

Propagation d'une onde lumineuse

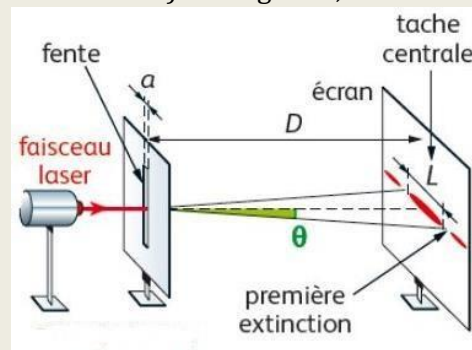
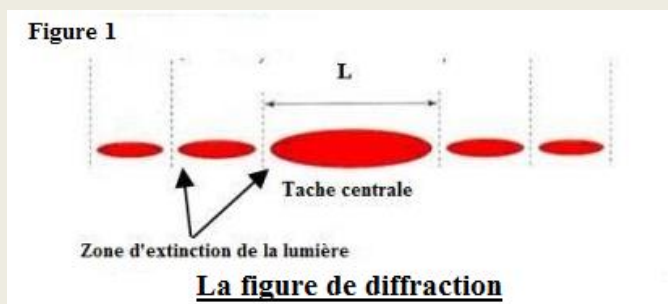


1. Diffraction de la lumière :

1.1. Activité

Diffraction du faisceau laser par une fente, et par un trou circulaire

- On réalise le montage ci-contre dont on interpose devant un faisceau laser de longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$, une fente très étroite, percée dans une plaque opaque (on un fil vertical très fin) de largeur a , on observe sur un écran la figure 1 :



- Qu'observez-vous sur l'écran lorsque la largeur de la fente devient grande ?
- Qu'observez-vous sur l'écran lorsque la largeur de la fente devient petite ?
- Rappeler le principe de propagation rectiligne de la lumière ?
- Ce principe est-il vérifié dans les deux cas ?
- Quel renseignement sur la nature de la lumière ce phénomène apporte-t-il ? Nommer ce phénomène.
- Reproduire la figure de la diffraction en indiquant la position des premières extinctions, la largeur L de la tache centrale, l'écart angulaire θ (demi-angle de diffraction qui représente l'angle entre le centre de la tache centrale de diffraction et la première extinction) et la distance D entre l'objet diffractant (fente ou fil) et l'écran.
- Exprimer l'écart angulaire θ en fonction des grandeurs L et D , sachant que pour de petits angles exprimés en radian (rad) : $\tan \theta \approx \theta$.
- On réalise le montage précédent en plaçant l'écran, maintenu fixe, à une distance $D = 1,5 \text{ m}$ de l'objet diffractant (fente ou fil). On réalise une série de mesures de la largeur L de la tâche centrale pour des fentes (ou des fils calibrés) de largeur a différentes et on obtient le tableau suivant :

$a \text{ (}\mu\text{m)}$	100	120	200	250	300
$L \text{ (mm)}$	19	16	10	7,5	6,5

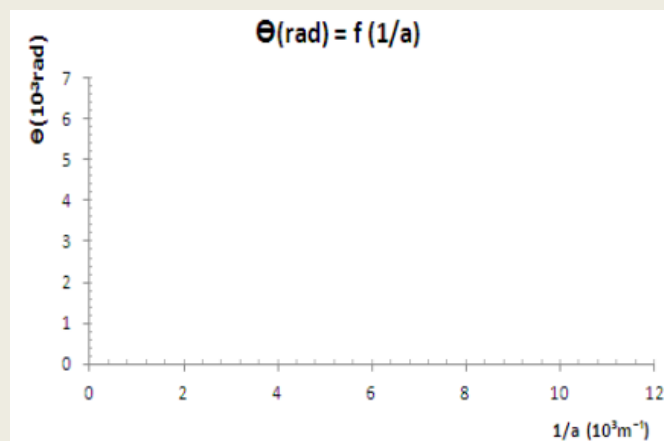
8.1 Compléter le tableau de la page suivante :

$a \text{ (}\mu\text{m)}$	100	120	200	250	300
$L \text{ (mm)}$	19	16	10	7,5	6,5
$\theta \text{ (rad)}$					
$x = \frac{1}{a} \text{ (m}^{-1}\text{)}$					

8.2 Sur un papier millimétré, tracer la courbe représentant les variations de l'écart angulaire θ en fonction de $\frac{1}{a}$

8.3 Modéliser la courbe obtenue (déterminer l'équation de la courbe), calculer le coefficient de proportionnalité en nm et le comparer à la longueur d'onde de la lumière laser utiliser $\lambda = 633 \text{ nm}$

8.4 Dédurre la relation liant θ , λ et a .

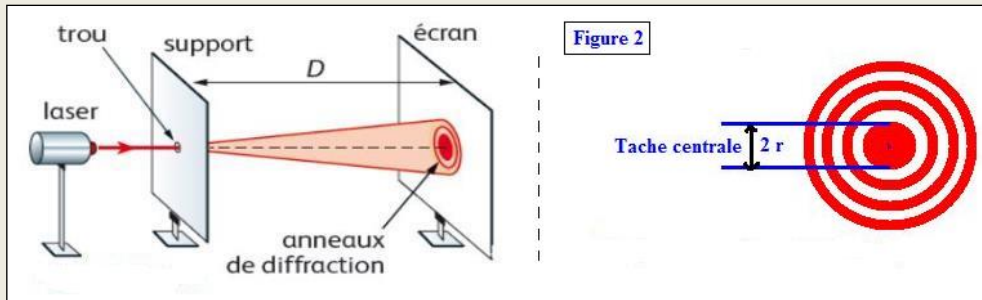


8.5 En utilisant les résultats précédents, montrer que la largeur L de la tache centrale de diffraction s'exprime par :

$$L = \frac{2 \lambda \cdot D}{a}$$

8.6 Quels sont les paramètres dont dépend la figure de diffraction ?

9. Lorsqu'on remplace la fente par un trou de diamètre d , on observe sur l'écran la figure 2 :



9.1 Décrire la figure de diffraction

9.2 Reproduire le schéma de diffraction en faisant apparaître les grandeurs : θ , d , r et D . avec r est le rayon de la tache centrale.

9.3 Dans ce cas, l'écart angulaire θ a pour expression : $\theta = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$, on propose 4 expressions pour le diamètre de l'ouverture circulaire :

1	2	3	4
$d = 1,22 \cdot \frac{\lambda \cdot D}{r}$	$d = 1,22 \cdot \frac{r \cdot D}{\lambda}$	$d = 1,22 \cdot \frac{D^2}{\lambda \cdot r}$	$d = 1,22 \cdot \frac{r \cdot \lambda}{D}$

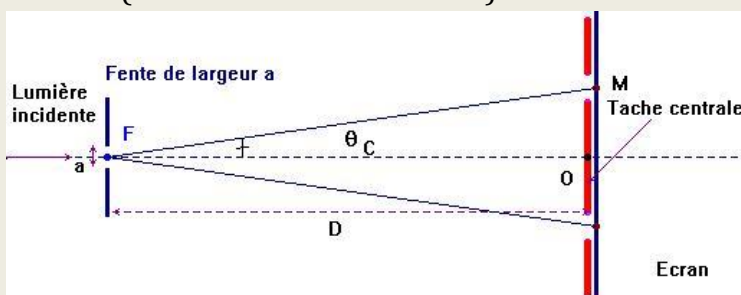
Montrez, par analyse dimensionnelle, que l'une des expressions est fausse.

9.4 En utilisant le schéma de la question 9.2, trouvez la seule expression qui convient.

Correction

Dire ce qui arrive à la corde et au ressort et à la surface de l'eau

1. Lorsque la largeur de la fente devient grande, on observe sur l'écran une tache lumineuse
2. Si la fente est très petite, La figure observée est constitué de plusieurs taches : une tache centrale et des taches latérales (plus petites et moins lumineuses), séparés par des zones d'extinction . ces taches s'étalent dans une direction perpendiculaire à celle de la fente)
3. Principe de propagation rectiligne de la lumière : Dans un milieu transparent et homogène, la lumière se propage en ligne droite.
4. Ce principe est vérifié dans le premier cas et non vérifié dans la deuxième car la direction de propagation des rayons lumineux change
5. Lorsque la lumière rencontre un obstacle (ou une ouverture) de faible dimension, le principe de propagation rectiligne de la lumière ne s'applique plus. C'est le phénomène ondulatoire de la lumière (Phénomène de diffraction)



- 6.
7. Pour les petits angles on a $\tan \theta \approx \theta$.

$$\theta \approx \tan \theta = \frac{L/2}{D}$$

8. Voir tableau

a.

a (μm)	100	120	200	250	300
L (mm)	19	16	10	7,5	6,5
θ (rad)	0.00633	0.00533	0.00333	0.0025	0.00216
$x = \frac{1}{a}$ (m ⁻¹)	10000	8333.33	5000	4000	3333.33

b. La courbe

c. La courbe est une droite de coefficient directeur égal à $K=633$. on remarque que $k=\lambda=633\mu\text{m}$

d. $\theta = \frac{\lambda}{a}$

e. D'après la question 7. on a : $\theta = \frac{L/2}{D}$ et $\theta = \frac{\lambda}{a}$

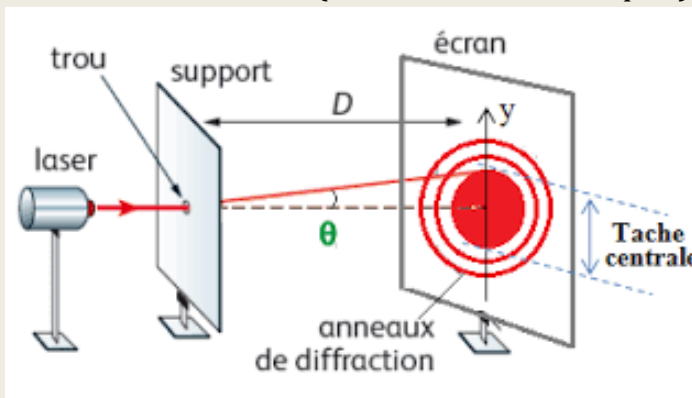
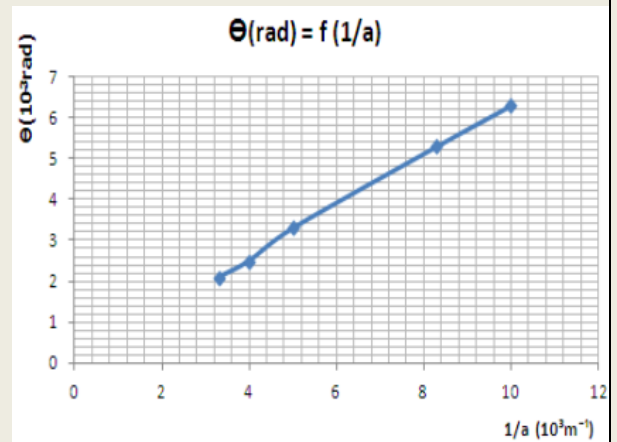
Alors : $L = \frac{2 \lambda D}{a}$

f. La figure de diffraction dépend de a, D et λ

9.

a. La figure de diffraction est constituée d'une tache centrale très brillante circulaire de rayon r

b. Entourée des anneaux (des cercles concentriques) alternativement brillants et s'ombres



c.

d. La relation $d = 1,22 \cdot \frac{D^2}{\lambda \cdot r}$ est fausse. $[L] = \frac{[L]^2}{[L] \cdot [L]}$

e. La relation correcte est $d = 1,22 \cdot \frac{\lambda \cdot D}{r}$

1.2. Conclusion :

- ✓ Par analogie avec les ondes mécaniques progressives périodiques, le phénomène de diffraction montre que la lumière a un aspect ondulatoire.
- ✓ La lumière peut donc être caractérisée comme toutes les ondes, par sa célérité, sa fréquence et sa longueur d'onde

2. Caractéristiques des ondes lumineuses

2.1. La lumière est une onde électromagnétique

- ✓ La lumière naturelle nous parvient du soleil traversant le vide dans l'espace, contrairement aux ondes mécaniques qui ont besoin d'un milieu matériel pour se propager ; Alors la lumière n'est pas une onde mécanique
- ✓ La lumière est une onde électromagnétique : la perturbation qui se propage est un champ électrique \vec{E} associé à un champ magnétique \vec{B} .
- ✓ L'onde lumineuse est une onde transversale car les vibrations lumineuses (champs \vec{E} et \vec{B}) sont perpendiculaires à la direction de propagation.

- ✓ Dans le vide (et pratiquement dans l'air), toutes les ondes lumineuses se propagent avec une célérité constante : $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$. (Aucun corps ne peut dépasser cette vitesse).
- ✓ La vitesse de propagation de la lumière dépend du milieu de propagation.

Dans le vide (et dans l'air)	Dans l'eau	Dans le verre
$c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$	$v = 2,25.10^8 \text{ m.s}^{-1}$	$v = 2.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

2.2. Lumière monochromatique et lumière polychromatique

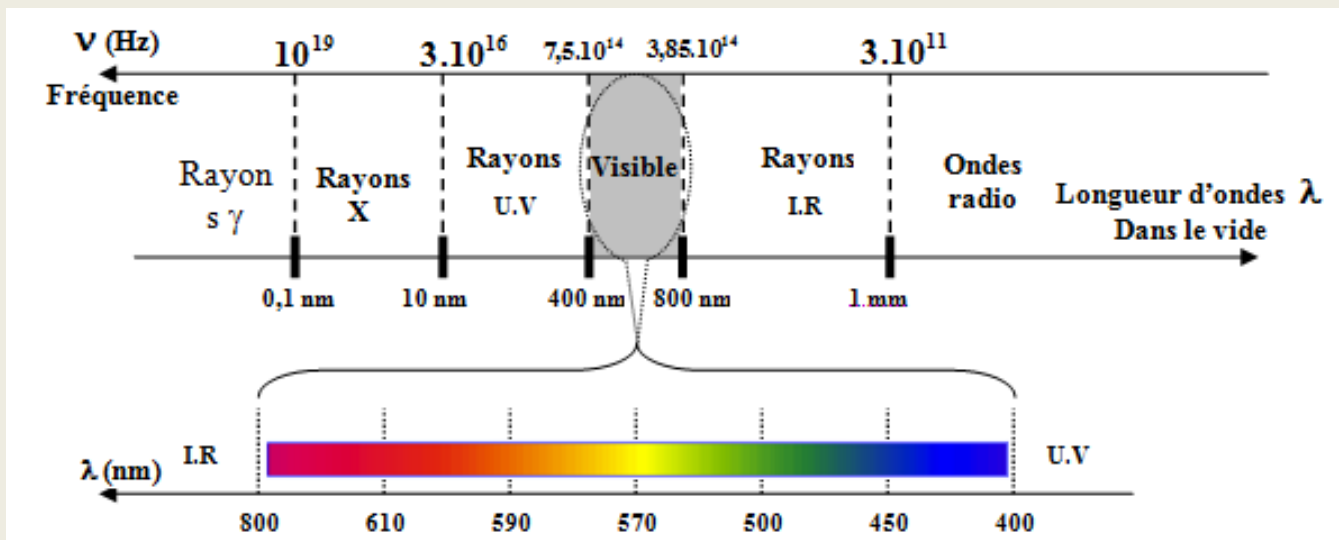
- **Une lumière monochromatique** est une radiation lumineuse ayant une seule couleur. Elle est caractérisée par sa fréquence N qui ne dépend pas de milieu de propagation.
Exemple : le laser
- **La lumière polychromatique** : lumière composée de plusieurs radiations de différentes longueurs d'onde
Exemple : lumière de soleil
- ✓ La longueur d'onde λ d'une lumière monochromatique dépend du milieu de propagation $v = \lambda.v$; (v représente la fréquence de la lumière monochromatique).
- ✓ Si le milieu de propagation est le vide, la relation précédente s'écrit : $c = \lambda_0.v$ avec λ_0 : la longueur d'onde de l'onde lumineuse dans le vide.

a- Domaine de la lumière visible :

La lumière visible, appelée aussi spectre visible ou spectre optique est la partie du spectre électromagnétique qui est visible pour l'œil humain.

Exemple : la lumière de soleil

- ✓ Le domaine de la lumière visible est : $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 800 \text{ nm}$. A l'extérieur de ce domaine, la lumière est invisible
- ✓ Le domaine de l'infrarouge est : $800 \text{ nm} < \lambda < 1 \text{ mm}$
- ✓ Le domaine de l'ultraviolet est : $10 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$



3. Dispersion des ondes lumineuses

3.1. Indice de réfraction

Chaque milieu transparent est caractérisé par son indice de réfraction qui est donné par la relation suivante :

$$n = \frac{c}{v}$$

avec :

- c : célérité de la lumière dans le vide (m.s^{-1})
 - v : vitesse de propagation de la lumière dans le milieu (m.s^{-1})
 - n : indice de réfraction d'un milieu (sans unité)
- ✓ Dans le vide (ou l'air), on a $v \approx c$, donc l'indice de réfraction du vide (ou de l'air) est : $n = 1$
- ✓ Dans un milieu transparent différent du vide, les ondes lumineuses ont une vitesse de propagation v inférieure à c ($v < c$) donc $n > 1$.
- ✓ Donc l'indice n de réfraction d'un milieu est une grandeur sans unité et $n \geq 1$.

❖ **Remarque :**

Dans le vide : $c = \lambda_0.N$, dans un milieu donné : $v = \lambda.N$, on remplace chaque terme par son expression, et on

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0.N}{\lambda.N} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

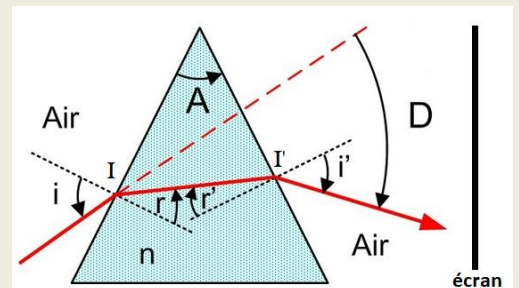
Avec : λ_0 : La longueur d'onde de la lumière dans le vide ; λ : la longueur d'onde de la lumière dans le milieu.

3.2. Réfraction de la lumière et lois de réfraction de Descartes

a) Activité (Relations caractéristiques de prisme)

- Le prisme est un milieu transparent et homogène, limité par deux plans non parallèles (les faces du prisme) faisant un angle A appelé l'angle de prisme. Les deux faces du prisme se coupent suivant une droite qui est l'arête du prisme, tandis que la face opposée à l'arête est la base du prisme.

On envoie un faisceau de lumière monochromatique (Laser) sur la face d'un prisme. Soit n l'indice de réfraction du milieu formant le prisme, et on considère $n_{\text{air}} = 1$ (l'indice de réfraction de l'air ou il y a le prisme).



1. Que se passe-t-il ? (Décrire ce que vous regardez à l'écran)
2. Combien de réfraction a subi le faisceau lumineux après avoir traversé le prisme ?
3. Définir le phénomène de réfraction de la lumière
4. Rappeler les lois de Descartes de réfraction de la lumière
5. Monter que $A = r + r'$ et $D = i + i' - A$

Avec : i : angle d'incidence sur la première face, r : angle de réfraction sur la première face.

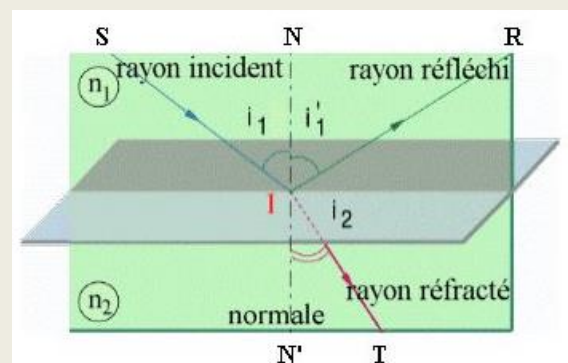
i' : angle d'incidence sur la deuxième face, r' : angle de réfraction sur la deuxième face.

A : angle du prisme, D : angle de déviation,

6. En déduire les 4 relations caractéristiques de prisme.

Correction

1. On observe que le faisceau lumineux subit une réfraction sur la première face puis sur la deuxième face puis dévie vers la base du prisme ainsi qu'une tache rouge apparaît sur l'écran.
2. Le faisceau lumineux a subi deux réfractions
3. La réfraction de la lumière est le changement de direction que subi un rayon lumineux lorsqu'il passe d'un milieu



transparent (milieu 1) à un autre milieu transparent (milieu 2)

4. Les lois de Snell Descartes

- ✓ 1^{ère} loi de réfraction de Descartes : Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale appartiennent au même plan, appelé plan d'incidence.
- ✓ 2^{ème} loi de réfraction de Descartes : l'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 vérifient la relation

Suivante : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

Avec :

n_1 : indice de réfraction du milieu 1

i_1 : angle d'incidence

n_2 : indice de réfraction du milieu 2

i_2 : angle de réfraction

5. Dans le triangle ILK : On a : $A + LIK + IKL = \pi$,

donc $A + (\frac{\pi}{2} - r) + (\frac{\pi}{2} - r') = \pi$, alors

$$A - (r + r') = 0 \text{ d'où } A = r + r'.$$

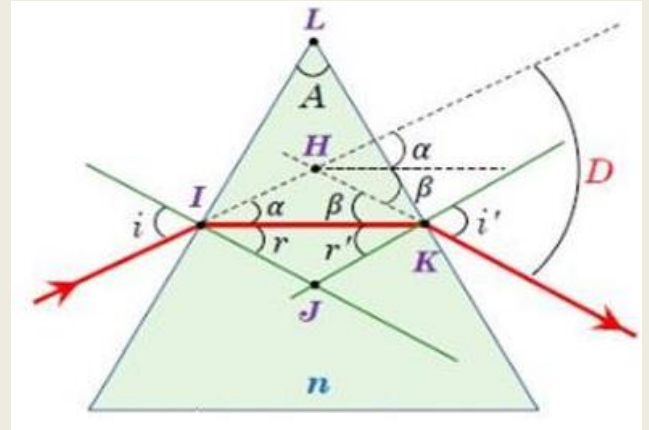
On a $D = D_1 + D_2 = \alpha + \beta$, or $i = \alpha + r$

et $i' = \beta + r'$,

$$\text{alors } D = (i - r) + (i' - r')$$

Donc $D = i + i' - (r + r')$,

d'où $D = i + i' - A$



3.3. Phénomène de dispersion

a) Activité (Dispersion de la lumière par un prisme)

- ✓ Éclairer une fente avec de la lumière blanche
- ✓ Envoyer la lumière issue de la fente sur un prisme de verre posé sur une feuille de papier blanc
- ✓ Observer sur le papier blanc et sur l'écran

1. Que se passe-t-il ? (Décrire la figure obtenue sur le papier et sur l'écran), conclure
2. Ce phénomène est appelé dispersion de la lumière, proposer une définition de ce phénomène



3. La déviation est-elle la même pour toutes les couleurs ? Si non, quelle couleur est la plus déviée ?
4. On dit qu'un milieu est dispersif si la vitesse de propagation d'une onde dans ce milieu dépend de sa fréquence, le verre est-il un milieu dispersif pour la lumière ?

Correction

1. La lumière est déviée et, en plus, le faisceau est étalé et présente les différentes couleurs de l'arc-en-ciel (Rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo, violet). Ces taches colorées constituent le spectre de la lumière

Blanche. Donc on peut déduire que la lumière blanche est une lumière polychromatique c'est-à-dire composée de plusieurs radiations monochromatiques.

2. La dispersion de la lumière est un phénomène physique dans lequel la lumière est décomposée par un prisme en lumières monochromatiques

3. La déviation est différente selon les couleurs des radiations lumineuses. la couleur la plus déviée est le violet.

4. On constate que l'angle de réfraction r n'est pas le même pour les différentes radiations colorées constituant la lumière blanche, et chaque radiation lumineuse est caractérisée par sa fréquence N donc **r dépend de la fréquence N** d'une radiation lumineuse :

D'après la seconde loi de Descartes : on a $n_{\text{air}} \sin i = n \sin r$

Pour les différentes radiations colorées constituant le faisceau incident de lumière blanche

- L'indice n_{air} et l'angle d'incidence i sont les mêmes : donc $\sin r = \frac{n_{\text{air}}}{n} \sin i$ (alors n r)

- Les angles de réfraction r sont différents alors n varie avec r donc **n dépend de r** alors **n dépend de la fréquence N**

5. D'après la question 4 , n dépend de la fréquence N

Comme : $n = \frac{c}{v}$, donc la vitesse v de propagation de la lumière dépend n :

Finalement **V dépend de N** . Donc le verre est un milieu dispersif pour la lumière

b) Conclusion :

- ✓ Dans le prisme de verre, la vitesse v de propagation de la lumière monochromatique dépend de sa fréquence N ; donc le verre est un milieu dispersif pour les ondes lumineuses

La dispersion de la lumière blanche est sa décomposition en radiations monochromatiques (prisme)	La dispersion d'une radiation monochromatique modifie seulement sa trajectoire
