Corrigés des exercices

Tableau des capacités exigibles par exercice

Capacité exigible	5 minutes chrono et QCM	Exercices résolus	Exercices rapides	Appliquer	S'entraîner	Objectif Première
Citer la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.				17, 25	43, 44 51	55
Caractériser le spectre du rayonnement émis par un corps chaud.	5		32	34, 36		
Caractériser un rayonnement monochromatique par sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.	10					
Exploiter un spectre de raies.	8, 9, 38, 39			35	47	57
Exploiter les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction.	3, 12, 13, 37	40	14, 31	19, 20, 21, 23, 26, 28, 41	42, 46, 50, 53, 54	
Tester les lois de Snell-Descartes à partir d'une série de mesures et déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.				18, 22, 29	48, 49	
Décrire et exploiter qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme		40	30	27	45	56
Produire et exploiter des spectres d'émission obtenus à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre.						57
√MESURE ET INCERTITUDES Exploiter une série de mesures, discuter de l'influence du protocole et/ou évaluer une incertitude-type pour comparer des résultats.				29, 41	49	

Exercices 1 à 11

Corrigés dans le manuel.

12 Calculer un indice de réfraction APPLICATION

Ici, la vitesse de propagation de la lumière dans l'air et dans le vide est donnée, mais ce n'est pas une obligation, car c'est une capacité exigible.

De la même relation : $n_{eau} = \frac{c}{v}$ et on déduit : $v = \frac{c}{n_{eau}}$.

A.N. : $v = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{1{,}33} = 2{,}26 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

13 Calculer un angle de réfraction APPLICATION

Utilisons la deuxième loi de Snell-Descartes :

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

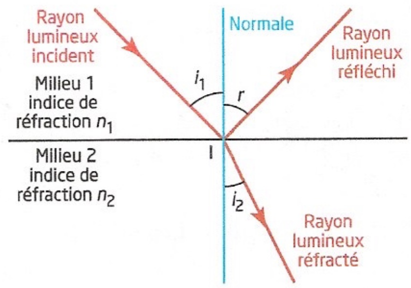
A.N. : $\sin i_2 = \frac{1{,}0 \times \sin 45°}{1{,}3} = 0{,}54$.

$i_2 = \sin^{-1} 0{,}54 = 33°$.

14 ORAL *Pour présenter oralement les lois de Snell-Descartes, il faut préparer le schéma suivant :*

– sur ordinateur à projeter au vidéoprojecteur ;

– à la craie au tableau si la salle n'est pas équipée.



Il faut ensuite citer la première loi : le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont dans le plan d'incidence, plan défini par la normale à la surface de séparation des deux milieux et le rayon incident (ici le plan du tableau ou de l'écran).

Citer ensuite la deuxième loi :

– pour la réflexion : $i_1 = r$;

– pour la réfraction : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

15 D'après la définition de l'indice, $n_d = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n_d}$.

A.N. : $v = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{2{,}4} = 1{,}3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Insister auprès des élèves sur l'importance des chiffres significatifs : l'indice de réfraction du diamant n'en possède que deux donc il y a deux chiffres dans le résultat.

16 Nous avons vu que la lumière se propage en ligne droite dans les milieux transparents homogènes. Si la lumière ne se propage pas en ligne droite, c'est que le milieu n'est pas homogène.

Le milieu n'est pas homogène car la densité de l'air n'est pas la même partout. Elle diminue en général avec l'altitude, mais quand le sol est surchauffé, il y a une inversion : la densité de l'air est plus faible au niveau du sol que juste au-dessus. On observe alors un mirage. C'est ce qu'illustre la photo du manuel.

17 Comparer des valeurs de vitesse

Corrigé dans le manuel.

18 Mesurer des angles

Attention, rappeler aux élèves qu'ils doivent mesurer les angles par rapport à la normale.

a. Par mesure directe sur le schéma, on trouve $i_1 = 45°$ et $i_2 = 30°$.

b. Appliquons la deuxième loi de Snell-Descartes relative à la réfraction :

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

A.N. : $n_2 = \frac{1{,}0 \times \sin 45°}{\sin 30} = 1{,}4$.

c. D'après la loi de Snell-Descartes relative à la réflexion : $r = 45°$.

19 Déterminer un angle d'incidence

a. L'air est le milieu 1 d'indice $n_1 = 1{,}00$ et l'eau le milieu 2 d'indice $n_2 = 1{,}33$. Appliquons la deuxième loi de Snell-Descartes :
$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

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

A.N. : $\sin i_1 = \frac{1{,}33 \times \sin 30°}{1{,}00} = 0{,}67$.

$i_1 = \arcsin 0{,}67 = 42°$. L'angle d'incidence vaut 42°.

b. D'après la loi de Snell-Descartes relative à la réflexion : $i_1 = r$.
L'angle de réflexion est donc égal à 42°.

20 Étudier les cas particuliers

Si la lumière traverse la surface de séparation sans être déviée, l'angle d'incidence est égal à l'angle de réfraction : $n_1 \sin i = n_2 \sin i$.
n_1 étant différent de n_2, cela n'est possible que si $\sin i = 0 \Rightarrow i = 0$.
La lumière arrive perpendiculairement à la surface de séparation.
Les trois angles sont nuls.

21 Calculer un indice et une vitesse

a. Appliquons la deuxième loi de Snell-Descartes : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.
Le milieu 1 est l'air : $n_1 = 1{,}00$.

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

A.N. : $n_2 = \frac{1{,}00 \times \sin 60{,}0°}{\sin 30{,}0°} = 1{,}73$.

b. Par définition : $n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n}$.

A.N. : $v = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1{,}73} = 1{,}73 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

22 Apprendre à rédiger

Pour calculer le coefficient directeur de la droite, il faut prendre un point sur la droite, pas forcément un point de mesure, placé suffisamment loin du point O pour avoir une plus grande précision. Le point de coordonnées (0,60 ; 0,80) convient.

En traçant la droite de telle sorte qu'elle laisse autant de points en dessous qu'au-dessus, on fait la moyenne des différentes mesures du rapport des indices de réfraction. Prendre un point sur la droite est donc plus précis que prendre un point de mesure quelconque.

Le coefficient directeur a de la droite vaut : $a = \frac{\sin i_1}{\sin i_2}$.

A.N. : $a = \frac{0{,}80}{0{,}60} = 1{,}3$.

D'après la deuxième loi de Snell-Descartes :

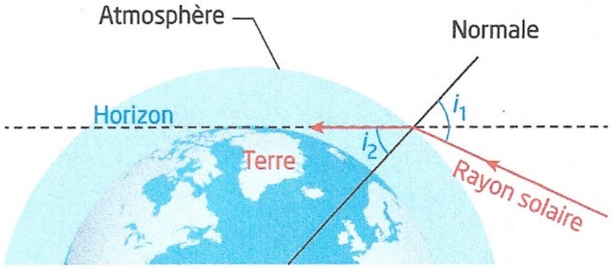
$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \Rightarrow \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$.

A.N. : $\frac{n_2}{n_1} = 1{,}3$.

Comme n_1 est l'indice de l'air ($n_1 = 1{,}00$), on en déduit $n_2 = 1{,}3$.
Le liquide a un indice de réfraction $n_2 = 1{,}3$.

23 Observer le coucher du Soleil

À l'endroit où on observe le coucher du Soleil, les rayons arrivent horizontalement en rasant l'horizon. Mais ils subissent une réfraction lorsqu'ils pénètrent dans l'atmosphère. Comme l'indice de l'air est légèrement supérieur à celui du vide, l'angle d'incidence est un peu plus grand que l'angle de réfraction.



Le Soleil est donc sous l'horizon quand on le voit se coucher.

24 Indiquer le bon schéma

• Schéma **a.** : **Faux** car l'angle de réflexion n'est pas égal à l'angle d'incidence

• Schéma **b.** : **Juste** car le rayon lumineux s'écarte de la normale quand il passe du verre dans l'air dont l'indice de réfraction est plus petit.

• Schéma **c.** : **Faux** car l'angle de réfraction est plus grand que l'angle d'incidence alors que l'indice du verre est supérieur à celui de l'air.

• Schéma **d.** : **Faux** car le rayon lumineux traverse la surface de séparation sans être dévié.

25 In english please

a. Soit v la vitesse de la sonde.

Calculons le rapport $\frac{c}{v}$: $\frac{c}{v} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{1{,}5 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}} = 2{,}0 \times 10^4$.

La vitesse de propagation de la lumière est bien $2{,}0 \times 10^4$ plus grande que la vitesse de la sonde.

b. Pour une distance fixée, la durée du trajet est inversement proportionnelle à la vitesse. Si la lumière met 4 années pour venir jusqu'à nous, il faudra $4 \times 2{,}0 \times 10^4 = 8 \times 10^4$ années à la sonde pour atteindre l'étoile. L'ordre de grandeur (10^5 ans) montre qu'avec nos sondes actuelles, il est impossible d'envisager un voyage vers une étoile, même la plus proche du Soleil.

26 Plonger ou émerger ?

Appelons « milieu 1 » le milieu initial et « milieu 2 » le milieu où se trouve la lumière après la traversée de la surface réfléchissante. La seconde loi de Snell-Descartes relative à la réfraction nous permet d'écrire : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

Entre 0° et 90°, la fonction sinus est une fonction croissante. Si l'angle d'incidence i_1 est inférieur à i_2, on en déduit $\sin i_1 < \sin i_2$ donc $n_1 > n_2$ pour que la loi de Snell-Descartes soit vérifiée. Le milieu 1 est donc l'eau : la lumière passe de l'eau dans l'air.

27 Disperser la lumière blanche

Corrigé dans le manuel.

28 Déterminer des angles de réfraction

S'AUTOÉVALUER

Corrigé dans le manuel et en Vidéo *sur le site sirius.nathan.fr.*

29 Exploiter une série de mesures

DIFFÉRENCIATION

Corrigé dans le manuel.

30 ORAL L'exemple le plus connu est l'arc-en-ciel : la lumière est dispersée par les gouttes d'eau de la pluie. Il faut que le Soleil soit assez bas sur l'horizon et qu'il pleuve. On peut citer également le prisme et les CD qui décomposent la lumière blanche.

Un milieu est dispersif si la célérité de l'onde dans ce milieu dépend de la fréquence de la source. Le prisme est donc bien un milieu dispersif puisque l'indice de réfraction du verre dépend de la longueur d'onde.

L'arc-en-ciel est aussi lié à la dispersion de la lumière par les gouttes d'eau, mais ce n'est pas le cas du CD ou du réseau : les couleurs proviennent d'interférences, la lumière ne changeant pas de milieu.

Au niveau de la classe de Seconde, on peut considérer qu'il s'agit de dispersion, mais on peut faire remarquer aux élèves que si les couleurs sont bien les mêmes (elles proviennent de la lumière), l'ordre est inversé.

31 Le faisceau est réfracté et réfléchi puisqu'il change de milieu, mais il n'est pas décomposé par le prisme puisqu'il n'y a qu'une longueur d'onde donc une seule valeur pour l'indice de réfraction du prisme.

32 Un corps dense et chaud émet une lumière dont le spectre est continu. C'est le cas d'une barre de métal incandescente. Le spectre d'émission correspond donc au **a**.

33 Identifier un spectre

Corrigé dans le manuel.

34 Interpréter l'évolution d'un spectre

Corrigé dans le manuel.

35 Utiliser un réseau

Pour déterminer si le spectre a été réalisé avec un prisme ou un réseau, il faut vérifier si la distance entre deux raies est proportionnelle à la différence de longueur d'onde.

$\Delta\lambda(\lambda_{480} - \lambda_{400}) = 80$ nm $\rightarrow$ distance : 14 mm.

$\Delta\lambda(\lambda_{690} - \lambda_{400}) = 290$ nm $\rightarrow$ distance : 50 mm.

$\frac{290}{80} = 3{,}6$. $\qquad \frac{50}{14} = 3{,}6$.

Il y a proportionnalité : le spectre a été réalisé avec un réseau.

36 Découper au laser

Le métal porté à très haute température est un corps dense et chaud. Le spectre de la lumière émise est un spectre continu.

37 *Corrigé dans le manuel.*

Il faut inciter les élèves à réfléchir avant de se lancer dans les calculs. Un élève doit être capable de dire que la première proposition n'est pas bonne car l'indice de réfraction est inférieur à un. Ce qui est vrai avant les calculs est vrai aussi après. Les élèves doivent porter un regard critique sur leurs résultats quand cela est possible.

Exercices 38 et 39

Corrigés dans le manuel.

40 Réfracter et disperser la lumière

Exercice résolu, corrigé dans le manuel.

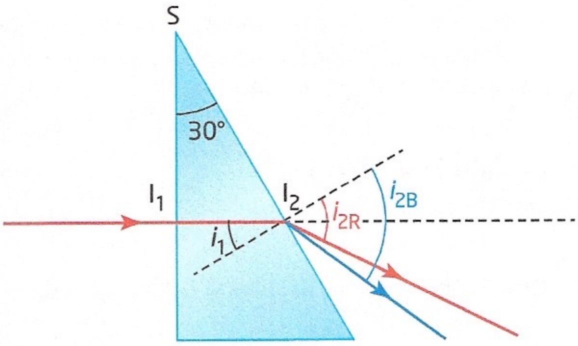
41 Disperser la lumière à l'aide d'un prisme

APPLICATION

1. Le rayon lumineux arrive perpendiculairement à la surface de séparation entre l'air et le verre ($i_1 = 0$). La lumière traverse donc sans être déviée.

Calculons l'angle SI_2I_1 : $SI_2I_1 = 180 - 90 - 30 = 60°$.

L'angle i_1 est l'angle complémentaire de SI_2I_1 donc $i_1 = 30°$.



2. En utilisant la loi de Snell-Descartes, on peut écrire : $n_{1R}\sin i_1 = n_{air}\sin i_{2R}$ et $n_{1B}\sin i_1 = n_{air}\sin i_{2B}$.
On en déduit :

$$\sin i_{2R} = \frac{n_{1R}\sin i_1}{n_2} = \frac{1{,}59 \times \sin 30{,}0°}{1{,}00} = 0{,}795.$$

$\Rightarrow i_{2R} = \arcsin 0{,}795 = \sin^{-1} 0{,}795 = 52{,}7°.$

De même : $\sin i_{2B} = \frac{n_{1B}\sin i_1}{n_2} = \frac{1{,}62 \times \sin 30{,}0°}{1{,}00} = 0{,}810.$

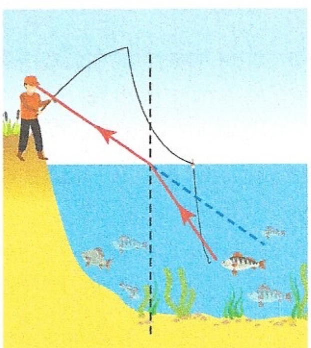
$\Rightarrow i_{2B} = \arcsin 0{,}810 = \sin^{-1} 0{,}810 = 54{,}1°.$

3. Le rayon bleu est plus dévié que le rayon rouge, ce qui est conforme au schéma proposé, mais sur le schéma, l'écart entre les deux angles a été exagéré pour mieux montrer le phénomène de dispersion.

42 Pêcheur à la ligne

a. La lumière émise par le poisson subit une réfraction à la surface eau-air avant de pénétrer dans l'œil du pêcheur. Comme elle passe d'un milieu plus réfringent dans un milieu moins réfringent, l'angle de réfraction est plus grand que l'angle d'incidence. Le schéma a été fait dans ce sens sans calcul, c'est-à-dire sans utiliser l'indice de réfraction de l'eau.

b. La lumière arrive dans l'œil dans la direction indiquée par les pointillés bleus : le pêcheur voit le poisson plus loin de la berge qu'il ne l'est en réalité.



Il n'est pas possible en traçant un seul rayon de déterminer la position exacte du poisson. Pour cela, il faut tracer deux rayons (voir exercice 55).
***Remarque :** on entend souvent dire que c'est parce que le cerveau est habitué à la propagation rectiligne de la lumière que l'œil localise l'objet dans la direction du rayon émergent. C'est complètement faux ! Un appareil photo jetable donc sans intelligence artificielle localise l'objet au même endroit (voir la photo de l'ours blanc dans l'**Activité 2**).*

43 Distance Terre-Lune DIFFÉRENCIATION

Aides en fin de manuel.

a. Dans l'air, la lumière se déplace un peu moins vite que dans le vide car l'indice de réfraction de l'air est légèrement supérieur à 1.

$$v = \frac{c}{n} = \frac{2{,}9997 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{1{,}00029} = 2{,}9988 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

b. $\Delta t = \frac{L}{c}$ si L représente la distance parcourue.

A.N. : $\Delta t = \frac{10\,000 \text{ m}}{2{,}9997 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}} = 3{,}3337 \times 10^5$ s.

c. La durée mise par la lumière pour parcourir 10 000 m dans le vide a été calculée à la question **b.** Pendant cette même durée, la lumière parcourt dans l'air la distance :
$d' = v \times \Delta t = 2{,}9988 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \times 3{,}3337 \times 10^5$ s.
$\Rightarrow d' = 9\,997{,}1$ m.

d. On constate que pendant que la lumière parcourt 10 000 m dans le vide, elle ne parcourt que 9 997 m dans l'air, soit une différence de 3 m.
Comme c'est une durée qu'on mesure pour calculer la distance Terre-Lune, on fait une erreur de quelques mètres si on ne tient pas compte de l'atmosphère. Impossible dans ces conditions de mesurer la distance au cm près.
Le problème est en réalité beaucoup plus complexe car l'indice de l'air dépend de la densité donc de l'altitude. Il dépend aussi des conditions météorologiques (humidité...) D'autre part, le tir laser n'étant pas vertical, la distance parcourue par la lumière dans l'atmosphère dépend de l'angle de tir et il s'ajoute à cela un phénomène de réfraction : la lumière ne se propage pas en ligne droite. Pour plus de renseignements, lire l'article : culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/laser-distance-terre-lune.xml.

44 Planète Mars

a. La vitesse de propagation de la lumière étant constante, on peut utiliser la relation :

$$\Delta t = \frac{d}{c}.$$

A.N. : $\Delta t = \frac{57{,}6 \times 10^6 \text{ km}}{3{,}00 \times 10^5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}} = 192$ s soit 3 min 12 s.

b. Cette durée est complètement négligeable devant le temps mis par une sonde pour aller sur Mars. Deux raisons expliquent cette différence :

- la vitesse de la sonde est beaucoup plus faible que celle de la lumière (de l'ordre de 10^4 fois plus faible) ;
- la sonde ne se déplace pas en ligne droite.

45 Dispersion de la lumière HISTOIRE DES SCIENCES

Pour que le spectre soit exploitable, il faut qu'il soit le plus étalé possible pour qu'on puisse mieux distinguer les raies par exemple. Pour cela, il faut que la dispersion, donc la variation de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde soit la plus grande possible.
La dispersion étant d'autant plus grande que la constringence est faible, il faut choisir le flint.

46 Réflexion totale

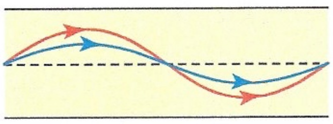
a. Appliquons la seconde loi de Snell-Descartes avec un angle de réfraction de 90° (la lumière ressort en rasant la surface).

$n_{\text{verre}} \sin i_L = n_{\text{air}} \sin 90° \Rightarrow \sin i_L = \dfrac{n_{\text{air}} \sin 90°}{n_{\text{verre}}}$.

A.N. : $\sin i_L = \dfrac{1{,}00 \times \sin 90°}{1{,}5} = 0{,}67$.

$i_L = \arcsin 0{,}67 = \sin^{-1} 0{,}67 = 42°$.

b. La principale application est le guidage de la lumière dans les fibres optiques.



Dans la pratique, l'indice de réfraction de la fibre diminue progressivement du centre vers le bord. Il n'y a pas une seule réflexion totale, mais une déviation progressive.

47 Spectre de raies d'absorption

a. Il s'agit d'un spectre de raies d'absorption : les raies sont sombres. Elles correspondent aux rayonnements absorbés par les gaz traversés par la lumière blanche.

b. Les raies sombres occupent la même place que les raies brillantes d'un spectre de raies d'émission. Si un gaz est présent dans l'atmosphère de l'étoile, on doit donc retrouver les raies caractéristiques dans le spectre d'absorption.
En comparant, on constate que le gaz A et le gaz C sont présents, mais pas le gaz B. Il y a un ou plusieurs autres gaz présents dans l'atmosphère car certaines raies d'absorption ne correspondant à aucun des trois gaz proposés.

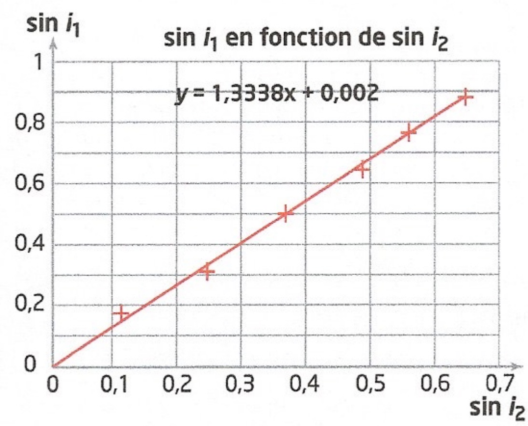
48 Mesure de l'indice de réfraction de l'eau salée

a. Pour déterminer l'indice de réfraction de l'eau salée, il faut utiliser la seconde loi de Snell-Descartes.
Cette loi s'écrit : $n_{\text{air}} \sin i_1 = n \sin i_2$.

On en déduit : $\dfrac{\sin i_1}{\sin i_2} = \dfrac{n}{n_{\text{air}}} = n$ puisque $n_{\text{air}} = 1{,}00$.

Il faut donc tracer $\sin i_1$ en fonction de $\sin i_2$. On doit obtenir une droite dont le coefficient directeur est la valeur de l'indice de réfraction cherché.

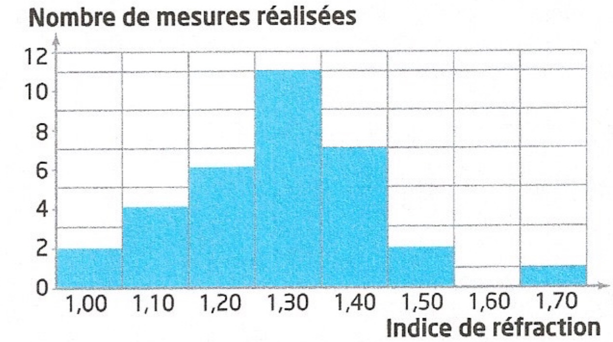
b.



La droite a été tracée à l'aide d'un tableur. Le coefficient directeur est donné par l'équation de la droite : $n = 1{,}33$.

49 Analyse d'une série de mesures

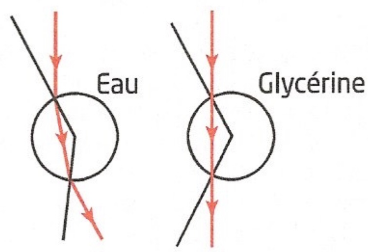
a. Le fichier corrigé est téléchargeable sur le site sirius.nathan.fr.
L'histogramme obtenu est :



- La valeur moyenne est égale à 1,28.
- L'écart-type de la série de mesures est égal à 0,15
- L'incertitude-type est égale à 0,03.
- Le résultat de la mesure est $n = 1{,}28$ avec une incertitude-type $u(n) = 0{,}03$.

b. Sachant que l'**incertitude-type** fournit une **estimation de l'étendue des valeurs** que l'on peut raisonnablement attribuer à la grandeur, le résultat de la mesure est compatible avec la valeur de référence.

50 ✱ Retour sur l'ouverture du chapitre



La disparition de l'agitateur en verre dans la glycérine est assez « magique ». Les élèves savent bien que le verre ne se dissout pas dans la glycérine puisque le bécher est en verre et que la glycérine ne coule pas par le fond, mais ils sont surpris.

a. Dans le cas où l'agitateur trempe dans l'eau, lors du passage de l'eau dans le verre, l'angle de réfraction est plus petit que l'angle d'incidence car l'indice du verre est supérieur à celui de l'eau : la lumière est déviée. Elle subit la même déviation lorsqu'elle quitte le verre.
Dans le cas de la glycérine, les indices de réfraction du verre et de la glycérine étant égaux, les angles d'incidence et de réfraction sont égaux : la lumière traverse sans être déviée.

b. Dans le cas de l'eau, la déviation de la lumière au niveau de l'agitateur rend ce dernier visible. Au contraire, dans le cas de la glycérine tout se passe comme s'il n'y avait qu'un seul milieu : la glycérine. L'agitateur n'est donc pas visible puisqu'il n'agit pas sur le trajet de la lumière.
Cette expérience est encore plus spectaculaire dans le benzène qui a exactement le même indice de réfraction que le verre, mais l'utilisation du benzène en classe est rigoureusement interdite.

51 ✱ Aberration annuelle de la lumière

HISTOIRE DES SCIENCES

a. L'écart maximal entre les lignes de visée (41") correspond à deux fois l'angle α puisque, comme l'indique l'énoncé, la vitesse de la Terre est opposée à celle qu'elle avait six mois plus tôt.
On en déduit donc $\alpha = 20{,}5"$.

b. D'après le schéma, on peut écrire : $\tan\alpha = \frac{v\Delta t}{c\Delta t} = \frac{v}{c}$.

On en déduit : $\frac{v}{c} = \tan\frac{20{,}5}{3\,600} = 9{,}9 \times 10^{-5}$.

c. $c = \frac{v}{9{,}9 \times 10^{-5}} = \frac{30\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}}{9{,}9 \times 10^{-5}} = 3{,}0 \times 10^{5}\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.

L'aberration annuelle des étoiles mesurée par James Bradley en 1728 est la première preuve expérimentale de la révolution de la Terre autour du Soleil, preuve que Copernic avait raison. Une deuxième preuve expérimentale a été apportée plus de 100 ans après, en 1838, par Friedrich Wilhelm Bessel, astronome allemand avec la première mesure de la parallaxe des étoiles. Les parallaxes étant toutes inférieures à la seconde d'angle, on comprend que l'aberration annuelle de la lumière était plus facile à mettre en évidence (ce qui ne retire rien à l'exploit de Bradley).

52 ✱ Principe de Fermat

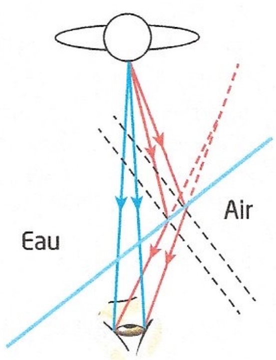
HISTOIRE DES SCIENCES

La solution est pratiquement donnée dans l'aide. Dans un milieu homogène, la vitesse de propagation de la lumière est constante. La distance d parcourue pendant la durée Δt s'exprime par la relation $d = v \times \Delta t$.
Cette relation montre que la distance est minimale si la durée est minimale. Pour aller d'un point A à un point B, le chemin suivi par la lumière correspond donc au chemin le plus court, c'est-à-dire à la droite. Dans un milieu transparent homogène, la lumière se déplace donc en ligne droite.
L'égalité entre l'angle d'incidence et l'angle de réflexion est aussi facile à montrer avec le principe de Fermat si l'on sait que l'image d'un point dans un miroir est symétrique du point par rapport au plan du miroir. Pour la réfraction, c'est un peu plus difficile pour un élève de Seconde.

53 ✱✱ « Physics is fun »

ORAL

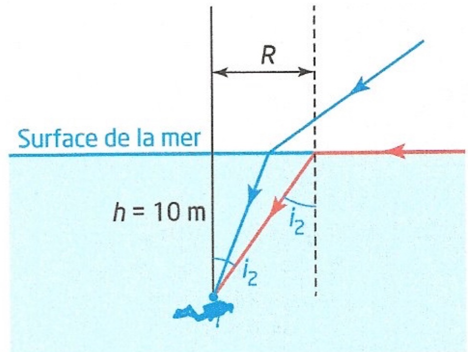
Il s'agit d'un phénomène de réfraction.
La tête étant hors de l'eau, la lumière d'un point (bout du nez par exemple) se propage en ligne droite jusqu'à l'œil de l'observateur (rayons bleus).



La lumière émise par un point du corps situé sur la même verticale que le nez, mais dans l'eau subit une réfraction, l'angle de réfraction étant plus grand que l'angle d'incidence puisque la lumière passe de l'eau dans l'air. Le point du corps semble se trouver à l'intersection du prolongement des rayons qui pénètrent dans l'œil (rayons rouges). Le corps est vu plus à droite qu'en réalité et plus proche de la paroi. Le tracé a été fait sans calcul puisque l'angle que fait la paroi avec la direction tête-œil de l'observateur n'est pas connu.
Question supplémentaire : que faut-il faire pour que l'homme retrouve ses esprits (ou plutôt la tête sur les épaules) ? Se placer pour prendre la photo de telle sorte que la paroi en verre soit perpendiculaire à la direction de visée (mais c'est moins drôle !).

54 ✱✱ Plongée

Il faut déterminer quels sont les rayons lumineux qui peuvent éclairer le plongeur.



Lorsqu'un rayon lumineux arrive sur le plongeur, il subit une réfraction lorsqu'il pénètre dans l'eau. Plus le rayon frappe la surface de l'eau loin de la verticale du plongeur, plus il est incliné par rapport à la verticale comme le montre le schéma ci-dessus. Le rayon le plus éloigné est celui qui arrive en incidence rasante. Tout rayon qui frappe la surface de l'eau à une distance de la verticale du plongeur supérieure à R ne peut pas atteindre le plongeur.
En regardant la surface, le plongeur voit un disque lumineux de rayon R et une zone plus sombre autour puisque la lumière qui frappe la surface de l'eau dans cette zone n'atteint pas le plongeur.
Pour déterminer le rayon, il faut calculer l'angle de réfraction quand l'angle d'incidence vaut 90°
Utilisons la loi de Snell-Descartes :
$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \Rightarrow \sin i_2 = \frac{n_1 \sin i_1}{n_2}$.

A.N. : le milieu 1 est l'air : $n_1 = 1{,}00$ et $i_1 = 90°$; le milieu 2 est l'eau de mer : $n_2 = 1{,}34$.

$\Rightarrow \sin i_1 = \frac{1{,}00 \times \sin 90°}{1{,}34} = 0{,}75$.

$i_1 = \arcsin 0{,}75 = 48°$.
A.N. : $R = 10\ \text{m} \times \tan 48° = 11{,}2$ m.
Le plongeur voit un disque lumineux de rayon $R = 11{,}2$ m.
Ce calcul suppose que la surface de l'eau est parfaitement calme et horizontale, ce qui n'est jamais le cas. Le disque est donc plus ou moins déformé.

55 Mesure de la vitesse de propagation de la lumière

HISTOIRE DES SCIENCES

1. Calculons le temps qu'il faut à la roue pour tourner de 1/1440 tour : $\Delta t = \frac{1}{12{,}6 \times 1440} = 5{,}51 \times 10^{-5}$ s.

2. Pendant cette durée, la lumière a fait l'aller-retour entre le Mont Valérien et Montmartre soit, $2 \times 8\,633\ \text{m} = 17\,266$ m.

La vitesse de propagation de la lumière vaut donc :

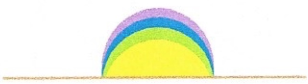
$$c = \frac{d}{\Delta t} = \frac{17\,266\ \text{m}}{5{,}51 \times 10^{-5}\ \text{s}} = 3{,}13 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

3. La principale source d'erreur est la mesure du temps. Cette mesure repose sur la vitesse de rotation de la roue dentée qui n'est pas connue avec une grande précision. D'autre part, la durée mesurée est beaucoup trop faible.

En 1878, Albert Michelson, physicien américain (Strzelno, Pologne, 1852 ; Pasadena, Californie, 1931) a repris la méthode de Foucault en augmentant la distance : la lumière parcourt 70,8 km. Michelson a une bien meilleure précision sur la durée car il mesure une durée presque 2 000 fois plus grande que celle mesurée par Foucault. Comme la principale source d'erreur est la durée, une meilleure précision sur la durée entraîne une meilleure précision sur la célérité. Il trouve 29 9796 ± 4 km · s⁻¹.

56 Rayon vert TÂCHE COMPLEXE

D'après les données : quand on observe un astre situé assez bas sur l'horizon, à cause de la réfraction atmosphérique, on le voit plus haut dans le ciel qu'il ne l'est réellement. C'est le cas du Soleil par exemple, quand il se couche : on le voit encore dans le ciel alors qu'il est déjà sous l'horizon.



L'effet est aussi fonction de la longueur d'onde dans le vide du rayonnement : les lumières bleue et violette sont plus déviées que la lumière rouge. Ces lumières étant plus déviées, les images verte, bleue et violette du Soleil apparaissent plus haut dans le ciel que l'image jaune.

Tant que le Soleil n'a pas disparu sous l'horizon, le disque jaune est beaucoup trop brillant pour qu'on puisse voir les autres couleurs. On les aperçoit juste avant que le Soleil disparaisse complètement.

Pourquoi ne voit-on pas un « rayon bleu » ou un « rayon violet » ? C'est à cause de la diffusion **Rayleigh** : les lumières bleue et violette sont plus diffusées que la verte ou la rouge. Elles n'arrivent donc pas à notre œil et c'est le rayon vert que l'on voit en dernier, un court instant juste avant que le Soleil se couche.

57 Mise en évidence d'un gaz dans une ampoule

1. et **2.** Si du cadmium est présent dans la lampe à l'origine du second spectre, on doit vérifier que les raies du cadmium sont présentes dans ce spectre. Pour cela, il faut étalonner le spectre avec les raies du mercure, visibles sur le premier spectre, et mesurer les longueurs d'ondes des raies qui ne sont pas celles du mercure pour voir si les longueurs d'onde correspondent à celles données dans l'énoncé.

3. Sur le schéma ci-après, il y a 82,5 mm entre les deux raies du mercure $\lambda = 365$ nm et $\lambda = 578$ nm, soit 213 nm pour 82,5 mm.

Ce qui donne $\frac{213\ \text{nm}}{82{,}5\ \text{mm}} = 2{,}58\ \text{nm} \cdot \text{mm}^{-1}$.

On peut alors chercher les longueurs d'onde des raies qui n'appartiennent pas au mercure.

Pour la raie rouge $d_R = 109{,}5$ mm (distance comptée à partir de la raie violette la plus à gauche du spectre).

$\lambda = 109{,}5 \times 2{,}58 + 365 = 648$ nm : cette raie appartient au spectre du cadmium.

Pour la raie cyan : $d_C = 55{,}0$ mm : $\lambda = 55{,}0 \times 2{,}58 + 365 = 507$ nm. Cette raie appartient au spectre du cadmium.

Pour la raie bleue située juste à gauche de la raie cyan : $d_B = 43{,}5$ mm :

$\lambda = 43{,}5 \times 2{,}58 + 365 = 477$ nm : cette raie n'appartient pas au cadmium (probablement au zinc).

Pour la raie bleue suivante :

$d_{B'} = 38{,}8$ mm : $\lambda = 38{,}8 \times 2{,}58 + 365 = 465$ nm : cette raie appartient au spectre du cadmium.

On retrouve bien dans le deuxième spectre, les raies du mercure (en correspondance avec celles du premier spectre) et les trois raies du spectre du cadmium. La lampe contient donc du mercure, du cadmium et une autre vapeur métallique puisqu'une des raies observées n'appartient ni au spectre du mercure ni à celui du cadmium.