

INFLUENCE DE LA GAINÉ CATHODIQUE D'UNE DBD DANS LE MELANGE NeXe POUR LA PRODUCTION DES RAYONNEMENTS UV

Khadija KHODJA, Soumia BENDELLA, Nadjat LARBI DAHO BACHIR
et Ahmed BELASRI

*Laboratoire de Physique des Plasmas, Matériaux Conducteurs et leurs Applications,
Département de Physique, Faculté des Sciences, U.S.T.O., B.P. 1505 El-M'naouer, Oran, Algérie*
E-mail: khodja_kh@yahoo.fr

RÉSUMÉ : La recherche sur les plasmas a trouvé ces dernières années des applications industrielles très intéressantes et d'une grande importance. L'étude des plasmas chauds a permis aux chercheurs de trouver une nouvelle source d'énergie qu'est le Tokamak. On retrouve d'autres applications qui font appel maintenant au plasma froid telles que la génération d'ozone, la dépollution, les écrans ou les lampes à plasma. Ces lampes à espèces excitées ou à excimères sont de plus en plus utilisées grâce aux avantages qu'elles présentent comme la non utilisation du mercure évitant ainsi des conséquences graves sur la santé et l'environnement, et l'émission du spectre qui peut être réglée avec le mélange gazeux utilisé. Une application spécifique des DBD concerne les dispositifs destinés à produire un rayonnement UV, créé par des excimères ou des exciplexes ces dispositifs sont appelés lampes à excimère ou excilampes. Dans ce travail nous présentons une étude sur l'évolution de la gainé cathodique au cours d'une impulsion de courant. Nous avons développé un modèle unidimensionnel couplé aux équations cinétiques et au circuit extérieur de la décharge. Les résultats présentés sont obtenus grâce à la résolution des équations de continuité avec l'équation de Poisson.

MOTS-CLÉS : lampe à excimère, décharge à barrières diélectriques, xénon, néon, gainé cathodique

1. Introduction

Les décharges à barrières diélectriques sont de plus en plus utilisées dans la technologie de la génération d'un plasma hors équilibre thermodynamique à des pressions proches de la pression atmosphérique dans les gaz ou différents mélanges de gaz [1, 2]. Ce genre de décharges est caractérisé par la présence d'au moins un diélectrique dans la distance inter-électrodes.

Il existe beaucoup d'applications industrielles des DBD en particulier la génération de l'ozone [3-5], le traitement de surface [6, 7], la dépollution contrôlée par plasma [8, 9], et la production des ultraviolet [2, 10, 11].

Dans ce travail nous avons choisi d'étudier le comportement de la gainé cathodique d'une DBD dans le mélange NeXe-10%. Un modèle unidimensionnel a été développé pour analyser l'évolution de la gainé cathodique au cours d'une impulsion de courant [12]. Les résultats présentés dans ce travail concernent l'évolution temporelle du courant de décharge et la variation spatiotemporelle du champ électrique, de la densité ionique et électronique.

2. Modèle unidimensionnel de la région cathodique

La région cathodique est décrite par le modèle fluide unidimensionnel. Les électrons et les ions sont décrits par les équations de continuité :

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \frac{\partial n_e v_e}{\partial x} = S_e \quad (1)$$

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} + \frac{\partial n_p v_p}{\partial x} = S_p \quad (2)$$

Où n_e et n_p sont les densités des électrons et des ions respectivement, S_e et S_p sont les termes source de ces particules, v_e et v_p sont leurs vitesses de dérive. Ces équations représentent la conservation de la charge. Les termes sources des équations de continuité S_e et S_p rendent compte des créations et des pertes des particules chargées avec les molécules du gaz. Les termes $n_e v_e$ et $n_p v_p$ sont décrits comme suit :

$$n_e v_e = -D_e \frac{\partial n_e}{\partial x} - \mu_e E n_e \quad (3)$$

$$n_p v_p = -D_p \frac{\partial n_p}{\partial x} - \mu_p E n_p \quad (4)$$

$$\nabla^2 V = -\frac{e}{\epsilon_0} (n_p + n_e) \quad (5)$$

Les indices e et p correspondent aux électrons et aux ions respectivement. D et μ sont le coefficient de diffusion et la mobilité. Ces équations sont couplées à l'équation de Poisson (5), car cette équation donne la variation du champ électrique en fonction de la charge d'espace.

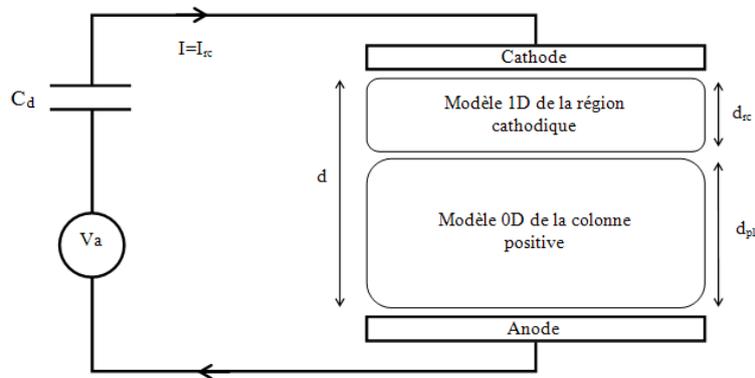


Figure 1 : Schéma du modèle de la décharge incluant la région cathodique (1D) et le plasma (0D). $d=d_{rc}+d_{pl}=0,5$ cm

3. Conditions de calcul

Les calculs pour les paramètres de la décharge à barrière diélectrique dans le mélange NeXe, ont été effectués sous les conditions suivantes :

Tableau 1 : Paramètres de la lampe

Paramètres	Valeurs
Composition du gaz	Ne-90%, Xe-10%
Tension appliquée	3 kV
Pression	400 torrs
Distance inter – électrode	0,5 cm
Surface des électrodes	1 cm ²
Capacité du diélectrique	0,23nF
Densité de pré – ionisation	10 ⁹ cm ⁻³

4. Résultats et discussions

4.1. Evolution spatiotemporelle du champ électrique et des densités des espèces chargées pendant la formation de la gaine

Sur la figure suivante nous avons tracé la variation temporelle du courant de la décharge I , pour une tension appliquée de 3kV à une pression de 400 torrs.

Lorsqu'on applique une tension aux bornes des électrodes le gaz ne claque pas immédiatement, il faut naturellement un temps de l'ordre des nanosecondes avant que le gaz

ne devient conducteur. Ce temps correspond à celui nécessaire pour que l'ionisation et l'émission secondaire aient créé suffisamment de charge pour assurer l'auto entretien de la décharge et est appelé temps de retard ou temps de claquage, ce temps est défini comme le temps au bout duquel le courant atteint 5% de sa valeur maximale.

Avec nos conditions de calcul la durée de l'impulsion de courant est de 300ns et le courant atteint un maximum de 6,64 A à $t=96$ ns. Le temps de claquage calculé correspond à $t=27$ ns. C'est le temps nécessaire pour que le gaz devienne conducteur et le plasma commence à se formé.

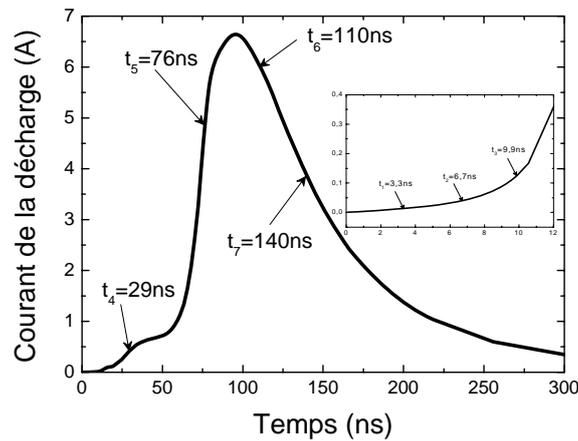


Figure 2 : Variation temporelle du courant de la décharge avant et après le claquage

Sur cette même figure nous avons précisé les temps ($t_1 \dots t_7$) utilisés dans l'étude de la distribution spatiale des particules chargées et du champ électrique avant et après le claquage dans la région cathodique et pour pouvoir suivre cette distribution spatiale à travers l'impulsion du courant.

4.2. Variation spatiotemporelle du champ électrique de la densité des particules chargées avant le claquage

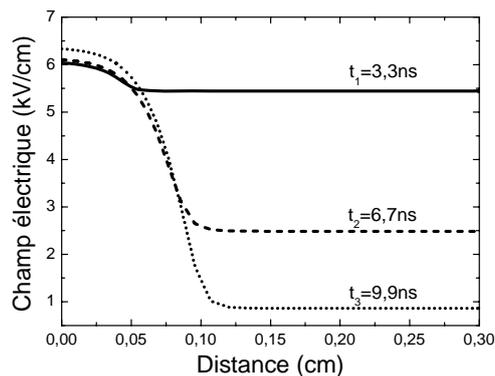


Figure 3 : Variation spatiotemporelle du champ électrique avant le claquage

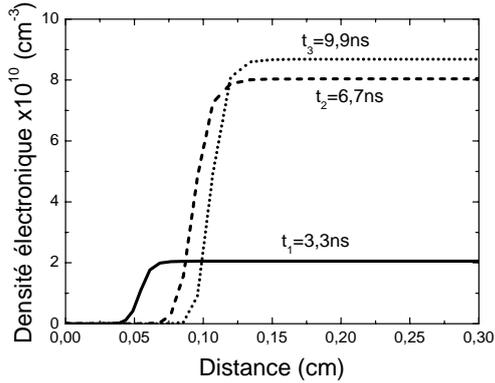


Figure 4 : Variation spatiotemporelle de la densité électronique avant le claquage

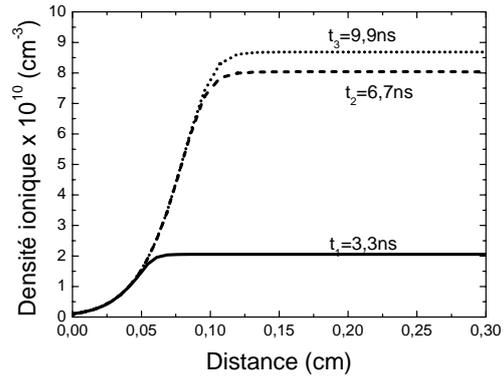


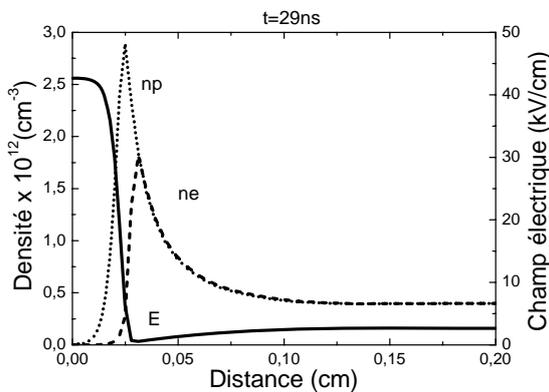
Figure 5 : Variation spatiotemporelle de la densité ionique avant le claquage

La distribution spatiale du champ électrique, de la densité ionique et la densité électronique avant le claquage à différents instants sont montrés sur les figures (3, 4 et 5). La longueur de la gaine augmente d'une façon régulière dans le temps avant le claquage. Cette longueur est définie comme étant la distance entre la cathode et le point pour lequel la densité d'électrons devient égale à la moitié de la densité d'ions (après ce point la densité électronique rejoint très rapidement à la densité des ions pour former le plasma). Durant cette période de la décharge le champ électrique est initialement constant et égale à 6kV/cm. Il commence à se distordre dans la région proche de la gaine dès les premières nano secondes de la décharge, ceci est dû à la formation de la charge d'espace dans cette région.

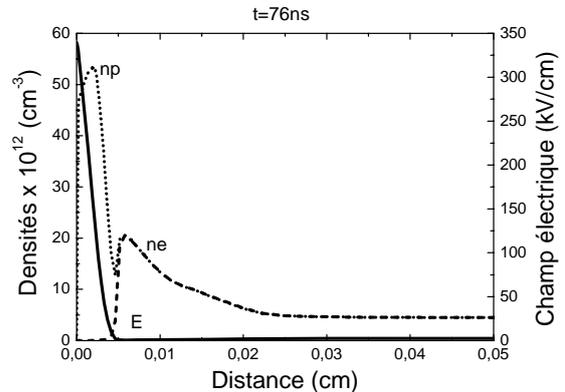
La multiplication électronique dans la gaine augmente avec le temps (voir figure 4) et atteint des valeurs très élevées rapidement pour nourrir le plasma en électrons et en ions à l'interface plasma gaine. Avant le claquage cette interface se déplace en direction de l'anode alors qu'après le claquage on observe une expansion du plasma vers la cathode.

4.3. Variation spatiotemporelle du champ électrique de la densité des particules chargées après le claquage

L'évolution spatiotemporelle du champ électrique, la densité ionique et la densité électronique après le claquage du gaz sont montrées dans les figures (6). Le champ électrique augmente dans la gaine cathodique, décroît dans le plasma tout en restant constant dans la colonne positive.



(a)



(b)

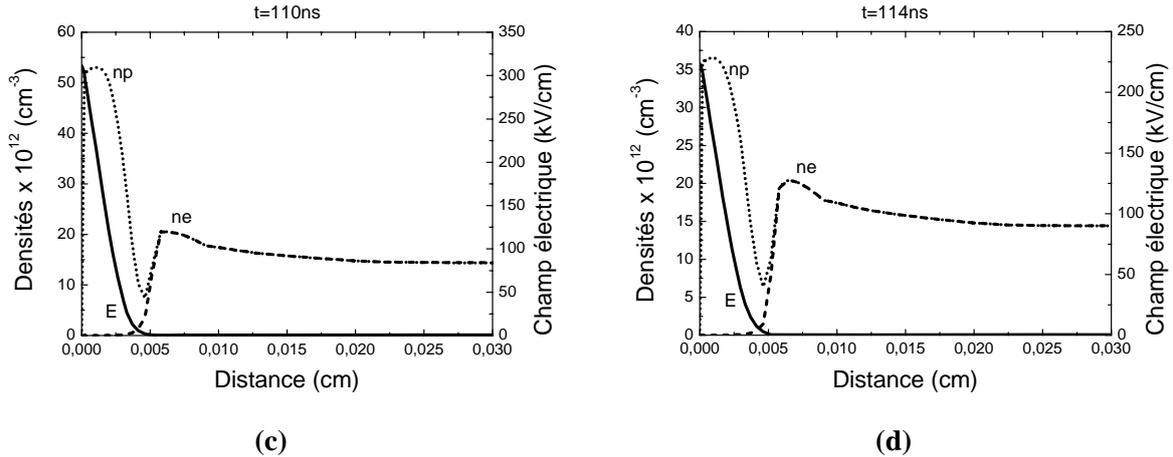


Figure 6 : Evolution temporelle de la distribution spatiale du champ électrique, de la densité électronique et ionique dans la région cathodique

A partir de 29ns la gaine commence à se rétracter rapidement. La largeur de la gaine passe de 0,12cm (à t=18ns avant le claquage du gaz) à 0,004cm (à t=90ns après le claquage du gaz), une valeur quasi stationnaire jusqu'à la fin de l'impulsion (voir figure 7).

5. Variation de la longueur de la gaine et de la densité des courants pendant l'impulsion de la décharge

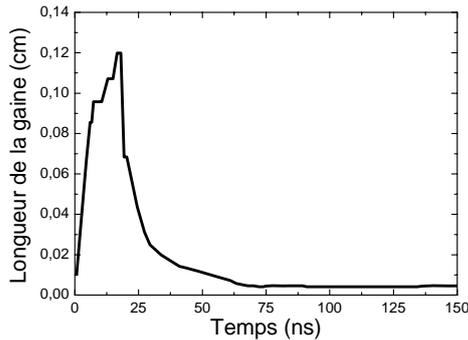


Figure 7 : Variation temporelle de longueur de la gaine durant la phase de formation du plasma

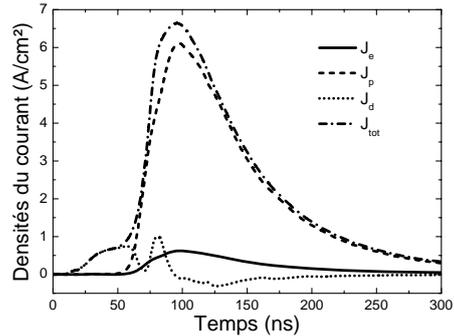


Figure 8 : Variation temporelle des différents types de courant à la cathode

La figure 8 représente la variation temporelle des différents types de courant à la cathode ou J_d, J_e, J_p, J_{tot}, sont respectivement le courant de déplacement, d'électrons, d'ions, et total. La continuité du courant impose que le courant total soit défini par :

$$J_{tot}(t) = J_d(t) + J_e(t) + J_p(t) \quad (6)$$

La densité de courant de déplacement est égale au courant total pendant les 50 premières nanosecondes, afin d'assurer la continuité du courant. Après t=130ns le courant total à la cathode devient presque égal au courant ionique, le courant de déplacement devient négligeable, la contribution du courant électronique est très faible.

6. Conclusion

Le modèle unidimensionnel décrivant le comportement de la région cathodique de la DBD pour le mélange NeXe-10%, permet d'analyser la formation de la gaine et l'évolution spatiotemporelle du champ électrique et des densités ionique et électronique.

L'augmentation rapide du champ électrique au voisinage de la cathode au moment de la formation du plasma conduit à une multiplication électronique très élevée dans la gaine cathodique, ce qui induit une croissance de la densité ionique et donc le champ électrique. Les

valeurs très élevées du champ électrique et l'accroissement rapide des ions dans la gaine entraînent une augmentation de l'émission des électrons secondaires à la cathode.

Références

- [1] B. Eliasson et W. Egli, *Helv, Phys. Acta.* **60**, 241-47, (1987)
- [2] A. Belasri, K. Khodja, S. Bendella and Z. Harrache, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **43**, 445202, (2010).
- [3] U. Kogelschatz, *Plasma Chem. Plasma Process*, **23**, 1, (2003).
- [4] W Siemens, *Poggendorff 's Ann. Phys. Chem*, **102**, 661857, (1857).
- [5] B. Eliasson, M. Hirth and U. Kogelschatz, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **20**, 1421, (1987).
- [6] S. Kanazawa, M. Kogoma, T. Moriwaki and S. Okazaki, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **21** 838 (1988).
- [7] F. Massines, C. Mayoux, R. Messaoudi, A. Rabehi and P. Segur, *Proc. 10th Int. Conf. on Gas Discharges and Their Applications (Swansea, UK)*, p 730(1992).
- [8] Clothiaux E J, Koropchak J A and Moore R R 1984 *Plasma Chem. Plasma Process.* 4 15
- [9] Storch D G and Kushner M J 1993 *J. Appl. Phys.* 73 51
- [10] U. Kogelschatz, H. Esrom, J.Y. Zhang, I.W. Boyd. *Applied Surface Science*, **168**, 29-36, (2000).
- [11] E.A. Sosnin, M.V. Erofeev, V.F. Tarasenko, *J. Phys. D:Appl. Phys.* **38**, 3194–3201, (2005).
- [12] A. Belasri, S. Bendella, T. Baba-Hamed, *Phys. Plasmas*. **15**, 1, (2008).