

Exemple n°1 (N. Beltran, LEGTA d'Auzeville)

1. Présentation générale de la séquence

Prérequis

C'est le 5ème chapitre depuis le début de l'année scolaire.

La décomposition de la lumière par un prisme a été réalisée en classe. Les notions de spectres d'émission et de spectres d'absorption ont été étudiées.

De plus, les élèves ont vu au collège la propagation rectiligne de la lumière, la notion de source de lumière, le sens de propagation de la lumière (de l'objet éclairé vers l'œil de l'observateur). Ils connaissent les outils mathématiques à mobiliser dans la démarche (mesure d'angle et calcul de sinus).

Il s'agit maintenant d'étudier le phénomène de réfraction parce qu'il permet d'expliquer la dispersion de la lumière blanche par un prisme.

Contexte de la classe :

Classe de 33 élèves, divisée en 2 groupes

1er groupe : 16 élèves

2ème groupe : 17 élèves

Temps consacré à cette démarche d'investigation :

Séance 1 : 1h30 en TP

Séance 2 : 1h30 en classe entière

Extrait du programme de 2nde GT:

Notions et contenus	Compétences attendues
Propagation rectiligne de la lumière. Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air.	Connaître la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide (ou dans l'air). Pratiquer une démarche expérimentale sur la réfraction et la réflexion totale.
Réfraction et réflexion totale.	Pratiquer une démarche expérimentale sur la réfraction et la réflexion totale. Pratiquer une démarche expérimentale pour comprendre le principe de méthodes d'exploration et l'influence des propriétés des milieux de propagation.

Objectifs de la séquence :

Trouver les lois de la réfraction par une démarche d'investigation.

- Mettre en évidence le phénomène de réfraction de la lumière
- Etablir les lois de Descartes

Ici, la démarche d'investigation pratiquée est une démarche d'investigation qui amène à l'élaboration d'un concept.

Compétences travaillées (capacités et attitudes) :

Réaliser: observer et décrire des phénomènes ; réaliser un dispositif expérimental ; maîtriser certains gestes techniques ; réaliser une série de mesures.

Analyser : proposer une méthode pour valider une hypothèse ; choisir et utiliser un modèle adapté pour interpréter un résultat.

Valider : valider le modèle en le confrontant aux résultats expérimentaux.

Communiquer : rendre compte de façon écrite de manière synthétique et structurée en utilisant un vocabulaire adapté et une langue correcte.

Autonomie : Travailler efficacement en équipe (en étant autonome, en respectant les règles de vie de classe et de sécurité). Soigner sa production.

2. Description des 7 étapes de la DI

2.1 Choix de la situation problème

Le petit Georges s’amuse à plonger un bâton dans un lac. Il est surpris de voir que son bâton, qui était pourtant bien droit, apparaît brisé. Il sort le bâton de l’eau, le bâton est intact. Il plonge dans l’eau avec le bâton en main, le bâton est intact, mais il le voit trouble! Jamais à court d’idée, le petit Georges s’arme alors d’un laser et envoie un rayon dans l’eau. Le rayon est dévié lorsqu’il traverse la surface de l’eau... Georges est content! Il a compris pourquoi le bâton apparaissait brisé.

A partir de ces expériences, expliquez le phénomène physique en jeu.

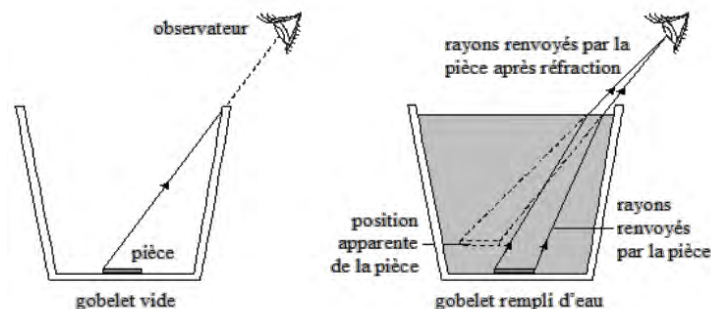
Les élèves lisent le sujet de la problématique.

2.2 Appropriation du problème par les apprenants

Pour étoffer cette problématique, je leur montre deux expériences.

La première : je place devant eux un verre transparent contenant une paille. Puis je remplis doucement le verre d’eau. (cf photo annexe)

La deuxième : je place une tasse devant eux contenant une pièce de monnaie au fond. Je m’assure au préalable qu’ils sont correctement placés pour ne pas voir la pièce. Puis je verse lentement de l’eau. (cf photos en annexe)



Les élèves ont ainsi plusieurs exemples qui illustrent la problématique et qui peuvent les orienter dans leur réflexion.

Je présente alors aux élèves le matériel qui est mis à leur disposition:

- Rayon laser
- Demi-cylindre en verre, disque gradué
- Un aquarium contenant de la fluorescéine et des fils à plomb verticaux
- Pièce de monnaie dans un récipient opaque + eau
- Une cuve contenant de l’eau saturée en sucre
- Tableau blanc métallique avec un boîtier laser et des demi-cylindres

2.3 Formulation de conjonctures, d’hypothèses explicatives, de protocoles possibles

C'est à mon sens la partie la plus importante de la démarche d'investigation. C'est à ce moment que les élèves s'approprient vraiment la séance et le sujet.

En fonction du matériel à disposition, les élèves réfléchissent à des expériences possibles pour expliquer le trajet de la lumière lorsque celle-ci change de milieu.

Hypothèses émises par les élèves lors de leurs manipulations:

- L'eau fait « loupe » (pour la tasse)
- Le sucre est plus lourd que l'eau. Il dévie donc non rectilignement le laser.
- La déviation de la lumière est différente entre un milieu homogène et hétérogène
- La réfraction de la lumière se fait suivant la loi: $\sin i = k \cdot \sin r$ (émise par des élèves redoublants)
- La lumière n'est pas déviée lors d'un changement de milieu
- Les molécules d'eau sont plus compactes que celles de l'air
- Le faisceau lumineux ne se propage pas rectilignement dans un liquide

La fiche de TP a été distribuée en deux parties. La première partie concerne le matériel et la réfraction.

La deuxième partie concerne les lois de la réfraction. Je leur ai volontairement distribué la deuxième partie au cours de la séance pour ne pas trop les aiguiller dans leurs réponses afin qu'ils trouvent par eux mêmes ou qu'ils s'approchent de la solution.

La deuxième partie est une approche historique. J'ai cherché un moyen de les accompagner vers les lois de la réfraction car elles sont trop complexes pour que les élèves les trouvent seuls.

En leur présentant les hypothèses émises par plusieurs scientifiques, les élèves ont pu vérifier expérimentalement si ces hypothèses étaient fondées ou non.

Les groupes avaient une totale liberté sur la manière d'aborder les hypothèses des scientifiques. Certains ont travaillé de manière plus approfondie une hypothèse alors que d'autres ont essayé de vérifier toutes les hypothèses des scientifiques.

Claude Ptolémée	Au sujet de ses résultats, Ptolémée s'est livré à des commentaires d'ordre qualitatif. Il a observé entre autre les rayons perpendiculaires à la surface ne sont pas réfractés.
Robert Grosseteste	Il fut l'un des pionniers de la méthode expérimentale. Il pensait que l'angle de réfraction était égal à la moitié de l'angle d'incidence.
Johannes Kepler	Ce savant proposa une relation de proportionnalité entre les angles de réfraction et d'incidence pour des valeurs d'angles petites.
Willebrord Snell van Royen et René Descartes	Snell est un astronome et mathématicien hollandais qui établit expérimentalement la loi : $\sin i = k \cdot \sin r$ (i angle d'incidence, r angle de réfraction et k nombre caractérisant le milieu dans lequel est réfracté le rayon).

2.4 Investigation ou résolution du problème par les élèves

Différentes expériences sont réalisées par les groupes. Je les laisse travailler en autonomie. Dans cette démarche d'investigation, chaque groupe avance à sa propre allure. Ce n'est pas gênant du moment que chacun s'investisse. Par contre, si un groupe est bloqué, je préfère leur donner ce que j'ai appelé des « coups de pouce » (cf annexe). Suivant l'étape où le groupe est bloqué, je leur donne une fiche « coup de pouce » pour les aider à passer à l'étape suivante. Ainsi, tout le monde participe activement à cette démarche d'investigation et cela évite à un groupe de stresser.

Pendant la séance, je suis présente en tant qu'observatrice. Je peux aussi servir de guide pour les aider à reformuler les questions. Je m'assure alors du sens de leurs questions et au besoin les recentre sur le problème à résoudre. Tous les élèves doivent le comprendre.

Il est nécessaire que des éléments de solutions émergent pour que les élèves s'approprient le problème à résoudre.

Coups de pouce mis à disposition des élèves suivant les obstacles :

- Coup de pouce n°1: Explication du phénomène de réfraction
- Coup de pouce n°2: Guide sur l'utilisation du matériel (disque gradué et demi-cylindre)
- Coup de pouce n°3: graphique i en fonction de r
- Coup de pouce n°4: Réaliser un graphique
- Coup de pouce n°5: graphique $\sin i$ en fonction de $\sin r$.

Certains coups de pouce sont des outils mathématiques servant aux élèves lors de ce TP. Ils peuvent être considérés comme des fiches méthodes. Ces fiches sont découpées et placées sur le côté de mon bureau pour pouvoir donner un coup de pouce à la fois à un groupe si besoin .

2.5 Echange argumenté autour des propositions élaborées (entre les élèves, conclusion faite par les élèves, on demande une trace écrite)

Cette partie se déroule en deux sous-parties.

La première se déroule à la fin de la séance où les élèves me rendent un compte-rendu de TP. Il est important qu'il y ait une trace écrite de leurs travaux, qu'ils rédigent une conclusion.

Certains ont eu le temps de tracer un graphique.

La deuxième se déroule au début de la séance suivante en classe entière. Nous mutualisons oralement les résultats tout en écrivant au tableau les conclusions parfois différentes des groupes.

Réponses trouvées suite aux expériences :

- La lumière est déviée lorsqu'elle pénètre dans un milieu différent ;
- L'eau a un effet de loupe ;
- La propagation de la lumière est différente suivant le milieu (homogène et hétérogène) ;
- L'angle d'incidence est différent de l'angle de réfraction ;
- Conclusions faites sur les hypothèses des scientifiques ;
- Le faisceau lumineux a une propagation rectiligne dans l'air ;
- Après avoir traversé l'aquarium, le faisceau laser ressort avec la même déviation qu'à l'entrée.

Très peu d'élèves ont eu le temps de tracer un graphique lors de la séance de TP. J'ai été trop ambitieuse sur ce point. Nous reprenons donc tous ensemble le graphique de $\sin i$ en fonction de $\sin r$. Puis nous interprétons le graphique obtenu.

Nous rebondissons pour enchaîner sur la construction du cours.

2.6 Acquisition et structuration des connaissances (formulation écrite)

J'introduis ensuite le cours. Ceci permet ainsi de formuler ce que les élèves viennent de voir en TP. Je redéfinit les termes correctement, par exemple : rayon réfracté, rayon incident, indice de réfraction, angle d'incidence, angle de réfraction, etc.

L'avantage de cette approche par rapport aux cours faits les années précédentes est que les élèves comprennent plus rapidement et assimilent donc plus efficacement les notions du

cours. C'est le constat que j'ai fait cette année. La réfraction de la lumière est mieux comprise. Ainsi le temps « perdu » lors de la séance TP est largement récupéré lors de la structuration des connaissances.

Pendant le cours, je mets en évidence avec les élèves de nouveaux éléments de connaissances (notion, technique, méthode) utilisés au cours de la résolution.

Nous reprenons ce qui a été traité en TP et formulons ensemble le cours qui en découle.

La reformulation écrite par les élèves, avec l'aide du professeur, des connaissances nouvelles acquises leur permet de mieux retenir ce qu'ils ont étudié.

Grâce à cette méthode, je peux identifier les conceptions ou les représentations des élèves ainsi que les difficultés persistantes.

2.7 Opérationnalisation des connaissances (réinvestir)

Nous terminons la séance par des exercices.

Les élèves ont besoin d'outils mathématiques que je rappelle : angles alterne/interne, le calcul du sinus et du sin-1 (y compris sur la calculatrice).

2.8 Bilan de cette démarche d'investigation :

2.8.1. Résumé des séances :

Résumons les différentes étapes de cette démarche d'investigation à l'aide d'un tableau :

Etapes de la démarche	Durée	Activité élève	Activité professeur	Capacité(s) travaillée(s) par l'élève
Séance 1				
1^{ère} partie				
Présentation de la séance	5 mn	Lecture de la problématique	Distribution du document contenant la problématique	Lire un texte. Identifier un problème.
Introduction de la séance par deux petites expériences réalisées par le professeur	10 mn	Observation	Réaliser l'expérience de la paille dans l'eau ainsi que l'expérience de la pièce dans une tasse qu'on remplit d'eau	Identifier un problème
Débat entre élèves (au sein d'un même groupe)	10 mn	Appropriation du problème par les élèves	Observation	Réfléchir sur une problématique.
Formulation d'hypothèses, de protocoles possibles	15 mn	Trouver les expériences qui peuvent expliquer le phénomène	Observation	réaliser un dispositif expérimental ; maîtriser certains gestes techniques
Investigation ou résolution du problème par les élèves	15 mn	A l'aide d'expériences, expliquer le phénomène	Observation	Travailler en équipe (autonomie) Raisonner sur une problématique
2^{ème} partie				
Histoire des sciences sur la réfraction.	15 mn	Partir des hypothèses émises par les savants et vérifier leur justesse ou non.	Observation	Trier et vérifier des informations en mettant en place un protocole expérimental.
Echange argumenté autour des propositions élaborées	15 mn	Rédaction d'un compte-rendu Soigner sa production	Observation	Synthétiser le travail d'équipe à l'écrit
Séance 2				
Echange argumenté	15 mn	Restitution de leurs travaux oralement	Echange avec les élèves	Restituer son travail à l'oral
Acquisition et structuration des connaissances	55 mn	Prise du cours	Enseigner le cours sur la réfraction	Assimiler des notions de cours
Opérationnalisation des connaissances	20 mn	Exercices d'application du cours	Suivi des élèves pendant les exercices	Savoir appliquer et utiliser ses connaissances

2.8.2. Réflexion sur la démarche d'investigation en général :

D'une manière générale, les compétences de l'élève attendues lors d'une démarche d'investigation sont les suivantes :

- Savoir regarder
- Questionner
- Observer
- Formuler une hypothèse
- Valider une hypothèse
- Modéliser de façon élémentaire
- Se familiariser avec les gestes techniques
- Communication et travail en équipe (savoir écouter, faire valoir son point de vue)

Pour mettre en place une démarche d'investigation, il faut se poser les questions suivantes :

- Quelles sont les étapes ?
- Quel découpage lors de la séance et pour quelle durée ?
- Comment vont s'articuler les activités des élèves ?
- Quelles sont les compétences mobilisées ?
- Quel est le rôle de l'enseignant ?
- La mise en commun doit-elle être écrite ou orale ?
- Quelle trace écrite attend-on des élèves ?
- Nécessité pour les élèves d'élaborer un protocole avant de manipuler.
- Pour le travail en groupes, il ne faut pas qu'il y ait trop d'élèves par groupe
- Limiter les objectifs et capacités. Bien cibler des capacités (maximum 3)
- Il faut que la situation déclenchante soit complexe.
- Quand le TP est fini, il ne faut pas oublier de revenir à la question de départ
- A l'issue de la séance, faire le bilan sur la gestion du temps : quelles sont les parties
- qui ont pris du temps ?

Ici, la DI pratiquée est une DI qui amène à l'élaboration d'un concept.

Il est possible d'évaluer les élèves. Mais là aussi, il faut savoir dans quelles conditions on évalue les élèves, ce que l'on souhaite évaluer. Cela va varier en fonction des séances.

L'évaluation doit être pertinente, que les élèves sachent qu'ils sont évalués et sur quoi ils sont évalués.

2.8.3 L'évaluation

Evaluation possible sur cette séance :

Pour motiver mes élèves face à l'investissement fourni, j'ai décidé de les évaluer. Ils vivent cette notation comme une gratification de leur travail. J'ai donc décidé de noter ce TP sur 5 points. Cette note est complétée avec d'autres petits travaux réalisés lors d'autres séances.

Voici le barème appliqué :

- Respecter les consignes de sécurité : 0,5
- Travail en équipe : 1

Evaluation du compte-rendu :

- Schéma détaillé de l'expérience (soin, légende, organisation) : 1

- Rendre compte à l'écrit de manière synthétique et structurée (problématique posée, réponse argumentée, conclusion) en utilisant un vocabulaire adapté et une langue correcte : 1,5
- Production soignée : 1

Il n'est dans ce cas pas possible d'évaluer les élèves sur des résultats ou sur un raisonnement correct ou non tant que les notions n'ont pas été étudiées avec l'enseignant.

3. Bilan de ma démarche d'investigation

- Les élèves ont été décontenancés au départ. Ils avaient perdu leurs repères. Il n'y avait plus de trame comme un protocole expérimental classique. Mais rapidement, ils se sont prêtés au jeu. J'utilise volontairement ce mot car ils ont vécu ce TP de manière ludique tout en faisant des sciences. Ils ont beaucoup apprécié l'autonomie dans leurs manipulations et dans leur rédaction de compte-rendu. Au final, j'ai été agréablement surprise par leurs productions.
- Ils ont apprécié travailler en groupe. Il s'est créé une émulation et aucun élève n'est resté passif.
- Très peu ont eu le temps de tracer un graphique comme je l'avais prévu pour la séance de TP.
- Il faudrait que je retravaille mes coups de pouce et faire en sorte qu'ils correspondent vraiment aux besoins des élèves. La réponse est dans l'expérience...
- Manque de temps par rapport à la séance prévue : la séance passe très vite voire trop vite... Il faut que les élèves et moi-même prenions plus nos marques dans ce type d'approche. Mais globalement, le ressenti a été très positif. Ce n'est pas non plus une perte de temps car, même si j'ai dû prévoir la suite sur la séance en classe entière, je m'y suis retrouvée par la suite. En effet, le cours a été assimilé beaucoup plus rapidement. J'ai bien senti le fait qu'ils avaient été acteurs de la situation et qu'ils avaient ainsi bien retenu ce qui avait été étudié en TP. Nous savons très bien qu'un apprenant n'est pas concentré pendant toute une séance et qu'il faut trouver des astuces pour le stimuler. Cette démarche d'investigation en est une très intéressante.
- Ce fut une occasion de les évaluer dans un autre domaine, et de valoriser d'autres compétences.

ANNEXES – exemple n°1



Expérience de la paille dans un verre d'eau

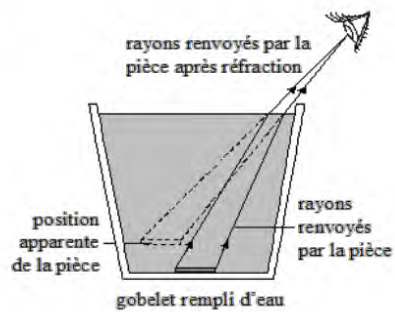
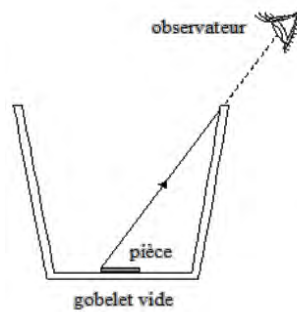


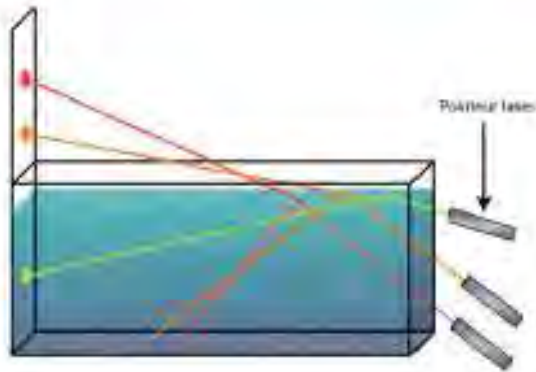
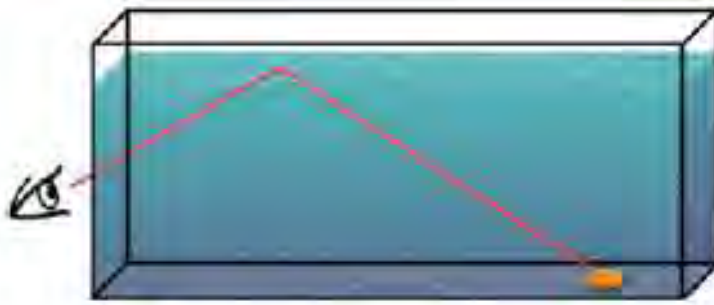
Sans eau



Avec de l'eau

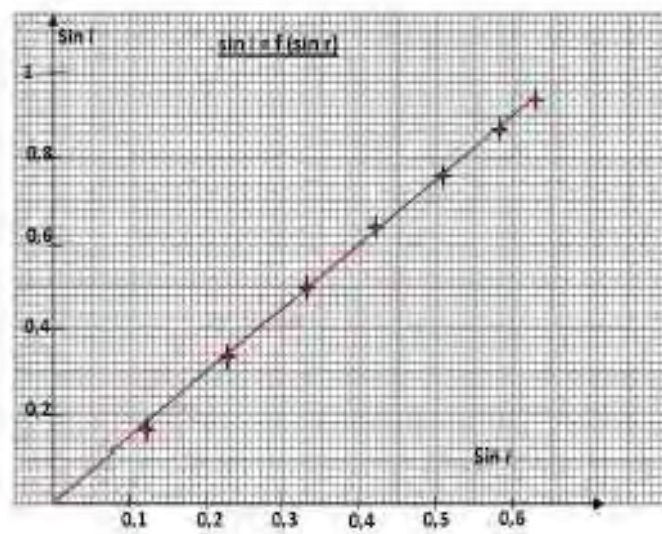
Expérience de la pièce dans une tasse remplie d'eau ou pas





Cuve remplie de fluorescéine

5. Les résultats de mesures effectuées lors de l'étude de la réfraction air/plastique ont permis de tracer le graphique représentant les variations de $\sin i$ en fonction de $\sin r$.






TP : Modéliser la réfraction de la lumière

Le petit Georges s'amuse à plonger un bâton dans un lac. Il est surpris de voir que son bâton, qui était pourtant bien droit, apparaît brisé. Il sort le bâton de l'eau, le bâton est intact. Il plonge dans l'eau avec le bâton en main, le bâton est intact, mais il le voit trouble! Jamais à court d'idée, le petit Georges s'arme alors d'un laser et envoie un rayon dans l'eau. Le rayon est dévié lorsqu'il traverse la surface de l'eau... Georges est content! Il a compris pourquoi le bâton apparaissait brisé.

Première partie :

A partir de cette expérience, expliquez le phénomène physique.

Vous disposez du matériel suivant :

- Un demi-cylindre en verre 
- Un aquarium contenant de la fluorescéine
- Un laser 
- Une cuve contenant de l'eau sucrée (solution saturée)
- Un disque en papier gradué en degré 

Deuxième partie :

Elaborer les lois de la réfraction :

De nombreux savants se sont intéressés au phénomène de réfraction des rayons lumineux. Ils ont cherché à déterminer la loi physique permettant de calculer l'angle de réfraction à partir de l'angle d'incidence. Nous allons partir sur leurs traces et déterminer si leurs observations étaient justes.

Les hypothèses des savants

Claude Ptolémée	Au sujet de ses résultats, Ptolémée s'est livré à des commentaires d'ordre qualitatif. Il a observé entre autre les rayons perpendiculaires à la surface ne sont pas réfractés.
Robert Grosseteste	Il fut l'un des pionniers de la méthode expérimentale. Il pensait que l'angle de réfraction était égal à la moitié de l'angle d'incidence.
Johannes Kepler	Ce savant proposa une relation de proportionnalité entre les angles de réfraction et d'incidence pour des valeurs d'angles petites.
Willebrord Snell van Royen et René Descartes	Snell est un astronome et mathématicien hollandais qui établit expérimentalement la loi : $\sin i = k \cdot \sin r$ (i angle d'incidence, r angle de réfraction et k nombre caractérisant le milieu dans lequel est réfracté le rayon).

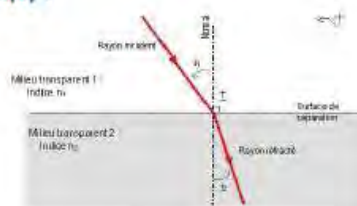
En fonction du matériel dont vous disposez, proposez une expérience à votre professeur qui permet de vérifier les affirmations des savants. Une fois le protocole validé, vous devez la réaliser. Un compte-rendu détaillé présentant votre mission sera rendu à l'issue de la séance. Un vocabulaire scientifique adapté, des explications claires, des mesures et leur exploitation ainsi qu'un schéma légendé sont attendus.

En cas de « panne d'inspiration », vous disposerez de diverses fiches « coup de pouce » pour vous aider à réaliser votre tâche. Faites appel à votre professeur pour obtenir ces fiches si besoin.

FICHES D'AIDE (à découper)

Coup de pouce n°1 : Au secours, je suis perdu(e) !

On étudie le phénomène de réfraction. Il s'agit de la déviation de la lumière lorsque qu'elle passe d'un milieu (comme l'air) à un autre (comme le plastique ou l'eau). Essayez d'installer la lampe et le demi-cylindre pour observer ce phénomène. Si vous êtes perdu(e) avec le matériel, passez au coup de pouce n°2.



Coup de pouce n°2 : Au secours, je suis perdu(e) avec le matériel

Il va falloir mesurer des angles. Il faudra utiliser le plateau tournant et tourner le demi-cylindre. Pour cela, alignez la graduation 0° avec le rayon lumineux issu de la lampe. Le rayon doit être fin pour faciliter la lecture des angles. Ensuite, placez le demi-cylindre sur le plateau de façon à ce que le rayon lumineux soit perpendiculaire à sa surface plane et qu'il passe par son centre. Faites tourner d'un angle i (angle « entrant ») le plateau sans toucher au demi-cylindre et mesurez alors l'angle de réfraction r (angle « sortant »). Répétez cette opération pour des valeurs de l'angle d'incidence i que vous aurez choisies et **établir un tableau de mesures**. Si vous êtes bloqué(e) avec vos mesures, demandez le coup de pouce n°3.

Attention à bien vérifier avant chaque mesure que le rayon incident passe bien par le centre du disque gradué et que la perpendiculaire au demi-cylindre coïncide avec la graduation 0° .

Coup de pouce n°3 : Je voudrais bien vérifier les affirmations de Kepler en traçant un graphique mais lequel ?

- Il faut tracer sur papier millimétré le graphique représentant les variations de i (angle « entrant ») en fonction de r (angle « sortant »).
- Analysez ensuite la courbe obtenue.
- En cas de difficulté, une fiche pour vous aider à réaliser le graphique est disponible (fiche n°5)

Coup de pouce n°4 : Je voudrais bien réaliser un graphique mais je ne sais plus comment faire ?

- Vous devez d'abord repérer sur quel axe reporter les grandeurs mesurées. Rappelez-vous, en mathématiques, lorsque l'on trace « y en fonction de x », sur quel axe se trouve y ? Sur quel axe se trouve x ?
- N'oubliez pas qu'un graphique doit être bien présenté : il doit comporter un titre, des axes renseignés avec noms et unités.

Coup de pouce n°5 : Je voudrais réaliser un graphique pour vérifier les affirmations de Snell et Descartes mais....

Il faut tracer sur papier millimétré le graphique représentant les variations de $\sin i$ en fonction de $\sin r$. (\sin désignant ici le sinus de l'angle, i est l'angle « entrant » en degrés et r l'angle « sortant » en degrés aussi).

- Quelle est l'allure de la courbe obtenue ?
- Que peut-on dire des grandeurs $\sin i$ et $\sin r$?