

b. La lumière blanche est une infinité de radiations monochromatiques de couleurs différentes. Chaque radiation forme une figure d'interférence. L'interfrange n'étant pas le même pour chaque radiation, car il dépend de λ , la figure d'interférence ne présente qu'une frange blanche et quelques franges irisées de part et d'autre.

EXERCICES Appliquer le cours

I La diffraction (§1 du cours)

14. Connaître un phénomène

- a. Le phénomène de diffraction permet à l'ouvreuse d'entendre le son.
- b. La dimension de l'ouverture est de $0,80 \text{ m} < \lambda_g$, la diffraction est donc plus importante pour le son grave.

15. Exploiter l'écart angulaire de diffraction

- a. L'écart angulaire de diffraction, $\theta = \frac{\lambda}{a}$, diminue si la largeur de la fente a augmente et augmente si la longueur d'onde λ de la lumière diffractée augmente.
- b. $\lambda_{\text{rouge}} > \lambda_{\text{violet}}$ donc $\theta_{\text{rouge}} > \theta_{\text{violet}}$.

16. Décrire une figure de diffraction

- a. Si la fente est verticale, la figure de diffraction est horizontale et composée d'une tache centrale très lumineuse, encadrée par des taches secondaires moins intenses.
- b. Si la fente est horizontale, la figure de diffraction est verticale et composée d'une tache centrale très lumineuse, encadrée par des taches secondaires moins intenses.
- c. Si l'élève tourne la fente dans le sens des aiguilles d'une montre, la figure de diffraction tourne dans le plan de l'écran dans le sens des aiguilles d'une montre.

17. Identifier le phénomène de diffraction

La fente fine joue le rôle d'obstacle de faible dimension, cette expérience permet d'observer le phénomène de diffraction.

I Les interférences (§2 du cours)

18. Connaître les conditions d'interférences

$$\text{a. } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5,00 \times 10^4} = 2,00 \times 10^{-5} \text{ s} = 20,0 \text{ } \mu\text{s.}$$

- b. Les deux émetteurs, banchés sur le même GBF constituent des sources d'ondes cohérentes qui émettent en phase. Dans ces conditions on peut observer des interférences dans la partie commune aux deux faisceaux.
- c. Pour avoir des interférences constructives, la différence des retards $\Delta\tau = kT$ avec $k \in \mathbb{Z}$.

Et pour avoir des interférences destructives :

$$\Delta\tau = (2k+1) \frac{T}{2}$$

d.

Points	M	N	P
Durée par rapport à E_1 en μs	688	700	716
Durée par rapport à E_2 en μs	668	710	756
$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ en μs	-20	10	40

Les interférences sont constructives en M ($k=-1$) et P ($k=2$) et destructives en N ($k=0$).

19. Connaître l'influence de la longueur d'onde

En mesurant dans chaque cas la largeur de 7 interfranges (pour une meilleure précision), on trouve :

$$7i_R = 32,5 \text{ mm} ; 7i_V = 27 \text{ mm.}$$

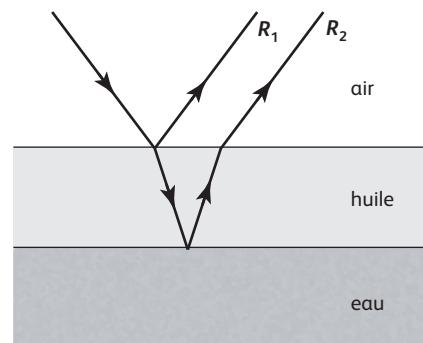
S'il y a proportionnalité entre i et λ , on doit vérifier :

$$\frac{i_R}{i_V} = \frac{\lambda_R}{\lambda_V} ; \frac{7i_R}{7i_V} = 1,2 ; \frac{\lambda_R}{\lambda_V} = \frac{650}{532} = 1,18$$

Aux erreurs de mesure près, l'interfrange est proportionnel à la longueur d'onde.

20. Expliquer les couleurs interférentielles

L'huile ou l'essence qui recouvre la route mouillée forme une fine couche transparente. La lumière se réfléchit à la surface de séparation air-huile et à la surface de séparation huile-eau. Les rayons réfléchis interfèrent et on observe les couleurs interférentielles.



EXERCICES S'entraîner

21. Exercice résolu dans le manuel

22. Application de l'exercice résolu

1. Placer sur le chemin de la diode laser de longueur d'onde $\lambda = 650 \text{ nm}$, le fil de diamètre a . Placer un écran à une distance D du fil diffractant pour observer la figure de diffraction et y mesurer une largeur de tache centrale de diffraction $L = 3 \text{ cm}$.

2. Il manque la valeur de D et la valeur du diamètre du fil a .

3. Dans les conditions usuelles d'observations $D = 2 \text{ m}$. D'après l'expression de l'écart angulaire de diffraction et en étant dans de bonnes conditions d'observations

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D} \text{ donc } a = \frac{2D\lambda}{L} ; a = 9 \times 10^{-5} \text{ m} = 9 \times 10 \text{ } \mu\text{m.}$$

Donc les fils de diamètre $76 \text{ } \mu\text{m}$ ($L = 3,4 \text{ cm}$) et $100 \text{ } \mu\text{m}$ ($L = 2,6 \text{ cm}$) conviendraient.

23. Exercice résolu dans le manuel

24. Application de l'exercice résolu

1. $400 < \lambda_0 < 750 \text{ nm}$.

2. $e = \frac{\lambda_0}{4n}$ pour $\lambda_0 = 400 \text{ nm}$.

$e = 8,3 \times 10^{-8} \text{ m} = 0,083 \mu\text{m}$ pour $\lambda_0 = 750 \text{ nm}$.

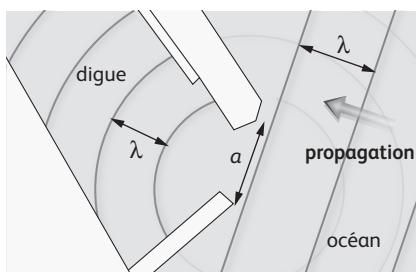
$e = 1,6 \times 10^{-7} \text{ m} = 0,16 \mu\text{m}$.

25. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Connaître, analyser, réaliser.

Soit λ la longueur d'onde de l'onde en m, v la célérité de l'onde en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et T la période temporelle de l'onde en s. $\lambda = v \times T$ avec la célérité $v = 58 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = 16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et la période temporelle $T = 5,0 \text{ s}$. Ainsi, $\lambda = 81 \text{ m}$.

$a < \lambda$, on peut donc observer le phénomène de diffraction.



26. Les ondes radio

> COMPÉTENCES : S'approprier, connaître, réaliser, valider.

a. Une onde est diffractée si elle rencontre un obstacle (ou une ouverture) dont la dimension est du même ordre de grandeur ou inférieure à la longueur d'onde de l'onde. Si l'obstacle est beaucoup plus grand, elle sera arrêtée. Une émission centimétrique, dont la longueur d'onde est de l'ordre du cm sera arrêtée par une petite colline de quelques mètres.

b. $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \times 10^8}{162 \times 10^3} = 1,85 \times 10^3 \text{ m} = 1,85 \text{ km}$, l'ordre de grandeur de la longueur d'onde est 1 km.

c. La largeur de l'entrée de la vallée (ouverture) et la longueur d'onde sont du même ordre de grandeur, il y aura diffraction de l'onde radio et donc également des directions de propagation de l'onde. Les habitants pourront donc être prévenus.

27. In English Please

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a. D'après les expériences 2 et 3, si a diminue alors L augmente, donc a se trouve au dénominateur de l'expression : la première expression est fausse.
D'après les expériences 2 et 4, si D diminue alors L diminue, donc D se trouve au numérateur de l'expression : la deuxième expression est fausse.

b. $\dim \frac{2\lambda D}{a} = \frac{\dim \lambda \times \dim D}{\dim a} = \frac{\text{L}^2}{\text{L}} = \text{L}$.

La troisième expression est bien homogène à une longueur.

c. $L_1 = \frac{2\lambda_1 D}{a}$ et $L_2 = \frac{2\lambda_2 D}{a}$;

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

d. $\lambda_1 = \frac{L_1}{L_2} \times \lambda_2$;

$$\lambda_1 = \frac{3,4 \times 10^{-2}}{2,1 \times 10^{-2}} \times 405 \times 10^{-9} = 6,6 \times 10^{-7} \text{ m}$$

e. Calcul d'écart relatif :

$$\left| \frac{\text{valeur obtenue} - \text{valeur attendue}}{\text{valeur attendue}} \right| = \frac{6,6 \times 10^{-7} - 658}{658} = 3,0 \times 10^{-3} = 0,30 \%$$

La valeur est compatible.

28. ★ Échographie

> COMPÉTENCES : S'approprier, connaître, analyser, réaliser.

a. $\lambda = \frac{v}{f}$; $1450 < v < 1700 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;

$$1,5 \times 10^{-3} < \lambda < 1,7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

b. Si la dimension de l'obstacle devient inférieure à la longueur d'onde alors le phénomène de diffraction devient trop important.

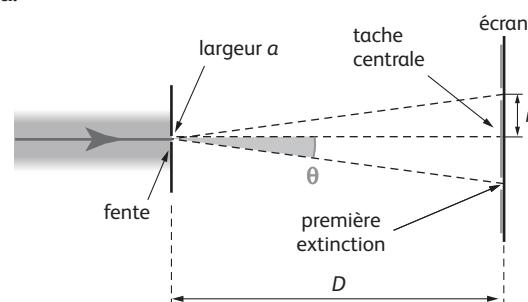
Si on souhaite diminuer la longueur d'onde pour détecter des détails plus petits, il faut augmenter la fréquence.

c. Les fréquences utilisées sont de 2,0 MHz pour les organes profonds, de 6,0 MHz pour les petits organes et la pédiatrie, et de 15 MHz pour l'ophtalmologie.

29. ★ Une ouverture circulaire

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser.

a.



b. $\tan \theta \approx \theta = \frac{r}{D}$; $\frac{r}{D} = 1,22 \frac{\lambda}{a}$ donc $r = 1,22 \frac{\lambda D}{a}$.

c. Si la longueur d'onde λ augmente alors le rayon r augmente.

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} ; \quad r_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} r_1 ; \quad r_2 = 8,6 \text{ mm}$$

30. ★ Sources synchrones et cohérentes

> COMPÉTENCES : Connaître, analyser, communiquer.

Pour obtenir une figure d'interférence stable à la surface de l'eau, il faut que les deux sources soient cohérentes c'est-à-dire qu'elles gardent un déphasage constant dans le temps. Dans le cas de la figure (b), ce déphasage

est nul et il le reste obligatoirement puisque les deux pointes sont sur le même vibreur.

Dans le cas de la figure @, les vibreurs sont indépendants. Ils vibrent à la même fréquence, mais cette fréquence peut fluctuer un peu par rapport à la valeur affichée. Les deux GBF fluctuant de façon aléatoire, le déphasage varie lui aussi de façon aléatoire et la figure d'interférence n'est pas stable.

Remarque: dans le cas de la figure (b), le GBF fluctue aussi mais cela n'a pas de conséquence sur le déphasage.

31. ★ Trous d'Young

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser.

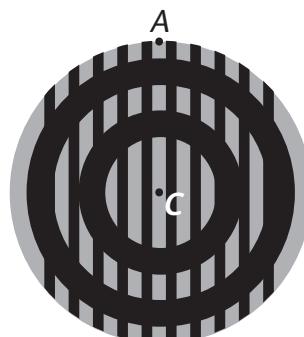
a. Les deux trous sont éclairés par la même source de lumière monochromatique. Ils se comportent comme deux sources cohérentes. On peut donc observer une figure d'interférence dans la partie commune des deux faisceaux.

b. Le centre de la figure d'interférence est sur l'axe de symétrie des deux sources. Les distances entre les sources et le point C sont égales. Elles n'introduisent pas de déphasage supplémentaire. La différence de marche est nulle. Comme les sources émettent en phase, le point C est sur une frange brillante.

c. Le point A est dans le plan de symétrie des sources car les sources sont dans un plan horizontal et A dans le plan vertical contenant C. Les distances entre les sources et A sont donc égales et le point A est sur une frange brillante, la même que C puisqu'elle correspond à $\Delta = 0$.

d. On peut en déduire que les franges d'interférences sont des droites verticales sur l'étendue de la figure de diffraction.

Remarque : il s'agit en réalité d'arcs d'hyperbole, lieu des points dont la différence des distances à deux points fixes est constante, mais on peut localement les assimiler à des segments de droite.



32. ★ S'auto-évaluer

a. Il y a interférences constructives si $d_2 - d_1 = k\lambda$, avec k entier.

Calculons le rapport $\frac{\delta}{\lambda}$ en exprimant d en nm:

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{2,60 \times 10^3}{650} = 4$$

On trouve $k = 4$: le point A se trouve au centre d'une frange brillante.

b. Utilisons la même méthode qu'à la question précédente:

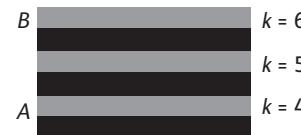
$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{3,90 \times 10^3}{650} = 6$$

Le point B se trouve donc également au milieu d'une frange brillante.

Dessinons les franges pour déterminer le nombre de franges entre A et B.

Il n'y a qu'une frange brillante qui correspond à la valeur $k = 5$.

c. Les différences de marche entre S_1 ou S_2 et A ne sont pas modifiées puisque les points A et B sont toujours à la même place. La différence de marche n'introduit pas de déphasage supplémentaire mais comme les sources vibrent maintenant en opposition de phase, les ondes arrivent en opposition de phase en A et B. Ces deux points sont donc maintenant au milieu de franges sombres.



33. ★★ Interférences et diffraction

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, valider.

a. Calculons le rapport $\frac{L}{i} : \frac{L}{i} = \frac{a}{\lambda D} = \frac{2\lambda D}{a} \times \frac{a_{1-2}}{\lambda D} = \frac{2a_{1-2}}{a}$

On en déduit: $\frac{a_{1-2}}{a} = \frac{L}{2i}$

b. Le rapport $\frac{L}{i}$ représente le nombre d'interfranges dans la tache centrale. Puisqu'il y a 11 interfranges, on en déduit: $\frac{a_{1-2}}{a} = \frac{11}{2} = 5,5$.

La distance entre les fentes est 5,5 fois plus grande que la largeur des fentes.

c. Le phénomène de diffraction est d'autant plus marqué que la largeur des fentes est petite. Si on augmente la largeur a des fentes, on diminue le phénomène de diffraction sans changer l'interfrange i , qui ne dépend que de la distance a_{1-2} entre les fentes. Il y aura donc moins de franges brillantes dans la tache centrale.

d. On retrouve ce résultat à partir de l'expression établie

en b. Si on augmente a , le rapport $\frac{a_{1-2}}{a}$ diminue. Il en est de même du rapport $\frac{L}{i}$ qui donne le nombre de franges dans la tache centrale.

34. ★★ Couleurs d'une bulle de savon

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

a. Le rayon R_1 subit juste une réflexion. Il a donc une intensité:

$$I_{R_1} = 0,02 I.$$

Le rayon T_1 subit deux transmissions. Il a donc une intensité:

$$I_{T_1} = 0,98 \times 0,98 I = 0,96 I.$$

Le rayon R_2 subit deux transmissions et une réflexion. Il a donc une intensité :

$$I_{R_2} = 0,98 \times 0,02 \times 0,98 I = 0,019 I.$$

Le rayon T_2 subit deux transmissions et deux réflexions. Il a donc une intensité :

$$I_{T_2} = 0,98 \times 0,02 \times 0,02 \times 0,98 I = 3,8 \times 10^{-4} I.$$

b. C'est entre les rayons transmis que la différence d'intensité est la plus grande. Les rayons réfléchis ont pratiquement la même intensité.

c. Les interférences destructives sont plus marquées lors de la réflexion : l'intensité est pratiquement nulle. On voit donc mieux les couleurs par réflexion. Par transmission, il n'y a pratiquement pas de différence entre les maxima et les minima d'intensité. Les interférences sont très peu contrastées.

35. Microscope à ultrasons

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Un microscope acoustique (le premier date de 1974) utilise des ondes ultrasonores, ondes mécaniques longitudinales de fréquences supérieures à 20 kHz.

Il permet d'étudier la structure interne d'échantillons (même ceux en matériaux opaques) sans les endommager. On peut obtenir des images acoustiques d'échantillons de quelques cm^2 de surface sur quelques dizaines de μm d'épaisseur.

Ces images fournissent des informations sur les propriétés mécaniques et sur la structure des matériaux. Cette technique est utilisée dans la recherche et l'industrie pour détecter des défauts dans les matériaux mais aussi dans le domaine médical pour explorer des échantillons d'os et de cartilage ainsi que dans le domaine agroalimentaire pour le contrôle de certains produits.

Le fonctionnement d'un microscope à ultrasons est le suivant : un générateur d'ultrasons convertit un signal électrique en un signal acoustique. Le faisceau focalisé en une petite tache est recueilli par réflexion (ou transmission) après interaction entre l'onde incidente et les inhomogénéités du matériau. L'onde est ensuite reconvertise en un signal électrique.

La résolution spatiale de l'instrument, c'est-à-dire la dimension des plus petits détails repérables, est de l'ordre de 0,1 μm pour une onde ultrasonore de fréquence 1 GHz.

La résolution est limitée par le phénomène de diffraction qui intervient lorsque la taille des inhomogénéités est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de l'onde ultrasonore. L'image obtenue est alors de trop mauvaise qualité pour repérer des défauts de taille inférieure à 0,1 μm .

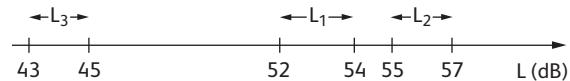
EXERCICES Objectif BAC

Les fiches-guides permettant d'évaluer ces exercices par compétences sont disponibles sur le site : sirius.nathan.fr/sirius2017

36. CASQUE AUDIO À RÉDUCTION DE BRUIT

> COMPÉTENCES : S'approprier, connaître, analyser, réaliser, valider.

1. Les intervalles de confiance permettent de conclure que les valeurs mesurées sont significativement différentes car ces intervalles ne se chevauchent pas :



2. Les niveaux sonores sont ici systématiquement ajustés à la même valeur :

$$L_A = L_B = 10 \log \frac{I}{I_0} = 50 \text{ dB}.$$

Si on additionne les intensités de chaque source, on obtient :

$$\begin{aligned} L_{A+B} &= 10 \log \frac{I+I}{I_0} = 10 \log \left(2 \times \frac{I}{I_0} \right) \\ &= 10 \log \frac{I}{I_0} + 10 \log 2 = L_A + 3 \end{aligned}$$

(augmentation de 3 dB).

Ainsi le niveau sonore correspondant est $50 + 3 = 53 \text{ dB}$; il s'agit de l'expérience 1.

3. Dans les expériences 2 et 3, les deux signaux sont émis avec la même fréquence, le phénomène d'interférences entre les deux signaux intervient :

- si les signaux sont reçus en phase, il y a interférences constructives et le niveau sonore augmente (56 dB au lieu de 53 dB) ;
- si les signaux sont reçus en opposition de phase, il y a interférences destructives et le niveau sonore diminue (44 dB au lieu de 53 dB).

4. Ainsi, c'est l'expérience 3 qui correspond au dispositif actif de réduction de bruit car le niveau sonore global diminue lorsque le dispositif émet un signal anti-bruit en opposition de phase avec le bruit provenant de l'extérieur.

37. CD ET AUTRES SUPPORTS DE L'INFORMATION

> COMPÉTENCES : S'approprier, connaître, analyser, réaliser.

1. L'onde qui se réfléchit au fond d'un creux parcourt une distance supplémentaire $d = 2h_c$ par rapport à l'onde qui se réfléchit sur un plat.

$$d = 2,5 \times 10^{-7} \text{ m.}$$

$$2. \Delta\tau = \frac{d}{v} = \frac{2,5 \times 10^{-7}}{1,93 \times 10^8} = 1,3 \times 10^{-15} \text{ s.}$$

$$T = \frac{\lambda_0}{c} = \frac{780 \times 10^{-9}}{3,0 \times 10^8} = 2,6 \times 10^{-15} \text{ s. } \Delta\tau = \frac{T}{2}$$

3. $\frac{\Delta\tau}{T} = 0,5$, or pour avoir des interférences destructives

$$\Delta\tau = (2k+1) \frac{T}{2} \text{ et si } k=0, \Delta\tau = \frac{T}{2} \text{ donc les interférences}$$

sont destructives et le signal reçu par le capteur est minimal.

4. Le phénomène « parasite » est la diffraction.

38. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

La couleur de certains animaux

> COMPÉTENCES : S'approprier, connaître, analyser, communiquer.

Couleur pigmentaire	Couleur structurale
D'après le document 1, la couleur de certains animaux est due aux pigments comme les mélаниnes ou ptérines synthétisés par les animaux ou les caroténoïdes d'origine alimentaire.	D'après le document 2, la couleur de certains animaux est due à des particularités de structure qui peuvent engendrer des interférences.
La couleur observée fait intervenir la lumière, l'objet coloré et l'œil de l'observateur. Elle est liée à la modification de la lumière blanche, qui contient toutes les couleurs, lors de son interaction avec l'objet. La lumière transmise est privée d'une de ses composantes et apparaît sensiblement de la couleur complémentaire de celle qui a été absorbée.	Des interférences se produisent lorsque l'on a une relation particulière entre la longueur d'onde de la lumière et la périodicité du matériau.
La couleur pigmentaire ne dépend pas de l'angle d'observation.	La couleur structurale dépend de l'angle d'observation.

39. RÉSOLUTION DE PROBLÈME

Nappe de kérosène

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, valider.

À partir de l'expression de la différence de marche donnée dans le document 1 et en utilisant la condition d'interférences constructives on détermine l'expression de la longueur d'onde :

$$\left(k - \frac{1}{2} \right) \lambda_0 = 2ne \quad \lambda_0 = \frac{2ne}{\left(k - \frac{1}{2} \right)} = \frac{4ne}{2k - 1}$$

Calcul de différentes longueurs d'onde selon la valeur de k :

$k = 1$	$k = 2$
$\lambda_0 = 2,5 \times 10^{-6} \text{ m}$	$\lambda_0 = 0,85 \times 10^{-7} \text{ m}$
$k = 3$	$k = 4$
$\lambda_0 = 5,1 \times 10^{-7} \text{ m}$	$\lambda_0 = 3,6 \times 10^{-7} \text{ m}$

Puis en utilisant le document 2, on conclut sur la couleur associée à chaque longueur d'onde calculée.

$k = 1$	$k = 2$
$\lambda_0 = 2,5 \times 10^{-6} \text{ m}$	$\lambda_0 = 0,85 \times 10^{-7} \text{ m}$
$\lambda_0 > 750 \text{ nm}$ (non visible)	$\lambda_0 > 750 \text{ nm}$ (non visible)
$k = 3$	$k = 4$
$\lambda_0 = 5,1 \times 10^{-7} \text{ m}$	$\lambda_0 = 3,6 \times 10^{-7} \text{ m}$
(VERT)	$\lambda_0 = < 400 \text{ nm}$ (non visible)

La nappe de kérosène apparaît verte à un observateur situé à la verticale de la nappe.