

APPLICATION D'UNE MÉTHODE INTERFÉROMÉTRIQUE LASER POUR LE CALCUL DES PROFILS DE LA DENSITÉ ET DE LA TEMPÉRATURE D'UN GAZ

A. HADDOUCHE, M. LEMERINI et F. BOUDAUD

Laboratoire de Physique Théorique, Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen, Tlemcen, Algérie

E-mail: h.amaria.13@live.fr

RÉSUMÉ : L'objectif de ce travail consiste à mettre en place un interféromètre de type Mach Zehnder en vue d'un diagnostic optique en densité. La décharge appliquée est de type couronne avec deux tensions continues (polarisations positive et négative). Le gaz étudié est l'azote pur qui est soumis à trois pressions différentes. On s'intéresse dans ce travail tout particulièrement à la mesure de variation du chemin optique et donc de l'indice de réfraction qui nous permet de mettre en évidence la variation de la densité des neutres dans la décharge. Les conditions d'expérience sont :

- un faisceau laser He-Ne (0.6328 μ m, 5 mW) qui traverse la décharge.
- une caméra ccd pour la réception des images d'interférence.
- une chambre à décharge de distance interélectrodes égale à 6 mm.
- un générateur à haute tension (30 kV et un courant variable de 0.54ma à 0.6 ma) pour créer la décharge.

Ce diagnostic nous a permis de déterminer de façon quantitative le phénomène de dépopulation des particules neutres au cœur de la décharge. Les résultats obtenus montrent que le taux de dépopulation pour la polarisation positive, varie entre 40% et 75% et pour la polarisation négative entre 50% et 85 %. Nous remarquons clairement que les variations de densité sont plus importantes pour la décharge négative que pour la décharge positive. En effet, d'après les courbes obtenues le dépeuplement est presque le double pour la polarisation négative que pour la polarisation positive.

MOTS-CLÉS : interféromètre Mach-Zehnder, diagnostic laser, gaz d'azote, inversion d'Abel, relation Gladstone

1. Introduction

Dans beaucoup de plasmas, il est insuffisant d'utiliser les sondes matérielles pour déterminer les paramètres internes du plasma, ainsi nous avons besoin des méthodes non perturbantes pour le diagnostic. Tel que L'interférométrie est une technique expérimentale primaire pour mesurer les propriétés réfringentes du plasma.pour cela on utilise le montage expérimental Mach Zehnder.

2. Montage expérimental

Dans cet article nous allons décrire le dispositif expérimental (interféromètre Mach Zehnder) avec lequel nous avons effectués le diagnostic optique de densité.



Dans ce montage, Le faisceau est divisé en deux par la lame séparatrice. l'un de ces faisceaux, le faisceau objet, va traverser le milieu de la décharge tandis que l'autre, le faisceau de référence, ne subira aucune perturbation. Ces deux rayons de lumière ont le même chemin optique lorsque la décharge ne fonctionne pas. Ils vont donc interférer et former des franges d'interférences après le miroir semi- réfléchissant présent sur le montage. Les franges obtenues sont rectilignes, parallèles entre elles et perpendiculaire à l'axe de la décharge. Elles sont localisées sur la décharge.

Comme nous l'avons vu le faisceau objet, en passant à travers le milieu de déphasage, subit une perturbation et donc une modification de sa phase. Il va avoir un retard de phase par rapport au faisceau de référence. Ce retard est visible et mesurable en observant la déformation des franges obtenues sur l'interférogramme.

Pour l'acquisition des interférogrammes, nous avons placé une caméra CCD, au point de localisation des franges. Avec ce système d'acquisition, nous déterminons le déphasage avec une précision de 0.1 degré, ce qui correspond à une résolution spatiale de 0.1 mm, lorsqu'elle est rapportée aux dimensions réelle de la décharge.

3.Principe de fonctionnement :

Un faisceau laser He-Ne rouge ($0.6328\mu\text{m}$) est élargi (environ 6 mm de diamètre) à l'aide d'un collimateur, puis séparé en deux faisceaux dans l'interféromètre de Mach-Zehnder à l'aide d'une lame séparatrice. Nous plaçons, à la sortie du laser, un filtre spatial qui nous permet d'obtenir un faisceau filtré propre et très proche d'une onde plane. soient identiques en largeur et en intensité. Les électrodes sont de plus en plus visible sur l'interférogramme, la distance inter électrodes est mesurée à l'aide de la mire.

L'image du décalage du gaz est enregistrée avec une caméra CCD. à partir de l'interférogramme, nous utilisons l'inversion d'ABEL qui nous permet d'obtenir le profil de densité du gaz.

Notre système de décharge est constitué de deux électrodes, une pointe et un plan, en acier inoxydable. Le rayon de courbure de la pointe est de $50\mu\text{m}$ et le diamètre du plan est de 25 mm. La distance inter électrodes d peut varier entre 4 et 10 mm, nous avons pris $d=5.8$ mm. Cette décharge couronne pointe – plan présente une symétrie cylindrique, elle est étudiée en régime stationnaire dans deux montages électriques différents :

* Dans le premier montage, la pointe est reliée à la masse et le plan à la haute tension positive. C'est la décharge couronne négative.

* Dans le deuxième montage, la pointe est reliée à la haute pression positive, tandis que la plan est reliée à la masse. C'est la décharge couronne positive.

4. Calcul de l'indice de réfraction d'un milieu

4.1. La relation de Gladstone-Dale

La relation de Gladstone-Dale, relative aux milieux ionisés, nous permet d'écrire l'indice de réfraction des différentes populations :

$$n-1 = N_n ((1-\alpha)K_n + \alpha K_i) + N_e K_e \quad (1)$$

4.2. L'inversion d'Abel :

$$\delta\varphi(x) = \frac{4\pi}{\lambda_0} \int_0^{y_0} [n(r) - 1] dy \quad (2)$$

5. Evolution axiale de la population des neutres

A partir de la relation qui existe entre la densité des particules et l'indice de réfraction, nous pouvons connaître la densité de ces particules dans le plasma créé par la décharge.

Pour faire l'analyse de l'évolution des neutres, nous avons représenté une évolution axiale et une autre radiale pour la décharge de type : décharge pointe négative.

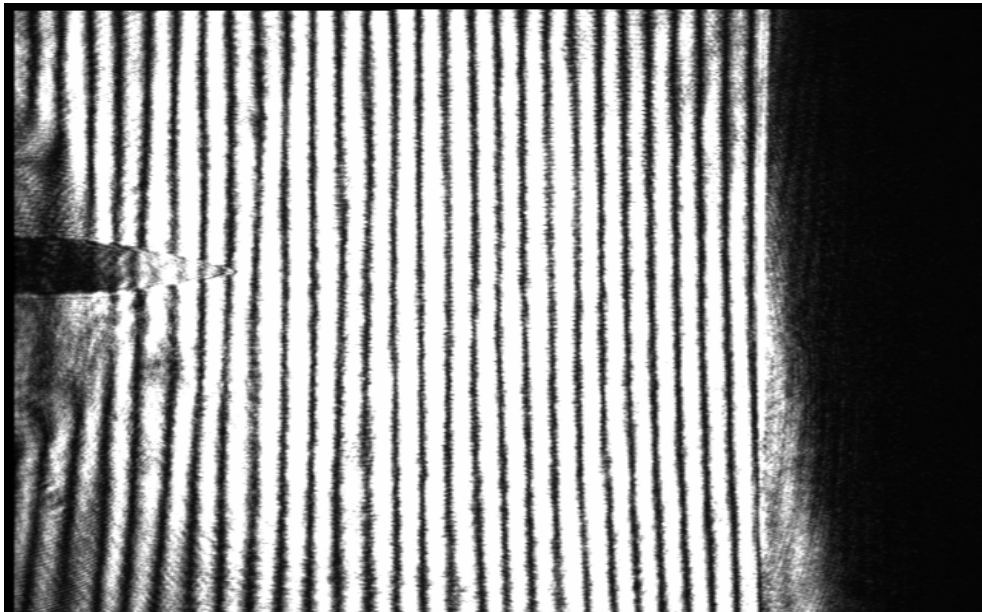


Photo 1 : franges d'interférences sans application de la décharge
(gaz :N₂, pression :760 torr 30kV 0.5ma R= 10Mohm pointe- plateau +)

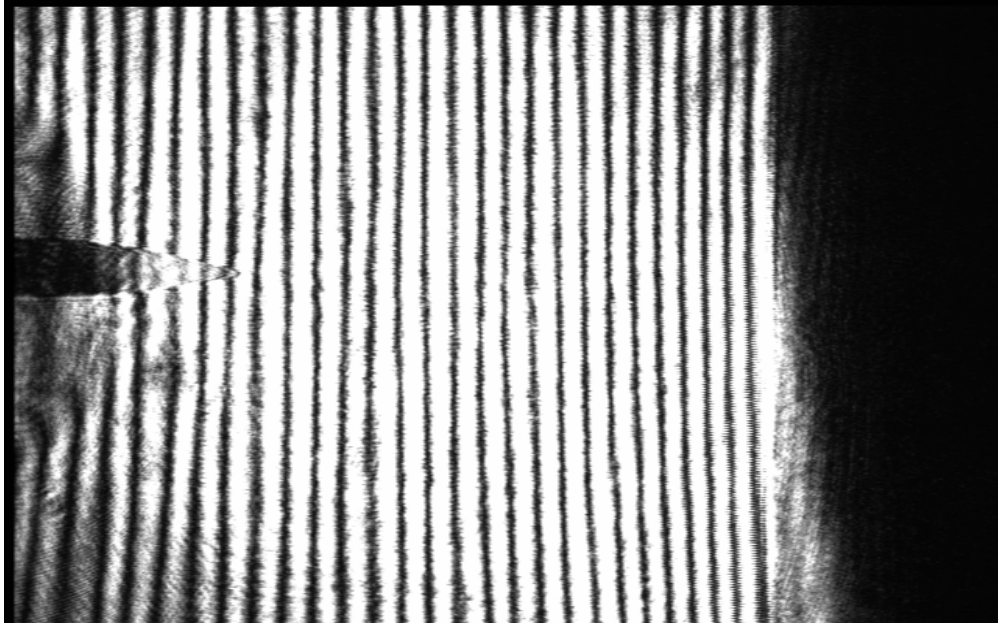


Photo 2 : franges d'interférences avec application de la décharge
(gaz :N₂, pression : 760 torr 30kV 0.5ma R= 10Mohm pointe- plateau+)

La variation de l'indice de réfraction d'un milieu est généralement le reflet de la variation du nombre de particules à l'intérieur du milieu considéré. Cette variation de l'indice de réfraction est attribuée à la conjugaison des deux phénomènes qui sont l'injection d'énergie, particules chargées) et l'évolution des neutres (peuplement ou dépeuplement). A partir de la relation qui existe entre la densité des particules et l'indice de réfraction, nous pouvons connaître la densité de ces particules dans le plasma créé par la décharge.

Pour faire l'analyse de l'évolution des neutres, nous avons représenté une évolution axiale. Nous travaillons à une température ambiante ($T_0=300K$).

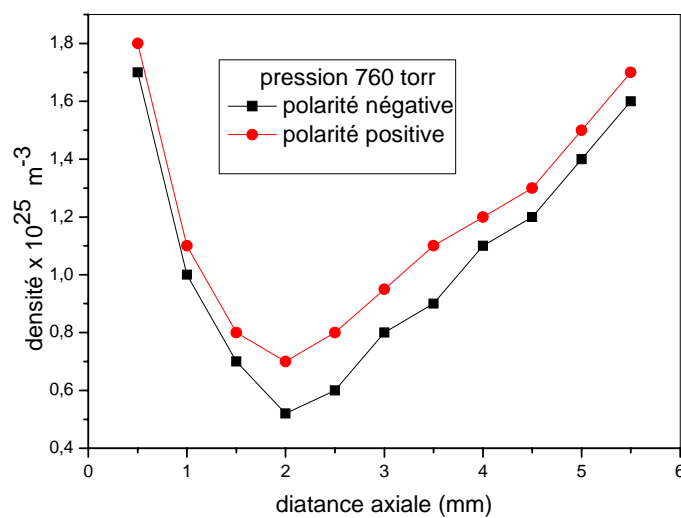


Figure 1 : Évolution axiale de la densité des neutres pour P=760 Torr, dans les deux cas de décharges : pointe>0 et pointe <0 (pointe z=5.8 mm; plan z=0)

6. Conclusion

Le diagnostic interférométrique réalisé sur cette décharge couronne, nous a permis de déterminer de façon quantitative le phénomène de dépopulation des neutres au cœur de la décharge. Nous avons pu en déduire que cette dépopulation est donc le siège de nombreux transferts thermiques entre les particules.

Nous avons montré que l'empreinte thermique de la décharge couronne est assez étendue. Elle est de 6 mm pour la décharge négative et de 3 mm pour la décharge positive.

L'augmentation de température et la forte dépopulation modifient le milieu dans lequel la décharge évolue, augmentant ainsi les conditions d'inhomogénéités.

Références

- [1] Mesure de la densité d'un plasma .par sonde de Langmuir en présence de champ magnétique .J. Ripault-Misguich. Association Euratom-CEA. (Reçu le 8 juillet 1971, révisé le 27 avril 1972)
- [2] G. Forn ; Thèse de troisième cycle , université Paul Sabatier- Toulouse,(1984).
- [3] V. Cecile, thèse de doctorat , Université Louis Pasteur –Strasbourg(1993)
- [4] L. Mehr, J. Cristiansen et al(1991).
- [5] V. Malka, F. Amiranoff, C. Coulaud, J.-P. Geindre, V. Lopez, Z. Najmudin et D. Neely.