THÈME 4
ONDES ET SIGNAUX

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers de Strasbourg

Octobre 2020

CHAPITRE 3 : DIFFRACTION ET INTERFÉRENCES

CORRECTION DES EXERCICES

EXERCICES DIFFRACTION : PP427-439 n°36, 42

EXERCICES INTERFÉRENCES : PP427-439 n°21, 35, 39, 41

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P433 n°36

a. Les lignes 2 et 3 du tableau montrent que lorsque a diminue, L augmente. La première expression est donc à rejeter. En outre, les lignes 2 et 4 du tableau montrent que lorsque D diminue, L diminue également donc la deuxième expression est aussi à rejeter. La seule expression valable est donc $L = \dfrac{2\lambda D}{a}$.

b. Analyse dimensionnelle de cette relation :

D'une part, $[L] = L$ et d'autre part, $\left[\dfrac{2\lambda D}{a}\right] = \dfrac{L \times L}{L} = L$

Ainsi, la relation retenue est bien homogène aux dimensions.

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P433 n°36 (suite)

c. Dans l'expérience 1, on a : $L_1 = \dfrac{2\lambda_1 D_1}{a_1} = \dfrac{2\lambda_1 D}{a}$ d'où $\dfrac{2D}{a} = \dfrac{L_1}{\lambda_1}$ et dans l'expérience 2 : $L_2 = \dfrac{2\lambda_2 D_2}{a_2} = \dfrac{2\lambda_2 D}{a}$ d'où $\dfrac{2D}{a} = \dfrac{L_2}{\lambda_2}$. On en déduit que $\dfrac{L_1}{\lambda_1} = \dfrac{L_2}{\lambda_2}$

d. De la relation précédente, on déduit que
$\lambda_1 = \dfrac{L_1 \cdot \lambda_2}{L_2} = \dfrac{3,4 \times 405}{2,1} = 660 \text{ nm}$

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P437 n°42

1. Le phénomène physique caractérisé par l'angle θ est la diffraction de la lumière : il y a étalement des directions de propagation de l'onde après son passage à travers l'ouverture.
2. Le critère retenu dans les données pour pouvoir distinguer deux objets est que $\alpha \geqslant \theta$. Or $\tan\alpha = \dfrac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}}$ et comme cela est indiqué dans les données, l'angle α est suffisamment petit pour pouvoir écrire $\tan\alpha \simeq \alpha$. On obtient donc $\alpha = \dfrac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}}$.

   Par ailleurs, nous savons que $\theta = 1,22 \times \dfrac{\lambda}{D}$. Par conséquent, la condition $\alpha \geqslant \theta$ s'écrit $\dfrac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}} \geqslant 1,22 \times \dfrac{\lambda}{D}$ d'où l'on déduit

   $D \geqslant 1,22 \times \lambda \times \dfrac{d_{\text{Terre-étoile}}}{r}$

   $D \geqslant 1,22 \times 2,0 \cdot 10^{-6} \times \dfrac{230 \times 9,461 \cdot 10^{15}}{55 \times 1,496 \cdot 10^{11}}$

   $D \geqslant 0,65 \text{ m} = 65 \text{ cm}$

   Le diamètre du télescope doit donc être d'au moins 65 cm pour pouvoir distinguer la planète de son étoile.

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P437 n°42 (suite)

3. La diffraction peut aussi s'observer pour les ondes mécaniques. On peut citer, par exemple, la diffraction des ondes sonores par l'ouverture d'une porte ou la diffraction de la houle à l'entrée d'un port délimitée par deux jetées.

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P429 n°21

Correction dans le manuel PP566-567

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P433 n°35

- Calculons la différence de chemin optique au point M :

$$\delta_0 = \frac{n \times a_{1-2} \times x_M}{D} = \frac{1,00 \times 0,20 \cdot 10^{-3} \times 13 \cdot 10^{-3}}{2,0} = 1,3 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}$$

- Si le point M était sur une frange brillante, alors on aurait $\delta_0 = k \times \lambda_0$ où k est un entier relatif. Si le point était sur une frange sombre, alors on aurait $\delta_0 = \left(\frac{2k+1}{2}\right) \times \lambda_0$. Il suffit donc de comparer δ_0 et λ_0 pour conclure.
- $\frac{\delta_0}{\lambda_0} = \frac{1,3 \cdot 10^{-6}}{650 \cdot 10^{-9}} = 2,0$. On en déduit donc que $\delta_0 = k \times \lambda_0$ avec k=2 et par conséquent, le point M est sur une frange brillante (la deuxième à gauche de la frange brillante centrale située au point O).

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P435 n°39

a. ➠ On peut observer le phénomène de diffraction dû au fait que la lumière traverse chacune des fentes de très petite largeur (moins de 100 fois la longueur d'onde de la lumière utilisée). On observe donc l'étalement des directions de propagation de la lumière qui est diffractée par chacune des deux fentes.

   ➠ On peut aussi observer le phénomène d'interférences dû à la superposition des deux taches centrales de diffraction (et plus largement des deux figures de diffraction). Les conditions pour observer des interférences sont ici réunies puisque les deux sources (les deux fentes) sont synchrones (même fréquence) et cohérentes (déphasage constant) étant donné qu'elles sont issues de la même source laser initialement.

b. N'ayant aucune échelle à disposition dans le document 1, on ne peut que déterminer la largeur de la tache centrale par le calcul :

$$L = \frac{2 \times \lambda \times D}{a} = \frac{2 \times 650 \cdot 10^{-9} \times 2,1}{70 \cdot 10^{-6}} = 3,9 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m} = 3,9\ \mathrm{cm}$$

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P435 n°39 (suite)

c. Sur la photo du document 1, on peut compter qu'il y a 11 interfranges sur un longueur égale à la largeur de la tache centrale L d'où la valeur de l'interfrange $i = \dfrac{L}{11} = \dfrac{3,9 \cdot 10^{-2}}{11} = 3,5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m} = 3,5\ \mathrm{mm}$

d. D'après le cours, nous savons que $i = \dfrac{\lambda \times D}{a_{1-2}}$ d'où la distance entre les deux fentes $a_{1-2} = \dfrac{\lambda \times D}{i} = \dfrac{650 \cdot 10^{-9} \times 2,1}{3;5 \cdot 10^{-2}} = 3,9 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}$

e. La valeur la plus proche parmi celles fournies par le constructeur des fentes est $0,40\ \mathrm{mm}$. On peut calculer l'écart relatif entre ces deux valeurs $\epsilon = \left|\dfrac{a_{1-2}^{exp} - a_{1-2}^{th}}{a_{1-2}^{th}}\right| = \left|\dfrac{0,39 - 0,40}{0,40}\right| = 2,5\%$

La valeur trouvée expérimentalement est donc proche de la valeur indiquée par le constructeur.

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P435 n°39 (fin)

f. En remplaçant le laser rouge par un laser vert, on a diminué la longueur d'onde. Ainsi, la tache centrale de diffraction sera moins large (donc L sera plus petite) et l'interfrange i aura lui aussi diminué. En revanche, on observera toujours 11 interfranges dans la tache centrale de diffraction car le rapport $\frac{L}{i}$ n'aura pas changé. En effet :

$$\frac{L}{i} = \frac{\dfrac{2\lambda \times D}{a}}{\dfrac{\lambda \times D}{a_{1-2}}} = \frac{2\lambda \times D}{a} \times \frac{a_{1-2}}{\lambda \times D} = \frac{2 \times a_{1-2}}{a}$$

Ce rapport est est indépendant de la longueur d'onde et indique le nombre d'interfranges dans la tache centrale de diffraction.

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P436 n°41

1. ➠ Sur la figure 2, $s_1(t)$ a bien une phase à l'origine nulle puisque ce signal est maximal pour $t = 0$. La fenêtre de droite donne bien la somme des deux signaux de la fenêtre de gauche.

   ➠ En revanche, sur la figure 1, les signaux sont apparemment en phase alors que la phase à l'origine de $s_2(t)$ a été choisie égale à π (les signaux devraient donc être en opposition de phase). En outre, l'échelle du graphique n'est pas adaptée, ni horizontalement, ni verticalement. Il manque aussi la légende sur la fenêtre de gauche ainsi que l'étiquette de l'axe des abscisses sur les deux fenêtres et celle de l'axe des ordonnées sur la fenêtre de droite.

2. Voir page suivante pour le code correct.

3. En termes de présentation, il faut bien veiller à légender correctement les graphiques (axes, légende des couleurs utilisées pour les signaux). Il faut aussi veiller aux échelles des axes afin que les courbes soient visibles quels que soient les paramètres rentrés par l'utilisateur. Il est bien entendu primordial de prévoir d'inviter l'utilisateur à saisir la valeur souhaitée de la phase à l'origine de l'un des deux signaux et d'en tenir compte dans l'expression de ce signal afin de bien déphaser les deux signaux l'un par rapport à l'autre.

CORRECTION DES EXERCICES

Exercice P436 n°41 (suite)

2.

```python
#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: utf-8 -*-
# ======================================================================
# Chapitre 18 Exercice 41                                    CORRECTION
# ======================================================================
from matplotlib import pyplot as plt
from math import pi
import numpy as np

T=0.5  # Période en ms
A1=2 # Amplitude de s1 en mV
A2=5 # Amplitude de s2 en mV

# Saisie par l'utilisateur de la phase à l'origine du signal s2(t)
phi=eval(input("Phase à l'origine de s2(t) (entre -2*pi et 2*pi) : phi = "))
t=np.linspace(0,15,800)  # Définition du tableau des dates en ms

# Définition des tableaux des ordonnées de la forme s(t)=A*cos(2πt/T + phi)
s1=A1*np.cos(2*pi*t/T)
s2=A2*np.cos(2*pi*t/T+phi)
s=s1+s2

# Définition de la figure contenant 2 graphes répartis sur '1 ligne,2 colonnes'
figure=plt.subplots(1,2)

# Graphe 1 de gauche
plt.subplot(1,2,1)
plt.plot(t,s1,'b',label='$s_{1}(t)$')
plt.plot(t,s2,'r',label='$s_{2}(t)$')
plt.xlim(0,1.5)
A=A1+A2
plt.ylim(-1.5*A,1.5*A)
plt.title("Signaux à ajouter ")
plt.xlabel("$t$ (en ms)")
plt.ylabel("Elongation (en mV)")
plt.grid()
plt.legend()

# Graphe 2 de droite
plt.subplot(1,2,2)
plt.plot(t,s,'g',label='$s_{3}(t)$')
plt.xlim(0,1.5)
plt.tick_params(axis='y',left=False,right=True,
                labelleft=False,labelright=True)
plt.ylim(-1.5*A,1.5*A)
plt.title("Somme des signaux")
plt.xlabel("$t$ (en ms)")
plt.ylabel("Elongation (en mV)")
plt.grid()
plt.legend(loc='upper left')

plt.show()
```