



Etude électrique et spectroscopique de la décharge couronne dans l'air à la pression atmosphérique pour la dépollution des gaz (Electrical and spectroscopic study of corona discharge in air at atmospheric pressure for the gas cleaning)

A. Abahazem¹, N. Merbahi², O. Eichwald², M. Yousfi², A. Ihlal¹

¹Université Ibn Zohr, Laboratoire Matériaux et Energies Renouvelables, Cité Dakhla BP 8106, Agadir, Maroc

²Université Paul Sabatier, LAPLACE, UMR 5213 du CNRS, 118 Route de Narbonne, Bât. 3R2, 31062 Toulouse Cedex 9, France

Received 25 September 2014, Revised 19 October 2014, Accepted 26 October 2014

*Corresponding Author. E-mail: alyenaba@yahoo.fr Tel: (+212661384306)

Résumé

Dans ce travail nous présentons une étude électrique paramétrique et spectroscopique de la décharge couronne dans une configuration pointe positive-plan à la pression atmosphérique dans l'air synthétique. Le courant de la décharge a été analysé dans un premier temps en régime de tension continue en fonction de la distance inter-électrodes et de la tension appliquée, puis en régime de tension impulsionnelle en fonction de la distance inter-électrodes, la tension appliquée, la fréquence et la largeur de l'impulsion. Une étude spectroscopique a été menée pour synthétiser et identifier les espèces présentes dans le mélange gazeux.

Mots-clés: Dépollution par plasma froid hors équilibre à la pression atmosphérique, Décharge couronne, Spectroscopie d'émission dans le visible

Abstract

In this work we present an electrical and spectroscopic study of corona discharge in a positive point-plane configuration at atmospheric pressure in synthetic air. The discharge current was initially analyzed in DC as a function of interelectrodes distance and applied voltage, then in pulse voltage as a function of interelectrodes distance, applied voltage, frequency and pulse width. A spectroscopic study was carried out to synthesize and identify the species present in the gas mixture.

Keywords: Cleanup by cold non-equilibrium plasma at atmospheric pressure, Corona discharge, Emission spectroscopy in the visible

Introduction

La pollution de l'air est devenue l'un des sujets les plus traités dans ces dernières décennies. L'augmentation rapide du développement industriel et le changement dans le mode de vie de l'être humain entraînent une consommation énergétique de plus en plus importante. Ce qui engendre une augmentation croissante des rejets de polluants gazeux dans l'atmosphère.

L'utilisation des réacteurs plasmas froids hors équilibre générés par des décharges électriques de type couronne est considéré comme une alternative aux procédés classique de traitement des gaz d'échappement [1]. C'est dans ce cadre que nous présentons cette étude pour tester l'efficacité de notre réacteur corona. Pour cela, nous avons effectué une étude en deux régimes de tension: continue et impulsionnelle, pour les comparer et voir le rendement de chaque régime de tension en changeant plusieurs paramètres opératoires.

2. Dispositif experimental

La figure 1, montre le schéma du dispositif expérimental utilisé dans notre étude [2]. La décharge électrique est allumée dans l'air synthétique à la pression atmosphérique dans une cellule en Inox (Enceinte). La pointe est en tungstène et son

rayon de courbure ρ de $20\mu\text{m}$. Le plan est en cuivre et d'un diamètre de 4cm. La distance inter-électrodes est réglable de 0 à 15mm grâce à une colonne Z connectée au plan. La cellule est connectée à un système de pompage et à un système de remplissage. Elle est purgée après chaque série de mesures de la pression atmosphérique jusqu'à une pression secondaire.

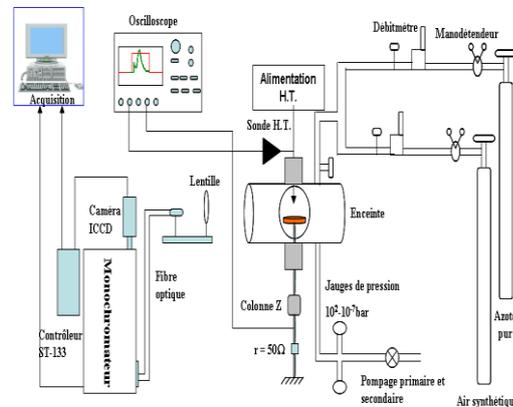


Figure 1: Dispositif expérimental.

La décharge est obtenue par l'application d'une haute tension impulsionnelle (la tension maximale délivrée par le générateur est de 15 kV). La tension appliquée au niveau de la pointe est mesurée par une sonde haute tension et le courant instantané $i(t)$ est mesuré via une résistance $r=50\ \Omega$.

3. Résultats et discussion

3.1. Etude paramétrique en régime de tension continue

La figure 2, représente la forme du courant instantané obtenu dans l'air synthétique à la pression atmosphérique pour une distance inter-électrodes et tension appliquée fixes [3].

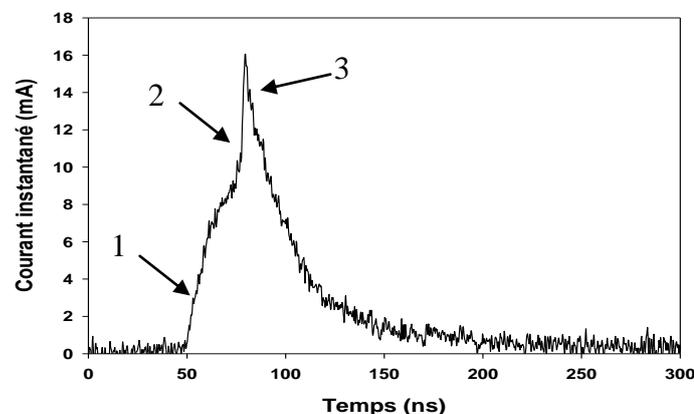


Figure 2: Courant instantané de décharge couronne pour $d=8\text{mm}$, $V_a=8\text{kV}$ et $\rho=20\ \mu\text{m}$, dans l'air synthétique et à la pression atmosphérique.

Le pic du courant instantané montre trois zones différentes durant le développement du streamer de la pointe vers le plan [2] : zone (1) correspond à la propagation des primary streamers en direction de la cathode. Zone (2) c'est l'arrivée des primary streamers sur la cathode. Zone (3) correspond à la propagation des secondary streamers. Au-delà, c'est la phase de relaxation du courant [4].

3.1.1 Influence de la distance inter-électrodes et de la tension appliquée sur le courant maximum de la décharge

La figure 3, montre le courant maximum de la décharge en fonction de la distance inter-électrodes pour différentes tensions appliquées dans l'air synthétique et à la pression atmosphérique.

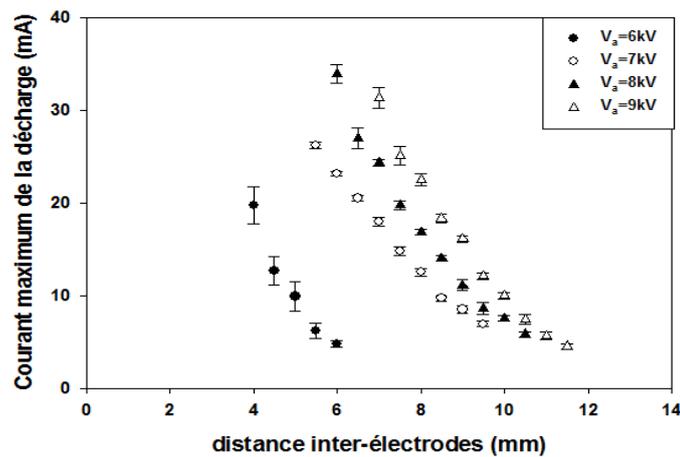


Figure 3 : Courant maximum de la décharge en fonction de la distance inter-électrodes pour différentes tensions appliquées dans l’air synthétique à la pression atmosphérique et $\rho = 20\mu\text{m}$.

On voit que les résultats sont sensiblement différents en fonction des deux paramètres considérés. Pour une valeur de tension appliquée donnée, le courant maximum de la décharge décroît lorsqu’on augmente la distance inter-électrodes. En revanche, pour une distance inter-électrodes fixe, le courant maximum de la décharge augmente lorsque la tension appliquée prend des valeurs plus élevées. On peut expliquer ces variations par les variations du champ électrique (relation 1), qui dépend linéairement à la tension appliquée au niveau de la pointe et inversement à la distance inter-électrodes [5].

$$E(z) = \frac{2U_0}{(\rho + 2z) \log\left(\frac{\rho + 2d}{\rho}\right)} \quad (1)$$

d : distance inter-électrodes,
 ρ : rayon de courbure de la pointe,
 U_0 : tension inter-électrodes

3.1.2 Calcul de la vitesse de streamer

La vitesse de propagation du primary streamer est calculée à partir de la courbe du courant de décharge (Figure 2), en faisant le rapport entre la distance inter-électrodes et le temps nécessaire à la propagation du primary streamer de la pointe vers le plan. Le temps écoulé durant la propagation du primary streamer, est estimé à partir de la durée de la zone 1 sur la Figure 2, [6]. Le départ du streamer de l’anode, correspond à l’instant de monté de la zone 1 de la Figure 2, et son arrivée sur la cathode correspond au début de la zone 2 qui correspond à l’arrivée de primary streamer sur la cathode. La Figure 4, représente la vitesse de propagation du streamer de la pointe vers le plan en fonction de la distance inter-électrodes pour différentes tensions appliquées.

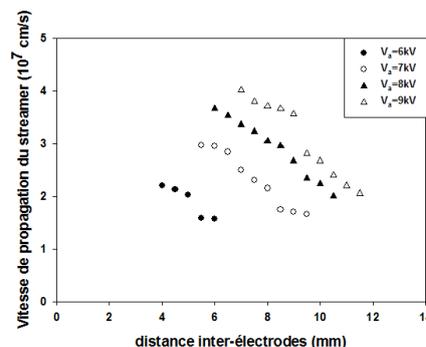


Figure 4: Vitesse de propagation du primary streamer en fonction de la distance inter-électrodes pour différentes tensions appliquées dans l’air synthétique à la pression atmosphérique et pour $\rho=20\mu\text{m}$.

Pour une distance inter-électrodes donnée, nous observons que la vitesse de propagation du primary streamer augmente lorsque la tension appliquée au niveau de la pointe augmente. Car, le champ électrique dans l'espace inter-électrodes augmente en fonction de la tension appliquée (relation 1). En revanche, pour une tension appliquée fixe, la vitesse de propagation de streamer diminue lorsque la distance inter-électrodes augmente, parce que le champ électrique devient plus faible et les électrons sont moins énergétiques entraînant une propagation de streamer moins rapide.

3.2 Etude paramétrique en régime de tension impulsionnelle

La figure 5 montre la forme du courant obtenu lorsqu'on applique une tension impulsionnelle au niveau de la pointe et pour une fréquence et largeur d'impulsion fixes [7].

Le pic de courant on peut le diviser en cinq zones différentes : zone (1) correspond à une ionisation très intense de la zone proche de la pointe, pour la formation de charge d'espace nécessaire à la propagation du streamer de la pointe vers le plan. Zone (2) correspond à la propagation des primary streamers en direction de la cathode. Zone (3) c'est l'arrivée des primary streamers sur la cathode. Zone (4) correspond à la propagation des secondary streamers et enfin la zone (5) c'est la relaxation du système [2, 5, 8].

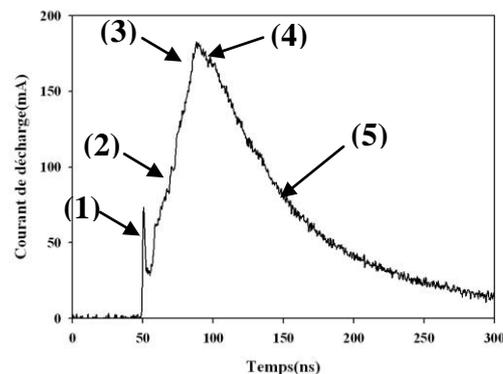


Figure 5: Courant instantané de décharge couronne pour $d=8\text{mm}$, $V_a=9\text{kV}$, $\tau=40\mu\text{s}$, $f=100\text{Hz}$, $\rho=20\mu\text{m}$ dans l'air synthétique à la pression atmosphérique.

3.2.1 Influence de la distance inter-électrodes et de la tension appliquée

La variation du courant maximum de la décharge en fonction de la distance inter-électrodes pour différentes tensions est donnée sur la figure 6.

Pour une tension appliquée fixe, le courant maximum de la décharge diminue lorsque la distance inter-électrodes augmente, en revanche, pour une distance inter-électrodes fixe, le courant maximum de la décharge croît lorsqu'on augmente systématiquement la tension appliquée au niveau de la pointe. Ceci peut être expliqué par les variations du champ électrique (relation 1)

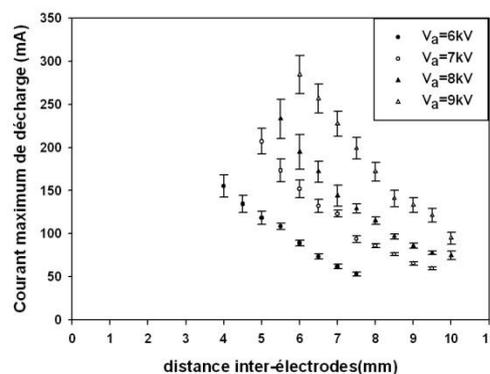


Figure 6: Courant maximum de la décharge en fonction de la distance inter-électrodes pour différentes tensions appliquées ($f=100\text{Hz}$, $\rho=20\mu\text{m}$, $\tau=40\mu\text{s}$, pression atmosphérique).

3.2.2 Influence de la fréquence et de la largeur de l'impulsion de la tension appliquée

La figure 7, montre la variation du courant maximum de la décharge en fonction de la fréquence de l'impulsion de la tension pour différentes valeurs de tension appliquée.

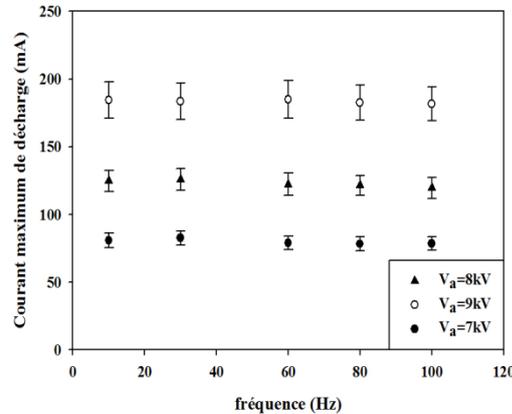


Figure 7: Courant maximum de la décharge en fonction de la fréquence pour différentes tensions appliquées ($\tau=40\mu s$, $\rho=20\mu m$, $d=8mm$, pression atmosphérique).

Le courant maximum de la décharge est pratiquement constant pour les différentes valeurs de tension et pour une gamme de fréquence de 10 Hz à 100 Hz. Le courant maximum de la décharge restera constant tant qu'on n'a pas dépassé la fréquence naturelle de la décharge (la fréquence naturelle de la décharge est 10kHz et nous travaillons beaucoup plus inférieure à cette valeur).

Le courant maximal reste aussi constant lorsqu'on fait varier la largeur d'impulsion et nous maintenons la fréquence, la distance inter-électrodes et la tension appliquée fixée (figure 8).

Sur les deux figures 7 et 8, le courant maximum de la décharge croît lorsqu'on augmente la tension appliquée, parce que le champ électrique augmente aussi dans l'espace inter-électrodes [9, 10].

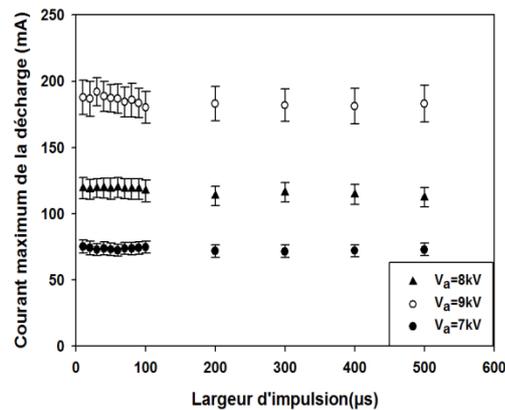


Figure 8: Courant maximum de la décharge en fonction de la largeur d'impulsion pour différentes tensions appliquées ($f=100Hz$, $\rho=20\mu m$, $d=8mm$, pression atmosphérique)

4. Etude spectroscopique

Dans cette partie, nous avons décidé de ne présenter que le spectre obtenu dans le régime de tension impulsionnelle. Car, nous avons remarqué sur le spectre présenté ci-dessous, la présence des mêmes espèces obtenues dans le cas de régime de tension continue: sept séries de bandes d'émission de second système positif de l'azote ($C^3\pi_u - B^3\pi_g$) et une seule émission correspondante au premier système négatif de l'azote ($B^2\Sigma_u^+ - X^2\Sigma_g^+$) pour la transition (0, 0). En revanche, l'intensité lumineuse de ces émissions est bien plus élevée que celle obtenue dans le cas de régime de tension continue. Cela est dû au comportement de la décharge en présence de ce type d'alimentation qui donne la structure arborescente.

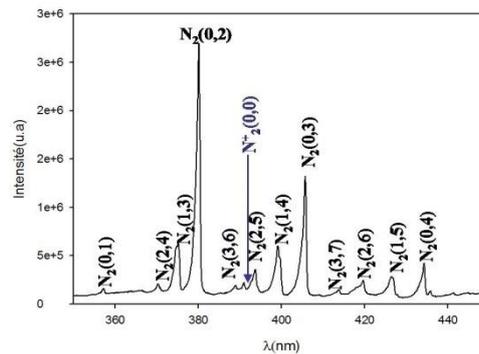
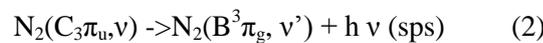
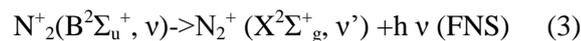


Figure 9: Spectre de décharge couronne dans l'air synthétique ($f=100\text{Hz}$, $\tau=500\mu\text{s}$, $\rho=20\mu\text{m}$, $d=7\text{mm}$, pression atmosphérique).

Les bandes d'émission dominantes sont celles du deuxième système positif d'azote dû aux transitions :



On distingue aussi les bandes d'émission du premier système négatif d'azote dû aux transitions caractéristiques d'une décharge filamentaire [11] :



Dans cette étude, nous constatons l'absence d'émission correspondant à la molécule de l'oxygène. Kozlov et al. [11] et Creighton [12], ont observé dans le même cadre d'étude, les mêmes émissions du premier système négatif de l'azote (FNS) et le second système positif de l'azote (SPS).

Conclusion

Dans ce papier nous avons présenté une étude électrique et spectroscopique d'une décharge corona dans l'air synthétique à la pression atmosphérique. Dans deux régimes de tensions (continue et impulsionnelle). L'étude spectroscopique montre la présence des mêmes espèces dans les deux régimes de tensions avec la domination de second système positif de l'azote et l'émission caractéristique des décharges filamentaire.

Références

1. Sardja I. and Dhali S. K., *Appl. Phys. Lett.* 56 (1990) 21.
2. Dubois D., Merbahi N., Eichwald O., Yousfi M., Benhenni M., *J. Applied Phys.* 101 (2007) 5.
3. Merbahi N., Abahazem A., Dubois D., Eichwald O., Yousfi M., *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 42 (2008) 55-61.
4. Achat S., Teisseyre Y., Marode E., *J. Phys.D: Appl. Phys.* 25 (1992) 661-668.
5. Eichwald O., Ducasse O., Dubois D., Abahazem A., Merbahi N., Benhenni M., Yousfi M., *J. Phys. D.* 41 (2008) 234002.
6. Lan G., Vernon C., Rajeev T., Viktor S., *IEEE.* 2 (1997) 587-90.
7. Abahazem A., Merbahi N., Ducasse O., Eichwald O., Yousfi M., *IEEE Trans. Plas. Sci.* 36 (2008) 4.
8. Merbahi N., Abahazem A., Dubois D., Eichwald O., Yousfi M., *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 42 (2008) 55-61.
9. Abahazem A., Merbahi N., Yousfi M., Eichwald O., *4th International Congress on Cold Atmospheric Pressure Plasmas: Sources and Applications.* Ghent Belgium. June 22-24 (2009).
10. Merbahi N., Abahazem A., Yousfi M., Eichwald O., *17th International Colloquium on Plasma Processes.* Marseille France. June 22-26 (2009).
11. Kozlov K.V., Brandenburg R., Wagner H-E., Morozov A.M., Miche P., *J. Phys. D: Appl. Phys.* 38 (2005) 518-529.
12. Creighton Y.L.M., *Thèse de Doctorat Technische Universiteit Eindhoven.* (1994).