

## MODELISATION DE LA COURBE DE PASCHEN ET CALCUL DE LA TENSION DE CLAQUAGE POUR UN ECRAN A PLASMA

Fatiha Ghaleb, Wafa Benstâali, Ahmed Belasri

*Laboratoire de Physique des Plasmas,  
Matériaux conducteurs et applications  
Département de Physique,*

*Université des Sciences et Technologie Mohamed Boudiaf, Oran 31000, Algérie.*

Reçu le 09/12/2005 et accepté le 13/05/2007

### ملخص

يعتمد هذا البحث دراسة مفعول عوامل هندسية متعددة وكذا المزيج الغازي على جهد الانفصام داخل خلية شاشة جيلة (بلازما) متحدة المستوى. النموذج الذي تقوم على أساسه الدراسة يسمح بحساب جهد الانفصام بالنسبة لغازات متعددة: غاز النيون النقي، الزيون النقي ومزيج الزيون-النيون. تبين النتائج المتحصل عليها أهمية استعمال الغاز النسيب مثل النيون.

**الكلمات المفتاحية:** شاشة جيلة (بلازما)؛ منحنى باكن؛ جهد الانفصام؛ نموذج رقمي.

### Résumé

Le présent travail est basé sur l'étude de l'influence des divers paramètres géométriques et le mélange gazeux sur la tension de claquage dans une cellule d'écran à plasma coplanaire. Le modèle sur lequel est basé l'étude permet de calculer la tension de claquage pour différents gaz ; néon pur, xénon pur et mélange xénon-néon. Les résultats de ce calcul permettent de voir l'importance d'utilisation d'un gaz parent qui est le néon.

**Mots clés :** écran à plasma; courbe de Paschen; tension de claquage; modélisation numérique.

### Abstract

The present paper is a study of the influence of various geometrical parameters and the gas mixture on the breakdown voltage in a coplanar plasma display panel cell. The model on which it is based makes it possible to calculate the breakdown voltage for various gases; pure neon, pure xenon and xenon-neon mixture. The results show the importance of the use of a parent gas which is neon.

**Key words:** plasma screen; Paschen curve; breakdown voltage; numerical modeling.

## 1. INTRODUCTION

Le besoin d'écran de taille de plus en plus importante et d'encombrement de plus en plus faible est à l'origine du développement des écrans plats. Les écrans à plasma sont les mieux adaptés pour la réalisation d'écran de très grandes dimensions. Cette technologie à plasma tend à devenir courante dans le secteur des télévisions et à long terme dans celui des ordinateurs.

Un écran à plasma est un système optoélectronique permettant de visualiser des signaux vidéo, au même titre qu'un

tube cathodique ou un panneau des cristaux liquides (liquid crystal display LCD). La particularité de l'écran à plasma est sa profondeur qui permet de créer de larges surfaces d'affichages avec moins d'encombrement mais les mêmes caractéristiques générales (c'est-à-dire un écran de 2 mètres peut avoir la même résolution / profondeur / luminosité / colorimétrie qu'un écran de 50cm) [1].

Plusieurs travaux de recherche expérimentaux [2-4] et théoriques [5-9] sont en cours afin d'atteindre ce but. La modélisation semble être un outil très important dans le but de décrire les

décharges dans les panneaux d'affichages à plasma (PAP) et l'influence des conditions de travail sur les différentes grandeurs physiques, et cela sans être coûteuse. Nous nous intéressons dans ce travail à une modélisation bidimensionnelle d'une cellule d'écran à plasma [10-11].

La tension de claquage est évidemment une grandeur très importante qu'il faut essayer de diminuer pour éviter une trop grande consommation et simplifier l'électronique de commande [10]. Ceci peut être réalisé en jouant sur les

**2. MODELE PHYSIQUE**

Un modèle peut être défini comme une représentation des phénomènes physiques dans laquelle des approximations ont été faites de façon à rendre le problème soluble tout en préservant ses caractéristiques physiques essentielles. Le modèle sur lequel est basé ce travail est un modèle fluide à deux dimensions [5,10,11], où sont résolus les deux premiers moments de l'équation de Boltzmann. Ces équations de transport sont couplées à l'équation de Poisson pour prendre en compte les variations du champ électrique dues à celle de la charge d'espace. Ce système d'équations est résolu dans une géométrie cartésienne à deux dimensions.

Les équations de continuité et de quantité de mouvement étudiées pour les ions et les électrons sont données par les relations suivantes.

Pour les électrons :

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla_{\vec{r}} n_e \bar{v}_e = S_e \tag{1}$$

$$n_e \bar{v}_e = a n_e \mu_e E - \nabla(D_e n_e) \tag{2}$$

Pour les ions :

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} + \nabla_{\vec{r}} n_p \bar{v}_p = S_p \tag{3}$$

$$n_p \bar{v}_p = a n_p \mu_p E - \nabla(D_p n_p) \tag{4}$$

paramètres de la cellule tels que : produit pression-distance, composition du mélange gazeux, géométrie de la cellule comme les distances inter- électrodes et diélectrique et la tension appliquée à l'électrode d'adressage. La courbe à déterminer qui donne la tension de claquage en fonction du produit pression distance est appelée la courbe de Paschen.

Le modèle sur lequel est basé notre travail est décrit dans la Section 2. Les conditions et les résultats de calcul sont donnés dans la Section 3.

Les indices *e* et *p* correspondent aux électrons et aux ions respectivement. *n<sub>e</sub>* et *n<sub>p</sub>* sont les densités électroniques et ioniques,  $\bar{v}_e$  et  $\bar{v}_p$  les vitesses moyennes, *E* le champ électrique. *S<sub>e</sub>(r, t)* et *S<sub>p</sub>(r, t)* sont les taux de production des électrons et des ions. Il sont donnés par la relation: *S<sub>e,p</sub>* = *n<sub>e,p</sub>*.*v<sub>i</sub>* (*r,t*), *v<sub>i</sub>* (*r,t*) étant la fréquence d'ionisation. Les mobilités  $\mu_e$  et  $\mu_p$  sont en fonction du champ réduit *E/P* (*E* étant le champ électrique et *P* la pression du gaz). «*a*» est une constante tel que *a*= +1 pour les ions positifs et *a*=-1 pour les électrons.

Les équations de transports ci-dessus sont couplées à l'équation de Poisson donnée par la relation suivante :

$$\nabla \epsilon_r E = \frac{|e|}{\epsilon_0} (n_p - n_e) \tag{5}$$

Où  $\epsilon_r$  et  $\epsilon_0$  sont les permittivités relatives des diélectriques et du vide successivement.

*Conditions aux limites:*

Les conditions utilisées dans la résolution de ces équations sont comme suit :

Le flux de particules chargées vers les parois est donné par la relation :

$$\phi = b n_{e,p} W_{e,p} + n_{e,p} V_{th,e,p}/4 \tag{6}$$

où *n<sub>e,p</sub>* est la densité des électrons ou des ions sur la paroi, *W<sub>e,p</sub>* est la vitesse dirigée dans la direction du champ électrique ( $W_{e,p} = \pm \mu_{e,p} E$ ) et *V<sub>th,e,p</sub>* la vitesse

thermique (électron ou ion). Le paramètre ‘b’ est égal à 1 si la vitesse est dirigée vers la paroi sinon égale à zéro.

Afin de pouvoir tenir compte de l’accumulation des charges à la surface des diélectriques. Pour cela, on utilise la condition aux limites entre la couche de diélectrique et le gaz :

$$\sigma = [\epsilon_0 E_0 - \epsilon_1 E_1] n_s \tag{7}$$

où  $\sigma$  est la densité de charge à la surface du diélectrique,  $E_0$  et  $E_1$  sont les champs électriques à l’interface gaz-diélectrique respectivement dans le gaz et dans le diélectrique.  $\epsilon_0$  et  $\epsilon_1$  sont les permittivités du gaz (celle du vide) et du diélectrique,  $n_s$  est un vecteur normal à la surface dirigé vers l’espace gazeux.

A la cathode, le flux des électrons secondaires est écrit sous la forme :

$$\phi_e(\text{cathode}) = \sum_k \gamma_k \phi_k(\text{cathode}) \tag{8}$$

Où la sommation est sur toutes les espèces,  $\gamma_k$  est le coefficient d’émission secondaire du au  $k^{\text{ème}}$  ion incident sur la cathode, et  $\phi_k$  est le flux du  $k^{\text{ème}}$  ion à la cathode.

Les équations ci-dessus sont résolues pour une géométrie cartésienne à deux dimensions, en utilisant la méthode des différences finies selon le schéma de Scharfetter et Gummel [13]

Le principe de calcul de la tension de claquage consiste à déterminer la tension minimale qu’il faut appliquer entre deux électrodes, pour que la densité des ions présente dans la cellule atteigne une densité de charges au moins  $5.10^6$  fois supérieure à sa valeur initiale (ce qui implique une multiplication  $M= 5 \cdot 10^6$ ). Ce critère, bien qu’arbitraire, correspond en fait à déterminer l’instant où la condition d’auto-entretien de l’équation suivante est réalisée :

$$M = \exp [(\alpha_{Xe} + \alpha_{Ne}) d] \tag{9}$$

$$M = 1 + \frac{\alpha_{Xe} + \alpha_{Ne}}{\alpha_{Xe} \gamma_{Xe} + \alpha_{Ne} \gamma_{Ne}} \tag{9'}$$

où  $M$  indique la multiplication électronique,  $\alpha_{Xe}$ ,  $\alpha_{Ne}$  représentent les coefficients d’ionisation du xénon et du néon respectivement,  $\gamma_{Xe}$ ,  $\gamma_{Ne}$  sont les coefficients d’émission secondaire du MgO pour le xénon et du néon,  $d$  : indique la distance entre les deux électrodes (distance inter-électrode)

En effet on peut estimer que lorsque la multiplication de la densité de particules chargées atteintes  $5.10^6$ , le claquage aura lieu et la tension est alors calculée.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans ce travail, nous passerons en revue les différents résultats obtenus pour une cellule d’écran à plasma coplanaire. Les conditions de calcul sont les suivantes : Les coefficients d’émission secondaire ( $\gamma$ ) sur le MgO pour le xénon et le néon sont égaux à 0.05 et 0.5 respectivement. Les diélectriques (émail, dans le cas des PAP) recouvrant les électrodes d’entretien et d’adressage ont une permittivité relative  $\epsilon_r$  égale à 10. Les électrodes d’entretien ( $e_1$ ,  $e_2$ ), de largeur,  $L_e$  égale à  $150 \mu\text{m}$ , sont séparées par une distance  $d$ . L’espace, entre les diélectriques, de hauteur de  $100 \mu\text{m}$  est rempli par différents mélanges de gaz rares de xénon et de néon (voir Fig.1).

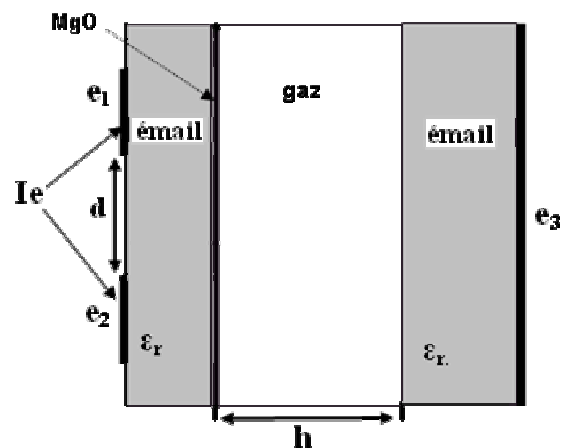
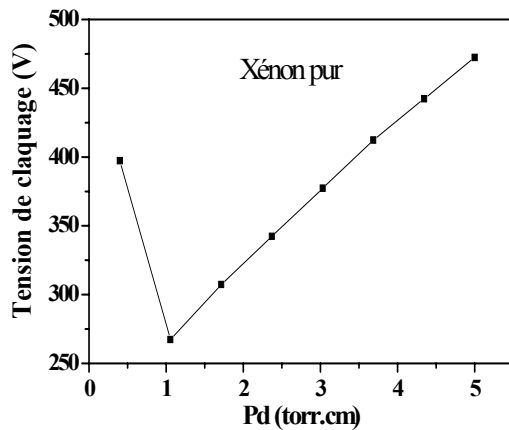


Figure 1: Description de la géométrie de la cellule à deux dimensions.

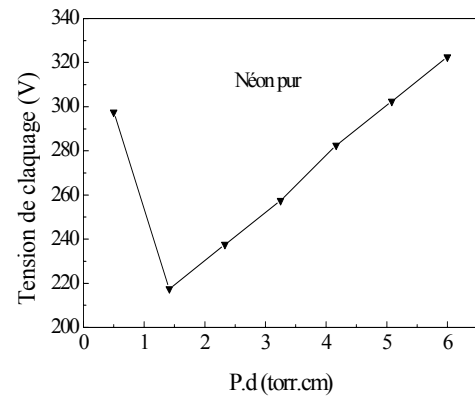
Nous présentons, dans un premier temps, les résultats concernant les gaz rares, xénon et néon. La figure 2 présente

la variation de la tension de claquage en fonction du produit P.d pour le xénon pur. Nous observons un minimum de tension de l'ordre de 270 Volt pour un produit P.d égal à 1 torr.cm. La tension devient de plus en plus importante lorsque ce produit augmente. Il atteint les 450V pour un produit de 5 torr.cm (ce qui est impossible réellement).

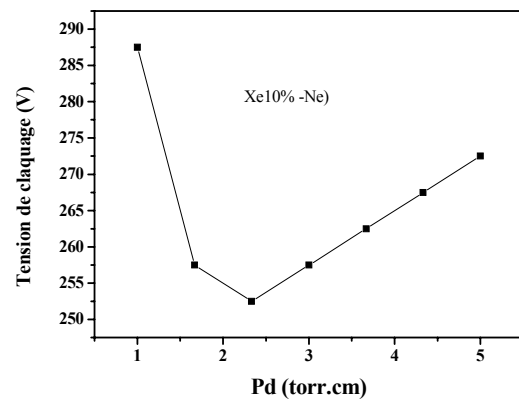


**Figure 2:** Courbe de Paschen calculée par le modèle fluide 2D pour xénon pur. Le coefficient d'émission secondaire gamma est pris égale à 0.05.

La figure 3 présente la variation de la tension de claquage en fonction du P.d pour le néon pur. Le minimum de la tension est de 218 V pour un produit pression- distance de 1.5 torr.cm. Il est nettement inférieur à celui obtenu pour le xénon pur (voir Fig.2). Ceci est dû essentiellement au faible coefficient d'émission secondaire de Xe qui est dix fois moins faible que celui du néon (de l'ordre de 0.05). D'où l'on peut dire qu'il est préférable d'ajouter le néon au xénon afin de diminuer la tension de claquage. Cette grande influence du néon sur le claquage du gaz est la principale cause de l'utilisation d'un mélange de ces deux gaz. Sur la figure 4, est tracée la courbe de Paschen pour un mélange de 10%de xénon dans le néon. Il est observé que le minimum de claquage est égal à 250V, pour un produit P.d=2 torr.cm. On peut voir comment le néon réduit la tension de claquage d'où l'intérêt de son utilisation comme gaz parent, et donc un mélange xénon- néon.

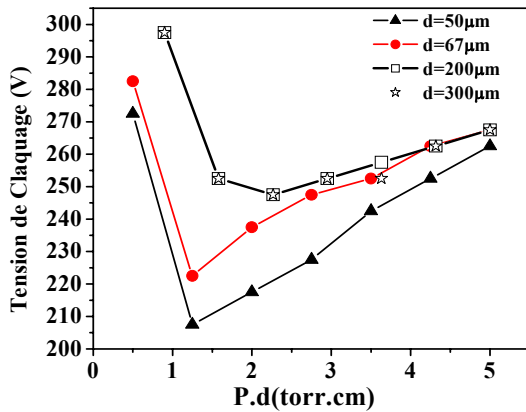


**Figure 3:** Courbe de claquage, pour le néon pur. Le gamma est égal à 0.5.



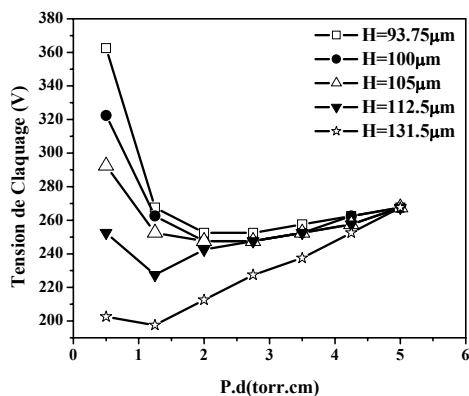
**Figure 4:** Courbe de Paschen calculée avec le modèle fluide 2D pour un mélange de gaz Xe10%-Ne.

La figure 5, montre les courbes de Paschen pour un mélange gazeux de Xe10%-Ne et une distance inter-diélectriques H=100µm. Les courbes ont été obtenues pour différentes distances inter- électrodes d. D'après cette figure, on remarque que pour un produit P.d égal à 1 torr.cm, la tension de claquage diminue d'une valeur de 250 Volt (pour une distance de 100µm) à une valeur de 205 Volt (pour d=50µm). Le minimum de la tension de claquage se déplace vers les petits produits pression-distance quand d augmente. Nous remarquons également que les deux courbes d=200µm et d=300µm se confondent. Dans ce cas le rapport d/H est supérieur à 1 d'où l'on peut voir l'importance de ce rapport dans cette étude.



**Figure 5:** Courbe de claquage pour différentes valeurs de  $d$ , la distance inter-électrodes dans un mélange de Xe10%-Ne.

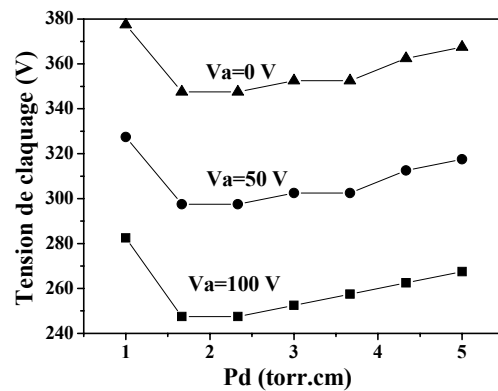
Sur la figure 6 est tracée la variation de la tension de claquage en fonction du produit pression distance (P.d) pour deux valeurs de  $h$ , et cela pour une distance inter-électrodes égale à  $100\mu\text{m}$ . Nous remarquons que, lorsque la distance séparant les diélectriques augmente, la tension de claquage diminue et son minimum se déplace vers les petites valeurs de P.d. On voit ainsi l'effet de la distance  $H$  sur le claquage du gaz dans la cellule d'écran à plasma. Ceci nous permet de notifier l'importance de cette distance en plus de la distance inter-électrodes.



**Figure 6:** Courbe de Paschen pour des valeurs différentes de  $H$ , dans un mélange Xe10%-Ne.

La figure.7, présente la variation de la tension de claquage en fonction du produit P.d pour différentes valeurs de la tension appliquée à l'électrode d'adressage. Les

distances inter-électrodes et diélectriques,  $d$  et  $h$ , sont toutes les deux égales à  $100\mu\text{m}$ . Nous remarquons que lorsqu'une tension de 50 V est appliquée à l'électrode d'adressage, la tension de claquage augmente de 45 V par rapport à celle obtenue pour une tension nulle, et cela pour un produit pression- distance, P.d égal à 1 torr.cm. Nous pouvons alors voir l'importance de la tension appliquée à l'électrode d'adressage dans le claquage du gaz.



**Figure 7:** Courbe de claquage pour différentes valeurs de  $V_a$ , (tension appliquée à l'électrode d'adressage) ou  $h$  et  $d$  sont égales à  $100\mu\text{m}$  dans un mélange Xe10%-Ne.

#### 4. CONCLUSION

Le travail qui vient d'être présenté dans cet article consiste à étudier une cellule d'écran à plasma coplanaire. Dans la première partie, nous avons montré le rôle de la présence du gaz parent. Celui-ci permet de limiter les tensions de fonctionnement des panneaux à plasma.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié l'influence de la géométrie sur la tension de claquage dans la cellule. Les résultats, montrent que cette tension ne dépend pas seulement du produit pression-distance mais aussi de la distance entre les diélectriques. Une autre grandeur qui est très influente sur la tension de claquage dans une cellule d'écran à plasma, c'est la

valeur de la tension appliquée à l'électrode d'adressage ; son rôle est de faciliter le claquage.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier J.P. Bœuf et L.C. Pitchford pour leur avoir permis d'utiliser le code fluide à deux dimensions développé au sein du Laboratoire CPAT, France.

#### REFERENCES

- [1] Callegari. Th, Ganter. R, Bœuf. J.P, *Les écrans à plasma*, Bulletin de la Société Française de Physique 102 (2000) 4 - 9.
- [2] Callegari. Th, Ganter. R, and Bœuf. J.P, *Diagnostic and modeling of a macroscopic plasma display panel cell*, J. Appl. Phys. 88 (7) (2000) 3905-3912.
- [3] Seo. J. H, Jeong. H. S, Lee. J. Y, Yoon. C. K, Kim. J. K, Wang. K. W, *Vacuum ultraviolet emission characteristics from He- Ne- Xe gas discharge in an alternating current plasma display panel cell*, J. Appl. Phys. 88 (3) (2000) 1257-1262.
- [4] Ouyang. J.T, Cao. J, Callegari. Th, Bœuf. J.P, *Discharge characteristics in plasma display cell at high frequency*, Chin. Phys. Soc. 13, 2004, p.1907-1912.
- [5] C. Punset, S. Cany, J. P. Bœuf, *Addressing and sustaining in alternating current coplanar plasma display panels*, J. Appl. Phys. 86 (1) 1999, p.124-133.
- [6] S. Rauf, M.J. Kushner, *Dynamics of a coplanar-electrode plasma display panel. II. Cell optimization*, J. Appl. Phys. 85 (7) 1999, p.3470-3476.
- [7] S. Rauf, M.J. Kushner, *Dynamics of coplanar-electrode plasma display panel cell. I. Basic operation*, J. Appl. Phys. 85 (7) 1999, p.3460-3469.
- [8] K. Tachibana, S. Feng, T. Sakai, *Spatiotemporal behaviors of excited Xe atoms in unit discharge cell of ac-type plasma display panel studied by laser spectroscopic microscopy*, J. Appl. Phys. 88 (9) 2000, p.4967-4974.
- [9] Y. Ikeda, K. Suzuki, H. Fukumoto, J. P. Verboencœur, P. J. Christensen, C. K. Birdsall, M. Shibata, M. Ishigaki, *Two-dimensional particle simulation of a sustained discharge in an alternating current plasma display panel*, J. Appl. Phys. 88 (11) 2000, p.6216-6223.
- [10] Punset. C, Bœuf. J. P, Pitchford. L.C, *Two-dimensional simulation of an alternating current matrix plasma display cell: Cross-talk and other geometric effects*, J. Appl. Phys. 83 (4) 1998, p.1884-1897.
- [11] Belasri. A, Benstâli. W, Haffaf. H, *study of luminous efficiency and energy deposition in xenon excitation in plasma display panel discharge cells*, Rev. Ener. Ren. 6, 2003, p.35-39.
- [12] Bœuf. J.P, Punset. C, Hirech. A, *Physics and modeling of plasma display panels*, J. Appl. Phys. IV, 7, 1997, p. C4-3.
- [13] Scharfetter. D, L, Gummel H.K, *Large signal analysis of silicon read diode oscillator*, IEEE Trans. Electronic Devices, ED-16, 1962, p.64.