

Diffraction

(Version 0.7)

(Calcul d'images obtenues par diffraction d'ondes planes sur des diaphragmes définis au moyen d'images bitmap.)

Leblanc Christophe, décembre 2011

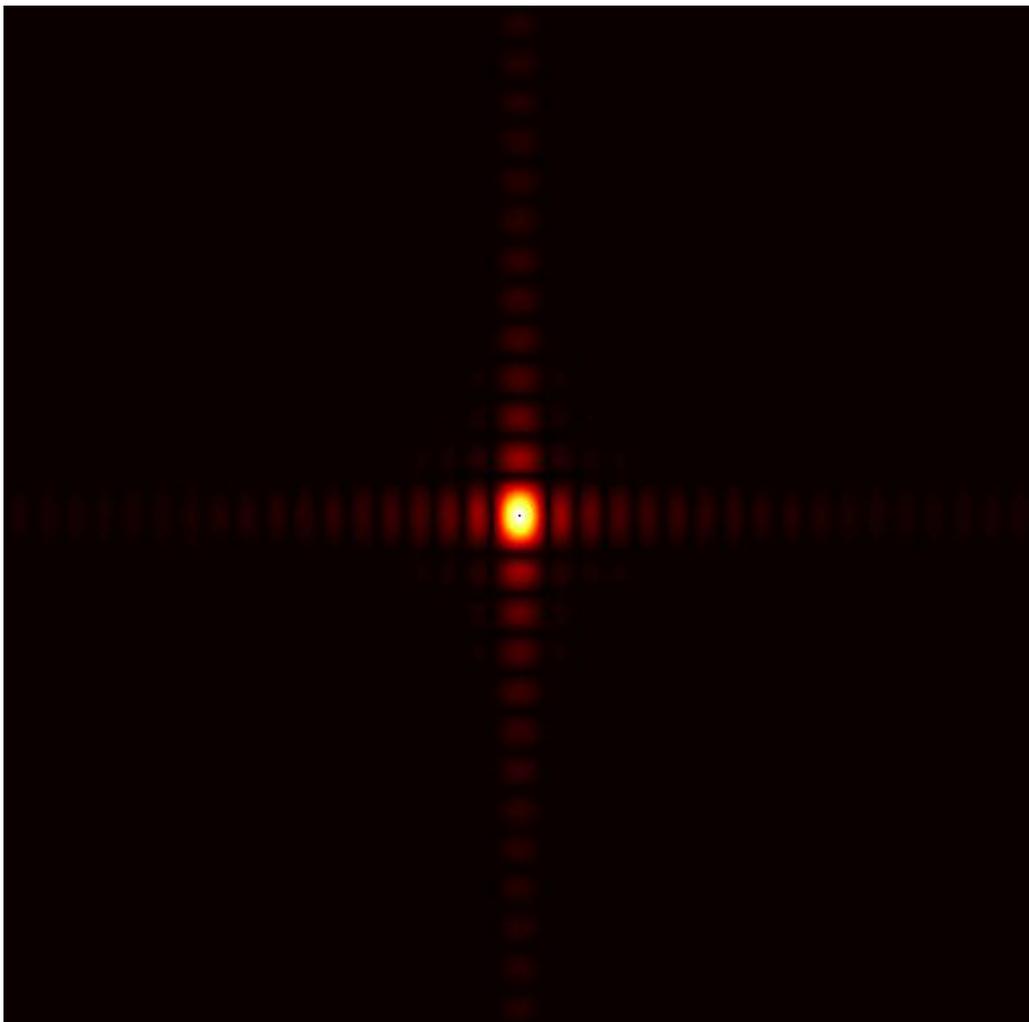


Table des matières

1. Que fait le programme « diffraction.exe » ?	3
2. Comment utiliser le programme « diffraction.exe » ?	5
3. Licence	10
4. Bibliographie.....	12

1. Que fait le programme « diffraction.exe » ?

Ce programme calcule l'image obtenue par diffraction d'une onde plane sur un diaphragme (structure diffractante), dans le cadre de l'approximation de Fraunhofer ([1]). Plus précisément, ce programme donne l'intensité de l'onde diffractée. Par exemple, l'image obtenue en tête de ce document est l'image par diffraction au travers d'un diaphragme muni d'un trou rectangulaire.

La figure (1) montre la situation qui est considérée : une onde plane de longueur d'onde λ se diffracte sur une structure diffractante plane donnée (le diaphragme¹) et on cherche à calculer le champ diffracté sur un plan situé à une distance z du diaphragme.

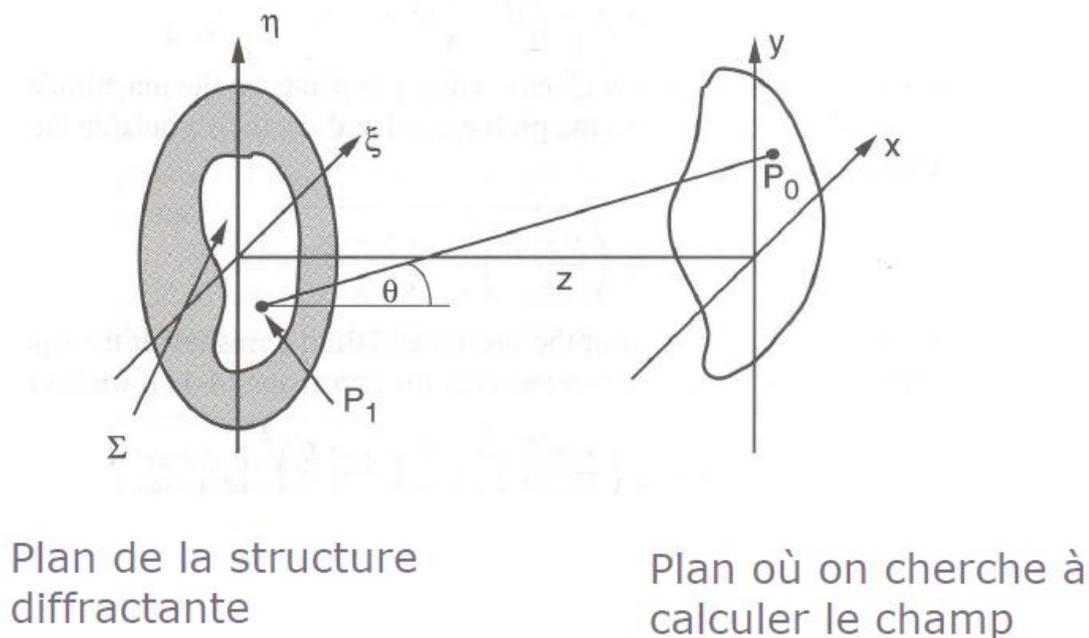


Figure 1 : représentation de la situation considérée. (Figure provenant de [1].)

¹ On verra plus loin comment définir ce diaphragme.

Dans le cadre de l'approximation de Fraunhofer, la forme de l'onde $u(x, y)$ diffractée au point $P_0 = (x, y)$ est donnée par (voir aussi [1]):

$$U(x, y) = \frac{e^{i k z}}{i \lambda z} e^{\frac{i k}{2 z}(x^2+y^2)} \int_{\Sigma} U(\varepsilon, \eta) e^{-\frac{i 2 \pi}{\lambda z}(x \varepsilon+y \eta)} d\varepsilon d\eta$$

Avec $k = 2\pi/\lambda$, $U(\varepsilon, \eta)$ est l'onde plane au niveau du diaphragme, juste avant diffraction, et Σ le « trou » dans le plan de diffraction (diaphragme) qui permet à l'onde plane de passer.

Cette approximation est valide moyennant la condition suivante :

$$z \gg \max_{(\varepsilon, \eta)} \frac{k(\varepsilon^2 + \eta^2)}{2}$$

En pratique, celle-ci est valide pour des distances z « longues » ou dans le plan focal d'une lentille.

Le programme « diffraction.exe » calcule l'image par diffraction d'une onde plane sur un diaphragme au moyen de l'intégrale ci-dessus et donc moyennant l'approximation décrite ci-dessus. On peut reconnaître dans cette intégrale une transformée de Fourier de l'onde plane au niveau du diaphragme. Numériquement, une transformée de Fourier se calcule au moyen d'une FFT (*Fast Fourier Transform*) [2], procédure particulièrement rapide et efficace, puisque s'effectuant en un temps proportionnel à $(n \log(n))$, où 'n' est la longueur du vecteur dont il faut calculer la transformée.

2. Comment utiliser le programme « diffraction.exe » ?

- i. Premièrement il faut définir le diaphragme. Cela se fait au moyen d'une image bitmap². Ouvrez votre éditeur d'image préféré (comme « *Paint* ») et assurez-vous que le fond soit blanc. Le blanc représente le plan de diffraction « sans trou », c'est-à-dire que tout pixel blanc dans l'image sera considéré comme un point de la surface absorbant complètement l'onde plane et ne laissant donc rien passer.
- ii. Il n'est pas intéressant d'avoir une surface qui absorbe tout. Nous allons donc la « trouser ». Pour ce faire, il suffit de changer la couleur de certains pixels en noir. Les pixels noirs sont vus comme des points de la surface laissant passer l'onde plane. Par exemple, à la figure 2 on a dessiné un cercle.
- iii.  **ATTENTION** : le programme « diffraction.exe » ne comprend que les pixels « blancs » et « noirs » (« trou » ou pas « trou »). Les pixels d'autres couleurs dans l'image seront considérés comme « blancs » (pas « trou ») et donc ignorés.
- iv.  **Astuce** : de préférence il vaut mieux dessiner petit. En effet, plus votre dessin sera grand, plus l'image obtenue par diffraction sera petite, et donc moins visible. Cela vient du fait qu'une longueur D dans le plan du diaphragme sera représentée par une longueur proportionnelle à $1/D$ dans le plan $(O; x, y)$ d'observation. Ce fait est inhérent à la théorie de Fourier et ne peut être évité, tout comme le principe d'incertitude

² Cette solution de recourir à un logiciel d'édition graphique extérieur au programme lui confère souplesse et simplicité. La plupart (toutes ?) des personnes utilisant un ordinateur maîtrisent les bases du logiciel « *Paint* ». De plus, cela permet de définir autant de diaphragmes différents et de toutes formes que souhaité. Il est ainsi possible de faire « tester » par des élèves (ou de tester soi-même) différents diaphragmes et de voir et comprendre les figures de diffraction obtenues.

- d'Heisenberg³ qui est lié à cette même théorie. Si le dessin à représenter n'est pas suffisamment petit et ne peut être réduit sans une perte irrémédiable des détails, une astuce consiste alors à agrandir la taille de votre image bitmap, ce qui fera croire au programme que votre dessin est proportionnellement plus petit.
- v. Sauvegardez votre image bitmap en 256 couleurs ou 24 bits⁴.

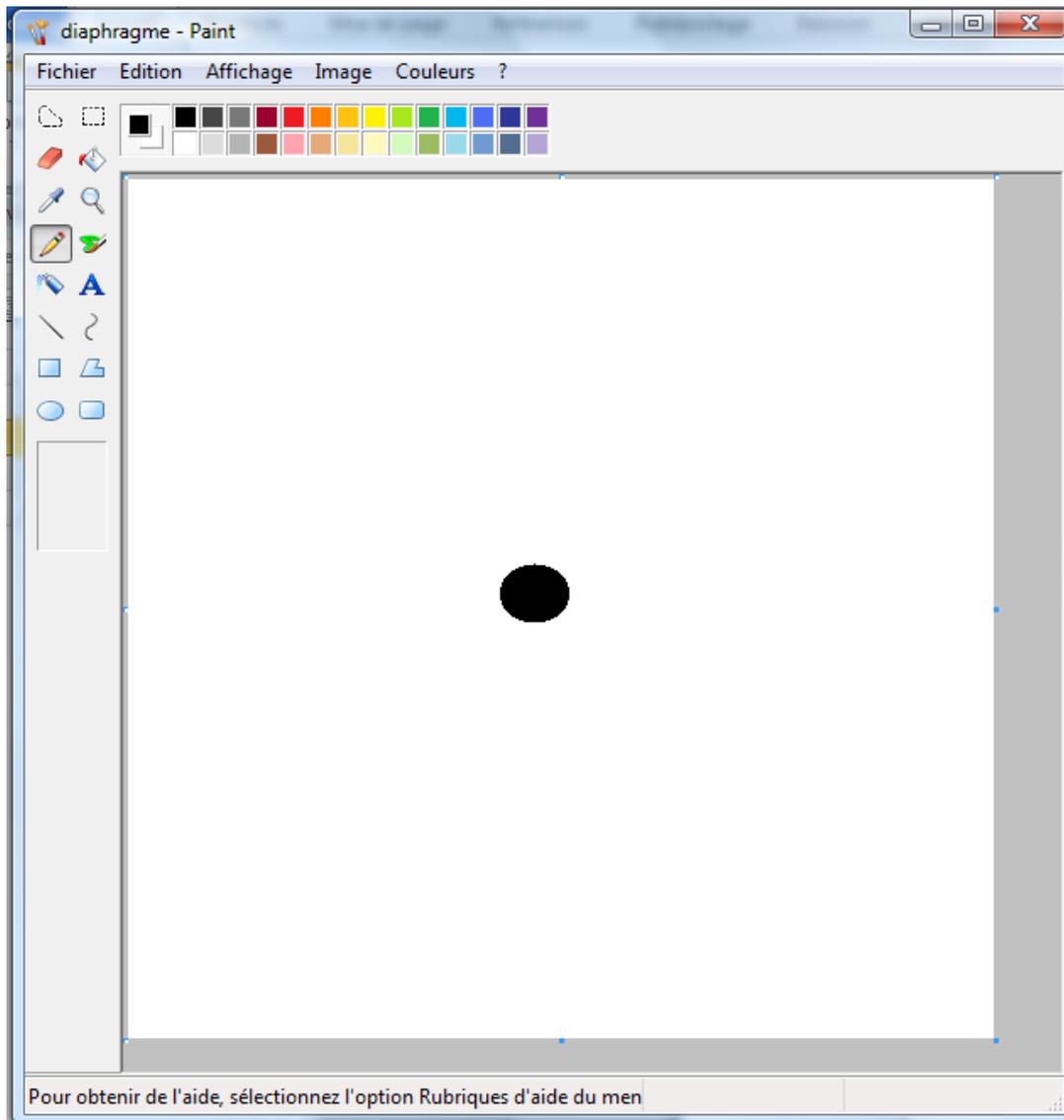


Figure 2 : Définition d'un diaphragme.

³ Mais il s'agit là d'un tout autre sujet...

⁴ Le programme actuel ne prend pas en charge les autres formats.

- vi. Ouvrez le programme « diffraction.exe » et ouvrez le fichier bitmap que vous venez d'enregistrer en cliquant sur « Fichier → Ouvrir » (figure 3).
- vii. Votre diaphragme apparaîtra alors dans la fenêtre du programme (figure 4).

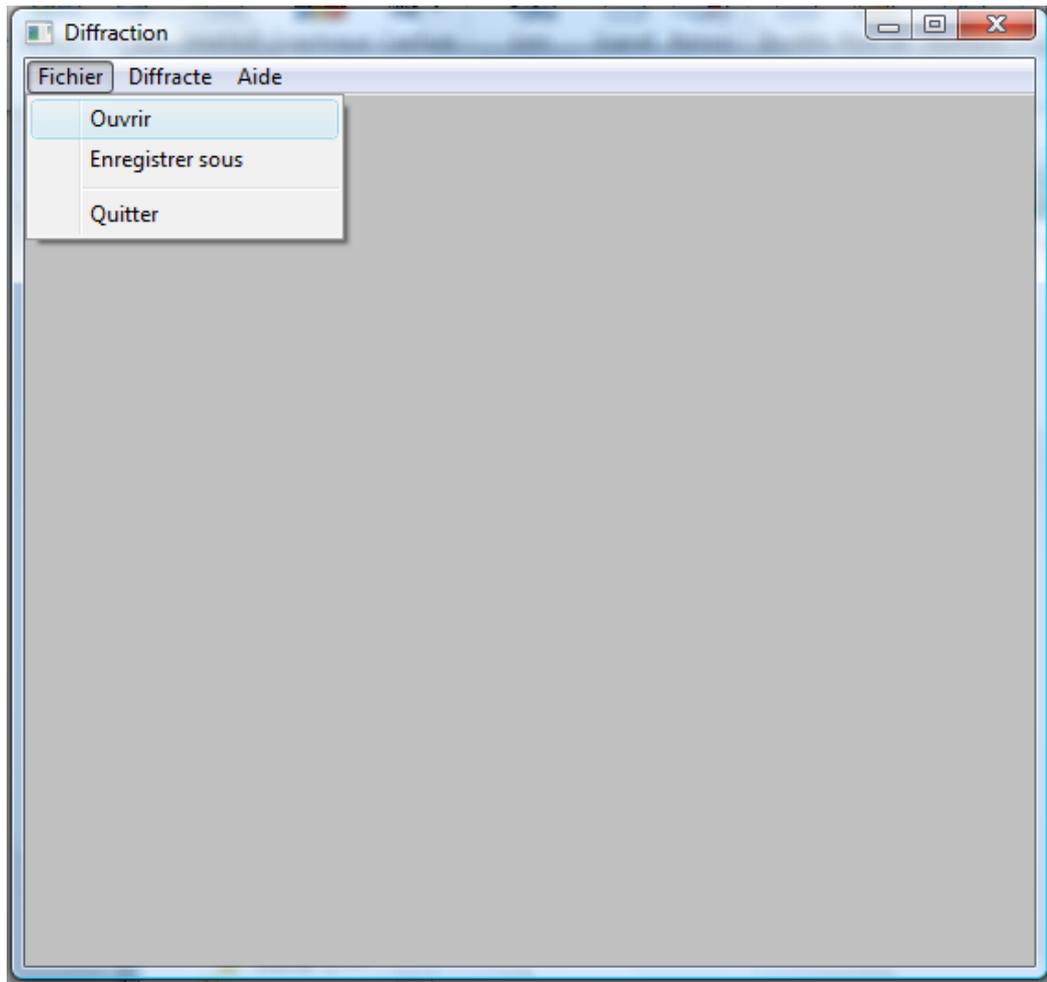


Figure 3 : fenêtre du programme.

- viii. Pour obtenir l'image par diffraction, cliquez sur « Diffractions → Diffractions ». Vous avez obtenu l'image par diffraction d'une onde plane sur un diaphragme circulaire (figure 5).
- ix. Enfin, il est possible d'enregistrer l'image de diffraction obtenue dans un fichier bitmap et de l'utiliser comme bon vous semble⁵ en cliquant sur : « Fichiers → Enregistrer Sous ».

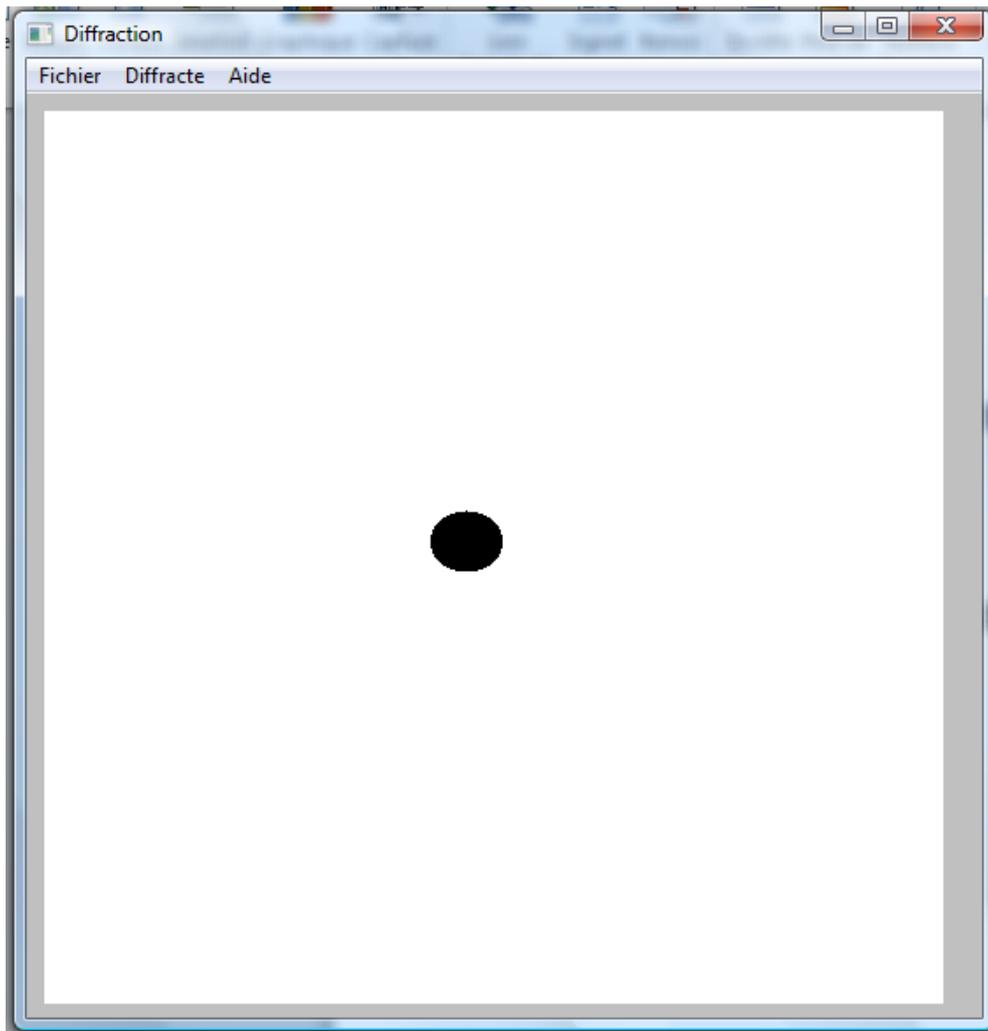


Figure 4 : affichage du diaphragme dans la fenêtre du programme.

⁵ Moyennant le respect de la licence décrite dans ce document.

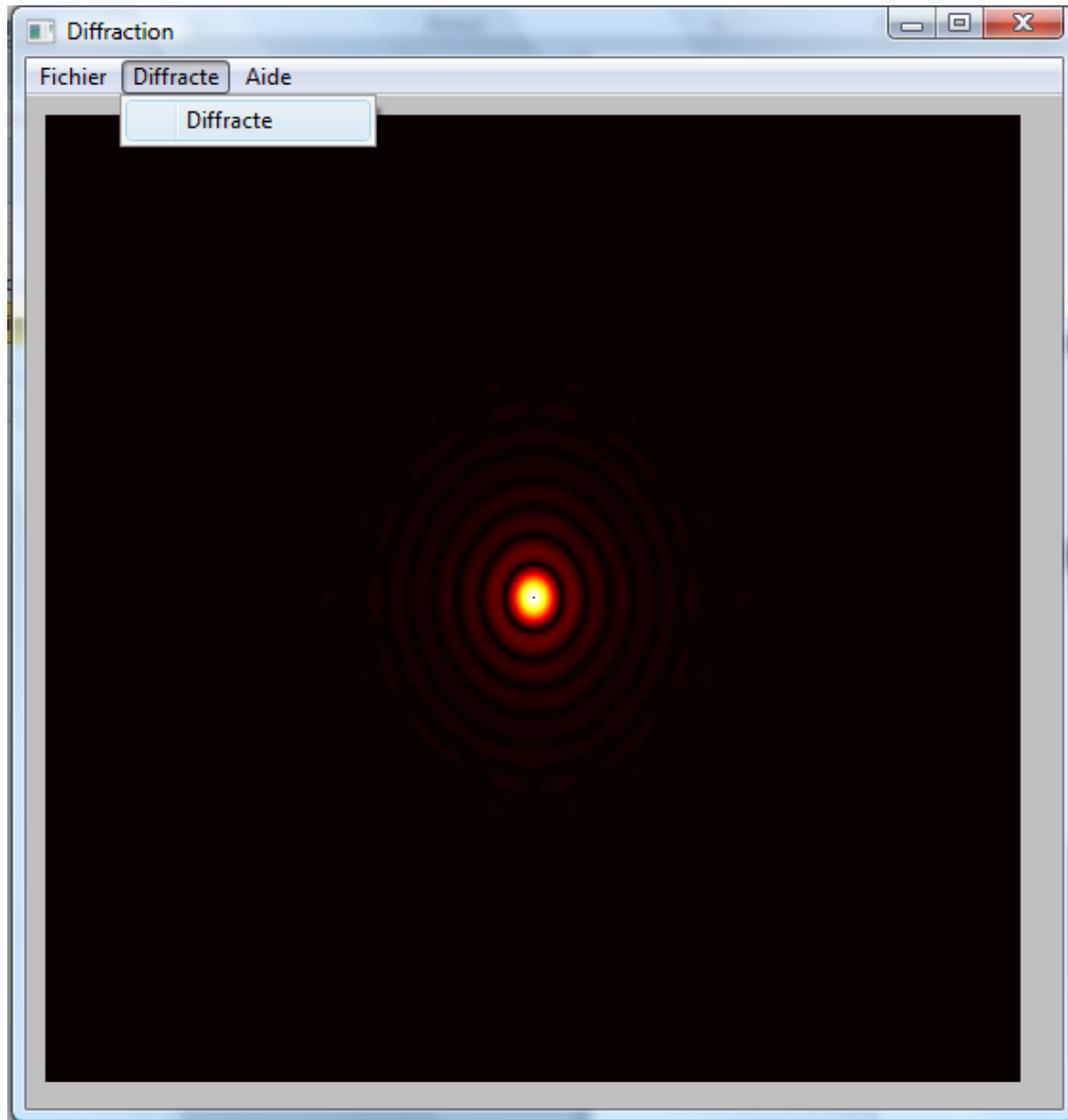


Figure 5 : image obtenue par diffraction par un diaphragme circulaire d'une onde plane dans la fenêtre du programme.

3. Licence

Auteur et développeur du programme : Leblanc André Daniel
Christophe : paraboloidehyperbolique@gmail.com

Date de réalisation : janvier 2010.

Nom du programme : « diffraction.exe »

Version : 0.1

1. Le programme « diffraction.exe » (ci-dessous référencé sous le nom/vocable « programme ») est livré tel quel avec son code source sans **aucune garantie** quant à son bon fonctionnement et aux dégâts qu'il pourrait éventuellement causer suite à son utilisation.
2. Le développeur décline toute responsabilité si de tels dégâts et toutes autres conséquences devaient advenir en cas d'utilisation de ce programme.
3. Ce programme peut être utilisé/modifié/réécrit et distribué gratuitement à travers le monde aux conditions suivantes :
 1. Aucune commercialisation/vente/achat du programme et de ses versions modifiées/réécrites (dans quelque langage que se soit) ne peut être effectué sous quelque forme que ce soit.
 2. Aucune commercialisation/vente/achat des images de diffractions et autres résultats obtenus par ce programme et ses versions modifiées/réécrites (dans quelque langage que se soit) ne peut être effectué sous quelque forme que ce soit.
 3. Toute copie de ce programme, de ses versions modifiées/réécrites (dans quelque langage que ce soit) doivent être accompagnés de la présente licence et de la bibliographie attenante.

4. Aucune utilisation/modification/réécriture de ce présent programme ne peut être effectué dans un but malveillant quel qu'il soit et/ou qui contredit les termes de la loi belge.
5. Cette présente licence prévaut sur toute éventuelle licence additionnelle, excepté sur les termes prévus par la loi belge.
6. Cette présente licence ne peut être modifiée par toute autre personne que son auteur, Leblanc André Daniel Christophe.
7. L'ajout de licences additionnelles est permis (notamment dans le cas de versions modifiées/réécrites (dans quelque langage que ce soit)). Ces licences additionnelles doivent cependant respecter les termes de la présente licence et celles de la loi belge. Dans le cas contraire et/ou dans le cas de contradictions entre les termes de la présente licence et les licences additionnelles, ces licences additionnelles sont considérées comme nulles et non-avenues par la présente licence qui prévaut (voir &5).
8. Toute utilisation de ce programme et de ses versions modifiées/réécrites (dans quelque langage que ce soit), des images de diffractions et des résultats obtenus par ceux-ci, dans un éventuel travail/présentation/séminaire et toute autre communication, quelle qu'elle soit, doivent faire l'objet d'une citation du nom complet du développeur (renseigné en début de la présente licence). L'ajout de la bibliographie attenante est recommandé.
9. Toute copie et versions modifiées/réécrites (en quelque langage que ce soit) du présent programme doit être accompagné au moins : du code-source **complet** du programme ou de ses versions modifiées/réécrites (en quelque langage que ce soit), de la présente licence et de la bibliographie attenante.

4. Bibliographie

[1] Partie du programme employant la théorie de la diffraction :

Cours PHY2141, "Optique et Lasers Partie II - Introduction à l'optique de Fourier". Philippe Antoine, UCL (Université catholique de Louvain-la-Neuve). Belgique.

[2] Partie du programme permettant de lire des fichiers bitmap:

Copyright © 2000, Juan Soulie jsoulie@cplusplus.com

Permission to use, copy, modify, distribute and sell this software or any part thereof and/or its documentation for any purpose is granted without fee provided that the above copyright notice and this permission notice appear in all copies.

This software is provided "as is" without express or implied warranty of any kind. The author shall have no liability with respect to the infringement of copyrights or patents that any modification to the content of this file or this file itself may incur.

[3] Partie programme employant la Fast Fourier Transform (FFT):

Sample page from NUMERICAL RECIPES IN C: THE ART OF SCIENTIFIC COMPUTING (ISBN 0-521-43108-5)

Copyright (C) 1988-1992 by Cambridge University Press. Programs Copyright (C) 1988-1992 by Numerical Recipes Software.

[4] Partie du programme employant la “carte des couleurs” (*Color map*) pour l’affichage graphique des images de diffraction :

Carte des couleurs provenant de : Matlab R2007a. Version 7.4.0.287. 29 janvier 2007.

Professional and commercial use prohibited. Copyright 1994-2007, The MathWorks, Inc. Protected by U.S. patents. See www.mathworks.com/patents

[5] Programme compilé avec:

*wxDev-C++ version 7.4.1.13: Guru Kathiresan et al.
<http://wsdsgn.sourceforge.net>*