

Physique Numérique M1

Projet - Diffraction de Fraunhofer

Participants:

Serigne Saliou Sall
RESTREPO ZAPATA Homero

2020 — Département de Physique

Table des matières

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Généralités | 5 |
| 1.1 | Introduction | 5 |
| 1.2 | Aperçu historique | 5 |
| 1.3 | Théorie de la diffraction | 6 |
| 1.3.1 | Principe de Huygens-Fresnel | 6 |
| 1.4 | Diffraction de Fraunhofer | 7 |
| 2 | Mise au point de l'algorithme | 8 |
| 2.1 | Solution code Fortran | 8 |
| 2.2 | Étude graphique de la fente rectangulaire (figure : 6) | 18 |
| 2.2.1 | Résultats | 18 |
| 2.2.2 | Conclusion | 19 |
| 3 | Étude qualitative | 19 |
| 3.1 | Fentes Infinies(figure : 8) | 19 |
| 3.2 | Fente circulaire(figure : 11) | 20 |
| 3.3 | Réseau de fentes(figure : 9) | 20 |
| 3.4 | Réseau 2D de fentes rectangulaires(figure : 13) | 20 |
| 3.5 | Réseau 2D de fentes circulaires(figure : 12) | 20 |
| 4 | Annexes | 24 |
| 4.1 | calibration | 24 |
| 4.2 | Images | 25 |

Table des figures

| | | |
|----|--|----|
| 1 | principe de Huygens Fresnel | 6 |
| 2 | Différents types d'ondes dans les matériaux | 7 |
| 3 | Analyse graphique des dimensions de la fente i=1 | 24 |
| 4 | Analyse graphique de la fente i=1, taille : 1mm | 24 |
| 5 | Analyse graphique de la fente i=1, taille : 0.56mm | 25 |
| 6 | Fonction de transparence et figure de diffraction, fente i=1 | 26 |
| 7 | Fonction de transparence et figure de diffraction, fente i=2 | 27 |
| 8 | Fonction de transparence et figure de diffraction, fente i=3 | 28 |
| 9 | Fonction de transparence et figure de diffraction, fente i=4 | 29 |
| 10 | Fonction de transparence et figure de diffraction, fente i=5 | 30 |
| 11 | Fonction de transparence et figure de diffraction, fente i=6 | 31 |
| 12 | Fonction de transparence et figure de diffraction, fente i=7 | 32 |
| 13 | Fonction de transparence et figure de diffraction, fente i=8 | 33 |

*" It will reward enough for me if,
by the publication of the present experiment,
I have directed the attention of investigators to this subject,
which still promises much for physicial optics and appears to
open a new field. "[5]*

JOSEPH VON FRAUNHOFER

Introduction

Dans ce projet intitulé Étude de la diffraction de Fraunhofer, nous avons implémenté des codes en Fortran pour tracer les différentes fentes et leurs diffractions. Pour cela nous avons utilisé un algorithme (la `efft`) qui calcule la double transformation de Fourier avec laquelle on calcule le coefficient de transmission (transmittance) dont le module au carré donne l'intensité du rayonnement diffracté suivant les coordonnées x et y . Les objets diffractant ne sont pas forcément des ouvertures laissant passer 100% de l'onde au niveau de l'ouverture et rien à côté. Il peut s'agir d'objets atténuant l'onde de façon différente (i.e. holographie) suivant le point considéré ou d'objets introduisant un déphasage dépendant, là aussi du point considéré (i.e. SLM). Ainsi pour prendre en compte ces différentes possibilités, on introduit le facteur de phase afin d'éviter ces déphasages. Nous avons tracé plusieurs géométries de fentes et leurs diffractions.

1 Généralités

1.1 Introduction

La diffraction est le comportement des ondes lorsqu'elles rencontrent un obstacle ou une ouverture ; le phénomène peut être interprété par la diffusion d'une onde par les points de l'objet. La diffraction se manifeste par le fait qu'après la rencontre d'un objet, la densité de l'onde n'est pas conservée contrairement aux lois de l'optique géométrique.

La diffraction s'observe avec la lumière, mais de manière générale avec toutes les ondes : le son, les vagues, les ondes radio, rayons X, etc. Elle permet de mettre en évidence le caractère ondulatoire d'un phénomène et même de corps matériels tels que des électrons, neutrons, atomes froids, etc.

En optique et électromagnétisme, la diffraction de Fraunhofer, encore nommée diffraction en champ lointain ou approximation de Fraunhofer, est l'observation en champ lointain de la figure de diffraction par un objet diffractant. Cette observation peut aussi se faire dans le plan focal image d'une lentille convergente. Elle s'oppose à la diffraction de Fresnel qui décrit le même phénomène de diffraction mais en champ proche.

Exemples typiques en optique :

1. Diffraction par un trou circulaire (tache d'Airy), qui limite la résolution des instruments d'optique : microscopes, des télescopes et des lunettes astronomiques
2. Diffraction par une fente
3. Diffraction par deux trous ou deux fentes (trous d'Young ou fentes de Young)
4. Limitation de la taille des défauts visibles en microscopie optique
5. Réseau de diffraction optique, utilisé en particulier pour décomposer la lumière en spectroscopie

1.2 Aperçu historique

Le phénomène de diffraction a été observé pour la première fois avant 1500 par Léonard de Vinci, sachant que la première description du phénomène remonte au 17ème siècle. Le terme diffraction apparaît pour la première fois dans l'ouvrage du Grimaldi, intitulé "Physico Mathesis de Lumine", qui était publié en 1665. Grimaldi constate qu'au contour des obstacles ou au bord d'un trou la lumière subit un éparpillement, qui ne peut pas s'expliquer par les lois de l'optique géométrique,

et appelle ce phénomène, la diffraction. Ses expériences consistent à réaliser un petit trou dans un de ses volets laissant passer ainsi un faisceau conique de lumière blanche, puis à présenter dans le trajet un obstacle opaque. En observant l'ombre projeté sur un écran placé plus loin, il remarqua la présence de franges colorées qui bordent le côté extérieur de l'ombre géométrique et l'existence de franges colorées situées dans l'ombre géométrique. Huygens fut le premier à proposer une théorie ondulatoire de la lumière qui traite aussi la diffraction. Ensuite ; Fresnel développa les idées ondulatoires de Huygens en les appliquant à la diffraction et aux interférences [1]. Après l'exploit de Fresnel ; Poisson montra que dans l'ombre d'un écran il devait y avoir un point lumineux au centre, ceci est observé par la suite par Arago. Fraunhofer a développé les réseaux optiques qui présentent un ensemble d'un grand nombre de fentes parallèles et équidistantes. Chaque fente diffracte de la lumière et un phénomène d'interférences se produit entre les ondes diffractées. En 1950, Keller a introduit la théorie géométrique de la diffraction en introduisant deux nouveaux types de rayons : rayon diffracté et rayon rampant [2]. En spectroscopie ; les réseaux des fentes remplacent définitivement les prismes.

1.3 Théorie de la diffraction

1.3.1 Principe de Huygens-Fresnel

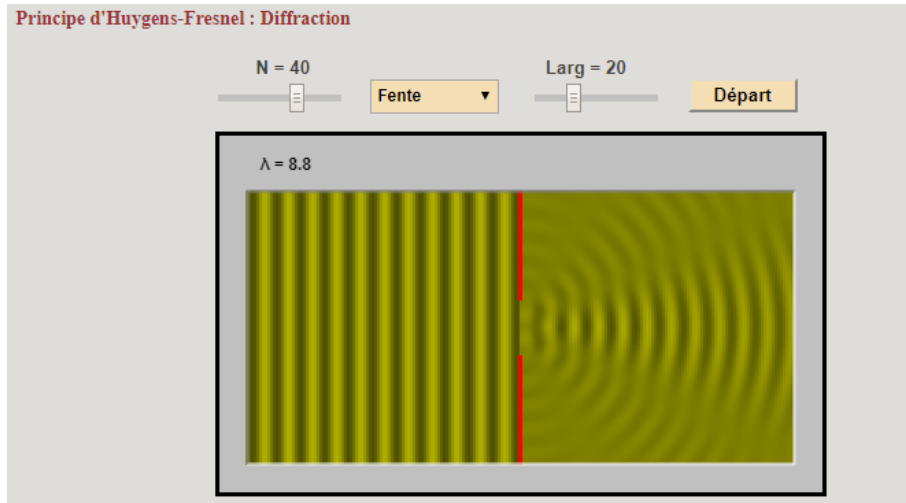


FIGURE 1 – Image principe de Huygens Fresnel

Soit (Σ) une ouverture plane éclairée par une source ponctuelle (S) monochromatique de longueur d'onde λ . Soit un découpage de (Σ) en éléments de surface $d\sigma(P)$ centré en P . On calcule l'éclairement en un point M :

- Chaque éléments de surface se comporte comme une source ponctuelle fictive, émettant une onde sphérique dont l'amplitude complexe instantanée en P est proportionnelle à l'amplitude complexe instantanée $a_s(P,t)$ de l'onde émise par S en P et à l'élément de surface $d\sigma(P)$.
- Les sources fictives sont cohérentes, les ondes émises par ces sources secondaires interfèrent donc entre elles [1].

La lumière se propage de proche en proche. Chaque élément de surface atteint par la lumière se comporte comme une source secondaire qui émet des ondelettes sphériques appelées ondelettes d'Huygens dont l'amplitude est proportionnelle à la surface de la source secondaire.

1.4 Diffraction de Fraunhofer

La diffraction de Fraunhofer est un cas particulier de la diffraction de Huygens-Fresnel pour une source placée à l'infini et observée à l'infini. Pour cela, on place la source au point focal d'une lentille convergente puis un diaphragme (le fait de placer un objet dans le plan focal est équivalent à le placer à l'infini). L'écran d'observation est situé au point focal d'une autre lentille convergente [4].

En optique, l'approximation de Fraunhofer, est l'observation en champ lointain de la figure de diffraction par un objet diffractant [4]. Cette observation peut aussi se faire dans le plan focal image d'une lentille convergente. Elle s'oppose à la diffraction de Fresnel qui décrit le même phénomène de diffraction mais en champ proche.

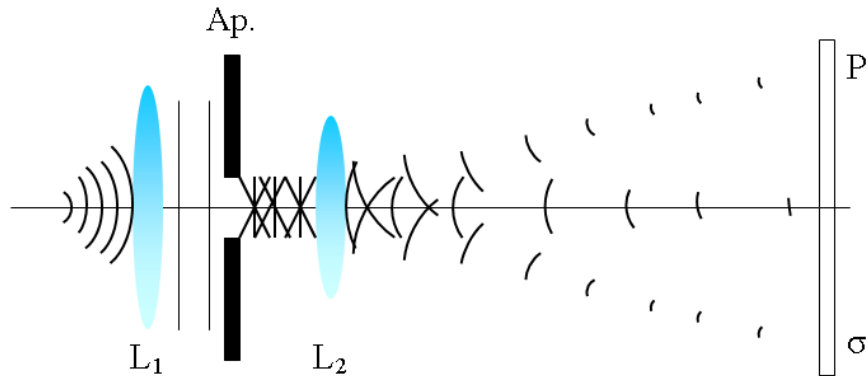


FIGURE 2 – Diffraction de Fraunhofer

La diffraction de Fraunhofer ou la diffraction à l'infini est un cas particulier très important où le plan d'observation est situé loin de l'objet diffractant, celui-ci étant éclairé par une onde plane (source ponctuelle à l'infini) et défini par son facteur de transmission $t(X,Y)$.

2 Mise au point de l'algorithme

2.1 Solution code Fortran

Description : Dans cette partie on se propose de montrer le code de simulation des diffractions de Fraunhofer. On va utiliser le langage fortran 95 pour coder l'algorithme de simulation.

Listing 1 – Solution Numérique - Diffraction de Fraunhofer [3]

```
!-----  
! Programme simulant la diffraction de Fraunhofer par différentes  
! fonctions de transprence.  
!-----  
  
!-----  
! Module enregistrant toutes les constantes physiques et les fonctions  
! nécessaires à simuler les diffractions de Fraunhofer  
!-----  
module Fraunhofer  
  implicit none  
  
  !-----  
  ! Constantes physiques  
  !-----  
  
  integer, parameter :: n=500  
  real, parameter :: PI = 4 * atan(1.0)  
  real, parameter :: f = 30.0e-2      ! distance focale de la lentille en  
  real, parameter :: lambda = 650.0e-9 ! longueur d'onde en metres  
  real, parameter :: k = 2*PI/(lambda) ! nombre d'onde en metres^-1  
  real, parameter :: fenetre = 5e-2    ! taille de la fenetre d'observatio  
  real :: x  
  real :: dx = fenetre/n  
  real :: y  
  real :: dy = fenetre/n  
  
contains  
  
  !-----  
  ! Subroutine FFT en 2D de a
```

```

!-----
subroutine cfft2(a,n)
  implicit none
  integer, intent(in) :: n
  complex, dimension (n,n), intent(inout) :: a
  real, dimension (4*n+15) :: w
  complex, dimension (n) :: s
  integer :: l,m

  call cffti(n,w)
  do l = 1, n
    s = a(:,l) ; call cfftf(n,s,w) ; a(:,l) = cshift(s,n/2)
  enddo
  do m = 1, n
    s = a(m,:) ; call cfftf(n,s,w) ; a(m,:) = cshift(s,n/2)
  enddo

end subroutine cfft2

```

```

!-----
! Subroutine crée une fente en a dans la position (PosX,PosY)
! et de longueur et largeur donnée
!-----
subroutine fente(a,N,PosX, PosY,Long,Lar)
  implicit none
  integer, intent(in) :: PosX
  integer, intent(in) :: PosY
  integer, intent(in) :: Long
  integer, intent(in) :: Lar
  integer, intent(in) :: N
  complex, dimension(N,N), intent(inout) :: a

  a( PosX:PosX + Long , PosY:PosY + Lar ) = (1.,0.)

end subroutine fente

```

```

!-----
! Subroutine crée une fente circulaire en a dans la position (PosX,PosY)
! et d'un rayon donné
!-----

```

```

subroutine cercle(a,N,PosX, PosY,rayon)
  implicit none
  integer,intent(in) :: PosX
  integer,intent(in) :: PosY
  integer,intent(in) :: rayon
  integer,intent(in) :: N
  complex,dimension(N,N),intent(inout) :: a
  integer :: l,m

  do l = 1, n
    do m = 1,n
      if ((l - PosY )**2 + (m - PosX )**2 < rayon**2) a( l , m )
= (1.,0.)
    enddo
  enddo

end subroutine cercle

!-----
! Subroutine un reseau circulaire en a dans la position (PosX,PosY)
! et de cercles de rayon donné
!-----
subroutine ReseauRond(a,N,PosX, PosY,rayon ,Dist)
  implicit none
  integer,intent(in) :: PosX
  integer,intent(in) :: PosY
  integer,intent(in) :: rayon
  integer,intent(in) :: N,Dist
  ! N/Dist est le nombre de fentes presentes dans le reseau et Dist la
  integer :: m,j
  complex,dimension(N,N),intent(inout) :: a

  do m = 0, ( int( N/Dist ) - 1)
    do j = 0, ( int( N/Dist ) - 1)
      call cercle(a,N,PosX + m*dist , PosY + j*dist , rayon)
    end do
  end do

end subroutine ReseauRond

```

```

! Subroutine un reseau en a dans la position (PosX,PosY)
! et de longueur et largeur donnée
!
subroutine reseau(a,N,PosX, PosY,Long,Lar ,Dist)
  implicit none
  integer,intent(in) :: PosX
  integer,intent(in) :: PosY
  integer,intent(in) :: Long
  integer,intent(in) :: Lar
  integer,intent(in) :: N,Dist
  ! Num est le nombre de fentes presentes dans le reseau et Dist la dis
  integer :: m
  complex,dimension(N,N),intent(inout) :: a

  do m = 0, ( int( N/Dist ) - 1)
    call fente(a,N,PosX + m*dist , PosY,Long,Lar)
  end do

end subroutine reseau

```

```

! Subroutine un reseau de carrés en a dans la position (PosX,PosY)
! et de carrées de longueurs et largeurs donnée
!
subroutine RedSQR(a,N,PosX, PosY,Long,Lar ,Dist)
  implicit none
  integer,intent(in) :: PosX
  integer,intent(in) :: PosY
  integer,intent(in) :: Long
  integer,intent(in) :: Lar
  integer,intent(in) :: N,Dist
  ! Num est le nombre de fentes presentes dans le reseau et Dist la dis
  integer :: m,j
  complex,dimension(N,N),intent(inout) :: a

  do m = 0, ( int( N/Dist ) - 1)
    do j = 0, ( int( N/Dist ) - 1)

```

```

        call fente(a,N,PosX + m*dist , PosY + j*dist ,Long,Lar)
    end do
end do

end subroutine RedSQR

!-----
! Subroutine données (Enregistre les données dans un nom donné)
!-----
subroutine data(a, FFT, n, name)
    implicit none
    integer ,intent(in)                :: n
    complex, dimension (n,n),intent(in) :: a
    complex, dimension (n,n),intent(in) :: FFT
    character (len=*), intent(in)      :: name
    integer    :: l,m
    real       :: x,y
    real       :: ji = 1/(lambda*f)
    open(unit=10,file = trim(name) )

    do l=1,n
        x = (l - n/2)

        do m=1,n
            y = (m - n/2)

            write(10,*) x*dx, ' ', y*dy, ' ', real(a(l,m)), ' ', x*dx, ' ', y*dy,
            ! write(*,*) x, ' ', y, ' ', real(a(l,m)), ' ', x*dx/(lambda*f), '
            ', y*dy/(lambda*f), ' ', (1/(lambda*f)**2)*real( FFT(l,m)*conjg( FFT(l,m)))

        end do

        write(10,*)

    end do

    close(10)

end subroutine data

```

```
end module Fraunhofer
```

```
program g
```

```
  use Fraunhofer ! Importation des sousroutines et constantes du probleme
```

```
  complex, dimension (n,n) :: a,FFT
```

```
  integer :: nom
```

```
  integer :: Long,lar ,PosX,PosY,Dist ,rayon
```

```
  character (len=10) :: file_name
```

```
  !-----
  ! Construction d'une fente rectangulaire finie.
  !-----
```

```
  nom      = 1          ! Code de la fente
```

```
  a        = (0.,0.)    ! Initialisation à Zero
```

```
  PosX     = 250        ! Les Valeurs prises par les sousroutines sont de
```

```
  PosY     = 250        ! Les Valeurs prises par les sousroutines sont de
```

```
  Dist     = 0.2e-2/dx  ! Les Valeurs prises par les sousroutines sont de
```

```
  Long     = 0.56e-3/dx ! Les Valeurs prises par les sousroutines sont de
```

```
  Lar      = 3*Long     ! Les Valeurs prises par les sousroutines sont de
```

```
  ! Creation des deux fentes à partir des dimensions données
```

```
  call fente (a,N,PosX, PosY,Long,Lar)
```

```
  ! Calcul et enregistrement des données.
```

```
  FFT = a
```

```
  call cfft2(FFT,n)
```

```
  write (file_name, '(' file ',i0, '.data ') ") nom
```

```
  call data(a,FFT,N,file_name)
```

```
  !-----
  ! Construction de deux fentes rectangulaires finies.
  !-----
```

```
  nom      = nom + 1    ! Code de la fente
```

```
  a        = (0.,0.)    ! Initialisation à Zero
```

```

PosX      = 250          ! Les Valeurs sont des entiers
PosY      = 250          ! Les Valeurs sont des entiers
Dist      = 0.2e-2/dx    ! Les Valeurs sont des entiers
Long      = 0.5e-3/dx    ! Les Valeurs sont des entiers
Lar       = 4*Long       ! Les Valeurs sont des entiers

! Creation des deux fentes à partir des dimensions données
call fente (a,N,PosX, PosY,Long,Lar)          ! Fente Gauche
call fente (a,N,PosX + Dist, PosY,Long,Lar) ! Fente Droite

! Calcul et enregistrement des données.
FFT = a
call cfft2 (FFT,n)

write (file_name, '(' file ', i0, '.data ') ") nom

call data(a,FFT,N,file_name)

!-----
! Construction de deux fentes rectangulaires infinies.
!-----

nom      = nom + 1      ! Code de la fente
a        = (0.,0.)      ! Initialisation à Zero
PosX     = 250          ! Les Valeurs sont des entiers
PosY     = 1            ! Les Valeurs sont des entiers
Dist     = 0.2e-2/dx    ! Les Valeurs sont des entiers
Long     = 0.5e-3/dx    ! Les Valeurs sont des entiers
Lar      = 499          ! Les Valeurs sont des entiers

! Creation des deux fentes à partir des dimensions données
call fente (a,N,PosX, PosY,Long,Lar)          ! Fente Gauche
call fente (a,N,PosX + Dist, PosY,Long,Lar) ! Fente Droite

! Calcul et enregistrement des données.
FFT = a
call cfft2 (FFT,n)

write (file_name, '(' file ', i0, '.data ') ") nom

```

```

call data(a,FFT,N,file_name)

!-----
!  Construction d'un reseau de fentes rectangulaires infinies.
!-----

nom      = nom + 1      ! Code du reseau
a        = (0.,0.)      ! Initialisation à Zero
PosX     = 250          ! Les Valeurs sont des entiers
PosY     = 1            ! Les Valeurs sont des entiers
Dist     = 0.1e-1/dx    ! Les Valeurs sont des entiers
Long     = 0.5e-3/dx    ! Les Valeurs sont des entiers
Lar      = 499          ! Les Valeurs sont des entiers

call reseau(a,N,PosX, PosY,Long,Lar,Dist)

! Calcul et enregistrement des données.
FFT = a
call cfft2(FFT,n)

write (file_name, "( 'file ',i0, '.data' ) ") nom

call data(a,FFT,N,file_name)

!-----
!  Construction d'un reseau de fentes rectangulaires finies.
!-----

nom      = nom + 1      ! Code du reseau
a        = (0.,0.)      ! Initialisation à Zero
PosX     = 250          ! Les Valeurs sont des entiers
PosY     = 225          ! Les Valeurs sont des entiers
Dist     = 0.1e-1/dx    ! Les Valeurs sont des entiers
Long     = 0.5e-3/dx    ! Les Valeurs sont des entiers
Lar      = Long*4       ! Les Valeurs sont des entiers

call reseau(a,N,PosX, PosY,Long,Lar,Dist)

```

```

! Calcul et enregistrement des données.
FFT = a
call cfft2(FFT,n)

write (file_name, '( ' file ', i0 , '.data ' ) ) nom

call data(a,FFT,N,file_name)

!-----
! Construction d'une fente circulaire.
!-----

nom      = nom + 1      ! Code du reseau
a        = (0.,0.)      ! Initialisation à Zero
PosX     = 250          ! Les Valeurs sont des entiers
PosY     = 250          ! Les Valeurs sont des entiers
Dist     = 0.1e-1/dx    ! Les Valeurs sont des entiers
Long     = 5            ! Les Valeurs sont des entiers
Lar      = 20           ! Les Valeurs sont des entiers
rayon    = 0.2e-2/dx    ! Les Valeurs sont des entiers

call cercle(a,N,PosX, PosY,rayon)

! Calcul et enregistrement des données.
FFT = a
call cfft2(FFT,n)

write (file_name, '( ' file ', i0 , '.data ' ) ) nom

call data(a,FFT,N,file_name)

!-----
! Construction d'un reseau 2D de fentes circulaires.
!-----

nom      = nom + 1      ! Code du reseau
a        = (0.,0.)      ! Initialisation à Zero
PosX     = 50           ! Les Valeurs sont des entiers
PosY     = 50           ! Les Valeurs sont des entiers
Dist     = 0.1e-1/dx    ! Les Valeurs sont des entiers

```

```

Long      = 5           ! Les Valeurs sont des entiers
Lar       = 20          ! Les Valeurs sont des entiers
rayon     = 0.5e-3/dx   ! Les Valeurs sont des entiers

call ReseauRond(a,N,PosX, PosY, rayon, dist)

! Calcul et enregistrement des données.
FFT = a
call cfft2(FFT,n)

write (file_name, "( 'file ',i0, '.data' ) ") nom

call data(a,FFT,N,file_name)

!-----
! Construction d'un reseau 2D de fentes rectangulaires.
!-----

nom       = nom + 1     ! Code du reseau
a         = (0.,0.)     ! Initialisation à Zero
PosX      = 20          ! Les Valeurs sont des entiers
PosY      = 1           ! Les Valeurs sont des entiers
Dist      = 5e-3/dx     ! Les Valeurs sont des entiers
Long      = 0.56e-3/dx  ! Les Valeurs sont des entiers
Lar       = 3*Long      ! Les Valeurs sont des entiers

call RedSQR(a,N,PosX, PosY, Long, Lar, Dist)

! Calcul et enregistrement des données.
FFT = a
call cfft2(FFT,n)

write (file_name, "( 'file ',i0, '.data' ) ") nom

call data(a,FFT,N,file_name)

end program g

```

2.2 Étude graphique de la fente rectangulaire (figure : 6)

Cette partie vise à donner un aperçu quantitatif du cas le plus simple du principe de diffraction de Fraunhofer. Nous allons mettre en évidence la théorie mathématique derrière la diffraction de Fraunhofer. Pour ce faire on va mesurer la deuxième interfrange de la figure de diffraction et en déduire les dimensions de la fente. L'intensité lumineuse est le module au carré de l'amplitude définie à partir de la transformée de Fourier de la fonction de transparence. Donc on a cherché à créer des images représentant le produit de convolution entre deux fonctions porte formant une fente rectangulaire en 2D (figure 6). Car la théorie double transformée de Fourier donnant une multiplication de deux sinus cardinaux nous permettrait de déduire les dimensions de la fente. On a effectué les mesures dans les deux directions pour des fentes de dimensions différentes et les résultats obtenus seront montrés dans les résultats qui suivent.

2.2.1 Résultats

Ce qu'on observe sur l'écran est le produit de deux sinus cardinal au carré suivant les deux axes. Les minima de ces derniers dépendent des dimensions de la fente (a et b) de la distance focale f et de la longueur d'onde. En particulier la deuxième interfrange est définie tel que : $i_x = \frac{\lambda * f}{a}$, où a est la dimension de la fente dans la direction où i a été considérée (Ceci s'applique de façon analogique à la direction selon l'axe y). La double transformée de Fourier donne le contenu en fréquences spatiales du « signal » en x,y.

Étant donné qu'on a rencontré des problèmes d'affichage sur Gnuplot on doit effectuer le calcul d'un facteur d'agrandissement dans les deux directions.

Donc pour effectuer le calibrage on effectue l'étude graphique d'une fente de dimensions : a = 1mm et b = 3mm

Donc la définition des facteurs est :

$$\begin{cases} g_x = \frac{a}{\lambda f} & AN : g_x \approx 46.2 \\ g_y = \frac{b}{\lambda f} & AN : g_y \approx 27.7 \end{cases}$$

La tolérance sur ces coefficients est de 0.1%.

En revenant sur l'étude de la fente qui nous intéresse (voir les figures 4 et 5) : Les dimensions de la fente sont : a = 0.56mm et b = 3*0.56mm) Les mesures nous permettent de trouver :

$$\begin{cases} a \approx g_x * \frac{\lambda f}{i_x} & AN : a \approx 0.55mm \\ b \approx g_y * \frac{\lambda f}{i_y} & AN : b \approx 1.4mm \end{cases}$$

L'erreur sur ces dimensions est de 1.5% et de 20% respectivement.

On déduit qu'il faudrait augmenter n pour être plus précis sur le calcul de ces grandeurs. Cependant ceci entraînerait un temps de calcul beaucoup plus long.

2.2.2 Conclusion

En tenant compte des incertitudes, le résultat expérimentale est assez proche du résultat théorique. Cette petite différence peut en effet être due à la taille finie de la matrice et donc à la représentation de la fente dans l'algorithme calcul. Une mesure de la dimension de la fente est également adjointe en annexes (voir figure 3). Cette première manipulation consistant à une initiation à la diffraction de Fraunhofer nous présente donc une concordance suffisamment satisfaisante entre la théorie mathématique et ce que nous pouvons apprécier sur l'écran.

3 Étude qualitative

Description : On se propose d'effectuer la comparaison entre les simulations et des figures de diffraction connues.

On va attribuer des chiffres entiers de référence pour identifier les différents types de fentes : Table 1.

3.1 Fentes Infinies(figure : 8)

Par simulation, on voit que la figure de diffraction d'une fente infinie suivant Y est selon X . En effet, dans la direction Y , il n'y a pas de terme de diffraction. On retrouve ce phénomène lorsque l'on place un cheveu ou un fil dans la direction d'une source de lumière cohérente comme un laser.

Plus la fente est large plus est petite. Sur un écran de projection située à quelques mètres, on constate que la tâche quasi-ponctuelle formée par le faisceau, en l'absence d'obstacle, s'élargit perpendiculairement à la fente lorsque celle-ci se rétrécit. De plus, l'éclairement de l'écran n'est pas uniforme : autour de la tâche centrale, ils s'existent des tâches secondaires, moins larges et moins lumineuses.

En conclusion si les lois de propagation rectiligne étaient vérifiées, la tâche serait plus fine dans la direction perpendiculaire à la fente : la tentative de limitation du

faisceau a en fait abouti à un résultat opposé. En revanche, dans la direction de la fente, on n'observe aucun élargissement.

3.2 Fente circulaire(figure : 11)

Dans le cas circulaire, vu que l'ouverture est invariante par rotation autour de son centre, il est donc évident de trouver une figure de diffraction formée d'anneaux. En outre, la figure de diffraction est centrée sur l'image géométrique de la source sachant que l'essentiel de la lumière est concentré sur le disque central. La figure de diffraction obtenue a la symétrie de révolution : elle se compose d'anneaux concentriques alternativement sombres et brillants, entourant une tache centrale beaucoup plus brillante, qui porte le nom de Tache d'Airy. La figure présente une symétrie de révolution et prend donc la forme d'une tache brillante auréolée de cercles concentriques de plus faible luminosité. La tâche d'Airy(M) est la figure de diffraction résultant de la traversée d'un trou circulaire par la lumière. On parle de tache d'Airy dans le cas des systèmes optiques pour qualifier la meilleure image possible d'un point source par ce système. Un système dont la réponse impulsionnelle donne une tache d'Airy est dit Système limité par la diffraction. L'étalement du pic central et les anneaux sont provoqués par la nature ondulatoire de la lumière.

3.3 Réseau de fentes(figure : 9)

La diffraction par réseau de fentes est très importante et très utilisée en spectroscopie. Un réseau est constitué de N fentes de largeur « d » espacées entre elle avec une distance « c » dans le plan xOy . Chaque fente d'indice « n » a une amplitude $A_n(x,y)$. L'intensité dépend a la foi de l'amplitude diffracté par chaque fente et aussi de la distance « c » séparant deux fentes successive [6].

3.4 Réseau 2D de fentes rectangulaires(figure : 13)

Dans le cas d'un réseau de fentes rectangulaires nous observons les mêmes phénomènes que la fente rectangulaire cité haut, par contre l'action se multiplie du fait de la présence de plusieurs rectangles qui intensifient leurs effets et la taches centrale est plus accentuée et plus visibles.

3.5 Réseau 2D de fentes circulaires(figure : 12)

De manière générale, la diffraction à l'infini par un ensemble de NN motifs diffractant se décrit comme le produit d'un terme de diffraction qui module un terme d'interférence. La position des pics d'interférence donne un renseignement sur la disposition des motifs diffractant alors que la modulation des pics donne un renseignement sur

le motif diffractant. Cette propriété est générale. Par exemple, en radiocristallographie où l'on étudie la structure des cristaux par diffraction des rayons X, la position des pics de diffraction permet de remonter à la symétrie cristalline alors que la modulation des pics donne un renseignement sur le motif moléculaire (notamment son numéro atomique). Comme on vient de le voir, la répartition de l'intensité lumineuse correspond à la tache de diffraction par un trou (une tache circulaire entourée d'anneaux) modulée par le carré du facteur d'interférence.

Conclusion

Dans ce projet numérique, on a traité l'un des sujets de l'optique en se focalisant sur l'un des cas de diffraction, intitulé « l'étude de la diffraction à l'infinie », Autrement dit ; Étude de la diffraction de Fraunhofer. Afin de réaliser la partie numérique du travail, on a donc utilisé l'un des langages de programmation le plus fréquenté dans le domaine de la physique qui est le Fortran 95. A base des codes implémentés en Fortran, on a pu tracer plusieurs géométries de fentes ainsi que leurs diffractions à l'aide d'un algorithme (la cfft) calculant la double transformation de Fourier qui nous a permis de calculer le coefficient de transmission, sachant que le module au carré donne l'intensité du rayonnement diffracté suivant les coordonnées x et y . Dans le but d'éviter les déphasages, on a introduit le facteur de phase. Grâce à nos résultats obtenus via la simulation numérique (l'ensemble de programmes, les tracés des fentes et leurs diffractions) qu'on a rapporté dans ce travail ; nous ont permis de retrouver les résultats expérimentaux présentés dans la partie théorique.

En effet, on constate que :

1. L'éclairement est maximal au point M situé sur le rayon lumineux non dévié.
2. L'essentiel de l'énergie lumineuse est concentré dans la frange centrale de diffraction.
3. Les franges secondaires de diffraction sont deux fois moins larges que la frange centrale et beaucoup moins lumineuses.
4. Le phénomène de diffraction est plus marqué par la direction où la fente est plus étroite.
5. La diffraction par fente circulaire est caractérisée par un point lumineux appelé la tâche d'Airy.
6. La diffraction par plusieurs fentes donne un phénomène d'interférence entre les différentes ondes diffractées.
7. La figure de diffraction dépend de la distance entre les fentes et de leur géométrie.
8. Le phénomène de diffraction est d'autant plus intense que la dimension de l'objet diffractant est faible.

On conclut, que la diffraction de Fraunhofer peut être facilement étudiée par la simulation numérique telle que ; l'amplitude de l'onde diffractée soit calculée par une double transformée de Fourier. L'intensité lumineuse est le module au carré de l'amplitude. Pour adapter à chaque fois notre programme à la géométrie de la fente, cette dernière intervient dans l'expression de la transmission notée « a » qu'on change suivant le cas traité.

Références

- [1] Principe d'Huygens-Fresnel : Diffraction.
- [2] Diffraction de Fraunhofer.
- [3] GitHub page, M1 - UE Physique Numérique, TPs et Projet.
- [4] CONIL Emmanuelle. *Propagation electromagnetique en milieu complexe :du champ proche au champ lointain, On these de Doctorat INP Grenoble*. 2005.
- [5] Joseph Von Fraunhofer. *In The Wave Theory, Light and Spectra. Prismatic and Diffraction Spectra*. 1981. Memoirs.
- [6] BOUYRIE Guy. Interferences et diffractions. l'arpenteur du web.

4 Annexes

4.1 calibration

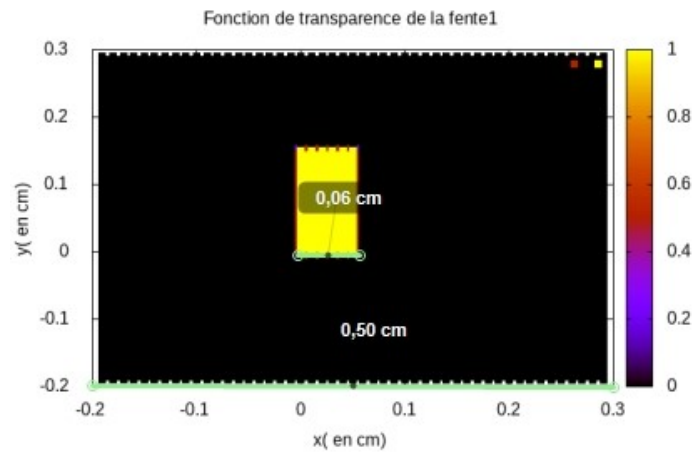


FIGURE 3 – Analyse graphique des dimensions de la fente $i=1$ avec une épaisseur de 1mm et une hauteur de 1.68mm.

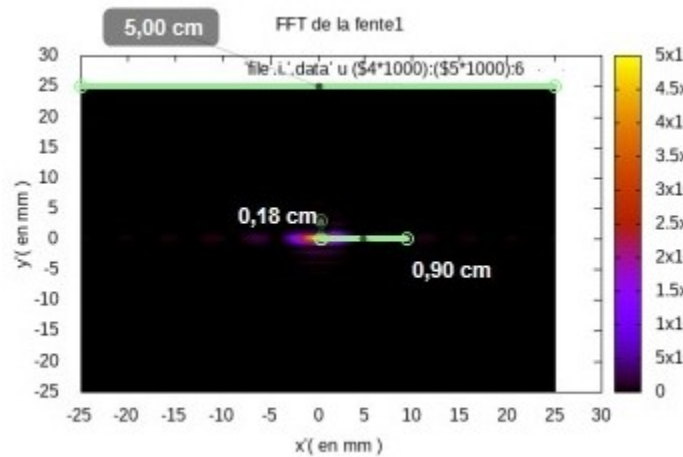


FIGURE 4 – Analyse graphique de la figure de diffraction pour la fente $i=1$ avec des dimensions de (1mm*3mm).

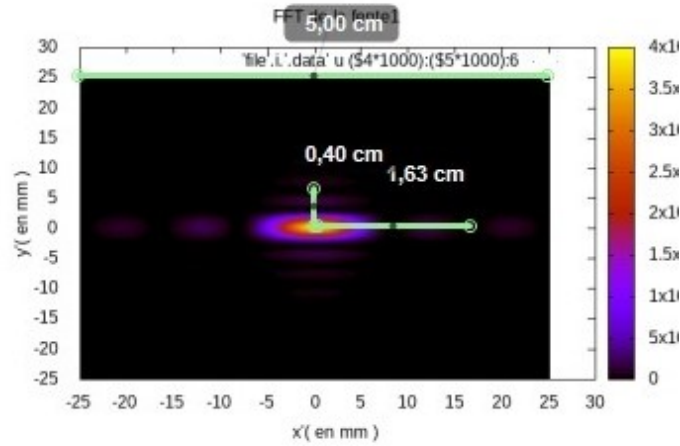


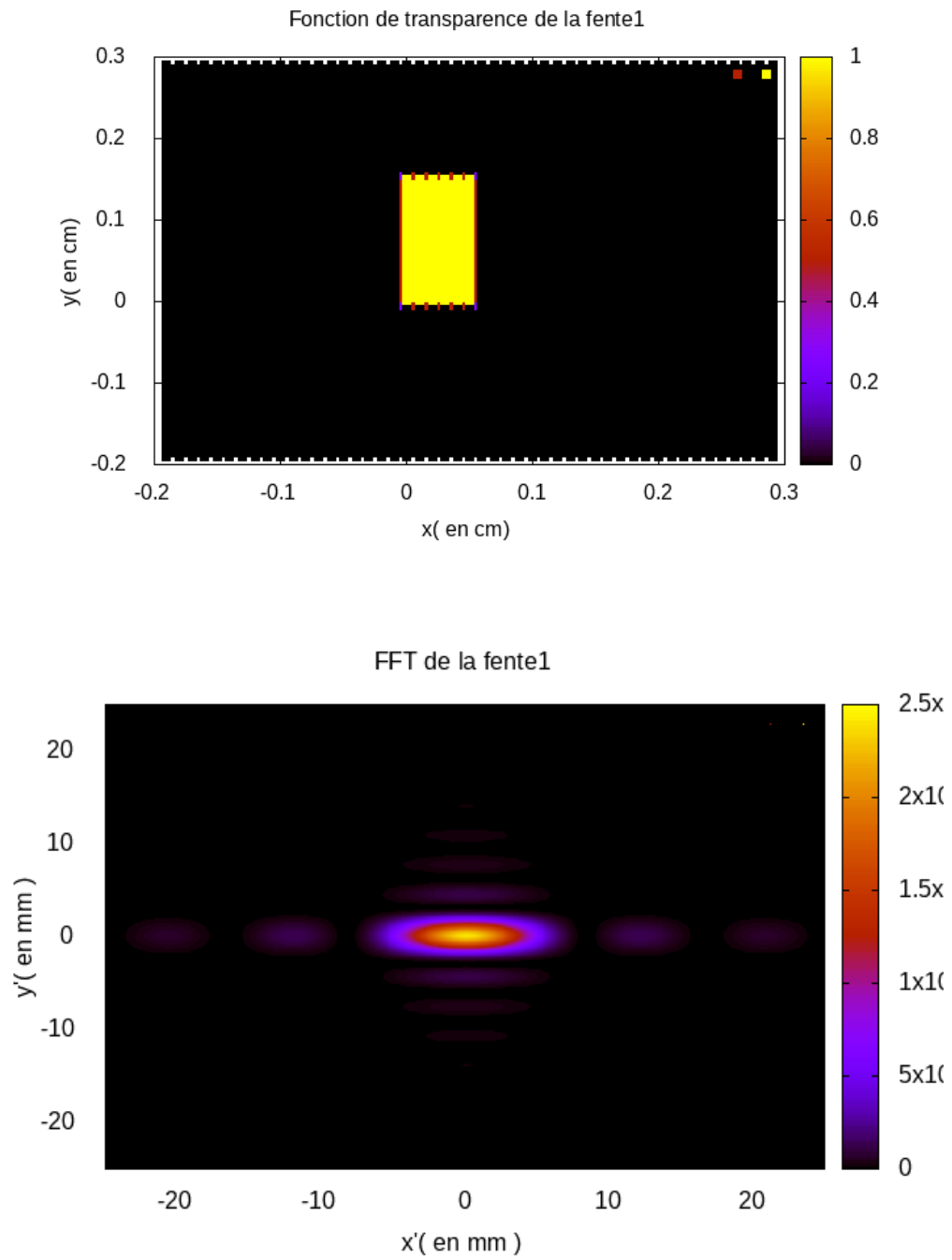
FIGURE 5 – Analyse graphique de la figure de diffraction pour la fente i=1 avec des dimensions de (0.56mm*1.68mm).

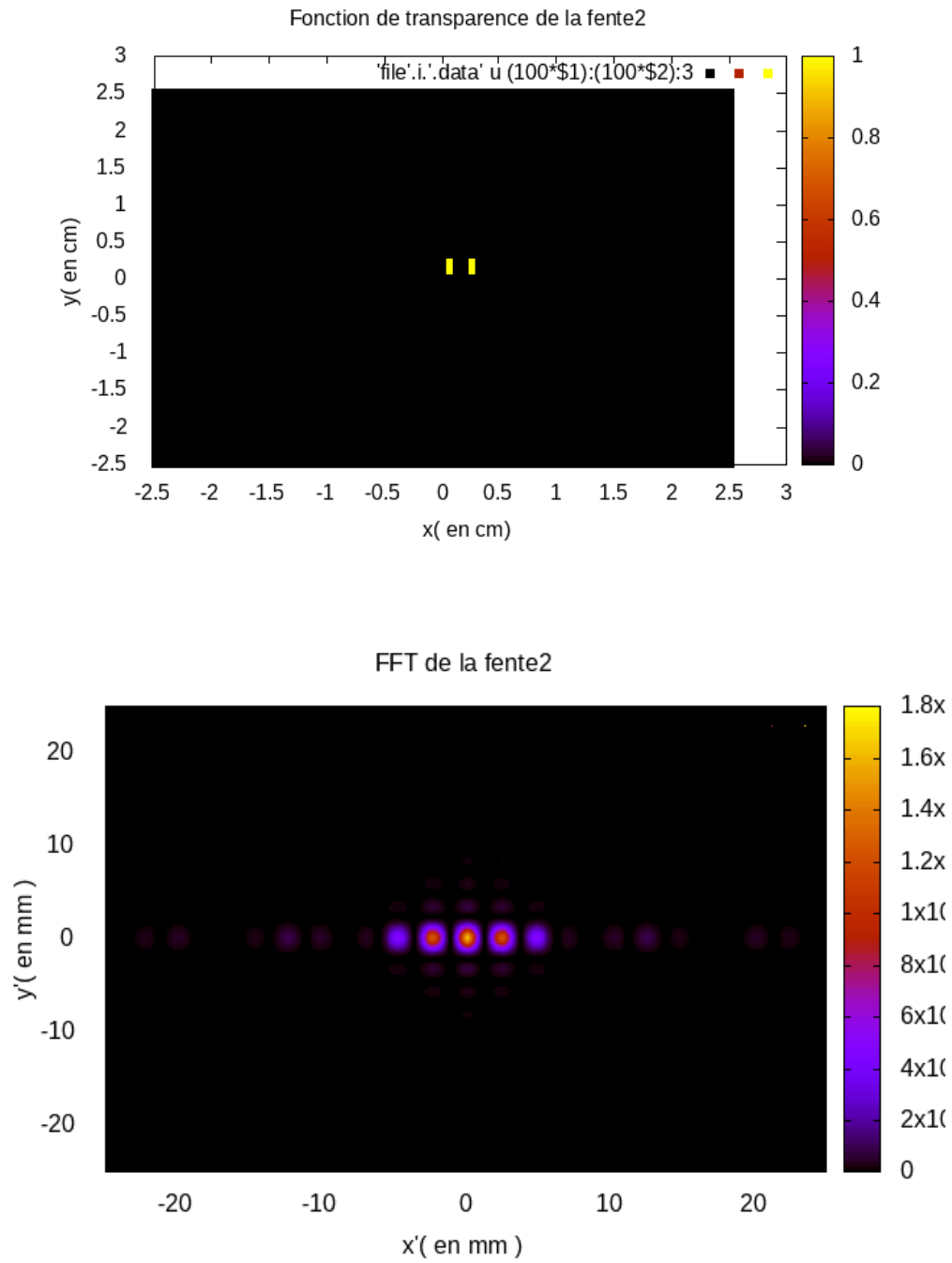
4.2 Images

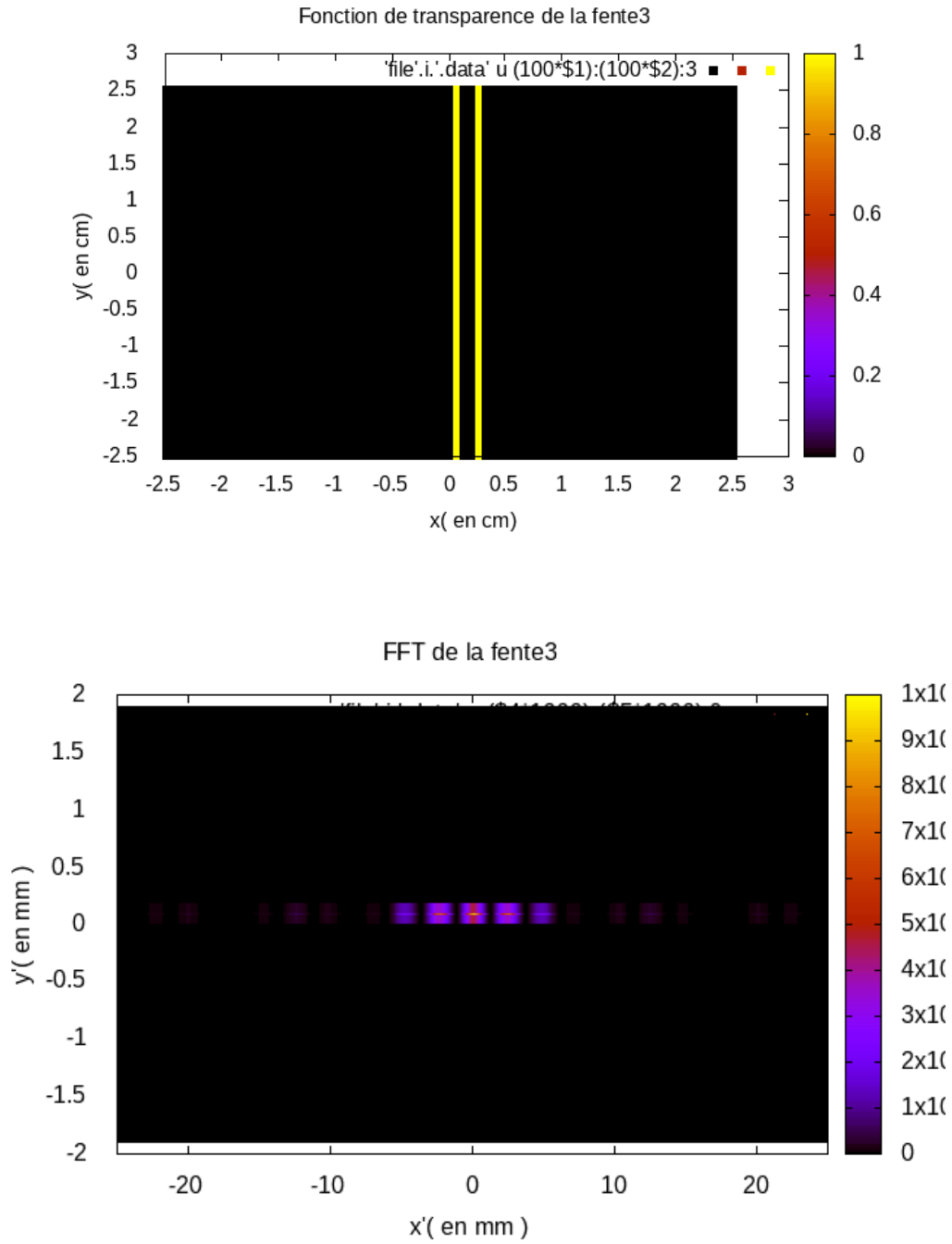
Description : Dans cette partie on annexe les graphiques créés. Un tableau résume l'ensemble des simulations traités.

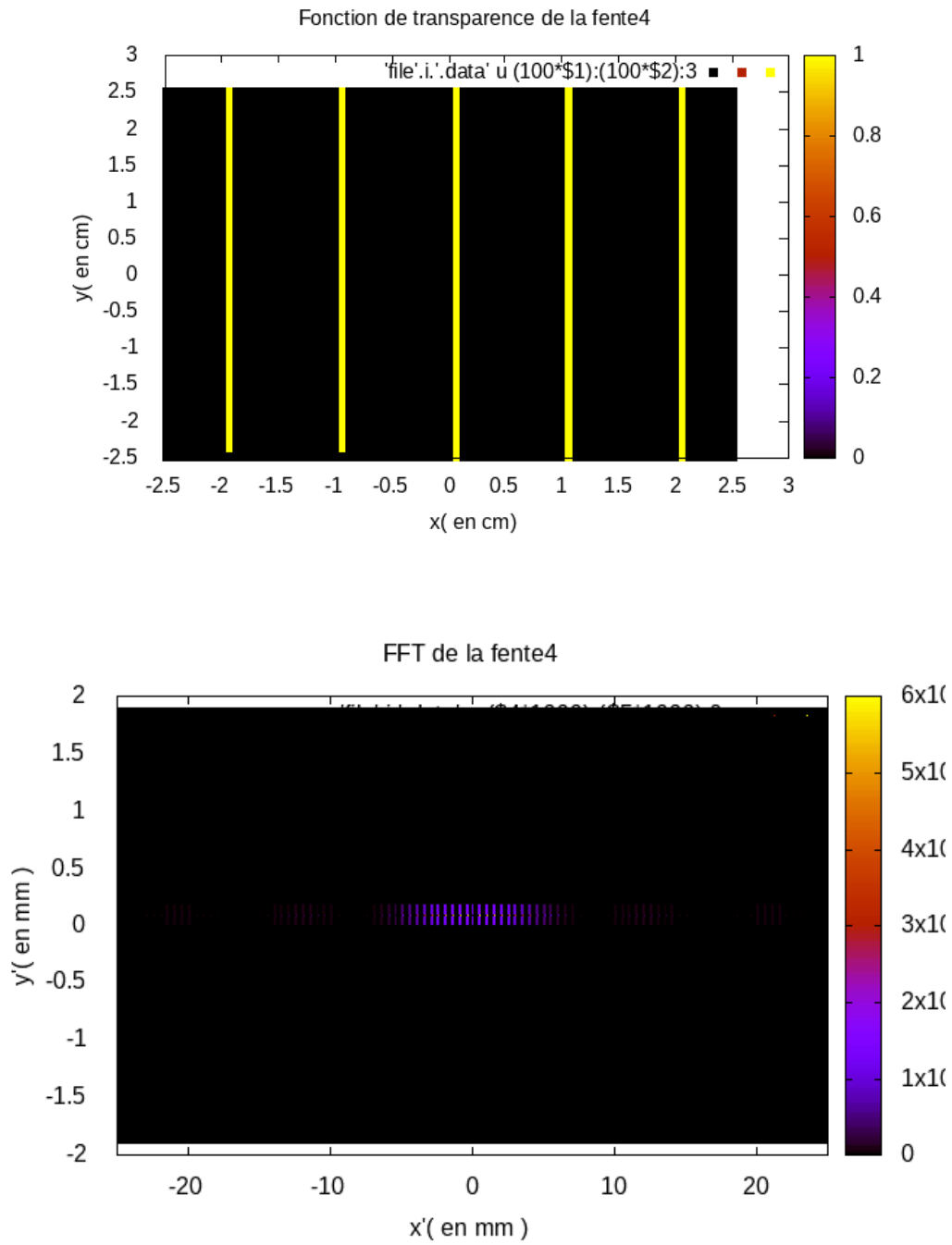
TABLE 1 – Tableau de propriétés des fentes

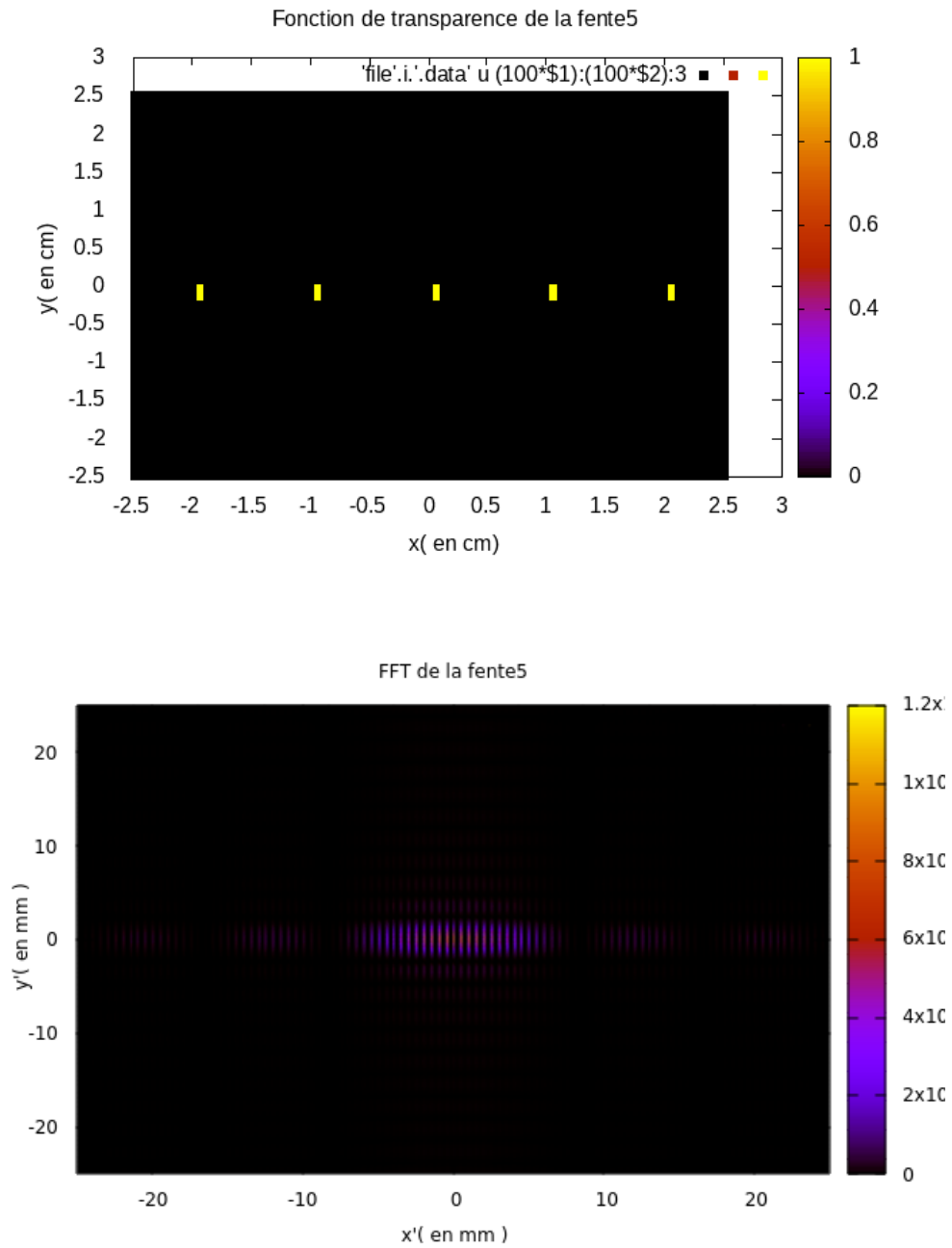
| Fente id entier attribué | Type de fente nom | propriétés de la fente taille du dispositif : |
|-----------------------------|--|--|
| 1 | fente rectangulaire finie | taille : 0.56*1.68mm |
| 2 | deux fentes rectangulaires finies | taille : 0.5*2mm séparés de : 2mm |
| 3 | deux fentes rectangulaires infinies | taille : 50*2mm séparés de : 2mm |
| 4 | réseau de fentes rectangulaires infinies | taille : 50*2mm séparés de : 2mm |
| 5 | réseau de fentes rectangulaires finies | taille : 0.5*2mm séparés de : 2mm |
| 6 | fente circulaire | rayon : 2mm |
| 7 | réseau 2D de fentes circulaires | rayon : 0.5mm séparés de : 10mm |
| 8 | réseau 2D de fentes rectangulaires | taille : 0.56*1.68mm séparés de : 5mm |

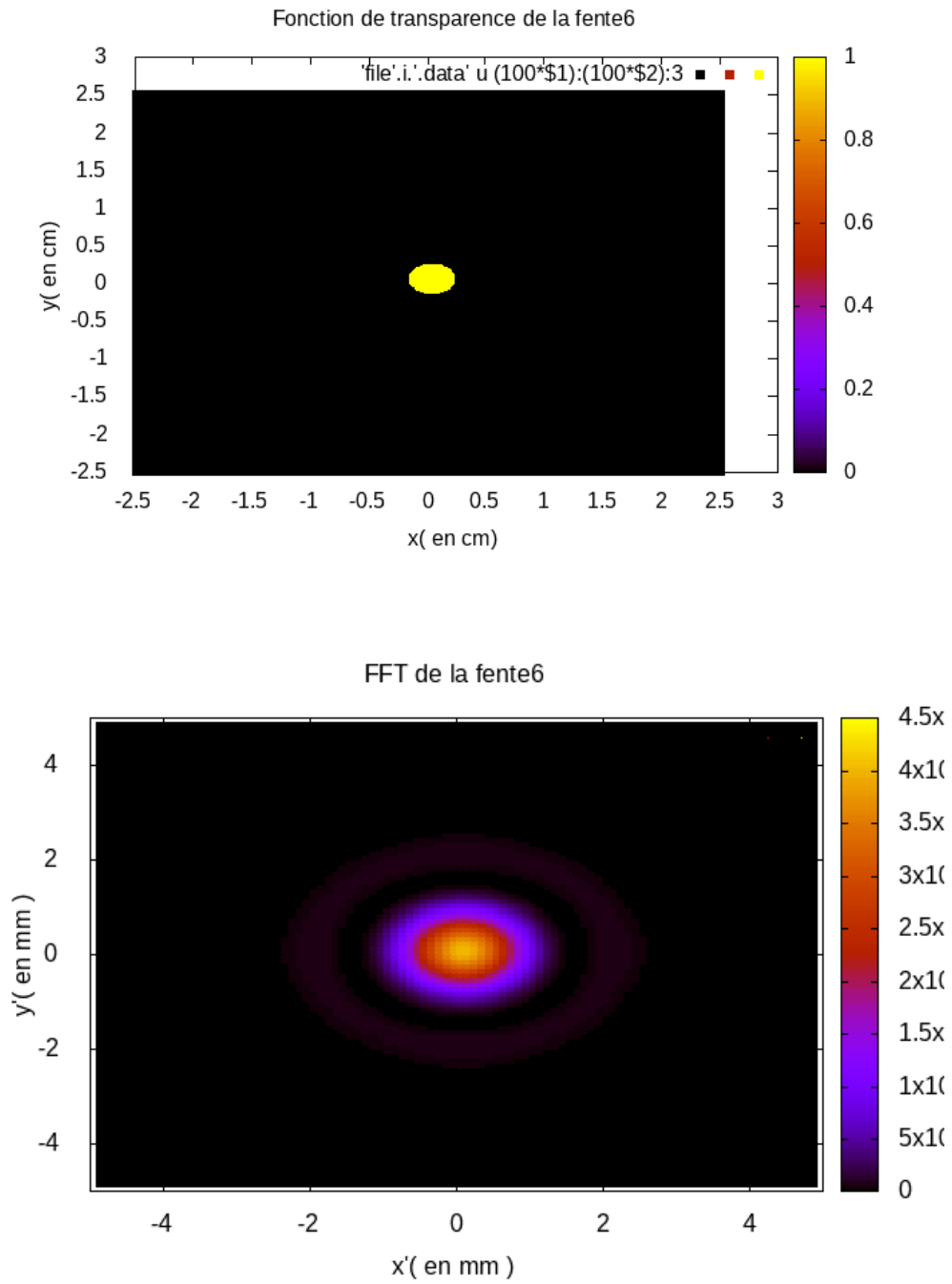
FIGURE 6 – Fonction de transparence et figure de diffraction pour la fente $i=1$.

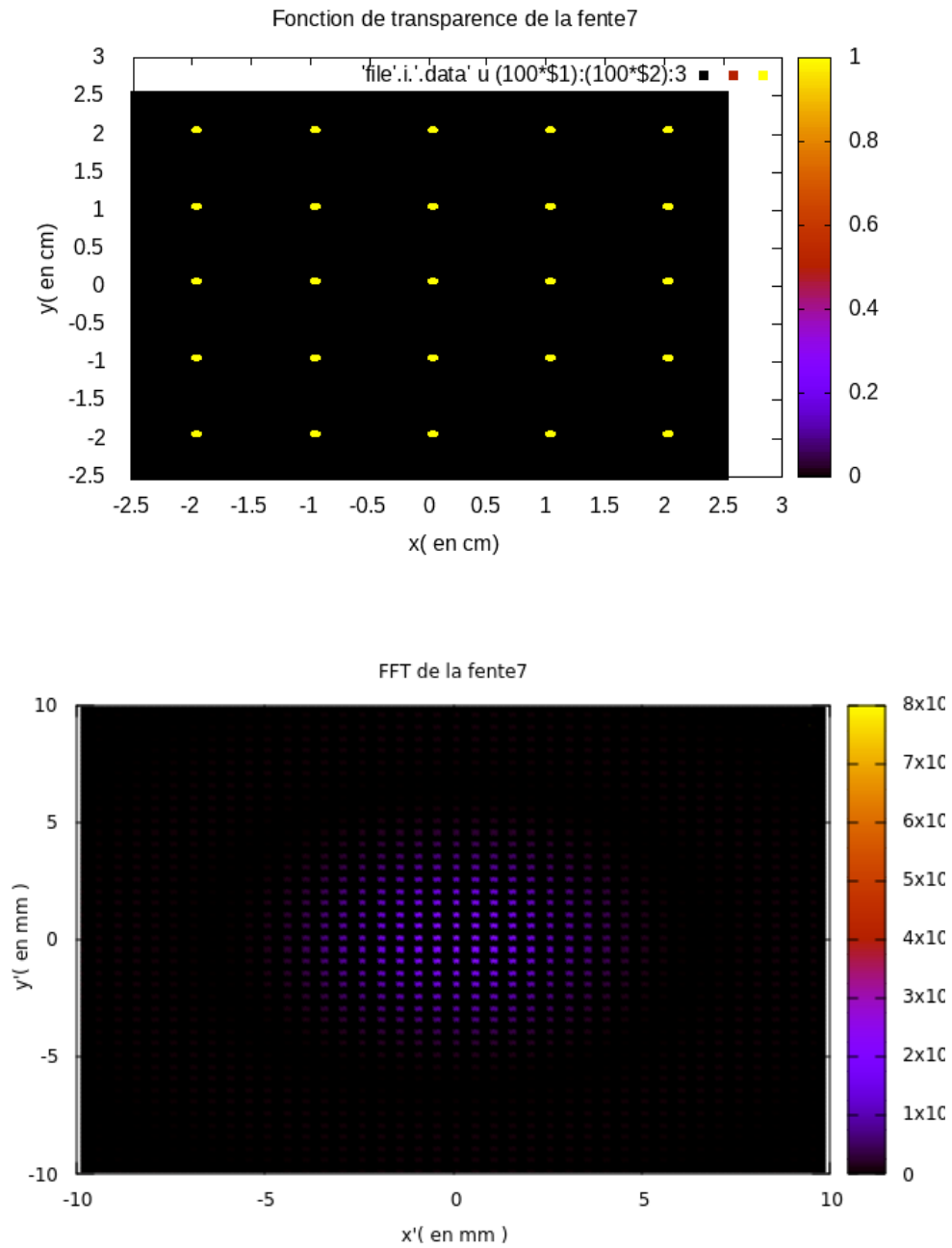
FIGURE 7 – Fonction de transparence et figure de diffraction pour la fente $i=2$.

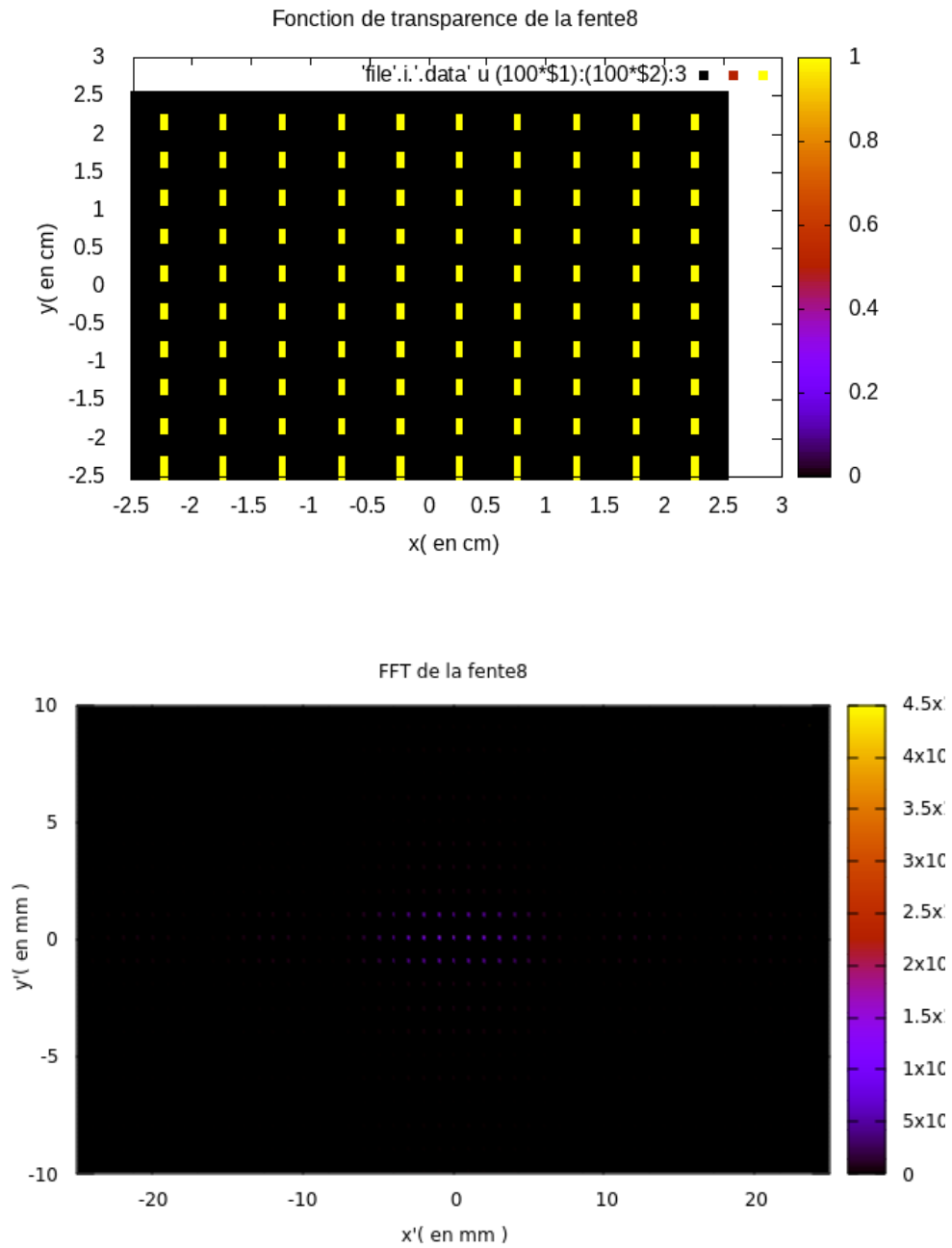
FIGURE 8 – Fonction de transparence et figure de diffraction pour la fente $i=3$.

FIGURE 9 – Fonction de transparence et figure de diffraction pour la fente $i=4$.

FIGURE 10 – Fonction de transparence et figure de diffraction pour la fente $i=5$.

FIGURE 11 – Fonction de transparence et figure de diffraction pour la fente $i=6$.

FIGURE 12 – Fonction de transparence et figure de diffraction pour la fente $i=7$.

FIGURE 13 – Fonction de transparence et figure de diffraction pour la fente $i=8$.