé ?

Avant cette séance, une évaluation diagnostique (voir [diaporama](#)) sur la notion de proportionnalité a été faite en classe entière.

En fonction de leur maîtrise de la notion de proportionnalité, de la pratique de l'enseignement d'exploration MPS, mais aussi des réussites lors des séances de TP précédentes et des différentes évaluations, une des trois versions de cette activité a été attribuée aux élèves.

Contexte de la séance

Séance de TP en demi-classe. Les élèves ont travaillé par groupe de deux ou trois élèves qui avaient le même énoncé.

Les élèves qui avaient la même version de l'énoncé étaient placés dans un même secteur de la salle.

Les élèves ont déjà eu plusieurs séances de travaux pratiques, dont certaines où ils ont eu à proposer des protocoles, avant de les mettre en œuvre.

Par contre, hormis ceux qui suivent l'enseignement d'exploration MPS, ils n'avaient pas encore utilisé de tableur-grapheur cette année. Une fiche d'utilisation de celui-ci a été fournie et les aides apportées par le professeur pour son utilisation n'ont pas été prises en compte dans les facteurs de réussite de cette activité.

La détermination de l'indice de réfraction du plexiglas utilisé (questions distribuées lorsque la première partie de l'activité est terminée) peut, en fonction du temps restant, être réalisée lors de cette séance de TP ou à la maison pour la prochaine séance.

Si des élèves terminent suffisamment tôt, ils peuvent, en plus de calculer l'indice de réfraction pendant la séance de TP, chercher à déterminer l'indice de réfraction de l'eau en remplaçant le demi-cylindre en plexiglas par un demi-cylindre contenant de l'eau.

Rôle du professeur

Le professeur circule dans les rangs pour apporter l'aide nécessaire aux élèves qui resteraient bloqués devant une difficulté.

Un des avantages de cette activité en trois versions est d'avoir l'impression de "moins courir" que lors d'une activité où il faut vérifier, presque au même moment, autant de protocoles qu'il y a de groupes d'élèves. Lors de cette séance, les interventions sont plus variées et n'ont généralement pas lieu au même moment pour les trois versions, ce qui laisse plus de temps au professeur pour s'occuper des élèves qui en ont le plus besoin.

Réinvestissement possible

Pour les élèves qui ont travaillé avec la version A ou B de cette activité, on peut leur fournir, quelques semaines plus tard, la version C, en leur demandant de rédiger, à la maison, les protocoles expérimentaux, afin de les entraîner à la compétence *Proposer un protocole*.

Il vaut mieux attendre quelques semaines avant de proposer ce réinvestissement sinon la mémoire risque de prendre le dessus sur la réflexion, si les élèves se souviennent, avec trop de précisions, des expériences qu'ils avaient réalisées lors de cette activité.

Autre mise en œuvre possible

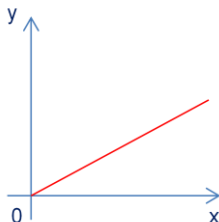
Si l'attribution des sujets n'a pas été décidée en amont, on peut donner l'énoncé le moins guidé (version C) à tous les élèves. En fonction des besoins, les élèves pourront ensuite être davantage guidés en leur distribuant, sous forme d'aides, des questions plus détaillées et/ou en leur distribuant le « rappel mathématique sur la proportionnalité ».

Exemples d'aides sur la page suivante.

Document 3 : Rappel de mathématiques

Si une grandeur **y** est proportionnelle à une grandeur **x**, alors la relation qui lie ces deux grandeurs peut s'écrire :
 $y = k \cdot x$ avec k une constante.

La représentation graphique de l'évolution de **y** en fonction de **x** est, dans ce cas, une droite qui passe par l'origine :



Mesures :

Faire varier l'angle d'incidence i de 5° en 5° , en commençant par $i = 0^\circ$ et en s'arrêtant à $i = 80^\circ$, et mesurer les valeurs correspondantes de l'angle de réfraction.

Entrer les valeurs expérimentales (de i et de r) dans un tableur-grapheur.

Validité de la loi de Grosseteste :

Les mesures (de i et de r) réalisées valident-elles la loi proposée par Grosseteste ?

Validité de la loi de Kepler :

Construire le graphique représentant l'évolution de r en fonction de i .

a. Quelle courbe devrait-on obtenir si la loi de Kepler était vérifiée pour toutes les valeurs d'angle ?

b. La loi de Kepler est-elle vérifiée ?

Validité de la loi de Snell-Descartes :

Dans le tableur-grapheur, créer les grandeurs **sin i** et **sin r**.

Construire le graphique représentant l'évolution de **sin r** en fonction de **sin i**.

A l'aide du tableur-grapheur, trouver l'équation (modéliser) de cette courbe et noter son expression sur votre compte-rendu.

La loi de Snell-Descartes est-elle vérifiée ?
