

MISE EN FORME DES FAISCEAUX LAGUERRE-GAUSS LG_{p0} PAR UNE OUVERTURE CIRCULAIRE

S. Chabou^{1*}, B. Abdelhalim²

¹Laboratoire d'Optique Appliquée, Institut d'Optique et Mécanique de Précision, Université de Sétif 1, Sétif 19000, Algérie

²Département science et technique, Faculté des sciences et de la technologie, Université BBA, Al Anasser, Bordj Bou Arreridj 34000, Algérie

RESUME

Dans cette communication on présente une simulation numérique de la diffraction des faisceaux Laguerre Gauss radiaux de symétrie cylindrique par une ouverture circulaire en utilisant l'intégrale de Fresnel-Kirchhoff. Cette étude sera menée dans le plan focal d'une lentille convergente. Les résultats montrent qu'un simple diaphragme peut jouer le rôle d'un élément optique diffractif reconfigurable très peu coûteux permettant la génération de toute la famille d'un faisceau LG_{p0} (tels que ; $LG_{(p-1)0}$, $LG_{(p-2)0}$, $LG_{(p-3)0}$,, LG_{00}) à partir d'un seul mode d'ordre supérieur.

Mots clés: mise en forme du faisceau laser, faisceaux Laguerre-Gauss, ouverture circulaire, diffraction.

E-mail de l'auteur principal: ch.saoussene@hotmail.com

INTRODUCTION

Les faisceaux lasers gaussiens ou les faisceaux d'ordres supérieurs présentent de plus en plus un intérêt majeur dans la technologie moderne [1,2]. Les familles les plus intéressantes des faisceaux gaussiens d'ordre supérieur sont les faisceaux Laguerre Gauss, qui sont les solutions de l'équation d'onde dans les coordonnées cylindriques. Ce type des faisceaux ont suscité beaucoup d'intérêt ces dernières années et leurs propriétés optiques ont été discutées dans de nombreuses publications [3-6].

Dans ce travail on présente la mise en forme des faisceaux Laguerre Gauss LG_{p0} par un simple élément optique diffractif, un élément d'amplitude (diaphragme d'ouverture variable), en traçant la distribution de l'intensité transversale. Dans le but de générer des faisceaux laser intéressants par une méthode du coût faible. On montre la validité de notre proposition à travers une étude numérique.

THEORIE

On commence par schématiser le principe de la technique utilisé pour la mise en forme d'un faisceau LG_{p0} par une ouverture circulaire (**Fig.1**).

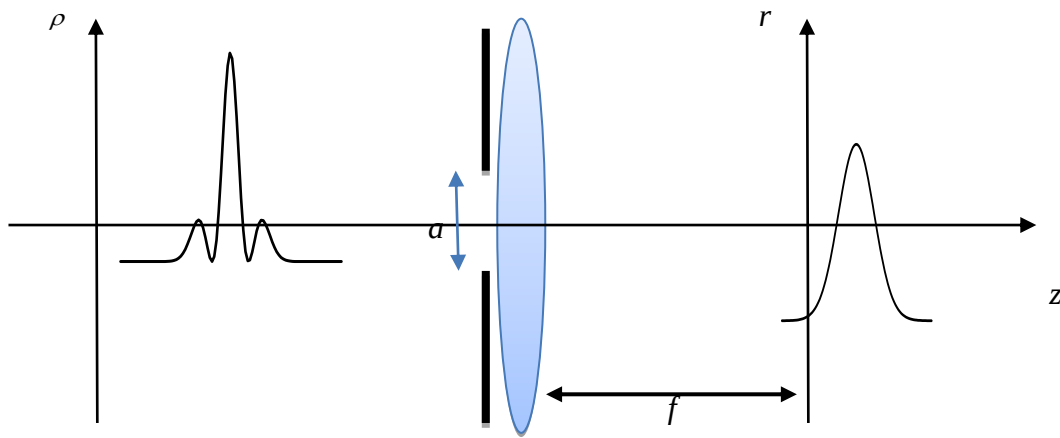


Fig.1. Le principe de diffraction d'un faisceau LG_{p0} par une ouverture circulaire.

Le faisceau incident est un faisceau Laguerre-Gauss d'un mode radial d'ordre $p>0$ et d'ordre azimutal $l=0$, défini en coordonnées cylindriques comme suit [7]:

$$E_{in}(\rho) = E_0 L_p \left(2 \frac{\rho^2}{w_0^2} \right) \exp \left(- \frac{\rho^2}{w_0^2} \right) \quad (1)$$

Où w_0 est la largeur du faisceau LG_{00} ($l=p=0$, le faisceau est gaussien), p est l'ordre du faisceau LG_{p0} , et L_p sont les polynômes Laguerre. Les ordres supérieurs des faisceaux LG_{p0} sont constitués d'un lobe central entouré de p anneaux de lumière.

La fonction de transmission du diaphragme est définie par:

$$\tau_a(\rho) \begin{cases} 1 & |\rho| \leq \rho_0 \\ 0 & |\rho| > \rho_0 \end{cases}$$

(2)

Où ρ_0 est le diamètre.

La distribution du champ d'un faisceau LG_{p0} diffracté par une ouverture circulaire est donnée par l'intégrale de Fresnel-Kirchhoff [1,2],

$$E(r, z) = \frac{2\pi}{\lambda z} \exp\left(\frac{i\pi r^2}{\lambda}\right) \int_0^a E_{in}(\rho) \exp\left(\frac{i\pi \rho^2}{\lambda} \left(\frac{1}{z} - \frac{1}{f}\right)\right) J_0\left(\frac{2\pi}{\lambda z} r \rho\right) \rho d\rho \quad (3)$$

Où ρ, r représentent respectivement les coordonnées radiales dans les plans ; d'entrée et celui de sortie, λ la longueur d'onde est celle du ND-YAG est égale à 1064 nm, J_0 est la fonction Bessel d'ordre 0.

a : représente les zéros des polynômes de Laguerre, sont illustrés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1. Les zéros des cinq premiers polynômes de Laguerre $L_p(p_i/w)$

p	LG _{p0}	(p _i /w)				
1	LG ₁₀	0.707106				
2	LG ₂₀	0.541195	1.306562			
3	LG ₃₀	0.455946	1.071046	1.773407		
4	LG ₄₀	0.401589	0.934280	1.506090	2.167379	
5	LG ₅₀	0.363015	0.840041	1.340975	1.882260	2.51040

L'intensité lumineuse est donnée en élevant au carré l'amplitude du champ,

$$I(r, z) = \left| \frac{2\pi}{\lambda z} \exp\left(\frac{i\pi r^2}{\lambda}\right) \int_0^a E_{in}(\rho) \exp\left(\frac{i\pi \rho^2}{\lambda} \left(\frac{1}{z} - \frac{1}{f}\right)\right) J_0\left(\frac{2\pi}{\lambda z} r \rho\right) \rho d\rho \right|^2 \quad (4)$$

Cette expression représente l'intégrale générale qui permet de trouver la distribution de l'intensité transversale le long de l'axe de propagation z .

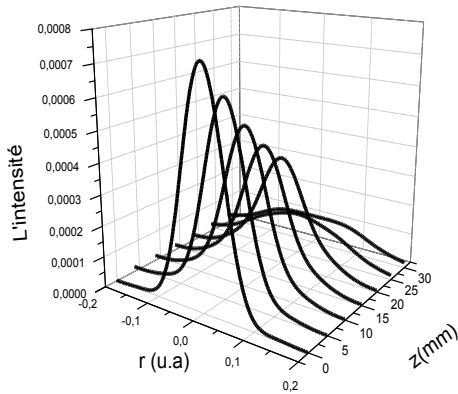
Dans le cas du plan focal l'équation (4) devient comme suite :

$$I(r, z = f) = \left| \frac{2\pi}{\lambda f} \int_0^a \tau(\rho) E_{in}(\rho) J_0 \left(\frac{2\pi}{\lambda f} r \rho \right) \rho d\rho \right|^2 \quad (5)$$

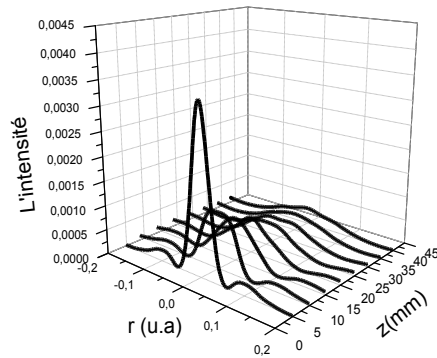
RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette partie on trace la distribution de l'intensité transversale dans le plan focal ($z=f$) et hors le plan focal (le long de z) en calculant l'intégrale de l'équation (4) numériquement. (On prend le faisceau LG_{50} comme exemple.)

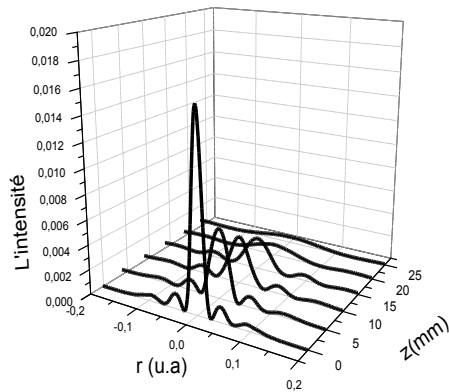
Les résultats sont donnés sous forme des courbes représentées dans les figures suivante :



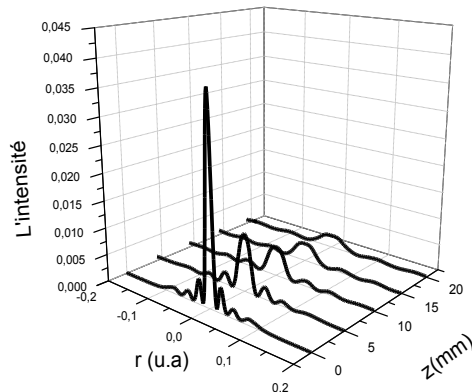
(a)



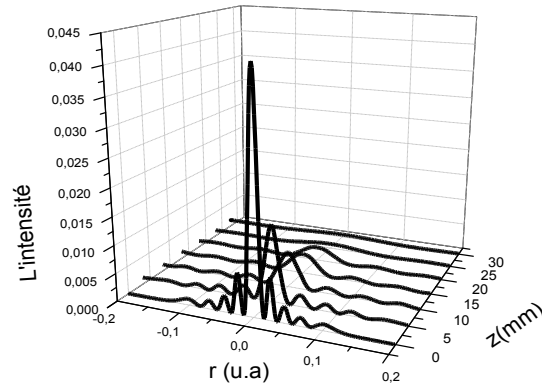
(b)



(c)



(d)



(e)

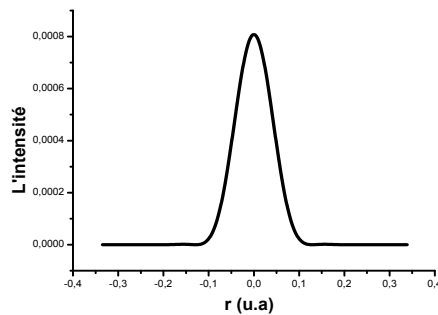
Fig.2. Evolution des distributions des intensités transversales d'un faisceau LG_{50} tronqué sur son :

(a) premier zéro. (b) deuxième zéro.

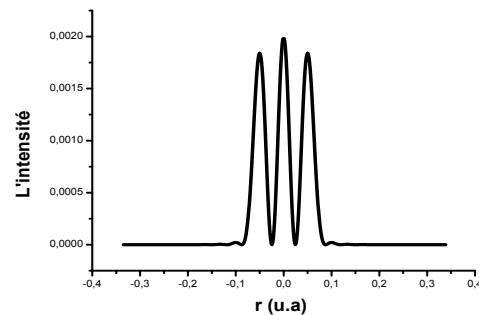
(c) troisième zéro. (d) quatrième zéro.

(e) cinquième zéro.

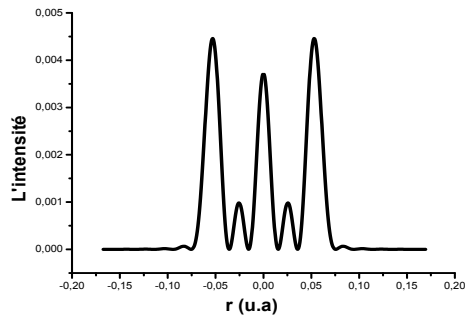
Fig.2. représente l'évolution des distributions des intensités transversales de la diffraction d'un faisceau LG_{50} par un diaphragme. A partir les sous-**Fig.2.a, .2.b, .2.c, .2.d, .2.e**, on remarque que la distribution de l'intensité du faisceau obtenue par chaque troncature est conservé sur une distance importante.



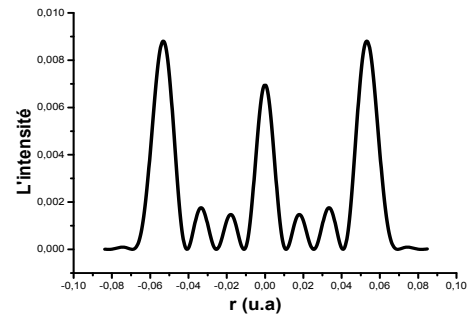
(a)



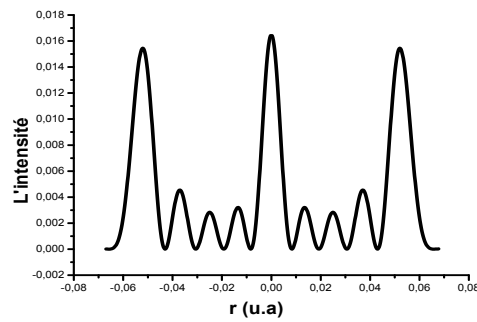
(b)



(c)



(d)



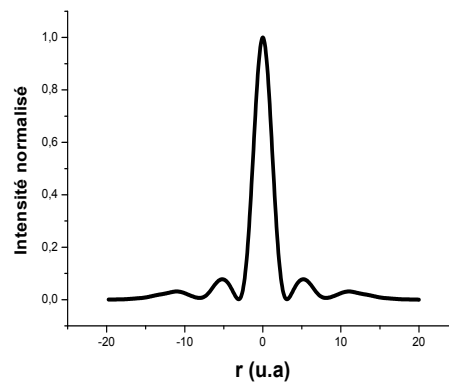
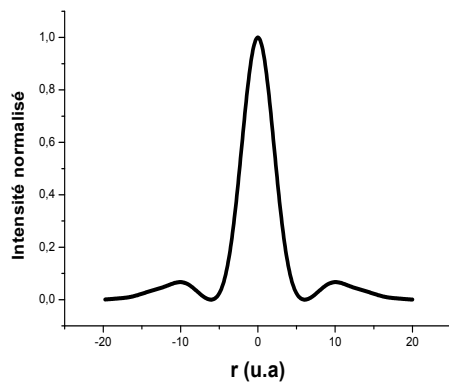
(e)

Fig.3. La distribution de l'intensité transversale d'un faisceau LG_{50} tronqué par une ouverture circulaire dans le plan focal d'une lentille $f=500mm$ sur son

(a) premier zéro. (b) deuxième zéro.

(c) troisième zéro. (d) quatrième zéro.

(d) cinquième zéro.



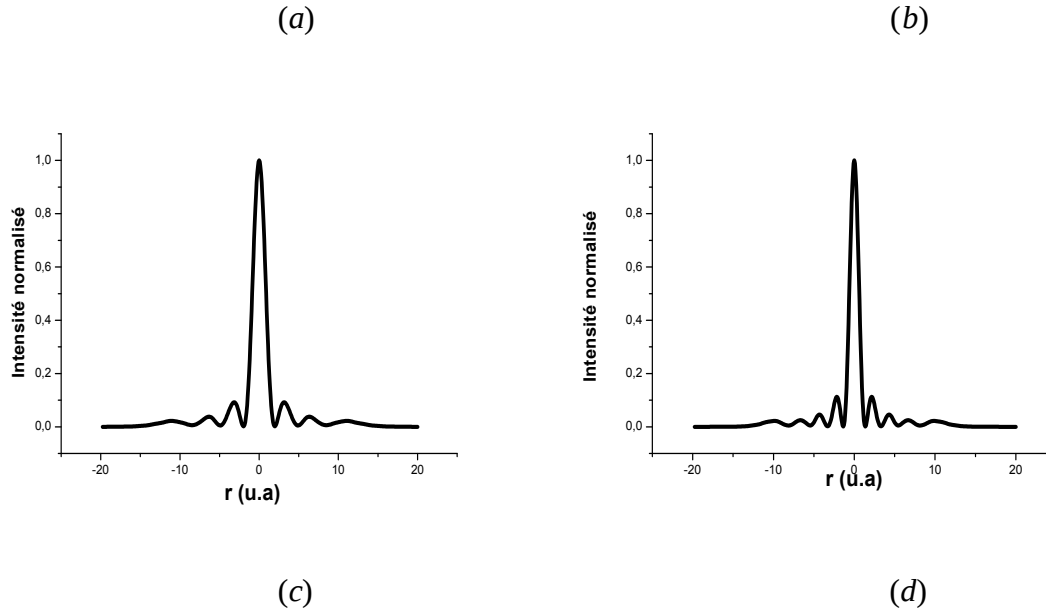


Fig.4. La distribution de l'intensité transversale d'un faisceau LG_{50} tronqué par une ouverture circulaire sur son

- (a) premier zéro ($z=206.2$) (b) deuxième zéro ($z=287.2$)
(c) troisième zéro ($z=343$) (d) quatrième zéro ($z=388$)

Fig.3. représente la distribution de l'intensité transversale de la diffraction d'un faisceau LG_{50} par un diaphragme. Pour la sous- **Fig.3.a** la courbe représente la troncature du faisceau LG_{50} sur son premier zéro le résultat est un faisceau quasi gaussien (un faisceau gaussien presque parfait). Par contre à partir de la sous- **Fig.3.b** qui représente la deuxième troncature (LG_{50} tronqué sur son deuxième zéro) on trouve que le faisceau obtenu est formé d'un lobe central entouré d'un anneau presque de même intensité, alors la distribution ne correspond pas à celle du faisceau LG_{10} , après des calculs basé sur l'intensité sur l'axe on a trouvé que la meilleure distribution qui correspond à LG_{10} se trouve hors le plan focal à une distance $z=206.2$ illustrée dans la sous- **Fig.4.a**. La même interprétation pour les autres sous- **Fig.4.b, .4.c, .4.d**, la meilleure distribution est donnée hors le plan focal aux distances $z=287.2$ pour un faisceau LG_{20} pur, $z=343$ pour un faisceau LG_{30} pur, $z=388$ pour un faisceau LG_{40} pur.

CONCLUSION

Dans ce travail et à travers une étude numérique de la mise en forme d'un faisceau LG_{p0} par une ouverture circulaire, par la méthode de diffraction, on a proposé une technique peu couteuse qui permet de générer à partir d'un seul faisceau Laguerre Gauss LG_{p0} d'ordre élevé

P, tous les faisceaux Laguerre Gauss LG_{m0} d'ordre inférieur à P en utilisant un diaphragme d'ouverture variable.

REFERENCES

- [1] Hasnaoui A, Bencheikh A, Fromager M, Cagniot E, Aït-Ameur K, Opt. Comm, 2011, 284, 1331-1334, doi.org/10.1016/j.optcom.2010.11.011.
- [2] Hasnaoui A, Bencheikh A, Aït-Ameur K, Opt. and Lasers in Engineering, 2011, 49, 248-251, doi:10.1016/j.optlaseng.2010.09.013.
- [3] Yonggen X, Shijian W, Zhengquan Z, Yude L, Youquan D, Optik, 2016, 127, 2789–2794, doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.12.004.
- [4] Haddadi S, Hasnaoui A, Fromager M, Louhibi D, Harfouche A, Cagniot E, Aït-Ameur K, Optik. Elsevier, 2016, 127, 2207–2211, doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.11.054.
- [5] Haddadi S, Louhibi D, Hasnaoui A, Harfouche A, Aït-Ameur K, Laser. Phys, 2015, 25, 6pp, doi:10.1088/1054-660X/25/12/125002.
- [6] Hasnaoui A, Haddadi S, Fromager M, Louhibi D, Harfouche A, Cagniot E, Aït-Ameur K, Laser. Phys, 2015, 25, 9pp, doi:10.1088/1054-660X/25/8/085004.
- [7] Bencheikh A, Fromager M, Aït-Ameur K, App. Opt. OSA, 2014, 53, 4761-4767, <http://dx.doi.org/10.1364/AO.53.004761>.