

Compléments

Compétences mises en œuvre

- Analyser des documents scientifiques portant sur l'observation du système solaire.

Commentaires sur la stratégie pédagogique proposée

Le phénomène physique mis en jeu étant la réfraction de la lumière, nous avons choisi de travailler la compétence « Analyser des documents scientifiques portant sur l'observation du système solaire. » proposée dans le programme officiel dans le thème Univers, partie système solaire.

Réponses

Pour la démarche suivie, voir la fiche 1, p. 320-323 du manuel.

Étape 1 • S'approprier la consigne où la question posée

1. Comment observe-t-on le système solaire ?
2. Quelle propriété de l'atmosphère terrestre peut faire obstacle aux observations ?

Étape 2 • Lire et comprendre les documents

1. On peut observer le système solaire depuis le sol en captant la lumière émise par les astres (**doc. 1**).
2. L'indice de réfraction de l'air varie dans l'atmosphère, ce qui entraîne des réfractions sur les diverses couches atmosphériques (**doc. 1**). L'absorption par l'atmosphère de certains rayonnements empêche ces rayonnements de parvenir jusqu'à la Terre (**doc. 2**).

Étape 3 • Dégager la problématique

Quels phénomènes physiques la lumière émise par les astres subit-elle lorsqu'elle traverse l'atmosphère terrestre jusqu'à l'observatoire ?

Étape 4 • Construire la réponse

Les mots importants dans les **doc. 1** et **2** sont : « indice de réfraction », « l'indice de réfraction de l'air augmente », « de multiples réfractions », « toujours plus hauts dans le ciel qu'ils ne sont en réalité », « émettent des rayonnements », « invisibles », « absorbés par l'atmosphère ».

À travers l'exemple d'une situation concrète, nous avons voulu illustrer l'influence de l'atmosphère sur la propagation de la lumière pour faire s'interroger les élèves sur les conséquences en termes d'observations astronomiques.

Bien que le phénomène d'absorption ne soit pas explicitement au programme officiel de Seconde, le **doc. 2** proposé permet de travailler la compétence « extraire l'information utile sur divers supports » (ces supports sont un texte et une représentation graphique).

Ces mots importants permettent d'organiser les idées :

- L'indice de réfraction de l'air n'est pas constant, il augmente quand on se rapproche du sol.
- Les variations de l'indice de réfraction provoquent des réfractions.
- Ces réfractions conduisent à observer les astres plus haut dans le ciel que leur position réelle.
- Certains rayonnements ne sont pas visibles. Il faut des instruments adaptés pour les détecter (nécessité de progrès technologiques).
- Certains rayonnements ne parviennent pas au sol car ils sont absorbés par l'atmosphère.

Étape 5 • Répondre

On pourrait penser que, jusqu'au début du xx^e siècle, seule la non-connaissance des rayonnements invisibles empêchait les astronomes d'observer correctement le système solaire. Cependant, l'atmosphère terrestre gêne l'observation des astres même en utilisant les rayonnements découverts :

- La lumière ne se propage pas en ligne de droite à cause de la variation de l'indice de réfraction des différentes couches d'air (les astres sont vus là où ils ne sont pas).
- De plus, certaines radiations sont absorbées par l'atmosphère et ne peuvent pas être détectées sur Terre.

En conclusion, on ne perçoit pas tous les rayonnements émis par les astres et la position de ces astres n'est qu'apparente et non réelle.

Exercices

QCM

Un QCM supplémentaire interactif est disponible dans le manuel numérique enrichi (enseignant et élève).

1. B et C ; 2. B ; 3. A et C ; 4. A ; 5. C.
2. 1. B ; 2. A.
3. 1. B et C.

► p. 47 à 54 du manuel

Application immédiate

Une version diaporama de l'exercice résolu est disponible dans le manuel numérique enrichi (enseignant et élève).

- 5 Soit i_1 l'angle d'incidence et i_2 l'angle de réfraction pour un rayon lumineux arrivant au niveau de la surface de séparation en I .

D'après la loi de Snell-Descartes, on a :

$$n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$$

Il vient :

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

$$\sin i_1 \approx \frac{1,00 \times \sin 45}{1,30}$$

$$\sin i_1 \approx 0,54 \quad \text{donc } i_1 \approx 33^\circ.$$

L'angle d'incidence i_1 mesure approximativement 33° .



Corrigés des exercices

Grille d'évaluation des compétences spécifiques du chapitre : voir www.hachette-education.com (fiche du manuel).

6 1. La réfraction est le changement de direction de propagation d'un faisceau lumineux passant d'un milieu de propagation transparent à un autre.

2. a. n_1 et n_2 sont les indices de réfraction respectifs des milieux 1 et 2. Si le milieu 1 est le milieu incident, i_1 est l'angle d'incidence et i_2 l'angle de réfraction.

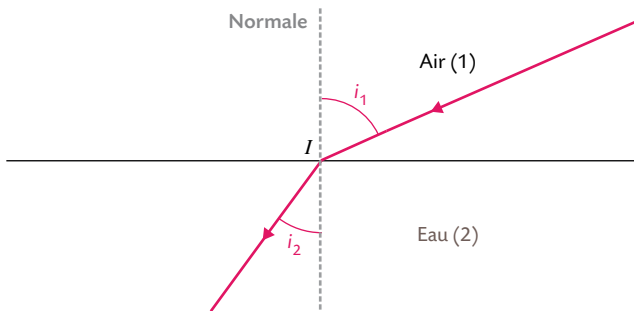
b. n_1 et n_2 n'ont pas d'unité ; les angles i_1 et i_2 doivent être exprimés dans la même unité : le degré (ou le radian).

7 L'indice de réfraction est responsable du phénomène de réfraction de la lumière.

8 La lumière passe du verre à l'air.

i_{v2} est l'angle d'incidence et i_{a2} est l'angle de réfraction.

9 La schématisation suivante peut être proposée :



avec i_1 l'angle d'incidence et i_2 l'angle de réfraction.

10 D'après la relation de Snell-Descartes :

$$\begin{aligned} \sin i_2 &= \frac{n_1 \times \sin i_1}{n_2} \\ \sin i_2 &\approx \frac{1,00 \times \sin 25,0}{1,39} \\ \sin i_2 &\approx 0,304 \text{ donc } i_2 \approx 17,7^\circ \end{aligned}$$

11 On cherche n_1 . D'après la relation de Snell-Descartes :

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{n_2 \times \sin i_2}{\sin i_1} \\ n_1 &= \frac{1,21 \times \sin 30,6}{\sin 27,0} \approx 1,36 \end{aligned}$$

12 1. La loi de Snell-Descartes pour la réfraction s'écrit :

$$n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$$

Pour $i_1 = 0^\circ$, $\sin i_1 = 0$, ce qui entraîne $\sin i_2 = 0$, car n_2 est non nul. Ainsi, l'angle de réfraction i_2 mesure 0° .

2. Les angles i_1 et i_2 sont mesurés par rapport à la même direction, la normale. Puisqu'ils sont égaux, les rayons incident et réfracté ont la même direction ; la lumière n'a pas été déviée.

13 Un prisme est dispersif, car son indice de réfraction dépend de la longueur d'onde de la radiation lumineuse qui le traverse. Cela a pour conséquence de séparer les radiations d'une lumière polychromatique.

14 La dispersion est le phénomène de séparation des radiations d'une lumière polychromatique à la suite de réfractions. Les radiations rouges ne sont pas réfractées en sortie du prisme ; le schéma est faux.

15 La dispersion est le phénomène de séparation des radiations d'une lumière polychromatique. Or, le schéma montre une radiation monochromatique. Il ne peut pas y avoir de séparation. Le schéma est hors sujet.

16 Le fait que l'indice de réfraction d'un milieu dépende de la longueur d'onde de la radiation qui le traverse est à l'origine du phénomène de dispersion de la lumière blanche.

17 L'utilisation d'instruments embarqués dans des satellites permet de s'affranchir des effets de l'atmosphère terrestre sur la lumière provenant des astres (par exemple, la réfraction).

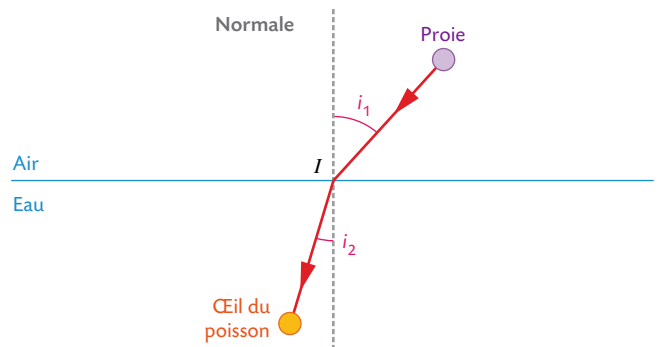
18 L'absorption et la réfraction par les couches atmosphériques sont deux effets de l'atmosphère pouvant gêner l'observation de l'espace depuis la Terre.

19 1. Le caractère dispersif des lentilles est à l'origine d'aberrations chromatiques. Un prisme est aussi un système dispersif.

2. L'indice de réfraction d'une lentille dépend de la longueur d'onde de la radiation qui la traverse. Or, l'indice détermine les propriétés convergentes ou divergentes des lentilles. Chaque radiation lumineuse est réfractée différemment par la lentille, d'où l'apparition des irisations colorées.

20 1. Si les yeux du poisson sont à la verticale de la proie, les rayons lumineux issus de la proie arrivent avec un angle d'incidence nul sur la surface de séparation air/eau. Le sinus de l'angle d'incidence est nul. D'après la relation de Snell-Descartes, le sinus de l'angle de réfraction est nul, donc l'angle de réfraction l'est aussi. En conclusion, le rayon lumineux incident n'est pas dévié lorsqu'il pénètre dans l'eau et le poisson voit la proie dans sa position réelle.

2. a. D'après le texte, les yeux du poisson sont sous l'eau, la proie est au-dessus de l'eau. Les rayons lumineux provenant de la proie sont réfractés avant de parvenir aux yeux du poisson.



b. On applique la relation de Snell-Descartes avec $i_1 = 20^\circ$.

$$\begin{aligned} \sin i_2 &= \frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{eau}}} \times \sin i_1 = \frac{1,00}{1,33} \times \sin 20 \\ \sin i_2 &\approx 0,26 \text{ donc } i_2 \approx 15^\circ \end{aligned}$$

L'angle de réfraction mesure environ 15° .

3. La proie ne se trouve pas là où le poisson la voit d'où la difficulté pour viser.

21 Traduction : Capturez des effets photographiques étonnants avec un verre d'eau

La réfraction de la lumière est un des phénomènes les plus couramment observés et depuis longtemps l'un des préférés des photographes. [...] C'est en fait un effet photographique plutôt simple que vous pouvez reproduire partout. [...]

Pour ce projet, vous aurez besoin de fabriquer un simple fond. Nous avons fait des bandes diagonales noires et blanches [...] vous pouvez même utiliser de la couleur. Placez des verres très propres devant l'arrière-plan et

remplissez-les avec de l'eau sur différentes hauteurs. [...] Utilisez un trépied puisque de faibles variations d'angle de prise de vue auront un effet sur [...] les motifs. La lumière du jour convient très bien, mais nous utiliserons ici un flash car nous travaillons sous faible luminosité.

1. La réfraction, à l'origine de l'effet visuel décrit dans le texte, est le changement de direction de propagation d'un faisceau lumineux passant d'un milieu de propagation transparent à un autre.

2. Le fond strié au-dessus des verres (C) sert de témoin : la lumière ne subit aucune réfraction entre le fond et l'appareil photographique. Les bandes ne sont pas déformées.

Pour les deux autres portions encadrées (A) et (B), on observe une déformation des bandes. Il y a donc eu réfraction. Pour la portion (A), il y a réfraction quand la lumière pénètre dans le verre, puis quand elle repasse du verre à l'air ; cela se produit à deux reprises sur les faces avant et arrière du verre. Pour la portion (B), il y a réfraction quand la lumière pénètre dans le verre, puis quand elle passe du verre à l'eau, puis de l'eau au verre et enfin du verre à l'air.

3. Le phénomène de réfraction fait intervenir les angles d'incidence et de réfraction. Si on bouge l'appareil photographique, il ne recevra pas les mêmes rayons réfractés et les motifs observés ne seront pas les mêmes.

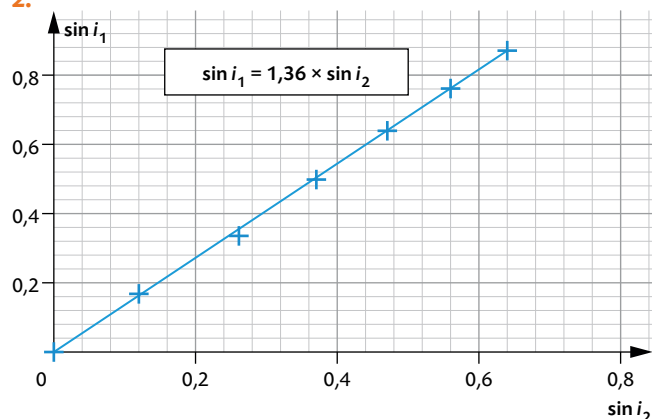
22 1. On complète la dernière colonne avec les valeurs issues de la lecture du schéma :

$$i_1 = 60^\circ \quad i_2 = 40^\circ$$

et du calcul des sinus :

$$\sin i_1 \approx 0,87 \quad \sin i_2 \approx 0,64$$

2.



Voir **fiche 7**, p.328-329 du manuel, pour la représentation graphique avec un tableur et la modélisation.

3. La représentation graphique est une droite passant par l'origine du repère, $\sin i_1$ est donc une fonction linéaire de $\sin i_2$: il y a proportionnalité entre $\sin i_1$ et $\sin i_2$.

Cela est bien en accord avec la loi de Snell-Descartes relative aux angles pour la réfraction qui s'écrit $n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$ ou $\sin i_1 = \frac{n_2}{n_1} \times \sin i_2$. Les sinus des angles i_1 et i_2 sont bien proportionnels.

4. Le coefficient directeur de la droite obtenue est égal à 1,36, donc $\frac{n_2}{n_1} = 1,36$.

On a donc $n_2 = n_1 \times 1,36$, soit $n_2 = 1,00 \times 1,36 = 1,36$.

L'indice de réfraction du liquide étudié est 1,36.

5. Il s'agit de l'éthanol.

23 1. Le phénomène observé est la dispersion, qui trouve son origine dans le phénomène de réfraction.

2. a. On étudie la réfraction lorsque les rayons lumineux passent de l'air au diamant. La loi de Snell-Descartes pour un rayon rouge s'écrit

$n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_R \times \sin i_{2R}$. De même, pour un rayon violet arrivant sur la pierre avec le même angle d'incidence : $n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_V \times \sin i_{2V}$.

b. D'après la question précédente :

$$\sin i_{2R} = \frac{n_{\text{air}}}{n_R} \times \sin i_1 \quad \text{et} \quad \sin i_{2V} = \frac{n_{\text{air}}}{n_V} \times \sin i_1$$

Puisque $n_R < n_V$, il vient :

$$\frac{1}{n_R} > \frac{1}{n_V} \quad \text{et} \quad \frac{n_{\text{air}}}{n_R} \times \sin i_1 > \frac{n_{\text{air}}}{n_V} \times \sin i_1$$

donc $\sin i_{2R} > \sin i_{2V}$

Ceci entraîne $i_{2R} > i_{2V}$.

De plus, comme $n_R > n_{\text{air}}$, il vient $\sin i_{2V} < \sin i_1$ et donc $i_{2V} < i_1$.

De même, on montre que $i_{2R} < i_1$.

Lors de la réfraction, les rayons lumineux se rapprochent donc de la normale à la surface de séparation.

Finalement, on a $i_1 > i_{2R} > i_{2V}$.

Les déviations de ces rayons lumineux s'écrivent $i_1 - i_{2R}$ et $i_1 - i_{2V}$, d'où $i_1 - i_{2R} < i_1 - i_{2V}$.

Pour une même incidence, le rayon rouge sera moins dévié en pénétrant dans la pierre que le rayon violet.

Schématiquement et sans souci d'échelle :



3. En notant C_d le coefficient de dispersion, la définition permet d'écrire $C_d = n_V - n_R$.

On obtient $n_R = n_V - C_d$

soit $n_R = 2,453 - 0,044 = 2,409$

L'indice de réfraction n_R du diamant est 2,409.

24 1. a. La dispersion est le phénomène de séparation des radiations d'une lumière polychromatique. Une radiation monochromatique est caractérisée par une longueur d'onde unique ; son spectre ne comporte qu'une seule raie colorée. Une radiation polychromatique est la superposition de radiations monochromatiques.

b. L'indice de réfraction du prisme est plus faible pour la radiation dans le domaine du rouge que pour celle dans le domaine du bleu.

2. a. Pour la première réfraction, la loi de Snell-Descartes relative aux angles s'écrit :

$$n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n \times \sin i_2$$

où n est l'indice de réfraction du prisme. Il vient :

$$\sin i_2 = \frac{n_{\text{air}}}{n} \times \sin i_1$$

L'indice de réfraction n dépend de la longueur d'onde de la radiation (cf. **1b**). Comme il est au dénominateur de l'expression précédente, plus n est petit et plus $\sin i_2$ est grand, donc plus i_2 est grand.

L'angle de réfraction i_2 est donc plus grand pour la radiation dans le domaine du rouge que pour celle dans le domaine du bleu : $i_{2R} > i_{2B}$.

La déviation d'une radiation correspond à $i_1 - i_2$. Les angles i_1 étant les mêmes pour toutes les radiations incidentes, il vient $i_1 - i_{2R} < i_1 - i_{2B}$. La radiation bleue est la plus déviée lors de la première réfraction.

b. Après la première réfraction, les rayons lumineux rencontrent la seconde face du prisme avec un angle d'incidence i_3 d'autant plus faible que le premier angle de réfraction est grand : $i_{3R} < i_{3B}$.



Pour la radiation du domaine du rouge :

$$n_R \times \sin i_{3R} = \sin i_{4R}$$

Pour la radiation du domaine du bleu :

$$n_B \times \sin i_{3B} = \sin i_{4B}$$

Avec $i_{3R} < i_{3B}$ et $n_R < n_B$, on obtient $i_{4R} < i_{4B}$ pour les angles de réfraction en sortie du prisme.

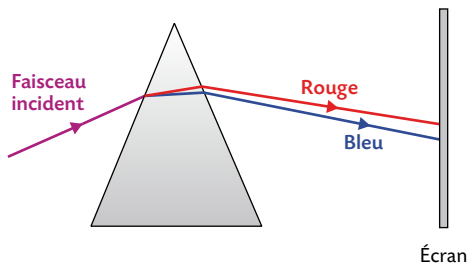
La déviation correspond à $i_{4R} - i_{3R}$ et $i_{4B} - i_{3B}$. Avec les inégalités précédentes, on peut écrire que :

$$i_{4R} - i_{3R} < i_{4B} - i_{3B}$$

La radiation bleue est la plus déviée lors de la seconde réfraction.

3. Le spectre est discontinu, il est constitué de deux raies, une bleue et l'autre rouge.

4. Sur l'écran, on voit séparément les deux raies, la rouge est la moins déviée et la bleue est la plus déviée.



25 Réponses aux pistes de résolution (p. 334)

1. La relation faisant intervenir l'indice de réfraction du plexiglas est la relation de Snell-Descartes.

Elle s'exprime par $n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$ d'où il vient :

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

2. En abscisse du graphique, il y a le sinus de l'angle i_1 ; en ordonnée, il y a le sinus de l'angle i_2 .

Sur le graphique, on constate que $\sin i_1 > \sin i_2$. D'après la loi de Snell-Descartes, on peut en conclure que $n_1 < n_2$. L'un des milieux de propagation étant l'air, d'indice de réfraction égal à 1,00 ; il a l'indice de réfraction le plus petit, donc son indice de réfraction est n_1 . L'autre milieu a l'indice de réfraction n_2 .

3. La représentation graphique obtenue est une droite passant par l'origine du repère. Il y a donc proportionnalité entre les deux sinus : $\sin i_2 = k \times \sin i_1$.

4. Le coefficient directeur est $k \approx \frac{0,60}{0,90} \approx 0,67$.

D'après la loi de Snell-Descartes, $k = \frac{n_2}{n_1}$, donc $n_2 = \frac{1}{k}$, soit $n_2 = \frac{1}{0,67} \approx 1,5$.

L'indice de réfraction peut être considéré égal à celui du plexiglas (aux erreurs de mesure près). Le matériau peut être du plexiglas.

Une réponse possible

• Introduction présentant la problématique :

Pour savoir si le matériau testé est du plexiglas, on cherche son indice de réfraction et on le compare à celui donné du plexiglas.

• Mise en forme de la réponse :

L'indice de réfraction du plexiglas intervient dans la loi de Snell-Descartes relative aux angles pour la réfraction.

Elle s'écrit $n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$. L'indice du milieu incident est celui de l'air, qui est inférieur à celui du matériau testé. Le sinus de l'angle d'incidence doit donc être supérieur à celui de l'angle de réfraction. D'après la représentation graphique, $\sin i_1 > \sin i_2$, donc n_1 est l'indice de réfraction de l'air et n_2 celui du matériau testé.

La grandeur représentée en abscisse est le sinus de l'angle d'incidence i_1 . Celle représentée en ordonnée est le sinus de l'angle de réfraction i_2 .

La droite obtenue passant par l'origine traduit une proportionnalité entre ces deux grandeurs.

D'après la loi de Snell-Descartes relative aux angles pour la réfraction, le coefficient de proportionnalité est $\frac{n_1}{n_2}$. C'est aussi le coefficient directeur de la droite ; il vaut 0,67.

Puisque n_1 vaut 1,00, l'indice n_2 recherché est l'inverse de cette valeur, soit $n_2 = 1,5$.

• Conclusion revenant sur la problématique :

L'indice de réfraction peut être considéré égal à celui du plexiglas (aux erreurs de mesure près). Le matériau peut être du plexiglas. On ne peut pas avoir de certitude, car la détermination du coefficient directeur sur le graphique n'est pas très précise.

Grille d'évaluation pour le professeur : voir p. 25.

26 1. Le rayon incident est le rayon émis par l'étoile et qui arrive en I sur la vitre.

2. Au cours de la traversée, la lumière change deux fois de milieu de propagation : air \rightarrow verre, puis verre \rightarrow air. Elle sera réfractée deux fois.

3. a. L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 sont liés par $n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_{\text{v}} \times \sin i_2$.

b. Au niveau de la deuxième réfraction, l'angle d'incidence i_3 et l'angle de réfraction i_4 sont liés par :

$$n_{\text{v}} \times \sin i_3 = n_{\text{air}} \times \sin i_4$$

c. Les angles i_2 et i_3 sont des angles alternes-internes, donc $i_2 = i_3$.

4. D'après la loi de Snell-Descartes relative aux angles pour la réfraction et l'égalité $i_2 = i_3$, il vient :

$$n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_{\text{air}} \times \sin i_4$$

Les angles i_1 et i_4 sont donc égaux et sont mesurés par rapport à la normale de la vitre, ici l'horizontale, ce qui signifie que le rayon émergeant de la vitre est parallèle au rayon incident.

27 1. a. L'angle entre le faisceau incident horizontal et la droite (AB) verticale est de 90° .

b. L'angle d'incidence (angle entre la normale et le rayon incident) est nul lorsque le faisceau pénètre dans le prisme. La relation de Snell-Descartes relative aux angles pour la réfraction implique que l'angle de réfraction est nul lui aussi. Le faisceau n'est pas dévié lorsqu'il pénètre dans ce prisme.

2. a. La somme des angles dans un triangle est de 180° .

b. On note I et J les deux points d'incidence. Dans le triangle AIJ, rectangle en I par construction :

$$\widehat{AJI} + \widehat{IAJ} + \widehat{JIA} = 180^\circ \quad \text{avec} \quad \widehat{JIA} = 90^\circ$$

Sur le schéma, on peut lire $\widehat{IAJ} = 30^\circ$.

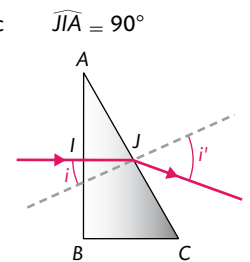
Il vient donc $\widehat{AJI} = 90 - \widehat{IAJ}$, soit $\widehat{AJI} = 60^\circ$ et l'angle d'incidence sur la face [AC] est $i = 90 - \widehat{AJI}$, soit $i = 30^\circ$.

c. La loi de Snell-Descartes relative aux angles pour la réfraction, avec les notations du schéma précédent, donne :

$$\sin i' = \frac{n_{\text{prisme}}}{n_{\text{air}}} \times \sin i$$

$$\sin i' = \frac{1,70}{1,00} \times \sin 30 \approx 0,85 \quad \text{donc} \quad i' \approx 58^\circ$$

3. Les prismes, systèmes dispersifs, peuvent être utilisés pour réaliser le spectre de lumières provenant des étoiles, afin de déterminer la composition chimique de leur atmosphère.



28 1. a. Le CO₂ laisse passer les radiations dans l'UV, le visible, le proche IR et l'IR lointain.

Le CO₂ absorbe des radiations dans l'IR moyen.

b. L'eau laisse passer les radiations dans l'UV et le visible.

L'eau absorbe des radiations dans le proche IR, dans l'IR moyen et les radiations dans l'IR lointain.

c. Ces deux composés n'absorbent pas dans le visible. Même s'ils sont présents dans l'atmosphère terrestre, il n'est pas nécessaire d'en tenir compte.

2. Dans l'IR, ces deux molécules absorbent certaines radiations, il faut tenir compte de leur présence.

3. L'utilisation de télescopes embarqués permet de s'affranchir de l'absorption de radiations par l'atmosphère terrestre.

29 1.

Nom : VLT (Very Large Telescope)	Adresse : site de Cerro Paranal, Chili, Terre.
Âge : 16 ans en 2014	Taille : 4 fois 8,2 m de diamètre pour les télescopes principaux ; 4 fois 1,8 m de diamètre pour les télescopes auxiliaires.
Nationalité : européenne	
Équipement : système d'optique adaptative	But : étude des galaxies, des étoiles et des planètes

2. En pénétrant dans l'atmosphère, la lumière des astres change de milieu de propagation. Il y a réfraction. De plus, à l'intérieur de l'atmosphère, à cause des mouvements d'air, il y a réfraction à chaque fois que l'indice de réfraction change.

3.

Télescopes spatiaux	
Avantages	Inconvénients
pas de perturbation due à l'atmosphère terrestre	taille des miroirs limitée par la faisabilité et le coût de la mise en orbite

Télescopes terrestres	
Avantages	Inconvénients
possibilité de construire de très grands miroirs	perturbations dues à l'atmosphère terrestre nécessitant des systèmes correcteurs (optique adaptative)