

EFFET DE L'ENERGIE DEPOSEE DANS LE PLASMA HAUTE PRESSION SUR LES CARACTERISTIQUES D'UNE LAMPE A EXCIMER

Halima LOUKIL et Ahmed BELASRI

Laboratoire de Physique des Plasmas, Matériaux Conducteurs et leurs Applications, U.S.T.O.M.B.,

B.P. 1505 El-M'naouer, Oran, Algérie

E-mail: loukil.halima@gmail.com

RÉSUMÉ : Les décharges à barrières diélectriques fonctionnant à haute pression sont de plus en plus utilisées dans l'industrie. Elles font l'objet de nombreuses études et leur utilisation connaît de nombreuses applications tels que la génération d'ozone, le dépôt de matériaux, le traitement de surface, la dépollution, les écrans plasma et les lampes à excimères dans le domaine de l'éclairage. Cette étude est réalisée par l'élaboration d'un modèle électrique pour une lampe pompée par une décharge à barrières diélectriques à haute pression contenant le xénon pur. Le but de ce travail est l'étude de l'influence de la tension appliquée sur les paramètres de la décharge. Nous avons considéré un modèle zéro-dimensionnel dans lequel on a couplage entre le plasma, la cinétique des espèces lourdes et le circuit électrique extérieur. Les profils temporels des concentrations d'électrons, d'ions et des atomes excités sont obtenus par intégration des équations de transport électronique, couplées à la cinétique des espèces lourdes et au circuit extérieur. La lampe alimentée par une source de tension sinusoïdale à 3kV, 4kV et 5kV est présentée par un circuit électrique équivalent, où le plasma est représenté par une résistance et les diélectriques par une capacité équivalente C_d . Ce modèle nous a permis de déterminer les caractéristiques de la décharge. Les résultats concernent les variations temporelles des paramètres de la décharge pour différentes tensions appliquées.

MOTS-CLÉS : plasma froid, lampe, décharge à barrières diélectriques, xénon, cinétique, modèle 0D

1. Introduction

Les plasmas froids hors équilibre sont utilisés dans de nombreux domaines tels que les dispositifs pour le traitement des gaz, la génération d'ozone, le traitement de surface, le dépôt des matériaux, le contrôle de la pollution [1], les écrans plasma [2] et les lampes à excimer [3-8] dans le domaine de l'éclairage. Ces lampes d'excimer utilisent soit un gaz rare pur ou des mélanges de gaz rares ou bien des mélanges de gaz rares et d'allogènes. Elles sont principalement utilisées pour les processus traitant les radiations UV. Ces sources d'UV ne contiennent pas de mercure car c'est un élément nocif pour la santé et l'environnement [9]. Ces lampes peuvent être pompées par une DBD à haute ou à basse pression, elles peuvent être alimentées par une source de tension sinusoïdale ou bien impulsionnelles. Afin d'optimiser les conditions de fonctionnement de ces dispositifs, beaucoup de travaux de simulation ont été développés pour l'étude d'une lampe à DBD contenant le xénon pur. Ces modèles numériques sont nécessairement compléments aux investigations expérimentales. Le modèle utilisé par Oda et al. [10,11] est basé sur la résolution de l'équation de continuité des électrons et des ions, l'équation de conservation d'énergie et l'équation de poisson. Le modèle développé par Carmen et al. [12, 13,14] est basé sur l'étude de l'évolution spatiotemporelle des paramètres électriques et cinétiques de la décharge. Les modèles 1D et 2D fluide ont été développés par Bogdanov et al. [15,16] afin d'étudier les caractéristiques d'une lampe à DBD de xénon. Liu et Neiger [17] ont développé un modèle électrique pour l'étude d'une décharge à barrières diélectrique. Belasri et Harrache [18] ont développé un modèle numérique d'une lampe à

DBD de xénon afin de prédire les conditions optimales de fonctionnement de ces dispositifs et de décrire leurs propriétés électriques et cinétiques.

Les lampes à DBD de xénon ont été également étudiées par des expériences et des modèles de simulation par Beleznaï et al. [19, 20, 21].

Ce travail repose sur l'élaboration d'un modèle 0D qui permet d'étudier les caractéristiques d'un plasma haute pression généré par une décharge sinusoïdale pour une lampe constituée uniquement par un gaz rare de xénon.

Les résultats montrent la variation temporelle des paramètres électriques de la décharge, l'influence de la tension appliquée sur les paramètres de la décharge telle que le courant électrique, la puissance déposée par les électrons dans le plasma ainsi que la densité des photons émis à 173nm.

2. Description du modèle de la décharge

Nous avons développé pour notre décharge un modèle zéro-dimensionnel ou le plasma est considéré comme un milieu homogène, Le modèle est constitué de circuit électrique représenté sur la figure1 chargé par une résistance R_p représentant le plasma et les deux capacités C_{d1}, C_{d2} qui représente les deux diélectriques qui recouvrent les électrodes, le circuit complet est alimenté à une source de tension sinusoïdale.

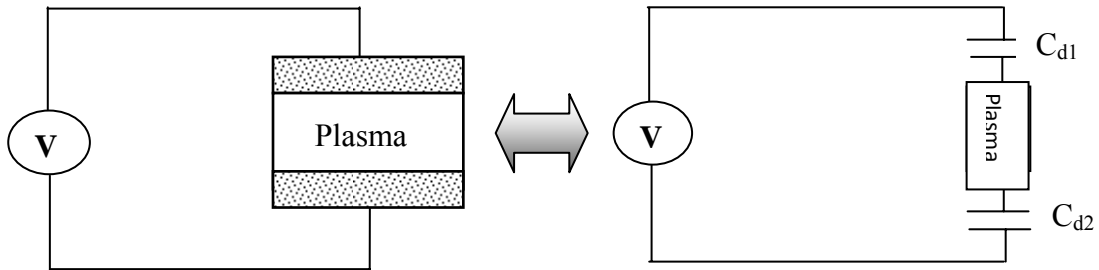


Figure 1: Schéma simplifié du circuit électrique équivalent à la Décharge

La tension aux bornes de la capacité équivalente aux diélectriques est V_d , la tension du plasma est V_p . Donc est selon le schéma illustré sur la figure (1), la tension total appliquée à la décharge $V(t)$ est la somme de ces deux potentiels. Ainsi, on peut écrire la formule suivante : $V(t) = V_d + V_p$

La densité des espèces est obtenue par la résolution d'une équation de continuité de type :

$$\frac{dN_i}{dt} = S_e \quad (1)$$

Où N_i est la densité de l'espèce i et S_e est le terme source de l'équation de continuité qui tient compte de tous les processus de perte et de création donc le plasma est décrit par un système d'équations de continuité de la densité électronique et de la densité des espèces lourds.

Le modèle zéro dimensionnel est divisé en trois parties fortement couplées, l'équation de Boltzmann, les équations du circuit extérieur et les équations cinétiques chimiques [18].

Le modèle cinétique que nous avons adopté prend en compte les espèces suivantes : les électrons, les ions atomiques et moléculaires du xénon, les états excités de l'atome du xénon, les états excités de la molécule d'excimer et les photons. La cinétique utilisée est très simple mais suffisante pour décrire la décharge.

3. Les conditions de calcul

Les conditions de calcul considérées sont présentées sur le tableau 1 :

Tableau 1 : Les conditions de calcul utilisées pour un gaz pur en xénon

Paramètres	Valeur
Type de gaz	Xénon (Xe)
Pression du gaz	400 torr
fréquence	100kHz
Distance plasma	$d_p=4\text{mm}$
Tension appliquée	$V_{ap}=3000, 4000, 5000\text{V}$
Température du système gaz et électrodes	$T_g=300\text{K}$
Capacité des diélectriques	$C_{diel}=0.28\text{nF}$
Densité de pré-ionisation	10^9cm^{-3}

4. Résultats et discussion

4.1. Evolution temporelle des paramètres électriques de la décharge

Sur la figure 2 nous avons tracé pour le cas d'un gaz pur (xénon), les variations temporelles du courant et des tensions du plasma et des diélectriques pour une tension appliquée de 3kV, une pression de gaz de 400 torr et une densité de pré-ionisation de 10^9cm^{-3} . La figure montre l'évolution temporelle du courant électrique de la décharge durant l'impulsion de $10\mu\text{s}$. Le pic du courant atteint une valeur de 2A à l'instant $2.5\mu\text{s}$. Les variations temporelles de la tension aux bornes de la capacité équivalente aux diélectriques V_d et la tension de la décharge V_p sont représentées sur la même figure. La tension V_d commence à augmenter par effet du chargement des diélectriques jusqu'à atteindre un maximum, tandis que la tension de la décharge V_p décroît lors de la formation du plasma pour atteindre une valeur très faible.

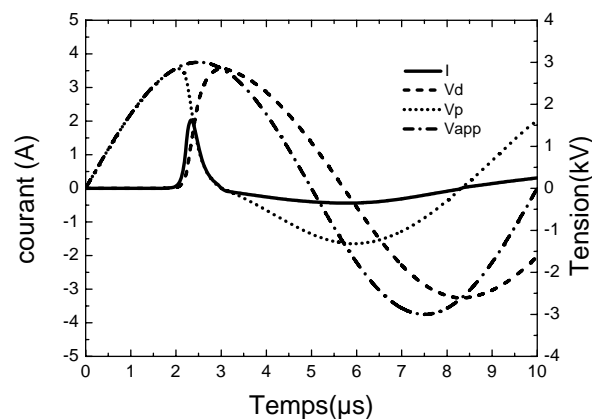


Figure 2 : Variation temporelle des paramètres électriques de la décharge

4.2. Etude paramétrique de la décharge

Cette partie est consacrée à l'étude de l'influence de l'énergie déposée dans le plasma sur certains paramètres électriques et cinétiques de la décharge.

4.2.1. Influence de la tension appliquée sur les paramètres électriques de la décharge

Afin d'observer l'influence de la tension appliquée et donc l'énergie déposée dans le plasma sur le courant de la décharge, nous avons tracé sur la figure 3, la variation temporelle du courant pour différentes tensions appliquées allant de 3kV à 5kV. Les maximums des pics de

courant augmentent avec l'augmentation de la tension appliquée et correspond à des valeurs de 2.1A, 5.3A et 8 A respectivement.

On voit clairement que le temps de claquage diminue avec l'augmentation de la tension appliquée, sans oublier la durée de l'impulsion qui elle aussi diminue. La variation temporelle de puissance déposée par les électrons dans la décharge est tracée pour différentes tensions appliquées sur la figure 4. Le pic de puissance atteint un maximum de 45.7 kW.cm^{-3} pour une tension de 5kV.

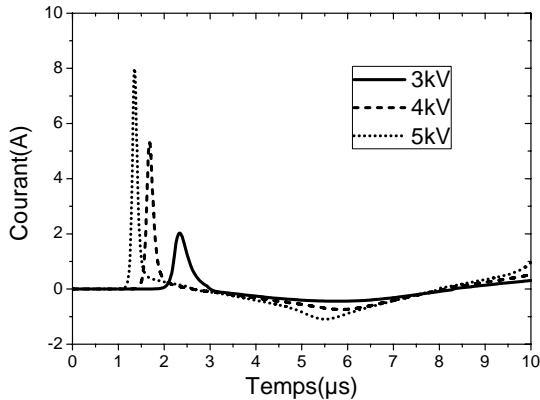


Figure3 : Variation temporelle du courant électrique pour différentes tension appliquées

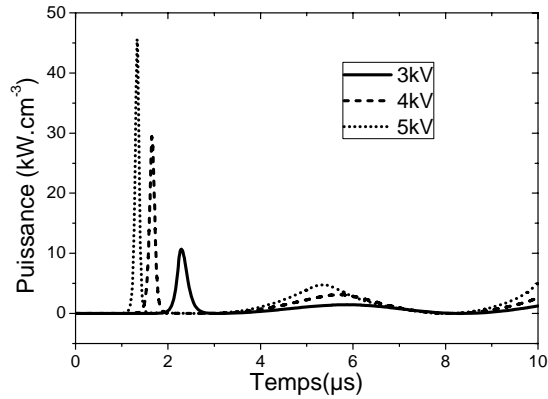


Figure4 : Variation temporelle de la puissance déposée par les électrons pour différentes tensions appliquées

4.2.2. Influence de la tension appliquée sur la densité des photons

Le modèle zéro dimensionnel cinétique nous a permis aussi de calculer la variation temporelle de la densité des photons (173nm) tracée sur la figure 5 pour plusieurs tensions appliquées (3kV, 4kV et 5kV). On remarque que la densité des photons croît avec l'augmentation de la valeur de la tension appliquée au système.

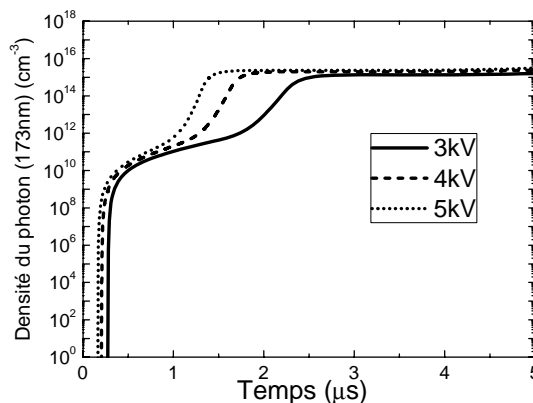


Figure 5 : Variation temporelle de la densité des photons à 173nm pour différentes tensions appliquées

5. Conclusion

Ce travail représente une étude macroscopique de la cinétique d'une lampe à DBD contenant le xénon pur. Cette étude a été effectuée par un modèle de colonne positive dans lequel on a un couplage entre le plasma, la cinétique des espèces lourdes et le circuit extérieur. Le plasma généré par impulsion sinusoïdale a été étudié. La cinétique des espèces lourdes a été représentée à l'aide d'un jeu de réactions qui tient compte des espèces suivantes : les électrons, les ions atomiques et moléculaires du xénon, les états excités de l'atome du xénon, les états excités de la molécule d'excimer, les photons. Les résultats illustrent l'évolution temporelle des tensions et du courant électrique de la lampe pour une tension de 3kV. Le modèle qui a été développé nous a permis aussi d'effectuer une étude paramétrique en faisant varier la tension appliquée allant de 3kV jusqu'à 5kV afin de décrire la formation du plasma dans des conditions où le milieu est supposé homogène. Nous avons remarqué que pour des tensions élevées, le pic du courant de la décharge augmente, le temps de claquage diminue avec la durée de l'impulsion du courant. Ce modèle a été développé dans le but de mieux comprendre la cinétique d'une lampe à excimer de xénon, mais aussi pour déterminer les mécanismes qui sont à l'origine de la production des photons.

Références

- [1] A Belasri, K Khodja, S Bendella and Z Harrache, *J. phys.* **D43**, 445202(2010)
- [2] J P Boeuf, *J. Phys.* **D36**, R53(2003)
- [3] U Kogelschatz, *Plasma Chem. Plasma Process.* **23** 1(2003)
- [4] B Eliasson and U Kogelschatz, *Appl. Phys. B* **46** 299(1988)
- [5] M V Erofeev and V F Tarasenko, *J. Phys. D* **39** 3609(2006)
- [6] U Kogelschatz, *Pure Appl. Chem.* **62** 1667(1990)
- [7] B Gellert and U Kogelschatz *Appl. Phys. B* **52** 14(1991)
- [8] U Kogelschatz *Appl. Surf. Sci.* **54** 410(1992)
- [9] S. Bhosle¹, R. Diez¹, H. Piquet¹, D. Le Thanh¹, B. Rahmani¹, *D. Busol Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference* (2008)
- [10] A Oda, H Sugawara, Y Sakai and H Akashi *J. Phys. D* **33**, 1507(2000)
- [11] A Oda, Y Sakai, H Akashi and H Sugawara, *J. Phys. D* **32**, 2726(1999)
- [12] R. J. Carman, R. P. Mildren, B K Ward and D M Kane, *J. Phys. D* **37**, 2399(2004)
- [13] R. J. Carman and R. P. Mildren, *J. Phys. D* **36**, 19(2003)
- [14] R. J. Carman, R. P. Mildren, *IEEE Trans. Plasma Sci.* **30**, 154(2002)
- [15] E.A. Bogdanov, A.A. Kudryavtsev, and R.R. Arslanbekov, *Contrib. Plasma Phys.* **46**, 807(2006)
- [16] E.A. Bogdanov, A.A. Kudryavtsev, R.R. Arslanbekov, and V.I. Kolobov, *J. Phys. D* **37**, 2987(2004)
- [17] S. Liu, and M. Neiger, *J. Phys. D* **36**, 3144(2003)
- [18] A. Belasri and Z. Harrache, *Phys. Plasmas* **17**, 123501(2010)
- [19] Sz. Beleznai, G. Mihajlik, A. Agod, I. Maros, R. Juhasz, Zs. Németh, L. Jakab and P. Richter, *J. Phys. D* **39** 3777(2006)
- [20] Sz. Beleznai, G. Mihajlik, I. Maros, L. Balazs and P. Richter, *J. Phys. D* **43** 015203(2010)
- [21] Sz. Beleznai, G. Mihajlik, I. Maros, L. Balazs and P. Richter, *J. Phys. D* **41** 115202(2008)