

ÉLABORATION D'UN MODELE NUMERIQUE DE TYPE PARTICULAIRE UNIDIMENSIONNEL POUR UNE DECHARGE DC A BASSE PRESSION

F. BOUANAKA, S. REBIAÏ, H. BAHOUH et S. SAHLI

Laboratoire de Microsystèmes et Instrumentation, Département d'Electronique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Mentouri – Constantine, Route d'Ain El-Bey, 25000 Constantine, Algérie

E-mail: fouzi.bouanaka@yahoo.fr

RÉSUMÉ : le travail présenté dans ce papier est une contribution à la modélisation des plasmas continus basse pression. Le modèle proposé est unidimensionnel et de type particulaire, appliqué à un plasma d'argon. Il est basé sur la résolution de l'équation de continuité couplée avec l'équation de Poisson dans l'espace inter électrodes. Les résultats du modèle sont illustrés en termes de distribution spatiale des densités de charges électroniques, du potentiel et du champ électrique. L'effet de la pression et de la distance inter électrode sur les différents paramètres est étudié par ce modèle.

MOTS-CLÉS : plasma, modèle particulaire (pic-mc), potentiel plasma, modélisation, plasma d'argon, décharge dc

1. Modèle proposé

Les modèles fluides, particuliers (PIC-MC) et hybrides sont des techniques numériques couramment utilisées pour la simulation des plasmas à basses températures [1]. La modélisation d'une décharge plasma consiste à déterminer la cinétique des particules neutres et chargées en intégrant tous les mécanismes de collisions susceptibles de se produire dans le gaz [2]. Par ailleurs, la modélisation du plasma est devenue un outil précieux pour la compréhension de la physique des plasmas et a contribué au développement des réacteurs à plasma performants [3]. Ceci a été rendu possible par le développement de modèles simplifiés et le choix des techniques de simulation appropriées [4]. Dans ce travail, nous nous intéressons à la modélisation et l'étude numérique à 1D d'une décharge plasma de type particulaire. Cette étude est importante puisqu'elle permet une description précise de l'évolution des particules dans un système sous l'effet de champ électrique appliqué. Ainsi nous présentons un aperçu sur le principe du modèle proposé et les limites de sa validation. Le modèle proposé est établi en MATLAB, il fournit les profils des différentes grandeurs caractéristiques du plasma telle que le potentiel, le champ électrique et les densités de charges électroniques et ioniques en fonction des conditions de simulation (pression et espace inter-électrodes) [5, 6].

Le plasma est gouverné par un système d'équations non linéaires et ne peut être résolu analytiquement, pour cela, nous avons procédé à sa résolution en utilisant la méthode des différences finies [7]. Le but de ce travail consiste à modéliser les distributions des particules chargées, du potentiel et du champ électrique d'un gaz monoatomique; l'Argon (Ar) [8] créés dans une décharge continue (DC) dans le cas d'une configuration géométrique unidimensionnelle. L'effet de la distance inter électrodes et de la pression, sur ces distributions, est aussi étudié.

2. Système d'équations

Le modèle proposé est de type particulaire basé sur la résolution des deux premiers moments de l'équation de Boltzmann. Ces deux moments représentent les équations de continuité et de transfert de la quantité de mouvement. Elles sont couplées à l'équation de Poisson en utilisant l'approximation du champ local.

Les équations suivantes régissent le système:

- transport :

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \frac{\partial(n_e V_e)}{\partial x} = n_e N k_i \quad (1)$$

$$\text{Pour } \alpha = e, i \quad \begin{cases} \Gamma_e = n_e V_e = -n_e \mu_e E - D_e \frac{\partial n_e}{\partial r} \\ \Gamma_i = n_i V_i = n_i \mu_i E - D_i \frac{\partial n_i}{\partial r} \end{cases} \quad (2)$$

- potentiel :

$$\epsilon_0 \nabla^2 V = -e(n_i - n_e) \quad (3)$$

où : $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C, $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-14}$ F/cm et $n_{e,i}$, $\Gamma_{e,i}$, E , $D_{e,i}$ et $\mu_{e,i}$ sont respectivement les densités de charges (électrons et ions), les flux des particules chargées, le champ électrique, les coefficients de diffusion des porteurs de charges et leurs mobilités.

3. Résultats

Les figures ci-dessous illustrent les résultats de notre simulation. Les grandeurs physiques relatives au gaz (mobilités, coefficient de diffusion,...) sont prises de la littérature [9].

La densité électronique, le potentiel et le champ électrique des figures 1 et 2 sont calculés pour une densité de gaz de $1.44 \cdot 10^{14}$ cm⁻³, un espace inter électrode de 3cm, une pression de 1 Torr et une tension appliquée à la cathode de -250V. Les résultats obtenus illustrent bien la présence des deux régions de gaines cathodique et anodique ainsi que la région plasma à potentiel constant.

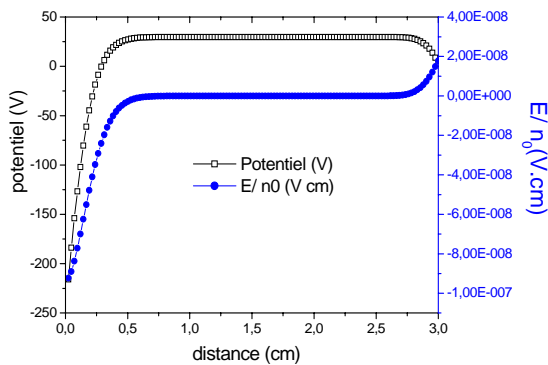


Figure 1 : distribution spatiale du potentiel et du champ électrique.

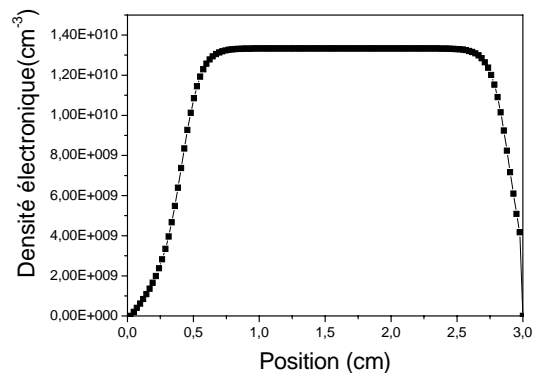


Figure 2 : distribution spatiale de la densité électronique.

L'effet de la pression du gaz, variable de 0.1 à 10 Torr, est illustré sur les figures 3 et 4. Cet effet se traduit par une augmentation du potentiel plasma V_p et une réduction des régions de gaines.

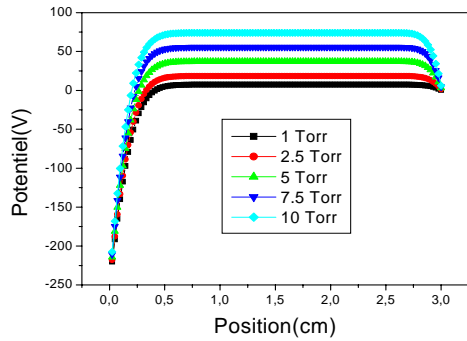


Figure 3 : Profil du potentiel plasma pour différentes valeurs de la pression

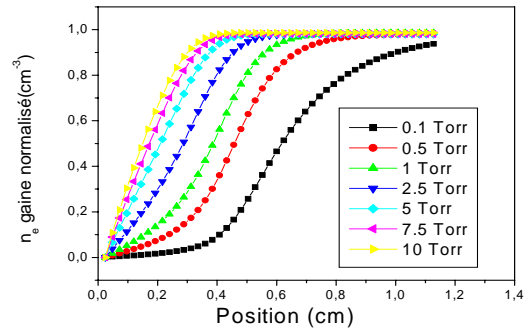


Figure 4 : Profil de la densité de charge, dans la région de gaine, pour différentes valeurs de la pression.

L'augmentation de la distance entre les deux électrodes de 1 à 3cm, à pression constante de 1Torr, a produit le même effet ; soit une augmentation du potentiel plasma (figure 5) et une réduction des zones de gaines illustrée sur la figure 6 où les densités et les espaces sont normalisés.

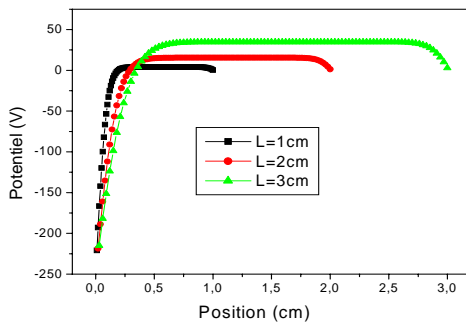


Figure 5 : Profil du potentiel plasma pour différentes distances inter électrodes.

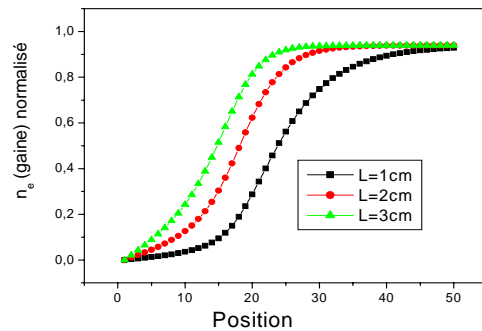


Figure 6 : Profil de la densité de la gaine pour différentes distances inter électrodes.

Références

- [1] H. C .Kim¹, F .Iza, S .S Yang, M. Radmilović- Radjenović and J K Lee; *J. Phys. D: Appl. Phys.* Vol 38, pp (283–301), (2005)
- [2] S. Min. Lee, Y.J. Hong Y.S. Seo, F. Iza, G. C. Kim and J.K.Lee; *Computer Physics Communications* (2009)
- [3] A. Bogaerts, R. Gijbels; *Science Direct*, *Vacuum* 69 (2003) 37–52.
- [4] D.Hash, D.Bose, T.R.Govindan and M.Meyyappan; *Journal of applied physic*, Vol 93, N^o 10, pp (6284-6290), 2003.
- [5] T. E. Nitschke and D. B. Graves; *Journal of applied physic*, Vol. 76, N^o 10, pp (5646-5660), 15 November 1994.
- [6] A. Bogaerts, R. Gijbels; *Science Direct* Vol 69, pp (37–52), 2003.
- [7] Gerjan Hagelaar « *Modeling of microdischarges for display technology* », Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2000.
- [8] E. Gogolides, H. Sawin; *Journal of applied physic*, Vol 72, N^o 9, pp (3971-3987), 1992.
- [9] S. Roy and B. P. Pandey, *Physics of plasmas*, Volume 10, Number 6, pp (2578-2585), (2003).