

Lycée(s)	Général	Technologique	Professionnel	
Niveau(x)	CAP	Seconde	Première	Terminale
Enseignement(s)	Commun	De spécialité	Optionnel	
Physique-Chimie				

Descartes en Lumière : modéliser les phénomènes de réflexion et réfraction

Réactiver et consolider des notions clés de mathématiques pour les mobiliser dans une démarche scientifique.

S'approprier les lois de Snell-Descartes nécessite la maîtrise de nombreuses notions de natures diverses et de capacités mathématiques. La compréhension de modèles physiques qui semblent *a priori* simples mais qui sont en réalité subtils, tels que le rayon lumineux ou les notions de sources lumineuses, est aussi requise pour bien comprendre les modèles mis en jeu. Les causes de ces difficultés variées représentent des obstacles pour les élèves. La modélisation des phénomènes de réflexion et de réfraction est particulièrement propice à la consolidation de fondamentaux mathématiques et à leur transfert au service des apprentissages de physique.

Scénario pédagogique

Cette ressource est une séquence qui propose, dans un premier temps, un diagnostic des acquis du cycle 4 sur la proportionnalité, la mesure des angles et la trigonométrie, puis dans un deuxième temps un parcours personnalisé avec des activités de remédiation ou de consolidation différenciées selon les besoins des élèves. Lors de ces deux premiers temps, les prérequis mathématiques nécessaires au troisième temps seront remobilisés. Ce dernier temps est une activité expérimentale, permettant la vérification des lois de Snell-Descartes.

Références aux programmes

Prérequis / repères de progressivité

En physique-chimie :

Cycle 4 : Notions de sources primaires, secondaires et de récepteur de lumière. Condition de visibilité d'un objet.

Propagation rectiligne de la lumière. Modèle du rayon lumineux. Vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air.

En mathématiques :

Cycles 3 et 4 :

Lire et interpréter des données sous forme de données brutes, de tableau, de diagramme.

Mesure d'un angle.

Définition du sinus d'un angle.

Calcul du sinus d'un angle ou d'un angle à partir d'un sinus.

Reconnaître une situation de proportionnalité ou de non proportionnalité.

Modélisation d'une situation de proportionnalité par une droite passant par l'origine.

Comprendre et utiliser la notion de fonction : vocabulaire, différents modes de représentation, notations, fonction linéaire, fonction affine.

Seconde : Représentation algébrique et graphique des fonctions (Fonction à valeurs réelles définies sur un intervalle [...], Courbe représentative.)

Coefficient directeur d'une droite.

Référence au programme de Physique-Chimie de Seconde

Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. Indice optique d'un milieu matériel.

Compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

S'approprier : Mobiliser ses connaissances. Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée. Représenter la situation par un schéma.

Analyser / Raisonner : Traiter et exploiter des données expérimentales. Faire des prévisions à l'aide d'un modèle.

Réaliser : Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité. Utiliser un modèle. Réaliser un calcul numérique, un calcul littéral. Exploiter un graphique.

Valider : Tester un modèle, confronter un modèle à des résultats expérimentaux.

Présentation de la séquence**Organisation de la séquence**

La séquence s'articule autour de trois activités réparties sur quatre séances, pour une durée totale d'environ quatre heures trente minutes.

La séquence débute par une évaluation diagnostique dont les résultats permettent de proposer des activités différenciées, adaptées au niveau de maîtrise et aux besoins de chaque élève. Les activités différenciées consistent en des situations de consolidation ou de remédiation des notions mathématiques requises (proportionnalité et angles), à travers une série d'exercices inscrits dans un contexte concret et stimulant : la conception d'un bateau et la navigation. Le but de ces travaux est de faciliter la remobilisation de ces notions lors de la situation expérimentale qui suivra.

Ainsi, après avoir consolidé leurs acquis en mathématiques, les élèves sont invités à réinvestir leurs connaissances dans le cadre d'une activité expérimentale portant sur la validation des lois de Snell-Descartes. Elle a pour objectif de développer, comme souvent dans les démarches expérimentales, les compétences expérimentales (manipuler, observer...) mais aussi l'autonomie et la collaboration. Elle favorise, en particulier, les capacités liées à la modélisation, en mobilisant les outils mathématiques pour représenter géométriquement le phénomène, quantifier les

grandeurs physiques et géométriques en jeu, pour établir les relations entre elles. Elle s'inscrit dans une construction progressive du savoir de l'élève sur la propagation de la lumière, en s'appuyant sur une démarche inductive. Elle renforce la maîtrise des notions et capacités mathématiques en les sollicitant dans un contexte nouveau.

Dans cette troisième partie, une attention particulière est portée sur la modélisation des phénomènes physiques liés à la vision des objets et à la propagation de la lumière qui est retravaillée à l'aide de documents. On cherche, ici, à expliciter les notions nécessaires sur la lumière, en particulier le rayon lumineux, et à préciser les conceptions initiales qui nuiraient à la compréhension des nouvelles lois. Déployée sur deux séances, une séance en demi-groupes et une séance en classe entière, l'activité expérimentale propose une appropriation des lois de réflexion et de réfraction à travers une identification des phénomènes, une étude qualitative puis quantitative avec tests de différentes lois.

Déroulement de la séquence

Séance 1 - en classe entière (45 à 50 minutes) : présentation des objectifs et évaluation diagnostique

En début de séance, le professeur présente en quelques minutes l'objectif principal de la séquence et le travail qui sera à réaliser.

On souhaite étudier comment la lumière se propage lorsqu'elle rencontre la limite entre deux milieux transparents. L'enseignant place cette notion dans la progression des apprentissages en physique-chimie depuis le cycle 4. Les années précédentes, les élèves ont abordé la propagation rectiligne de la lumière dans un milieu homogène, la formation des ombres, les conditions de vision d'un objet. Ils vont découvrir maintenant les lois qui régissent le comportement de la lumière lors de la transition entre deux milieux transparents puis apprendre à les utiliser, les manipuler et les exploiter.

Le professeur explique ensuite que certaines compétences mathématiques sont essentielles pour s'approprier ces lois. Les élèves devront notamment maîtriser la proportionnalité, la mesure des angles et des notions de trigonométrie.

Cette mise en contexte permet de donner du sens aux différentes étapes du travail à venir et de montrer comment chaque activité s'inscrit dans une progression cohérente, en amont et en aval de l'expérimentation des lois de Snell-Descartes.

L'articulation de la séquence est dévoilée et expliquée :

- l'évaluation diagnostique des prérequis de mathématiques permet d'identifier l'état de leurs connaissances et compétences ;
- l'activité différenciée sur les angles et la proportionnalité conditionne un étayage adapté à leurs besoins ;
- l'activité expérimentale mobilise ces notions dans un contexte concret de modélisation, nécessitant leur bonne maîtrise préalable.

Les élèves sont ensuite invités à répondre aux questions de l'évaluation diagnostique pendant une vingtaine de minutes (annexe 1). Elle porte sur la proportionnalité, la

mesure d'angle et la trigonométrie, qui sont nécessaires pour modéliser la réflexion et la réfraction. Les compétences évaluées sont :

- identifier une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité ;
- résoudre un problème utilisant la proportionnalité : choisir les outils adaptés (coefficient de proportionnalité, tableau ...), les utiliser correctement, puis interpréter la solution dans le contexte du problème ;
- exploiter la modélisation graphique d'une situation de proportionnalité ;
- identifier et caractériser certains angles (alternes-internes) ;
- mesurer un angle ;
- calculer un angle à partir de son sinus (à l'aide d'une calculatrice).

Il est pertinent d'accorder un temps de travail suffisant aux élèves pour répondre à l'intégralité des questions. De façon à favoriser l'explicitation des stratégies mobilisées par les élèves, l'enseignant veille à leur demander de rédiger avec soin leur réponses et leur raisonnement. Cette exigence permet également aux élèves d'identifier, de comprendre et de surmonter leurs erreurs (compréhension de la consigne, prise d'information lente sur un type de document (tableau, graphique...), prérequis mathématiques, etc.).

L'évaluation des acquis peut se faire en grande partie en passant dans les rangs et en observant la production écrite au fur et à mesure de sa réalisation. Ces observations permettent aussi d'identifier les productions d'élèves à présenter lors de la mise en commun.

Dès que les élèves ont fini de rédiger, la séance se termine par une phase de mise en commun des réponses et d'analyses des erreurs, suivie de la rédaction des réponses validées par l'enseignant. Les échanges portent sur les différentes stratégies qui ont été mises en œuvre pour répondre aux questions, l'analyse des erreurs. Ils permettent une auto-évaluation.

Pour chacune des questions, un élève explique sa stratégie de résolution. Il peut, en fonction de son rapport plus ou moins facile avec l'oral et l'écrit, présenter à l'oral son raisonnement et le rédiger au tableau. Il est aussi possible de projeter son travail écrit, à l'aide d'un visualiseur ou d'une application telle que Cool Maze¹. Il peut ainsi argumenter sa réponse écrite. Les questions 1 à 3 de l'évaluation diagnostique pouvant être résolues de plusieurs manières, il est important de montrer les différentes stratégies possibles en donnant la parole à plusieurs élèves et en mettant en évidence l'intérêt de la procédure experte. Pour la dernière question, l'utilisation d'une calculatrice en ligne telle qu'un modèle Numworks² est efficace pour se réappropriier les automatismes liés aux fonctions sinus et arc sinus.

La confrontation collective entre les réponses des élèves à des réponses adéquates, rapidement après les questions, permet une autorégulation des connaissances, un début de remédiation efficace.

¹ <https://pod.phm.education.gouv.fr/video/69174-utilisation-de-cool-maze-comment-projeter-une-production-eleve-en-2-clics/>

² <https://www.numworks.com/simulator/>

En effet, Joëlle Proust³ souligne bien que l'autorégulation joue un rôle central dans l'apprentissage. Une bonne régulation conduit l'élève à s'engager dans l'apprentissage avec confiance et enthousiasme, tandis qu'une mauvaise régulation peut conduire au dégoût d'apprendre, à l'évitement de l'école et à la spirale de l'échec. La chercheuse considère que l'autorégulation est constituée de trois conditions essentielles : le "pouvoir apprendre", le "vouloir apprendre" et le "pouvoir s'évaluer". L'activité, ainsi organisée, répond à cette troisième condition "pouvoir s'évaluer".

De plus, un retour immédiat est plus efficace qu'un retour différé lorsqu'un apprenant manque d'expertise⁴. La correction, mise en œuvre immédiatement à la suite du travail réalisé, rectifiera plus durablement un flou, un malentendu, une erreur.

Suite à la rédaction des réponses validées, les élèves s'auto-évaluent à l'aide de la grille fournie en fin d'activité et rendent leur copie et leur grille à leur enseignant. Les élèves pourront retrouver une correction type de cette évaluation (annexe 8), en ligne, pour la suite des activités.

Les copies et les grilles sont analysées par l'enseignant afin d'identifier précisément les acquis et les difficultés de chacun. Ce travail permet d'identifier les besoins spécifiques des élèves et de constituer des groupes différenciés pour la séance suivante.

Séance 2 - en classe entière (50 minutes) : remédiation ou consolidation différenciée sur les fondamentaux de mathématiques

À partir de l'analyse des résultats de l'évaluation diagnostique, l'enseignant attribue aux élèves une ou plusieurs activités. Les élèves sont regroupés en binômes ou trinômes autour des mêmes activités afin de pouvoir échanger et confronter leurs démarches au cours de la séance et favoriser leur autonomie cognitive.

Les activités proposées en fonction des besoins sont :

- une activité de remédiation sur la proportionnalité (annexe 2),
- une activité de remédiation sur les angles et la trigonométrie (annexe 3),
- une activité de consolidation sous forme de tâche complexe faisant intervenir l'utilisation d'une situation de proportionnalité et la trigonométrie (annexe 4)

Chaque élève travaille individuellement, rédigeant sa propre réponse avec l'aide d'un brouillon, pour formaliser sa réflexion. Les échanges oraux entre pairs sont autorisés pour clarifier les idées, mais la production reste strictement personnelle.

Dans cette séance, l'autorégulation est à nouveau recherchée. L'erreur étant une étape exploitable pour la construction des apprentissages, elle ne doit pas être immédiatement sanctionnée pour éviter les effets d'inhibition mais identifiée, comprise et analysée par l'élève. Pour traiter l'erreur correctement, les activités de remédiation s'appuient sur des aides progressives puis dégressives :

- des cartes mentales reprenant les prérequis de mathématiques (annexes 5 et 6) ;

³ <https://joelleproust.org/fr/>

⁴ Caractéristiques et fonctions des feed-back dans les apprentissages par [Christelle Bosc-Miné](#)

- les deux premiers exercices corrigés de chaque activité de remédiation (annexes 2 et 3) ;
- des exercices d'entraînement avec des éléments de correction qui sont accessibles en ligne grâce à un QR code sur le sujet ;
- d'autres aides (animations, quizz) accessibles via l'ordinateur ou le téléphone, tels que le rapporteur virtuel⁵ ou les représentations graphiques des fonctions sinus et cosinus⁶.

Selon André Tricot⁷, l'apprentissage est optimal lorsque la charge cognitive, c'est-à-dire l'effort mental mobilisé par une tâche, est équilibrée. Il distingue trois types de charges :

- intrinsèque (liée à la complexité du contenu) ;
- extrinsèque (liée à la manière dont l'information est présentée) ;
- pertinente (celle qui est utile à l'apprentissage).

L'objectif est de réduire la charge extrinsèque inutile et de favoriser une charge pertinente, pour libérer les ressources mentales de l'élève et faciliter la compréhension.

Concernant les stratégies pédagogiques, il indique qu'il est efficace d'alterner les problèmes résolus et les problèmes à résoudre.

Ci-dessous, quelques exemples de travaux attribués en fonction des résultats de l'évaluation diagnostique :

Résultats de l'évaluation	Activités
Toutes les réponses sont justes	Consolidation
Réponse fausse à la question 6	Remédiation angles : exercice 2 et quizz
Réponses fausses aux questions 3 et 6	Remédiation angles : exercice 2
2 réponses fausses parmi les réponses aux questions 1, 2 et 3	Remédiation proportionnalité
2 réponses fausses parmi les réponses aux questions 4, 5 et 6	Remédiation angles

Avant de commencer le travail, le professeur donne quelques consignes d'utilisation des corrections mises à disposition permettant aux élèves de progresser. Les élèves ne doivent pas recopier la correction. Ils peuvent réaliser le travail demandé puis vérifier leurs réponses. Quand ils rencontrent des difficultés sur une question, ils peuvent s'entraider, consulter une des cartes mentales fournies ou visionner une aide sous forme d'animation mais aussi consulter la correction puis essayer de rédiger l'exercice sans s'aider, maintenant, des réponses.

⁵ <https://www.geogebra.org/m/yv7pttem>

⁶ <https://www.geogebra.org/m/xwjjneme>

⁷ Tricot, A. (2017), Conditions de réussite : Quels apports de la théorie de la charge cognitive à la différenciation pédagogique ? Quelques postes concrètes pour adapter des situations d'apprentissage. Paris : Cnesco

A la fin de la séance, le professeur récupère le travail réalisé afin d'évaluer les progrès et difficultés restantes. Il identifie ainsi les élèves qui auront besoin d'accompagnement lors de la réalisation de l'activité expérimentale.

Séance 3 - en demi-groupes (1 heure et 30 minutes) : mobilisation des fondamentaux dans une activité expérimentale de validation des lois de Snell-Descartes, première partie

La séance 3 s'articule en trois temps forts (annexe 7).

La séance débute par la réactivation des notions d'optique vues au collège, notamment les sources de lumière et le modèle du rayon lumineux, pour observer et comprendre les phénomènes de réflexion et de réfraction lors de l'étude d'un exemple concret : une image issue d'un tutoriel de dessin illustrant la propagation de la lumière (une sphère éclairée par une source ponctuelle). Les élèves sont questionnés afin d'identifier les notions en jeu : source primaire de lumière, rayons lumineux, ombres propre et portée. Ils sont ainsi amenés à expliciter leurs représentations initiales. Cette phase d'échange permet d'ancrer les apprentissages dans une situation familière et de mobiliser des connaissances antérieures.

Après cette remobilisation des acquis du cycle 4 sur la propagation de la lumière, un premier temps fort est proposé aux élèves. Le travail préliminaire consiste à identifier, caractériser et commencer à modéliser les phénomènes physiques de réflexion et de réfraction, à travers des documents.

La deuxième phase de l'activité consiste à utiliser un dispositif expérimental constitué d'un demi-cylindre en plexiglas pour étudier les lois de Snell-Descartes. Les élèves doivent observer l'évolution qualitative puis mesurer les angles de réflexion et de réfraction si on augmente l'angle d'incidence.

Les élèves concluent cette troisième séance en exploitant les données expérimentales pour tester les relations entre les angles d'incidence i_1 , de réflexion r et de réfraction i_2 . Ils sont invités à formuler sans étayage une relation entre les grandeurs, sans qu'une hypothèse de proportionnalité ne leur soit imposée a priori, et à proposer une stratégie permettant de vérifier leur hypothèse. L'activité vise à susciter des conjectures qu'ils chercheront à tester graphiquement à l'aide d'un tableur permettant de tracer $r = f(i_1)$ et $i_2 = f(i_1)$. La proportionnalité, souvent proposée spontanément pour les petits angles, peut ainsi être validée, nuancée ou remise en question à mesure que les valeurs d'angles augmentent. Cette démarche favorise une réelle modélisation critique du phénomène et facilite l'appropriation progressive du contexte expérimental.

Séance 4 - en classe entière (50 minutes) : mobilisation des fondamentaux dans une activité expérimentale de test des lois de Snell-Descartes, deuxième partie

Lors de cette dernière séance, les élèves sont invités à exploiter les données expérimentales recueillies pour vérifier les lois de Snell-Descartes en les confrontant aux modèles proposés par Snell-Descartes. Cet objectif est celui qui pose le plus de

difficultés d'un point de vue de la technique et de la compréhension des notions mathématiques.

Les élèves sont guidés pour envisager, dans le cas de la réfraction, un changement de variables et retrouver la relation de proportionnalité entre le sinus de l'angle d'incidence et celui de l'angle de réfraction.

La première étape du raisonnement attendu des élèves consiste à interpréter les résultats expérimentaux précédents, qui montrent que les angles d'incidence et de réfraction ne sont pas proportionnels. Ils sont alors amenés à s'interroger sur la pertinence des variables choisies et à envisager la recherche de nouvelles grandeurs à représenter.

Remarque : cette transition conceptuelle, n'ayant pas été travaillée en amont dans l'année, a nécessité un accompagnement plus soutenu que ce qui avait été initialement envisagé lors de la conception de la ressource.

Un exemple concret de changement de variable est d'abord présenté à partir d'une situation déjà familière aux élèves : l'étude de l'énergie cinétique, abordée au cycle 4. On rappelle que l'énergie cinétique E_c d'un objet en mouvement est donnée par la formule : $E_c = \frac{1}{2} mv^2$ où m est la masse de l'objet (constante dans notre cas) et v sa vitesse. Si l'on souhaite représenter graphiquement l'évolution de l'énergie cinétique en fonction de la vitesse v , la courbe obtenue est une parabole orientée vers le haut, car l'énergie cinétique dépend du carré de la vitesse. Cependant, si on choisit de changer la variable portée en abscisse en remplaçant la vitesse v par son carré v^2 , alors la relation devient linéaire. En effet, dans ce nouveau repère où l'on trace E_c en fonction de v^2 , l'expression devient : $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} m \times v^2$. Cette équation correspond à celle d'une droite passant par l'origine, de pente $\frac{1}{2} m$. Ce changement de variable permet donc de simplifier la lecture graphique de la relation entre les grandeurs, en transformant une courbe non linéaire en droite. Cela illustre de manière claire l'intérêt des changements de variables dans l'analyse des phénomènes physiques.

Pour les élèves disposant de repères robustes en mathématiques, cette introduction est suffisante. Pour les autres, un accompagnement est proposé. Le professeur et des élèves performants sur ce point accompagnent les élèves plus en difficulté sur le choix des variables à utiliser puis lors de l'utilisation du classeur vu précédemment pour tracer et interpréter $\sin(i_2) = f(\sin(i_1))$.

Exemples de travaux d'élèves et leur analyse

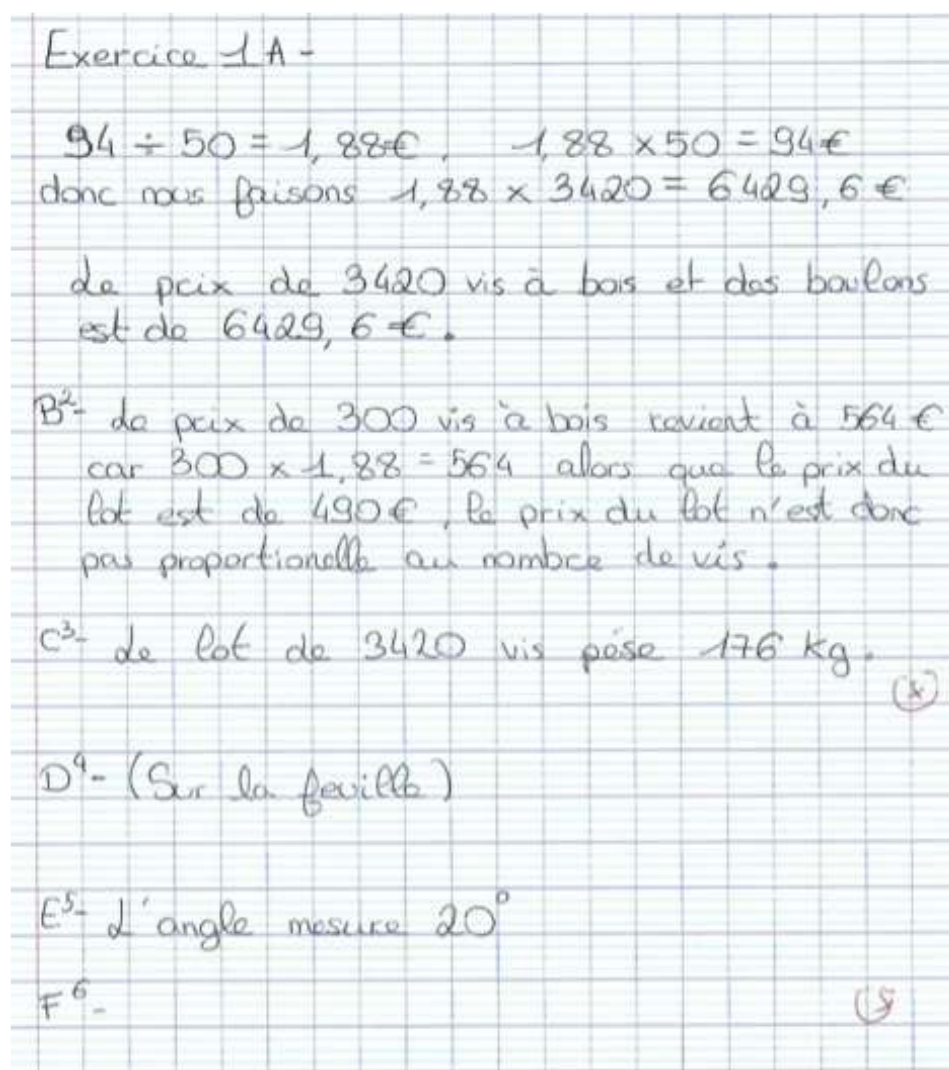
Les supports d'activité pour les élèves et les corrections sont présentés en annexe.

Contexte

La séquence a été menée dans deux classes de seconde. Dans ces deux classes, 38 élèves sur 64 ont obtenu un niveau « fragile » ou « à besoins » dans l'item « Connaître les nombres et les utiliser dans des calculs » lors du test de positionnement de mathématiques de début de seconde.

Évaluation diagnostique de début de séquence

Exemple de réponses d'un élève à l'évaluation diagnostique



Dans cet exemple, l'élève est capable de lire une abscisse ou une ordonnée (graphique non fourni ci-dessus) mais il ne sait pas déterminer un coefficient de proportionnalité

à partir d'une droite. De même, il est capable de mesurer des longueurs dans un triangle mais ne sait pas exploiter ces valeurs pour calculer le sinus d'un angle. On ne peut donc pas savoir s'il est capable de déterminer la valeur de l'angle à partir de celle du sinus. À la suite de cette évaluation, l'enseignant propose à l'élève une remédiation portant sur la représentation graphique de la proportionnalité ainsi que sur la trigonométrie.

Exemple de grille d'évaluation pour cette évaluation diagnostique

Question	Compétence travaillée	Autoévaluation	Évaluation professeur
1	Déterminer une quatrième proportionnelle, à partir de données brutes.	x ✓	x ✓
2	Reconnaître une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité, à partir de données sous forme de tableau.	x ✓	x ✓
3	Exploiter la modélisation graphique d'une situation de proportionnalité.	x ✓	x ✓
4	Identifier et caractériser des angles alternes-internes.	x ✓	x ✓
5	Mesurer un angle.	x ✓	x ✓
6	Calculer un angle à partir d'un sinus.	x ✓	x ✓

Exemple de réponses d'un autre élève à l'évaluation diagnostique

1. j'ai utilisé le tableau et pas so j'ai confondu.

$$400 \times 8 = 3200 \quad 8 \times 620 = 4960$$

$$3200 + 200 = 3400 \quad 4960 + 345 = 5305$$

$$3400 \text{ vis} = 5305 \text{ €}$$

$$\frac{20 \times 94}{50} = 37,6 \quad 3420 \text{ vis} = 5305 + 37,6 = 5342,6$$

2.

$$\frac{100 \times 94}{50} = 188 \quad 188 \neq 180$$

donc le prix des lots de vis n'est pas proportionnel.

3.

$$200 \times 17 = 3400 \quad 17 \times 12 = 204$$

$$3400 \text{ vis} = 204 \text{ kg}$$

$$\frac{20 \times 3}{50} = 1,2 \quad 204 + 1,2 = 205,2$$

$$3420 \text{ vis} = 205,2 \text{ kg}$$

5. l'Angle de déviation fait 20°

6.

2,9 côté opposé 20° angle

9 hypoténuse

$$\sin = \frac{2,9}{9} = 0,322222$$

Dans cet exemple, l'élève sait utiliser une situation de proportionnalité pour calculer une quatrième proportionnelle mais il s'est trompé dans l'extraction de l'information utile : il a recopié les valeurs du tableau de la question 2, qui ne correspondait pas à

une situation de proportionnalité. D'après la remarque qu'il a ajouté en bleu au tout début, il a compris l'origine de son erreur. Cependant on note que le calcul est laborieux car il n'utilise pas le coefficient de proportionnalité : le niveau de maîtrise identifié nécessite une réactivation de la notion mais pas forcément une activité de remédiation.

Sur la deuxième partie de l'évaluation, il sait mesurer un angle, des longueurs, calculer un sinus mais peine à trouver la valeur de l'angle correspondant. À la suite de cette évaluation, l'enseignant propose à l'élève une remédiation portant sur la trigonométrie.

L'absence de formulation écrite de la démarche de calcul traduit une réflexion encore partielle. L'élève ne semble pas avoir pleinement intégré l'intérêt de formaliser sa pensée par l'écrit, ce qui constitue pourtant un levier essentiel pour structurer sa réflexion, se questionner et progresser. Cet aspect mérite d'être retravaillé avec lui afin de renforcer ses compétences en raisonnement et en explication.

Exemple de grille d'évaluation pour cette évaluation diagnostique

Question	Compétence travaillée	Autoévaluation	Évaluation professeur
1	Déterminer une quatrième proportionnelle, à partir de données brutes.	x ✓	x ✓
2	Reconnaître une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité, à partir de données sous forme de tableau.	x ✓	x ✓
3	Exploiter la modélisation graphique d'une situation de proportionnalité.	x ✓	x ✓
4	Identifier et caractériser des angles alternes-internes.	x ✓	x ✓
5	Mesurer un angle.	x ✓	x ✓
6	Calculer un angle à partir d'un sinus.	x ✓	x ✓

Situation de remédiation

Exemple de réponses d'un élève à l'activité de remédiation de proportionnalité

Proportionnalité:

1) La surface de coupe enduite est proportionnelle au volume de résine car la droite passe par O (~~le point~~) (Proportionnalité)

2) ~~400/18~~ $a = y/x$ ($S = a/V$)
 $a = 4/18 \approx 0,22$ $a = 6/18 = \frac{1}{3} \approx 0,33$
 Le coefficient de proportionnalité est de $\frac{1}{3}$ ou environ 0,33

3) calculer le volume : donné, surface = 130 m² et coef. = 0,33
 $V = S/a$
 $V = 130 / 0,33$
 $= \frac{13000}{33}$
 $\approx 393,93$
 $\approx 393,9$
 $= 3,94 \times 10^2$ pour 130 m² de surface de ruine

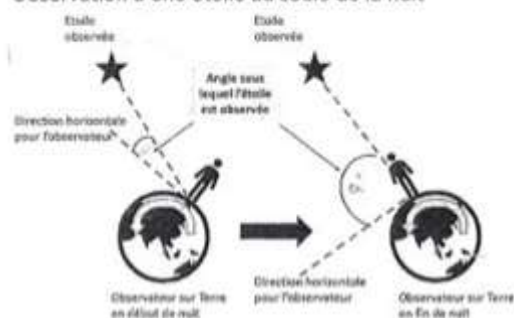
Dans l'extrait de copie précédent qui concerne la remédiation sur la représentation graphique d'une situation de proportionnalité, on constate que l'élève a corrigé certaines erreurs à la suite de la lecture de la correction-type mais que certaines sont encore présentes. L'isolement d'une grandeur dans une relation algébrique est mal mené dans la question 2, mais correctement effectué dans la question 3. Le calcul numérique est correct.

Ici, la difficulté majeure ne semble plus être la notion de proportionnalité mais la manipulation des relations algébriques.

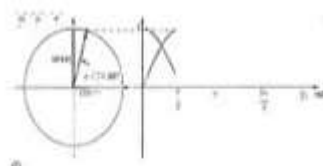
Exemple de réponses d'un élève à l'activité de remédiation en trigonométrie

Exercice 2 - Le mouvement des étoiles dans le ciel

Au cours de la nuit, une étoile se déplace dans le ciel. L'angle $\hat{\alpha}$ entre la direction de l'étoile et l'horizon varie.

Observation d'une étoile au cours de la nuit**Coup de pouce**

Pour tout angle, qu'il soit dans un triangle ou non, il est possible de définir son sinus.



Voir l'animation [ici](#)

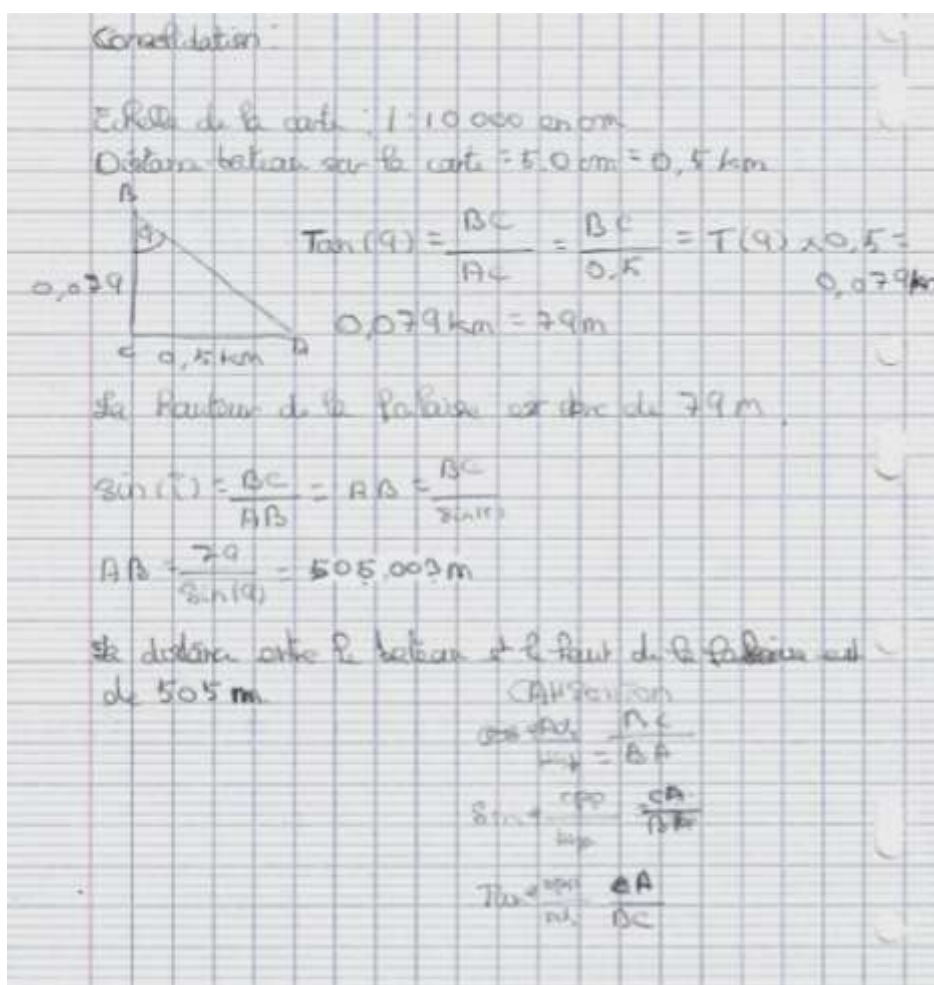


1. En début de nuit $\sin \hat{\alpha} = 0,64$, calculer $\hat{\alpha}$. $\hat{\alpha} = 39^\circ$
2. Sachant que $\hat{\alpha}$ augmente jusqu'à 90° pendant la nuit, indiquer comment va évoluer $\sin \hat{\alpha}$. $\sin \hat{\alpha}$ va augmenter
3. En fin de nuit, $\hat{\alpha} = 90^\circ$, calculer $\sin \hat{\alpha}$. $\sin \hat{\alpha} = 1$

Dans l'extrait de copie précédent, issu d'une activité de remédiation en trigonométrie, on observe la même tendance que dans la première évaluation diagnostique présentée, mais de manière encore plus flagrante : privilégier la réponse correcte sans passer par une véritable démarche de raisonnement. L'élève donne un résultat sans rédiger ni expliciter sa réflexion, et fragilise sa compréhension et l'assimilation des notions étudiées.

Situation de consolidation

Exemple de réponses d'un élève à une activité de consolidation



Dans la copie précédente, issue d'une activité de consolidation, on constate une difficulté initiale qui n'a pas pénalisé l'élève par la suite. Il a mal placé l'angle d'élévation au départ, puis l'a correctement identifié pour réaliser les calculs de trigonométrie. Ici, la difficulté de prise d'information utile a été dépassée. Par contre, un travail sur la rédaction des calculs est à envisager : l'élève utilise le symbole égal pour séparer des égalités équivalentes sur la trigonométrie.

Situations expérimentales

Un premier exemple de compte-rendu de l'activité expérimentale d'un élève

TP1 Chapitre 6 Propagation de la lumière

1) A partir des 3 documents l'image qui correspond à une réflexion est la photo 1 et l'image qui correspond à une réfraction est la photo 2. Le modèle 1 correspond à une réflexion tandis que le modèle 2 correspond à la réfraction.

3) les angles de réflexion et de réfraction augmentent lorsque l'angle d'incidence augmente

4)

i_1 (Angle incident)	0°	20°	40°	60°	80°
i_2 (Angle réfracté)	0°	13°	25°	35°	40°
i_3 (Angle réflexion)	0°	20°	40°	60°	80°

6) l'angle de réflexion est identique à l'angle incident donc il est proportionnel comme on a pu le voir sur le graphique: les points sont alignés et la droite passe par l'origine. A l'inverse l'angle de réfraction n'est pas proportionnel à l'angle d'incidence comme on a pu le voir grâce à la droite puisque ses points sont alignés donc il n'y a pas de situation de proportionnalité.

5) On va tracer des graphiques qui représentent l'angle de réflexion en fonction de l'angle incident et autres graphiques qui représentent l'angle de réfraction en fonction de l'angle incident dans le but d'identifier une relation de proportionnalité.

7) Oui, nos résultats sont en accord avec la loi de la réflexion énoncée par Snell-Descartes car $i_1 = r$: $i_1 = 20^\circ \rightarrow r = 20^\circ$, $i_1 = 40^\circ \rightarrow r = 40^\circ$.

8) D'après la loi de Snell-Descartes pour la réfraction les deux grandeurs qui sont proportionnelles sont $\sin i_1$ et $\sin i_2$.
Pour trouver le coefficient de proportionnalité il faut :

$$\frac{n_1 \times \sin i_1}{n_2} = \frac{n_2 \times \sin i_2}{n_2}$$

$$\Rightarrow \frac{n_1}{n_2} \times \sin i_1 = \sin i_2$$

le coefficient de proportionnalité est : $\frac{n_1}{n_2}$

10) Oui, nos résultats sont en accord avec la loi de la réfraction énoncée par Snell-Descartes car

$\frac{n_1 \times \sin i_1}{n_2} = \sin i_2$	$\frac{n_1 \times \sin i_1}{n_2} = \sin i_2$	$\frac{n_1 \times \sin i_1}{n_2} = \sin i_2$	$\frac{n_1 \times \sin i_1}{n_2} = \sin i_2$
$\frac{1,00 \times 0,99}{1,51} = 0,65$	$\frac{1,00 \times 0,34}{1,51} = 0,22$	$\frac{1,00 \times 0,64}{1,51} = 0,42$	$\frac{1,00 \times 0,87}{1,51} = 0,58$

$$11) \quad n_2 = n_1 \times \frac{\sin i_1}{\sin i_2}$$

$$n_2 = 1,00 \times \frac{0,34}{0,22}$$

$$n_2 \approx 1,55$$

$$n_2 = n_1 \times \frac{\sin i_1}{\sin i_2}$$

$$n_2 = 1,00 \times \frac{0,87}{0,58}$$

$$n_2 \approx 1,5$$

l'indice de réfraction du plexiglas est très similaire à nos résultats.

12) Les causes possibles expliquant la différence entre la valeur théorique de l'indice du plexiglas et celle trouvée expérimentalement est que la valeur théorique est calculée à partir de la vitesse dans le milieu alors qu'expérimentalement on a utilisé le sinus.

* de la lumière

Ce premier compte-rendu de l'activité expérimentale témoigne d'une bonne maîtrise des bases mathématiques. Toutefois, dans les questions 10 et 11, l'élève utilise les données expérimentales point par point, sans mobiliser l'équation de la droite pour retrouver la loi de Snell-Descartes ni pour déterminer l'indice de réfraction du plexiglas. Cela révèle une compréhension encore partielle de deux notions à renforcer : d'une part, l'intérêt de la courbe de tendance en physique, qui — à l'image d'une moyenne — permet de limiter l'effet des incertitudes de mesure ; d'autre part, la signification de l'équation d'une droite.

Un second exemple de compte-rendu de l'activité expérimentale d'un élève

1: L'image du zèbre est une réflexion car c'est un phénomène par lequel un rayon lumineux atteignant un dioptre est renvoyé dans le premier milieu.

L'image du verre est une réfraction car c'est un phénomène par lequel un rayon lumineux franchissant un dioptre est dévié de sa trajectoire initiale.

Modèles ?

2: La réponse est sur le document 4.

3: Lorsque on augmente le ^{angle} d'incidence, celui de réflexion et de réfraction augmentent aussi.

4:

i_1	30°	45°	58°	0°	75°	90°
r	23°	46°	64°	0°	74°	78°
r	11°	28°	35°	0°	45°	49°

5: α

6: La courbe de r en fonction de i_1 est proportionnelle car elle passe par l'origine.



la courbe de i_2 en fonction de i_1 n'est pas proportionnelle car elle ne passe pas par l'origine. si!



7: Oui, les résultats sont en accord avec la loi de la réflexion puisque par Snell-Descartes car par exemple: $i_1 = 10$ et $r = 10$; $i_1 = 20$ $r = 20$.

10: Non, mes résultats ne sont en accord avec la loi car pour $i_1 = 10$; $\sin i_1 = 0,1736481777$ tandis que pour $i_2 = 10$; $\sin i_2 = 0,1736481777$ et on

8: $\sin i_2$ est proportionnel car elle passe par l'origine.



9: $i_1 = 30$; $\sin i_1 = 0,5$
 $i_2 = 40$; $\sin i_2 = 0,64278761$

Dans le compte-rendu d'activité expérimentale précédent, réalisé par un élève qui avait initialement des difficultés sur la proportionnalité et la trigonométrie, on constate des progrès. La représentation graphique d'une situation de proportionnalité est assimilée même si une confusion perdure au niveau du vocabulaire (notion d'origine et différence entre courbe et droite). De plus l'élève est capable de calculer le sinus d'un angle. Cependant, proposer une stratégie pour identifier une situation de proportionnalité pose encore problème pour cet élève. Il n'a pas compris le changement de variable pour exploiter le graphique $\sin(i_2) = f(\sin(i_1))$. La tâche a été ici complexifiée par la gestion simultanée de nombreuses données, qui semblent avoir nuit à la clarté de l'analyse et à la compréhension de la relation entre les sinus des angles.

Bilan global

Concernant l'ambiance de travail

La mise en œuvre de cette ressource a suscité une implication notable des élèves et un regain de motivation. La dynamique de classe a été positive et le climat propice aux apprentissages. Les élèves se sont montrés confiants et conscients des compétences acquises lors des activités de remédiation et de consolidation. La ressource a permis une meilleure compréhension des liens étroits entre disciplines, mais aussi de la progressivité des programmes.

Concernant les fondamentaux de mathématiques et les notions et compétences en physiques

La remédiation, centrée sur des notions fondamentales de mathématiques, a globalement favorisé une meilleure maîtrise de situations similaires rencontrées ultérieurement en physique-chimie, comme lors de l'étude des forces appliquées à un système mais cette amélioration est à nuancer.

Lors de l'activité expérimentale, les élèves ont su identifier, mesurer les angles et tracer les premiers graphiques, sans recours à l'aide de l'enseignant. Les compétences « s'approprier » et « réaliser » de la démarche scientifique ont été assez bien maîtrisées. Néanmoins, des écarts de maîtrise persistent sur les fondamentaux et les compétences « analyser » et « valider ».

Chez les élèves fragiles, la remédiation, bien qu'opportune, n'a pas suffi à lever tous les obstacles rencontrés. Les difficultés relevées autour de la proportionnalité méritent une attention particulière. La reconnaissance spontanée d'une relation proportionnelle entre deux grandeurs croissantes reste incertaine pour certains élèves, suggérant une conceptualisation superficielle. De plus, le changement de variable — le passage de l'angle au sinus — a constitué un point de blocage significatif, malgré la présence d'un exemple guidé. Un travail en amont de l'activité ou une reprise ultérieure sur ce type de transformation serait pertinent pour développer la capacité à raisonner des élèves. Après la séquence, il serait intéressant de proposer à travers des exercices ou des activités des situations non proportionnelles et demander quels changements de variable pourraient permettre de retrouver une relation linéaire. L'expression de la force gravitationnelle peut être exploitée en ce sens.

La transposition entre le modèle mathématique (équation de la droite) et le modèle physique (loi de Snell-Descartes) a été difficilement investie lors de l'activité. Toutefois, il est à noter que ce lien a été mieux établi dans les exercices ultérieurs et l'évaluation sommative, ce qui montre une consolidation progressive des acquis. Ce différé dans la compréhension appelle à renforcer les phases de structuration et de mise en perspective des savoirs.

Enfin, bien que tous les élèves n'aient pas pu finaliser l'activité expérimentale, les performances observées dans les exercices suivants et lors de l'évaluation sont en amélioration par rapport à l'année précédente. Cela atteste d'une certaine efficacité de la séquence, tout en mettant en lumière des pistes d'amélioration autour de l'accompagnement des élèves en difficulté et de la modélisation mathématique.

Prolongations possibles

Le travail de rédaction ayant été survolé par plusieurs élèves, il serait intéressant de **proposer un travail de narration de la résolution** : demander aux élèves de raconter leur démarche dans un court écrit, en insistant notamment sur le besoin de changer de variables et la méthode, afin de renforcer l'appropriation du raisonnement.

Dans les pistes d'évolution de la ressource, il est aussi possible d'envisager une auto-évaluation plus soutenue :

- en fournissant des critères de réussite lors de l'évaluation diagnostique ;
- en proposant, en fin de séquence, une fiche d'auto-positionnement sur les fondamentaux de mathématiques dans les différentes activités, afin de prendre conscience des progrès. Cette fiche peut s'accompagner de liens vers de courtes capsules de renforcement si le niveau acquis reste fragile.

Les mesures d'angles peuvent fournir une situation de sensibilisation à la variabilité de la mesure. Ce choix n'a pas été fait dans le cadre de cette ressource. De plus, l'accent est mis sur l'exploitation d'un graphique et non sa réalisation sur un support papier. Le tracé du graphique est une variante de l'activité tout à fait envisageable ainsi que le traitement de l'ensemble des données par un programme python pour automatiser la réalisation des graphiques.

On peut proposer une comparaison entre plusieurs matériaux : refaire la manipulation avec différents milieux (eau, verre, plexiglas, huile...) ou donner les résultats des mesures pour ceux-ci, pour valider la constance des lois, à la place d'exercices usuels. On peut, ici, revenir sur la notion de fonction affine et travailler sur l'interprétation physique du coefficient de proportionnalité ou automatiser le passage de l'angle à son sinus et inversement.

On peut utiliser des outils de simulation tels que PhET pour rejouer les expériences, tester des conditions limites (angle critique, réflexion totale...).

Il est possible d'envisager une évaluation ludique sous forme de classe inversée : les élèves préparent la séance suivante en visionnant une courte capsule vidéo sur la réfraction, et en rédigeant des questions ou une mini-présentation.

Références bibliographiques

[Apprenance](#), académie de Grenoble.

Bosc-Miné, C. (2014). Caractéristiques et fonctions des feed-back dans les apprentissages. *L'Année psychologique*, 114(2), 315-353.

Malafosse, D. (1999). Contribution à l'analyse et à la modélisation des processus de conceptualisation en inter-didactique des mathématiques et de la physique : exemple de la loi d'Ohm.

Proust, J. (n.d.). Encourager le sentiment d'efficacité et l'engagement de l'élève.

Tricot, A. (2020). Quelles fonctions pédagogiques bénéficient des apports du numérique ? Paris : Cnesco-Cnam.

Annexes

Annexe 1 : évaluation diagnostique

Introduction

Nous allons étudier les phénomènes qui se produisent quand la lumière passe d'un milieu transparent à un autre. Afin de bien aborder la modélisation de ces phénomènes, nous allons mobiliser :

- la proportionnalité ;
- la mesure d'un angle et le sinus d'un angle.

Il faudra maîtriser ces notions. Nous allons donc commencer par tester votre maîtrise. Puis, si besoin, réviser.

Évaluation diagnostique - Construire un Drakkar

L'association Batar (qui signifie bateau en islandais) tente la formidable aventure de la fabrication d'ORKAN, le drakkar le plus rapide du monde et la navigation à bord de celui-ci. Lors de la réalisation de la coque, comme vous, ils doivent maîtriser les outils mathématiques afin de gérer les coûts, le stockage, la réalisation des pièces.



Premier drakkar de l'association

Consigne

Répondre aux questions suivantes en expliquant la démarche suivie.

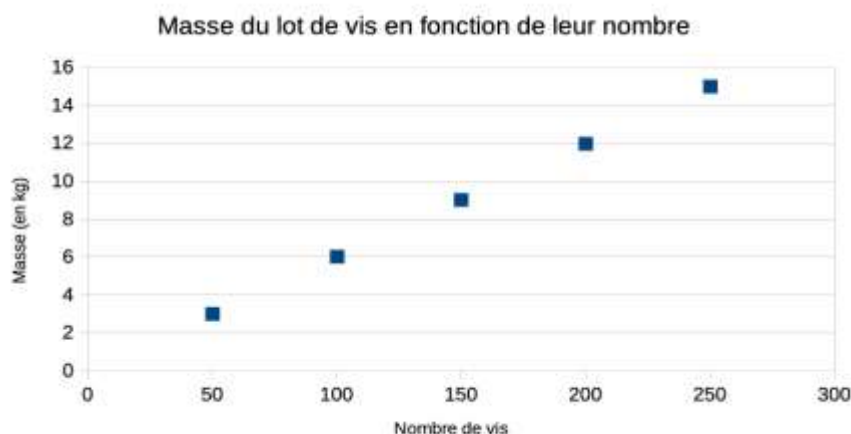
1. Pour construire la coque, on fixe les planches grâce à des vis à bois et des boulons. **Calculer le coût de 3420 vis achetées en vrac.**

Donnée : en vrac, 50 vis coûtent 94 €.

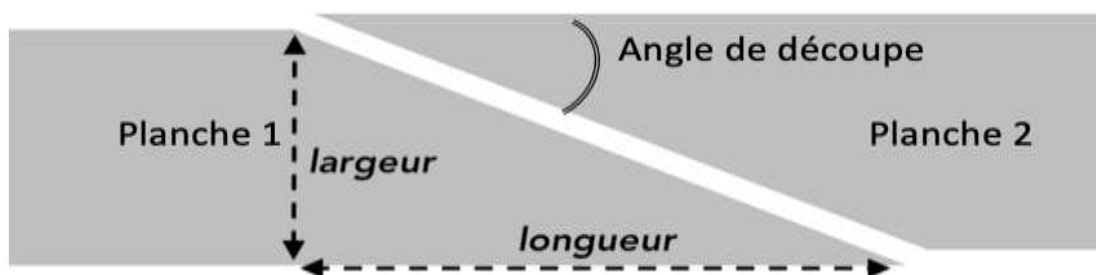
2. Il est souvent plus intéressant d'acheter les objets en lots. **Montrer que le prix des lots de vis n'est pas proportionnel au nombre de vis.**

Nombre de vis N	50	100	200	300	400
Prix du lot de vis P en €	94	180	345	490	620

3. La représentation graphique ci-dessous modélise la masse du lot de vis en fonction du nombre de vis. **Déterminer la masse de 3420 vis.**



Pour assembler les planches entre elles, on réalise un scarf : on jointe les planches en découpant leur extrémité suivant des angles bien précis.



4. Indiquer où l'on retrouve l'angle de découpe sur la planche 1.
5. Mesurer l'angle de découpe des deux planches dans le schéma ci-dessus, à l'aide d'un rapporteur.
6. Pour vérifier que l'angle de découpe a été bien réalisé, on peut utiliser le sinus de l'angle. Retrouver la valeur de l'angle représenté dans le schéma ci-dessus, à partir de mesures réalisées à l'aide de votre règle et du sinus de l'angle.

Rappel : le sinus d'un angle est égal au rapport entre la longueur du côté opposé à cet angle et la longueur de l'hypoténuse

Bilan de l'évaluation diagnostique

Compléter l'auto-évaluation à partir de la correction.

Nom :

Question	Compétence travaillée	Auto évaluation	Évaluation professeur
1	Résoudre des problèmes utilisant la proportionnalité, <i>à partir de données brutes.</i>	X✓	X✓
2	Reconnaître une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité, <i>à partir de données sous forme de tableau.</i>	X✓	X✓
3	Exploiter la modélisation graphique d'une situation de proportionnalité.	X✓	X✓
4	Identifier et caractériser des angles alternes-internes.	X✓	X✓
5	Mesurer un angle.	X✓	X✓
6	Calculer un angle à partir d'un sinus.	X✓	X✓

Annexe 2 : remédiation - la proportionnalité, un outil du quotidien

Consigne

- Traiter les exercices résolus en veillant à rédiger correctement vos réponses.
- S'aider de la carte mentale et de la correction pour réaliser le travail demandé ou le vérifier.
- Faire l'exercice d'entraînement.

Exercices résolus

Exercice 1 - Maquette de bateau

Le drakkar ORKAN, fabriqué à Toulouse, mesure 28 mètres de long, 6,0 mètres de large et son mât a une dimension de 16 mètres. On estime sa masse globale à 16 tonnes.

On souhaite réaliser une maquette de 14 cm de long.

1. Montrer que le coefficient de proportionnalité entre les longueurs réelles et les longueurs sur la maquette vaut $\frac{1}{200}$ (ce qui correspond à l'échelle de la maquette).
2. Calculer les autres dimensions de la maquette.

Correction de l'exercice 1

1. Les dimensions de la maquette sont proportionnelles aux dimensions réelles. On peut donc établir un tableau de proportionnalité.

$\div \frac{0,14 \text{ m}}{28 \text{ m}}$	Longueur réelle (en m)	28	6,0	16	$\times \frac{0,14 \text{ m}}{28 \text{ m}}$
	Longueur sur la maquette (en m)	0,14			

Le coefficient de proportionnalité vaut $\frac{0,14 \text{ m}}{28 \text{ m}} = 0,0050 = \frac{1}{200}$.

2. Pour obtenir les autres dimensions de la maquette, on multiplie la dimension réelle par le coefficient de proportionnalité.

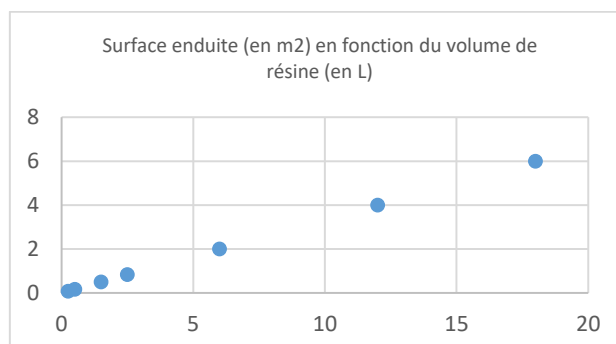
$\div \frac{0,14 \text{ m}}{28 \text{ m}}$	Longueur réelle (en m)	28	6,0	16	$\times \frac{0,14 \text{ m}}{28 \text{ m}}$
	Longueur sur la maquette (en m)	0,14	0,030	0,080	

La largeur de la maquette mesure 3,0 cm et son mât, 8,0 cm.

Remarque : il existe plusieurs méthodes pour déterminer ces mesures (voir tableau ou carte mentale).

Exercice 2 - Étanchéité d'un bateau

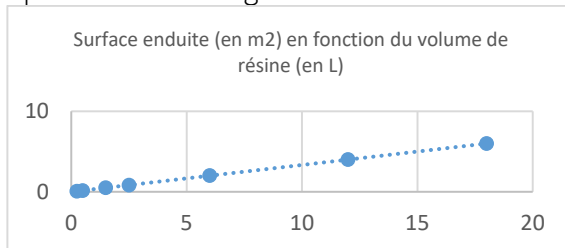
Pour étancher la coque d'un bateau, on la recouvre de résine époxy. Le graphique ci-dessous représente la surface de coque enduite en fonction du volume de résine.



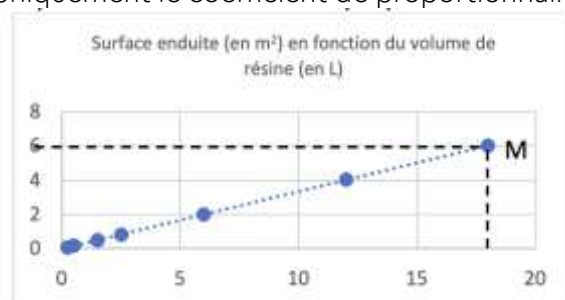
1. Indiquer si la surface de coque enduite est proportionnelle au volume de résine utilisé. Justifier.
2. Calculer le coefficient de proportionnalité entre les deux grandeurs.
3. Calculer le volume de résine qu'il faudrait pour enduire une coque de 130 m².

Correction

1. La surface de coque enduite est proportionnelle au volume de résine car la représentation graphique liant les deux grandeurs est une droite passant par l'origine.



2. On détermine graphiquement le coefficient de proportionnalité :



On note S la surface enduite et V le volume de résine.

L'équation mathématique de la droite est $y = a.x$, l'équation physique est $S = a.V$.

On choisit un point sur la droite $M(18 \text{ L} ; 6,0 \text{ m}^2)$;

Le coefficient de proportionnalité, qui correspond au coefficient directeur de la droite, vaut $a = \frac{S_M}{V_M}$ soit $a = \frac{18 \text{ m}^2}{6,0 \text{ L}} = 0,33 \text{ (en m}^2/\text{L)}$.

3. Afin d'obtenir le volume de résine nécessaire pour enduire une coque de 130 m^2 , on divise la surface par le coefficient de proportionnalité : $V = \frac{S}{a}$.

$$\text{Soit } V = \frac{130 \text{ m}^2}{0,33 \text{ m}^2/\text{L}} = 390 \text{ L} = 3,9 \cdot 10^2 \text{ L}.$$

Il faut donc $3,9 \cdot 10^2 \text{ L}$ de résine pour étancher une coque de 130 m^2 .

Exercice d'entraînement (inspiré du DNB Asie 2018)

Lors de la navigation en hiver, certaines voies navigables sont obstruées par la glace. En effet, l'eau à l'état solide occupe un plus grand volume que l'eau à l'état liquide.

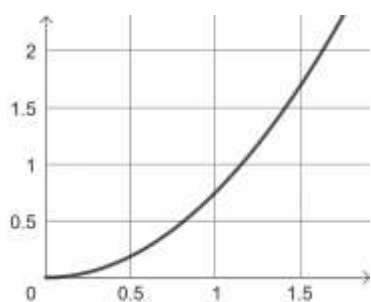
Lorsque l'eau se solidifie, à masse constante, le volume de glace obtenu est proportionnel au volume d'eau utilisé.

En faisant solidifier $1,50 \text{ L}$ d'eau, on obtient $1,62 \text{ L}$ de glace.

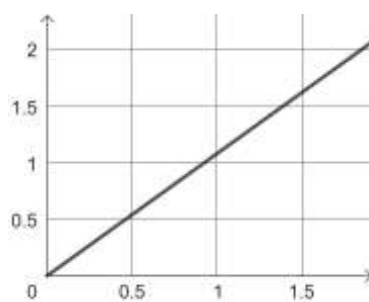
- Montrer qu'en solidifiant $1,00 \text{ L}$ d'eau, on obtient $1,08 \text{ L}$ de glace.
- Préciser ce que vous venez de calculer dans la question 1.
- Recopier et compléter le tableau ci-dessous :

Volume d'eau liquide initial (en L)	0,50	1,00	1,50			
Volume de glace obtenu (en L)				2,00	3,00	4,00

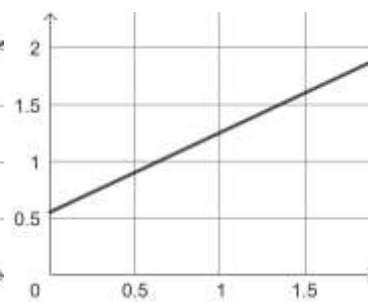
4. Choisir la représentation graphique qui illustre l'évolution du volume de glace obtenu (en litres) en fonction du volume d'eau liquide initial (en litres). Justifier.



Graphique n°1



Graphique n°2



Graphique n°3

5. Retrouver graphiquement la valeur du coefficient de proportionnalité.

Annexe 3 : remédiation - l'angle, un outil pour se repérer

Quand les Vikings naviguaient à bord de drakkar, ils se seraient repérés grâce à des « pierres de Soleil », cristaux utilisés par temps couvert ou des compas solaires.

Les techniques de repérage en mer ont évolué au cours des siècles. À partir de la Renaissance, en Europe, les navigateurs portugais utilisèrent la navigation astronomique. C'est une technique qui consiste à déterminer sa position à l'aide de l'observation des astres, des constellations et la mesure de leur hauteur (c'est-à-dire l'angle entre la direction de l'astre et l'horizon).

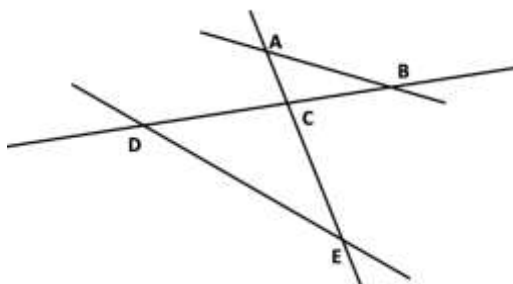
Consigne

- Traiter les exercices résolus en veillant à rédiger correctement vos réponses.
- S'aider de la carte mentale et de la correction pour réaliser le travail demandé ou le vérifier.
- Faire les exercices d'entraînement.
- Pour les plus rapides, réaliser le quiz Maths de lumni.fr sur « La trigonométrie ».

Exercices résolus

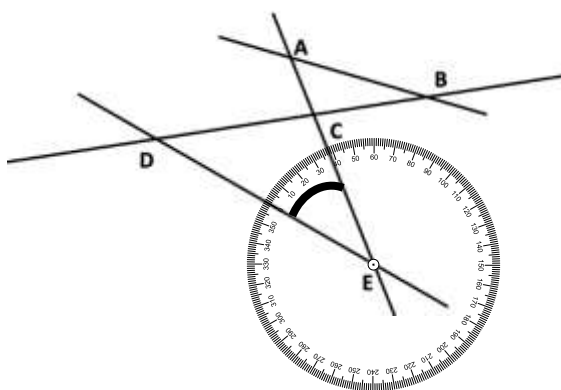
Exercice 1 - Mesure d'un angle

Donner la mesure en degré des angles suivants : $\widehat{CED}$, $\widehat{CDE}$, $\widehat{CAB}$.



Correction

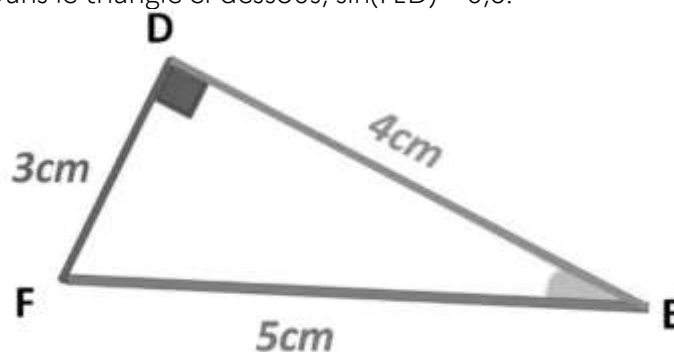
- On repère l'angle sur la figure, voir $\widehat{CED}$ ci-dessous.
- On place le centre du rapporteur au sommet E de l'angle, le 0° sur un des côtés de l'angle : ici, sur la droite (DE).
- On relève la mesure de l'angle grâce à l'autre côté de l'angle : ici, grâce à la droite (CE). $\widehat{CED} = 37^\circ$. De même, on trouve $\widehat{CDE} = 40^\circ$ et $\widehat{CAB} = 51^\circ$.



Exercice 2 - Angle et sinus

Indiquer si les affirmations suivantes sont vraies ou fausses en justifiant.

- On peut avoir $\sin(\hat{I}) = 1,3$.*
- Un sinus d'angle se mesure en degré.
- $\sin(45^\circ) \approx 0,85$.
- Si $\sin(\hat{I}) = 0,20$, alors $\hat{I} = 12^\circ$ (arrondi au degré).
- Dans le triangle ci-dessous, $\sin(\widehat{FED}) = 0,6$.



* Coup de pouce : se rappeler la définition du sinus d'un angle pour identifier les valeurs minimale et maximale du sinus.

Correction

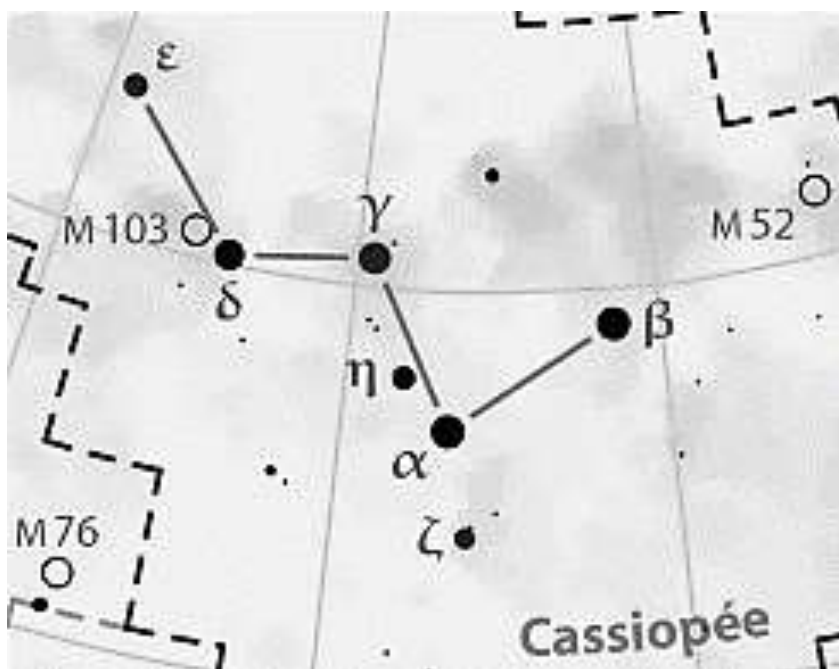
- Fausse : le sinus d'un angle est compris entre 0 et 1 (d'après la définition vue au collège).
- Fausse : un sinus d'angle est sans unité, c'est l'angle qui peut être mesuré en degré.
- Fausse : $\sin(45^\circ) \approx 0,71$ et $\sin(45 \text{ rad}) \approx 0,85$.
- Vraie : $\arcsin(0,20) \approx 12$.
- Vraie : $\sin(\widehat{FED}) = \frac{FD}{FE}$ soit $\sin(\widehat{FED}) = \frac{3 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 0,6$.

Exercices d'entraînement

Exercice 1 - Repérer Cassiopée pour s'orienter en mer

Cassiopée est une constellation, visible dans l'hémisphère nord, durant toute l'année et très facilement reconnaissable grâce à sa forme en W. Elle est donc utile pour un repérage en mer.

Mesurer les trois angles présents dans la constellation.

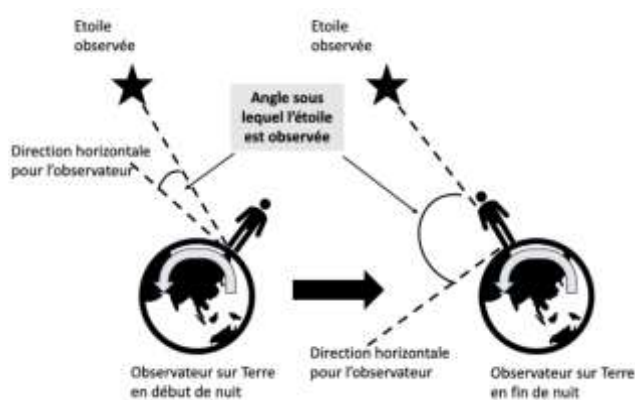


Exercice 2 - Le mouvement des étoiles dans le ciel

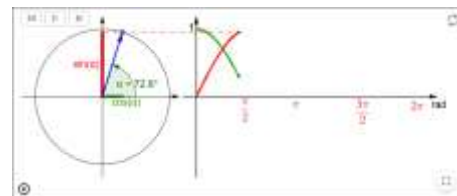
Au cours de la nuit, une étoile se déplace dans le ciel. L'angle $\hat{\alpha}$ entre la direction de l'étoile et l'horizon varie.

Observation d'une étoile au cours de la nuit

Coup de pouce



Pour tout angle, qu'il soit dans un triangle ou non, il est possible de définir son sinus.



Voir l'animation [ici](#).



1. En début de nuit $\sin(\hat{\alpha}) = 0,64$, calculer $\hat{\alpha}$.
2. Sachant que $\hat{\alpha}$ augmente jusqu'à 90° pendant la nuit, indiquer comment va évoluer $\sin(\hat{\alpha})$.
3. En fin de nuit, $\hat{\alpha} = 90^\circ$, calculer $\sin(\hat{\alpha})$.

Retrouver la correction des exercices ici (lien hypertexte vers la correction/QR code renvoyant vers la correction).

Quizz

<https://www.lumni.fr/quiz/la-trigonometrie>

Par curiosité, ne pas hésiter à regarder le conte mathématique sur les angles.

<http://www.lumni.fr/video/petits-contes-mathematiques-les-angles>

Annexe 4 : consolidation - angles et proportionnalité - la navigation maritime et les angles

Contexte

A l'approche des côtes, des marins veulent déterminer la hauteur des falaises et la distance à vol d'oiseau entre leur position et le haut des falaises.

À l'aide d'un inclinomètre et d'une carte, un homme d'équipage mesure l'angle d'élévation sous lequel il voit la falaise puis la distance entre le bateau et la falaise, sur une carte.

Données

- Un **inclinomètre** (ou **clinomètre**) est un appareil servant à mesurer des angles par rapport à l'horizontale. Le niveau permet de détecter précisément où se situe l'horizontale, puis l'angle d'inclinaison par rapport à cette ligne horizontale.
- Angle d'élévation sous lequel on voit la falaise $\hat{i} = 9^\circ$.
- Distance bateau-falaise sur la carte = 5,0 cm.
- Échelle de la carte : 1 : 10 000.

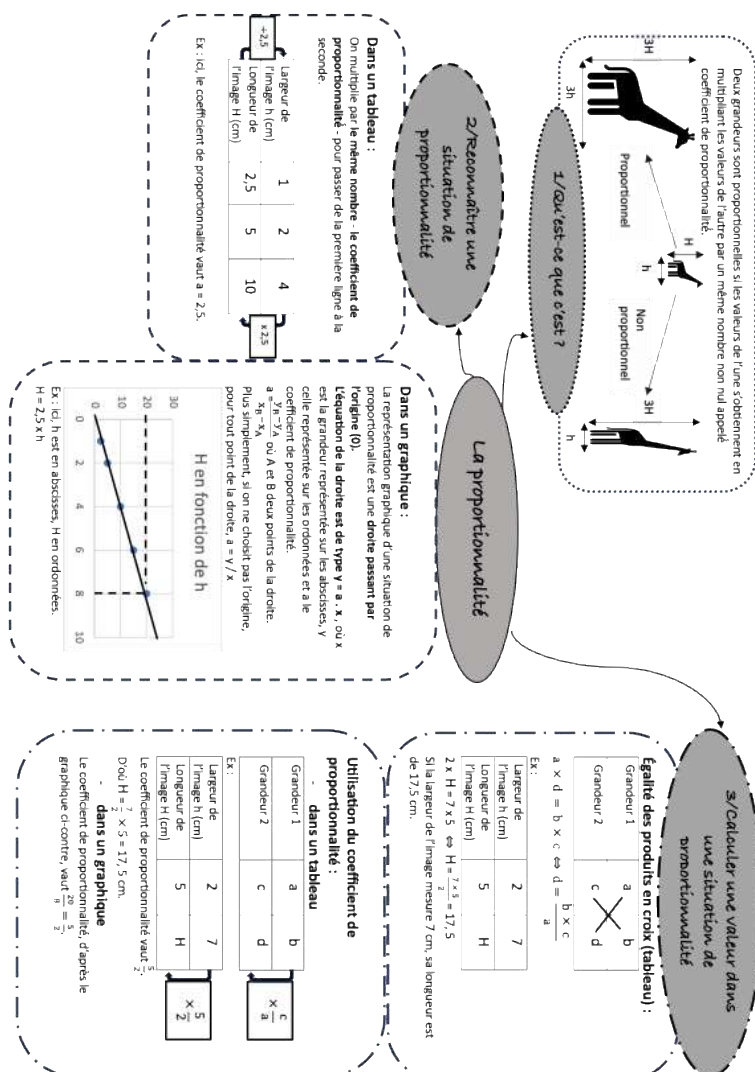
Consigne

Déterminer la hauteur des falaises et la distance à vol d'oiseau entre la position du bateau et le haut des falaises. Expliquer votre raisonnement.

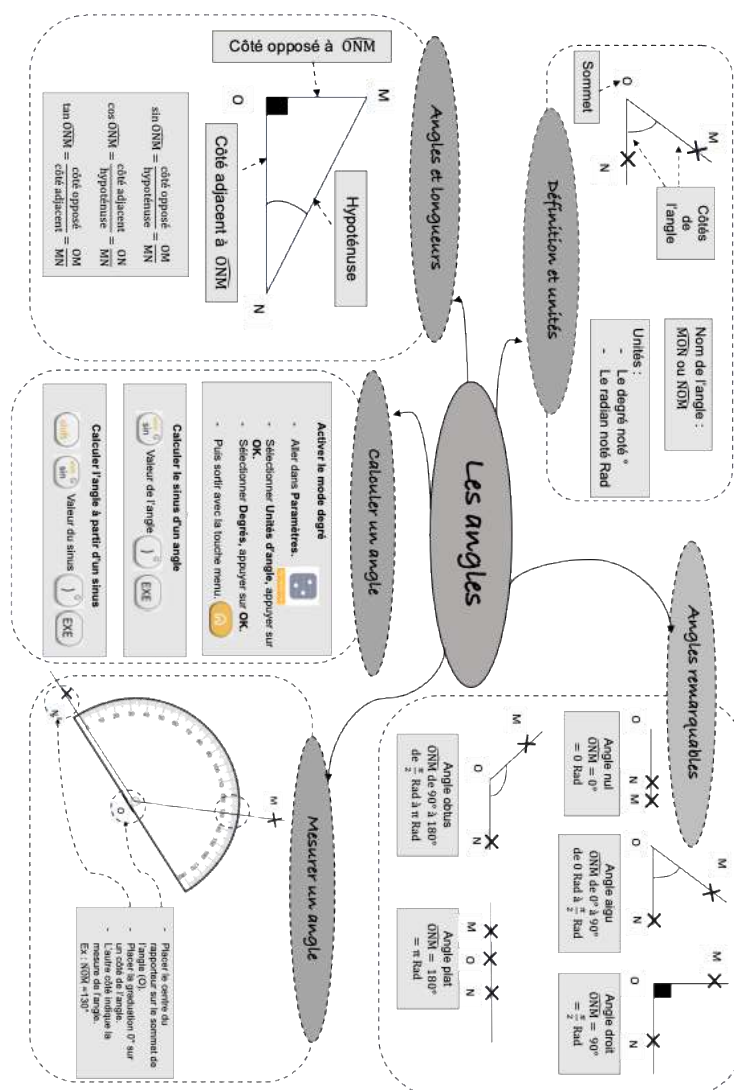
Par curiosité, ne pas hésiter à regarder comment, dans l'antiquité, Ératosthène détermina le rayon et la circonférence de la Terre à partir d'une mesure d'angle et une situation de proportionnalité :

<https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Terre-ronde-Eratosthene.xml>

Annexe 5 : carte mentale sur la proportionnalité



Annexe 6 : carte mentale sur les angles



Annexe 7 : activité expérimentale 1 - Quand la lumière change de direction de propagation

Si un rayon lumineux passe d'un milieu transparent à un autre comme de l'air à l'eau ou de l'eau à l'air, on observe des phénomènes surprenants. L'objectif de cette activité est de comprendre et de s'appropriier ces phénomènes et les lois physiques qui les modélisent.

Travail préliminaire : identifier et comprendre des phénomènes physiques

Document n°1 – Définitions

Dioptr : surface séparant deux milieux transparents de nature différente.

Réfraction : phénomène par lequel un rayon lumineux franchissant un dioptr est dévié de sa trajectoire initiale.

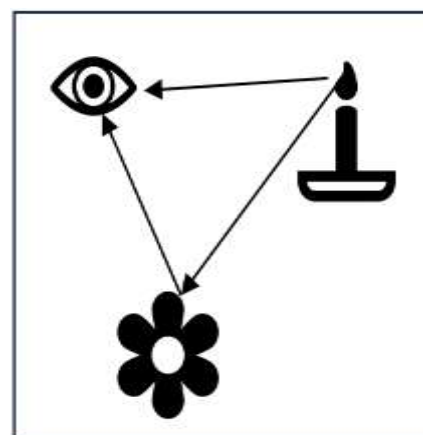
Réflexion : phénomène par lequel un rayon lumineux atteignant un dioptr est renvoyé dans le premier milieu.

Document n°2 – Quelques rappels d'optique

Condition de visibilité d'un objet : on voit un objet quand de la lumière issue de cet objet atteint l'œil.

Source primaire de lumière et objet diffusant : une source primaire est un objet qui produit la lumière qu'il émet, un objet diffusant renvoie la lumière dans toutes les directions.

Propagation de la lumière dans un milieu homogène et transparent, on peut modéliser le trajet de la lumière par le rayon lumineux : une droite fléchée indiquant le sens de propagation.



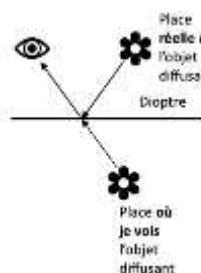
Document n°3 – Photographies et modèles



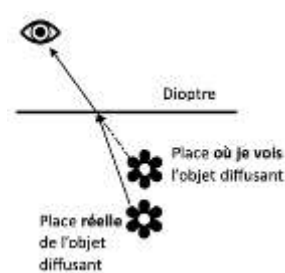
Photo 1.



Photo 2



Modèle 1



Modèle 2

1. A partir des trois documents, préciser quelle image correspond à une **réflexion** et celle qui illustre une **réfraction**. Puis associer à chaque image le modèle qui permet de la comprendre.

Travail expérimental

Document n°4 – Dispositif expérimental

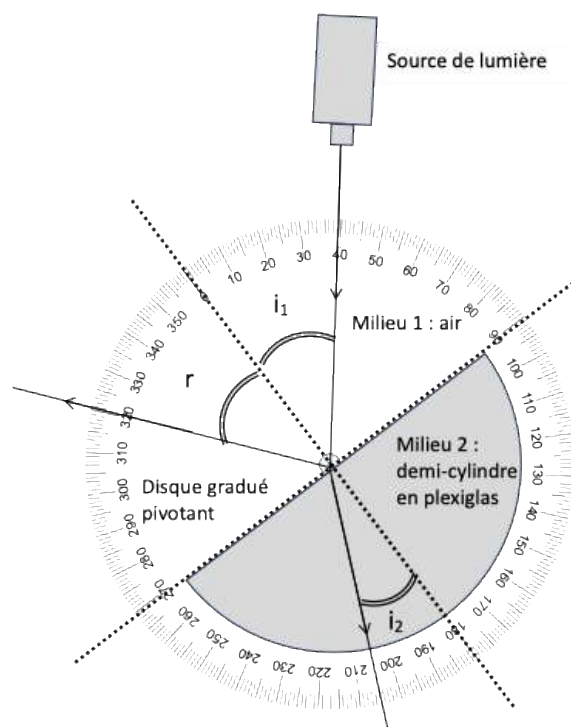
Le dispositif expérimental ci-contre permet d'étudier les phénomènes de réflexion et de réfraction. En effet, on peut **y visualiser les rayons lumineux**.

Un demi-cylindre de plexiglas est posé sur un disque gradué pouvant tourner. Un **rayon lumineux arrive au centre de la surface**.

Une partie du rayon incident est réfléchi dans l'air à la surface du plexiglas.

Une partie du rayon incident passe de l'air dans le plexiglas. Il subit alors une réfraction.

Les graduations du disque permettent de mesurer les angles que forment les rayons par rapport à la normale (=perpendiculaire) au dioptre.



2. Compléter le document n°4 en indiquant la position du **dioptre**, de la **normale au dioptre**, en plaçant les légendes **rayon incident**, **rayon réfracté**, **rayon réfléchi**.

3. Après prise en main du matériel, préciser, de manière qualitative, comment évoluent les angles de réflexion et de réfraction quand l'angle d'incidence augmente.

4. Utiliser le dispositif expérimental pour mesurer, pour plusieurs angles incidents i_1 , compris entre 0° et 80° , l'angle de réflexion r et l'angle de réfraction i_2 . Présenter ses résultats sous forme de tableau.

Analyse des résultats expérimentaux et modélisations

On cherche à identifier les relations mathématiques entre l'angle de réflexion et l'angle incident d'une part et entre l'angle de réfraction et l'angle incident d'autre part.

5. Proposer une stratégie permettant d'identifier ces relations mathématiques. *

6. Analyser vos résultats. Indiquer, dans les deux cas, s'il existe une relation de proportionnalité entre les angles. Justifier.

* Coup de pouce : tracer, à l'aide du fichier .ods fourni, $r=f(i_1)$ et $i_2=f(i_1)$.

Confrontation des résultats expérimentaux à des modèles

Document n°5 – Lois de Snell-Descartes

Le mathématicien et physicien arabe Ibn Sahl fut le premier à mentionner la loi de la réfraction. En Europe, le physicien hollandais W. Snell (en 1621) puis le français René Descartes (en 1637) publièrent leurs travaux sur les lois explicitant les phénomènes de réflexion et de réfraction. Elles s'énoncent ainsi.

Pour la réflexion : $i_1 = r$

Pour la réfraction : $n_1 \times \sin(i_1) = n_2 \times \sin(i_2)$

Document n°6 – L'indice de réfraction

Chaque milieu transparent est caractérisé par **son indice de réfraction**. Il se note n_i (c'est un nombre sans unité).

Exemples : $n_{\text{air}}=1,00$; $n_{\text{plexiglas}}=1,51$

Remarque pour les curieux : cet indice est lié à la vitesse de la lumière dans le milieu.

1. Indiquer si les résultats obtenus sont en accord avec la loi de la réflexion énoncée par Snell-Descartes.
2. La loi de Snell-Descartes pour la réfraction indique que deux grandeurs sont proportionnelles. Lesquelles parmi $i_1, \sin i_1, i_2, \sin i_2$? Identifier à quoi correspond le coefficient de proportionnalité, d'après la loi.
3. Tracer, à l'aide du fichier ods fourni, $\sin(i_2)=f(\sin(i_1))$ après avoir vérifié, pour une valeur, que le fichier calcule correctement les sinus des angles.
4. Indiquer si ces résultats sont en accord avec la loi de la réfraction énoncée par Snell-Descartes.
5. Déterminer la valeur de l'indice de réfraction du plexiglas à partir de vos mesures et comparer cette valeur à la valeur fournie dans le document 6. Donnée : $n_1 = n_{\text{air}} = 1,00$.
6. Pour les plus rapides : préciser les causes possibles expliquant la différence entre la valeur théorique de l'indice du plexiglas et celle trouvée expérimentalement.
7. Toujours pour les plus rapides : justifier l'absence de déviation du rayon lumineux au passage du deuxième dioptre (du plexiglas vers l'air) dans l'expérience.

Annexes : Éléments de correction

Annexe 8 : correction de l'évaluation diagnostique

1. Pour construire la coque, on fixe les planches grâce à des vis à bois et des boulons. Calculer le coût de 3420 vis achetées en vrac.

Donnée : en vrac, 50 vis coûtent 94 €.

On détermine le prix d'une vis (calcul du coefficient de proportionnalité) : $\frac{94}{50} = 1,88 \text{ €/vis}$.

Puis on calcule le prix de 3420 vis en multipliant par le nombre de vis :
 $3420 \times 1,88 = 6429,6 \text{ €}$.

2. Il est souvent plus intéressant d'acheter les objets en lots. Montrer que le prix des lots de vis n'est pas proportionnel au nombre de vis.

Nombre de vis N	50	100	200	300	400
Prix du lot de vis P en €	94	180	345	490	620
P/N	1,88 €	1,80 €	1,73 €	1,83 €	1,55 €

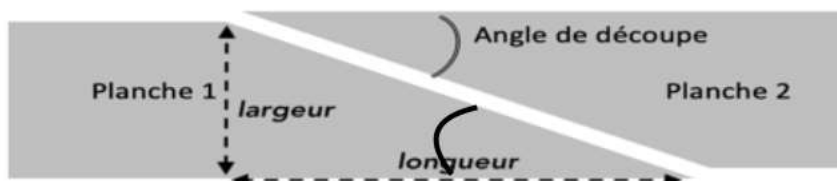
Quand on divise le prix par le nombre de vis, on ne trouve pas la même valeur dans les différentes colonnes. Le prix et le nombre de vis ne sont donc pas proportionnels.

3. La représentation graphique ci-dessous modélise la masse du lot de vis en fonction du nombre de vis. Déterminer la masse de 3420 vis.

On détermine, grâce au graphique, la masse d'une vis (calcul du coefficient de proportionnalité) : $15 \text{ kg} / 250 \text{ vis} = 0,06 \text{ kg/vis}$.

Puis on calcule la masse de 3420 vis en multipliant le résultat précédent par le nombre de vis : $3420 \text{ vis} \times 0,06 \text{ kg/vis} = 205,2 \text{ kg}$.

Pour assembler les planches entre elles, on réalise un scarf : on jointe les planches en découpant leur extrémité suivant des angles bien précis.



- Indiquer où l'on retrouve l'angle de découpe sur la planche 1.

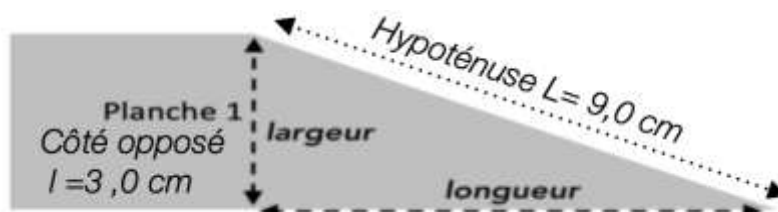
Voir schéma. Les angles sont alternes-internes.

- Mesurer l'angle de découpe des deux planches dans le schéma ci-dessus, à l'aide d'un rapporteur.

L'angle mesure 19° .

Pour vérifier que l'angle de découpe a été bien réalisé, on peut utiliser le sinus de l'angle. Retrouver la valeur de l'angle représenté dans le schéma ci-dessus, à partir de mesures réalisées à l'aide de votre règle et du sinus de l'angle.

Rappel : sinus d'un angle = rapport entre la longueur du côté opposé à cet angle et la longueur de l'hypoténuse.



On mesure la largeur de la planche 1, qui correspond au côté opposé de l'angle, $l = 3,0$ cm et l'hypoténuse $L = 9,0$ cm dans le triangle rectangle formé par la zone de découpe.

Puis on calcule le sinus de l'angle : $\sin(\text{angle de découpe}) = \frac{\text{longueur du côté opposé}}{\text{longueur de l'hypoténuse}}$

Soit $\sin(\text{angle de découpe}) = \frac{3,0 \text{ cm}}{9,0 \text{ cm}}$.

On détermine l'angle correspondant en utilisant la fonction arcsin sur la calculatrice :

angle de découpe = $\arcsin\left(\frac{3,0}{9,0}\right) = 19^\circ$.

Annexe 9 : correction de la remédiation - la proportionnalité, un outil du quotidien direction de propagation

Exercice d'entraînement

1. On utilise le tableau de proportionnalité suivant :

Volume d'eau liquide initial (en L)	1,50	1,00
Volume de glace obtenu (en L)	1,62	a

Donc $a = \frac{1,00 \text{ L} \times 1,62 \text{ L}}{1,50 \text{ L}} = 1,08 \text{ L}$ de glace.

2. On vient de calculer le coefficient de proportionnalité entre le volume d'eau liquide initial et le volume de glace obtenu.

3.

Volume d'eau liquide initial (en L)	0,5	1,00	1,50	1,85	2,78	3,70
-------------------------------------	-----	------	------	------	------	------

Volume de glace obtenu (en L)	0,54	1,08	1,62	2,00	3,00	4,00
-------------------------------	------	------	------	------	------	------

4. La représentation graphique qui illustre l'évolution du volume de glace obtenu en fonction du volume d'eau liquide initial est le graphique 2. Il y a proportionnalité entre les deux grandeurs. La courbe est donc une droite passant par l'origine du repère.

5. Pour déterminer le coefficient de proportionnalité, on choisit un point de la droite, distinct de l'origine, par exemple M(1,0L ; 1,1L) et on calcule le rapport de l'ordonnée sur l'abscisse ($a = y/x$).

On trouve $a = \frac{1,1L}{1,0L} = 1,1$. Ce résultat est proche du précédent, quoique moins précis.

Annexe 10 : correction de la remédiation - l'angle, un outil pour se repérer

Exercices d'entraînement

Exercice 1 - Repérer Cassiopée pour s'orienter en mer

$$\widehat{\varepsilon\delta\gamma} = 119^\circ$$

$$\widehat{\delta\gamma\alpha} = 113^\circ$$

$$\widehat{\gamma\alpha\beta} = 79^\circ$$

Exercice 2 - Le mouvement des étoiles dans le ciel

$$1. \hat{\alpha} = \arcsin(0,64) = 40^\circ.$$

2. Si $\hat{\alpha}$ augmente, $\sin(\hat{\alpha})$ augmente aussi.

$$3. \sin(90^\circ) = 1.$$

Annexe 11 : correction de la consolidation angles et proportionnalité - la navigation maritime et les angles

Schéma de la situation :



Calcul de la distance réelle entre le bateau et la falaise

On calcule AC grâce à l'échelle de la carte.

Données utiles :

- Distance bateau-falaise sur la carte = 5,0 cm
- Échelle de la carte : 1 : 10 000

Distance réelle (en cm)	1	5,0
Distance sur la carte (en cm)	10 000	AC

$$AC = 5,0 \times 10\,000 = 50\,000 \text{ cm} = 0,50 \text{ km.}$$

La distance entre le bateau et la falaise est de 0,50 km.

Calcul de la hauteur des falaises

On calcule BC grâce à la tangente de l'angle d'élévation.

Données utiles :

$$AC = 0,50 \text{ km}$$

Angle d'élévation sous lequel on voit la falaise $\hat{i} = 9^\circ$.

$$\tan(\hat{i}) = \frac{BC}{AC} \Leftrightarrow BC = \tan(\hat{i}) \times AC$$

$$BC = \tan(9^\circ) \times 0,50 \text{ km} = 0,079 \text{ km} = 79 \text{ m.}$$

La hauteur de la falaise est de 79 m.

Calcul de la distance entre le bateau et le haut de la falaise

On calcule AB grâce au sinus de l'angle d'élévation.

Données utiles :

$$BC = 79 \text{ m}$$

$$\hat{i} = 9^\circ$$

$$\sin(\hat{i}) = \frac{BC}{AB} \Leftrightarrow AB = \frac{BC}{\sin(\hat{i})}$$

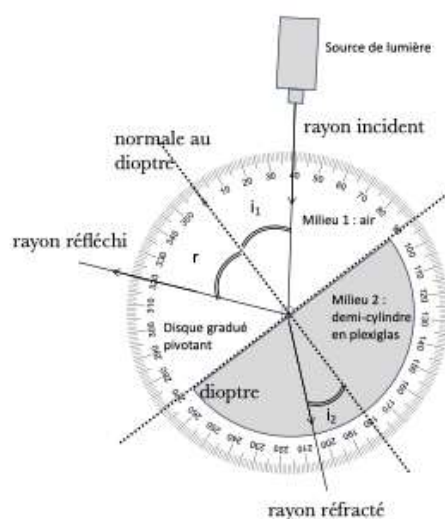
$$AB = \frac{79 \text{ m}}{\sin(9^\circ)} = 5,1 \cdot 10^2 \text{ m}$$

La distance entre le bateau et le haut de la falaise est de $5,1 \cdot 10^2 \text{ m}$.

Annexe 12 : correction de l'activité expérimentale 1 - quand la lumière change de direction de propagation

1. La photo 1 illustre une réflexion, le modèle correspondant est le 1. La photo 2 illustre une réfraction, le modèle correspondant est le 2.

2. Schéma complété :



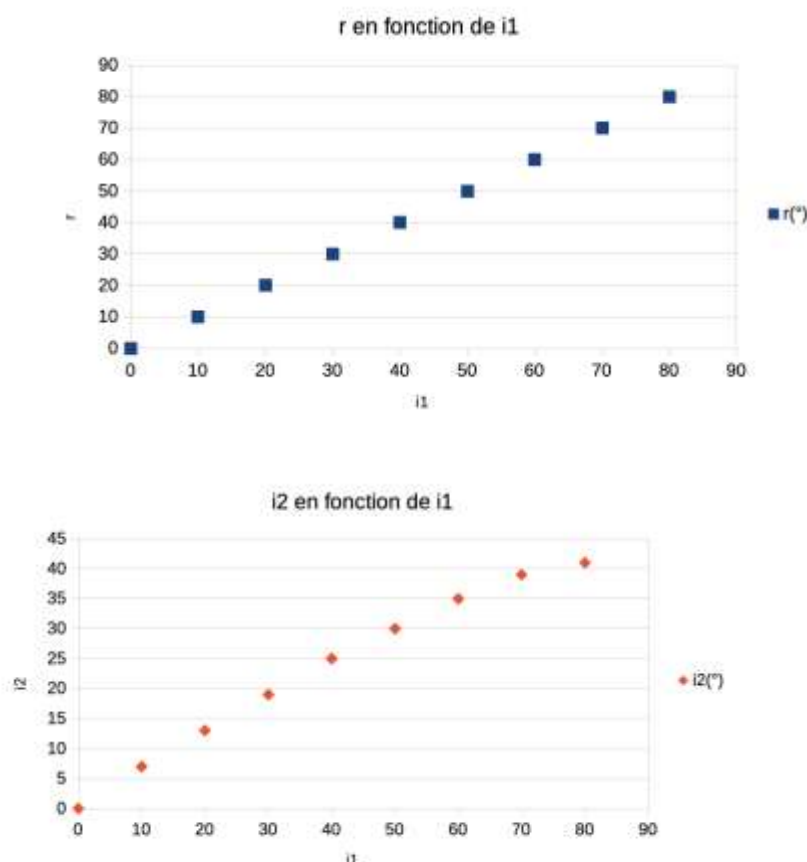
3. Quand l'angle d'incidence augmente, les angles de réflexion et de réfraction augmentent.

4. Mesures des angles :

i_1 (°)	R (°)	i_2 (°)
0	0	0
10	10	7
20	20	13
30	30	19
40	40	25
50	50	30
60	60	35
70	70	39
80	80	41

5. Comme les angles de réflexion et de réfraction augmentent avec l'angle d'incidence, on va essayer de vérifier s'ils sont proportionnels à l'angle d'incidence en traçant $r=f(i_1)$ et $i_2=f(i_1)$.

6.



L'angle de réflexion est proportionnel à l'angle d'incidence car, en traçant $r=f(i_1)$, on obtient une droite passant par l'origine.

L'angle de réfraction n'est pas proportionnel à l'angle d'incidence car, en traçant $i_2 = f(i_1)$, on n'obtient pas une droite passant par l'origine.

7. Oui, la loi pour la réflexion indique $i_1 = r$. On obtient effectivement, dans l'expérience, des angles égaux.

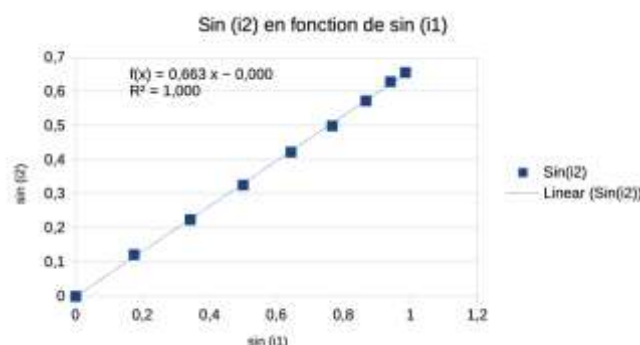
8. La loi pour la réfraction indique $n_1 \times \sin(i_1) = n_2 \times \sin(i_2)$ avec n_1 et n_2 des valeurs constantes, soit $\sin(i_2) = (n_1/n_2) \times \sin(i_1)$.

$\sin(i_1)$ et $\sin(i_2)$ sont proportionnels, d'après cette loi.

9.

i_1 (°)	i_2 (°)	$\sin(i_1)$	$\sin(i_2)$
0	0	0	0
10	7	0,173648178	0,121869343
20	13	0,342020143	0,224951054
30	19	0,5	0,325568154
40	25	0,64278761	0,422618262
50	30	0,766044443	0,5
60	35	0,866025404	0,573576436
70	39	0,939692621	0,629320391

80	41	0,984807753	0,656059029
----	----	-------------	-------------



10. Oui, les résultats sont en accord avec la loi de la réfraction : les sinus des angles d'incidence et de réfraction sont proportionnels car on obtient une droite passant par l'origine quand on trace $\sin(i_2) = f(\sin(i_1))$.

11. Dans la loi sur la réfraction, $n_2 = n_{\text{plexiglas}}$.

D'après le graphique, on trouve la relation mathématique entre les sinus :
 $\sin(i_2) = 0,663 \times \sin(i_1)$.

D'après la loi de la réfraction : $\sin(i_2) = \frac{n_1}{n_2} \times \sin(i_1)$

D'où, par identification, $\frac{n_1}{n_2} = 0,663$ donc l'indice de réfraction du plexiglas vaut
 $n_2 = \frac{1,00}{0,663}$ soit $n_2 = 1,51$.

12. La différence peut s'expliquer par la variabilité de la mesure des angles. En effet, lors d'une mesure d'un angle, dans l'expérience, on peut hésiter sur une valeur à $\pm 1^\circ$.

13. Le rayon, lors du passage plexiglas-air, n'est pas dévié car le rayon suit le rayon du cylindre. Il arrive donc perpendiculaire au dioptre et n'est pas dévié (si $i_1 = 0^\circ$, $i_2 = 0^\circ$).