Partie Observer : Ondes et matière

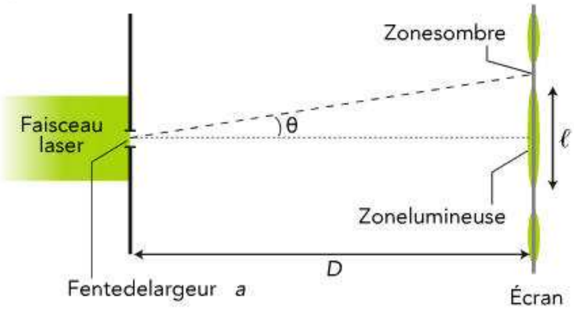
CHAP 03-CORRIGE EXOS Propriétés des ondes

Exercices résolus p 74-75 N° 4-5
Exercices p 78 à 83 N° 20-21-23-27-30

20 Bac Caractère ondulatoire de la lumière

COMPÉTENCES **Raisonner ; argumenter ; estimer une incertitude**

On réalise une expérience en utilisant un laser, une fente de largeur réglable et un écran blanc. Le dispositif est représenté ci-dessous :



Les mesures de la largeur de la fente a, de la distance de la fente à l'écran D et de la largeur de la zone lumineuse centrale ℓ conduisent aux résultats suivants :

$a = (0{,}200 \pm 0{,}005)$ mm ; $D = (2{,}00 \pm 0{,}01)$ m ;
$\ell = (12{,}6 \pm 0{,}1)$ mm

1. Quel est le nom du phénomène observé ?

2. L'angle θ étant petit et exprimé en radian, on peut utiliser l'approximation $\tan\theta \approx \theta$. Calculer l'angle θ en radian.

3. a. Quelle est la relation liant l'angle θ, la longueur d'onde λ de la lumière et la largeur a de la fente ?

b. Calculer la longueur d'onde λ.

c. L'incertitude sur la mesure de la longueur d'onde λ est évaluée par :

$$U(\lambda) = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{U(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2}$$

d. Calculer l'incertitude $U(\lambda)$ sur la longueur d'onde du laser.

e. En déduire un encadrement de la valeur expérimentale de λ.

4. Quelle est la relation entre λ, c (célérité de la lumière dans le vide) et ν (fréquence de la radiation lumineuse) ?

Indiquer leurs unités dans le système international.

5. a. Exprimer la relation entre ℓ et λ.

b. Quelles sont approximativement les longueurs d'onde dans le vide des radiations bleues et rouges ?

c. Indiquer comment varie la largeur ℓ lorsqu'on :

– remplace le laser émettant une lumière rouge par un laser émettant une lumière bleue ?

– diminue la largeur de la fente a ?

Voir, si nécessaire, l'exercice résolu 4, p. 74.

1) La diffraction

2) Calcul de l'angle θ

$\tan(\theta) = \frac{\frac{l}{2}}{D} = \frac{l}{2D}$

Approximation **(valable car θ petit et en radian): tan(θ) = θ**

$\theta = \frac{l}{2D}$

A.N. $\theta = \frac{12{,}6.10^{-3}}{2\text{Erreur ! Signet non défini.}2{,}00}$ = **$3{,}15.10^{-3}$ rad**

3)a) Relation :

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

b) Calcul de λ

$\lambda = \theta \times a = 3{,}15.10^{-3} \times 0{,}200.10^{-3} = 6{,}30.10^{-7}$ m = 630 nm

c-d) Calcul de l'incertitude

$$U(\lambda) = \lambda.\sqrt{(\frac{U(a)}{a})^2 + (\frac{U(l)}{l})^2 + (\frac{U(D)}{D})^2} = 6{,}30.10^{-7}.\sqrt{(\frac{0{,}005}{0{,}200})^2 + (\frac{0{,}1}{12{,}6})^2 + (\frac{0{,}01}{2})^2} = 17.10^{-9} \text{ m} = 17 \text{ nm}$$

e) Encadrement :

613 nm < λ < 647 nm

4) Relation :

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda.\nu$$

ν : la fréquence (Nu) (Hz)
c : vitesse de la lumière (m.s^{-1})
λ : Longueur d'onde en (m)

5) a) Relation entre l et λ

On a

$\theta = \frac{\lambda}{a}$ et $\theta = \frac{l}{2D}$

D'où :

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{l}{2D}$$

$$l = \frac{2.\lambda.D}{a}$$

b) Longueurs d'onde dans le vide :

– des radiations bleues : $\lambda_B \approx 400$ nm ;
– des radiations rouges : $\lambda_R \approx 800$ nm.

c) Si λ diminue, *l* diminue

Si a diminue, *l* augmente

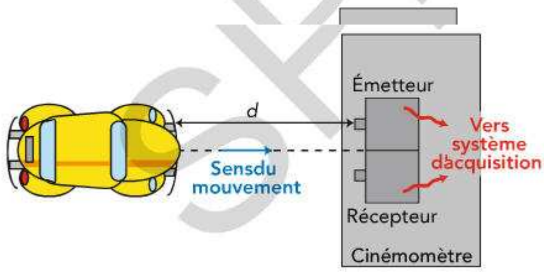
21 Contrôle de vitesse

COMPÉTENCE **Interpréter un résultat.**

Le cinémomètre Mesta 208® est utilisé afin de contrôler par effet Doppler la valeur de la vitesse instantanée des véhicules automobiles.

Un élève cherche à modéliser le principe de la mesure. Il dispose d'un émetteur et d'un récepteur d'ondes ultrasonores, ainsi que d'un véhicule jouet pouvant se déplacer à vitesse constante. La situation est représentée sur le document-ci-dessous.

Le cinémomètre Mesta 208® mesure la vitesse instantanée des véhicules automobiles. Il fonctionne par application de l'effet Doppler dans le domaine des ondes électromagnétiques (micro-ondes).



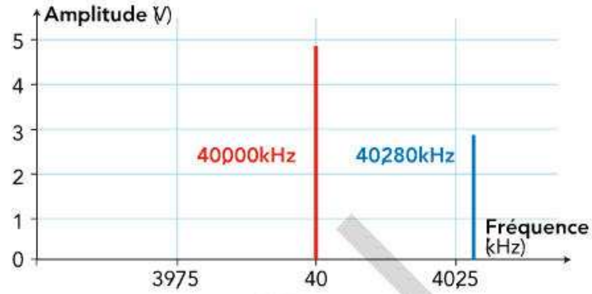
1. a. Quelle est la différence entre le principe de fonctionnement du cinémomètre et l'expérience historique de BUYS-BALLOT réalisée en 1845 (voir **exercice 26**, p. 81) ?

b. Quelle propriété des ondes vue en Seconde cette expérience utilise-t-elle ?

c. Déterminer, à partir du schéma, si la mesure de la vitesse est faite lorsque le véhicule s'approche ou s'éloigne du cinémomètre.

d. On note f_E la fréquence de l'onde émise et f_R celle de l'onde reçue par le récepteur. Lors d'un tel mouvement, f_E est-elle supérieure ou inférieure à f_R ?

2. On réalise l'acquisition informatisée des signaux émis et reçus. Le logiciel permet de repérer les fréquences de chacun des signaux.



Déterminer f_E et f_R.

3. La célérité des ondes ultrasonores V_S est égale à 340 m·s^{-1}. On propose trois relations permettant de calculer la valeur de la vitesse V du véhicule, mesurée par rapport au sol et telle que $V \ll V_S$.

a. Déterminer la relation correcte à partir d'une analyse dimensionnelle et de la situation illustrée par le document.

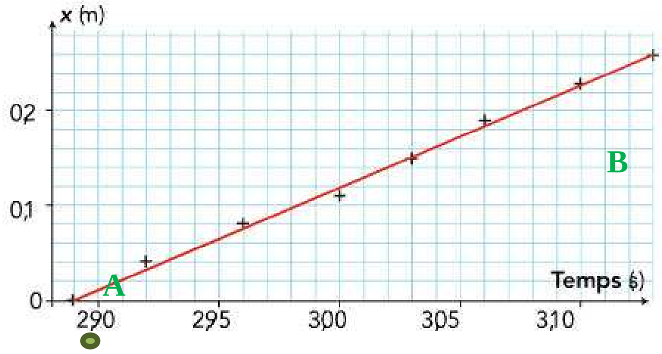
(A) $f_E = f_R \cdot \left(2V - \dfrac{V}{V_S}\right)$; (B) $f_R = V \cdot \left(f_E - \dfrac{2V}{V_S}\right)$;

(C) $f_E = f_R \cdot \left(1 - \dfrac{2V}{V_S}\right)$; (D) $f_E = f_R \cdot \left(\dfrac{2V}{V_S} + 1\right)$.

b. D'où vient le nombre 2 dans l'expression de la vitesse ? On pourra s'aider d'un schéma.

c. Calculer la valeur de la vitesse V du véhicule.

4. Le déplacement du véhicule a été filmé, pour obtenir puis représenter sa position x en fonction du temps.



a. Déterminer graphiquement la vitesse $V_{vidéo}$ du véhicule obtenue à partir de la vidéo du mouvement.

b. Conclure en comparant les valeurs V et $V_{vidéo}$.

1) a) L'émetteur d'ondes ultrasonores et le récepteur sont fixes dans le cinémomètre.

b) On utilise la réflexion des ondes ultrasonores.

c) La mesure est faite lorsque le véhicule s'approche.

d) Comparaison de la fréquence :

On a $v = \dfrac{\lambda}{T} = \lambda . f$

D'où :

$f = \dfrac{v}{\lambda}$

Quand la voiture s'approche, la longueur d'onde mesurée λ devient plus petite, dc f augmente, donc

$f_R > f_E$

2. Calcul des fréquences :

$f_R = 40{,}280$ kHz
$f_E = 40{,}000$ kHz

3)a) Trouver la relation :

On peut virer D car on doit avoir $f_R > f_E$ et dans D c'est le contraire

Analyse dimensionnelle :

Pour la formule A :

$$f_E = f_R.(2.V - \frac{V}{Vs})$$

Il faut monter que l'unité de f_E c'est des Hertz, on note ça

$[f_E] = Hz$?

$$[f_E] = [f_R].[(2.V - \frac{V}{Vs})]$$
$$[f_E] = [2].[f_R][V] - [f_R].\frac{[V]}{[Vs]}$$

$$[f_E] = 1.Hz.m.s^{-1} - Hz.\frac{\cancel{m.s^{-1}}}{\cancel{m.s^{-1}}}$$

$$[f_E] = Hz.m.s^{-1} - Hz$$

Pas bon

Pour la formule B :

$$f_R = V.(f_E - \frac{2.V}{Vs}) = V.\ f_E - V.\ \frac{2.V}{Vs}$$

$[f_R] = Hz$?

$$[f_R] = [V].\ [f_E\ ] - [V].[\ \frac{2.V}{Vs}]$$

$$[f_R] = m.s^{-1}.Hz - m.s^{-1}.\ \frac{\cancel{m.s^{-1}}}{\cancel{m.s^{-1}}}$$

$$[f_R] = m.s^{-1}.Hz - m.s^{-1}$$

Pas bon

Pour la formule C :

$f_E = f_R.(1 - \frac{2.V}{Vs})$

$[f_E]$ = Hz ?

$[f_E] = [f_R].[(1 - \frac{2.V}{Vs})]$

$[f_E] = [f_R] - [f_R].\frac{[2.V]}{[Vs]}$

$[f_E] = Hz - Hz.\frac{\cancel{m.s^{-1}}}{\cancel{m.s^{-1}}}$

$[f_E] = Hz - Hz$

OK

b) Il faut tenir compte d'un Aller-Retour de l'onde, lorsque la voiture s'approche à la vitesse V la longueur d'onde mesurée est diminuée de $2V\times T = 2V/f_E$

c) Calcul de V

$f_E = f_R.(1 - \frac{2.V}{Vs})$

$\frac{f_E}{f_R} = 1 - \frac{2.V}{Vs}$

$\frac{f_E}{f_R} - 1 = -\frac{2.V}{Vs}$

$-\frac{f_E}{f_R} + 1 = \frac{2.V}{Vs}$

$2.V = Vs.(1 - \frac{f_E}{f_R})$

$V = \frac{1}{2}.Vs.(1 - \frac{f_E}{f_R})$

A.N. $V = \frac{1}{2}.340.(1 - \frac{40000}{40280}) =$ **$1{,}18\ m.s^{-1} = 1{,}18\times3{,}6 = 4{,}25\ km.h^{-1}$**

4) Le coefficient directeur de la droite, c'est la vitesse v =dx/dt =cste

Soit 2 Points sur la droite : A (2,89 ; 0) et B (3,11 ; 0,24).

$V_{vidéo} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{0{,}24 - 0}{3{,}11 - 2{,}89} = 1{,}1\ m.s^{-1}$

5) Calcul de l'erreur relative en pourcentage

$\Delta = \left|\frac{V_{vidéo} - V}{V}\right|.100 = \left|\frac{1{,}1 - 1{,}18}{1{,}18}\right|.100 = 6{,}7\ \%$

Aux imprécisions de mesure près, les deux valeurs sont les mêmes.

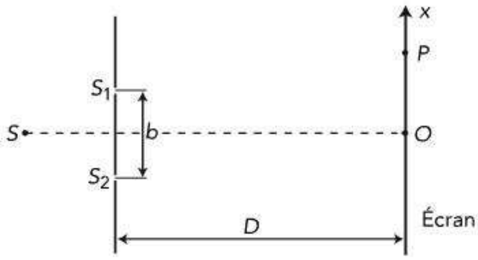
23 Différence de marche

COMPÉTENCE Calculer.

On réalise le montage suivant dans lequel S est une source de lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 488$ nm. Cette source éclaire deux fentes étroites S_1 et S_2, séparées par une distance $b = 0{,}20$ mm. On a $SS_1 = SS_2$.

On observe la figure obtenue sur un écran situé à $D = 1{,}00$ m du plan de ces fentes.

On considère sur l'écran un axe (Ox), O se trouvant sur la médiatrice de $[S_1S_2]$. Pour un point P de cet axe d'abscisse x_P, la différence de marche entre les deux ondes provenant de S_1 et S_2 s'écrit : $\delta = \dfrac{b \cdot x}{D}$.



1. a. Quelle est la différence de marche en O ?
b. Qu'observe-t-on sur l'écran en ce point ?

2. a. Calculer la différence de marche au point P d'abscisse $x_P = 6{,}1$ mm.
b. Qu'observe-t-on sur l'écran en ce point ?

1) a) En O, la différence de marche est nulle car x = 0 dans la formule.

b) On observe une frange brillante sur l'écran.

<u>2) a) Calcul de δ</u>

$\delta = \frac{b.x}{D} = \frac{0{,}20.10^{-3}\text{Erreur ! Signet non défini.}6{,}1.10^{-3}}{1} = 1{,}2.10^{-6}$ m

b) Observation (Cf cours)
- On observe des interférences constructives quand δ = k.λ (δ= nbre entier de longueur d'onde)
- On observe des interférences destructives quand δ = (k +1/2).λ (δ= nbre ½ entier de longueur d'onde)
k est un nombre entier positif ou négatif appelé ordre d'interférences.

<u>Calcul de k' pour δ = k'.λ:</u>

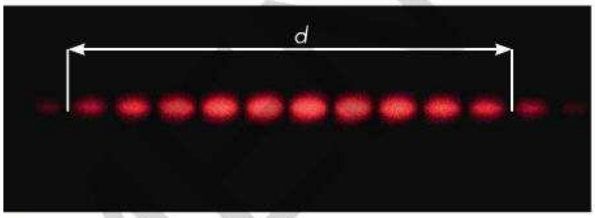
$1{,}2.10^{-6} = k'.488.10^{-9}$
$k' = \frac{1{,}2.10^{-6}}{488.10^{-9}} = 2{,}5 = 2+1/2$
δ= nbre ½ entier de longueur d'onde ; on observe des interférences destructives au point P : frange sombre

24 Calcul d'une longueur d'onde

COMPÉTENCES **Raisonner ; argumenter.**

Deux fentes étroites et parallèles, séparées par une distance b = 0,20 mm, sont éclairées par un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ dans le vide. On observe sur un écran, placé à la distance D = 1,00 m du plan de ces fentes, une alternance de franges brillantes et sombres. La distance séparant les milieux de deux franges brillantes (ou sombres) consécutives est appelée « interfrange » et notée i.

1. Afin de déterminer l'interfrange, on mesure la distance d comme indiqué sur le schéma ci-dessous. On obtient d = 30 mm. Calculer l'interfrange i.



2. a. Par une analyse dimensionnelle, déterminer l'expression qui permet de calculer l'interfrange i parmi les propositions suivantes :

(A) $i = \lambda \cdot D^2$; (B) $i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$; (C) $i = \frac{\lambda \cdot b}{D^2}$.

b. En déduire la longueur d'onde λ de la lumière.

3. Pourquoi a-t-on mesuré plusieurs interfranges ?

Voir, si nécessaire, l'exercice résolu 4, p. 74.

1) Calcul de i :

On a 10.i = d donc $i = \frac{d}{10}$ ***= 3 mm***

2) Analyse dimensionnelle

Avec la formule A :

[i] = m ?

$[i] = [\lambda].[D]^2$

$[i] = m.m^2 = m^3$ ***pas OK***

Avec la formule B :

$[i] = \frac{[\lambda].[D]}{[b]} = \frac{m.m}{m} = m$ ***OK***

Avec la formule C :

$[i] = \frac{[\lambda].[b]}{[D^2]} = \frac{m.m}{m^2} = 1$ ***pas d'unité : pas OK***

b) Calcul de λ

$i = \frac{\lambda.D}{b}$; $\lambda = \frac{i.b}{D} = \frac{3.10^{-3}.0{,}210^{-3}}{1} = 6.10^{-7}$ m

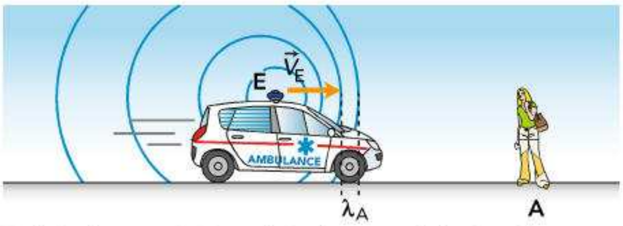
3) i est très petit, donc on mesure d plutôt que i, car cela réduit l'erreur systématique due à la méthode de mesure.

27 Démo Détermination par effet Doppler de la vitesse d'un émetteur sonore qui s'approche

COMPÉTENCES **Raisonner ; calculer.**

La valeur de la vitesse d'un émetteur (E) s'approchant d'un observateur immobile (A) peut être calculée par effet Doppler. On se propose de retrouver la relation liant les diverses grandeurs mises en jeu :
- f_E est la fréquence du signal produit par l'émetteur ;
- f_A est la fréquence du signal reçu par l'observateur ;
- V est la valeur de la vitesse de l'onde ;
- V_E est la valeur de la vitesse de l'émetteur.

Les valeurs des vitesses sont mesurées dans un référentiel terrestre et $V_E \ll V$.



1. À la date $t = 0$, E est à la distance d de A et émet une onde. Exprimer littéralement la date t_1 au bout de laquelle le signal est perçu par A.

2. a. Déterminer l'expression de la distance d_E parcourue par l'émetteur pendant la période T_E du signal émis.
b. À la date T_E, quelle est la distance entre E et A ?
c. À la date T_E, l'émetteur émet de nouveau une onde. À quelle date t_2 l'observateur reçoit-il cette onde ?

3. Quelle est la durée T_A séparant deux signaux consécutifs captés par l'observateur ? Que représente T_A ?

4. a. Exprimer la relation liant f_A, f_E, V et V_E dans cette situation.
b. Quelle est l'expression littérale de la valeur de la vitesse V_E de l'émetteur ?

1) Expression de t_1 :

$V = \frac{d}{t_1}$

$t_1 = \frac{d}{V}$

2) Expression de d_E

$V_E = \frac{d_E}{T_E}$

$d_E = V_E.T_E$

3) Expression de la distance entre E et A après un tps T_E

A t = 0 il y avait une distance d, après un tps T_E il a avancé d'une distance d_E donc :

$d_{EA} = d - d_E = d - V_E.T_E$

c) Expression de la nouvelle date t_2, avec cette fois une distance d_{EA}.

Comme c'est une date, il faut tenir compte du temps T_E car on ns dit qu'une nouvelle onde est émise après T_E

On a donc :

$t_2 = T_E$ + (le temps mis par l'onde pour parcourir la distance d_{EA})

$t_2 = T_E + \frac{d_{EA}}{V}$

$t_2 = T_E + \frac{d - V_E.T_E}{V}$

3) Durée T_A séparant 2 signaux

1 er signal arrive en t_1
1 ème signal arrive en t_2

$T_A = t_2 - t_1 = T_E + \frac{d - V_E.T_E}{V} - \frac{d}{V}$

$T_A = T_E + \cancel{\frac{d}{V}} - \frac{V_E.T_E}{V} - \cancel{\frac{d}{V}} = T_E - \frac{V_E.T_E}{V} = T_E.(1 - \frac{V_E}{V})$

T_A est la durée entre deux signaux consécutifs captés par le récepteur ; c'est donc la période de l'onde captée par le récepteur.

4) a) Relation :

$f_A = \frac{1}{T_A} = \frac{1}{T_E.(1-\frac{V_E}{V})} = \frac{1}{T_E} . \frac{1}{(1-\frac{V_E}{V})} = f_E.\frac{1}{(1-\frac{V_E}{V})} = f_E.\frac{V}{(V-V_E)}$

b) Expression de V_E :

$f_A = f_E.\frac{V}{(V-V_E)}$

$f_A.(V - V_E) = f_E.V$

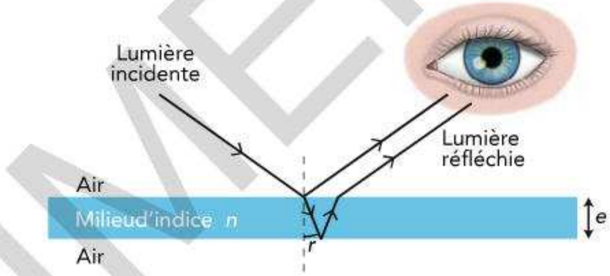
$f_A.V - f_A.V_E = f_E.V$

$- f_A.V_E = f_E.V - f_A.V$
$- f_A.V_E = V.(f_E - f_A)$
$V_E = -V.\frac{f_E - f_A}{f_A}$

30 Couleurs interférentielles des colibris

COMPÉTENCES Raisonner ; argumenter.

Les couleurs des animaux sont pour la plupart dues à des pigments. Mais, chez certains insectes et certains oiseaux, la production de couleurs provient d'interférences lumineuses. C'est le cas du plumage des colibris.
Leurs plumes sont constituées d'un empilement de petites lames transparentes qui réfléchissent la lumière. Pour comprendre le phénomène, une lame de plume sera modélisée par un parallélépipède transparent d'épaisseur e, d'indice de réfraction n, placé dans l'air.
Le schéma ci-dessous représente cette lame en coupe.



Les deux rayons réfléchis par la lame à faces parallèles se superposent sur la rétine de l'observateur et y interfèrent.

Pour un angle de réfraction r donné, la différence de marche notée δ des rayons dépend de l'épaisseur e de la lame et de son indice de réfraction n. Elle est donnée par :

$$\delta = 2\, n \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda}{2}$$

Cet indice n dépend de la longueur d'onde de la radiation.
Parmi toutes les radiations de la lumière solaire, on s'intéresse à celles de longueur d'onde λ_R = 750 nm (rouge) et λ_V = 380 nm (violet).
On prendra e = 0,15 µm.

1. Quelle condition doit vérifier la différence de marche pour que les interférences soient constructives ? destructives ?

2. Pour un angle de réfraction r = 20°, vérifier par le calcul que les interférences des deux rayons sont constructives pour le rouge (n_R = 1,33) et destructives pour le violet (n_V = 1,34).

3. La couleur observée correspond à une longueur d'onde pour laquelle les interférences sont constructives.
Pour quel angle de réfraction r observe-t-on une coloration violette ?

4. La couleur observée dépend-elle de l'angle d'incidence ? Justifier la réponse. En déduire une méthode expérimentale pour distinguer la nature d'une couleur, pigmentaire ou interférentielle.

1) Condition: (Cf cours)
- On observe des interférences constructives quand δ = k.λ
- On observe des interférences destructives quand δ = (k +1/2).λ
k est un nombre entier positif ou négatif appelé ordre d'interférences.

2) Pour la radiation rouge :

Calcul de δ

$\delta_R = 2.n_R.e.\cos(r) + \frac{\lambda_R}{2} = 2.1{,}33.0{,}15.10^{-6}.\cos(20) + \frac{750.10^{-9}}{2} = 7{,}5.10^{-7}$ m

Calcul de k pour des interférences constructives

δ = k.λ

$\frac{\delta}{\lambda} = k$

A.N. $k = \frac{7{,}5.10^{-7}}{750.10^{-9}} = 1$ **CQFD**

Pour la radiation violet :

Calcul de δ

$\delta_v = 2.n_v.e.\cos(r) + \frac{\lambda_v}{2} = 2.1{,}34.0{,}15.10^{-6}.\cos(20) + \frac{380.10^{-9}}{2} = 5{,}7.10^{-7}$ m

Calcul de k pour des interférences destructives

$\delta_v = (k + 1/2).\lambda$

$\frac{\delta_v}{\lambda} - \frac{1}{2} = k$

A.N. $k = \frac{5{,}7.10^{-7}}{380.10^{-9}} - \frac{1}{2} = 1$ **CQFD**

3) Calcul de r pour des interférences constructives et la couleur violète

$\delta_v = 2.n_v.e.\cos(r) + \frac{\lambda_v}{2}$

$k.\lambda_v = 2.n_v.e.\cos(r) + \frac{\lambda_v}{2}$

$k.\lambda_v - \frac{1}{2}.\lambda_v = 2.n_v.e.\cos(r)$

$(k-\frac{1}{2}).\lambda_v = 2.n_v.e.\cos(r)$

$\frac{(2.k-1).\lambda_v}{2} = 2.n_v.e.\cos(r)$

$\frac{(2.k-1).\lambda_v}{2.2.n_v.e} = \cos(r)$

A.N. **Pour k = 1:**

$\frac{(1).380.10^{-9}}{4.1{,}34.0{,}15.10^{-6}} = \cos(r)$

$\cos(r) = 0{,}472$

$r = 61{,}8$ °

4) Lorsque l'angle d'incidence augmente, d'après la loi de Descartes, l'angle de réfraction augmente,

$n_1\sin(i_1) = n_2\sin(i_2)$

donc la différence de marche change et la longueur d'onde pour laquelle les interférences sont constructives aussi.

$\delta = 2.n.e.\cos(r) + \frac{\lambda}{2}$

La couleur observée change donc quand l'angle d'incidence est modifié.

Une couleur interférentielle change lorsque l'on change l'angle d'observation.

Une couleur pigmentaire est toujours identique quel que soit l'angle d'observation.