TP n° 18 – Caractérisation du faisceau gaussien d'un laser He-Ne

Le travail consiste à étudier la répartition transversale gaussienne de l'éclairement d'un faisceau LASER.
On en mesurera les caractéristiques principales : waist, longueur de Rayleigh et divergence angulaire.

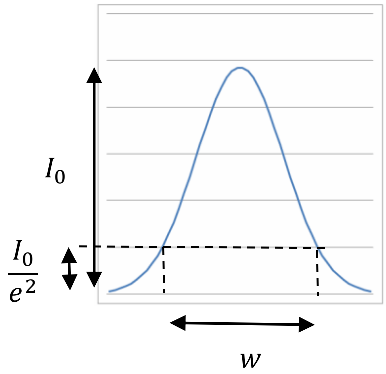
1. Eléments théoriques

On nomme (Oz) l'axe du faisceau LASER, et on repère un point M de l'espace en coordonnées cylindriques. Transversalement au faisceau, on repère donc la position d'une point M en coordonnées polaires. Le faisceau étant à symétrie cylindrique, l'éclairement ne dépend que des coordonnées r, z du point M où l'on regarde.

L'éclairement émis par le laser se répartit spatialement selon une loi gaussienne de la coordonnée r :

$$\mathrm{I(r,z)} = \mathrm{I_0(z).e}^{-\frac{2r^2}{w^2(z)}}$$

Le terme au dénominateur de l'argument de l'exponentielle caractérise la largeur de la gaussienne. Ce n'est pas une largeur à mi-hauteur, mais une largeur à $1/e^2$ de la hauteur.



La théorie (HPgm) donne l'évolution de la largeur du faisceau gaussien le long du faisceau :

$$w(z) = w_0\sqrt{1+\left(\frac{z}{L_R}\right)^2}$$

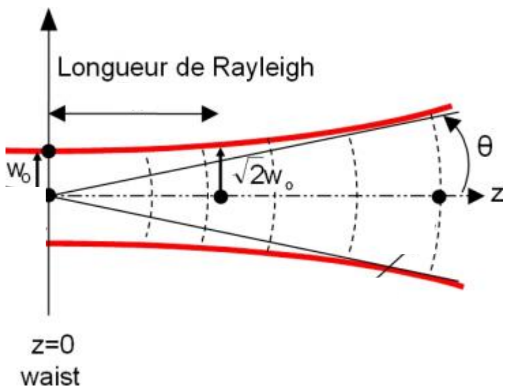
On distingue deux asymptotes :
- faisceau cylindrique pour $z \ll L_R$
- faisceau conique pour $z \gg L_R$

Le **waist** w_0 (« taille à la ceinture » en anglais) donne le rayon minimal du faisceau. Cela correspond à la zone asymptotique cylindrique.
La **longueur de Rayleigh** L_R indique la transition entre l'asymptote cylindrique et l'asymptote conique. L'angle θ entre l'asymptote conique et l'horizontale constitue la divergence angulaire du faisceau (forcément celle observée à grande distance, car dans la partie asymptotique conique).

On représente ci-contre la fonction $w(z)$ attendue : c'est la courbe rouge supérieure.

Sa symétrique par rapport à l'axe (Oz) a été représentée pour donner l'impression visuelle d'un faisceau vu de profil

C'est cette courbe que l'on va chercher à tracer expérimentalement.



NB : la théorie donne une relation entre le waist, la longueur de Rayleigh et la longueur d'onde : $L_R = \frac{\pi\omega_0^2}{\lambda}$

2. Tracé expérimental de la fonction w(z)

L'origine de l'axe (Oz) n'est pas repérable en TP. On l'identifiera grâce à l'intersection de l'asymptote conique avec l'axe horizontal. On trouvera que l'origine se situe à l'intérieur de la cavité LASER.

- En utilisant la barrette CCD et le logiciel CALIENS comme illustré dans la vidéo, mesurer la largeur w du spot pour différentes distances Laser-barrette. On veillera à aligner précisément le centre du faisceau avec la barrette CCD.

- Tracer $w(z)$ à l'aide d'un tableau, et identifier l'asymptote conique grâce à une régression linéaire limitée aux points « à grands z »
- Déduire de tout cela une valeur numérique de w_0, L_R et θ.
- La relation $L_R = \frac{\pi\omega_0^2}{\lambda}$ est-elle vérifiée ?

3. Elargissement du faisceau LASER (si temps)

On dispose une lentille de focale 10cm dans la zone de faisceau « cylindrique », i.e. $z < L_R$. On insère une 2nde lentille de focale 20 cm derrière la première, de manière à réaliser un système afocal.

- Mesure à nouveau la fonction w(z) et montrer que la divergence du faisceau ainsi obtenu est divisée par deux par rapport à la première mesure.