

## UN INTERFÉROMÈTRE DE SAGNAC POUR LA MESURE DE LA DISTRIBUTION DE COHÉRENCE SPATIALE DES LASERS

Abdelhalim BENCHEIKH, Mohamed BOUAFIA et Aïssa MANALLAH  
*Laboratoire d'Optique Appliquée, D.O.M.P., Université Ferhat Abbas – Sétif*  
 E-mail : [haben76@hotmail.com](mailto:haben76@hotmail.com)

**RÉSUMÉ :** Dans cette intervention, on va exploiter un montage interférométrique basé sur l'interféromètre de Sagnac configuré en rectangle pour mesurer expérimentalement la distribution de la cohérence spatiale d'un faisceau laser He-Ne de longueur d'onde 632,8 nm. Le montage se base sur le principe des interféromètres à chemin commun (common path interferometers), c'est-à-dire que les deux faisceaux qui interfèrent parcourent le même chemin ; cette particularité rend le montage insensible aux vibrations. A l'intérieur du montage, on va utiliser un système de décalage de phase géométrique (basé sur la phase de Pancharatnam) qui assure le changement de la direction de polarisation des faisceaux lasers. Les mesures faites dans ce travail sont la partie réelle, la partie imaginaire et le module de la distribution de la fonction de cohérence spatiale, qui permettent de représenter la distribution du degré de cohérence spatiale.

**MOTS-CLÉS:** faisceau laser, fonction de cohérence spatiale, interféromètre de Sagnac

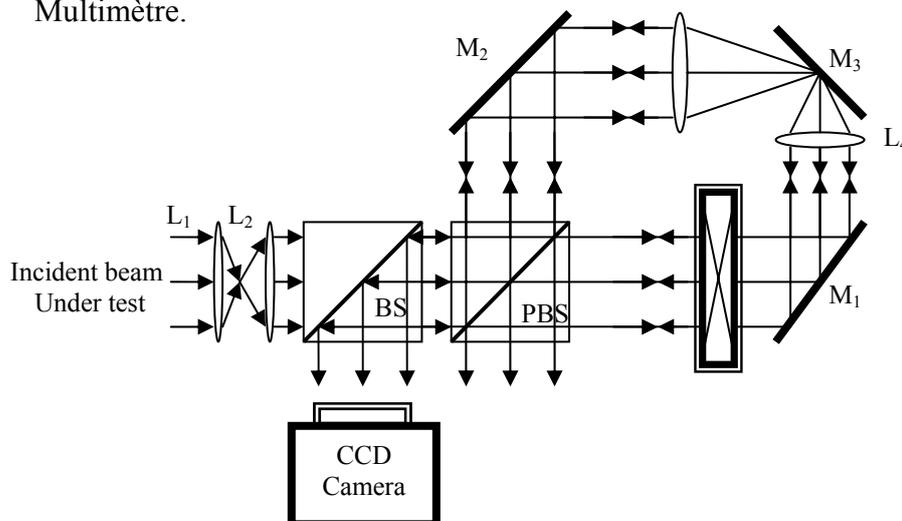
### 1. Le montage expérimental :

Tout ce montage est dans le but de mesurer la distribution de la cohérence spatiale  $\Gamma$  à partir de l'équation fondamentale de l'interférence à deux ondes [1,2], donnée par :

$$I(x, s) = I(x + s/2) + I(x - s/2) + 2\text{Re}[\Gamma(x + s/2, x - s/2)\text{Exp}(i\delta)] \quad (1)$$

Le montage expérimental comporte les éléments suivants:

- Un laser (He-Ne)  $\lambda=632.8\text{nm}$ , Objectif microscopique (L1) 16X, Objectif photographique (L2)  $f=220\text{mm}$ , Deux Cubes séparateurs, Deux polariseurs, Lames d'onde (demi-onde, quart d'onde), Miroirs M1, M2, M3, Photo détecteur, Multimètre.



**Figure 1. Le montage expérimental utilisé pour mesurer la distribution de la cohérence spatiale d'un laser Hé-Ne**

Le faisceau lumineux passe à travers un system afocal (objectif de microscope et objectif photographique) pour rendre le faisceau parallèle, ensuite le faisceau est divisé par le cube séparateur en deux parties d'égales intensités.

Le premier faisceau prend le trajet (les deux lames d'onde,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  et le cube séparateur) dans le sens des aiguilles d'une montre, le deuxième faisceau se propage dans le sens inverse du premier faisceau.

L'interféromètre assure la superposition des deux faisceaux qui se propagent en sens inverse.

La distribution de l'intensité à la sortie de l'interféromètre captée par le photo détecteur est donnée par l'équation :

$$I^{(\delta)}(x, s) = \left\langle |E(x + s/2) + E(x - s/2)|^2 \right\rangle \\ = \left\langle |E(x + s/2)|^2 \right\rangle + \left\langle |E(x - s/2)|^2 \right\rangle + \text{Re} \left[ 2 \left\langle E(x + s/2) E^*(x - s/2) \right\rangle \text{Exp}(i\delta) \right] \quad (2)$$

Tel que,  $\delta$  est la différence de phase entre les deux faisceaux décalés l'un par rapport à l'autre. Pour pouvoir mesurer la distribution de la fonction de cohérence spatiale  $\Gamma(x, s)$  on utilise l'intensité donnée par l'équation [3]:

$$I(x, s) = I(x + \frac{s}{2}) + I(x - \frac{s}{2}) + 2 \text{Re} \left[ \Gamma(x + \frac{s}{2}, x - \frac{s}{2}) e^{i\alpha} \right] \quad (3)$$

Pour mesurer le module de la fonction de cohérence spatial, on utilise un système de décalage de phase basé sur l'état de polarisation des lames cristallines. On utilise les lames ( $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$ ) pour varier la différence de phase  $\delta$  entre les deux faisceaux, ce qui permet de mesurer séparément les parties réelle et imaginaire de la fonction de cohérence spatiale.

Les détails de la méthode sont expliqués sous formes d'équations :

On prend les différentes intensités qui correspondent aux différentes différences phases  $\delta$ , tel que :

$$I_{s,\alpha}(x) = I(x + \frac{s}{2}) + I(x - \frac{s}{2}) + 2 \text{Re} \left[ \Gamma(x + \frac{s}{2}, x - \frac{s}{2}) e^{i\alpha} \right] \quad (4)$$

Pour des différences de phase  $\delta$  de  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ , on a [3, 4, 5, 6, 7]:

$$I_{s,0^\circ}(x) = I(x + \frac{x_0}{2}) + I(x - \frac{x_0}{2}) + 2 \text{Re} \left[ \Gamma(x + \frac{x_0}{2}, x - \frac{x_0}{2}) \right] \quad (4.a)$$

$$I_{s,90^\circ}(x) = I(x + \frac{s}{2}) + I(x - \frac{s}{2}) + 2 \text{Im} \left[ \Gamma(x + \frac{s}{2}, x - \frac{s}{2}) \right] \quad (4.b)$$

$$I_{s,180^\circ}(x) = I(x + \frac{s}{2}) + I(x - \frac{s}{2}) - 2 \text{Re} \left[ \Gamma(x + \frac{s}{2}, x - \frac{s}{2}) \right] \quad (4.c)$$

$$I_{s,270^\circ}(x) = I(x + \frac{s}{2}) + I(x - \frac{s}{2}) - 2 \text{Im} \left[ \Gamma(x + \frac{s}{2}, x - \frac{s}{2}) \right] \quad (4.d)$$

D'où, la partie réelle de la fonction de cohérence mutuelle de l'intensité mutuelle est obtenue par la soustraction de (4.a et 4.c) tel que :

$$\text{Re}[\Gamma(x + s/2, x - s/2)] = \frac{1}{4}(I^{(0^\circ)}(x) - I^{(180^\circ)}(x)) \quad (\text{III. 4})$$

Et la partie imaginaire de la fonction de cohérence mutuelle est obtenue par la soustraction de (III. 3. b et III. 3. d) tel que :

$$\text{Im}[\Gamma(x + s/2, x - s/2)] = \frac{1}{4}(I^{(90^\circ)}(x) - I^{(270^\circ)}(x)) \quad (\text{III. 5})$$

Pour avoir la fonction de la distribution de la cohérence spatiale complète, on varie la distance latérale (shear)  $s$  entre les deux copies du faisceau, avec :

$$0 \leq |s| \leq D$$

$D$  : est le diamètre du faisceau dans le plan d'acquisition.

### Mesure de la distribution de la fonction de cohérence spatiale :

#### A – mesure de la partie réelle :

Pour avoir la partie réelle on doit avoir deux lames demi-ondes et on les place dans le montage comme l'indique la figure 3.

Pour avoir une phase de  $0^\circ$  on oriente les axes neutres des deux lames  $\lambda/2$  avec la même direction de polarisation, et pour avoir une phase de  $90^\circ$  on tourne la deuxième lame par  $45^\circ$ . Pour balayer toute la fonction de la cohérence mutuelle on varie la distance entre les deux faisceaux superposés exprimée par le shear  $s$  (figure 2).

#### Remarque

Le faisceau qui rencontre la 1<sup>ère</sup> lame  $\lambda/2$  orientée par  $45^\circ$  subit une phase de  $90^\circ$  et puis trouve la 2<sup>ème</sup> lame orientée par  $0^\circ$ . L'autre faisceau rencontre la lame orientée par  $0^\circ$ , et puis trouve la 2<sup>ème</sup> lame orientée par  $-45^\circ$  c'est-à-dire une phase de  $(-90^\circ)$  dans le sens contraire, alors la phase résultante sera  $180^\circ$ .

$$\text{Quand } \theta = 45^\circ \implies \delta_{\text{res}} = 2\theta - (-2\theta) = 4\theta = 180^\circ$$

$\delta_{\text{res}}$  : la phase résultante

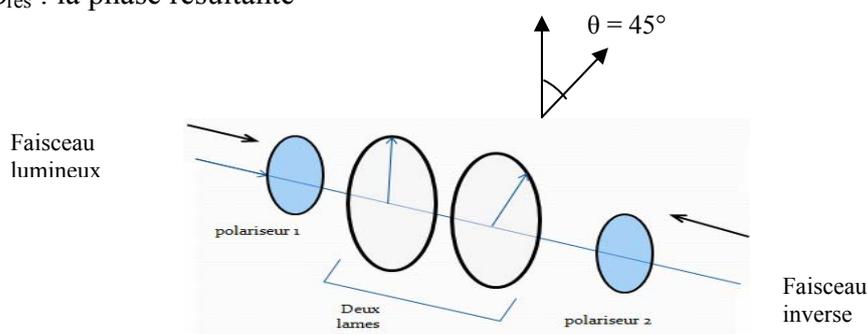
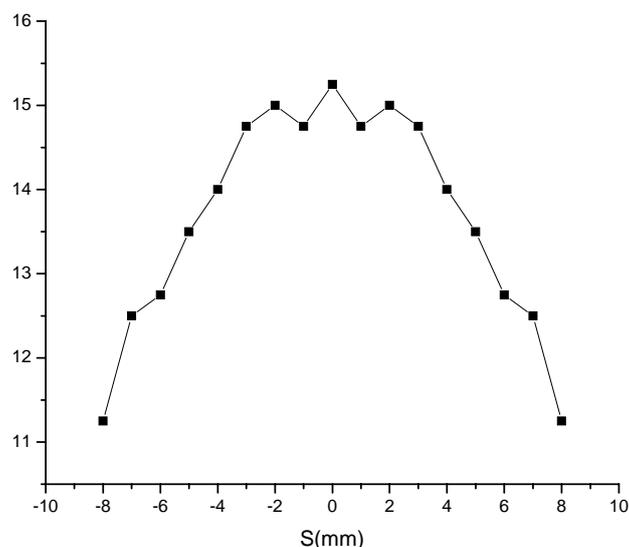


Figure 2 : polarisation à travers les deux lames ( $\lambda/2, \lambda/4$ )

Les valeurs obtenues sont représentées dans le graphe de la figure 3 :



**Figure 3 : variation de la partie réelle en fonction du déplacement.**

### B. Mesure de la partie imaginaire

Pour avoir la partie imaginaire on doit avoir une lame demi-onde et une lame quart d'onde qu'on les place dans le montage comme l'indique la figure 2.

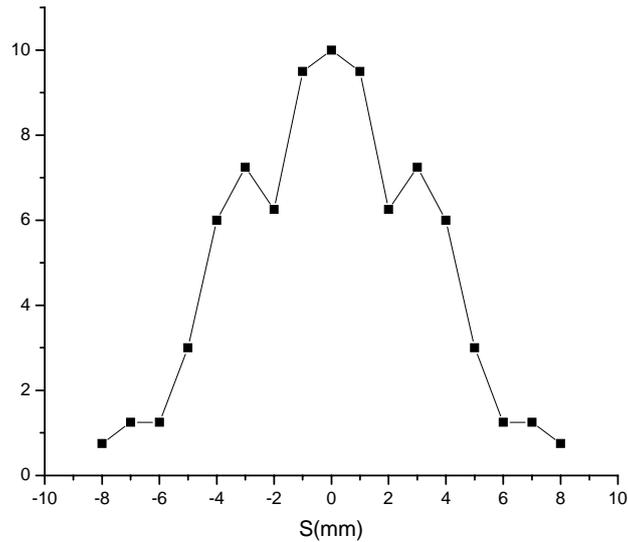
Le faisceau traverse la lame  $\lambda/4$  orientée d'un angle de  $\theta=45^\circ$  ce qui donne une phase  $\varphi=45^\circ$ , et puis il rencontre la 2<sup>ème</sup> lame  $\lambda/2$  orientée de  $0^\circ$ .

L'autre faisceau (qui se propage en sens inverse par rapport au premier faisceau) rencontre la lame  $\lambda/2$  orientée de  $0^\circ$  et puis la lame  $\lambda/4$  orientée de  $(-45^\circ)$ .

La phase résultante est donc :  $\delta_{rés}=\theta-(-\theta) =45^\circ-(-45^\circ) =90^\circ$ , on enregistre plusieurs intensités  $I_{90^\circ}(x, s)$  pour différents (s).

On fait tourner  $\lambda/2$  de  $45^\circ$ , le faisceau subit donc une phase de  $90^\circ$  et  $(-90^\circ)$  dans les deux sens respectivement, plus la phase que subit le faisceau avec  $\lambda/4$  (dans les deux sens qui est  $90^\circ$ ) alors la résultante est :  $\delta_{rés}= 45^\circ-(-45^\circ) +90^\circ-(-90^\circ)=270^\circ$

Les valeurs obtenues sont représentées dans le graphe de la figure 4.



**Figure 4 : Variation de la partie imaginaire en fonction de déplacement.**

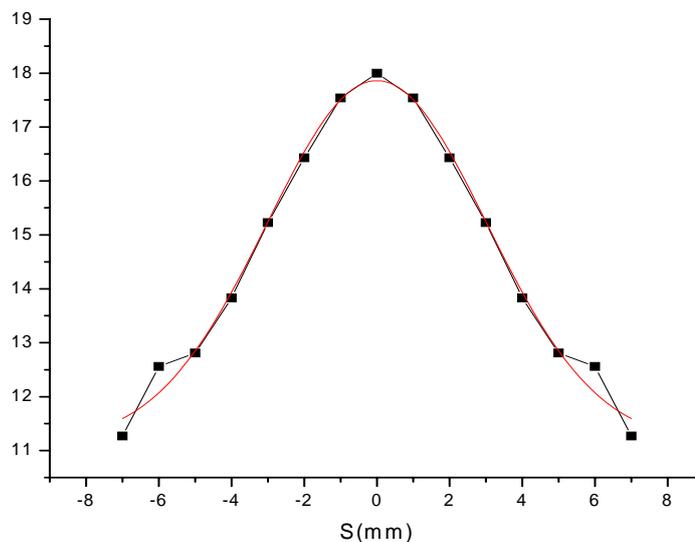
**Détermination du module de la fonction de cohérence spatiale :**

A partir des résultats obtenus pour les deux quantités  $\text{Re}(\Gamma_{12})$  et  $\text{Im}(\Gamma_{12})$ , on peut déduire le module de la fonction de cohérence spatiale  $|\Gamma_{12}|$ .

Le module est donné par :

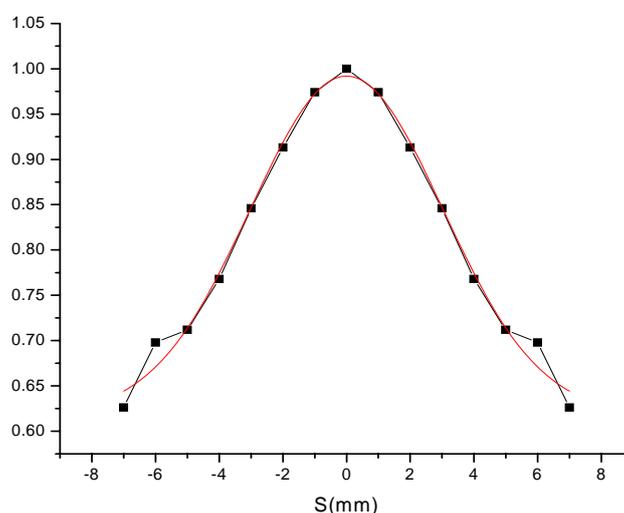
$$|\Gamma_{12}| = \sqrt{\text{Re}(\Gamma_{12}) + \text{Im}(\Gamma_{12})} \quad ()$$

Les valeurs correspondantes sont représentées dans le graphe suivant:



**Figure 5 : Distribution de la fonction de cohérence spatiale  $|\Gamma_{12}|$ .**

Après avoir tracé la distribution de la fonction de cohérence spatiale du laser utilisé dans la figure 7. Par une normalisation de  $|\Gamma_{12}|$ , on obtient la distribution du degré de la cohérence spatiale  $|\gamma_{12}|$ .



**Figure 6: Distribution du degré de la cohérence spatiale  $|\gamma_{12}|$**

### Conclusion:

Dans cette première partie on a mesuré la partie réelle, la partie imaginaire et le module de la fonction et du degré de la cohérence spatiale d'un faisceau laser He-Ne de longueur d'onde 632.8 nm.

Les mesures de la distribution de la cohérence spatiale et puis la distribution du degré de cohérence spatiale faites sur le faisceau laser ont données une distribution gaussienne prédite par la théorie.

### Références:

- [1] Malacara D. Optical shop testing, 2nd ed. New York: Wiley Inc; 1992.
- [2] Shukla RP. Some applications of the Murty interferometer: a review. Opt Lasers Eng, 26:1–42, 1997;
- [3] Hariharan P, Roy M. A geometric-phase interferometer. J Mod Opt, 39, 1811. 1992.
- [4] Hariharan P, Mujumdar S, Ramachandran H. A simple demonstration of the Pancharatnam phase as a geometric phase. J Mod Opt, 46,1443. 1999.
- [5] Hariharan P, Ramachandran H, Suresh KA, Samuel J. The Pancharatnam phase as a strictly geometric phase: a demonstration using pure projections. J Mod Opt, 44, 707, 1997.
- [6] Creath K. Phase-measurement interferometry techniques. In: Wolf E, editor. Progress in optics, vol. XXVI. Elsevier: Elsevier Science & Technology Books; p. 349–93. 1988.
- [7] Barron RJ, Somervell ARD, Haskell T, Barnes TH, Herber A. Path difference measurement using phase stepping with white light. J Mod Opt, 49, 1717, 2002.